

107



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

CIMENTACION PROFUNDA A BASE DE
PILOTES EN UN EDIFICIO TIPO "B1"

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
J A I M E P E R E Z S A N C H E Z



MEXICO, D. F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/018/95

Señor
JAIME PEREZ SANCHEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. REGINALDO JOSE HERNANDEZ ROMERO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**

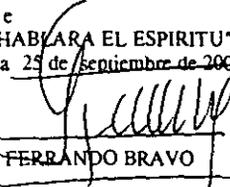
"CIMENTACION PROFUNDA A BASE DE PILOTES DE UN EDIFICIO EN ZONA B"

- INTRODUCCION**
- I. CLASIFICACION DE LOS TIPOS DE CIMENTACIONES**
 - II. ANALISIS DE DISEÑO EN PILOTES**
 - III. EQUIPO PARA HINCADO DE PILOTES**
 - IV. CIMENTACION PROFUNDA POR MEDIO DE PILOTES DE UN EDIFICIO TIPO B1**
 - V. CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a ~~25 de septiembre de 2000.~~
EL DIRECTOR


M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/018/95

M.I. REGINALDO JOSE HERNANDEZ ROMERO
Presente .

El señor **JAIME PEREZ SANCHEZ** de la carrera de **INGENIERO CIVIL**, me ha solicitado designar al profesor que le señale Tema de Tesis para su Examen Profesional.

En atención a esa solicitud ruego a usted se sirva formular el Tema solicitado y enviarlo a esta Dirección para comunicarlo oficialmente al interesado.

Doy a usted de antemano las más cumplidas gracias por su atención y le reitero las seguridades de mi consideración más distinguida.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 25 de septiembre de 2000
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB/GMP*mstg

A G R A D E C I M I E N T O S

A DIOS POR DARME VIDA SALUD
Y UNA GRAN FAMILIA

A MIS HIJAS CYNTHIA ARACELI, Y
LEESLIE FERNANDA QUIEN CON SU
PRESENCIA Y ALEGRIA ME ANIMAN
A SEGUIR ADELANTE

A ROSA, MI ESPOSA POR TODO
SU AMOR Y COMPRENSION

A MIS PADRES POR TODO EL APOYO
QUE ME SIGUEN BRINDANDO, ASI
COMO POR LO QUE ME HAN
ENSEÑADO

A MIS HERMANOS POR LA GRAN
UNION Y CONVIVENCIA QUE
HEMOS DESARROLLADO

A TODOS MIS MAESTROS QUE ME
HAN APOYADO EN TODOS ESTOS
AÑOS

A TODOS MIS FAMILIARES Y
AMIGOS QUE HAN ESTADO CERCA
DE MI EN LAS BUENAS Y EN
LAS MALAS

INDICE

- I.- **INTRODUCCION**

- II.- **CLASIFICACION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CIMENTACION**

- III.- **ANALISIS DE DISEÑO EN PILOTES**

- IV.- **EQUIPO PARA HINCADO DE PILOTES**

- V.- **CIMENTACION PROFUNDA POR MEDIO DE PILOTES EN UN EDIFICIO TIPO "B1".**

- VI.- **CONCLUSIONES**

INDICE GENERAL

TEMA	PAGINA
INDICE DE CAPITULOS	1
CAPITULO 1	
Introducción	2
I.1.- <i>Antecedentes sobre cimentaciones</i>	2
CAPITULO II	
Clasificación de los diferentes tipos de cimentación	4
II.1.- <i>Definición de cimentación</i>	4
II.2.- <i>Cimentación superficial</i>	5
II.2.1.- <i>Zapatas aisladas</i>	6
II.2.2.- <i>Zapatas corridas</i>	6
II.2.3.- <i>Losas corridas</i>	6
II.2.4.- <i>Definición de cimentaciones profundas</i>	6
II.3.- <i>Factores que influyen en la determinación de un tipo de cimentación</i>	7
II.4.- <i>Reglamentación</i>	7
II.5.- <i>Clasificación de las estructuras según el reglamento de construcciones</i>	8
II.5.1.- <i>Por su estructuración (Art. 174)</i>	8
II.5.2.- <i>Por la zona donde se desplanta la estructura (Art. 219)</i>	9
CAPITULO III 11	
Análisis de diseño de pilotes	11
III.1.- <i>Definición y características de un pilote</i>	11
III.2.- <i>Definición de pila, cilindro y cajón de cimentación</i>	12
III.3.- <i>Clasificación de pilotes</i>	13
III.3.1.- <i>Pilotes de madera</i>	13
III.3.2.- <i>Pilotes de concreto</i>	15
III.3.2.1.- <i>Pilotes precolados</i>	16
III.3.2.2.- <i>Pilotes colados In Situ</i>	16
III.3.2.3.- <i>Pilotes colados In situ sin ademe permanente</i>	17
III.3.2.4.- <i>Pilotes con ademe permanente</i>	20
III.3.2.5.- <i>Pilotes hincados a presión o preexcavados</i>	22
III.3.2.6.- <i>Pilotes de control</i>	23
III.3.3.- <i>Pilotes de acero</i>	26
III.3.4.- <i>Pilotes mixtos</i>	26
III.4.- <i>Capacidad de carga de pilotes</i>	27
III.4.1.- <i>Pruebas de carga</i>	28
III.4.1.- <i>Método estático</i>	32
III.4.3.- <i>Método dinámico</i>	36
III.5.- <i>Resistencia estructural del pilote como columna</i>	42
III.6.- <i>Grupo de pilotes</i>	43
III.6.1.- <i>Método del coeficiente de eficacia</i>	44
III.6.2.- <i>Regla de Feld</i>	44
III.6.3.- <i>Método de Terzaghi y Peck</i>	45
III.7.- <i>Calculo de la zapata-cabezal</i>	46
III.8.- <i>Longitud de hizado para pilotes</i>	52
CAPITULO IV	
Equipo para hincado de pilotes	56
IV.1.- <i>Martinetes</i>	56
IV.1.1.- <i>Martinete de caída libre o de impacto</i>	56
IV.1.2.- <i>Martinetes de acción simple o simple efecto</i>	57

TEMA	PAGINA
IV.1.3.-Martinetes de doble acción o doble efecto	58
IV.1.4.-Martinetes diferenciales	59
IV.1.5.-Martinete diesel	59
IV.1.6.-Comentarios sobre martinetes	61
IV.2.- Otros equipos	61
IV.2.1.-Gatos para hincar pilotes	61
IV.2.2.-Vibradores	62
IV.2.3.-Plantas para hincar pilotes	63
IV.3.- Equipo para preexcavar	63
IV.3.1.-La barrenadora	63
IV.3.2.-La perforadora de pulseta	63
IV.3.3.-Preexcavación rotativa húmeda	63
IV.3.4.-Chorros	63
CAPITULO V64	
Cimentación profunda por medio de pilotes en un edificio tipo "B1"	64
V.1.- Descripción de las nuevas oficinas de la secretaria de la reforma agraria	64
V.2.- Estudios de mecánica de suelos en el predio	66
V.2.1.- Sondeos de exploración en el subsuelo	67
V.2.2.- Condiciones estratigráficas del subsuelo	68
V.2.3.- Condiciones hidráulicas	69
V.3.- Ensayes de laboratorio	70
V.3.1.- Ensayes efectuados	70
V.3.2.- Resultados obtenidos	70
V.3.3.- Conclusiones respecto a las propiedades de los materiales	77
V.4.- Análisis de la cimentación	77
V.4.1.- Tipo de cimentación recomendable	77
V.4.2 Capacidad de carga admisible y hundimientos probables	78
V.4.3.- Procedimientos de excavación para alojar la cimentación.	79
V.4.4.- Control de construcción	80
V.5.- Prueba de carga estática	80
V.5.1.- Procedimiento de prueba	82
V.6.- Memoria de calculo	86
V.6.1.- Diseño del pilote	86
V.6.2.- Revisión de hincado de pilotes	92
V.6.3.- Revisión de esfuerzo por izaje	94
V.6.4.- Ganchos de pilotes	96
V.7.- Hincado de pilotes	98
CAPITULO VI	
Conclusiones	99
Anexo	100
Referencias	102

INTRODUCCION

I.1.- Antecedentes Sobre Cimentaciones

Frecuentemente las capas superficiales de un terreno son compresibles, mientras que las subyacentes a partir de una cierta profundidad son resistentes; en tales casos es lógico y en ocasiones indispensable cimentar la obra en ese substrato; pero a veces este nivel se localiza a profundidades inalcanzables económicamente; y entonces es preciso utilizar como apoyo los terrenos blandos y poco resistentes de que se dispone, contando para ello con elementos de cimentación que distribuyen la carga en un espesor más grande de suelo.

Antiguamente la mayor parte de las edificaciones se construían sobre elementos denominados, "Zapatas" las cuales podían ser corridas o aisladas, siendo las responsables de transmitir los esfuerzos al terreno, pero si esté en la superficie era blando y compresible; como la mano de obra era barata y la madera abundante, se hincaban en el terreno troncos de madera, clavándose tantos como admitía el terreno, ejecutándose a continuación la obra sobre ellos, ya que los asentamientos que pudieran producirse no eran en general relevantes o de gran trascendencia, porque esas construcciones presentaban gran facilidad de adaptación al suelo.

Este tipo de cimentación es conocido desde tiempos remotos; teniéndose antecedentes que los poblados de Palafitos ya estaban cimentados de esta manera (como lo menciona el escritor romano Vitrubio en el año 59 de nuestra era); sin embargo a partir del siglo XVIII los edificios se van haciendo cada vez más pesados y rígidos, siendo ya un tanto más significativos los asentamientos que podría tener la estructura, además de que las cuestiones económicas empiezan a influir decisivamente en la realización de los proyectos, haciéndose necesaria la utilización de otros tipos de materiales más acorde con las necesidades que la misma sociedad se estaba creando.

Para finales del siglo XIX se empieza a consolidar un proceso de cambio económico y social muy fuerte en todo el mundo y principalmente en los Estados Unidos, donde se hace necesaria la construcción de edificios, a fin de ganar espacios dentro de las ciudades, las cuales están creciendo a un ritmo vertiginoso.

Las edificaciones de gran altura que se crearon en ese país, tuvieron un impulso vertical por necesidad egocentrista, ya que fueron el resultado de la inquietud espiritual de un pueblo que se lanzó a conquistar para sí, lo más grande, lo más alto, haciéndonos parecer como si los norteamericanos sólo hubiesen conseguido crear una estética de lo grandioso y a la vez de lo gigantesco que podría llegar a ser un pueblo que estaba sufriendo un proceso de consolidación en su desarrollo; pero que eran edificaciones en las cuales los métodos tradicionales de cimentación ya no cumplían con los requerimientos, haciéndose necesaria la aplicación de nuevas técnicas y nuevos materiales de cimentación.

A 50 años de distancia de los norteamericanos y frente a la fisonomía de un México de arquitectura antigua e histórica, se levantaron aquí también los primeros "rascacielos", que fueron respuesta a las necesidades de una población progresiva y creciente; correspondiéndole a la empresa de seguros de vida llamada "Latinoamericana", la construcción de la torre que lleva el mismo nombre y que fue la pionera en nuestro país de una serie de grandes edificios que se construirían posteriormente.

La construcción de una edificación de gran altura como lo es esta torre, dio origen en aquel entonces, a una serie de estudios que por primera vez se realizaban en México en donde las características mecánicas del subsuelo parecían impedir que en nuestra ciudad pudieran llevarse a cabo construcciones de este tipo, pero conforme a transcurrido el tiempo, hemos observado que la técnica con el apoyo de la incipiente tecnología se ha ido perfeccionando y que los diversos contras que nos imponía nuestro suelo fueron librados satisfactoriamente utilizándose en la actualidad numerosos procedimientos constructivos.

CAPITULO II

CLASIFICACION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CIMENTACION

II. 1.— Definición de Cimentación

En la práctica profesional el Ingeniero tiene que enfrentarse con muy diversos e importantes problemas planteados por el suelo, ya que éste es el que sirve de una u otra forma de sustentación a las estructuras que la sociedad requiere; prácticamente todas las obras de construcción como edificios, puentes, carreteras, túneles, presas, etc, deben poseer una cimentación adecuada, definiéndose a está como el conjunto que forma tanto el terreno situado bajo la estructura, como cualquier elemento que sirva para transmitir las cargas; es decir la cimentación es todo aquello cuyo comportamiento estudia el ingeniero con el fin de proporcionar un apoyo satisfactorio y económico a una estructura. Cuando el terreno firme está próximo a la superficie, una forma viable de transmitirle las cargas concentradas de los muros o de las columnas de una estructura es mediante zapatas, siendo estas, elementos que se apoyan directamente en la superficie del suelo, como se ilustra en la (fig. 1).

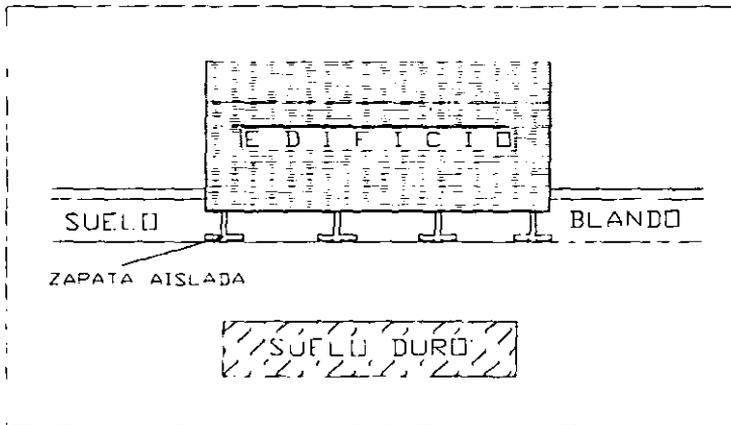


Fig. 1

Pero en otras ocasiones estos elementos no son lo bastante seguros para satisfacer las necesidades o requerimientos que se nos presentan, por tal motivo, son necesarios elementos estructurales que utilicen otras formas de sustentación; entre estos podemos contar con los pilotes, pilas y cajones de cimentación que son elementos estructurales que transmiten las cargas a un estrato resistente que se encuentra a una mayor profundidad. La principal diferencia entre estos tipos de cimentación radica principalmente en el apoyo que utiliza cada uno, ya que mientras las zapatas se apoyan en la superficie los otros elementos se tienen que apoyar a una mayor profundidad; por tal motivo y para diferenciar una de otra, las podemos clasificar como sigue:

- Cimentaciones Superficiales a Poco Profundas
- Cimentaciones Profundas

Cabe hacer la aclaración que en la actualidad no existe una clara diferenciación entre ambas ya que no se puede decir que a partir de una cierta profundidad la cimentación deja de ser superficial para pasar a ser profunda, pero se hace la clasificación debido a ciertas características de cada una.

El problema de proyectar con éxito una cimentación es mucho más amplio y complejo que la simple elección de un tamaño de zapata o un determinado tipo de pilote, teniéndose la necesidad de conocer más propiedades físicas del suelo, en donde se realizara el desplante de la estructura, así como características de la misma.

En el proyecto de cualquier sistema de cimentación, el problema fundamental es evitar que se produzcan asentamientos suficientemente grandes como para dañar la estructura o dificultar sus funciones, la magnitud del asentamiento permisible depende del tamaño, tipo y utilización de la estructura, tipo de cimentación, consecuencias de los posibles asentamientos y emplazamiento de la estructura; en la mayoría de los casos, el asentamiento crítico no es el total sino más bien el diferencial o movimiento relativo de 2 partes de la estructura.

II.2. - Cimentación Superficial

Una cimentación superficial o poco profunda es la que como su nombre lo dice, se apoya en la superficie del terreno y se caracteriza principalmente por el ensanchamiento de su base o plano de apoyo, sobre el que descansa la estructura; el ensanchamiento dependerá de los materiales de fabricación, tipo de suelo, cargas, hundimientos esperados, etc, otra característica de este tipo de cimentación es la profundidad de desplante, que no es mayor (para algunos autores) de un par de veces el ancho del cimientto; en tal virtud podemos decir que una cimentación superficial es un sistema constructivo en el que las cargas de la estructura se transmiten directamente al terreno situado bajo la misma, antiguamente se empleaban, como zapatas, entramados de madera o metal, capas de grava o algún otro elemento; pero en la actualidad son, casi sin excepción de concreto armado. Existen varios tipos de cimentaciones superficiales (al igual que también existen varios tipos de cimentaciones profundas), siendo los más frecuentes:

- a) Zapatas {
 - Aisladas
 - Corridas
- b) Losas Corridas o de Cimentación

II.2.1.- Zapatas Aisladas.

Son elementos estructurales, generalmente con forma cuadrada o rectangular y más raramente circulares, que se construyen bajo las columnas con el objeto de transmitir la carga de estas al terreno en una mayor área, y así lograr una presión apropiada. Estos elementos se fabrican de concreto armado o de mampostería y pueden soportar una o varias columnas.

II.2.2.- Zapatas Corridas

Son elementos análogos a los anteriores, en los que la longitud supera en mucho al ancho, soportan varias columnas o muros y pueden ser de concreto reforzado o de mampostería, la zapata corrida es una forma evolucionada de la zapata aislada.

II.2.3.- Losas Corridas

Estas se utilizan en el caso en el que el suelo presente una resistencia baja que obligue al empleo de mayores áreas para repartir la carga, ó en el caso en que deban transmitirse al suelo grandes cargas; son elementos estructurales en los que el área de apoyo se incrementa bastante, formando una verdadera losa de cimentación, estas al igual que las anteriores pueden soportar columnas y muros, transmitiendo la carga a una mayor superficie de terreno disminuyendo con esto los esfuerzos; estas se utilizan predominantemente cuando la resistencia del terreno no es capaz de soportar las solicitaciones, construyéndose de concreto reforzado, llegando en ocasiones a ocupar toda la superficie construida. Las losas corridas se usan también para reducir el asentamiento de las estructuras situadas sobre depósitos muy compresibles; bajo estas condiciones, la profundidad a la que está desplantada la losa se hace a veces tan grande, que el peso de la estructura más el de la losa está completamente compensado por el peso de suelo excavado (cimentación compensada), entonces el asentamiento de la estructura sería casi insignificante.

Existe gran variedad de cimentaciones en las que se entremezclan combinaciones de los tipos anteriores a gusto del proyectista o del constructor, que se esforzará siempre por extraer del suelo el mayor partido posible, combinando los factores estructurales con las características del terreno de la manera más ventajosa en cada punto.

II.2.4.- Definición de Cimentaciones Profundas

Se puede definir a una cimentación profunda como aquella en la que la transmisión de cargas a un estrato resistente se lleva a cabo por medio de "elementos" que relativamente no se consideran como parte de la estructura que se desplanta; y se dice relativamente porque al final forman parte de ella.

Ha estos elementos se les llama "pilotes, pilas y cajones de cimentación" y el apoyo que utilizan se encuentra retirado de la base de la estructura; los pilotes son elementos que se utilizan para transmitir las cargas de una estructura a estratos profundos más resistentes que los mantos superficiales, ó bien cuando la estructura deba construirse en un sitio cubierto por agua, estos se construyen como columnas esbeltas y normalmente se colocan por grupos; pueden soportar las cargas para las cuales son solicitados a través de una reacción en la punta, fricción a lo largo de sus costados,

adherencia al suelo ó una combinación de estos medios, así, el comportamiento de una cimentación ejecutada con pilotes depende de la resistencia de los mismos y de las capacidades de carga y de resistencia al esfuerzo cortante del suelo donde se esta cimentando.

II.3.- Factores Que Influyen En La Determinación De Un Tipo De Cimentación

Si aún en el caso de emplear una losa corrida la presión transmitida al subsuelo sobrepasa la capacidad de carga de éste, es evidente que habrá de recurrirse a soportar la estructura en estratos más firmes, que se encuentran a mayores profundidades, llegándose así a las cimentaciones profundas (este tipo de cimentación se tratara ampliamente en el siguiente capítulo ya que es el que más nos interesa); pero en general los factores que influyen en la correcta selección de una cimentación son muy variados y en algunas ocasiones complejos por lo cual agrupamos los más importantes y sencillos en tres clases principales:

- 1).- De la Estructura.- estos engloban su funcionamiento, cargas que transmitirá al suelo, materiales que la constituyen, dimensiones y forma, destino y condiciones de funcionalidad, etc.
- 2).- Propiedades del Suelo.- Se refiere a las propiedades mecánicas, especialmente a su resistencia al esfuerzo cortante y compresibilidad, a sus condiciones hidráulicas, etc.
- 3).- Factores Económicos.- estos deben balancearse de tal forma que el costo de la cimentación e inclusive el costo de la estructura sea el menor.

Debe observarse que al balancear los factores anteriores, adoptando un punto de vista estrictamente ingenieril, se tiene que estudiar no solo la necesidad de proyectar una cimentación que se sostenga en el suelo, sin falla ni colapso, sino también que no tenga durante su vida útil asentamientos o expansiones que interfieran con la función de la estructura, cuidando siempre el costo de la obra; pero no puede decirse que uno de los aspectos anteriores tenga mayor o menor importancia que los otros en el proyecto de una cimentación; todos deberán ser tenidos en cuenta simultáneamente y de su justa apreciación dependerá el éxito o fracaso de una construcción; de hecho estos tres puntos están ligados entre sí, ya que si uno no cumpliera con su cometido el resultado sería la falla o colapso de la cimentación y a la vez de la misma estructura, o un gran costo.

II.4.- Reglamentación

La construcción de estructuras dentro de muchos países y en especial en el nuestro están reglamentadas por uno o varios instrumentos técnico-jurídicos que normatizan lo relativo a las características que deberá de tener dicha estructura; estas características se ajustaran a los lineamientos marcados en los reglamentos y normas vigentes, ya que estas son resultado de las experiencias de varios especialistas aplicadas a las características del suelo predominante del lugar. En el distrito federal este instrumento es el reglamento de construcciones, el cual se deberá de tener en cuenta para toda obra que se quiera realizar dentro del D.F.

Por las experiencias vividas en septiembre de 1985, se hizo necesario reducir el nivel de riesgo a una posible falla y en consecuencia un posible colapso de las estructuras cimentadas dentro del distrito federal; introduciéndose en el actual reglamento elementos que refuerzan la estabilidad en las edificaciones e instalaciones, esto con el fin de garantizar un grado óptimo de seguridad en su funcionamiento, tratándose de evitar en lo posible una gran pérdida de vidas humanas y recursos económicos como ocurrió en el 85. Con el fin de ahondar más en el tema el departamento del distrito federal con ayuda de los colegios de los profesionales y cámaras relacionadas con la industria de la construcción, expidió normas técnicas complementarias las cuales muestran más específicamente los lineamientos que se quieren alcanzar, haciéndose con esto frente a situaciones de emergencia en general. Hoy en día cualquier construcción que se quiera edificar dentro del distrito federal tendrá que cumplir como mínimo con los criterios que nos especifica o marca dicho reglamento, ó en su defecto se deberá mostrar a los funcionarios del departamento del distrito federal los métodos y procedimientos de diseño y construcción que se utilizaran, y ellos a su consideración determinaran si es conveniente o no la utilización de la propuesta hecha.

II.5.- Clasificación De Las Estructuras Según El Reglamento De Construcciones

En el título sexto, capítulo 1, artículo 174 y capítulo 8, artículo 219, el reglamento de construcciones nos da una clasificación de las edificaciones de acuerdo a su estructuración, pero además y por las mismas condiciones del subsuelo de la ciudad de México nos hace otra clasificación de acuerdo a la zona donde se desplanta la estructura ya que como se vera a continuación el suelo dentro de la ciudad no es de una consistencia uniforme.

II.5.1.- Por Su Estructuración (Art. 174)

GRUPO A.- Construcciones cuya falla estructural podría causar la pérdida de un número elevado de vidas o pérdidas económicas o culturales excepcionalmente altas, o que constituyan un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, así como construcciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana, como hospitales, escuelas, estadios, templos, salas de espectáculos y hoteles que tengan salas de reunión que pueden alojar más de 200 personas; gasolineras, depósitos de sustancias inflamables o tóxicas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, subestaciones eléctricas y centrales telefónicas y de telecomunicaciones, archivos y registros públicos de particular importancia a juicio del departamento, museos, monumentos y locales que alojen equipo especialmente costoso.

GRUPO B.- Construcciones comunes destinadas a vivienda, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e Industriales no incluidas en el grupo A, y que a su vez se subdividen en:

a) Subgrupo B1.- Construcciones de más de 30 metros de altura o con más de 6000 metros cuadrados de área total construida, ubicadas en las zonas I y II, y construcciones de más de 15 metros de altura o 3000 metros cuadrados de área total construida, en zona III.

b) Subgrupo B2.- Las demás de este grupo.

II.5.2.- Por La Zona Donde Se Desplanta la Estructura (Art. 219)

a) Zona I.- Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona es frecuente la presencia de oquedades en rocas, y de cavernas en túneles excavados en suelos para explotar minas de arena.

b) Zona II.- Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 metros de profundidad, o menos, y que esta constituida predominantemente por estratos arenosos y limo-arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.

c) Zona III.- Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con diverso contenido de limo o arcilla.

Estas capas arenosas son de consistencia firme a muy dura y de espesor variable de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 metros.

La zona a que corresponda un predio se determinará a partir de las investigaciones que se realicen en el subsuelo del predio objeto de estudio, tal y como lo establezcan las normas técnicas complementarias, en caso de construcciones ligeras o medianas cuyas características se definan en dichas normas, podrá determinarse la zona mediante la figura 2.

Los predios ubicados a menos de 200 metros de las fronteras entre 2 de las zonas antes descritas se supondrán ubicados en la más desfavorable.

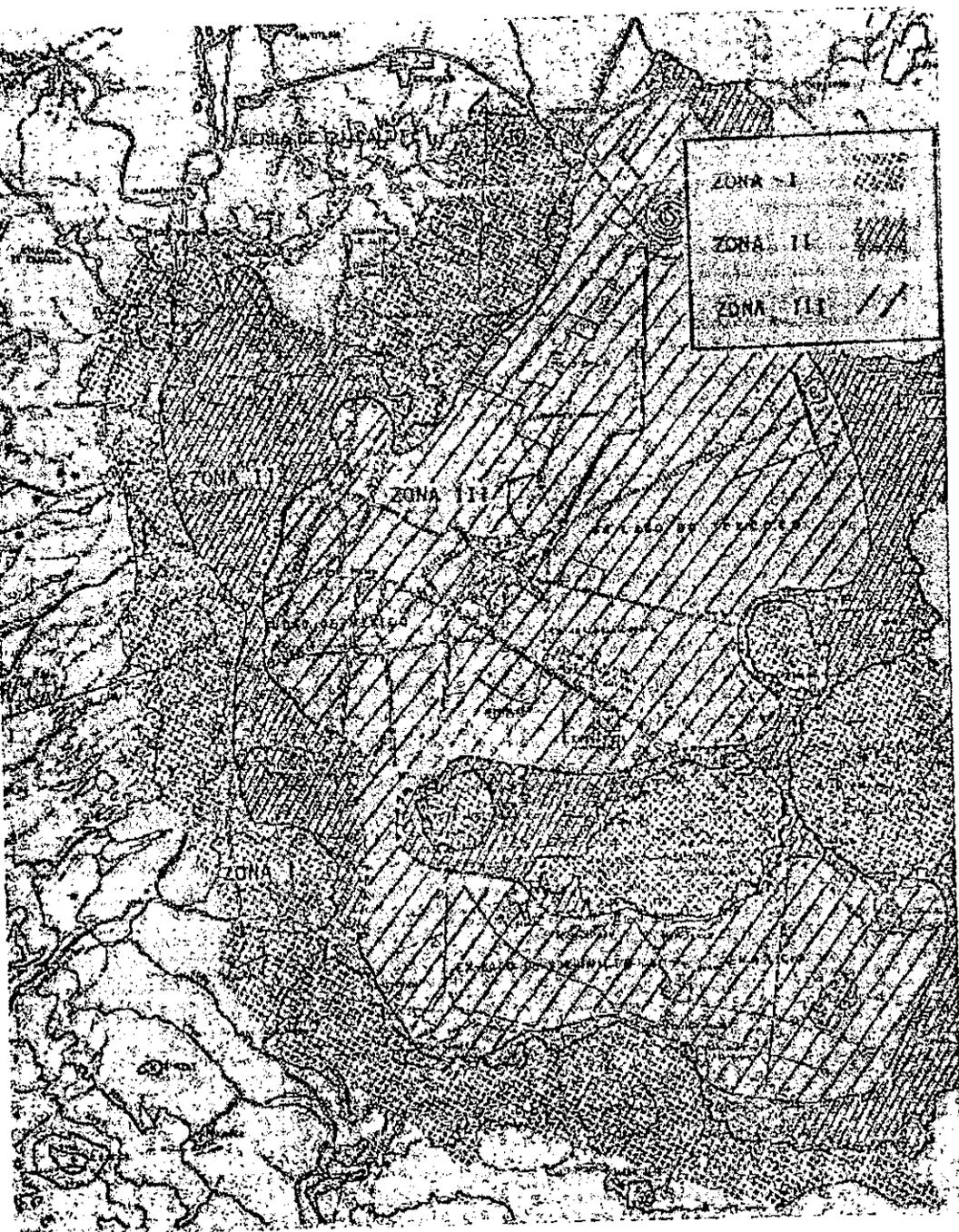


Fig. 2

CAPITULO III

ANALISIS DE DISEÑO EN PILOTES

En este capítulo se trata lo referente a las cimentaciones profundas dando una definición más estructurada de lo que es un pilote y una pila, se hará una clasificación de los mismos, se expondrán las principales pruebas para el diseño de pilotes y se describirá un método práctico para el cálculo de los mismos. En lo referente a la clasificación que se hará de los diferentes tipos de pilotes vale la pena mencionar que cada autor puede utilizar la clasificación que más le parezca, ya que, por ejemplo un pilote puede clasificarse por el material con el que está fabricado, pero a la vez este mismo puede quedar clasificado en función de si se construye *In Situ* o no, ó en función de su sección, de su apoyo, de su dirección y demás. La clasificación que se expondrá es la más general, pero también la más práctica.

III.1.- Definición y Características De Un Pilote

Como se menciono anteriormente los pilotes son elementos estructurales que nos permiten transmitir cargas a estratos más resistentes (más profundos), y pueden ser utilizados cuando se requiera:

- Transmitir las cargas de una estructura a través de un espesor de suelo blando o dentro de agua, hasta un estrato de suelo resistente, que garantice el apoyo adecuado.
- Transmitir la carga a una cierta profundidad de un suelo blando, utilizando para ello la fricción lateral que se produce entre suelo y pilote.
- Compactar suelos granulares (como arenas y gravas), con fines de generación de capacidad de carga; el limo y la arcilla, también se pueden compactar cuando no están saturados, sin embargo cuando lo están, se mueven durante el hincado y extracción de los pilotes en la dirección de menor resistencia, generalmente hacia arriba lo que ocasiona una pobre compactación. Una acomodación de las partículas de un suelo se da al momento de hincar un pilote, ya que se generan ondas de choque y vibraciones bastante fuertes.
- Pueden servir como anclaje lateral a ciertas estructuras (por ejemplo una tablestaca), o resistir las fuerzas laterales que se ejerzan sobre ellas (como en el caso de un puente), utilizando en este caso pilotes inclinados.
- Para proporcionar anclaje a estructuras sujetas a subpresiones, momentos de volcadura o cualquier efecto que trate de levantar la estructura; la resistencia al levantamiento se desarrolla mediante la fricción en los lados del pilote, la capacidad del pilote en este caso también depende de la resistencia a la tensión y de la resistencia a los esfuerzos cortantes del suelo.
- En lo que se refiere al daño que puede sufrir una cimentación por el paso del tiempo, generalmente estos son bastante resistentes ya que normalmente alcanzan profundidades en las que los efectos de erosión, socavaciones y otras acciones nocivas a la estructura, ya no interactúan directamente en ella; aunque claro que no se descarta la acción destructiva de estos agentes y principalmente cuando una parte del pilote se encuentra a la intemperie.
- Pueden ser utilizados para proteger estructuras marítimas, tales como muelles, o atracaderos, contra el impacto de pequeñas embarcaciones o contra objetos flotantes, etc.

Como los pilotes trabajan generalmente a compresión y la relación de esbeltez (largo entre ancho) es grande (mayor que 10), estos requieren soporte contra el pandeo abajo del nivel de desplante de la estructura; este soporte lo proporciona el mismo suelo al tener un efecto de compresión lateral sobre dicho pilote (confinamiento), aún siendo un todo moderadamente denso, una arcilla o un limo suave; pero si los pilotes pasan a través de agua o de suelo fluido, entonces se deberán proyectar como columnas largas, tomando en cuenta las posibles fuerzas laterales que podrían ocasionar un colapso en la estructura. A veces puede ser necesario (para ciertos casos) topes laterales y apuntalamientos sobre el nivel del suelo entre las cubiertas y los pilotes, además de que también puede existir si es posible algún tipo de apuntalamiento lateral.

Las dimensiones transversales de los pilotes están comprendidas entre 30 cm y un metro de ancho y aunque este rango es bastante amplio, generalmente se fabrican con dimensiones de 30 a 60 cm.

III.2.- Definición De Pila, Cilindro y Cajón De Cimentación

Hemos estado hablando de pilotes pero en algunos casos en particular se utilizan otros tipos de elementos estructurales denominados pilas, que al igual que los pilotes tienen como finalidad la transmisión de cargas de una estructura al subsuelo; estos elementos tienen una relación de esbeltez comparada con la de los pilotes muy pequeña. La sección transversal de una pila sobrepasa el metro de ancho, pero no excede el doble o triple de ese valor, mientras que la profundidad de desplante también es menor.

Aunque en algunos casos las pilas son los elementos que sirven para sostener la estructura de un puente, también se utilizan en otro tipo de obras; sin embargo para algunos profesionistas la pila es simplemente un elemento que trabajando igual que una zapata, transmite cargas a mayor profundidad que la que suele considerarse en aquellas; y que es colada con concreto o construida de mampostería en el lugar donde funcionara.

En ocasiones se requieren elementos de mayor sección que los anteriores a los que se les da el nombre de cilindros (cuando tienen esta forma geométrica) o cajones de cimentación cuando son paralelepípedos; los diámetros de los primeros suelen oscilar entre 3 y 6 metros, construyéndose huecos con la finalidad de ahorrar material y disminuir el peso. Estos cilindros son construidos a base de concreto y para que funcionen correctamente se les incrusta un tapón de acero en la punta.

Los cajones tienen anchos similares, también son huecos y se construyen de concreto en forma de paneles, (fig.3).

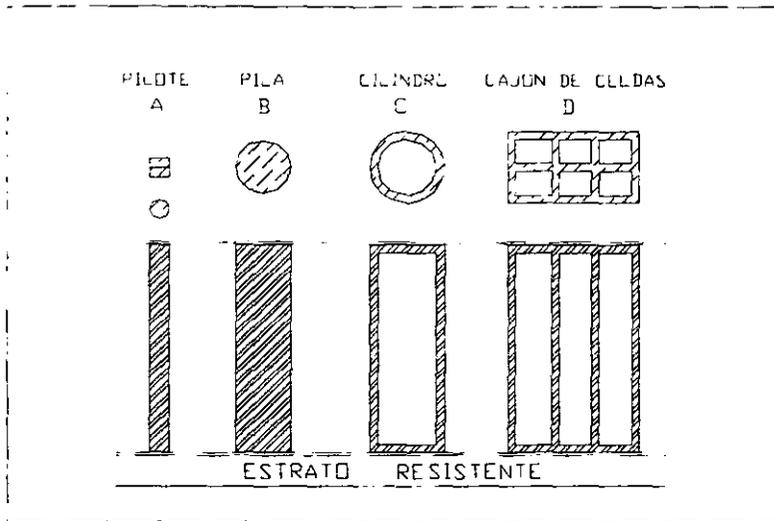


Fig. 3

III.3.- Clasificación De Pilotes

La clasificación que se expone es muy general, basada esencialmente en los materiales que se utilizan para su construcción y en algunos casos por su forma de construcción. Podemos mencionar que entre los pilotes clasificados por el material de fabricación podemos tener:

- De Madera
- De Concreto
- De Acero
- Mixtos

Por su forma de construcción:

- Precolados
- Colados in Situ

III.3.1.- Pilotes de Madera

Son uno de los elementos de transmisión de cargas al subsuelo más antiguo y que en antaño fue un tronco o estaca introducida en el terreno para interceptar capas mas profundas, se empleaba para su colocación un aparato llamado "Martinete" o "Machina" muy poco diferente de los actuales, excepto porque su fuerza motriz era menor, (fig. 4).

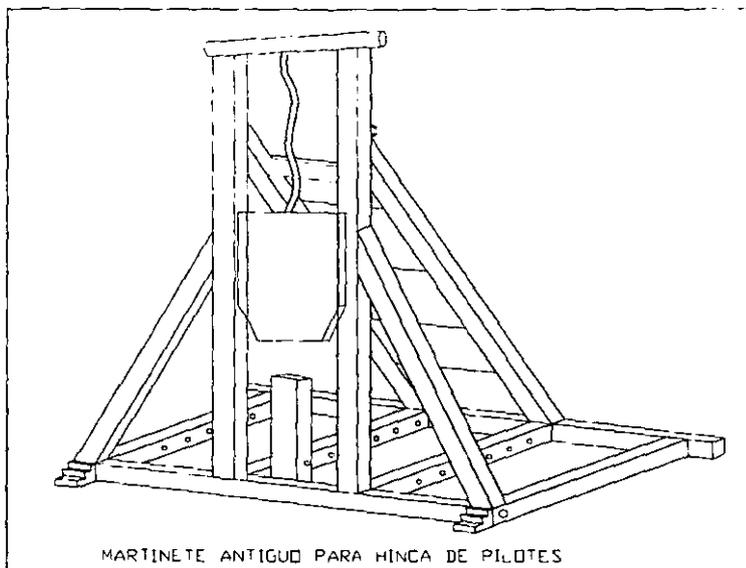


Fig.4

Aunque actualmente se siguen usando en menor escala, enterrados por debajo de la capa frática se conservan en general durante varios siglos muy satisfactoriamente como lo demuestran algunos monumentos de la antigüedad; pero en otros casos su vida útil es muy corta debido a la pudrición que pueden sufrir (ocasionada por hongos), y al ataque de insectos o animales perforadores, principalmente cuando se encuentran a la intemperie.

Cuando se requiere utilizarlos es recomendable emplear madera que por su especie sea inatacable y resistente; pero si no se dispone de ella, se puede usar madera tratada. Los pilotes de madera son relativamente flexibles y tienen alta resistencia al impacto, por eso muchas veces se emplean para muelles pequeños, embarcaderos de transbordadores, defensas y delfines; el golpe fuerte puede fracturarlos y astillar la punta, por lo tanto no se deben emplear cuando sea necesario hincarlos a través de roca, relleno de roca, o de otros obstáculos; pero, si es necesario puede emplearse un azuche de acero para proteger la punta. Este se debe adelgazar de manera uniforme del tope a la punta, además de que, una línea recta del centro de la cabeza al centro de la punta nunca debe caer afuera del mismo; ya que si no esta derecho puede pandearse o astillarse durante el hincado.

En la actualidad el pilote de madera, ha quedado restringido a pocos casos ya que con la escasez que se está dando de buenas maderas, su costo se ha elevado bastante y cada vez es más difícil conseguirlos de tramos razonables, además de que existe un peligro latente en su utilización debido a su alta combustibilidad y al empalme que es posible pero inseguro y poco práctico (fig. 5).

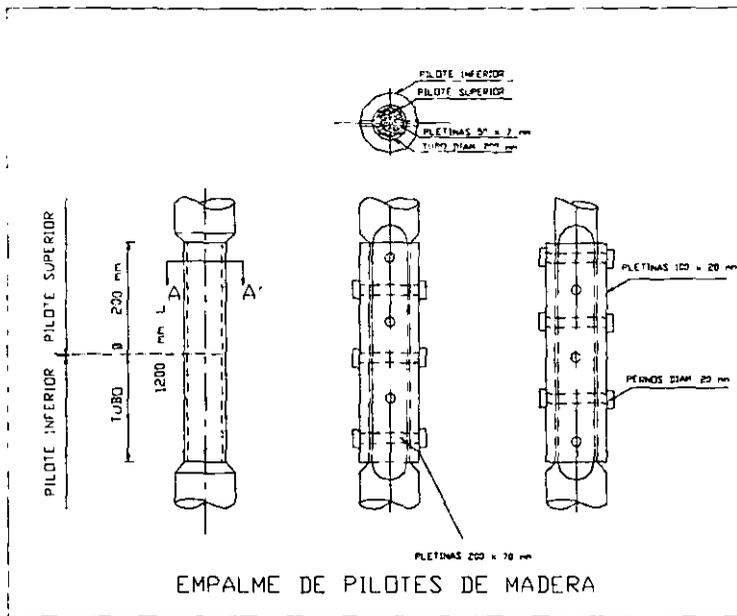


Fig. 5

III.3.2. - Pilotes De Concreto

Después de que empezó a usarse el concreto como elemento más común para la conformación de construcciones, se tuvo la idea de aplicarlo en la fabricación de pilotes, los cuales inicialmente fueron una imitación de los de madera, teniéndose antecedentes de que los primeros pilotes de este tipo se utilizaron en 1897 por Hennebique en las cimentaciones de las fábricas de Babcock-Wilcox; pero en la actualidad es tal su uso y comercialización que se fabrican de secciones:

- Rectangulares
- Cuadrados
- Circulares
- Tubulares

Los pilotes de concreto también pueden ser clasificados por el lugar de su construcción, por tal motivo podemos tener:

- Precolados
- Colados IN SITU

III.3.2.1.- Pilotes Precolados

Los pilotes precolados se fabrican en un lugar diferente al que quedarán clavados permanentemente; durante la hincada estos pilotes soportan considerables esfuerzos debiendo construirse con un concreto de gran calidad; a partir de cierta longitud necesitan una armadura de flexión importante para su transportación y manejo; deben fabricarse sobre una superficie de almacenamiento que ocupa bastante espacio y no pueden hincarse, normalmente, hasta los 28 días de su elaboración, además no son de uso práctico salvo si el techo de grava sobre el que reposan, es homogéneo y prácticamente horizontal, en caso contrario su longitud puede oscilar en varios metros.

Las longitudes requeridas se deben determinar con bastante exactitud antes que se cuelen; ya que el recortar los que resultaron demasiado largos es crear desperdicio y es costoso, mientras que empalmar los que son demasiado cortos es tardado y costoso; otra desventaja de este tipo de pilotes es la posibilidad de daño cuando se hincan a través de piedra-bola, ya que la porción inferior puede desquebrajarse o la punta astillarse y el daño puede pasar inadvertido; pero los pilotes precolados son mejores para muelles, y malecones principalmente por la dificultad de colocar el concreto en aguas abiertas. Cuando estos se construyen de concreto de alta resistencia, no se dañan fácilmente y pueden usarse como pilotes de tensión, así como de fricción y de punta, logrando inmediatamente después de colocarlos soportar las cargas completas de proyecto y por tanto, pueden usarse para soportar las cargas de erección; el pre-esforzado especialmente es deseable para el caso de pilotes expuestos, pues evita la presencia de cuarteaduras que podrían exponer el acero de refuerzo a influencias corrosivas; debido al peso de estos pilotes, en general es deseable usar un martinete pesado con golpes de caída cortos para hincarlos.

III.3.2.2.- Pilotes Colados In Situ

Los pilotes colados In Situ como su nombre lo dice son pilotes que se cuelan en el lugar donde quedarán clavados permanentemente, dentro de estos se tienen los pilotes de "extracción" y los de "desplazamiento"; para construir los primeros se extrae un cierto volumen de suelo, quedando así formado el agujero que se rellena de concreto; contrariamente en el pilote de desplazamiento, se fuerza al terreno hacia los costados para abrir el mismo agujero; los pilotes de concreto son los más ampliamente usados en la actualidad, y en especial los pilotes colados en el lugar ya que con esto se evitan gastos innecesarios como por ejemplo el generado por la transportación y riesgos de falla que se pueden dar en el hizado o en el traslado de los mismos.

También podemos decir que los pilotes colados In Situ se construyen:

- Sin Ademe Permanente
- Con Ademe Permanente

Los primeros se usan donde no existan derrumbes o se cierre la excavación previa que se haga para la construcción del pilote, en donde el agua no anegue a la misma y en donde no se perjudique a un pilote recién construido al efectuar las excavaciones para los pilotes vecinos, y los segundos en los otros casos; este tipo de pilotes tiene la ventaja de no precisar espacio de almacenaje, ni equipo para su manejo, además, como ya se dijo no están sujetos a daños por maniobras de manejo o por hincado.

III.3.2.3.- Pilotes Colados In situ Sin Ademe Permanente

A continuación se describen brevemente los tipos más comunes de pilotes colados en el lugar sin ademe permanente:

a).-Pilote McArthur (Pilote Western)

Se construye hincando un ademe circular con un embolo colocado en la parte inferior, posteriormente se retira el embolo y se llena el ademe de concreto; enseguida, se extrae el ademe por tracción, asegurando al concreto con el peso del embolo, para evitar que sea arrastrado hacia afuera. Se pueden construir hasta de 60 centímetros de diámetro, siempre y cuando el concreto no ceda lateralmente cuando sea presionado (fig. 6)

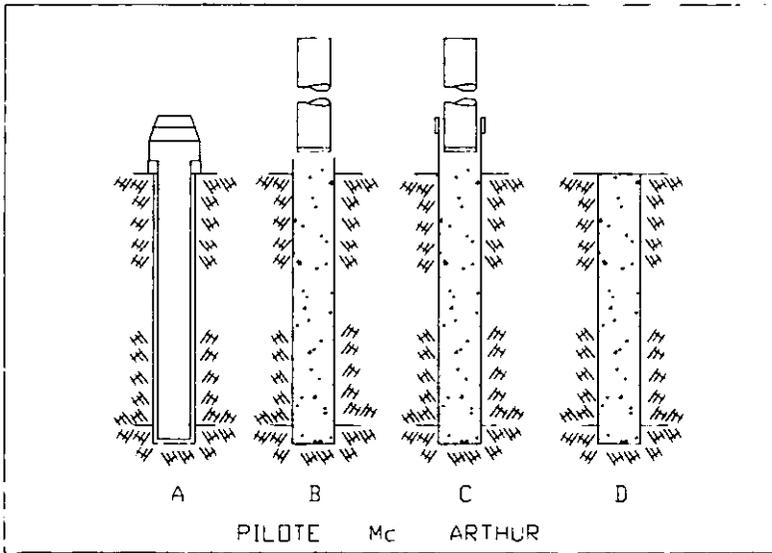


Fig. 6

b).- Pilotes De Concreto Comprimido Con Base Ampliada

El equipo utilizado incluye un ademe tubular hueco, con un embolo interior que ajuste bien, los cuales se hincan por medio de un martinete, a continuación se levanta el embolo hasta retirarlo del ademe y se llena a una cierta altura con concreto, asegurándolo con el embolo; posteriormente se rehince el ademe, con el embolo (llevándolo hasta el fondo a través del concreto fresco), con lo que se produce la ampliación de la 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 (fig. 7).

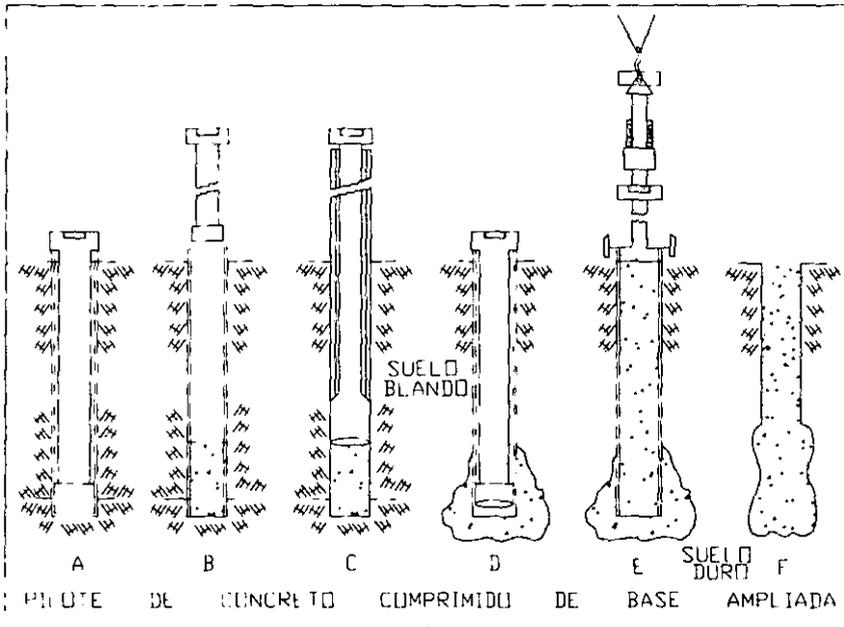


Fig. 7

Estos pilotes se utilizan cuando el estrato resistente es relativamente delgado y poco profundo; ya que la base ampliada da menores esfuerzos de contacto, haciendo el papel de una zapata, también se utilizan para lograr un buen apoyo en estratos de roca muy inclinados.

c).- Pilotes Simplex

Este tipo de pilotes se hinca en suelos blandos o relativamente duros, se requiere que al retirar el ademe quede formado un buen molde para el vaciado de concreto, se construye mediante la hincada en el suelo de un tubo de acero normalmente de 40 cm. de diámetro y de 5 cm. de espesor, el tubo se hinca en el lugar llevando en su parte inferior un azuche de fierro fundido que lo cierra completamente; una vez hincado, el tubo es retirado por partes y al mismo tiempo se rellena de concreto que se presiona mediante un pisón.

El pilote puede ser también armado longitudinalmente una vez llegado a la capa resistente, este pilote tiene la ventaja de que el apisonamiento del concreto hace que este se incruste lateralmente en las irregularidades del terreno; con este tipo de pilotes se puede llegar hasta los 15 metros; en el caso de que el suelo no garantice, la consistencia de dicho molde deberá de colocarse un ademe interior ligero (fig. 8).

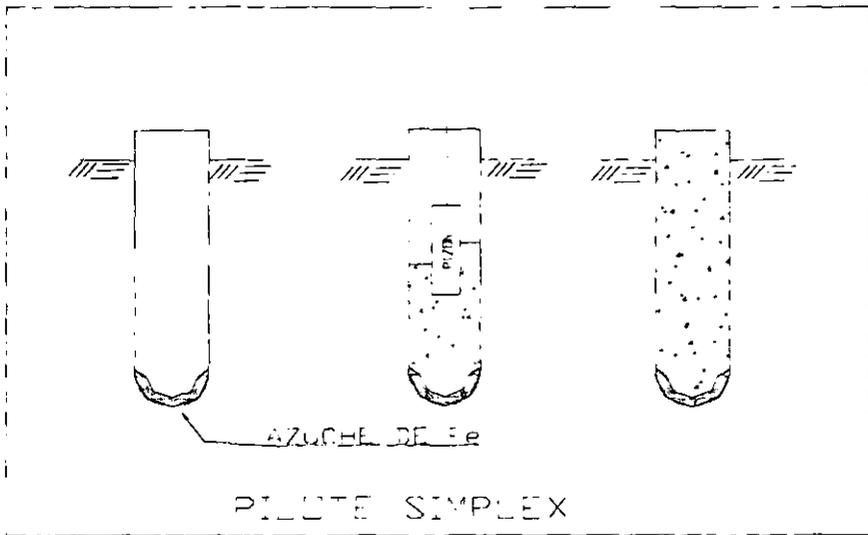


FIG. 8

d).-Pilote Vibro

Estos se construyen en suelos blandos o relativamente duros, con la condición de que el concreto no se difunda por sus costados, se fabrican de concreto reforzado, con un armado que usualmente se da por especificación, su construcción es análoga a la del pilote simplex; la extracción del tubo y la formación del pilote se logran por medio de golpes del martillo hacia arriba y hacia abajo.

En el golpe hacia arriba, el ademe sube algo y una parte del concreto que lo llena fluye hacia abajo y lateralmente para llenar el espacio anular dejado por la parte del ademe que se movió; durante el golpe hacia abajo el ademe y la columna de concreto actúan como un pisón que compacta al concreto, el golpe hacia abajo es menor para que en cada serie el ademe vaya "saliendo".

III.3.2.4.- Pilotes Con Ademe Permanente

Estos se utilizan generalmente en donde surgan los inconvenientes que ya se mencionaron anteriormente; el material con el que se construye el ademe por lo común es de lamina delgada corrugada y va colocado dentro del ademe de hincado, más pesado, que posteriormente se remueve; frecuentemente, la falta de confinamiento lateral seguro hace necesario usar pilotes de concreto reforzado; estos varían muy poco de los ya mencionados anteriormente, pero es conveniente describir algunos tipos de interés especial.

a).- Pilotes Button-Bottom

Se utilizan cuando se desea un incremento en el área de apoyo del pilote, estos se han llegado a desplantar a 30 metros de profundidad, soportando cargas del orden de 50 ton. o más. Hincando el ademe exterior hasta la profundidad deseada, llevando en su extremo una zapata independiente de concreto precolado, que se pierde en cada pilote, se introduce el ademe corrugado que quedara permanentemente hasta el fondo; este se fija a la zapata por un dispositivo especial que atomilla ambas partes, posteriormente se rellena de concreto y se extrae el tubo de hincado sin peligro, gracias a que el ademe esta ya fijo (fig. 9).

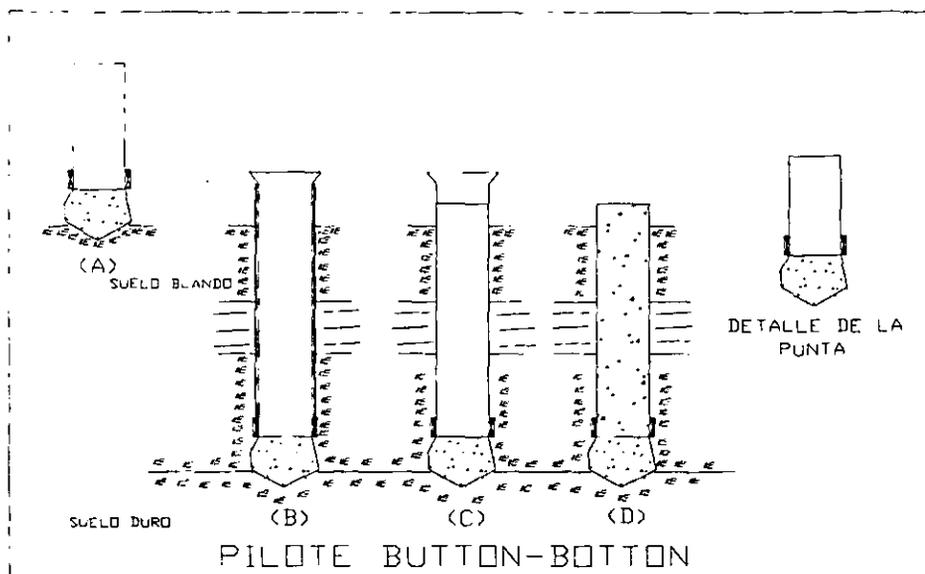


FIG. 9

b).- Pilotes Raymond

La firma Raymond Concrete Pile Company, de Nueva York, ha perfeccionado un tipo de pilote que lleva su nombre y que constituye una funda de acero delgada y cerrada en su punta mediante un azuche de acero; estos pueden trabajar de punta o por fricción y en cualquier clase de suelo; el ademe corrugado es hincado por medio de una pieza llamada "Mandril" que penetra en su interior, adoptando su forma y que se extrae una vez alcanzada la profundidad deseada; una ventaja que tiene este tipo es de que puede ser inspeccionado una vez colocado y antes de ser relleno con concreto, que puede ser simple o reforzado.

Las fundas se hacen de acero laminado y van reforzadas internamente con una espiral de alambre, la camisa o funda de acero de este pilote resiste fácilmente la presión del terreno generada durante el clavado, y protege al concreto fresco, de sufrir deformaciones y de toda contaminación con el terreno adyacente debido a las presiones desarrolladas al clavar los pilotes vecinos. Varios años después de haber iniciado el uso de este tipo de pilote y por la poca longitud que tiene, se hizo necesario el diseño de uno que tuviera una mayor longitud, por lo cual en 1931 esta compañía diseñó el pilote que actualmente se conoce como Raymond Escalonado. Este se instala igual que el anterior con la diferencia de que las fundas de estos pilotes se fabrican de 1.25, 2.50 y 3.50 metros y llevan un acanalado especial; un anillo especialmente forjado se solda a la parte inferior e interior de cada funda, y es en esos anillos de acero donde se apoyan en cada sección del pilote, durante el clavado, al mandril, transmitiendo así los golpes del martillo a todo el pilote.

III.3.2.5.- Pilotes Hincados a Presión o Preexcavados

a.- Pilotes Preexcavados

Este tipo de pilotes son sumamente ventajosos cuando se trabaja con suelos en los cuales al hincar un pilote de otro tipo este desplaza horizontalmente el material que conforma dicho suelo lo cual puede perjudicar a otros pilotes que ya fueron hincados previamente; también se utilizan cuando ya existe un gran número de pilotes juntos, ya que se puede levantar o desplazar alguno de ellos al momento de hincar uno; este método es cómodo cuando se necesita aumentar el área transversal del pilote ya que nos permite construirlos de gran diámetro; se utilizan en terrenos cohesivos donde no caerá tierra o agua dentro de la perforación.

Aparte de las ventajas ya mencionadas que tiene este tipo se cuenta con una buena economía de material, instalación rápida, menos ruido y por lo tanto menos vibración que en el hincado de otros pilotes, además de que se puede realizar una inspección visual de la perforación completa antes de colarlo; las perforaciones pueden hacerse con barrenos o con perforadoras, de tipo cubeta.

El procedimiento que se utiliza se basa en la hincada de un tubo de acero con punta biselada hasta el estrato de apoyo, se extrae el tubo con el material que quedó en su interior; el material se vacía elevando el tubo y colocando un mandril fijo en su extremo superior que impida que el material suba con el tubo, después se vuelve a meter el cilindro con el mandril en su interior hasta el nivel de apoyo; se extrae el mandril y se llena el cilindro de concreto y enseguida se presiona el mandril sobre el concreto y se extrae el tubo. Si el hueco de la excavación se cierra al sacar el tubo o si hay dificultades de hincado al tratar de meter el tubo, puede trabajarse con 2 tubos, uno dentro del otro retirando en tramos el interior, vaciándolo y volviéndolo a hincar; durante estas operaciones el tubo exterior actúa como ademe, que puede finalmente retirarse o ser dejado permanentemente (fig. 10).

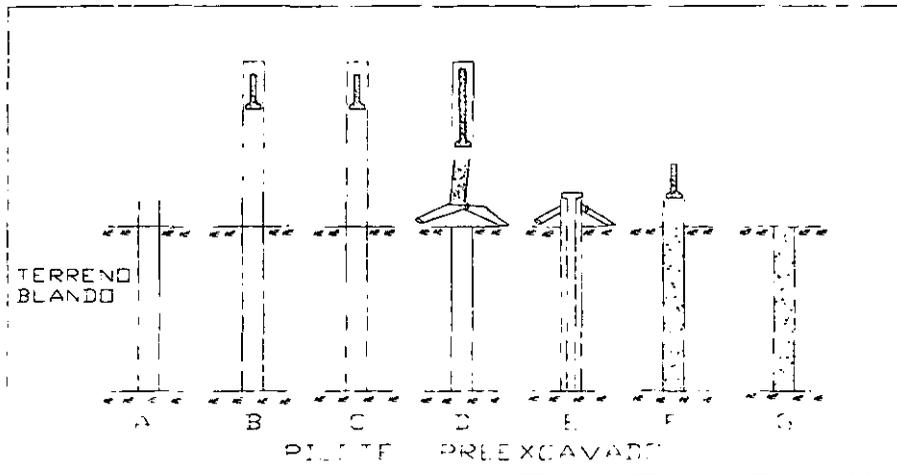


Fig. 10

b.- Pilotes Miga

Estos son pilotes hincados a presión en pequeños tramos de unos 50 centímetros de longitud, son muy útiles en trabajos de recimentación y en el que se disponga de poco espacio de maniobra; las secciones generalmente rectangulares o circulares tienen un hueco en el centro de unos 8 centímetros de diámetro; este hueco sirve tanto para verificar la construcción del pilote, como para armarlo al final 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 hidráulico para lograr su hincado; en trabajos de recimentación la reacción que se necesita para el gato la proporciona la misma estructura; hincada la primera sección se le une una segunda por medio de un collar de acero, repitiéndose esta operación el número de veces que sea necesario.

c.- Pilotes Franki

Estos pilotes tienen la ventaja de poseer una base ampliada de modo que transmiten esfuerzos menores, a misma carga, lo que es conveniente si el estrato resistente no es de mucho espesor; otra ventaja radica en no precisar gran espacio de maniobra, pues el martillo de hincado corre solo dentro del tubo que sirve de ademe al pilote. Estos se construyen colocando la primera sección del tubo de hincado sobre la superficie del suelo, parcialmente llena con una carga de concreto seco; a continuación, se golpea el concreto con un martillo de caída libre haciéndolo penetrar en el suelo seguido del tubo; una vez que se ha 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 más concreto, siempre golpeando con el martillo, así se forma la base ampliada del pilote, posteriormente se sigue vaciando concreto en el tubo y se continúa golpeando con el martillo a la vez que se extrae lentamente el tubo.

d.- Pilotes Hincados Por Rotación

Son pilotes de concreto con un agujero longitudinal en el que se aloja una barra, y en cuyo extremo inferior, fuera del pilote va una hélice del diámetro mayor que el del pilote. Por rotación, dicho pilote alcanza el nivel deseado, tras lo cual se retira la barra y se llena el agujero del pilote con concreto; perdiéndose la hélice en cada pilote.

III.3.2.6.- Pilotes de Control

Este sistema fue ideado por el Ing. Manuel González Flores con el fin de usar a su máxima capacidad y en forma controlada toda la resistencia que pueda proporcionar el conjunto terreno-pilote, este es un sistema ideado como solución práctica y eficiente a las extraordinarias dificultades que para la cimentación de edificios presentan los suelos de México, Tokio y muchos otros lugares del mundo; el suelo de una extensa área de la ciudad de México está formado por arcillas volcánicas altamente compresibles separadas por capas, relativamente delgadas de arena.

Tomando en cuenta lo anterior es fácil explicarse el hecho de que los edificios cimentados por superficie en la ciudad de México, sufran grandes asentamientos debido a que el terreno se deforma considerablemente al perder el agua que contiene, además se explica fácilmente que en edificios cimentados sobre pilotes de punta, el terreno se vaya reduciendo en espesor por la pérdida de agua que sufre con el bombeo para obtener agua potable y los pilotes no pudiendo seguir dicha reducción, van sobresaliendo juntamente con el edificio que sostienen quedando éste desnivel respecto a las banquetas, aceras, calles y demás edificios bien marcado; este efecto lo podemos observar en el monumento a la Independencia, Catedral y en la Alameda.

Con el propósito de evitar los efectos anteriores el Ing. Manuel González Flores ideó estos pilotes, radicando la diferencia esencial entre estos y otros fijos en que en estos últimos el edificio se apoya directamente sobre la cabeza del pilote quedando éste abajo de la cimentación del mismo edificio, sin que exista un acceso posible para poder aumentar o disminuir la carga que soporta; mientras que el pilote de control atraviesa la cimentación generalmente al costado de las trabes y muy cerca de las columnas, con la ventaja de que se puede desplazar verticalmente con la propia cimentación.

Resumiendo el funcionamiento de estos pilotes podemos decir que la estructura siempre se encuentra apoyada en el piso ya que como se vio anteriormente, en los pilotes de punta al descender el nivel frático el pilote como esta apoyado en una capa resistente, ya no puede descender quedando por encima del nivel de piso lo que ocasiona que el terreno se adhiera al mismo, sobrecargándose con el volumen de suelo adherido (fig. 11).

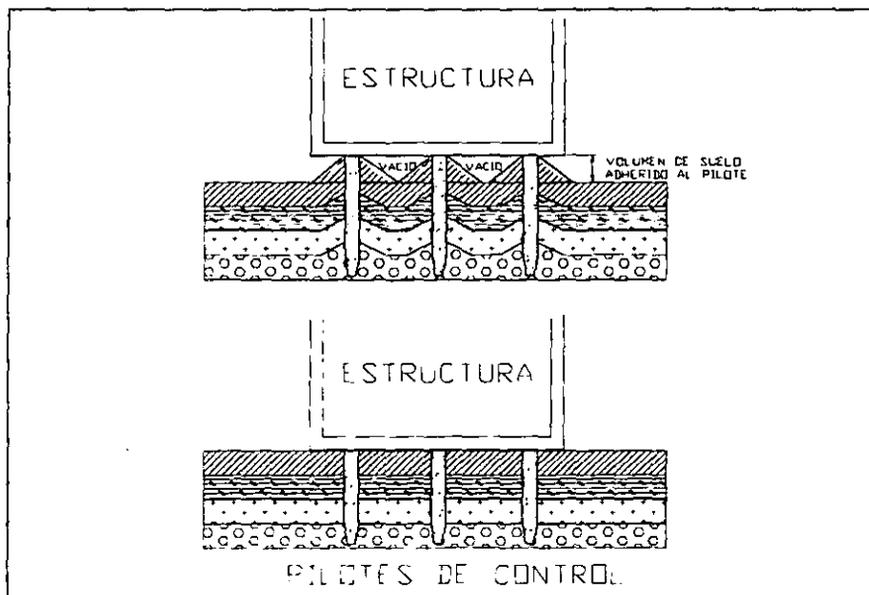


Fig. 11

En cambio el pilote de control por su mismo sistema puede ir descendiendo o ascendiendo evitando que el suelo se adhiera al pilote cargando este únicamente el peso de la estructura.

Estos pilotes son en esencia, de punta, del tipo que atraviesa 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-deformación especiales (fig. 12).

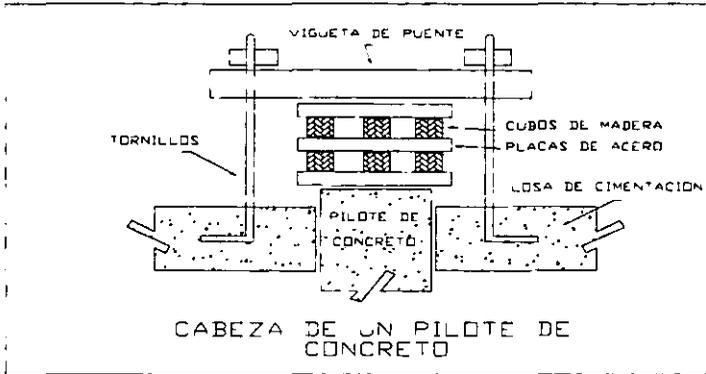


Fig. 12

El mecanismo arriba descrito tiene como finalidad hacer trabajar al pilote a la carga que se desee, claro está, siempre menor que la carga de falla; cada cubo de madera tiene una gráfica esfuerzo-deformación con un rango plástico amplio como la que se muestra (fig. 13).

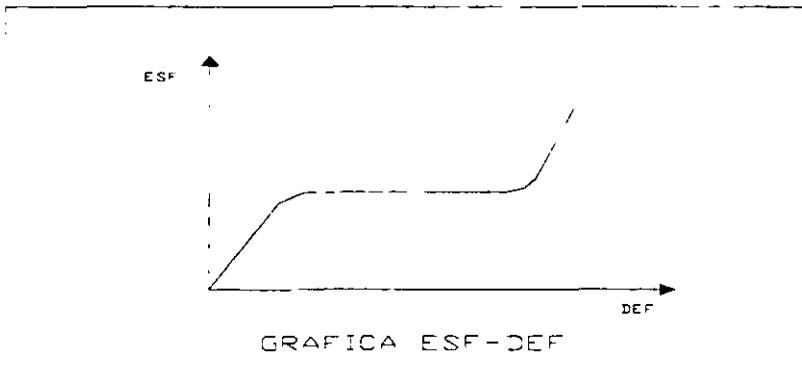


Fig. 13

III.3.3.- Pilotes de Acero

Este tipo de pilotes se construye predominantemente y en algunos casos como único material, de acero; se forman de tubo o con secciones H, los de sección tubular se colocan en el terreno hincándolos o presionándolos y pueden tener su punta tapada o ser abiertos, suelen rellenarse con concreto una vez que se alcanza la profundidad de desplante, y es común que sean compuestos por secciones unidas entre sí por juntas especiales o soldadas, con esto se logra una ventaja de maniobrabilidad y menor requerimiento de espacio para colocarlos.

Se ha dicho con frecuencia que estos pilotes son apropiados para ser hincados a golpes a través de suelos más o menos duros en los que es difícil el hincado de pilotes de concreto, aún con ayuda de chiflonaje; sin embargo por las experiencias vividas se han encontrado serios problemas en obras donde se esperaba que funcionarían satisfactoriamente; los tubos cerrados en su extremo resultan tan difíciles de hincar como un pilote de concreto, aunque resistan más y por consecuencia, golpes más enérgicos de un martinete; en los tubos abiertos, con un suelo algo duro el material va penetrando durante el hincado dificultándose grandemente esta operación.

Los pilotes de sección tubular son buenos para soportar cargas grandes, y pueden funcionar de punta o de fricción ahorrando así muchos Pilotes de concreto en estructuras pesadas; una ventaja de los pilotes de acero de punta es su poco desplazamiento de suelo durante el hincado; esto permite que se hincen cerca de estructuras, donde los pilotes de alto desplazamiento no son aconsejables debido a las vibraciones y ondas de choque; además de que son menos pesados que los de concreto.

Estos pilotes se corroen cuando se exponen al aire, al mojado y secado sucesivos, a los ácidos o a la electrólisis, por lo cual se deberán proteger por algún método apropiado, como por ejemplo con pintura o mastique bituminoso; los pilotes de acero de sección H, debido a su pequeña área transversal y a su gran resistencia son adecuados para penetrar materiales duros, en los que los otros tipos darían problemas de hincado, también son adecuados en lugares en los que no se desea tener grandes desplazamientos del suelo a causa del hincado; son capaces de soportar grandes cargas cuando están debidamente apoyados y casi no necesitan espacio para almacenarlos; en ocasiones estos pueden deformarse o dañarse por lo que se recomienda que las alas y el alma se protejan en la punta con un azuche o con placas soldadas; este tipo de pilotes se utiliza muy frecuentemente en, malecones, puentes y defensas de muelles.

III.3.4.- Pilotes Mixtos

Existen bastantes posibilidades de combinar los distintos tipos expuestos anteriormente, por ejemplo, la circunstancia de que los pilotes de madera tan sólo se conserven bien bajo la capa fríatica ha hecho que existan muchos pilotes formados por un trozo de madera terminado con concreto, en la parte que se encuentra en contacto con la capa fríatica; a estos pilotes se les llama compuestos, por que se forman con la unión de 2 o 3 materiales seleccionados siempre entre madera, concreto y acero, también caen dentro de esta denominación los pilotes de concreto formados por una parte precolada y otra colada en el lugar.

Actualmente podemos decir que los pilotes compuestos más usados y aceptados son los de concreto-acero, construyéndose de diversas formas, ya sea utilizando un tubo el cual se rellena de concreto, pilotes de concreto con refuerzo longitudinal de acero para resistir los esfuerzos de flexión, o una sección I ó H recubiertos de concreto. Pueden ser pilotes de concreto con puntas de acero para proporcionar mayor facilidad de penetración, o con una espiral de refuerzo de acero, en algunas ocasiones el acero se utiliza para formar placas de unión para pilotes de madera o concreto o ambos; el costo y la dificultad para obtener estas placas en la actualidad es aceptable y su construcción es sencilla; pero la calidad y la seguridad de la cimentación radica en la seguridad de la unión entre uno y otro (fig. 14).

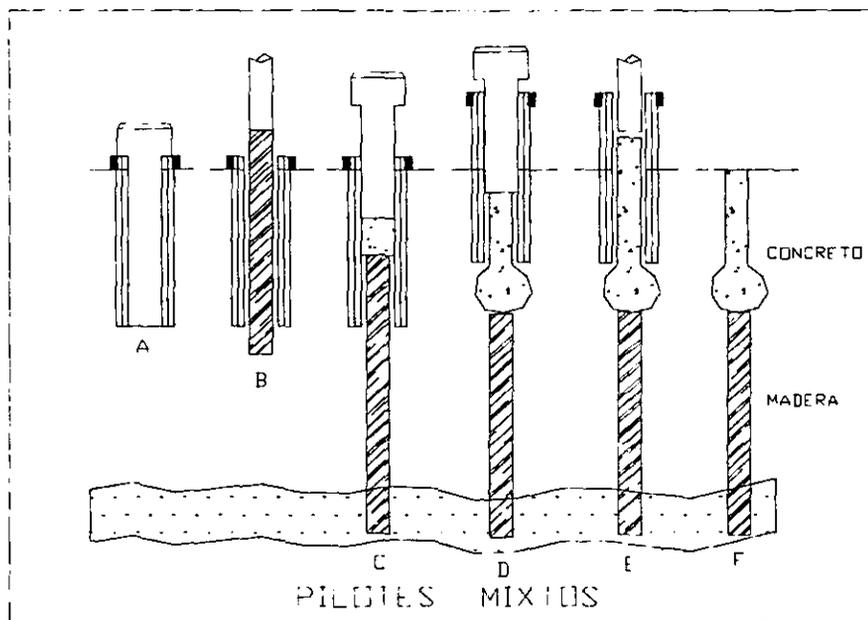


Fig. 14

III. 4.- Capacidad de Carga de Pilotes

Para determinar la capacidad de carga en pilotes aislados se puede recurrir a los siguientes métodos:

- Pruebas de Carga
- Método Estático
- Método Dinámico

Estudiaremos lo más general e importante de cada uno de estos métodos, ya que los factores de incertidumbre en los procedimientos, en la utilización de fórmulas, o en las características del suelo, han traído como consecuencia la existencia de muchas fórmulas (principalmente dinámicas) y muy variados tipos de pruebas, los expuestos aquí no son los únicos métodos que se utilizan.

III.4.1.- Pruebas De Carga

Un método bastante preciso para estimar la capacidad de carga de un pilote individual en un cierto lugar, es el de aplicar cargas a un pilote de prueba que es clavado en el suelo que esta en estudio, el inconveniente de estas pruebas es el alto costo y el tiempo requerido para realizarlas; esto trae como consecuencia que únicamente sean prácticas en obras de gran volumen o en obras donde se justifique el alto costo, sustituyéndose en obras de menor importancia, por la cantidad que será de menos pruebas en lugares que sean verdaderamente representativos de las condiciones generales del suelo, la elección correcta de tales lugares es de vital importancia para que el muestreo que se realice sea representativo del lugar. El sitio apropiado para efectuar una prueba de carga no siempre es aquel en el que el terreno presenta condiciones más críticas, pues debe contarse también con un proyecto de la distribución de cargas dentro de la cimentación, y en especial sobre los pilotes, número de pilotes que se colocaran y posibles consecuencias que tendría la falla de uno o de un grupo de ellos. Un inconveniente a estas pruebas es que por lo general se aplican a un solo pilote, pero como ya se menciono anteriormente el comportamiento de un solo elemento es muy diferente al comportamiento de un grupo, por lo cual el resultado de las pruebas se tienen que tomar con cierta reserva; ahora bien aunque son muy raras las pruebas en grupos de pilotes, estas existen pero no se utilizan por el alto costo y por lo problemático de aplicar grandes cargas a varios elementos en un instante dado.

Una prueba de carga sobre un pilote consiste en aplicar incrementos de carga estática, midiendo la deflexión o asentamiento del mismo, el dispositivo para aplicar la carga puede tener algunas variantes como por ejemplo:

- 1.- Una aplicación directa de la carga colocando un lastre sobre una placa o plataforma, que este suspendida sobre la parte superior del pilote.
- 2.- Aplicación de la carga por medio de un gato hidráulico cuya reacción la absorba, ya sea, una plataforma lastrada, el peso de una estructura existente, ó una viga de acero anclada al terreno generalmente por medio de otros pilotes, etc.
- 3.- Aplicación de una carga por medio de mecanismos de palanca, usando una viga piloteada en un extremo a la que se carga en el otro extremo (fig. 15).

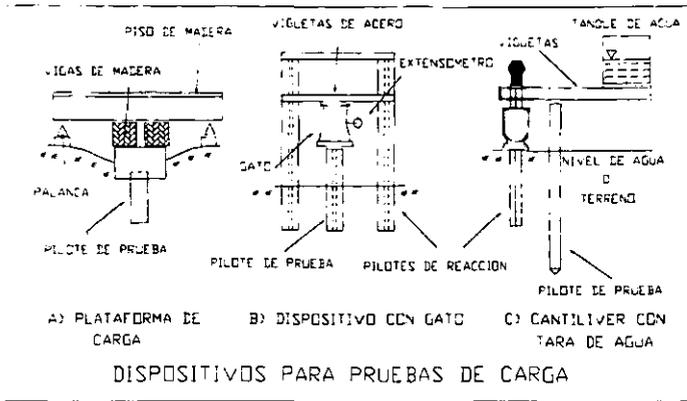


FIG. 15

El lastre suele estar constituido por rieles, lingotes, bloques de concreto, depósitos de agua o simplemente un volumen de tierra; hoy en día la prueba más usada es la que se lleva por medio de gatos hidráulicos, ya que en las otras, los procedimientos pueden llegar a ser bastante engorrosos. Con una prueba de carga puede obtenerse información como:

- 1.- La capacidad de carga última por punta de un pilote, la cual se reducirá por un factor de seguridad, llegando a la carga de trabajo; para separar el valor de la capacidad de carga 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.
- 2.- La capacidad de carga de un pilote por fricción lateral, en este caso 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 permitan valuar la resistencia por punta, independientemente de la resistencia total.
- 3.- El asentamiento del pilote bajo la carga; esto es aceptable cuando el pilote se apoye en suelos no compresibles, en pilotes desplantados en suelos cohesivos o en pilotes de fricción colocados en arcillas blandas, los resultados no son representativos de las características de un pilote que quedara cargado a largo plazo ya que la aplicación de la carga y falla del pilote se lleva a cabo en un tiempo muy corto, mientras que en el pilote real, el tiempo de carga será más largo trayendo con sígo otro tipo de efecto.

En resumen podemos decir que la prueba de carga consiste principalmente en cargar al pilote en varios incrementos, hasta llegar al valor máximo de carga, siendo esta generalmente del orden del doble o en algunos casos hasta del triple (según el proyectista) de lo que será la carga de trabajo, y en medir los asentamientos correspondientes en la cabeza del mismo pilote, y en algunos casos también de la punta (puede hacerse con una varilla unida a la punta del pilote y protegida por un tubo); cada incremento de carga deberá dejarse el tiempo necesario como para que el asentamiento cese prácticamente, el asentamiento que sufre la cabeza del pilote se debe a deformaciones elásticas y plásticas, ocasionadas por la aplicación de carga recuperándose las primeras al retirar la carga, mientras que las segundas ya no lo hacen, siendo estas últimas las que con el paso del tiempo van ocasionando asentamientos excesivos, por lo tanto las deformaciones plásticas serán el objeto de estudio de las pruebas, necesitando la aplicación cíclica en un determinado tiempo de carga y descarga, durante las cuales el pilote llegue a estados de carga máxima cada vez mayores, el tiempo de carga y descarga puede ser muy variable según las características físicas del suelo y los lineamientos que marque el reglamento de construcciones vigente en el lugar (fig. 16).

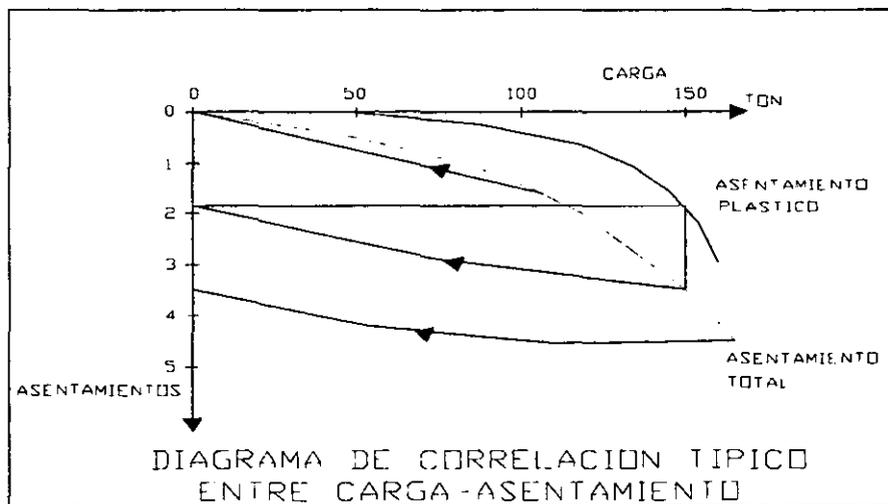


FIG. 16

Los pilotes de prueba, deben ser preferentemente del mismo tipo, e hincados con el mismo equipo y con los mismo requisitos que se pretenden establecer en la obra, todos los detalles pertinentes del equipo y del procedimiento se registran durante el hincado del pilote de prueba, incluyendo los golpes para una penetración dada; o cualquier interrupción en el hincado, como por descompostura del equipo o por empalme del pilote; como ejemplo para el análisis mencionaremos el método de Davissón, que es muy sencillo de interpretar, este método se basa en el análisis del siguiente diagrama: (fig. 17)

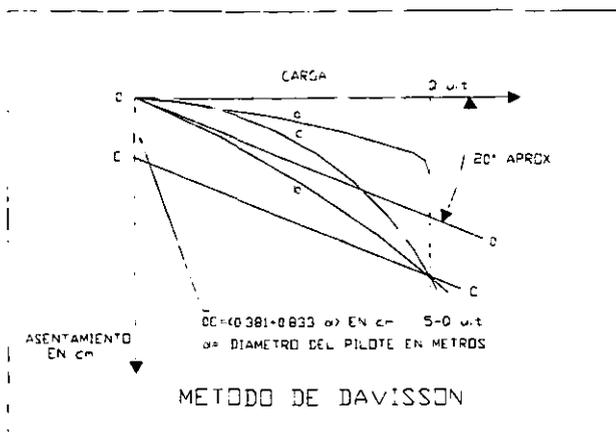


FIG. 17

La deformación elástica del pilote se calcula por medio de la expresión PL/AE , y se dibuja en el diagrama de carga-aseñamiento como línea 0-0'; las escalas del diagrama deben elegirse de manera que la pendiente de 0-0' sea aproximada a los 20 grados bajo la horizontal, la línea auxiliar C-C' se dibuja paralela a 0-0' con una intersección del eje Y o eje de los asentamientos igual a $(0.381 + 0.833d)$ en cm., en la que d es el diámetro del pilote en mts, la intersección es una medida del asentamiento en la punta, necesario para que adquiera la capacidad, por lo tanto la carga última se define como aquella en la que la línea C-C', corta a la curva carga-aseñamiento.

Existen algunas otras reglas que nos permiten obtener la capacidad de carga de un pilote siendo:

- 1.- Se determina la carga para la cual, en 48 hrs. corresponda un asentamiento permanente no mayor de 0.5 cm, y se divide por un $FS=2$, obteniéndose así la carga de proyecto.
- 2.- Se aplica la carga al pilote de prueba hasta que este alcance el doble de la que se desee que soporte el pilote final, esta prueba se considera satisfactoria cuando dicha carga no produzca un asentamiento total neto mayor de 0.025 cm. por cada tonelada de carga aplicada, midiendo el asentamiento al retirar la carga después de 24 hrs de permanencia.
- 3.- Obtenida la curva carga-aseñamientos plásticos trácense tangentes a sus tramos inicial y final, la carga correspondiente a la intersección de los dos trazos será la carga última.
- 4.- Obténgase el punto en el que el asentamiento total comience a exceder de 0.125 cm. por cada tonelada de carga adicional o en el que el asentamiento plástico comience a exceder de 0.075 cm. por cada tonelada de la misma carga.

La carga correspondiente a cualquiera de esos puntos se considera la última del pilote, y para obtener la carga del proyecto, su valor deberá dividirse por 2, si el pilote trabaja bajo cargas estáticas o por 3 si esta sujeto a cargas dinámicas.

III.4.2.- Método Estático

Otra forma de determinar la capacidad de carga última de un pilote aislado es por medio del método estático el cual se basa en la utilización de formulas que evalúan la capacidad de carga última del pilote trabajando de punta, mas la capacidad de carga última del pilote trabajando por fricción, y que sumadas nos proporcionan, lo que conocemos por la capacidad de carga total última resistida por el pilote, esto es:

$$R_t = R_p + R_f$$

en donde:

R_t = resistencia total última del pilote

R_p = resistencia última por apoyo en la punta

R_f = resistencia última por fricción en la superficie lateral del pilote

Aplicando la teoría de cimentaciones superficiales de Terzaghi a las cimentaciones profundas, se puede calcular R_p y R_f , o sea la capacidad última de carga de los pilotes por cuanto al suelo se refiere.

Para el cálculo de R_p se tiene:

- Para Pilotes Cuadrados:

$$R_p = b^2 (1.3CN_c + \gamma D_f N_q + 0.4\gamma b N_w)$$

- Para Pilotes Circulares:

$$R_p = \pi r^2 (1.3CN_c + \gamma D_f N_q + 0.60\gamma r N_w)$$

En donde:

b = Lado de la sección transversal cuadrada del pilote (mts).

r = Radio de la sección transversal circular del pilote (mts).

C = Cohesión del terreno, (Ton/m²)

D_f = Profundidad de la punta del pilote con respecto a la superficie del terreno, (mts).

γ = Peso volumétrico del suelo (ton/m³)

N_c, N_q , y N_w = Factores que dependen del ángulo de fricción interna y que se obtiene de la fig. 18.

Algunos valores del peso volumétrico y de la fricción lateral, para condiciones medias, se pueden obtener de la fig. 19.

En los suelos combinados se pueden determinar, aproximadamente, sus propiedades promediando las que correspondan a los elementos constituyentes.

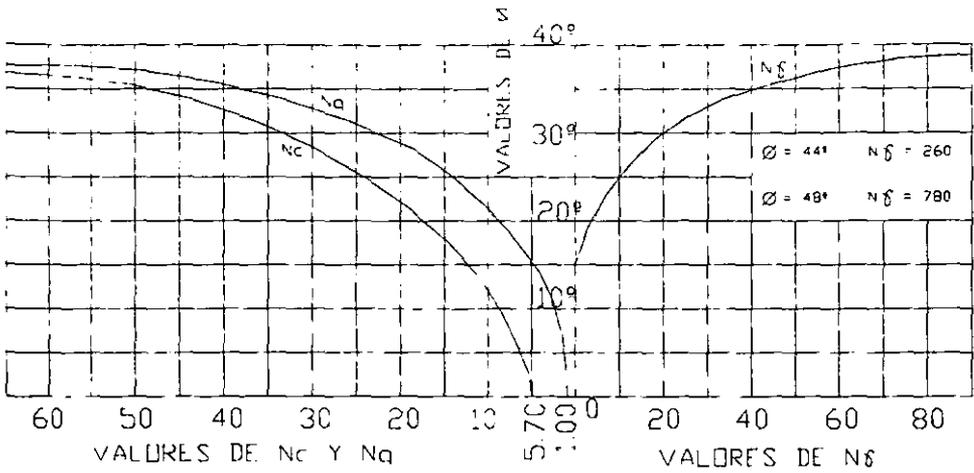


FIG. 18

DESCRIPCION DEL SUELO	PESOS VOLUMETRICOS		
	SECO	SATURADO	SUMERGIDO
	Tm/m ³	Tm/m ³	Tm/m ³
GRAVA HUMEDA	1,70	2,00	1,00
ARENA UNIFORME SUELTA	1,43	1,89	0,89
ARENA UNIFORME DENSA	1,75	2,09	1,09
ARENA GRADUADA SUELTA	1,59	1,99	0,99
ARENA GRADUADA DENSA	1,89	2,16	1,16
MAT. DE ACARREO BIEN GRADUADO	2,12	2,32	1,32
ARCILLA SUAVE		1,77	0,77
ARCILLA RIGIDA		2,07	1,07
ARCILLA ORGANICA SUAVE		1,58	0,58
ARCILLA ORGANICA MUY SUAVE	1,00	1,43	0,43
BENTONITA SUAVE		1,27	0,27

TIPO DE SUELO	FRICC. LATERAL		
	Tm/m ²		
ARCILLA SUAVE Y LIMO	1	A	2
LIMO ARENOSO	2	A	5
ARCILLA RIGIDA	4	A	10
ARENA SUELTA	2	A	3
ARENA DENSA	3	A	10

FIG. 19

Para un calculo preliminar de la sección del pilote se utiliza la tabla de la fig. 20

DIMENSIONES Y ARMADOS ACONSEJABLES

Sección del Pilote	Diámetro en pulgs. de las 4 varillas según las Longitudes siguientes de pilotes					
	8 m	10 m	13 m	15 m	20 m	25 m
25 x 25 cm.	3/4"	3/4"	7/8"			
30 x 30 cm.		3/4"	7/8"	1"	1"	
35 x 35 cm.			1"	1"		
40 x 40 cm.			1 1/8"	1 1/8"	1 1/4"	1 1/2"

REFUERZO LATERAL PARA PILOTES CUADRADOS

Sección del Pilote	Diámetro de los estribos	Espaciamiento de estribos
25 x 25 cm.	3/16"	9 cm.
30 x 30 cm.	3/16"	8 cm.
35 x 35 cm.	1/4"	15 cm.
40 x 40 cm.	1/4"	10 cm.

FIG. 20

Para el calculo de R_f , se tiene:

$$R_f = A_1 F_1 + A_2 F_2 + A_3 F_3 + \dots + A_n F_n$$

En donde:

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n =$ Area lateral del pilote en los estratos 1, 2, 3, ..., n

$F_1, F_2, F_3, \dots, F_n =$ Valor último de la fricción en la superficie lateral del pilote en los estratos 1, 2, 3, ..., n

Como se ha podido observar, las fórmulas anteriores dan la capacidad de carga última que puede soportar el pilote, por lo que se refiere a su apoyo en el suelo.

A continuación se resolverá un ejemplo para aclarar cualquier duda que pudiera existir:

Ejemplo 1.- Calcular la carga última que, trabajando de punta y de fricción, puede soportar un pilote con las condiciones que se muestran en la siguiente figura (fig.21), haciendo uso del procedimiento estático.

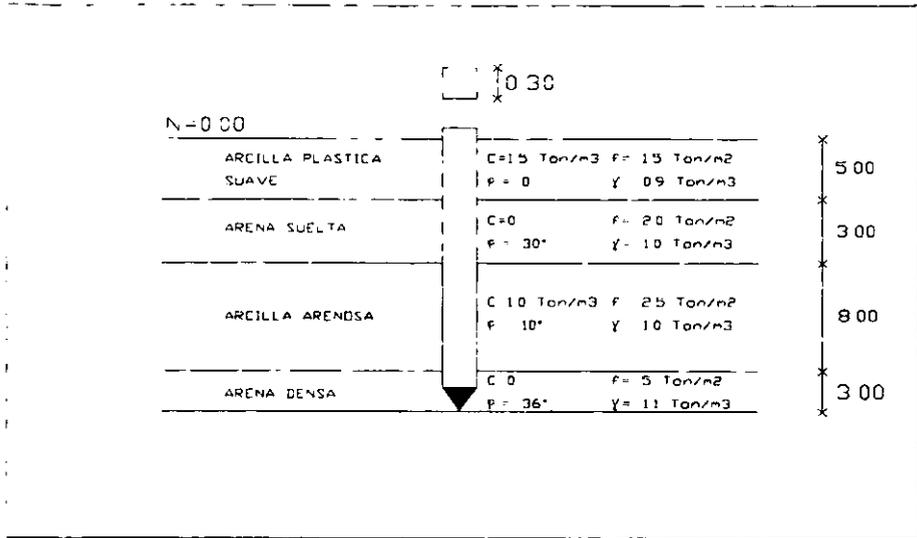


FIG. 21

Se calcularán por separado, las resistencias de punta y de fricción, utilizando las fórmulas correspondientes. Para el dimensionamiento preliminar se supone una sección, (ver tabla guía, fig. 20) y los coeficientes Nc, Nq y Nw que se utilizan en las fórmulas y que se obtienen para el estrato en el cual se apoyara la punta del pilote se obtienen de la fig. 18.

Solución:

Para un ángulo de fricción interna de 35°, que presenta el estrato de arena densa, los valores de los coeficientes antes mencionados son:

$$N_c=58, \quad N_q=43 \quad \text{y} \quad N_w=42$$

a) Resistencia última trabajando de punta el pilote:

$$R_p = (0.3)^2 \{ (1.3 \times 0) 58 + (0.9 \times 5 + 1.0 \times 3 + 1.0 \times 8 + 1.1 \times 3) 43 + (0.4 \times 1.1 \times 0.3) 42 \}$$

$$R_p = 0.09(0 + 808.4 + 5.54) = 0.09 \times 813.94 =$$

$$R_p = 73.26 \text{ Ton.}$$

b) Resistencia última trabajando el pilote por fricción lateral:

$$R_f = 4 \times 0.30 (1.5 \times 5 + 2.0 \times 3 + 2.5 \times 8 + 5 \times 3)$$

$$R_f = 58.2 \text{ ton}$$

c) La resistencia última, trabajando el pilote por punta y por fricción:

$$R_t = R_p + R_f = 73.26 + 58.2$$

$$R_t = 131.46 \text{ Ton.}$$

Este valor como ya se ha dicho es la capacidad de carga última del pilote, por lo que, para obtener la carga de trabajo, o carga admisible del pilote, tiene que dividirse el valor anterior por un factor de seguridad que puede estar comprendido entre 2 ó 3 según el proyectista, nosotros tomaremos un $F_s = 2$, por lo tanto:

$$C_t = 131.46/2$$

$$C_t = 65.73 \text{ Ton.}$$

III.4.3.- Método Dinámico

El método dinámico se basa en el trabajo que se requiere para hincar el pilote con golpes dados por un martinete; en consecuencia, es solamente aplicable a pilotes que se hincan por este procedimiento; los factores que intervienen en la estimación de la capacidad de carga de un pilote por este método son muy diversos y muy complejos, lo que ha hecho que se propongan un gran número de fórmulas semi-empíricas, que no son del todo bastante confiables; ya que sólo proporcionan estimaciones de dicha capacidad. Un axioma que se ha tomado para el desarrollo de estas es el que dice que a mayor resistencia de un pilote al hincado, mayor será la capacidad de carga del mismo, por lo tanto muchos ingenieros han concluido que sería posible calcular la capacidad de carga de un pilote, conociendo la energía aplicada por el martillo y la penetración del pilote por efecto de uno o varios golpes; por lo tanto todas las fórmulas dinámicas comunes igualan la energía aplicada por el martillo al trabajo hecho por el pilote; dicho esto de otra manera, la energía del impacto que es igual al peso del martillo golpeante por su altura de caída libre, es igual al trabajo efectuado durante la penetración del pilote por el impacto.

Energía de Impacto = Trabajo de Penetración + Pérdidas de Energía

A partir de tan sencillo principio, diferentes investigadores han ido complicando las fórmulas a usar, al tratar de tomar en cuenta las pérdidas de energía que se tienen durante la hincada, ya sean por rebote del martillo, deformación del pilote, vibraciones, absorción en el suelo vecino, etc, los resultados que proporcionan todas estas fórmulas incluso pueden tener errores muy considerables, por lo tanto en este sub-tema únicamente se mencionaran las que son más usadas, tienen una estructura sencilla y que son de fácil aplicación, como es la fórmula de:

a). - Engineering News:

En esta fórmula todas las pérdidas de energía asociadas a cada golpe de un martinete de vapor de acción simple, se supone que son equivalentes al trabajo que habría hecho con una penetración de 0.25 cm. contra la resistencia "R", la penetración real "s" y la penetración que se supone perdida:

$$W_h = R(s+0.25)$$

con un $F_s=6$

$$R = \frac{16.68Wh}{(S+0.25)}$$

donde:

- W= Peso del martillo (ton),
- h= Altura de caída (m),
- S= Penetración media del pilote, de preferencia durante los últimos golpes (m),
- R= carga admisible del pilote (ton),
- E= Energía por golpe (ton-m), ó

Para otros martinets de vapor que no sean los de acción simple el numerador se reemplaza por "2E" donde "E" es la energía del martillo por golpe. La estructura original de esta formula en el sistema ingles es:

$$R = \frac{2E}{S+0.1}$$

donde:

- S= Penetración media del pilote, de preferencia durante los últimos golpes, (pulg)
- R= carga admisible del pilote, (libras)
- E= Energía por golpe, (fib-pulg)

- Bostón-Building

$$R = \frac{14.15 E}{S+0.254 \sqrt{(W_p/W_r)}}$$

y en el sistema ingles:

$$R = \frac{1.7 E}{S+0.1 \sqrt{(W_p/W_r)}}$$

donde:

- W_p = Peso del pilote y de los elementos móviles en la hinca
- W_r = Peso de la parte móvil del martillo
(valores mínimos admisible $W_p/W_r=1.0$)

-Formula de Raba

$$R = \frac{M \times F \times D}{S + C} \times \frac{W}{W + (P/2)} \times B$$

Donde:

- R= Capacidad de carga permisible para el pilote en libras, con un factor de seguridad de 2, aproximadamente
- M= Factor de eficiencia del martinete
- F= Energía nominal indicada por el fabricante del equipo de hincado, cuando el martinete sea de vapor de doble acción o de acción diferencial, expresada en libra-pie
- F= Wh, Para un martinete de caída libre o de vapor de acción simple en libras-pie.
- W= Peso de las partes del martinete que intervienen en el golpe, en libras
- H= Altura de caída del peso W, en pies
- D= Factor de corrección para pilotes inclinados.
- S= Penetración media del pilote durante los últimos golpes, en pulgadas por golpe
- C= Pérdida temporal de compresión en pulgadas
- P= Peso del pilote incluyendo el cabezal de hinca en libras
- B= Bs x Bt x Bc es un factor de corrección que incluye el tipo de suelo, la longitud del pilote y su sección transversal respectivamente

El factor M de eficiencia del martinete, se obtiene de la tabla que sigue:

TIPO DE MARTINETE	M	U	C	MINIMO		MAXIMO	
				N	J	N	J
Martinete de caída movido por el cable	4.0	0.20	0.25	0.30	1.4	0.80	2.2
Martinete de caída libre	4.7	0.20	0.25	0.30	1.4	0.80	2.2
Martinete de vapor de acción simple (tipo Vulcán)	5.0	0.10	0.15	0.18	1.2	0.45	1.8
Martinete de vapor de acción difer, (tipo Vulcán)	5.2	0.05	0.15	0.16	1.2	0.40	1.8
Martinete de Vapor de Doble acción (tipo Mckieman Terry)	6.0	0.05	0.15	0.16	1.2	0.40	1.8

El factor D, de inclinación de los pilotes, se encuentra a partir de la siguiente formula:

$$D = \frac{1 - UG}{\sqrt{1 + G^2}}$$

en la que U es un coeficiente de fricción especificado en la tabla anterior y G es la inclinación del pilote expresada en forma de talud (1/4, ó 1/3) como se indica en la siguiente figura (fig.22):

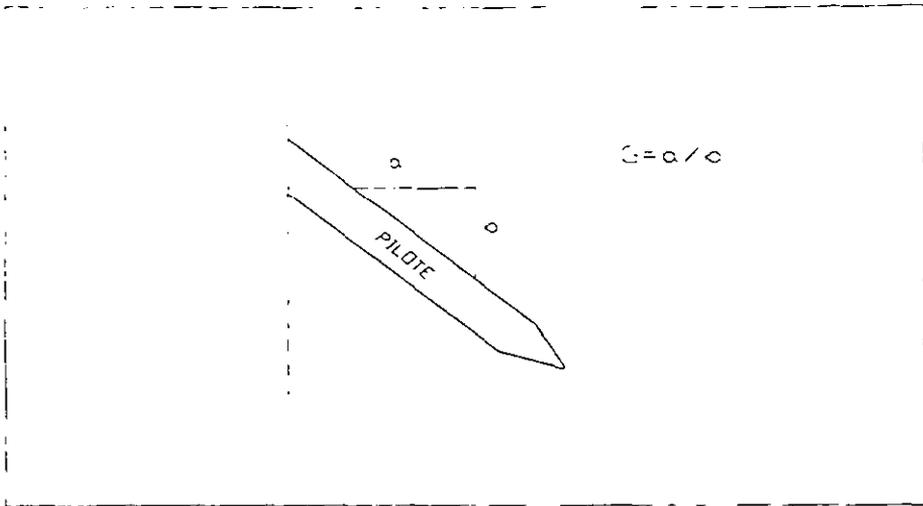


FIG. 22

El factor de suelo B_s se obtiene de la tabla que sigue, teniéndose en cuenta las notas que la acompañan.

VALORES DEL FACTOR DE SUELO B_s

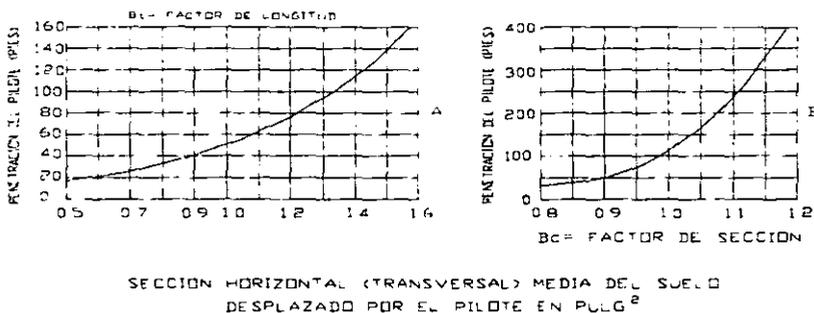
TIPO DE SUELO	B_s
Arcilla plástica o limo muy húmedo, suelo muy pobre	0.25
Arcilla o limo suave, suelo más bien pobre	0.50
Arcilla o limo medio, suelo de regular calidad	0.70
Arcilla o limo duro, arena, grava suelta, buen suelo	0.85
Limo arenoso denso, arena o grava moderadamente compacta, suelo muy bueno	1.00
Arena o grava muy compacta, pizarra o tepetate, excelente material de cimentación	1.25

Notas:

- 1).- Interpólese los valores dados de B_s si es necesario.
- 2).- B_s depende solamente de la clase de suelo penetrado; no se aumente B_s si la punta llega a ponerse en contacto con roca
- 3).- Si la arcilla o el limo húmedo tiene buena adherencia con el pilote puede aumentar B_s sin que ese aumento exceda del 25 % del valor dado.
- 4).- Si hay piedras en el suelo, redúzcase B_s en una cantidad que dependerá de la posibilidad de que el pilote sea detenido por el contacto con las piedras, sin embargo la reducción no deberá exceder del 25% del valor dado en la tabla.

5).- Si el pilote penetra a través de diferentes clases de suelo (como ocurre frecuentemente), estímesese un valor medio pesado de B_s para toda la longitud de penetración, dando un peso considerablemente mayor para el suelo cerca de la punta que para el de arriba.

El factor de longitud B_t se encuentra en la gráfica A que sigue, el factor B_c de sección transversal del pilote, se obtiene de la gráfica B.



Ejemplo 2.- Un pilote de concreto reforzado de $12'' \times 12'' \times 50'$ se hincia en un suelo como el que se muestra en el corte de la figura 23. El peso del cabezal de hincado es de 50 lbs. El martinete empleado es de vapor de doble acción, con un peso de 2,000 lbs. La altura de caída del martinete es de 3 pies, y la penetración media del pilote en los últimos golpes es de 0.1 de pulgada por golpe. Determinar la capacidad de carga del pilote.

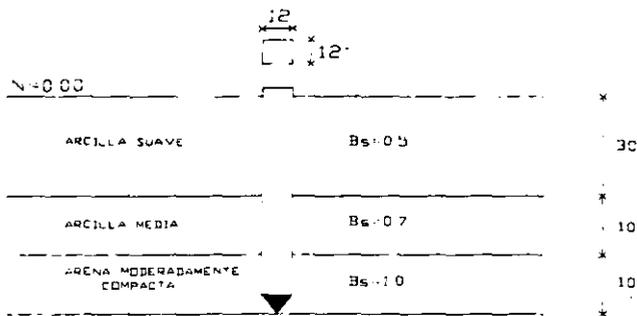


FIG 23

Nota: este ejemplo se solucionara con el último método (Formula de Rabe), en virtud de que es más práctico y a su vez el que abarca más aspectos tanto del hincado como del suelo.

Solución:

De tablas

$$M=6.0$$

$$F= Wh$$

$F=2000 \times 3=6000$ lb-pie (ya que no contamos con la energía nominal que tendría que obtenerse del fabricante).

$$G=0$$

$$D=(1-0.05 \times 0)/(1+0)$$

$$D=1$$

$$S= 0.1 \text{ Pulg. por golpe}$$

$$C= 0.15 \text{ pulg. (de tablas)}$$

$$P= (1'' \times 1'' \times 50'') 150 \text{ lb/pie}^3 + 150$$

$$P= 7650 \text{ lbs}$$

$$U=0.05 \text{ (por ser vertical el pilote)}$$

Como el pilote penetra a través de diferentes capas, el valor de B_s se calcula con tablas. Por lo tanto asignamos un peso de 4 a la arena, un peso de 2 a la arcilla media y un peso de 1 a la arcilla suave, en consecuencia el promedio pesado de B_s es:

$$B_s = \frac{4(1 \times 10'') + 2(0.7 \times 10'') + 1(0.5 \times 30'')}{4(10'') + 2(10'') + 1(30'')}$$

$$B_s = 0.77$$

$$B_t = 0.98 \text{ (obtenido de gráficas)}$$

$$A = 12 \times 12 = 144 \text{ pulgs}^2. \text{ con este valor se entra a las gráficas}$$

$$B_c = 1.04$$

sustituyendo todos los valores anteriores en la fórmula para obtener la capacidad de carga del pilote se tiene:

$$R = \frac{M \times F \times D}{S + C} \times \frac{W}{W + (P/2)} \times B$$

$$R = \frac{6 \times 6000 \times 1}{0.1 + 0.15} \times \frac{2000}{2000 + (7650/2)} (0.77 \times 0.98 \times 1.04)$$

$$R = 38,300 \text{ lbs}$$

Que es la capacidad del pilote con un factor de seguridad de 2 aproximadamente.

III.5.- Resistencia Estructural del Pilote Como Columna.

A través de estudios técnicos y de resultados experimentales se ha demostrado que el suelo en que se hince un pilote lo confina lateralmente en toda su longitud; por lo tanto, el pilote trabaja como columna corta y son aplicables las formulas deducidas para este tipo de miembros estructurales.

Consecuentemente, se proponen las siguientes fomulas:

I.-Para pilotes de madera

$$R_p = A \times f_p$$

- R_p = Carga axial permisible o de trabajo, en Kg.
 A = Area de la sección transversal del pilote en cm^2
 f_p = Esfuerzo permisible o de trabajo de la madera en Kg/cm^2

Cuando se conozcan las propiedades mecánicas de la madera de los pilotes, a través de pruebas de laboratorio, el valor de f_p se estimará en base a los resultados obtenidos en dichas pruebas; en caso contrario, se recomienda emplear para f_p un valor medio de $60 Kg/cm^2$.

2.- Para Pilotes de Acero

$$R_p = \frac{A \times f_y}{C_s}$$

En donde:

- f_y = Esfuerzo de fluencia del acero en Kg/cm^2 para el acero de grado estructural $f_y=2530 Kg/cm^2$ o el que le corresponda.
 C_s = Coeficiente de seguridad, usualmente igual a 2

3.- Pilotes de Concreto

$$R_p = \frac{0.85f_c A_c + f_y A_s}{C_s}$$

En donde:

- f_c = Esfuerzo de ruptura del concreto (28 días) en Kg/cm^2
 f_y = Esfuerzo de fluencia del acero en Kg/cm^2
 A_c = Area de concreto de la sección transversal del Pilote en cm^2
 A_s = Area transversal de las varillas longitudinales de refuerzo del pilote en cm^2
 C_s = Coef. seguridad, se recomienda utilizar un valor de 3

Los otros coeficientes tienen el mismo significado que se mencionó anteriormente, esta fórmula es aplicable tanto para pilotes de concreto simple como reforzado.

4.- Pilotes Mixto

Para este tipo de pilotes, con núcleo de acero y recubrimiento de concreto con estribos o zunchados, se empleará la fórmula inmediata anterior haciendo "As" igual a la suma de las áreas de las secciones transversales de las varillas longitudinales y el núcleo de acero, se recomienda en este caso que As no exceda del 8% de Ac.

III.6.- Grupo De Pilotes

En el desarrollo anterior solamente se ha tratado el comportamiento de los pilotes individuales; sin embargo, los pilotes casi nunca se usan así, sino combinados formando grupos o conjuntos. Las diferencias entre estos últimos y los primeros en lo que se refiere a esfuerzos, capacidades de carga y asentamientos pueden ser muy significativas, no solo durante el hincado, sino también durante el tiempo en que están sosteniendo las cargas a que se sujetan, por tanto el comportamiento de un grupo puede no estar relacionado directamente al de los pilotes aislados, sujetos a la misma carga.

De particular importancia son las contribuciones relativas de la fricción lateral y de la punta para la capacidad total de un solo pilote, en comparación con las de un grupo, ya que en un pilote aislado una gran parte de su apoyo puede deberlo al suelo que está a lo largo de su fuste por fricción lateral, aunque el suelo sea relativamente débil y compresible, pero si el mismo pilote tiene muchos vecinos, a los que el suelo que lo rodea proporciona apoyo, el esfuerzo acumulado en todo el bloque de suelo en que está encajonado el grupo puede tender gradualmente a comprimir el suelo y, por lo tanto, permitir que los pilotes se hundan cuando menos ligeramente.

Muchos ingenieros piensan que la capacidad de carga de un grupo de pilotes es igual a la suma de las capacidades de cada uno de ellos, actuando aisladamente, lo que ya vimos que no es cierto; hoy en día existe una gran abundancia de estudios teóricos y conocimientos empíricos sobre la capacidad de carga de un pilote aislado, pero por el contrario, la información sobre la capacidad de carga de un grupo es relativamente poca, debido a la considerable dificultad de realizar pruebas a gran escala sobre grupos de Pilotes, por lo tanto únicamente existen estimaciones o recetas que tratan de solucionar este problema.

Actualmente se dice que por razones económicas y prácticas se recomienda que la distancia entre ejes de pilotes debe estar comprendida entre 2.5 y 4.0 veces el diámetro superior de dichos pilotes, ya que una distancia menor dificulta su hincado y una distancia mayor aumenta el costo de La Zapata-Cabezal sin beneficio a la cimentación.

Estudios realizados actualmente mencionan que siempre que la distancia entre los ejes de dos pilotes sea inferior a un décimo de su longitud, la capacidad de carga de cada pilote queda disminuida; esta disminución depende de las características del pilote, de la conformación del grupo y de la naturaleza del terreno.

Existen varios procedimientos para hacer una estimación general de esta pérdida de resistencia, citaremos solo los más importantes.

III.6.1.- Método del Coeficiente de Eficacia

Este coeficiente se aplica a la capacidad de carga de un pilote aislado, obteniéndose así la capacidad de carga real que soportaría en condiciones de trabajo por grupo; entre las diferentes formulas que se tienen para obtener este coeficiente esta la de "Los Angeles" :

$$f = 1 - \left(\frac{B}{L} \right) \times \left(\frac{1}{\pi mn} \right) [m(n-1) + n(m-1) + (2(m-1)(n-1))]$$

Siendo:

- m = Numero de filas
- n = Numero de pilotes en cada fila
- B = Diámetro de los pilotes
- L = Separación entre pilotes de la misma fila

III.6.2.- Regla de Feld.

Este método nos da resultados muy similares al anterior, consistiendo en que cada pilote tendrá como capacidad de carga la que tiene como pilote aislado disminuida en tantas veces 1/16 de su valor como pilotes adyacentes tiene; para mejor comprensión ver el siguiente esquema.

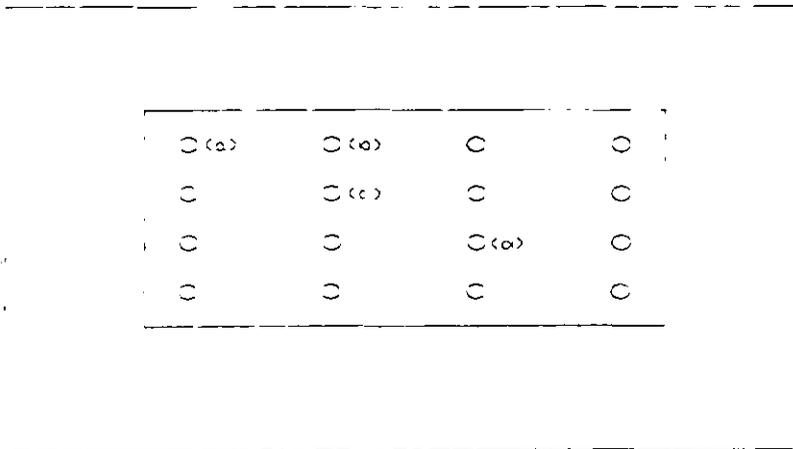


FIG. 24

El pilote (a) tiene tres pilotes adyacentes por lo tanto su capacidad de carga se reducirá en 3/16 siendo la capacidad de carga real de este pilote de 13/16, o sea del 81% de la que tiene como pilote aislado. El pilote (b) tiene 5 pilotes adyacentes por lo tanto la reducción será de 5/16 quedándole una capacidad de carga de 11/16 o sea del 69%. El pilote (c) tiene una reducción de 8/16 o sea del 50%.

III.6.3.- Método de Terzaghi y Peck

Este procedimiento consiste en considerar que el grupo de pilotes forma un todo, suponiéndose así como un pilote con un ancho más grande que los otros; la experiencia ha demostrado que los grupos de pilotes pueden fallar en conjunto, como una unidad, hundiéndose en el terreno, antes de que la carga por pilote aislado alcance el valor de la carga admisible, la forma de producirse la falla mencionada se muestra a continuación (fig. 25).

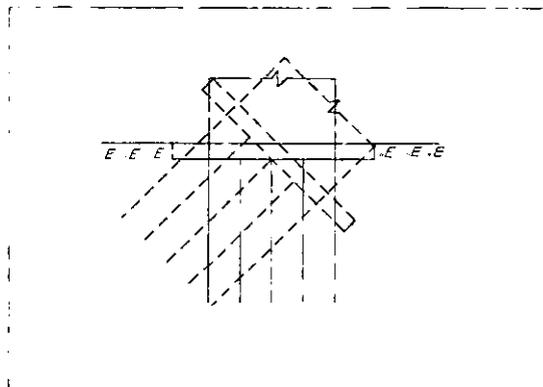


FIG. 25

Así pues con este método hay que calcular el conjunto de pilotes trabajando como una sola unidad para ver si no falla como ya se menciono. Si los pilotes y la masa de suelo confinada por los mismos, se hunden en conjunto como si formasen un pilote aislado, la capacidad de carga Q_c del conjunto viene dada aproximadamente, por la expresión:

$$Q_c = Q_d + 2 \pi r D_f S$$

para distribución circular

$$Q_c = Q_d + 4 B D_f S$$

para distribución cuadrada

En las que:

Q_d = Capacidad de carga de un pilote circular o cuadrado

$$Q_d = \pi r^2 (1.3 c N_c + \gamma D_f N_q + 0.6 \gamma r N_w)$$

para arreglo circular

$$Q_d = B^2 (1.3 c N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma B N_w)$$

para arreglo cuadrado

que son las formulas estáticas vistas anteriormente, en este caso:

- r= Radio de la periferia del grupo de pilotes
- B= Lado de la periferia del grupo de pilotes
- Df= Profundidad de hincado de los pilotes
- S= Promedio de la resistencia unitaria al corte del suelo situado entre la superficie y la profundidad Df y vale:

$$S= c+P_1 \tan \phi$$

Se asegura que un grupo de pilotes no fallará cuando la carga total de proyecto sea menor de $Q_c/3$, si esta condición no se satisface, debe cambiarse el proyecto de la cimentación, aumentando el largo de los pilotes, cambiando sus dimensiones o ambos casos.

III.7.- *Calculo De La Zapata-Cabezal.*

Conocida la distribución de los pilotes, el cálculo de la Zapata-Cabezal se lleva a cabo en forma semejante a las zapatas aisladas con algunas modificaciones. En el caso de la Zapata-Cabezal, la sección crítica para corte se considera localizada a una distancia de $d/2$, medida a partir del paramento de la columna o del pedestal, como se hace en las zapatas. En el corte extremo sobre cualquier sección vertical se considerará actuando la reacción entera de cualquier pilote cuyo centro esté localizado a $dp/2$ ó más, dentro del área de la zapata que produce corte en la sección; la reacción de cualquier pilote cuyo centro esté localizado a $dp/2$ o más fuera del área de la zapata que produce corte en la sección, se considerará como no produciendo corte. Para posiciones intermedias del centro del pilote, la porción de la reacción del pilote que se considerará produciendo corte en la sección estará basada en una interpolación lineal entre el valor complejo a $dp/2$ dentro del área productora de corte y valor cero fuera del área que produce corte en la zapata (fig. 26).

(dp= diámetro o lado de la parte superior del pilote en contacto con la zapata).

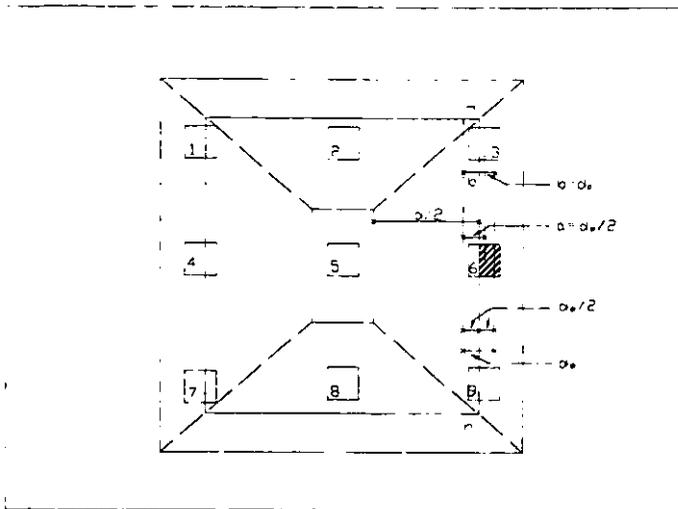


FIG. 26

De acuerdo con lo dicho anteriormente, los pilotes 2, 5 y 8 de la figura anterior, no producen corte; mientras que el corte producido por los pilotes 3, 6 y 9 sobre la sección m-n es:

$$V_c = \left(\frac{a}{b} \right) \times R_p \times N$$

En la que a y b son las distancias indicadas en la figura anterior, R_p es la carga admisible del pilote y N el número de pilotes que producen corte en la sección m-n.

Las secciones críticas para momento en la zapata cabezal están localizadas en secciones que pasan por la cara de la columna, o del pedestal en caso de que exista éste; para mejor comprensión se resuelve un ejemplo a continuación.

Ejemplo 3: Calcular la cimentación, por pilotes de fricción de una columna que tiene los siguientes datos:

Peso en la base de la columna =	463 Ton.
Peso propio de la cimentación = $0.1 \times P =$	46.3 Ton
Peso total = $P_t = 463 + 46.3 =$	509 Ton
Fricción del suelo =	4 Ton/m ²
Cohesión del suelo =	5 Ton/m ²
Angulo de fricción interna del suelo =	15° (suelo intermedio)
Peso volumétrico del suelo en estado natural =	1.2 Ton/m ³
Profundidad de hincado =	25 m.

Se usarán Pilotes de 30 x 30 cm. con armado longitudinal de 4 varillas del numero 7, (véase la tabla de la fig. 20)

La carga última que puede soportar por fricción el pilote es igual al perímetro por la longitud y por la fricción del suelo.

$$R_f = 4 \times 0.30 \times 25 \times 4 = 120 \text{ Ton.}$$

$$R_a = 120/2 = 60$$

Empleando un $F_s=2$ se tiene que el número de pilotes será de:

$$N = \frac{P_t}{R_a} = \frac{509}{60} = 8.5$$

por lo tanto se colocaran 9 pilotes, resultando la nueva carga por pilote de:

$$R_a = \frac{509}{9} = 56.5 \text{ Ton.}$$

y la carga neta sobre un pilote es:

$$R_n = \frac{P}{9} = \frac{463}{9} = 51.4 \text{ Ton.}$$

como ya es sabido la resistencia estructural se puede obtener mediante la expresión:

$$P_p = \frac{0.85 f_c A_c + f_y A_s}{C_s}$$

sustituyendo valores:

$$P_p = \frac{(0.85)(210)(900 - 15.5) + (2530)(15.5)}{3} = 65.8 \text{ Ton.}$$

El comportamiento del conjunto de pilotes se analizará con la siguiente ecuación ya que tenemos una distribución cuadrada:

$$Q_c = Q_d + 4B D_f S \text{ (El valor de } 4B \text{ corresponde al perímetro)}$$

de donde:

$$Q_d = B^2 (1.3 c N_c + \gamma_1 D_f N_q + 0.4 \gamma_2 B N_w)$$

En este caso el valor de B corresponde al área de la sección transversal del grupo de pilotes tomando su periferia. De los gráficos anteriores se obtiene para $\phi=15^\circ$, los siguientes valores:

$$N_c = 13$$

$$N_q = 5$$

$$N_w = 2$$

además como no hay presión neutra $\gamma_1 = \gamma_2$ se tiene que:
 $p_i = p_t = \gamma \times D_f = 1.2 \times 25 = 30 \text{ Ton /m}^2 = 3 \text{ Kg/cm}^2$

por lo tanto:

$$S = C + p_i \tan \phi = 0.5 + 3 \times 0.268 = 1.3 \text{ Kg/cm}^2$$

de la figura 27 se tiene que $B = 2.10 \text{ m}$, por lo que :

$$Q_d = (2.1)^2 \times (1.3 \times 5 \times 13 + 1.2 \times 25 \times 5 + 0.4 \times 1.2 \times 2.10 \times 2) =$$
$$Q_d = 1043 \text{ Ton.}$$

Así pues se tiene que:

$$Q_c = Q_d + 4B \times D_f \times S$$
$$Q_c = 1043 + 4 \times 2.10 \times 25 \times 13 = 3773 \text{ Ton}$$

con lo que se tiene un factor de seguridad de

$$C_s = \frac{3773}{509} = 7.41 > 3$$

Lo que indica que el conjunto de pilotes trabaja bien.

Para el calculo de la Zapata-Cabezal daremos la distribución de los nueve pilotes como se muestra a continuación (fig. 27):

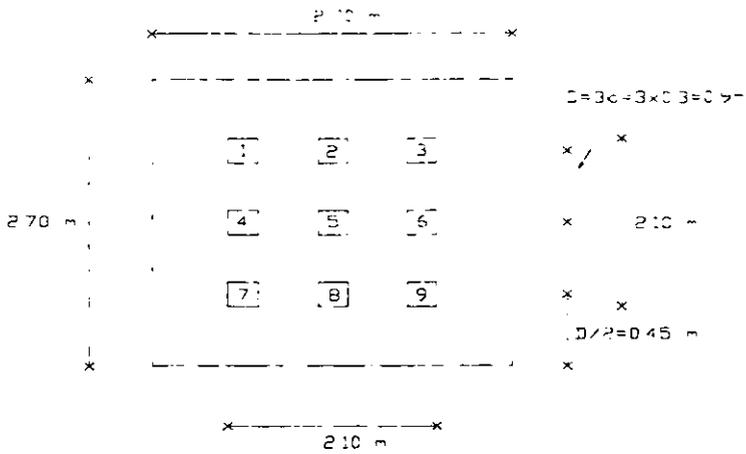


FIG. 27

Por lo que las dimensiones del cabezal serán de $2.7 \times 2.7 \text{ m}$. ahora si se le asigna M_x al momento de las reacciones de los pilotes con respecto a la cara mayor de la columna, y M_y al momento con respecto a la cara menor, se tendrá que M_x es producido por las reacciones de los pilotes 3, 6 y 9

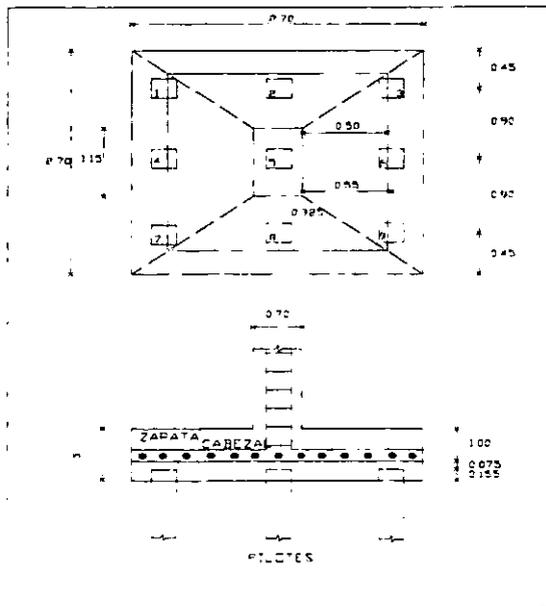


FIG. 28

$$M_x = 3 \times 51.4 \times 0.55 = 85 \text{ Ton-m}$$

y el M_y producido por las reacciones de los pilotes 1, 2 y 3 es:

$$M_y = 3 \times 51.4 \times 0.325 = 50.11 \text{ Ton-m}$$

Por lo tanto

$$d = \sqrt{\frac{M}{K b}} = \sqrt{\frac{8,500,000}{14 \times 270}} = \sqrt{2250} = 47.5 \text{ cm}$$

Como por corte se necesita mayor espesor efectivo que el encontrado, se supondrá un peralte doble al anterior y cerrando valores se tiene que $d = 100 \text{ cm}$.

Para el análisis del corte se hará referencia a la figura 28, en la que los pilotes 2, 5 y 8 no producen corte, pero el resto sí; el corte producido por los pilotes 3, 6 y 9 sobre la sección m-n vale:

$$V_c = \frac{0.20}{0.30} \times 51.4 \times 3 = 103 \text{ Ton.}$$

El esfuerzo de corte en esa sección es:

$$v = \frac{V}{bd} = \frac{103,000}{215 \times 100} = 4.8 \text{ Kg/cm}^2 < 7.0 \text{ Kg/cm}^2$$

el acero necesario para absorber M_x es:

$$A_s = \frac{M_x}{f_s j d} = \frac{8,500,000}{1400 \times 0.866 \times 100} = 71.4 \text{ cm}^2$$

Empleando varillas del # 9 ($A_v = 6.39 \text{ cm}^2$) se tiene:

$$N = \frac{71.4}{6.39} = 11.2 \text{ vars.}$$

Se usaran 12 varillas del # 9 separadas a 22.5 cm. estas varillas tienen su sección crítica de adherencia en la sección vertical que pasa por la cara mayor de la columna, en donde se produce un corte de :

$$V = 3 \times 51.4 = 154.2 \text{ Ton.}$$

Revisando por adherencia se tiene que el perímetro necesario es de:

$$\xi_0 = \frac{V}{U_o j d} = \frac{154,200}{16.1 \times 0.866 \times 100} = 110 \text{ cm} > 108 \text{ cm}$$

ya que el perímetro de las 12 varillas del # 9 es de 108 cm.

El refuerzo necesario para absorber M_y es:

$$A_s = \frac{M_y}{f_s j d} = \frac{5,011,000}{1400 \times 0.866 \times 100} = 41.4 \text{ cm}^2$$

Empleando varillas del # 5 ($A_v = 1.93 \text{ cm}^2$) se tiene:

$$N = \frac{41.4}{1.93} = 21.5$$

Se emplearan 22 varillas del # 5 separadas a 12 cm de c. a. c estas varillas tienen su sección crítica de adherencia en la sección vertical que pasa por la cara menor de la columna en donde se produce un cortante de:

$$V = 51.4 \times 3 = 154.2 \text{ Ton.}$$

revisando por adherencia se tiene que el perímetro necesario es de:

$$\xi_0 = \frac{V}{U_o j d} = \frac{154,200}{16.1 \times 0.866 \times 100} = 110 \text{ cm} = 22 \times 5 = 110 \text{ cm}$$

ya que el perímetro de las 22 varillas del numero 5 es de $22 \times 5 = 110 \text{ cm}$.

III.8.- Longitud De Hizado Para Pilotes

El cálculo de la longitud a que debe construirse cada pilote para que pueda ser transportado se determina por la forma de hizamiento del mismo, ya que para que resista los esfuerzos estáticos y dinámicos a que estará sometido, el momento máximo que se produce deberá ser igual al momento último de la sección transversal del pilote, dividido por un factor de seguridad.

Para un pilote cuadrado, armado simétricamente, e hizado en la forma que se indica, el momento último que puede resistir la sección viene dado por el par resistente producido por el acero de refuerzo en la sección, que es (fig. 29):

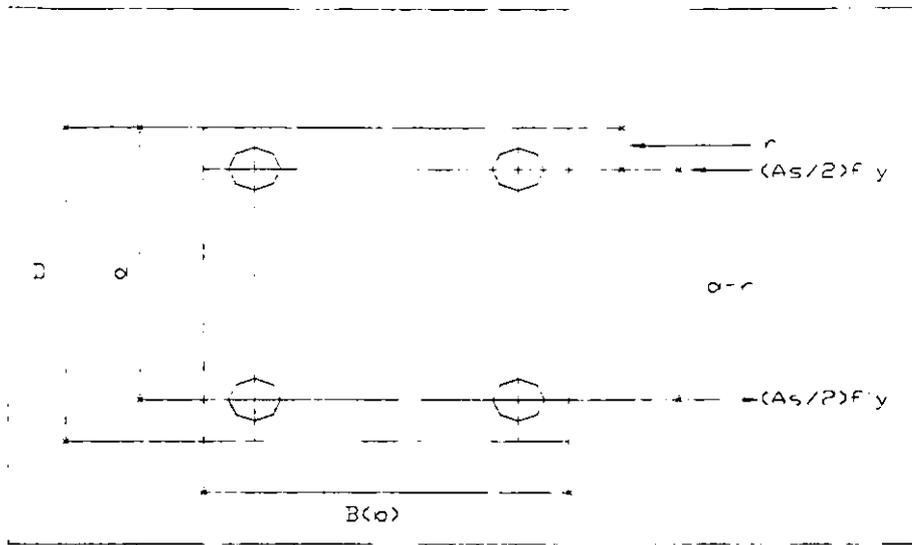


FIG. 29

En donde:

- A_s = Area del acero de refuerzo en la sección transversal del pilote
- f'_y = Esfuerzo de fluencia del acero estructural a tensión
- d = Peralte efectivo
- r = Recubrimiento

Ahora bien, el momento máximo que produce una carga uniformemente distribuida debido al peso propio del pilote en este caso es:

$$M = \frac{\omega L^2}{8} = \frac{\gamma_c b h L^2}{8}$$

En la que :

- γ_c = Peso volumétrico del concreto
- b = Ancho de la sección transversal
- h = Peralte total del pilote
- L = Longitud de la sección del pilote

Como el momento máximo que se produce debe ser igual al momento último de la sección transversal dividido por un factor de seguridad, si a éste se le da un valor de 2, se tiene:

$$M = \frac{1}{2} M_r$$

$$M = \omega L^2 / 8$$

$$M = (\gamma_c b h L^2) / 8$$

$$M = \frac{1}{2} (A_s / 2) f_y (d - r)$$

De donde

$$L = \sqrt{((2/\gamma_c)(A_s/(b h)) f_y (d - r))}$$

Pero como la relación (A_s/bh) es el porcentaje de acero en la sección, o sea p se tiene

$$L = \sqrt{((2/\gamma_c) p f_y (d - r))}$$

Si el pilote se levanta por un punto como el que se indica en la figura 30:

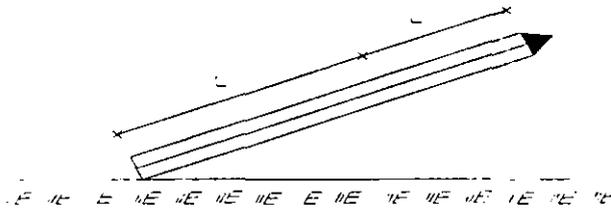


FIG. 30

La longitud total del pilote será la longitud L ya obtenida como viga simplemente apoyada, más la longitud L' obtenida como viga en cantiliver; claro que ello no es exactamente correcto ya que cuando se levanta en esta forma el diagrama de momentos es de la forma siguiente (fig. 31).

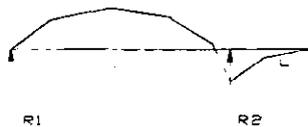


FIG. 31

Sin embargo, por facilidad, y sin cometer un error apreciable, se puede considerar el caso como el formado por dos vigas, una apoyada y otra en cantiliver; tomándola en esta última forma, la longitud L' de la sección del Pilote, se puede obtener de la misma manera que en el caso anterior:

$$M = \frac{1}{2} Mr$$

$$M = (\omega L'^2) / 2$$

$$M = (\gamma c b h L'^2) / 2$$

Por lo tanto:

$$M = \frac{1}{2} (As/2) f_y (d-r)$$

$$L' = \sqrt{((1/(2\gamma c))(As/(b h)))(f_y(d-r))}$$

Por lo tanto

$$L' = \sqrt{((1/(2\gamma c)) p f_y(d-r))}$$

La longitud total de la sección de pilote vale entonces:

$$L_t = L + L'$$

CAPITULO IV

EQUIPO PARA HINCADO DE PILOTES

En tiempos medievales los pilotes eran hincados por un conjunto de obreros utilizando únicamente su fuerza y la ayuda de marros ó mazos; dichas hincas carecían de velocidad y una adecuada profundidad de penetración, además de no tener un buen grado de seguridad en la cimentación de una obra; pero aún así con todo esto y debido a que el material que se utilizaba en la fabricación de los pilotes era la madera, se llevaron a cabo obras que han resistido satisfactoriamente el paso del tiempo y que inclusive, hoy en día siguen funcionando; posteriormente con el desarrollo de la sociedad y con la introducción del concreto y del acero a la industria de la construcción, este método paso a ser obsoleto é ineficaz, siendo necesaria la búsqueda de procedimientos y equipos que redituaran en beneficio de una hinca de pilotes más adecuada, por lo cual hoy en día existen varios métodos, y muchas marcas comerciales que tienen una gran variedad de equipos que facilitan la ejecución de un trabajo.

Los diferentes tipos de martinetes que existen pueden ser adecuados, pero ninguno es el mejor para todas las condiciones, esto es, se recomienda que se utilice un martinete pesado para pilotes pesados, y un martinete ligero, para pilotes ligeros; además de que el golpe no debe de ser tan potente para que no se sobrecarguen los pilotes, siendo que un golpe de alta energía con baja velocidad al impacto generalmente da mejores resultados en capas densas como arcillas rígidas o tepetates, mientras que en suelos que se recuperan rápidamente después de haber sido alterados, se obtienen mejores resultados con golpes rápidos.

IV.1.- Martinetes

El martinete esta compuesto principalmente por dos partes; que son, la base o soporte y el amazón o castillete, los cuales pueden ser de madera o metálicos; los equipos modernos casi sin excepción son de metal llevando la base montada sobre rodillos u/o orugas que facilitan su transportación. El funcionamiento mecánico de los martinetes estriba principalmente en dejar caer un determinado peso sobre la cabeza del pilote que provoca que se vaya hundiendo con cada golpe, este hundimiento por efecto del golpe esta en función del peso que se utiliza como martillo, de las perdidas por fricción y por impacto, del tipo de pilote y de las condiciones estratigráficas del terreno.

IV.1.1.- Martinete de Caída Libre o de Impacto

Estos se componen de una maza o martillo que se desliza entre guías y que golpea la cabeza del pilote al ser soltado en caída libre, una vez que se ha efectuado el choque entre el peso y la cabeza de dicho pilote, este mismo peso se vuelve a levantar por medio de un malacate que trabaja con un motor hasta una determinada altura y nuevamente se deja caer, repitiéndose este procedimiento hasta que el pilote alcance la profundidad deseada; como valores típicos se pueden citar pesos de 1 a 2 Ton. cayendo libremente desde una altura de 6 a 9 metros. Los martinetes de caída libre son los más lentos comparados con otros tipos, lo que ocasiona que entre golpe y golpe el pilote quede en reposo, costando más trabajo el volverlo a poner en movimiento.

En terrenos suaves, donde pueden utilizarse caídas altas, el hincado de pilotes con un martinete de este tipo es rápido, pero en suelos duros, donde la caída se tiene que reducir para evitar sobrecargar al pilote, el hincado es lento.

Tipo de Martinete	Energía Nominal lb-pie	Golp x Min.	W del Mart. lbs.
-------------------	---------------------------	-------------	---------------------

1.- Martinetes de Caída Libre

Vulcan: Martinetes que pesan de 500 a 3000 lbs, caída de 12 a 48 pulgs.

2.- Martinetes de Acción Simple

McKiernan Terry No.

OS60	180,000	55	60,000
OS40	120,000	55	40,000
OS30	90,000	60	30,000
OS20	60,000	60	20,000
OS14	37,500	60	14,000
OS10	32,500	55	10,000
OS08	26,000	55	8,000

Vulcan

060	180,000	62	60,000
040	120,000	60	40,000
030	90,000	55	30,000
020	60,000	60	20,000
014	42,000	60	14,000
010	32,500	50	10,000
008	26,000	50	8,000
000	24,375	50	7,500

IV.1.2.- Martinetes de Acción Simple o Simple Efecto

Este tipo de martinete utiliza vapor o aire comprimido, el cual actúa en un pistón que eleva la masa o martillo con el que se va a golpear y que posteriormente se deja caer libremente; la masa que se utiliza (en general) es pesada, la caída pequeña y la energía proporcionada es alta. Este tipo de martinete da mas golpes por minuto que el anterior (fig. 32).

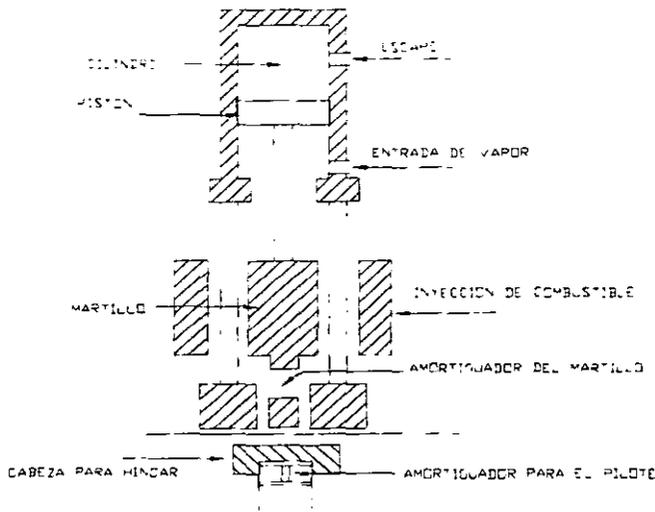


FIG. 32

IV.1.3.- Martinetes de Doble Acción o Doble Efecto

En este la masa no solo se hace subir con la ayuda de una fuerza como en el caso anterior, sino que además dicha masa es empujada hacia abajo con la ayuda del mismo vapor o aire comprimido; estos martinetes utilizan una masa más ligera, pero da más golpes por minuto que los martinetes de acción simple y de esta manera, en ciertos suelos reduce más la fricción, la inercia y la resistencia en la punta.

Martinetes De Doble Acción

Tipo de Martinete	Energía Nominal lb-pie	Golp x Min.	W del Mart. lbs
Super Vulcan No.			
400C	113,486	100	40,000
200C	50,200	98	20,000
140C	36,000	103	14,000
65C	19,200	117	6,500
18C	3,600	150	1,800
McKiernan-Terry No.			
C8	26,000	77-85	8,000
C5	16,000	100-110	5,000
C3	9,000	130-140	3,000

IV.1.4.- Martinetes Diferenciales

En estos el vapor o el aire comprimido actúan para elevar la masa y la impulsan hacia abajo como en el caso anterior, pero al contrario de éste, la presión del aire o del vapor permanece constante; el numero de golpes por minuto es casi el mismo que para los de doble acción, y el peso y caída libre es semejante a los de acción simple. El hincado de pilotes con un martinete de este tipo, en general es mucho más rápido que con uno de acción simple.

IV.1.5.- Martinete Diesel

Estos utilizan la rápida ignición de un combustible para hincar un pilote y hacer subir la masa o martillo; la unidad consta de: un sistema de inyección de combustible, una masa, un yunque y un cilindro vertical, las guías pueden ser fijas o colgantes. Estos martinetes son de 2 tipos, uno de extremo abierto y otro de extremo cerrado como se observa en la siguiente figura (fig.33).

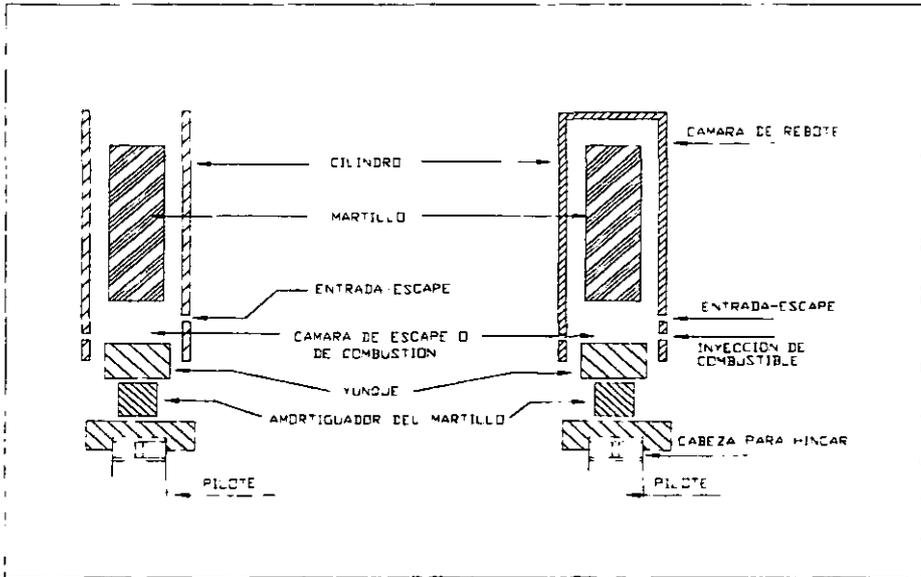


FIG. 33

En la base de la cubierta de ambos tipos, entre el extremo inferior del martillo y el bloque del yunque esta una cámara, dentro de la cual se produce la explosión del combustible y la compresión de los gases que levantan el martillo. En los martinetes de extremo abierto, el martillo cae por gravedad y aplica energía al yunque por impacto directo; sin embargo al descender, se inyecta combustible en el espacio conocido como cámara de combustión, entre el martillo y el yunque; aproximadamente en el instante del impacto, el combustible se enciende y nuevamente levanta el martillo.

Durante un tiempo significativo, la presión de los gases en combustión también actúan sobre el yunque y aumenta la magnitud y duración de la fuerza impulsora; a este respecto, las características para el hincado por medio de los martinets diesel difieren apreciablemente, de las que tienen los martinets de caída libre o de vapor.

En los martinets de extremo cerrado, la cubierta se extiende sobre el cilindro para formar una cámara de rebote, en la que se comprime el aire al subir el martillo; este aire comprimido funciona como un muelle que limita la subida del martillo, acortando por lo tanto su carrera, y la energía que se produce por este efecto, es regresada nuevamente al martillo al momento de descender; ahora bien debido a que esta última carrera es más corta, el martinete aumenta el número de golpes por minuto con respecto a los martinets de extremo abierto.

Es difícil calcular la energía en este tipo de martinete ya que el operador puede hacer variar el suministro de combustible, además de que se pierde energía debido a la fricción y a la compresión del aire y los gases en la cámara de combustión; la altura de caída varía con la resistencia del pilote, ya que si esta es alta, la carrera del martillo es larga, obteniéndose mucha energía en cada golpe.

Los martinets diesel son más largos y operan con mayor lentitud que los martinets de doble acción, pero pesan menos y son más movibles ya que no se tiene que cargar con un compresor, caldera o mangueras que son equipos que utilizan los otros tipos de martinets.

Martinets Diesel

Tipo De Martinete	Energía Nominal lbs-pie	Golp x Min	W del Mart. lbs
Delmag No.			
D44	87,000	37-56	9,500
D30	54,140	39-60	6,600
D22	39,700	42-60	4,850
D12	22,500	42-60	2,750
D05	9,100	42-60	1,100
McKieman-Terry No.			
DE40	43,000	48-52	4,000
DA35	35,500	48	2,800
DE30	30,100	48-52	2,800
DE20	18,800	48-52	2,000
DE10	9,900	48-52	1,100

IV.1.6.- Comentarios Sobre Martinetes.

Como se observa la clasificación de un martinete se basa principalmente en la energía total que aplica por golpe; en uno de caída libre, esta energía viene dada por el producto del peso "W" del martillo y la altura de caída "h". La energía se pierde debido al rozamiento en las guías del martillo, y en consecuencia la eficiencia de trabajo del martinete no puede ser del 100%, quedando mejor definida como la energía producida en el impacto, dividida entre la energía total.

Los martinetes de vapor, para su mayor eficiencia, deben funcionar a la presión para la que fueron proyectados. La eficiencia disminuye mucho cuando las presiones son bajas, pero por otra parte cuando la presión es muy alta, hace que el martinete rebote en el pilote, lo que daña al equipo; aún con la presión adecuada, la eficiencia de este tipo de martinetes, con un buen mantenimiento, es del orden del 70%. Para los pilotes de madera hincados con martinetes de este tipo que aplican una energía del orden de los 2000 Kg-m el número final de golpes que se deben de dar al estar hincando un pilote no debe de ser mayor de 3 o 4, para reducir el peligro de romperlos o astillarlos; además, es probable que el daño sea menor si se hincan con un martinete diesel, aún teniendo la misma energía. Comúnmente, se especifican resistencias de 6 a 8 golpes en los últimos 2 o 3 centímetros para los pilotes de concreto o de acero.

Los martinetes que aplican las energías mayores usualmente se emplean con los pilotes más pesados y más largos, que son utilizados en trabajos especiales, en donde la longitud y el diámetro son mayores que las medidas estándar, un ejemplo de este tipo lo tenemos en las plataformas de perforación en alta mar, en donde se utilizan martinetes que son fabricados para aplicar energías de 7000 a más de 25000 Kg-m y que rara vez se llegan a utilizar en las cimentaciones ordinarias.

IV.2.- Otros Equipos

IV.2.1.- Gatos Para Hincar Pilotes

Este método es más costoso que utilizar un martinete, ya que puede ser necesario utilizar equipo adicional para evitar daños ocasionados por la baja altura a la que estará colocado el gato; muchas veces, este método se utiliza para recalzar alguna estructura. Los gatos que se utilizan son hidráulicos teniendo que resistir grandes esfuerzos y muchas veces son apoyados en la misma estructura, la que hará la función de "tope", o en otras palabras esta será la que proporcione la reacción adecuada para clavar el pilote.

IV.2.2.- Vibradores

Este es otro método para clavar o extraer pilotes. Hoy en día existen potentes vibradores de frecuencia alta y baja, los cuales proporcionan buenos resultados en suelos arenosos o suaves, pero no es recomendable en suelos o capas delgadas de rocas en virtud de que la penetración es mínima y en donde mejor se recomienda utilizar martinetes y pilotes de acero. Este equipo consiste en un peso estático y en un par de pesos excéntricos que giran en sentido contrario, dispuestos en la forma que se muestra en la siguiente figura: (fig. 34)

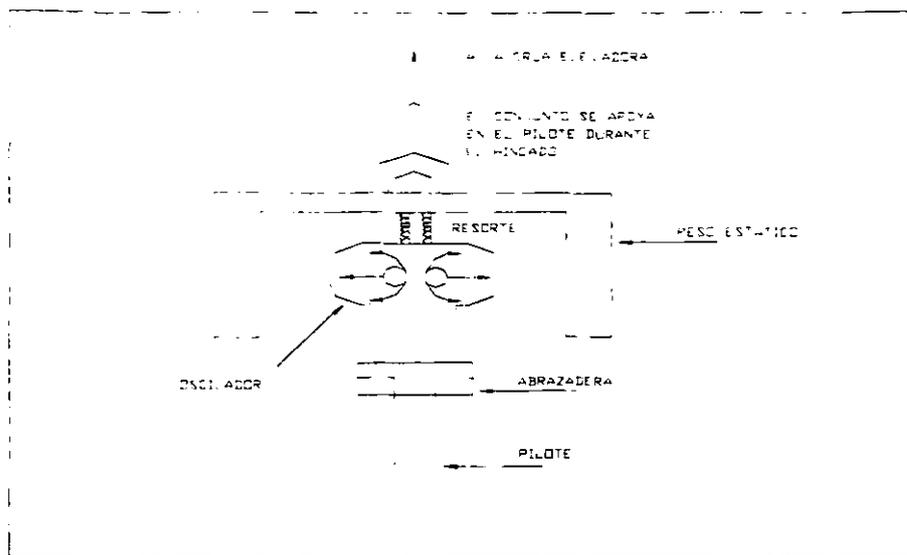


FIG. 34

En estos pesos las componentes horizontales de la fuerza centrífuga se anulan entre sí, mientras que las componentes verticales son aditivas; la parte vibratoria de la máquina se une a la cabeza del pilote que será hincado, pero el resto de la máquina se aísla del vibrador por medio de muelles, de manera que no participe en los movimientos vibratorios. La fuerza pulsante facilita la penetración del pilote bajo la influencia del peso que actúa constantemente hacia abajo.

Las piloteadoras vibratorias difieren entre sí en el tipo de fuerza motriz y en la frecuencia de la fuerza pulsante; las piloteadoras de baja frecuencia funcionan ordinariamente a una frecuencia constante en el intervalo de 10 a 30 Hz, pero si esta frecuencia se iguala a la frecuencia natural del sistema formado por el pilote la piloteadora y el suelo, entonces al aparato se le da el nombre de piloteadora resonante, quedando su frecuencia en un rango de 50 a 150 Hz. La falacia fundamental de este equipo consiste en aplicar vibraciones longitudinales a lo largo del pilote, lo cual debilita la fricción y la adhesión a lo largo del fuste; a causa de esto algunos suelos se hacen viscosos e inclusive se pueden volver fluidos, y por el mismo peso el pilote se va hundiendo; cuando sea posible la utilización de este método se podrá aplicar ya que es rápido y produce poco ruido, pero tendrán que analizarse los costos o cargos por equipo y los posibles ahorros en mano de obra.

IV.2.3.- Plantas Para Hincar Pilotes

Pueden ser unidades especializadas o grúas especialmente equipadas para manejar las guías del pilote y el martinete; este equipo necesita un tambor o malacate con una línea a la cabeza de la pluma para colocar los pilotes. Las unidades especializadas consisten en una armadura y una plataforma para apoyar el equipo necesario para hincar los pilotes, por ejemplo, para una piloteadora de vapor, una máquina, una caldera, malacates o algún martillo.

IV.3.- Equipo Para Preexcavar

En el capítulo III, se hizo mención que en algunas ocasiones es recomendable é inclusive necesario preexcavar, para evitar el empuje causado por el hincado de pilotes; en algunos suelos, la preexcavacion es más rápida y segura terminándose más pronto la estructura. Estas perforaciones se pueden llevar a cabo con una barrena o pulseta de 5 cm. de diámetro mayor que el del pilote.

IV.3.1.- La Barrenadora

Este sistema consta de una broca rotativa que trabaja por medio de una unidad impulsadora y un cortador helicoidal continuo, que perfora el terreno; la utilización del equipo es útil en estratos compactos de arena o grava, así como en suelos firmes o cohesivos, además también se utiliza cuando se quieren evitar las ondas que se producen por el impacto ocasionado por un martillo al chocar con el pilote.

IV.3.2.- La Perforadora de Pulseta

Consta de una broca o punta de acero que se levanta por algún medio mecánico, y que posteriormente se deja caer para desintegrar el suelo o la roca, este equipo es más eficiente cuando se trabaja en estratos relativamente delgados de arcillas firmes o de roca blanda a poca profundidad.

IV.3.3.- Preexcavación Rotativa Húmeda

Aquí se utiliza una broca hueca especial, en la que se alimenta agua o lodo a través del vástago del taladro, y que posteriormente es desalojado por medio de orificios en la broca junto con el material cortado. Al conducir el material hacia arriba, el fluido limpia la perforación, mientras que la presión hidráulica mantiene abierta la perforación y llena los vacíos en las paredes laterales con lodo.

IV.3.4.- Chorros

Este método se utiliza para hincar pilotes con más velocidad basándose en el lavado y lubricación del suelo con agua que es impulsada a una determinada presión; debido a que este método perturba el suelo, se recomienda que se utilice únicamente para pilotes de punta, y que además el último metro y medio, o dos metros se hinquen por otro método; el agua utilizada es bombeada a alta presión a través de tubos por dentro o por los costados del pilote y se descarga cerca de la punta. El agua fluye hacia arriba arrastrando el material que se va desprendiendo, siendo necesario en algunas ocasiones la utilización de chorros de aire comprimido para aumentar esta salida.

Los suelos granulares desplazados mediante los chorros generalmente vuelven a caer al fondo casi instantáneamente cuando cesa la presión producida por el flujo del agua, pero en suelos arcillosos o limosos la lubricación permanece por más tiempo, lo que ocasiona que las partículas permanezcan en suspensión por períodos más prolongados, permitiendo, que al aplicarles nuevamente presión estos no opongan resistencia al desplazamiento.

CAPITULO V

CIMENTACION PROFUNDA POR MEDIO DE PILOTES EN UN EDIFICIO TIPO "B1"

V.1.- Descripción de las Nuevas Oficinas de la Secretaria de la Reforma Agraria

Hoy en día las empresas gubernamentales de nuestro país y en especial el caso que trataremos que es el de la Secretaria de la Reforma Agraria abarcan un campo bastante extenso de trabajo. Esta Secretaria que se encarga de los problemas agrarios del país necesita utilizar una gran cantidad de personal humano, técnico y de instalaciones a fin de cumplir o dar cumplimiento a los objetivos para la cual fue creada, por tal motivo y a raíz de que la dependencia se encuentra "segregada" en varios inmuebles rentados lo cual significa un alto costo económico para la institución y para el gobierno; se opto por concentrar en una sola área todas las direcciones generales que conforman dicha institución, además de que es más práctico para estos departamentos formar un "sistema" que interactue en un solo lugar y no en diversos puntos de la ciudad.

Por tal motivo se propuso un proyecto el cual consta de un edificio para los mandos superiores, 4 edificios tipo de cuatro pisos cada uno para el personal de la dependencia, un edificio de recepción de usuarios, un auditorio, una guardería, un almacén, una cafetería y los respectivos cajones de estacionamientos, cubriendo una área de 60,000 metros cuadrados (fig. 35); pero por los altos recortes presupuestarios que se están dando en el ámbito gubernamental, aunado al fuerte rumor que existe de la desaparición de esta Secretaria de Estado, hasta éste momento en que se escribe este trabajo, únicamente se ha terminado un edificio y otro se encuentra en "obra negra", siendo el que esta concluido el que servirá de tema para este capítulo.

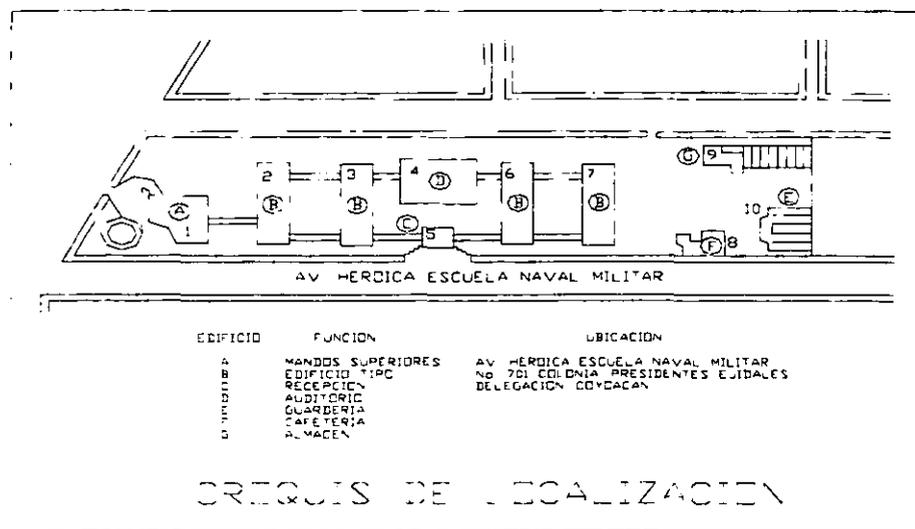


FIG. 35

La estructura se ubica en Heroica Escuela Naval Militar, entre Av. Santa Ana y R. Rivera de la colonia Presidentes Ejidales, Delegación Coyoacan, en México D.F y es la que se encuentra marcada con el con el numero 7 (fig. 35), el cual se esta utilizando para albergar las oficinas de los mandos superiores, y algunas de las principales direcciones generales de esta Secretaria.

El edificio esta compuesto por dos cuerpos que son exactamente simétricos y que se encuentran separados por una junta constructiva; cada una de estas partes se formo a base de marcos metálicos ortogonales entre si ocupando un área de 42.70×27.44 mts. en sus dos primeros niveles (cimentación y planta baja), y de 42.70×21.96 mts en sus 4 niveles superiores (tres niveles tipo y la azotea). Los marcos longitudinales están formados por 5 claros de 8.54 mts. y los transversales por 3 claros de 7.32 mts. El sistema de piso es a base de trabes metálicas secundarias, soportando un sistema de losacero de 6.2 cm. de peralte de lamina, más, 8 cm de espesor de una capa de concreto (fig. 36).

La cimentación no cuenta con junta constructiva quedando formada como un solo cuerpo el cual soporta a las dos alas (o cuerpos) que forman la estructura superior (fig. 37).

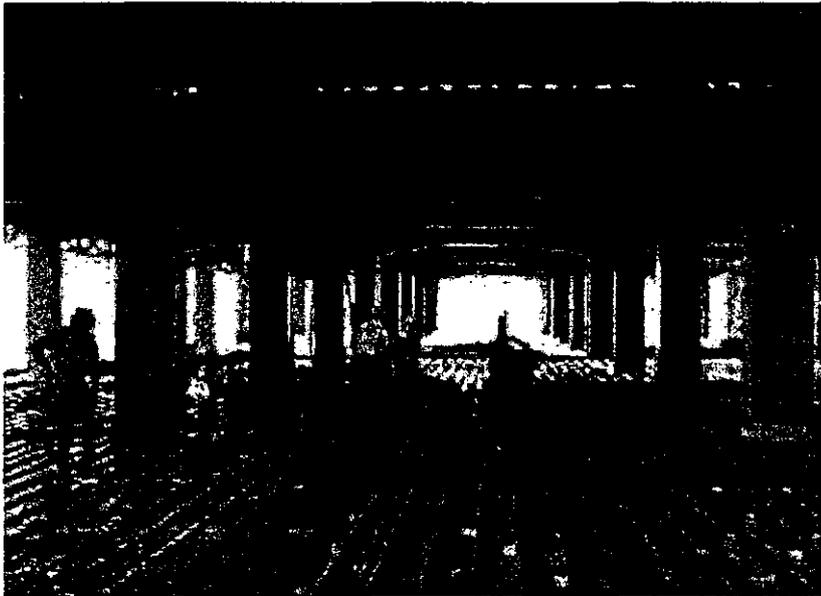


FIG. 36

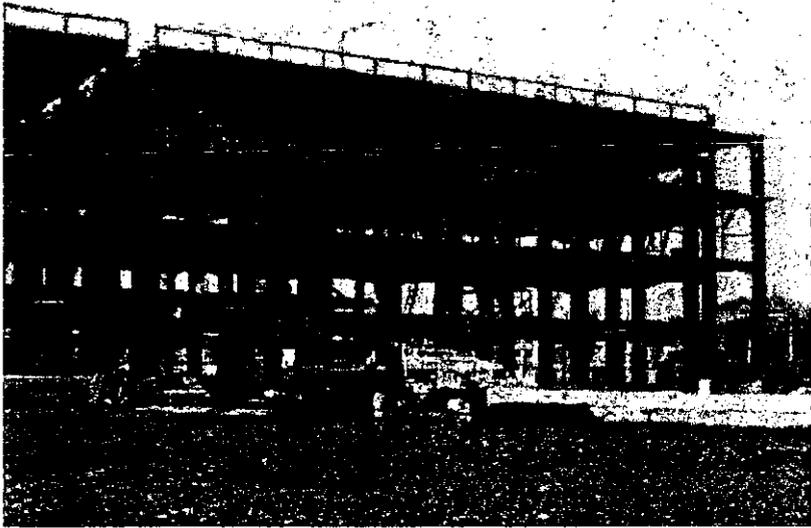


FIG.37

De acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Construcciones de 1987, aplicable al Distrito Federal y por lo que menciona el artículo 174 (analizando en el capítulo II), se define a esta estructura como perteneciente a las estructuras del grupo B, subgrupo B1 por ser una estructura con más de 3,000 m², tener más de 15 mts. de altura y estar ubicada en la zona III del valle de México, haciéndose esta última clasificación en base al mapa del Distrito Federal que se muestra en la figura No. 2; siendo esta una clasificación muy somera que es aplicable a construcciones pequeñas; pero también el mismo reglamento en el artículo 219 nos menciona que la zona a que corresponde un predio se determinará a partir de las investigaciones que se realicen en el subsuelo del mismo; por tal motivo en esta edificación se hicieron varios estudios, siendo los que se presentan a continuación.

V.2.- Estudios De Mecánica De Suelos En El Predio

Por las necesidades arquitectónicas y de funcionamiento de este proyecto, el director y los corresponsales de la obra se vieron en la necesidad de buscar una solución óptima al problema de la cimentación, en el cual se tuviera en consideración la presión de reacción admisible del suelo y los hundimientos que en un momento dado pudieran presentarse a causa de las características de compresibilidad de los materiales subyacentes. Estas consideraciones hicieron indispensable llevar a cabo trabajos y estudios tendientes a determinar las características y propiedades físicas y mecánicas, de resistencia y de compresibilidad de dichos materiales, siendo encomendados estos estudios a ETA consultores, S. A. la por la misma Secretaría de la Reforma Agraria.

V.2.1.- Sondeos De Exploración En El Subsuelo

Para determinar la naturaleza y las condiciones estratigráficas del subsuelo, en el predio de estudio, se realizaron 4 sondeos de penetración estándar y tres sondeos mixtos de penetración estándar y muestreo inalterado, localizados como se muestran en la siguiente figura (fig. 38).



FIG. 38

Nota.- Posteriormente se ordenaron a la misma empresa (para completar los anteriores) efectuar 8 sondeos Estándar y 1 Mixto que no aparecen en este dibujo.

Los sondeos de penetración estándar se efectuaron a una profundidad máxima de 25.20 mts, utilizándose un muestreador de media caña de 2" de diámetro y 60 cm. de longitud, mismo que fue hincado en el terreno por medio de la energía que proporciona un martinete Mc. Kieran-Terry No. 5 con una energía nominal de 1000 lbs-pie, 300 golpes por minuto y 200 lbs de peso en el martillo, el cual se dejó caer libremente de una altura constante de 75 cm; y con el cual, al contar el número de golpes necesarios para que el muestreador penetre 30 cm., es posible conocer la capacidad de carga de los suelos atravesados, además, de que también se recuperaron muestras alteradas representativas del subsuelo. Estas muestras fueron protegidas y enviadas al laboratorio para su análisis.

En terreno blando los sondeos mixtos, fueron ejecutados hasta 30.40 mts. de profundidad, llevándose a cabo el muestreo inalterado mediante tubos de pared delgada, tipo Shelby, de 4" de diámetro, y en suelo muy compacto, se obtuvieron por medio de tubos Shelby dentados, además, se efectuó la prueba de penetración estándar por medio del muestreador de media caña de 2" de diámetro y 60 cm. de longitud; lo que permitió recuperar muestras alteradas al mismo tiempo de ser ejecutada dicha prueba. Tanto las muestras alteradas, como las inalteradas fueron protegidas cuidadosamente para evitar posibles pérdidas de humedad y enviadas al laboratorio para su análisis.

Las muestras así obtenidas sirvieron para conocer las condiciones estratigráficas en el sitio donde se construyó la estructura, además, a partir del análisis de las muestras obtenidas, se determinaron las propiedades físicas, mecánicas, de resistencia y de compresibilidad de los materiales del subsuelo, que se emplearon en los análisis correspondientes.

V.2.2.- Condiciones Estratigráficas Del Subsuelo

El predio en estudio, queda comprendido dentro de un área de forma regular, y presenta una topografía irregular, con montículos de relleno en aproximadamente 50% de su superficie (en la zona sur), y una excavación aproximadamente de 1.00 mts. de profundidad en una parte de esa misma zona. El 50% de la superficie restante esta ocupada por oficinas provisionales de la misma Secretaría, siendo el total del área donde se ubicarán los edificios de aproximadamente 60,000 m². De las observaciones de campo y análisis de laboratorio efectuados en las muestras obtenidas en los sondeos, se determinaron los perfiles estratigráficos, donde aparecen las propiedades índice como son:

- Clasificación manual y visual de los materiales
- Clasificación S.U.C.S. (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)
- Contenido de agua natural
- Composición Granulométrica
- Límites de Atterberg
- Densidad de Sólidos
- Etc.

Estos datos sirvieron para determinar con precisión la estratigrafía del subsuelo, en los sondeos efectuados, la cual se describe a continuación.

Superficialmente, y con un espesor que varía de 0.50 mts. a 2.60 mts., se encuentra un relleno compuesto de Limo Arcilloso y Arcilla Limosa gris oscuro, con pedazos de tabique, cascajo y raíces; su estado varía de muy suelto a firme.

Subyacente a este relleno y hasta una profundidad promedio de 17.50 mts., se detectaron depósitos Arcillosos y Limo-Arcillosos, en colores gris y café, en tono verdoso, de consistencia muy blanda; con muchos carbonatos de calcio y poca materia orgánica. La resistencia a la penetración estándar es nula, y su contenido de humedad varía de 200 a 350 %.

A los 8.50 y 12.50 mts. de profundidad, se detectaron lentes de Arena fina negra y Arena fina poco Limosa gris oscuro respectivamente.

Cabe mencionar que en el SPE (Sondeo de Penetración Estándar) No. 1, este estrato continuó hasta los 22.30

A partir de los 17.50 y hasta los 30.50 mts., que fue la máxima profundidad explorada, se encontró un Limo Arenoso y una Arena fina Limosa color gris olivo, con algunas gravitas, en estado muy compacto. La resistencia a la penetración estándar es mayor a los 50 golpes; y su contenido de humedad promedio es del orden de 10 a 30%. (fig. 39)

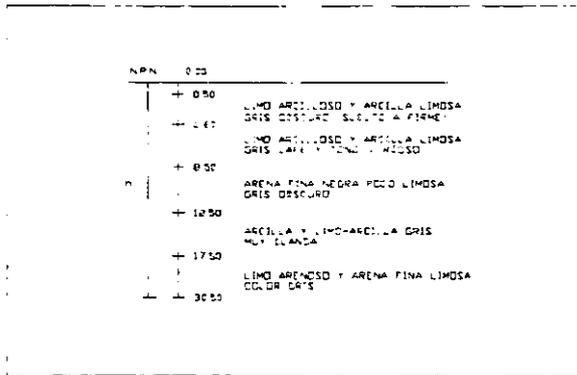


FIG. 39

La estratigrafía detectada corresponde a la "zona de transición", dentro de la zonificación estratigráfica del Valle de México, la cual se caracteriza por presencia de depósitos de Limos y Arenas de origen aluvial, interceptados por estratos de Arcilla de origen lacustre.

V.2.3.- Condiciones Hidráulicas

En los sondeos efectuados, se detectó el Nivel de Aguas Superficiales (NAF), a una profundidad promedio de 2.80 mts., con respecto al nivel de terreno circundante. En el sondeo mixto No. 1, se instaló una estación piezométrica compuesta por piezómetros abiertos a 5.0, 10.0 y 20.0 m, de profundidad. Las lecturas observadas son:

PROFUNDIDAD DEL PIEZOMETRO	COLUMNA DE AGUA
5.00 Mts.	0.00 Mts.
10.00 Mts.	5.00 Mts.
20.00 Mts.	0.00 Mts.

Determinándose una pérdida total de la presión hidrostática en el estrato de Arena fina Limosa gris oscuro. Los datos obtenidos hacen prever la existencia de mantos colgados, aspecto que se tomo en cuenta para el procedimiento constructivo de la cimentación.

V.3.- Ensayes De Laboratorio

V.3.1.- Ensayes Efectuados

Con el objeto de definir con la aproximación suficiente, el valor y la variación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales del subsuelo, que intervienen en la valuación de la capacidad de carga admisible, hundimientos probables y en el estudio de los métodos de excavación, de las estructuras en proyecto, se efectuaron los siguientes ensayos de laboratorio, a las muestras de suelo obtenidas en los sondeos ejecutados.

a).- Clasificación manual y visual de los materiales hallados, determinando sus propiedades índice, esto con la finalidad de poder encasillar a los suelos encontrados en la clasificación del S.U.C.S, y poder obtener información de los distintos estratos hallados, justificando la aplicación de las propiedades de resistencia y compresibilidad, determinadas en las muestras inalteradas, a los estratos representados por ellas.

b).- Mediante pruebas de compresión simple, se determino la resistencia a la compresión no confinada en estado natural, de los materiales muestreados en forma inalterada, para obtener su consistencia natural.

c).- Las propiedades mecánicas de resistencia al esfuerzo cortante de los materiales muestreados en forma inalterada, se determinaron mediante la ejecución de pruebas de compresión triaxial para materiales en estado saturado, que es la condición más crítica a que pueden verse sujetos.

d).- Mediante pruebas en el odómetro, se determinaron los parámetros de consolidación de los materiales fundamentalmente arcillosos y limosos, de compresibilidad media a alta; además, en este tipo de pruebas, se hace una descripción de las muestras analizadas.

e).- Las propiedades de compresibilidad del material limoso y arenoso, (de compresibilidad muy baja), se determinaron mediante la prueba esfuerzo-deformación unitaria, en la cámara triaxial, para materiales en estado saturado, que es la condición más crítica a que pueden verse sujetos.

V.3.2.- Resultados Obtenidos

Las propiedades índice obtenidas en las pruebas correspondientes; así como, los resultados determinados en las pruebas de compresión, se consignan en los perfiles estratigráficos que se obtuvieron (12 Estándar y 4 Mixtos); como ejemplo de estos únicamente se mostraran 1 ó 2 de cada tipo, ya que la finalidad más que nada es de que se tenga la idea de como son.

SONDEO ESTANDAR No.12

SRIA. DE LA REFORMA AGRARIA

RESISTENCIA A LOS
FUERZOS CORTANTES
Kg/cm²

PRESION EN Kg/cm²

NOMENCLATURA :

- f : % de Finos
- : % de Arena.
- G : % de Grava
- S_s : Densidad de Sólidos
- Y_n : Peso Volumétrico en estado natural, en Ton/m³
- e : Oquedad
- I_w : Índice de Plasticidad
- L C : Límite de Contracción Volumétrica.
- c : Cohesión
- φ : Ángulo de Fricción Interna.
- FC : Fuertemente Carbonatados.
- M.M.O : Mucho Materia Orgánica
- N.A.S : Nivel de Aguas Superficiales.
- N : Resistencia Estender de penetración. Es el número de golpes necesarios para hacer penetrar 30 cm. una horquilla de 2" Ø dentro del suelo con un martillo de 65 Kg de peso y una altura de caída de 75 cm.

SIMBOLOS :

- Arcilla
- Limo
- Arena
- Grava
- Fésides
- Vidrio volcánico
- Pedazos de conchas
- Relleno
- Limolita.
- N Mayor de 60 golpes.

Resistencia en arcillas y arcillas limosas.
Resistencia en limos arcillosos y arenas arcillosas

ENSAYES :

- T_c : Prueba Triaxial
- T_c : Prueba Triaxial, Esfuerzo Deformación.
- C_u : Prueba de Consolidación
- Exp : Prueba de Expansión
- T₁ : Prueba de Torsión.
- C_D : Prueba de Corte Directo.
- Prueba de Compresión Simple.

TIPO DE MUESTREO :

- T S : Tubo Shelby.
- B D : Barril Denison.
- P E : Penetración Estándar.
- A : Avance.
- M P : Muestra Perdida.
- P P : Peso Propio.
- P H : Presión, Hidráulica
- R : Rotación.
- 60/10 : Golpe/cm.
- E.M : Excavación a Mano.

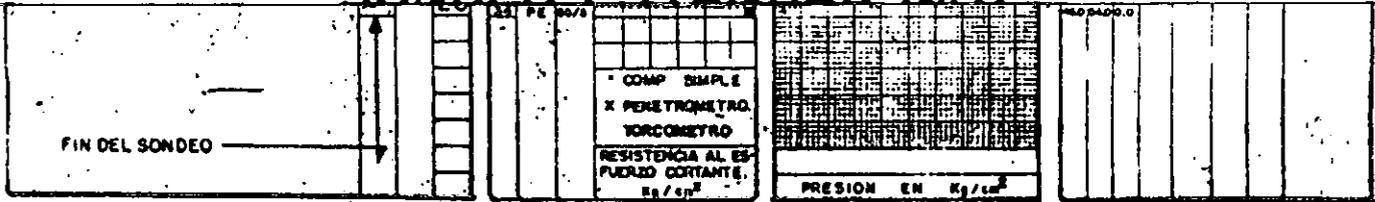
SRIA. DE LA REFORMA AGRARIA
EJE 2 OTE. ESQ. CON CALZ. DE LA VIRGEN

SONDEO ESTANDAR No.12



LAB. F. O. V. REV. J. C. M. FEB-91 FIG. No. 57
DIR. R. E. A. AUT. MLCR 01-91738

SONDEO ESTANDAR N. 8



NOMENCLATURA :

- F : % de Fines
- A : % de Arena.
- G : % de Grava.
- Ss : Densidad de Sólidos.
- Yh : Peso Volumétrico en estado natural, en Ton/m³
- e : Oquedad.
- Iu : Índice de Plasticidad
- LC : Límite de Contracción Volumétrica.
- c : Cohesión
- α : Ángulo de Fricción Interna.
- FC : Fuertemente Carbonatados.
- M.M.O : Mucho Material Orgánico
- N.A.S : Nivel de Aguas Superficiales.
- N : resistencia estándar de penetración. Es el número de golpes necesarios para hacer penetrar 30 cm, una herramienta de 3" Ø dentro del suelo con un martillo de 63 Kg de

SIMBOLOS :

- Arcilla
- Limo
- Arena
- Grava
- Fósiles
- Vidrio volcánico
- Pedrós de conchós
- Relleno
- Limolita
- N Mejor de 60 golpes.

Resistencia en arcillas y arcillas limosas.
Resistencia en limos arcillosos y arenas arcillosas

ENSAYES :

- Tc. d : Prueba Triaxial
- Tc. L : Prueba Triaxial, Esfuerzo Deformación
- Cv : Prueba de Consolidación
- Exp : Prueba de Exposición.
- T. : Prueba de Torsión.
- qu : Prueba de Compresión Simple.
- C.D. : Prueba de Corte Directo

TIPO DE MUESTREO :

- 1 S : Tubo Shelby.
- B. C. : Barril Denison
- P. E. : Penetración Estándar.
- A : Avance
- M. P. : Muestra Perdida
- P. P. : Peso Propio
- P. H. : Presión Hidráulica
- R : Rotación
- 60/10 : Golpe/cm
- E.M. : Excavación a Mano.

SRÍA DE LA REFORMA AGRARIA

EJE 2 OTE. ESQ. CON CALZ. DE LA VIRGEN

SONDEO ESTANDAR N. 8

LAB. F. S. F. REV. J. C. M. FEB-91 FIG. No. 8



En las siguientes figuras se muestran los resultados promedio obtenidos en la prueba triaxial, para determinar los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante en los materiales del subsuelo; (en total fueron 8 los que se realizaron)

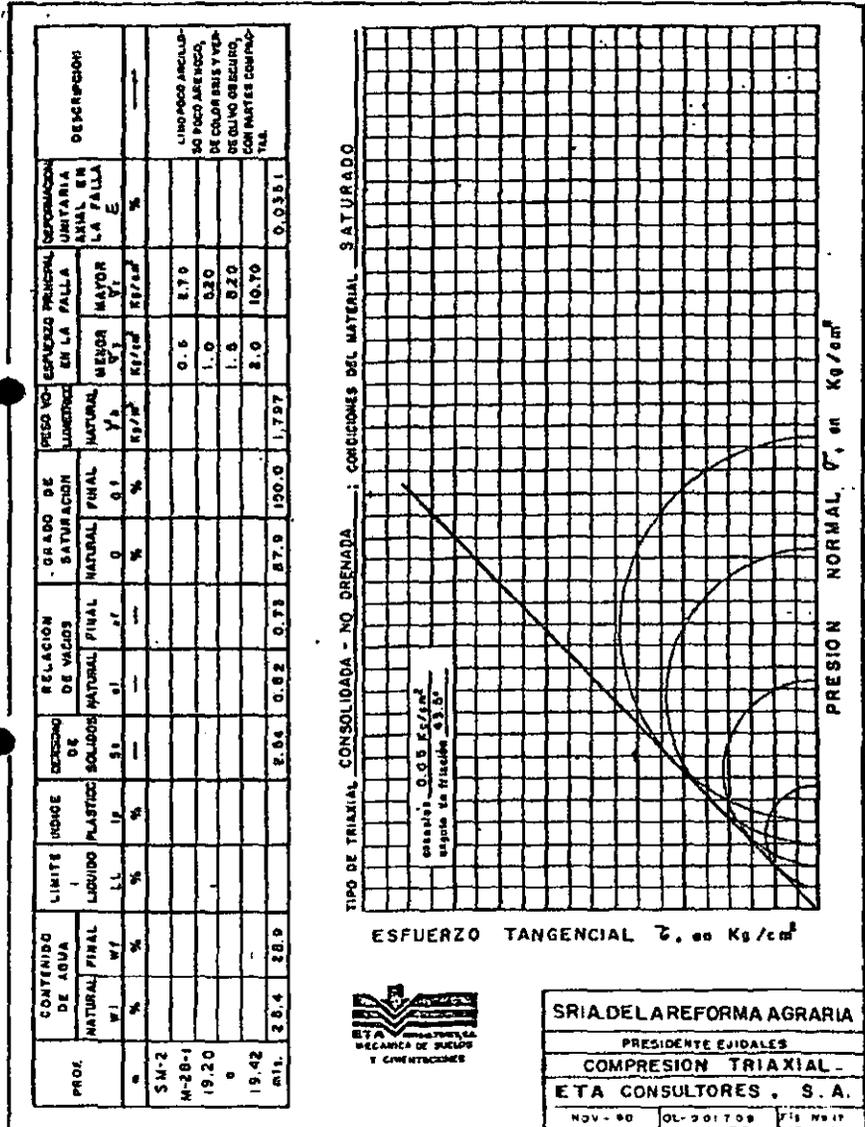


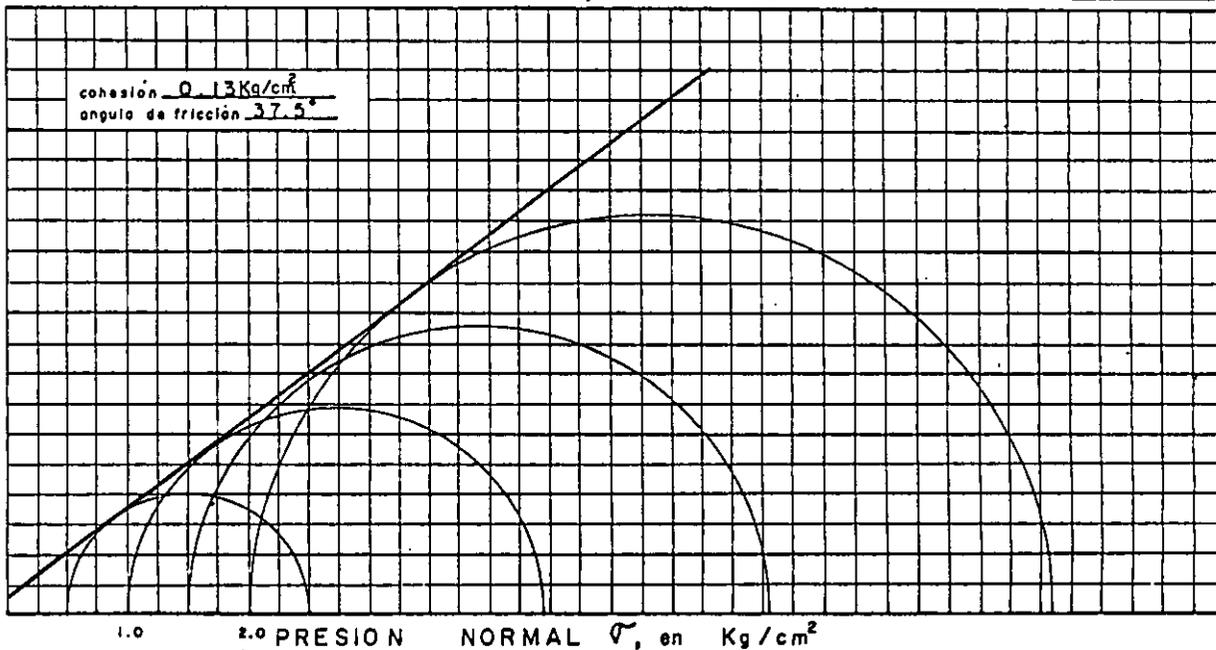
FIG. 42

PROF.	CONTENIDO DE AGUA		LIMITE LIQUIDO	INDICE PLASTICO	DENSIDAD DE SOLIDOS	RELACION DE VACIOS		GRADO DE SATURACION		PESO VOLUMETRICO	ESFUERZO PRINCIPAL EN LA FALLA		DEFORMACION UNITARIA AXIAL EN LA FALLA ϵ	DESCRIPCION
	NATURAL	FINAL				NATURAL	FINAL	NATURAL	FINAL		MENOR σ_3	MAYOR σ_1		
	W _i	W _f				LL	IP	S _s	e _i					
m	%	%	%	%	—	—	—	%	%	Kg/m ³	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%	—
SM-2														ARENA MUY FINA LIMOSA, GRIS Y MANCHAS DE COLOR GRIS OLIVO.
35.2											0.5	2.45		
22.90											1.0	4.45		
A											1.5	6.35		
23.10											2.0	8.65		
m _s	20.6	30.4			2.57	0.91	0.78	58.2	100.0	1,625			0.0284	



TIPO DE TRIAXIAL CONSOLIDADA - NO DRENADA; CONDICIONES DEL MATERIAL SATURADO

ESFUERZO TANGENCIAL τ , en Kg/cm²



SRIA. DE LA REFORMA AGRARIA
 PRESIDENTES EJIDALES
 COMPRESION TRIAXIAL
 ETA CONSULTORES, S. A.
 NOV-90
 OL-901709
 Fig. No 20

Las curvas esfuerzo-deformación obtenidas mediante la prueba de compresión simple, se muestran a continuación: (se realizaron 7)

ENSAYE DE COMPRESIÓN SIMPLE

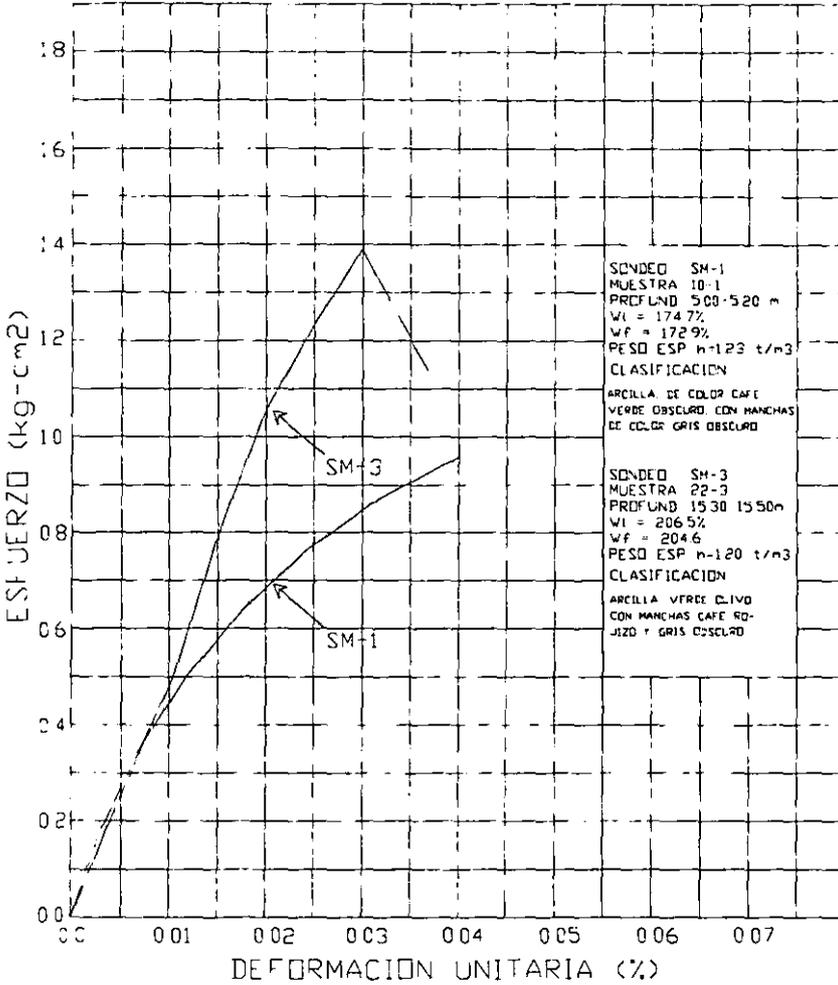


FIG. 44

Las curvas de compresibilidad, determinadas en pruebas de consolidación unidimensional en el odómetro, obtenidas para determinar el coeficiente de compresibilidad "av", y el de variación volumétrica "mv", se muestran a continuación: (en total fueron 11)

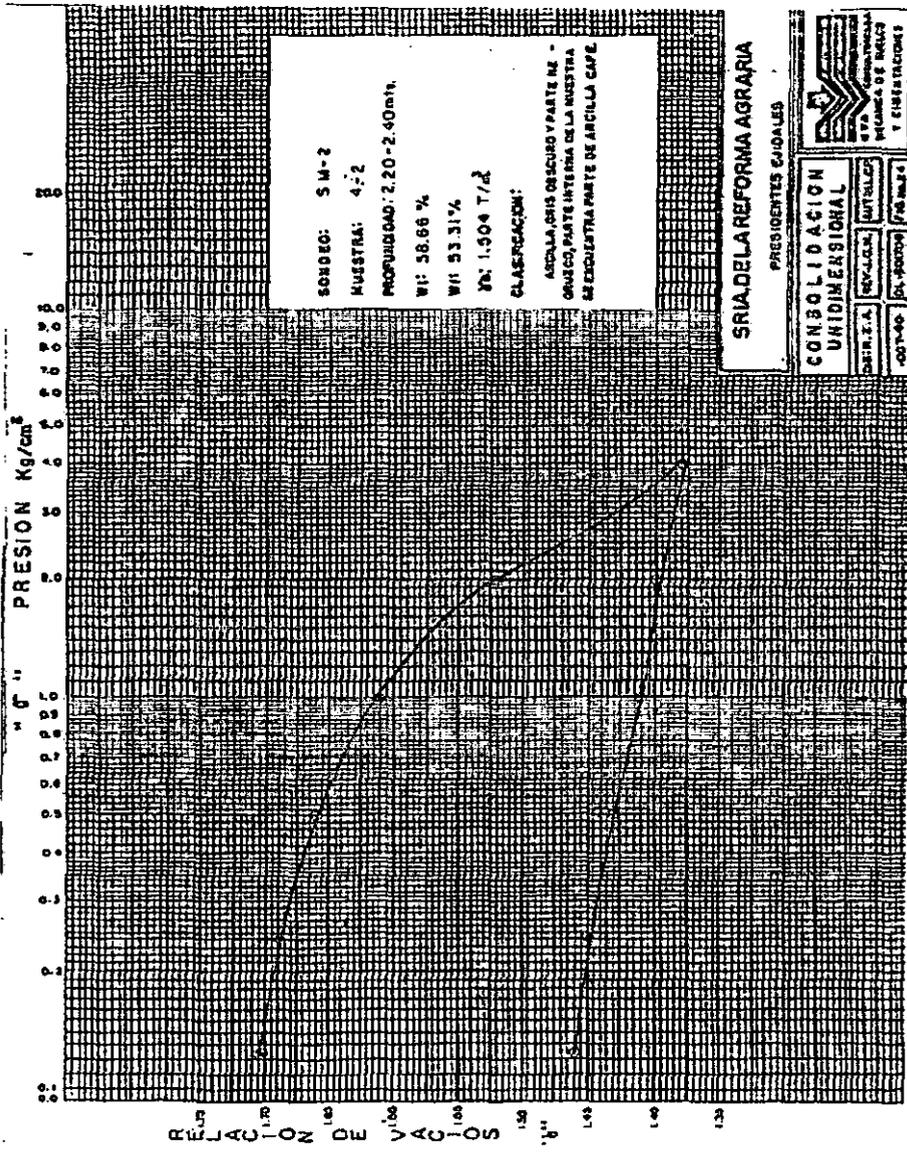


FIG. 45

V.3.3.- Conclusiones Respecto a Las Propiedades De Los Materiales

De acuerdo con los resultados de laboratorio y tomando en cuenta las condiciones estratigráficas para el predio en estudio, se pudo concluir, que para efectuar los análisis de los sistemas de cimentación posibles en el área de interés, se usaron las propiedades de los materiales del subsuelo, que están contenidas en todos los estudios realizados y que dentro de la seguridad, son representativas del comportamiento esperado de los materiales en que se alojaran y apoyarán los edificios en proyecto.

V.4.- Análisis De La Cimentación

V.4.1.- Tipo De Cimentación Recomendable

Con base en las observaciones realizadas en los materiales que constituyen el subsuelo explorado; complementadas con el conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas determinadas en el laboratorio; así como el proyecto arquitectónico de la edificación, se pudo establecer que la alternativa de cimentación adecuada es de tipo profundo siendo a base de:

Pilotes de punta, los cuales transmiten la carga a materiales de mayor resistencia y menor compresibilidad. Estos son de concreto armado con una sección transversal de 50 x 50 cm, y una longitud de 14.90 mts. teniendo una capacidad ante fuerzas estáticas mas fricción negativa de 190 ton. Sobre estos se encuentran dados de cimentación de 1.20 x 1.20 mts. y un peralte del mismo valor que el de las contratrabes de 1.20 mts. (un ejemplo de calculo del pilote aplicando el método estático se muestra en el anexo 1)

Toda la estructura esta apoyada en los pilotes, de tal manera que la losa de cimentación trabaja para fuerzas gravitacionales y las contratrabes toman la reacción de los pilotes y los momentos de las columnas.

No se consideró el empleo de una cimentación compensada (aprovechando la existencia de sótanos), debido a la fuerte excentricidad que presentan los edificios (excentricidad mayor de 2.0 m en el edificio).

Se estudiaron los tipos de cimentación, considerando un peso de la edificación de 7,134 ton. de acuerdo a la información de bajada de cargas que fue proporcionada a ETA.

Se determino la presión de reacción admisible con un factor de seguridad de 3 y una vez obtenida tal presión, se valorizó el hundimiento que se prevé podrá ocurrir en la cimentación.

V.4.2 Capacidad de Carga Admisible y hundimientos Probables

Los resultados de los análisis efectuados para la cimentación propuesta, se resumen en la siguiente tabla:

(en donde se indican las presiones de reacción admisible y los hundimientos probables)

CAPACIDAD DE CARGA Y HUNDIMIENTOS PROBABLES PARA LA CIMENTACION A BASE DE PILOTES O PILAS

TIPO DE CIMENTACION	DIMENSIONES			PROFUNDIDAD		AREA TRIBUTARIA (m ²)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (ton)	ASENTAMIENTO TOTAL A LARGO PLAZO (cm)
	PILOTE	PILA		A LA CUAL SE IN-	A LA CUAL SE			
	FUSTE	FUSTE	BASE	CIA EL MANTO	DESPLANTA			
	LADO (cm)	DIAM. (cm)	DIAM. (cm)	RESISTENTE (m)	LA BASE (m)			
(2)	(3)	(2)	(4)	(4)	(5)	(7)		

PILOTE CUADRADO (1)	40			17.00	17.50 18.00 18.50	16.80	41 56 71	1.3
PILOTE CUADRADO (1)	45			17.00	17.50 18.00 18.50	16.80	54 71 91	1.3
PILOTE CUADRADO (1)	50			17.00	17.50 18.00 18.50	16.80	63 89 114	1.3
PILOTE CUADRADO (1)	55			17.00	17.50 18.00 18.50	16.80	81 107 139	1.3
PILA RECTA		100	100	17.00	17.50 18.00 18.50	62.50	126 165 193	0.9 1.1 1.3
PILA RECTA		150	150	17.00	17.50 18.00 18.50	62.50	282 362 424	1.3 1.6 1.9
PILA CON CAMPANA		100	150	17.00	17.50 18.00 18.50	62.50	320 384 449	1.4 1.7 2.0
PILA RECTA		200	200	17.00	17.50 18.00 18.50	62.50	504 609 725	1.8 2.1 2.5
PILA CON CAMPANA		100	200	17.00	17.50 18.00 18.50	62.50	586 692 797	1.9 2.2 2.6

V.4.3.- Procedimientos De Excavación Para Alojjar La Cimentación .

Todas las excavaciones que se realizaron por condiciones del proyecto, se llevaron a cielo abierto, formando taludes, en el perímetro. Las inclinaciones de estos taludes, estuvieron en función de la altura total del corte donde se realizó la excavación; por lo que para cortes con altura de más de 3.0 mts. se formaron taludes con una inclinación de 1.5:1.0 (horizontal-vertical). En las colindancias con calle y construcciones circunvecinas, se construyeron los muros del estacionamiento por tramos alternados de 2.0 mts. como se muestra en la siguiente figura (fig. 46):

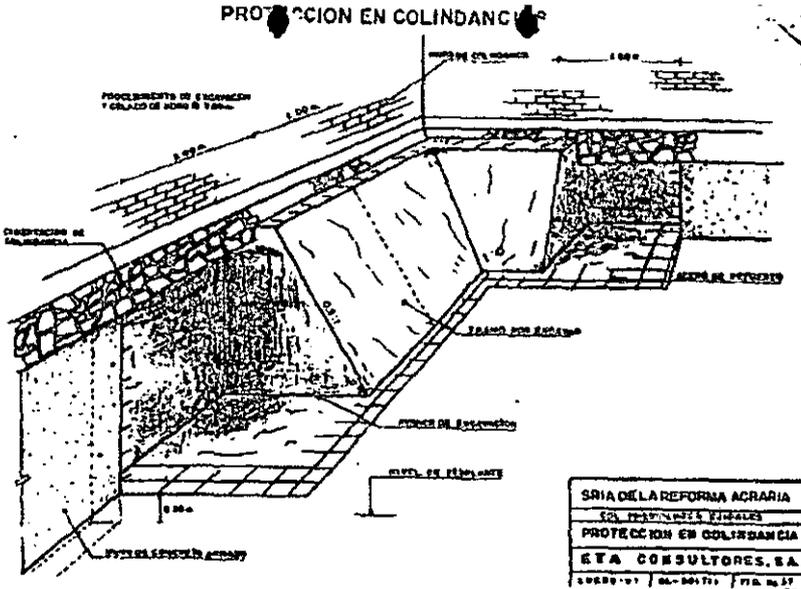


FIG. 46

Debido a que las excavaciones realizadas, se tenían que llevar a cabo en seco, se diseñó un sistema de bombeo que permitió desalojar el agua infiltrada del subsuelo.

Dicho sistema de bombeo, estaba formado por drenes perimetrales y longitudinales localizados en los ejes de la cimentación, mismos que drenaron el agua superficial hacia cárcamos de bombeo; El agua así colectada, se depositó en un tanque sedimentador y una vez limpia, fue incorporada a la red de drenaje general, evitando en esta forma el azolvamiento.

Para la hincada de los pilotes primeramente se efectuó una perforación previa, con el objeto de servir de guía y facilitar el hincado para alcanzar la profundidad recomendada.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

La perforación previa, se realizó con un diámetro menor al del pilote; definiéndose la dimensión por medio de la siguiente expresión.

$$1.1 A_p < d < 0.747 A_p$$

d= diámetro de la perforación

A_p = Área de la sección transversal del pilote por hincar

- EL Pilote se hincó en el estrato resistente hasta que se presentó un rechazo.
- La distancia mínima entre pilotes, de centro a centro fue de tres veces su diámetro, tomándose como referencia el diámetro del círculo envolvente de la sección de dicho pilote; además la distribución de estos se trato de llevar en lo más posible en forma uniforme buscando con esto que el centroide de las cargas de la edificación, coincidiera con el centro del grupo de pilotes.

V.4.4.- Control De Construcción

Con el propósito de constatar la magnitud de los efectos que se presentaron durante la construcción de la cimentación y además para poder controlar el comportamiento futuro de las estructuras en proyecto, se considero recomendable colocar los siguientes dispositivos de observación y medición:

- a.- Se fijaron bancos de nivel superficial para referencia de sucesivas nivelaciones de control.
- b.- Se marcaron puntos de referencia para medición de movimientos en las construcciones vecinas.
- c.- Se ubicaron puntos de referencia para nivelaciones de la sección perimetral
- d.- Se ubicaron puntos de referencia para nivelaciones de cimentación, columnas y muros conforme avanzó la construcción de los mismos, y además se inicio el registro de los movimientos para estar en condiciones de observar cual será el comportamiento de la obra con el paso del tiempo.

Las observaciones se llevaron a cabo con una periodicidad no mayor de una semana, durante la excavación y construcción de la cimentación y al termino de la misma estas se han ido distanciando cada vez más.

V.5.- Prueba de Carga Estática

Con el objeto de confirmar la capacidad de carga estática de los pilotes que forman la cimentación del edificio de la Secretaria de la Reforma Agraria, se llevo a cabo la prueba de carga estática, la cual se efectúo sobre pilotes individuales, localizados fuera de la zona donde quedo emplazado el edificio; los pilotes fueron probados inmediatamente después de que se hincaron con una carga de 380 ton. carga que se aplico a cada pilote (fig. 47).

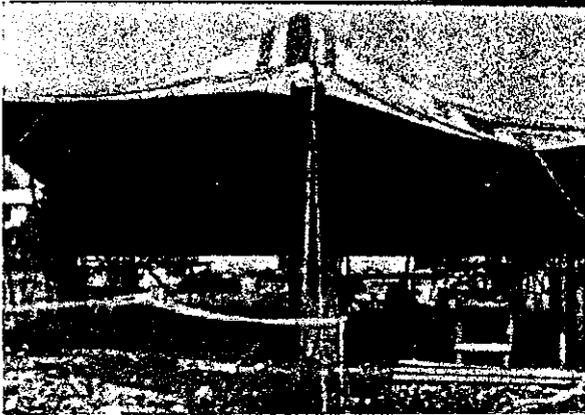
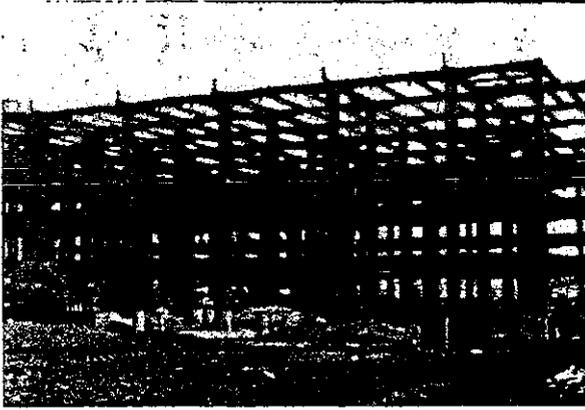


FIG. 47

El sistema que se utilizó para llevar a cabo la prueba consistió en utilizar una armadura como estructura para transmitir a pilotes de apoyo la reacción que genera la carga que se aplicó en el pilote de prueba; las características de estos elementos se muestran a continuación (fig. 48).

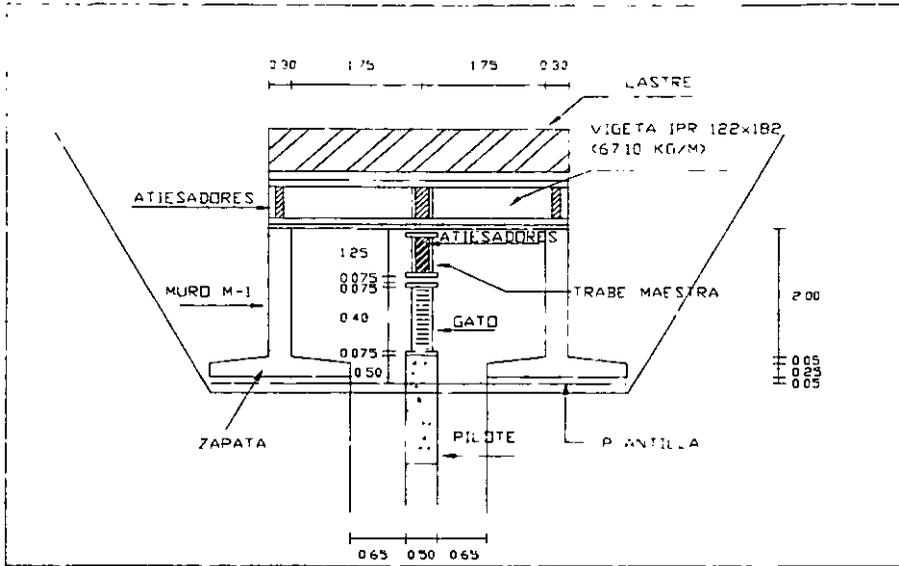


FIG. 48

Los pilotes que fueron probados tenían una longitud de 20.00 mts., mientras que los pilotes que sirvieron de apoyo tuvieron una longitud de 17.90 mts.

V.5.1.- Procedimiento de Prueba

Antes de iniciarse la prueba se verificó que la carga de 380 ton, que se aplicaría a los pilotes de prueba, fuera en forma axial, esto fue con la finalidad de que no se presentaran excentricidades que pudieran ocasionar un momento flexionante, lo cual se logró interconectando los gatos que generaron la carga.

Existen 2 premisas que se tomaron en cuenta en la ejecución de la prueba, la primera es en el sentido de que los asentamientos plásticos sufridos por el pilote son los que determinaron la carga última del mismo, y la segunda es que se tenía que garantizar que la totalidad de la carga de prueba aplicada llegara hasta el estrato definido para soportar dicha carga, ubicado a una distancia de 17.40 mts.

La carga fue aplicada en incrementos de 47.5 ton. cada uno, hasta que la velocidad de la deformación era de 0.25 mm por hora, efectuándose lecturas del asentamientos en los 1,2,4,8,15, y 30 minutos en el principio y de cada hora posteriormente hasta llegar al valor de la deformación establecido con anterioridad; momento en el cual se cambio al siguiente incremento, repitiéndose el proceso hasta llegar a las 380 ton. y descargando al final también en incrementos de 47.5 ton. Durante este procedimiento se llevaron los registros de carga, asentamiento y tiempo de aplicación de la carga con la finalidad de llevar a cabo las gráficas de deformacion-tiempo y carga-deformacion para cada incremento, ver las siguiente figura (fig. 49):

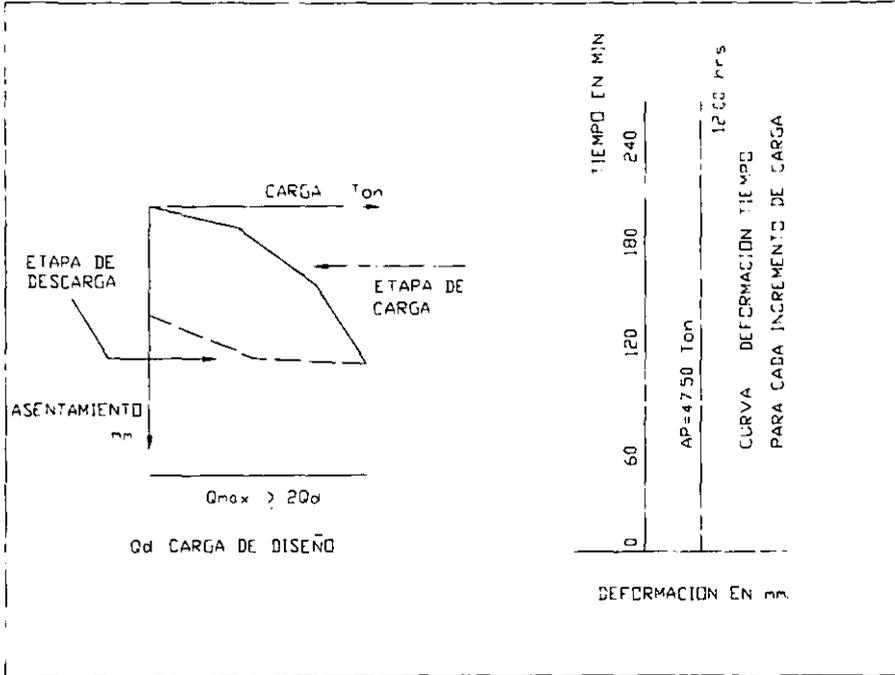


FIG. 49

La descarga se llevo en 8 decrementos con una duración de 2 horas cada uno de ellos, midiendo la recuperación de los asentamientos a 1,2,4,8,15,30,60, y 120 minutos.

Cuando se presento un cambio en la pendiente de la curva carga-asentamiento, como la que se muestra a continuación (fig. 50), antes de llegar a la carga máxima de la prueba se detuvo el proceso de carga y se inicio el de descarga también en decrementos de 47.5 ton., cada 2 horas, hasta llegar a la carga nula; en ese momento se midió durante 15,30,60, y 120 min. y hasta 24 horas el asentamiento recuperado.

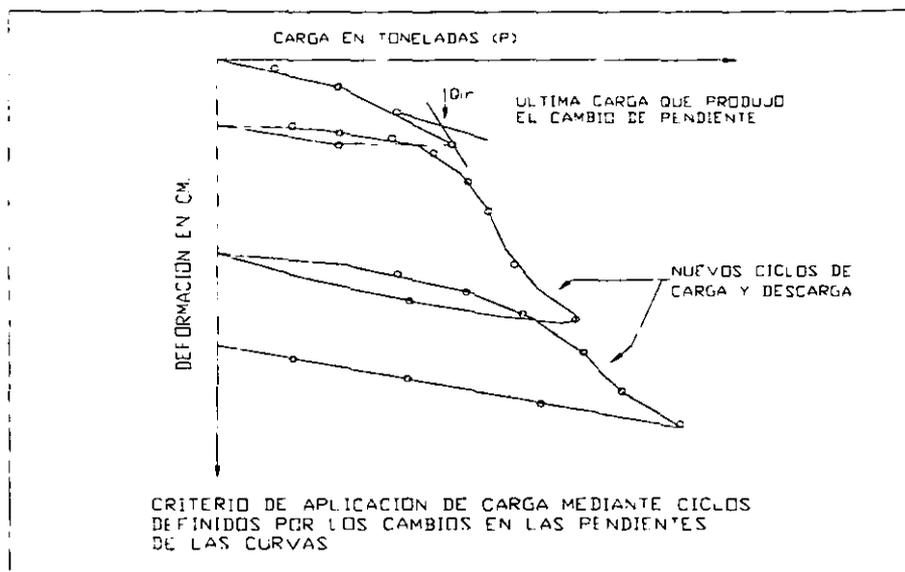


FIG. 50

Lográndose lo anterior se inicio un nuevo ciclo de carga con los mismos incrementos iniciales, pero se disminuyo a 23.75 ton., antes del último incremento de 47.50 ton., que produjo el cambio en la pendiente de la curva carga-asentamiento. Después de este valor se aplicaron 2 nuevos incrementos de 23.75 ton., aplicados durante 6 horas cada uno y se efectuaron mediciones de asentamientos con el mismo criterio antes señalado, para continuar posteriormente con incrementos de 47.5 ton. nuevamente, este procedimiento se siguió hasta las 380 ton., especificadas. Durante la ejecución de la prueba se hicieron las mediciones de las deformaciones que sufrieron los pilotes de prueba y los pilotes de reacción, por medio de micrómetros (3 por pilote) con una precisión de 0.1 mm, distribuidos de tal forma que el centro geométrico de los tres coincidió aproximadamente con el centro del pilote en cuestión. Los micrómetros se sujetaron a puntos fijos (fig. 51), colocados en estructuras independientes al sistema de carga.

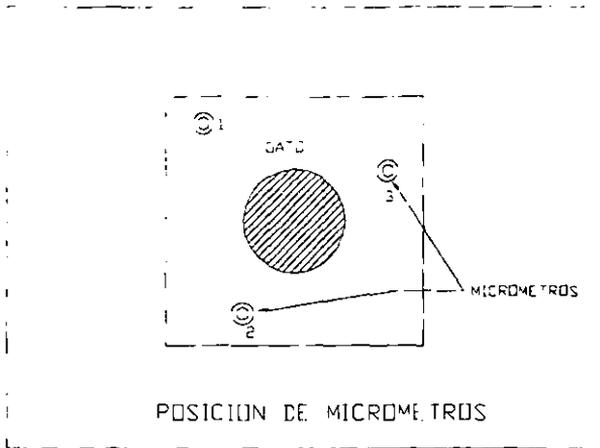


FIG. 51

Los elementos que sujetaron los micrómetros se protegieron con tela de fibra de vidrio y papel aluminio para que no influyeran los cambios de temperatura, además de que también se instaló un termómetro cercano al cabezal del pilote y en el que se observó la temperatura al momento de efectuarse las lecturas de los micrómetros, el termómetro tenía una aproximación de un grado centígrado.

Terminada la ejecución de la prueba se procedió a descabezar los pilotes tanto de reacción como el de prueba en una longitud mínima de 2.0 mts., rellenando posteriormente las huecos con un material areno-limoso (tipo tepetate) cuyo contenido de partículas que pasan la malla No. 200 no excedió el 25%. El tendido se realizó en capas de espesor compacto máximo de 30 cm., y se compactó al 90%, de su peso volumétrico seco máximo (fig. 52).



FIG. 52

V.6.- Memoria de Calculo

V.6.1.- Diseño del Pilote

Datos:

- Sección del pilote	= 50x50 cm.
- Numero de pilotes aprox.	= 86
- Capacidad de carga útil	= 150 Ton.
- Fricción negativa	= 40 Ton.
- Carga total sobre el pilote	= 150+40=190 Ton.
- Cortante basal	= 485.35 Ton-m
- Excentricidad accidental	= 0.05 x 50= 2.50 cm.
- Momento flexionante (M)	= 0.025 x 190= 4.75 Ton-m

Desarrollo:

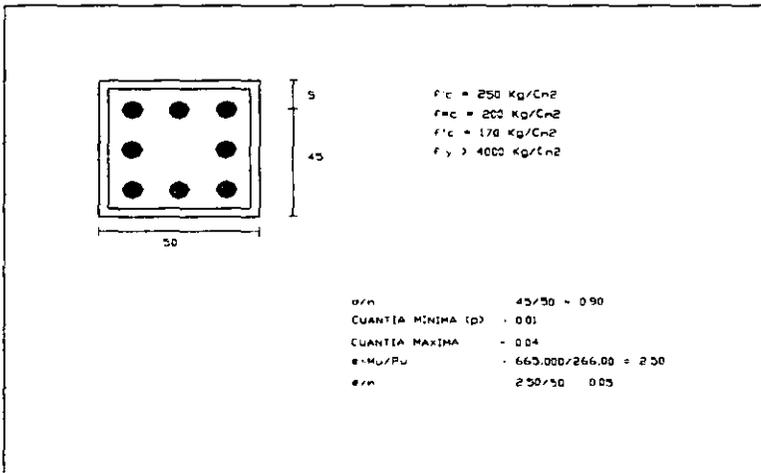
La fuerza cortante por pilote la obtenemos de dividir el cortante basal, entre el numero aproximado de pilotes, por lo tanto tenemos que:

$$V = 485.35/86 = 5.64 \text{ Ton.}$$

Calculando los elementos mecánicos por un factor de seguridad.

$P_u = F_s(P)$	= 1.4(190)=266 Ton
$M_u = F_s(M)$	= 1.4(4.75)=6.65 Ton-m
$V_u = F_s(V)$	= 1.4(5.64)=7.90 Ton

El pilote se diseño como una columna sujeta a flexocompresión, por lo tanto tenemos que el acero se considero distribuido uniformemente como se muestra a continuación (fig.53).



(FIG. 53).

Colocando la cuantía mínima

$$q = \rho (f_y / f'_c)$$
$$q = 0.01 \times (4000/170) = 0.23$$

De tablas $k = 1.15$

Por lo tanto

$$Pr = k f_r b h f'_c$$
$$Pr = 1.15 \times 0.8 \times 50 \times 50 \times 170 = 391,000 \text{ kgs.}$$
$$Pr = 391 \text{ Ton} > 266 \text{ Ton} \quad \text{Ok.}$$

Estando correcta la sección en cuanto a carga, ya que pasa con la cuantía mínima.

Calculando el área de refuerzo se tiene que:

$$As = \rho b d$$
$$As = 0.01 \times 50 \times 50 = 25 \text{ cm}^2$$

con:

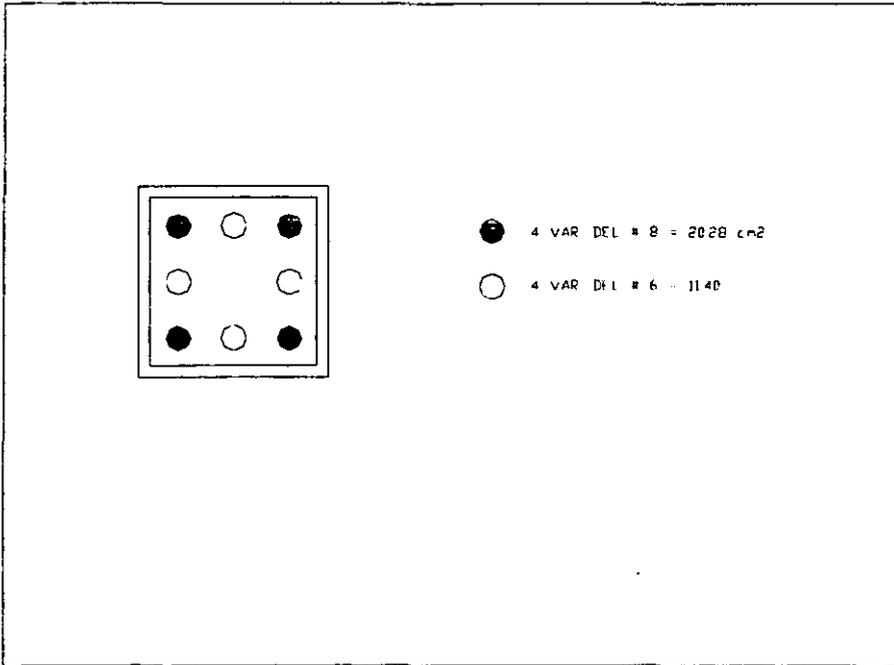


FIG.54

Nos da un total de $31.68 \text{ cm}^2 > 25 \text{ cm}^2$ O.k.

Considerando el cortante basal y diseñando ahora como viga en cantiliver tenemos:

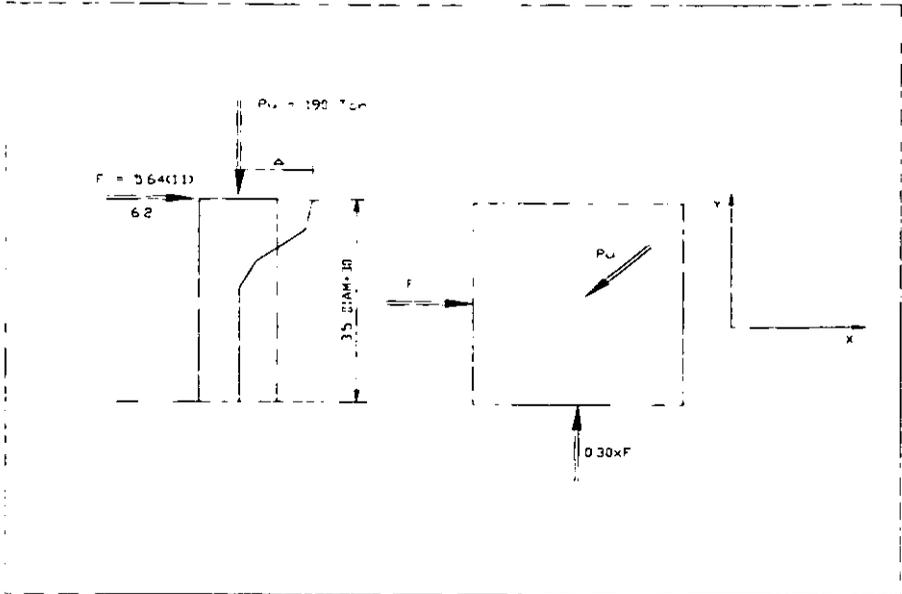


FIG. 55

La fuerza cortante por pilote $= 1.1(5.64) = 6.2 \text{ Ton.}$
 El brazo de palanca $= (3.5 \times 50) / (2 + 30)$
 $= 117.5 \text{ cm.}$

La flecha originada por la fuerza F es:

$\delta = (FL^3) / (3EI)$ de donde:
 $I = (bd^3) / 12 = 6,250,000 / 12 = 520,833.33 \text{ cm}^4$
 $E = 8000 \text{ f'c} = 8000(250) = 126,491.1 \text{ kg/cm}^2$
 $L = 3.5\phi + 30 = 3.5(50) + 30 = 205 \text{ cm.}$
 $\xi = 5640(205)^3 / 3 \times 520,833.33 \times 126,491.1 = 0.246 \text{ cm}$
 $e \text{ total} = e \text{ acc.} + \xi = 0.05 \times 50 + 0.246 = 2.746 \text{ cm}$
 $M_{uy} = V_x(\text{brazo}) + P_e = 6.20(1.175) + 190(0.027) = 12.42 \text{ ton-m}$
 $M_{ux} = V_x(\text{brazo})0.30 + P_e = 6.204(1.18)(0.30) + 190(0.028)$
 $= 7.52 \text{ Ton-m}$

Por lo tanto:

$P_u = 190 \text{ Ton}$
 $V_{ux} = 6.20 \text{ Ton}$
 $V_{uy} = 6.20(0.30) = 1.86 \text{ Ton}$
 $M_{uy} = 12.42 \text{ Ton-m}$
 $M_{ux} = 7.52 \text{ Ton-m}$
 $e_x = M_{uy} / P_u = 1242 / 190 = 6.65 \text{ cm}$
 $e_y = M_{ux} / P_u = 752 / 190 = 3.958 \text{ cm}$

Para obtener P_{rx} se divide e_x/h , esto es

$$e_x/h = 6.653 / 50 = 0.133$$

Proponiendo la cuantía mínima

$$q=0.01 (f' y/f' c)=(0.01 \times 4000) / 170= 0.235$$

Considerando el acero distribuido uniformemente en las cuatro caras

$$d/h= 45/50=0.90$$

De tablas $K_x=0.95$ y como $P_{rx}=K_x Fr bh f' c$ entonces

$$P_{rx}= 0.95 \times 0.7 \times 50^2 \times 170= 282.62 \text{ Tons}$$

Para el calculo de P_{ry} se tiene que:

$$e_y/h = 3.958 / 50=0.08$$

$q=0.23$ y de tablas $K_y = 1.05$

$$P_{ry}=K_y Fr bh f' c$$

$$= 1.05 \times 0.7 \times 50^2 \times 170= 312.4 \text{ Ton.}$$

Para el calculo de P_{ro} se tiene que;

$$P_{ro}=0.80[Ac f' c + As f_y]=$$

$$P_{ro}= 0.80[(2500)170+(31.68)4000]= 441.38 \text{ Ton}$$

Y para P_r

$$P_r= [(1/ P_{rx})+(1/ P_{ry})-(1/ P_{ro})]^{-1} =$$

$$P_r= [(1/282.60)+(1/312.4)-(1/441.38)]^{-1} =$$

$$P_r=223.51 \text{ Ton} > 190 \text{ Ton O.k}$$

Para un análisis con cargas mas cercanas al trabajo real del pilote podemos hacer

$$P_u= 107.85 \times 1.1 + 40 = 158.64 \text{ Ton.}$$

$$M_{ux}=8.74 \times 1.1 + 158.64 \times 0.025 = 13.58 \text{ Ton-m}$$

$$M_{uy}=0.30(8.74)(1.1) + 158.64(0.025) = 6.85 \text{ Ton-m}$$

$$e_x=6.85/159 = 0.043 \text{ mts.}$$

$$e_y=13.58/159 = 0.085 \text{ mts.}$$

Calculando P_{rx}

$$\begin{aligned} e_x/h &= 4.6/50 & &= 0.088 \\ p &= A_s/bh = 31.68/50^2 & &= 0.0126 \\ q &= (0.0126 \times 4000)/170 & &= 0.30 \\ d/h &= 45/90 & &= 0.90 \end{aligned}$$

De tablas $K=1.05$

entonces

$$P_{rx} = 1.05 \times 0.70 \times 50^2 \times 170 = 312.4 \text{ Ton.}$$

Calculando P_{ry}

$$\begin{aligned} e_y/h &= 8.5/50 = 0.17 \\ q &= 0.30 \\ d/h &= 0.90 \quad \text{entonces } k = 0.85 \\ P_{ry} &= 0.85 \times 0.70 \times 50^2 \times 170 = 252.87 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Calculo de P_{ro} .

$$\begin{aligned} P_{ro} &= [(1/312.4) + (1/252.87) - (1/441.38)]^{-1} \\ P_{ro} &= 208.41 \text{ Ton} > 158.64 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Por lo tanto seguimos estando sobrados con el porcentaje de acero considerado. A continuación mostramos el armado definitivo con que se construyeron los pilotes que se utilizaron en la obra (fig. 56).

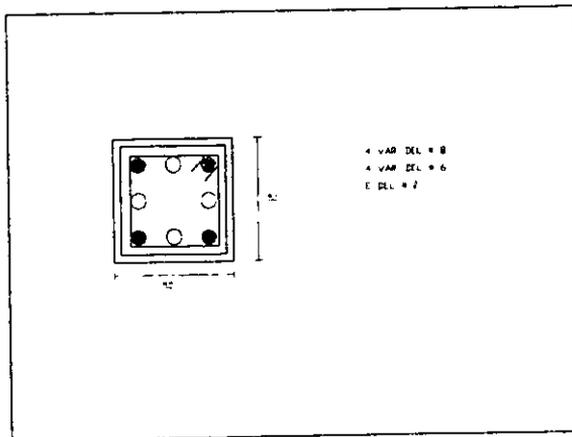


FIG. 56

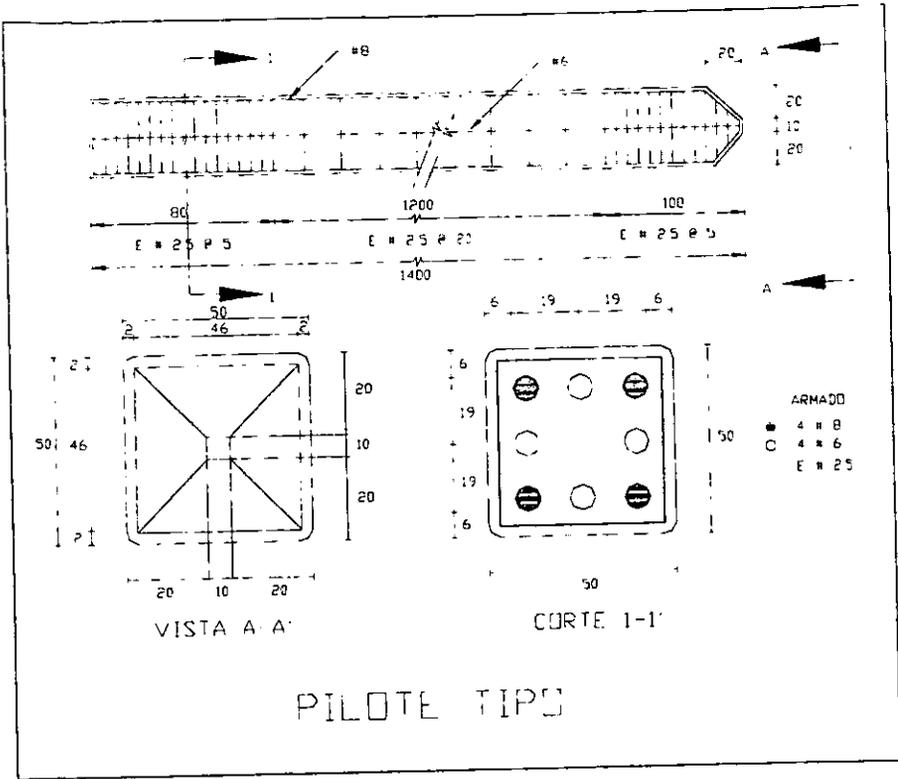


FIG.57

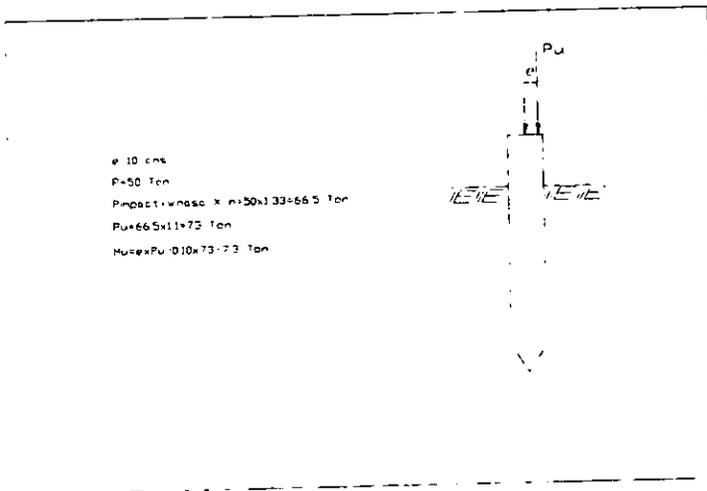


FIG.58

V.6.2.- Revisión De Hincado De Pilotes

La revisión se hará haciendo varias consideraciones a la resistencia del concreto

(f'c):

- Considerando el 100% de resistencia (f'c)

f'c	=250 Kg/cm ²	
f [*] c	=200 Kg/cm ²	
f ^o c	=170 Kg/cm ²	
e/h	=10/50= 0.20	
ρ	=0.01(cuantía mínima)	
q	=(0.01×4000)/170=0.23	
k	=0.075	
Pr	=0.75(0.80)(50 ²)(170)=255 Ton>73 Ton.	O.k.
Mr	=25.5 Ton-m>7.3 Ton-m	O.k.

- Considerando el 75% de la resistencia del concreto

	0.75f'c =0.75(250)=187.5 Kg/cm ²	
	f [*] c =0.80(f'c)=0.80(187)=150 Kg/cm ²	
	f ^o c =0.85(f [*] c)=0.85(150)=127 kg/cm ²	
	e/h =0.2	
	ρ =0.01	
	q = (0.01×4000)/127=0.31	
de tablas	K =0.80	
	Pr =0.80(0.80)50 ² ×102	
	Pr =163>73 Ton.	
	Mr =20.3 Ton-m > 7.3 ton-m	

- Considerando el 50% de la resistencia del concreto

	0.50f'c =0.50(250)=125 Kg/cm ²	
	f [*] c =0.80(125)=100 Kg/cm ²	
	f ^o c =0.85(100)=85 Kg/ cm ²	
	e/h =0.2	
	ρ =0.01	
	q = (0.01×4000)/85=0.5	
	k =0.92	
	Pr =0.92(0.80)(50 ²)68=125 Ton>73 Ton.	
	Mr =16.15 Ton-m>7.3 Ton-m	

Considerando momentos en ambos sentidos

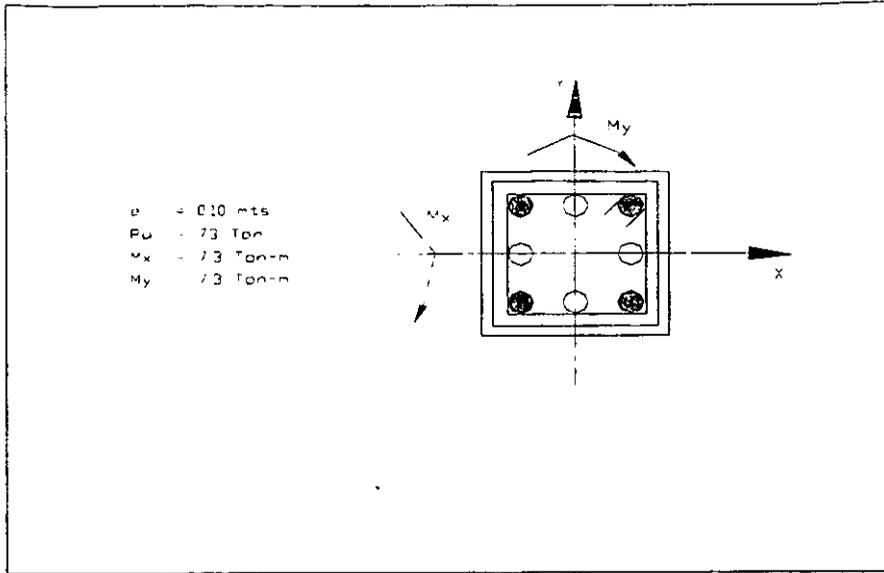


FIG.59

- Considerando el 100% de resistencia (f'_c)

$$\begin{aligned}
 f'_c &= 250 \text{ Kg/cm}^2 \\
 f'_c &= 200 \text{ Kg/cm}^2 \\
 f'_c &= 170 \text{ Kg/cm}^2 \\
 e_x/b &= 10/50=0.20 \\
 e_y/b &= 10/50=0.20
 \end{aligned}$$

entonces tenemos que R_x y R_y son igual a 1.0

$$\begin{aligned}
 d/b &= 0.90 \\
 \rho &= 0.01 \\
 q &= 0.23
 \end{aligned}$$

para ambas direcciones $K=0.76$

$$\begin{aligned}
 P_u &= K F_r b h f'_c \\
 P_u &= 0.76(0.80)(50^2)(136)=206,720 \text{ Kg (para falla en compresión)} \\
 P_{ro} &= F_r(bd f'_c + A_s f_y) \\
 P_{ro} &= 0.80((50^2)(170) + 0.01(50^2)4000)=420,000 \text{ Kg} \\
 P_r &= [(2/206,720) - (1/393,750)]^{-1} \\
 P_r &= 140 \text{ Ton} > 73 \text{ Ton. O.K.}
 \end{aligned}$$

- Considerando el 75% de resistencia

$$\begin{aligned}
 0.75f_c &= 187.5 \text{ Kg/cm}^2 \\
 f_c &= 150 \text{ Kg/cm}^2 \\
 f_c &= 127 \text{ Kg/cm}^2 \\
 \rho &= 0.01 \\
 q &= 0.3
 \end{aligned}$$

Para ambas direcciones $K=0.80$

$$\begin{aligned}
 P_u &= 0.80(0.80)(50^2)(102) = 163,200 \text{ Kg} \\
 P_o &= 313,125 \text{ Kg} \\
 P_r &= 110 \text{ ton} > 73 \text{ Ton} \quad \text{O.K.}
 \end{aligned}$$

V.6.3.- Revisión De Esfuerzo Por Izaje

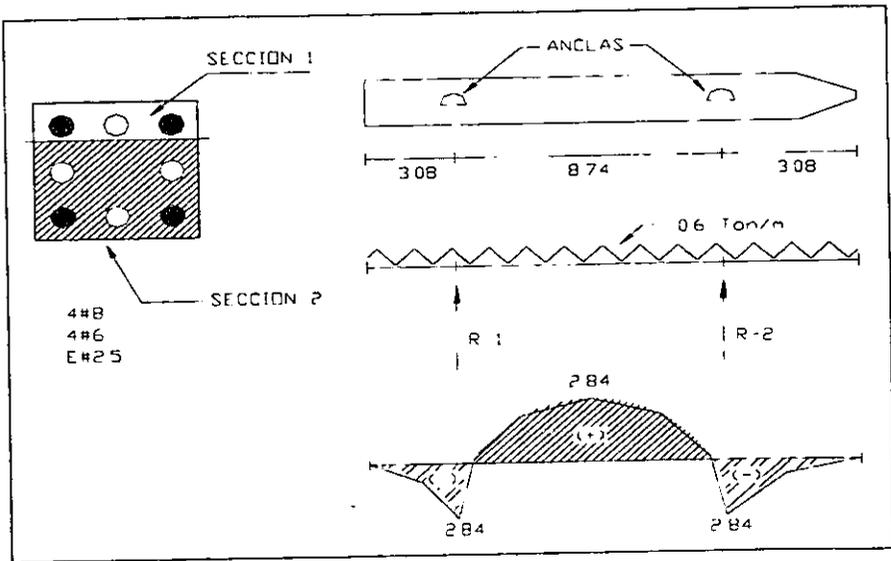


FIG. 60

$$\begin{aligned}
 M &= 2.84 \text{ Ton-m} \\
 M_{\text{impact}} &= 1.33M = 3.78 \text{ Ton-m} \\
 M_u &= 1.4 M_{\text{impact}} = 5.29 \text{ Ton-m}
 \end{aligned}$$

Considerando dos secciones resistentes:

- 1.- 50x45
- 2.- 50x38

- Primera consideración al 100%

$$\begin{aligned}
 f_c &= 250 \text{ Kg/cm}^2 \\
 f_y &= 4000 \text{ Kg/cm}^2 \\
 f^*c &= 0.80(250) = 200 \text{ Kg/cm}^2 \\
 f^*c &= 0.85(200) = 170 \text{ Kg/cm}^2 \\
 \rho_1 = A_s/bd &= (2 \times 5.07) / (50 \times 45) = 0.0045 \\
 q_1 = \rho f_y / f^*c &= (0.0045 \times 4000) / 170 = 0.106 \\
 \rho_2 &= (3 \times 1.27) / (50 \times 38) = 0.002 \\
 q_2 &= (0.002 \times 4000) / 170 = 0.047 \\
 M_r &= F_r b d^2 f^*c q (1 - 0.5q) \\
 M_{r1} &= 0.9(50)(45^2)(170)(0.106)(1 - 0.5 \times 0.106) \\
 M_{r1} &= 15.55 \text{ Ton-m} \\
 M_{r2} &= 0.9(50)(38^2)(170)(0.047)(1 - 0.5 \times 0.047) \\
 M_{r2} &= 5.07 \text{ Ton-m} \\
 M_n &= 15.55 + 5.07 = 20.62 \text{ Ton-m} > \mu = 5.29 \text{ Ton-m}
 \end{aligned}$$

Revisando al 75%

$$\begin{aligned}
 0.75 f_c &= 187.5 \text{ Kg/cm}^2 \\
 f_y &= 4000 \text{ Kg/cm}^2 \\
 f^*c &= 0.8(187.5) = 150 \text{ Kg/cm}^2 \\
 f^*c &= 0.85(150) = 127 \text{ Kg/cm}^2 \\
 \rho_1 &= 0.0045 \\
 q_1 &= (0.0045 \times 4000) / 127 = 0.14 \\
 M_{r1} &= 0.90(50)(45^2)(127) \times 0.140(1 - 0.5 \times 0.140) \\
 M_{r1} &= 15.06 \text{ Ton-m} \\
 \rho_2 &= 0.002 \\
 q_2 &= (0.002 \times 4000) / 127 = 0.063 \\
 M_{r2} &= 0.90(50)(38^2)(127) \times 0.063(1 - 0.5 \times 0.063) \\
 M_{r2} &= 5.03 \text{ Ton-m} \\
 M_n &= 15.06 + 5.03 = 20.10 \text{ Ton-m} > 5.29 \text{ Ton-m}
 \end{aligned}$$

Para el efecto de izaje de pilotes estos tuvieron que tener como mínimo el 60% de su resistencia total.

V.6.4.- Ganchos De Pilotes

Determinando los elementos mecánicos tenemos (fig. 61)

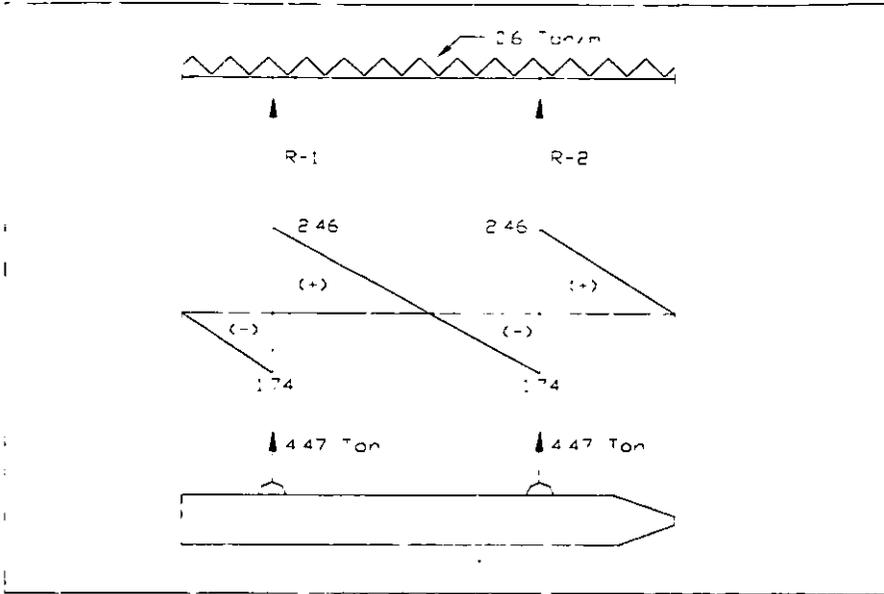


FIG. 61

$$M_1 = \frac{(0.6 \times 3.08^2)}{2} = 2.85 \text{ ton-m}$$

$$M_2 = 2.85 \text{ Ton-m}$$

Determinando el área de acero del gancho

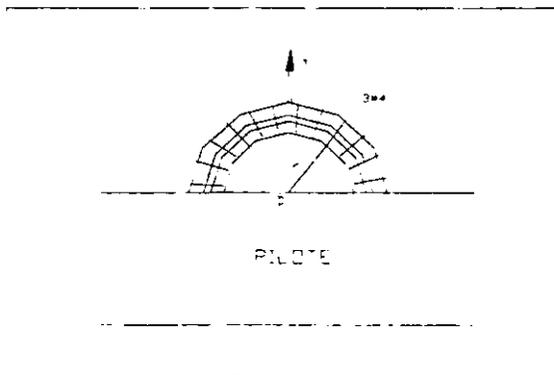


FIG. 62

Para la fuerza de tensión:

$$\begin{aligned}2A_{req} &= T/f_r = 4,470/(0.6 \times 4000) = 1.86 \text{ cm}^2 \\ A_{req} &= 1.86/2 = 0.93 \text{ cm}^2 \\ 1 \text{ var } \frac{1}{2}'' &> 0.96\end{aligned}$$

Para la revisión de la fuerza cortante tomamos el 40% de f_y

$$f_{vp} = 0.4(4000) = 1600 \text{ Kg/cm}^2$$

Este valor lo dividimos entre el coeficiente de impacto = 1.33

$$f_{vp} = 1600/1.33 = 1,203 \text{ Kg/cm}^2$$

EL área requerida es igual al cortante entre el esfuerzo cortante permisible (f_{vp}):

$$A_{req} = 4,470/1,203 = 3.71 \text{ cm}^2 < 3 \text{ vars. } \# 4 (3.81 \text{ cm}^2) \text{ O.k.}$$

El radio interior del gancho según las normas técnicas del Reglamento de Construcciones del D.F. viene dado por

$$r = (f_y \times d)/(60 \times f^*c) = (4200 \times 1.27)/(60 \times 200) = 6.3 \text{ cm}$$

V.7.- Hincado de Pilotes

Como ya se analizó anteriormente, los pilotes que componen la cimentación del edificio son de concreto armado con una sección cuadrada de 50x50 cm, los cuales se hincaron mediante golpes en una perforación previa que tenía un diámetro de 60 cm, hasta una profundidad de 50 cm por arriba de la elevación de desplante de los pilotes; el hincado se efectuó a partir de la superficie del terreno natural, inclusive antes de que se iniciara la excavación del cajón que sirve como estacionamiento para los autos de los directivos de la Secretaría.

Antes de iniciarse el hincado de los pilotes, estos se protegieron del cabezal con un colchón compuesto por 3 capas de madera de 2" de espesor, unidas cada una de ellas firmemente a este y sobre las cuales se colocó un capuchón metálico; en caso de que el colchón resultara afectado, para evitar daños estructurales al Pilote, este era reemplazado inmediatamente por otro que estuviera en buenas condiciones.

El hincado de los pilotes se llevo a cabo mediante un martillo, cuyo peso del pistón móvil osciló entre 0.35 y 0.50 veces del peso del pilote, (por especificaciones), por lo cual se utilizó un martinete Delmag D-22, el cual tiene una altura de caída de martillo menor de 1.20 mts.

Los pilotes se hincaron a percusión hasta tocar el estrato de apoyo pero además se considero que la resistencia a la penetración en 2 cm. fuera igual o mayor de 10 golpes, con esto, se tuvieron algunos pilotes que quedaron con una elevación de remate menor a la requerida en el proyecto estructural, por lo cual fue necesario realizar colados adicionales. El desplome máximo permisible del eje longitudinal de los pilotes es igual al 1% de la longitud total; en cuanto a la separación en planta de la cabeza de los pilotes no sobrepaso los 20 cm con respecto a la de proyecto (3 diámetros).

CAPITULO VI

Conclusiones

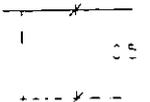
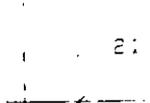
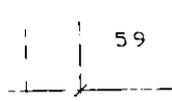
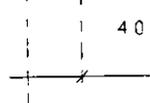
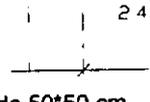
El comportamiento de los pilotes depende de que tan de acuerdo están las condiciones del campo con las suposiciones del proyecto; ya que por ejemplo el proyecto puede suponer que la carga esta repartida por igual en cada uno de los pilotes de un grupo, teniéndose como condición que la separación entre pilotes se tome de centro a centro de como lo marca el proyecto; para hacer cumplir este objetivo se tiene que llevar a cabo una supervisión adecuada, y un control de calidad bien definido en la ejecución de la obra. La determinación de la capacidad de carga de un pilote es uno de los puntos de la mecánica de suelos más sujeto a las incertidumbres, resultado de lo imperfecto de las teorías de que se dispone en la actualidad, de la dificultad de cuantificar la influencia del método constructivo del pilote y del desconocimiento de como deben ser tomadas en cuenta las características esfuerzo-deformación de los suelos, ahora bien, aunque se calcule con precisión la capacidad de carga de un pilote debe tenerse en cuenta que en la realización de un proyecto por lo general nunca se utiliza un solo elemento sino un conjunto de ellos y por las experiencias que se han tenido, se puede afirmar que el comportamiento mecánico de un solo pilote es muy diferente del que puede exhibir un grupo de ellos; el hecho de que la misma práctica haya ido proporcionando algunas normas o métodos para tomar en cuenta el efecto de agrupamiento, no quiere decir que en la actualidad se cuente con un procedimiento que proporcione un 100% de seguridad en que la cimentación no va a fallar; de hecho se sabe que han ocurrido fallas de grupos de pilotes en casos en que el comportamiento mecánico de cada uno era idóneo.

Por lo anterior el diseño y construcción de las cimentaciones profundas y en especial el de las cimentaciones por pilotes es un campo en el que se hace necesario el criterio de un ingeniero que no se confié únicamente en los resultados de una formula, o en la utilización de un determinado tipo de maquinaria, sino que sepa hacer uso de su experiencia, sentido común e intuición del comportamiento de los materiales de fabricación de los pilotes, de las condiciones mecánicas del suelo, de las condiciones de cargas y deformaciones de las estructuras, y de algo que pienso es muy importante, como lo es, la compresión a futuro del suelo de la ciudad de México; debido al hundimiento regional causado por la extracción de agua del subsuelo; ya que como se vio anteriormente al descender el nivel del suelo, en el caso de pilotes de punta, estos se sobrecargan, lo cual puede traer una falla generalizada de los mismos.

El edificio hasta este momento no ha tenido problemas, pero es necesario darle un mantenimiento preventivo que ayude a evitar problemas a largo plazo, o problemas que puedan llegar en un momento dado a presentar un alto grado de dificultad; por tal motivo se recomienda también llevar estudios periódicos de topografía que puedan proporcionar información sobre los hundimientos que se están presentando, así como el hundimiento regional que sufre la zona y los posibles desplomes que pudiera presentar el edificio ya cargado.

ANEXO

Ejemplo 4.- Revisar la carga última (calculada por ETA), que resiste un pilote tipo utilizado en la estructura del edificio de la Secretaria de la Reforma Agraria aplicando el método estático y los datos que a continuación se muestran:

$C=1.4 \text{ T/m}^2$ $f=1.3 \text{ T/m}^2$ $\theta=10^\circ$ $\gamma=0.9 \text{ T/m}^3$	
$C=2.05 \text{ T/m}^2$ $f=2.0 \text{ T/m}^2$ $\theta=30^\circ$ $\gamma=1.0 \text{ T/m}^3$	
$C=1.5 \text{ T/m}^2$ $f=1.5 \text{ T/m}^2$ $\theta=05^\circ$ $\gamma=0.9 \text{ T/m}^3$	
$C=1.25 \text{ T/m}^2$ $f=1.5 \text{ T/m}^2$ $\theta=10^\circ$ $\gamma=1.4 \text{ T/m}^3$	
$C=0.05 \text{ T/m}^2$ $f=5.0 \text{ T/m}^2$ $\theta=43^\circ$ $\gamma=1.78 \text{ T/m}^3$	

Pilote de 50*50 cm.

Para un ángulo de fricción interna de 43° , que presenta el material de máxima profundidad, se tiene, que los valores de los coeficientes N_c , N_q , y N_w son:

$$N_c=60, \quad N_q=70 \quad \text{y} \quad N_w=200$$

a) Resistencia última trabajando de punta el pilote:

$$R_p = (0.5)^2 [(1.3 \times 0.05)60 + (0.9 \times 0.5 + 1.0 \times 2.1 + 0.9 \times 5.9 + 1.4 \times 4 + 1.78 \times 2.4)70 + (0.4 \times 1.78 \times 0.5)200]$$

$$R_p = 0.25(3.9 + 1241.1 + 71.20) = 329.08 \text{ Ton.}$$

$$R_p = 329 \text{ Ton.}$$

b) Resistencia última trabajando el pilote por fricción lateral:

$$R_f = 4 \times 0.50(1.3 \times 0.5 + 2.0 \times 2.1 + 1.5 \times 5.9 + 1.5 \times 4.0 + 5 \times 2.4)$$

$$R_f = 63.4 \text{ ton}$$

c) La resistencia última, trabajando el pilote por punta y por fricción:

$$R_t = R_p + R_f = 329.00 + 63.00$$

$$R_t = 392.00 \text{ Ton.}$$

Este valor como ya se ha dicho es la capacidad de carga última del pilote, por lo que, para obtener la carga de trabajo, o carga admisible del pilote, tiene que dividirse el valor anterior por un factor de seguridad igual $F_s = 2$, por lo tanto:

$$C_t = 392/2$$

$$C_t = 196 \text{ Ton.}$$

REFERENCIAS

- Terzaghi K. y Peck R.B. "Mecánica de suelos en la ingeniería practica", Editorial el Ateneo 1955.
- Meyerhof, G.G. "Reporte general presentado a la sección I" - Congreso sobre Cimientos profundos- México D.F. - 1964.
- González Flores M. "Enderezado de dos edificios" 1er. Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cimentaciones -Vol. 1- México D.F. 1959.
- Zeevaert, L, "Reducción de la capacidad de carga en pilotes apoyados de punta, debida a la fricción negativa" 1er. Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cimentaciones -Vol. 1- México D.F. 1959.
- Jiménez Salas, José A. "Mecánica del Suelo" Ed. Dossat S.A. - 1954.
- Correa, J.J. Rico A. Moreno, G. Esquivel R. "Pruebas de carga en modelos de cimientos profundos en arenas"- Congreso sobre cimientos profundos- México D.F. diciembre -1964.
- A. W. Skempton, "The bearing capacity of clays" Building research congress, division I. 180 Londres 1951.
- E. Rosenblueth, "Notas sobre el uso de pilotes de fricción en el valle de México", ingeniería, Vol. 35, No. 2, México D.F. 1965.
- J. A. Nieto y D. Reséndiz, "Criterios de diseño para cimentaciones de maquinaria", informe 131, instituto de ingeniería, UNAM, México D.F 1967.
- Juárez Badillo, "Mecanica de suelos" Tomo II, Editorial Limusa