



Universidad Nacional Autónoma de México

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ACATLAN”



**ASPECTOS A CONSIDERAR
PARA LA ELECCION
DE PILOTES**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A

JUAN GPE. SOLIS BERNAL

SANTA CRUZ ACATLAN, MEXICO

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

ANTECEDENTES HISTORICOS	1
-------------------------------	---

CAPITULO 1 TIPOS DE PILOTES

1.1 CLASIFICACION DE PILOTES DE ACUERDO AL MATERIAL DE QUE ESTAN CONSTITUIDOS.	
Pilotes de madera	13
Pilotes de concreto	16
Pilotes metalicos	22
Pilotes compuestos	24
1.2 CLASIFICACION DE PILOTES DE ACUERDO A SU FORMA DE TRANSMITIR LA CARGA	
Pilotes trabajando por fricción	25
Pilotes trabajando por punta	26
1.3 PILOTES DE CONTROL	
Pilotes con mecanismos de control	27
SUGERENCIAS	39

CAPITULO 2 DISEÑO DEL PILOTE

2.1 CAPACIDAD DE CARGA

Método Estático:

Capacidad de carga por punta	44
Capacidad de carga por fricción	47
Revisión de pilotes que trabajan por punta	50
Revisión de pilotes que trabajan por fricción	51
Pilotes en terreno de relleno	52
Ejemplo de aplicación	59

Método Estático Propuesto Por Caquot y Kerisel

Capacidad de carga por punta69
Capacidad de carga por fricción 69

Método Dinamico

Desarrollo del método 74
Ejemplo de aplicación 84
Para martinete de tipo Diesel..... 88
Ejemplo de aplicación 90

Prueba de Carga

Procedimiento 92

2.2 PILOTES INCLINADOS

Su aplicación y calculo analítico 98
OBSERVACIONES 101

CAPITULO 3 HINGADO DE LOS PILOTES.

3.1 EQUIPO Y FORMAS DE HINGADO

Martinetes y otras formas de hincado 104
Cálculo de la elección del martinete 115

3.2 EQUIPO UTILIZADO EN LA EXPLORACION DEL SUELO

Equipo más común 120

3.3 ASPECTOS A CONSIDERAR DURANTE EL HINGADO

Reacción del terreno y del pilote 129
Aspecto estructural 131

CAPITULO 4 ANALISIS COMPARATIVO

4.1	FACTOR COSTO	.....	139
4.2	FACTOR TIEMPO	.....	141
	Costo horario	.....	147
	INTRODUCCION A LA FRICCION NEGATIVA	.....	152
	CONCLUSION	.....	159
	BIBLIOGRAFIA	.....	162

ANTECEDENTES HISTORICOS

Cuando nace el hombre, surgen también con él las necesidades que debe de satisfacer. Estas necesidades lo llevan a crear cada una de las cosas que le son necesarias, y en su evolución requiere cada vez de un mayor número de objetos.

Cuando el hombre decide establecerse en un sólo sitio que le de protección, surge la necesidad de adaptar un lugar, así haciendo uso de su ingenio llega a construir lo que será su casa. El hecho de producir una cosa siempre requiere de mucho cuidado, y más aún si ésta cosa se refiere a una habitación; es por ello que a través de su desarrollo, el hombre se ha percatado de la importancia que tiene el adaptar a toda construcción de una base que le proporcione la mayor estabilidad posible. Esta base es conocida como cimentación: estructura artificial y sólida, capaz de soportar todo el peso de la edificación y transmitir esta carga al suelo.

En un principio las cimentaciones se construyeron en base a la experiencia. Sin embargo la población que se incrementaba rápidamente requería además de espacios para habitación, de espacios para recreo, espacios educativos, espacios para diversión, y espacios para trabajo; el costo por m^2 de superficie cada vez se eleva más y más. El hombre haciendo uso una vez más de su capacidad de creación llega a construir lo que hoy conocemos como un edificio. La construcción de esta nueva vivienda, ya no

era tan simple como las anteriores; la carga debida al peso del edificio aumentaba en gran cantidad, mientras que el área de la base se incrementaba minimamente; por lo tanto el apoyar un peso tan grande en una área tan reducida presentaba más dificultad.

Lo que anteriormente se realizaba en base a la experiencia, ahora requiere de un estudio detallado, es por ello que el hombre ha dedicado una especialidad de sus estudios a lo que es el suelo como zona de apoyo, y sus implicaciones que ésta zona tiene en las cimentaciones. Aunque el estudio de las cimentaciones data desde hace miles de años, es hasta el siglo XVIII cuando la necesidad de mejorar las construcciones provoca que inminentes-investigadores se dediquen a estudiar los problemas del suelo, creando con ello una nueva rama de la Ing. Civil, la **meccánica del suelo.**

Se inicia el estudio técnico y científico del suelo y para ello se proponen sus principios; considerar al suelo como una masa homogénea, isotrópica, linealmente elástica y semi-infinita. Aunque el suelo no lo cumple, se siguen estudiando y observando los resultados de su aplicación para corregir los errores, y así -- acercarse cada vez más a la realidad.

México no podía ser la excepción, y como todo país que al desarrollarse encuentra nuevos obstáculos, también presentaba los mismos problemas, es decir, construir bases de apoyo que dieran seguridad a edificaciones más pesadas. Sin embargo el suelo de la ciudad de México era y es un caso muy especial dentro de los suelos del mundo, ya que además de los problemas sociales citados, presentaba otros inconvenientes técnicos.

Para tener una idea de como es que se formó el suelo del Valle de México, a continuación escribimos un poco de historia. Para iniciar recordemos que hace miles de años, lo que hoy es el Valle de México se encontraba rodeado por montañas, es decir, era una cuenca completamente cerrada. Las aguas de las lluvias que descendían de las sierras arrastraron consigo partículas pequeñas como las arcillas, y desembocaron en este valle, formando así un enorme lago que al irse desecando se fraccionó en otros menores como el de Zumpango, el de Xaltocan, el de Texcoco, el de Chalco y el de Xochimilco. Debido a que la zona sur oeste era la parte más alta del valle, los materiales finos que contenía el agua se iban quedando depositados en su recorrido, y a la zona Nor-oriental sólo llegaba gran cantidad de agua con un contenido de material mínimo.

Las erupciones al igual que las lluvias, se hicieron presentes en la formación del subsuelo; sus cenizas también llegaron a depositarse en todo el lago. Una de las últimas erupciones se produjo en la sierra del Ajusco, el volcán Xitle arrojó cenizas y polvos, para luego derramar un mar de lava en toda la porción sur-este del valle, lo que dio origen al actual Pedregal de San Angel.

Cuando los Mexicanos llegan al valle de México, lo que encuentran es un gran lago pantanoso, y por mandato de su dios se instalan en algunos islotes localizados en este antiguo lago de Texcoco, ver fig. 2

Los Mexicanos inician la construcción de su ciudad, la gran Tenochtitlan; los islotes son ampliados mediante la construcción

de chinampas, que eran unas balsas hechas con hojarasca y ramas cubiertas con una capa de tierra. Estas chinampas junto con los rellenos que se han ido agregando, vinieron a constituir la formación de lo que es la capa superior del suelo en el centro de la ciudad de México. Ahora bien, de acuerdo a la constitución del subsuelo, la ciudad se ha dividido en tres zonas:

Zona del lago. Localizada al norte, oriente y centro de la ciudad. Como su nombre lo indica, esta zona se encuentra totalmente apoyada sobre el antiguo lago de Texcoco, ver fig. 3. Su constitución presenta rellenos con arcillas lacustres altamente compresibles, y una capa dura que varía en su profundidad; de 70m en Texcoco a 35m en el centro de la ciudad.

Zona de transición. Localizada al sur y al nor-oeste de la ciudad, entre la zona del lago y la zona de lomas. Se le denomina zona de transición ya que sirve de separación a dos zonas con características muy distintas.

Esta zona la constituyen también los rellenos, las arcillas y limos muy compresibles apoyados en gruesos estratos de grava y arena localizados aproximadamente a 30m o 40m de profundidad.

Zona de lomas. Localizada en todas las faldas de las sierras que rodean a la ciudad.

Se caracteriza por ser un terreno compacto, compuesto por materiales que al contrario de la zona del lago son de gran firmeza. Esta zona se distingue por su contenido de arenas limosas, graves y basaltos producto de las erupciones volcánicas. Su gran capacidad de carga resume en sí todas sus características.

Como se puede apreciar en la figura 6, gran parte de nuestro sue

lo careca de firmeza, por lo que para poder apoyar en él cargas mucho mayores a las que produciría una casa-habitación, es necesario recurrir a otros sistemas. En la zona del lago y en la zona de transición, por sus características de suelos compresibles y para construcciones pesadas como edificios de más de cinco niveles es común utilizar cimentaciones de tipo profundo, (pilas, pilotes, cajones y cilindros), o una cimentación combinada a base de compensación y elementos de cimentación profunda. En particular en esta exposición nos referiremos a los pilotes como estructuras largas y esbeltas que se introducen en el terreno para transferir la carga que soportan a través de un suelo que presenta poca firmeza.

Como en el subsuelo de la ciudad de México y particularmente en la zona del lago y la zona de transición se encuentran grandes espesores de arcilla con un gran contenido de agua y debido a que el crecimiento de la población exigía cada vez más agua potable, se recurrió a la construcción de pozos para su extracción, estos pozos son conocidos como pozos artesianos.

Los pozos que en un principio eran suficientes, ya no lograban abastecer de suficiente agua a la ciudad, y la cantidad de pozos se vio incrementada hasta más de 2000, con ellos además de extraer alrededor de $7 \text{ m}^3/\text{seg}$, se extraían también capas permeables del subsuelo. Sin embargo por estar suministrando el agua al pueblo, no se daban cuenta del gran problema que se originaba; al extraer el agua del subsuelo éste se empezó a consolidar y provocar serios trastornos tanto a los servicios de drenaje, como a las construcciones cimentadas a base de pilotes. Debido a

la consolidación del suelo estas construcciones empiezan a --
 emerger (Mon. Revolución), y algunas otras como el Palacio -
 Nacional, la Catedral, y la Basílica de Guadalupe empiezan a te-
 ner inclinaciones y a sufrir agrietamientos de peligro.

Todos estos problemas originaron que se investigara que era lo -
 que estaba ocurriendo en el subsuelo de la ciudad de México; el
 gobierno Mexicano junto con otras sociedades se unen en esfuer-
 zos para iniciar su estudio.

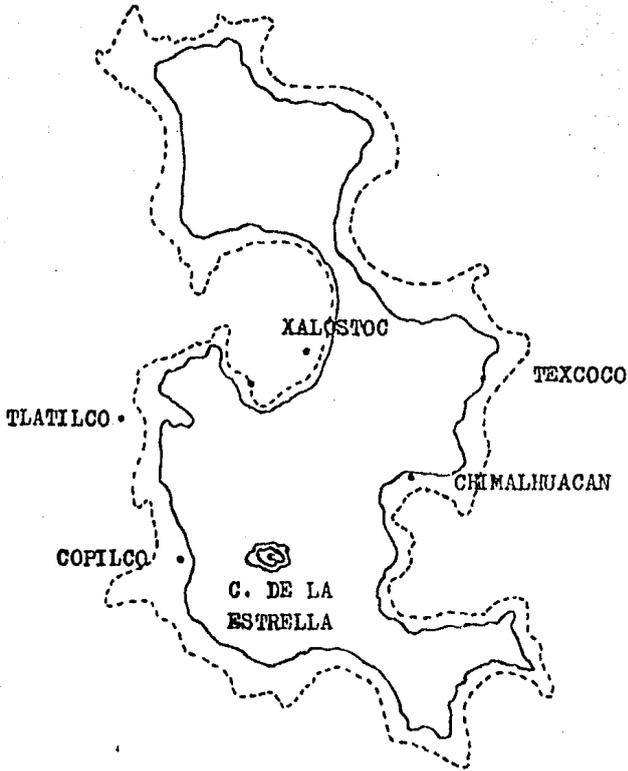
Se pensó en primera instancia que el suelo estaba siendo sobre -
 cargado, por lo que se estableció que la capacidad de carga del
 suelo a utilizar no debería exceder de 5 ton/m^2 . Pero el Doc-
 tor Habor Carrillo no quedó convencido y en base a uno de los -
 fundamentos de K. Terzaghi, que se refiere a la relación que-
 existe entre esfuerzos totales y esfuerzos efectivos inicia su -
 investigación, llegando a comprobar que la extracción de agua
 fue la principal causa que motivo dichos daños.

Se llegó a establecer que los pozos artesianos sólo podrían ope-
 rarse mientras su respectivo manto acuífero no perdiera progresi-
 vamente su carga estática, la cual es alimentada por las lluvias
 de cada año (los ríos).

Por todo lo explicado, no queda más que seguir estudiando el -
 suelo y las cimentaciones, para corregir en caso que sea necesar-
 io lo establecido, y llegar a su mejor aplicación.

La aplicación de la cimentación a base de pilotes a tomado gran
 auge en nuestro país, se han ensayado y puesto a práctica pilo-
 tes en diversas modalidades como son, pilotes de control, pilo-
 tes penetrantes, pilotes entrelazados, etc, por lo que juego -

importante estudiarlos como una más de las alternativas que pueden dar solución a los problemas aún existentes.



- Cota de 2 250 m.s.n.m.
- Nivel del lago en el preolásico
- Sitios preclásicos

Fig. 1. CONDICIONES DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO
EN EL PRECLASICO. 1800 años a. de J. C.

Ref. 2

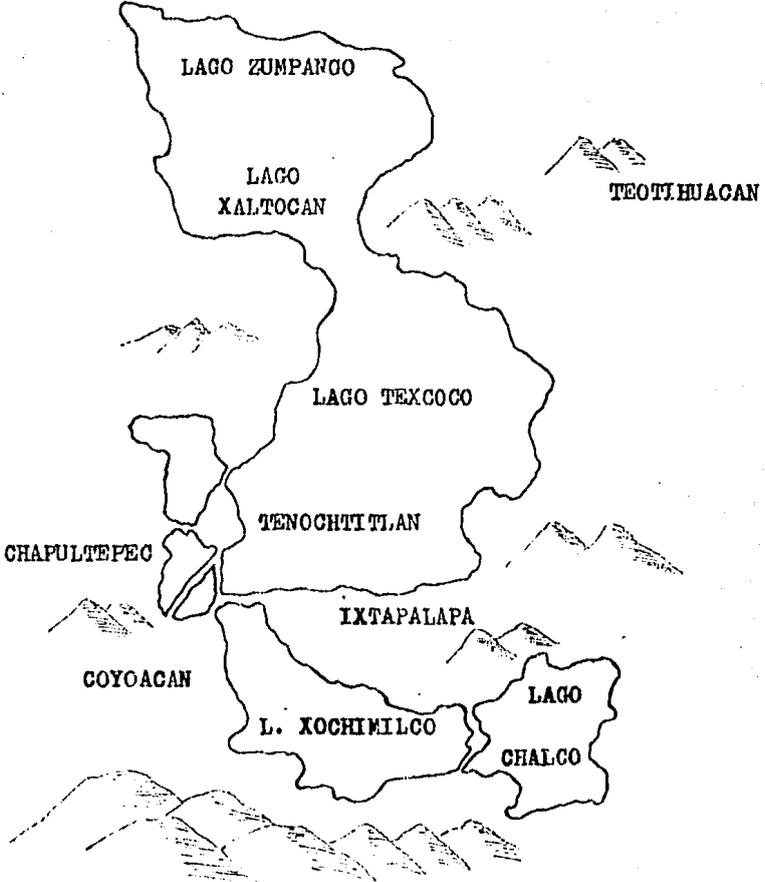


Fig. 2 EL VALLE DE MEXICO EN LA EPOCA MEXICA (1344-1346)
(Ref. 2)

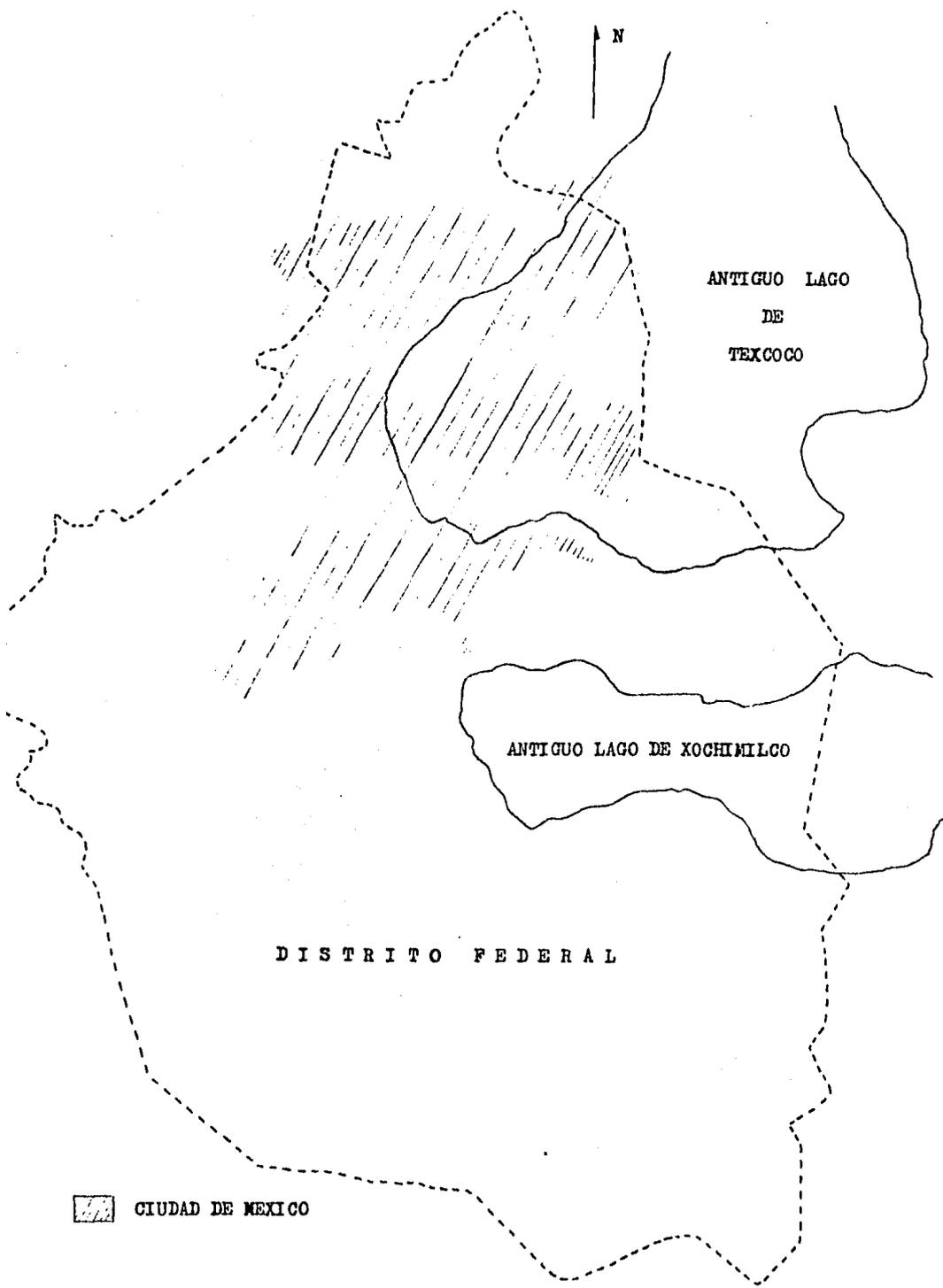


Fig. 3 LOCALIZACION DE LA CIUDAD DE MEXICO (Ref. 1)

SIERRA DE GUADALUPE

CIUDAD DE MEXICO

DISTRITO FEDERAL

Xitle

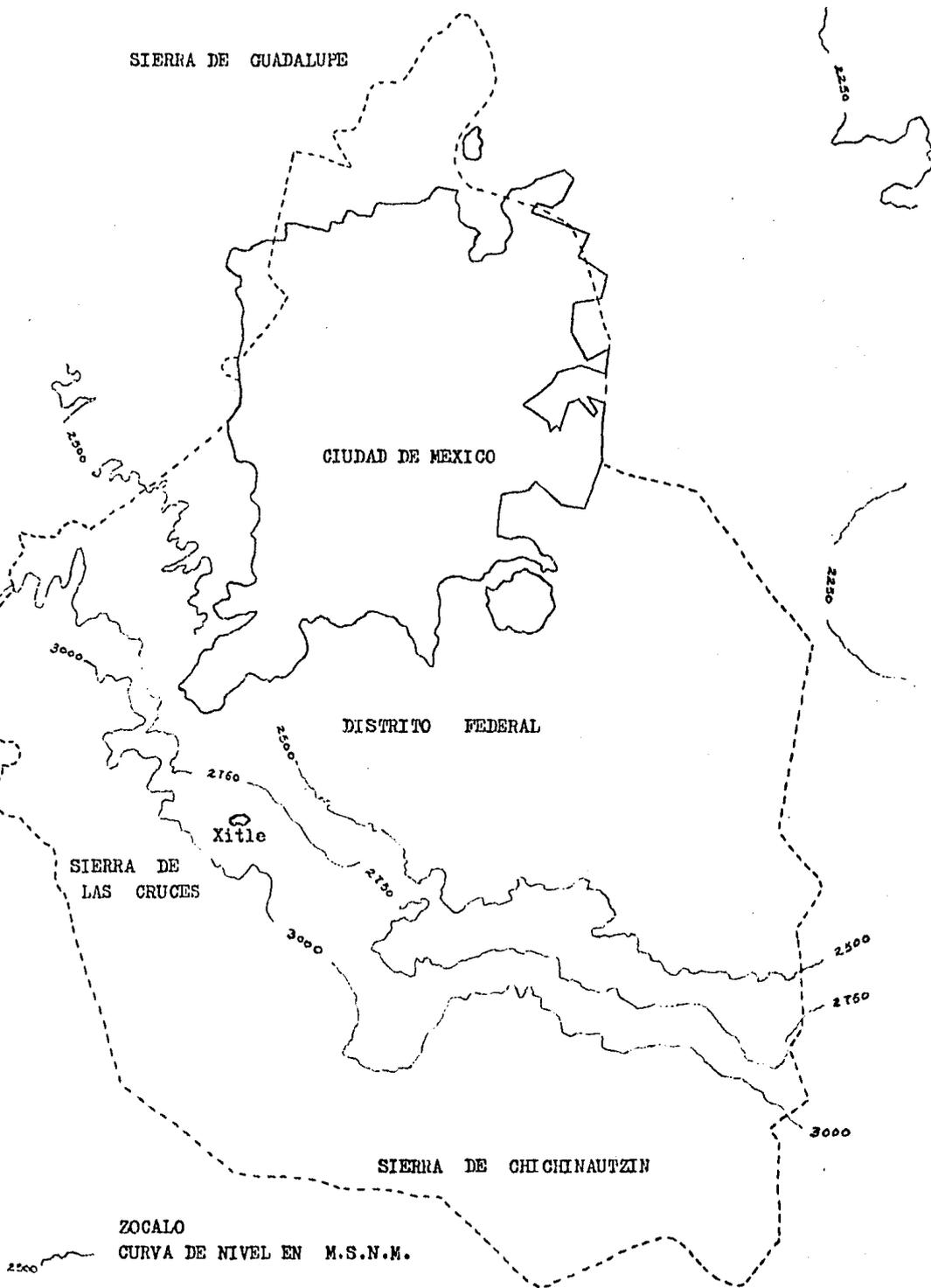
SIERRA DE LAS CRUCES

SIERRA DE CHICHINAUTZIN

ZOCALO

CURVA DE NIVEL EN M.S.N.M.

Fig. 4 y Fig. 5



SIERRA DE GUADALUPE

EDO DE MEXICO

EDO DE MEXICO

SIERRA DE LAS CRUCES

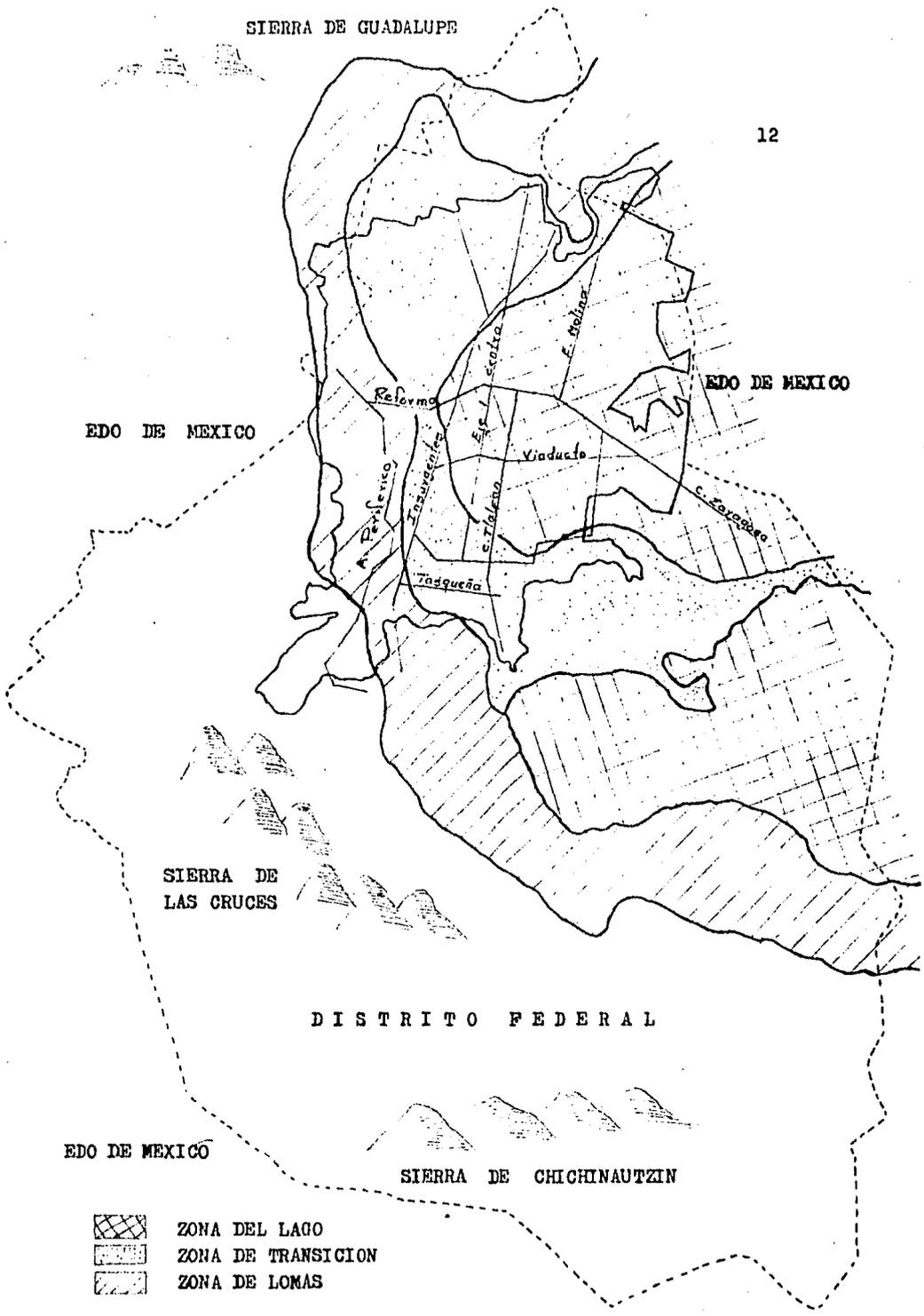
DISTRITO FEDERAL

EDO DE MEXICO

SIERRA DE CHICHINAUTZIN

-  ZONA DEL LAGO
-  ZONA DE TRANSICION
-  ZONA DE LOMAS

Fig. 6



TIPOS DE PILOTES

Aunque actualmente existe un diverso número de formas para clasificar a los pilotes, en este capítulo trataremos de presentar a los grupos que contemplan a todos los existentes; y para ello recurriremos a sus características más importantes.

1.1 CLASIFICACION DE PILOTES DE ACUERDO AL MATERIAL DE QUE ESTAN CONSTITUIDOS

Si para su clasificación tomásemos sólo en cuenta el material de que están fabricados, todos los pilotes quedarían contemplados en los siguientes grupos: pilotes de madera, pilotes de concreto, pilotes metálicos y pilotes compuestos.

A continuación se presentan las ventajas y desventajas que pueden ofrecer estos pilotes para ser usados como elementos de la estructura en la cimentación.

PILOTES DE MADERA

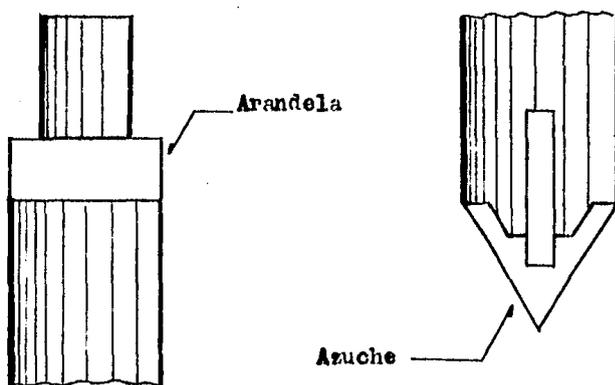
Sin duda fue el primer tipo de pilote utilizado por el hombre, y sin duda también se ha visto desplazado por otros tipos de pilotes.

Se obtiene de un recurso renovable, es decir, de los troncos del árbol, y hasta hace poco era de fácil disponibilidad. Sin embargo, debido a la tala incontrolada de los bosques hubo necesidad de frenar el corte de árboles, y si además tomamos en cuenta que para obtener un pilote adecuado el árbol requiere de un crecimi-

ento que durará de 60 a 100 años, comprenderemos el por que - cada vez es más difícil conseguir pilotes de madera adecuados. Debido a que la madera es un material relativamente ligero y - de gran flexibilidad, su manejo y transportación se llevan a ca- bo en forma ágil y con gran facilidad.

Aunque los pilotes de madera son de gran resistencia a la flexi- ón, y por ello son muy utilizados para soportar cargas horizonta- les, presentan un gran inconveniente, éste se refiere a que un pilote de madera sólo podrá transmitir carga por rozamiento y - por seguridad se aconseja que en la mejor de las condiciones no se le cargue con más de 40 tons.

La capacidad de transmitir carga por punta con un pilote de made- ra se considera nula. Sin embargo, para la protección del pilote (cuando este va a ser hincado en un suelo duro) se le coloca - en la punta un **azuche** o punta de hierro. También para proteger - durante el hincado la cabeza del pilote, se le coloca un anillo de metal conocido como **arandela**.



Los recursos forestales del país, están clasificados en maderables (30 %), no maderables (50 %) y en vegetación boscosa (20 %).

Las áreas cubiertas por bosques en el país, alcanzan una extensión aproximada de 43.6 millones de hectáreas, es decir, la quinta parte de la superficie total de la República.

Principales Recursos Forestales De La República

Maderables	Entidades De Localización
Caoba	Campeche, Tabasco, Veracruz.
Cedro rojo	Campeche, Oaxaca, Jalisco, Veracruz.
Pino	Veracruz, Guerrero, Chiapas, Oaxaca.
Oyamel	Michoacán, Jalisco.
Encino	Michoacán, Durango, Oaxaca, Jalisco.
Cedro blanco	Michoacán, Oaxaca.
Fresno	Jalisco, Chiapas, Michoacán.

La durabilidad es un aspecto muy importante que debe de tenerse en cuenta al utilizar pilotes de madera. El pilote puede ser destruido por hongos, por carcomas marinas o por acción mecánica. Para que los hongos se desarrollen necesitan de aire y humedad, por ello se recomienda que el pilote quede totalmente por debajo del nivel freático, o totalmente por encima de éste; ya que en el primer caso no se presentaría el oxígeno necesario para su desarrollo, y en el segundo la humedad estaría ausente.

Sin embargo para preservar los pilotes, es necesario tratarlos - con productos desinfectantes, un ejemplo de estos lo es la **creosota**; se deberá impregnar en lo más posible. El procedimiento de tratado consistira de dos pasos; el primero consiste en crear un vacío en los poros de la madera; y el segundo en impregnar al pilote de la substancia protectora a presión.

Las maderas más recomendables para ser usadas en condiciones de completa humedad son: la haya, el olmo, los pinos, el roble y la teca; en condiciones de total sequedad se pueden utilizar, el abeto, los pinos, el roble y el nogal.

PILOTES DE CONCRETO

A los pilotes de concreto los podemos dividir de acuerdo a su - forma de construcción, en dos grupos:

- a) Pilotes prefabricados o premoldeados.
- b) Pilotes fabricados en el sitio.

PILOTES DE CONCRETO PREFABRICADOS

Como su nombre lo indica, son pilotes fabricados fuera de su sitio de trabajo, es decir, son armados y colados en moldes para posteriormente ser colocados.

En la actualidad a este tipo de pilotes se les somete a un proceso de tensado, el cual consiste en colocar unos cables de acero que serán tensados antes del colado del pilote (pretensados).

El objetivo de su colocación es que el pilote tenga mayor resistencia estructural, y por lo tanto mayor durabilidad.

Siempre que se utilice este tipo de pilote, se deberá tratar de

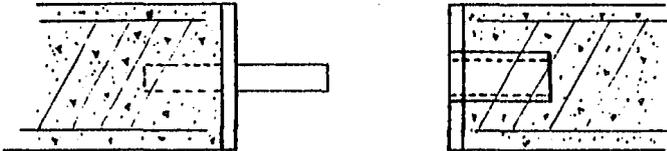
que su fabricación sea lo más cercano al sitio donde va a ser - hincado; de lo contrario el costo del transporte podría ser un obstáculo que impidiera el disponer de este elemento estructural. Los pilotes tensados generalmente son hechos en fábricas que se han especializado en hacer este tipo de estructuras.

Debido a que es un elemento muy pesado, es recomendable que se maneje con cuidado; la elección del equipo a utilizar será un - factor predominante para cubrir este aspecto. Otro de sus inconvenientes es la dificultad que éstos presentan para ser ajustados; se deberá tener cuidado de no agrietar el concreto en caso de acortar; y tener cuidado en la unión al prolongar su longitud. Las cualidades principales que nos puede proporcionar este tipo de pilotes son dos: la gran capacidad de carga y su alta resistencia a los agentes químicos. Estas propiedades dependen de la calidad del concreto armado que se utilice para su fabricación.

PILOTES DE CONCRETO FABRICADOS EN SITIO

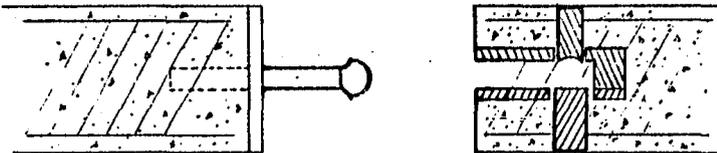
En este caso nos referiremos a los pilotes que son colados en su sitio, y que por consecuencia no requieren del proceso de hincado. Para su construcción pueden seguirse dos diferentes procesos; el primero, que consiste en introducir una envuelta metálica, la - cual quedará enterrada al ser colado el pilote; el segundo, requiere también de una camisa metálica, sólo que en éste caso la envuelta será retirada durante el colado o antes de éste.

Dentro del primer grupo podemos mencionar como los más comunes a los siguientes: pilotes Raymond, pilote monotubo y pilote con punta de botón.



Unión con bayoneta

Unión con chaveta



Los tipos de uniones más comunes son los siguientes:

- a) Unión con chavetas
- b) Unión con bayoneta
- c) Unión con soldadura
- d) Unión con tornillos

En el segundo se encuentran; el pilote cilíndrico sencillo, el - pilote con bulbo tipo Mac Arthur, pilote Franki, etc.

Estos dos grupos de pilotes ofrecen al proyectista grandes ventajas que deberá tomar en cuenta; los materiales que se utilizan para su fabricación (camisa metálica, acero de refuerzo, y el concreto) son de fácil disponibilidad y de manejo sencillo; por lo que se refiere al ajustamiento de su longitud, ésta puede ser aumentada o disminuida con facilidad; el exceso de acero de - refuerzo que es colocado para soportar los esfuerzos provocados durante su manejo es eliminado. En este tipo de pilote el riesgo de resquebrajamiento desaparece.

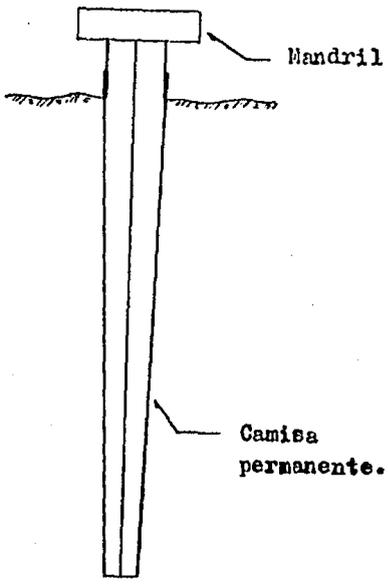
El tubo que se hinca es muy resistente y delgado, por lo que la probabilidad de que se dañe es casi inexistente. Sin embargo, - cuando se advierta algún daño deberá ser extraído para sustituirlo por otro.

Son pilotes de gran durabilidad, excepto en los casos en que - estos sean atacados por ácidos.

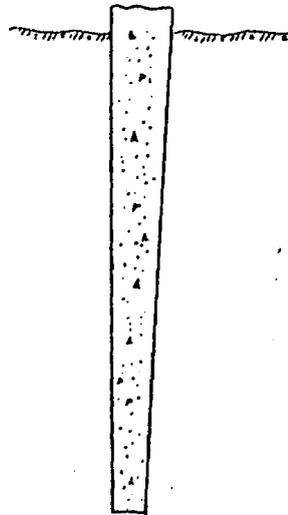
Las desventajas que presentan estos tipos de pilotes, se pueden resumir en tres casos: si el pilote carece de acero de refuerzo puede llegar a romperse con cualquier movimiento que ocasione flexión, si durante el hincado el cascarón se topa con una roca cabe la posibilidad de un desvío y por lo tanto de que el pilote quede inclinado, finalmente el botón o punta del pilote puede - quedar asimétrico, lo que tendría como consecuencia un mal apoyo y una insuficiencia para distribuir la carga.

Dentro del segundo grupo de pilotes, es decir, los que carecen de camisa metálica, aparecen los pilotes perforados y colados en

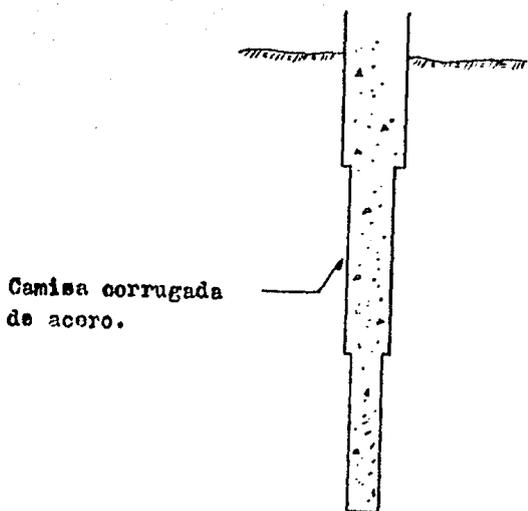
PILOTES COLADOS EN EL SITIO



Hincado

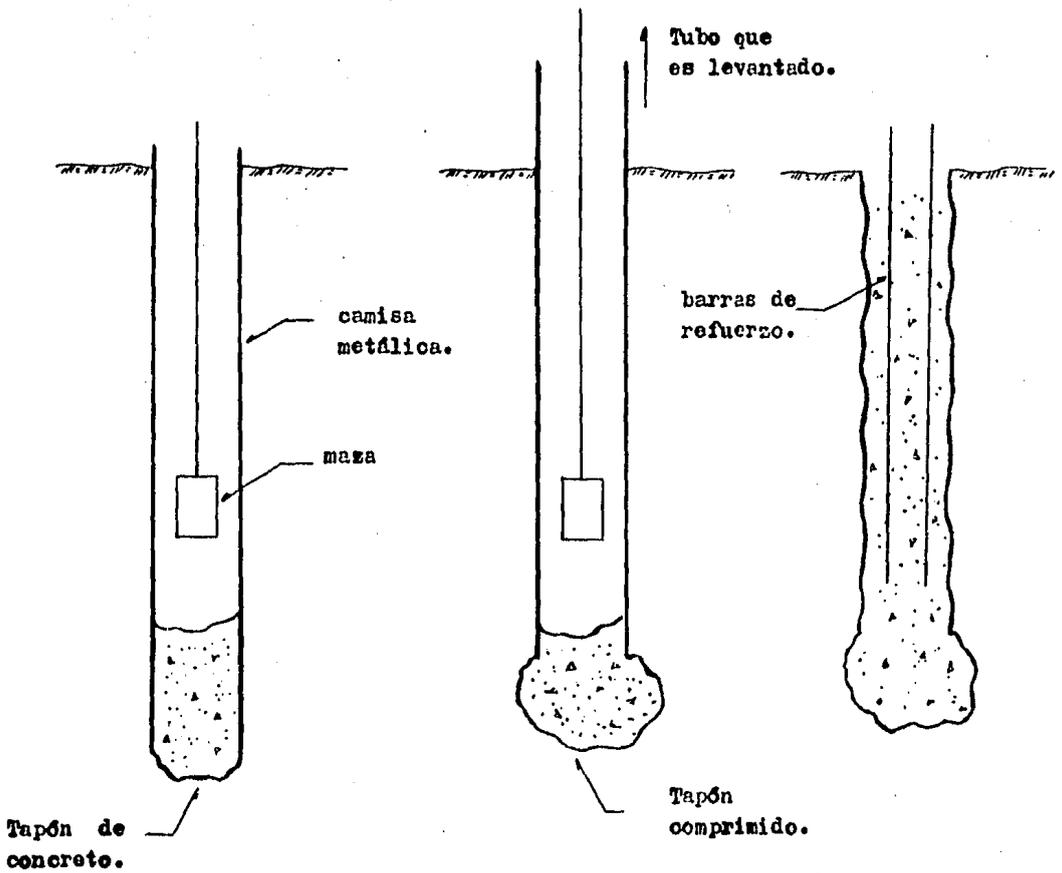


Colado



Pilote Raymond escalonado

Pilote sin camisa permanente.



Proceso constructivo de un pilote tipo Franki.

el sitio, los cuales requieren del método más sencillo de construcción; sólo se necesita hacer la perforación del agujero, para ser colado sin revestimiento. Esto implica que si se quiere obtener un pilote de buena calidad, se deberá tener mucho cuidado -- durante su fabricación.

Su uso es muy restringido; sólo se usará para soportar cargas pequeñas y a un máximo de profundidad de 15 mts.

Por lo general sólo se utilizara en suelos arcillosos y firmes -- ya que los suelos friccionantes presentan riesgos de que sus paredes se desborden. Sin embargo en caso de que sea necesario utilizar esta forma de cimentación en un suelo nada estable, deberá evitarse que el material de las paredes se derrumbe y para ello se recurrira a las lechadas de cementantes y lodos , buscando -- con esto que las partículas aumenten su adhesión y que no pierdan humedad. Otra forma de evitar derrumbes sería aplicando una presión de gases contra la pared.

Una vez terminada la fabricación del pilote, este puede trabajar por rozamiento o por punta según sea el caso.

PILOTES METALICOS

Los pilotes metálicos son aquellos que dependen únicamente y -- preferentemente del acero para soportar las cargas que le serán aplicadas.

Los pilotes de acero más recomendados y por lo tanto más utilizados lo son; los perfiles (H,I), los tubulares y los de tipo caja.

Aunque éste tipo de pilotes es muy costoso, en los casos en que la superestructura requiera de una cimentación de alta resistencia y de gran capacidad de carga, es conveniente contar con éste. Debido a que el área transversal del pilote es pequeña; la penetración de éste durante el hincado es rápida. El efecto de fricción puede ser favorable en el caso de que el terreno sea muy denso y apriete tanto al pilote que el perímetro de este trabaje en su totalidad; y puede ser desfavorable en caso de que el terreno sólo se empaquete entre las alas del pilote y la fricción sólo se produzca en el perímetro que circunscribe al pilote.

El pilote metálico tiene la propiedad de ser elástico, por lo que su resistencia es muy suficiente para soportar los esfuerzos de flexión a que estará sometido.

Si hubiera necesidad de ajustar su longitud, esto no causaría problemas ya que se puede cortar o empalmar con mucha facilidad.

El problema más serio que se puede presentar al utilizar éste tipo de pilote, lo es la corrosión; ésta puede ser provocada en suelos que contengan ácidos, en suelos de relleno, y en suelos húmedos-porosos. Este fenómeno deberá tratarse con mucho cuidado y con mayor razón si los pilotes están en contacto con agua del mar.

Para salvar al pilote de estas posibilidades de destrucción, se puede recurrir a dos procesos de protección; el primero consiste en la protección catódica; y el segundo en un revestimiento de concreto. Estos dos métodos son los más indicados, ya que todas las sustancias que pudieran aplicarsele sufrirían deterioro durante el hincado.

Otra forma de destrucción del acero lo es la electrólisis, para evitarlo se recomienda el aislar el anclaje de la super-estructura, de los pilotes; con ello la circulación de la corriente eléctrica quedaria obstaculizada.

Una particularidad de estos tipos de pilotes, lo son los pilotes roscados, y su peculiaridad consiste en la forma que presenta su punta y su forma de hincado, el cual requiere de un movimiento - de rotación y de una presión axial.

Algunos metales muy utilizados para pilotes en zonas de mareas, - lo son los metales no férreos y algunas clases de bronce.

PILOTES COMPUESTOS

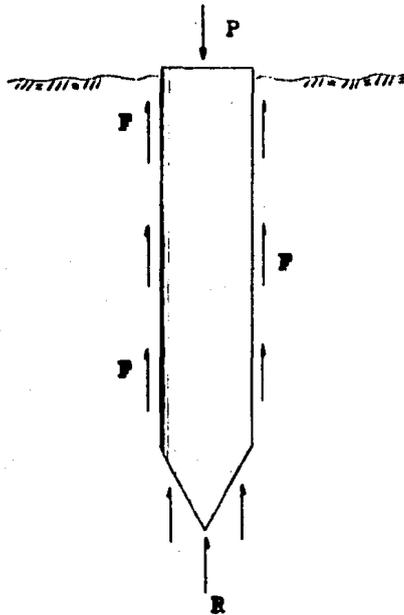
Estos pilotes son muy utilizados en suelos que hacen inadecuado el uso de un pilote convencional. La combinación de un pilote de acero o madera en la parte inferior, con un pilote de concreto en la parte superior, hace que se aprovechen cada una de sus cualidades; de economía, facilidad de manejo, durabilidad y de resistencia.

Como es lógico pensar, la exitosa aplicación de éste tipo de pilote depende solamente de la buena unión que se logre entre ellos. La junta presenta un punto débil, por lo que debe protegerse en forma hermética para que de gran resistencia, y para que no penetre agua o porciones de suelo que puedan provocar una mala alineación.

Generalmente en la parte inferior, debajo del nivel freático es colocado el pilote de madera o el pilote de acero, y en su parte superior el pilote de concreto.

1.2 CLASIFICACION DE PILOTES DE ACUERDO A SU FORMA DE TRANSMITIR LA CARGA

El uso de los pilotes como cimentación es consecuencia de la baja capacidad de carga que presentan las capas superficiales del suelo. Para explicar las formas de como un pilote puede transmitir la carga a través de estratos de baja capacidad, hasta estratos de material consistente, nos auxiliaremos de la siguiente - figura.



Donde **P** es la carga aplicada al pilote; **F** representa la fricción o cohesión que se produce entre la pared del pilote y el material que lo rodea; **R** es la resistencia que presenta el estrato en el cual se apoya la punta del pilote.

Si la carga es soportada solamente por el efecto de la fricción, se dice que el pilote está trabajando **por rozamiento**.

Si la carga es soportada en su totalidad por el estrato en que se apoya el pilote, este recibirá el nombre de **pilote por punta**. Para determinar si el pilote trabajará de una o de otra forma, será necesario hacer un estudio de campo; con el fin de conocer las propiedades que la constitución del suelo nos puede proporcionar.

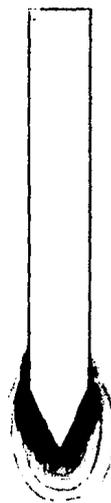
La fricción interna y la cohesión son dos propiedades del suelo que pueden transformarse en dos parámetros de resistencia.

La fricción se puede convertir en el rozamiento que existe entre el pilote y el material, y la cohesión en la adherencia que hay entre la pared del pilote y el material que lo rodea. El valor de cada uno de estos parámetros depende en esencia del material de que está constituido el suelo.

En la siguiente figura se muestra como es que son distribuidos los esfuerzos por cada tipo de pilote.



**Pilote por fricción
o por rozamiento.**



Pilote por punta

Los pilotes pueden trabajar también en forma combinada, es decir que si el suelo presenta características apropiadas, se aprovechara tanto la capacidad del suelo por punta, como su capacidad por fricción

1.3 PILOTES DE CONTROL

En éste caso nos referiremos a los pilotes que poseen un dispositivo de control para ajustar el nivel del edificio al nivel de la calle.

Los pilotes de control surgen como una necesidad; al tratar de resolver el problema de la emersión de las construcciones cimentadas con pilotes que trabajan por punta.

En los últimos años las grandes construcciones de la ciudad de México se han visto atacadas por esta situación, y para explicar las causas que lo motiva nos auxiliaremos de las siguientes ilustraciones.

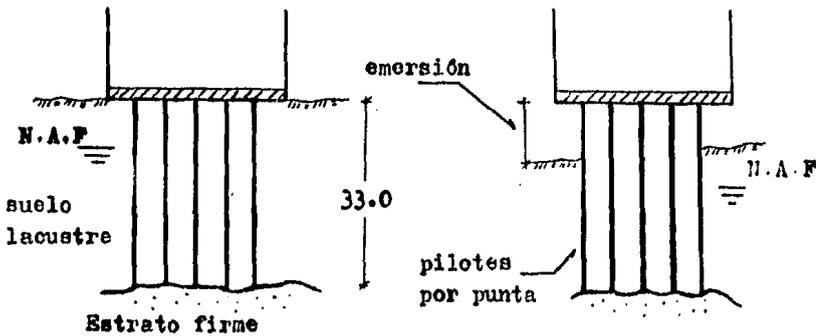


Fig. 1

Fig. 2

En la fig. 1 se presentan las características que generalmente presentan las cimentaciones piloteadas en la ciudad de México.

La extracción del agua hace que el espacio que ésta ocupaba, - ahora sea ocupado por el sólido del suelo; provocando con ello - un hundimiento de la superficie, ver fig. 2

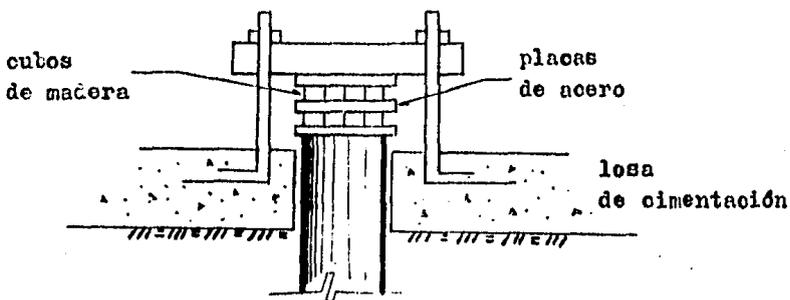
En ocasiones además del hundimiento se producen también grandes asentamientos ya que la consolidación del suelo circundante provoca tracción hacia abajo.

El primer pilote de control fue inventado por el Ing. Manuel --- González Flores, y aunque en la actualidad se han patentado varios dispositivos de control, sólo algunos se han puesto en práctica, es de ellos de quienes nos ocuparemos a continuación.

Los pilotes de control se pueden dividir en dos grupos:

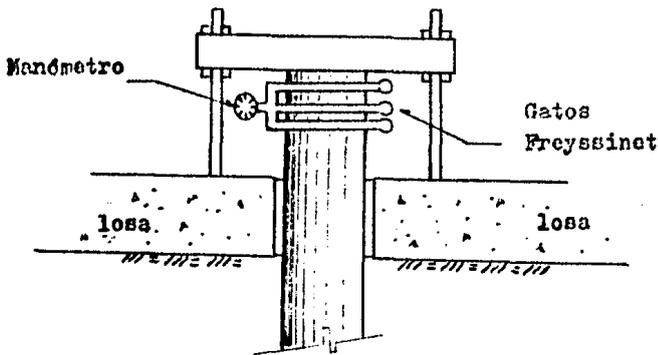
1^a . Los pilotes que poseen el dispositivo de control en la cabeza del pilote.

a) En este grupo queda contemplado el método del Ing. Manuel - González, el cual se basa en la deformación de unos cubos de madera.



Al deformarse los cubos por compresión, la losa de cimentación - vuelve a posarse sobre la superficie del terreno.

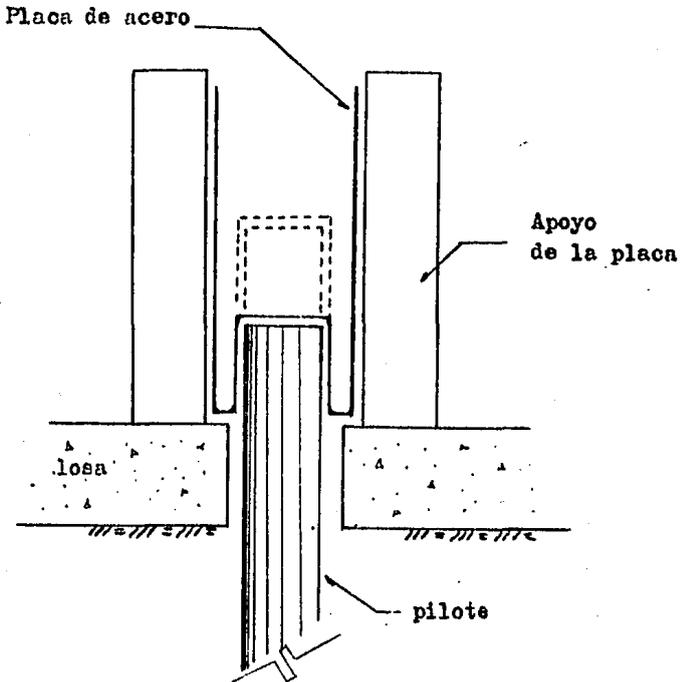
b) El sistema del Ing. Wolfgang Strou. Este método es muy parecido al anterior, sólo que en este caso se precisa de un dispositivo de deformación que consta de gatos Freyssinet.



Con los gatos se controla la presión de los manómetros, y por consecuencia la carga sobre el pilote. Cuando la carga en el pilote se sobrepasa de lo estipulado, debido al hundimiento de la superficie, se extrae aceite de los gatos para que la losa de cimentación se apoye de nuevo sobre el terreno y el pilote tome tan sólo su carga de diseño.

o) Disipador de energía de la U.N.A.M.

Este sistema funciona de la siguiente forma; al producirse el hundimiento del suelo, la losa de cimentación queda suspendida y tiende a descender debido al peso que soporta, esto provoca que el pilote deforme el dispositivo, es decir, la placa de acero.



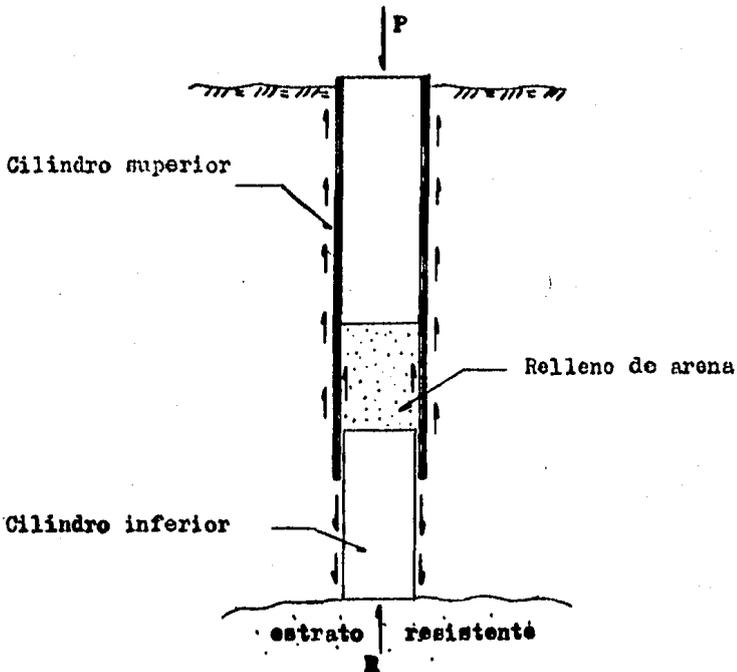
Disipador de energía (Ref. 3)

Para todos estos tipos de pilotes el mantenimiento de los dispositivos deformables es un aspecto de suma importancia, ya que de ello depende su eficiencia.

Es muy conveniente que el dispositivo prevenga hundimientos con siderables; para evitar cambios inecesarios.

2ª Los pilotes que poseen el dispositivo de control en el cuerpo po.

En este grupo sólo existe un sistema conocido con el nombre de pilotes telescópicos.



En este caso el sistema de deformación consta de un relleno de arena; el espesor es previamente calculado para que se ajuste al hundimiento del suelo.

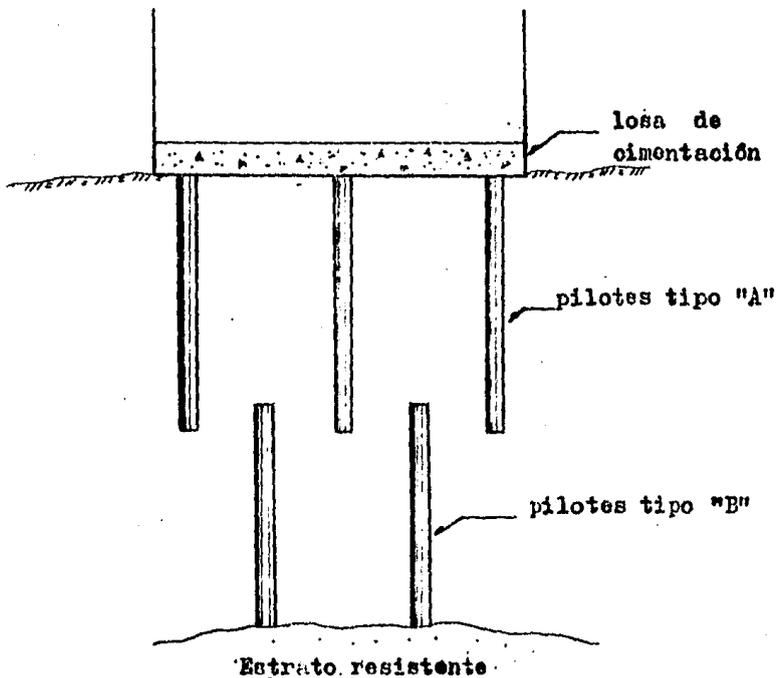
Quando la parte superior del pilote empieza a recibir una sobrecarga de la superficie o una sobrecarga debida a la fricción negativa, el espesor de arena es comprimido hasta lograr que el edificio de nuevo se pose sobre la superficie.

Este sistema no requiere de mantenimiento.

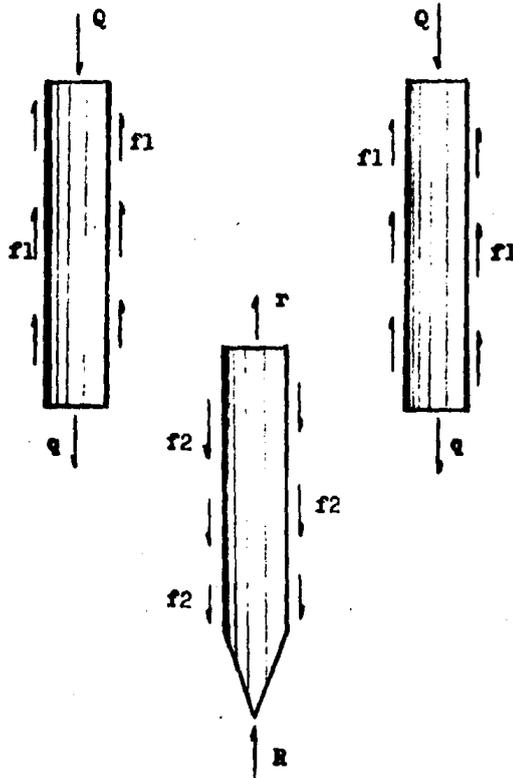
Además de los pilotes de control ya mencionados, existen otros que sin tener un mecanismo de control también pueden regular el hundimiento del edificio que sostienen; para ello sólo requieren del aprovechamiento de sus características. A los sistemas que nos referimos son los siguientes:

PILOTES ENTRELAZADOS

La cimentación la forman tres elementos que son; la losa de cimentación, los pilotes tipo "A", y los pilotes tipo "B".



Para explicar su funcionamiento nos apoyaremos en la siguiente figura.



La losa transmitira su carga Q a los pilotes tipo A.

Los pilotes tipo A transmitiran su carga al suelo por la fricción positiva $f1$ y al mismo tiempo transmitiran la carga sobrante q a través del suelo a los pilotes tipo B.

Los pilotes tipo B reciben la carga por fricción negativa $f2$, y la transmiten a la capa dura. Debido a la fricción negativa que se produce entre el subsuelo y los pilotes tipo B, se ejercen esfuerzos R en el subsuelo con dirección hacia arriba.

Los pilotes tipo B están diseñados para soportar mayor carga que los pilotes tipo A; en caso de que se produzca una sobrecarga los pilotes tipo B deberán soportarla y transmitirla casi en su totalidad.

Como la fuerza que se ejerce hacia arriba por el pilote tipo B, es siempre menor que la que transmite el edificio por el pilote tipo A, no se vera restringida la consolidación regional.

Esta cimentación puede seguir los hundimientos del suelo, ya que como los pilotes tipo A no se apoyan en un estrato firme, al ser sobrecargados podrán sumergirse hasta que se produzca un equilibrio de esfuerzos verticales.

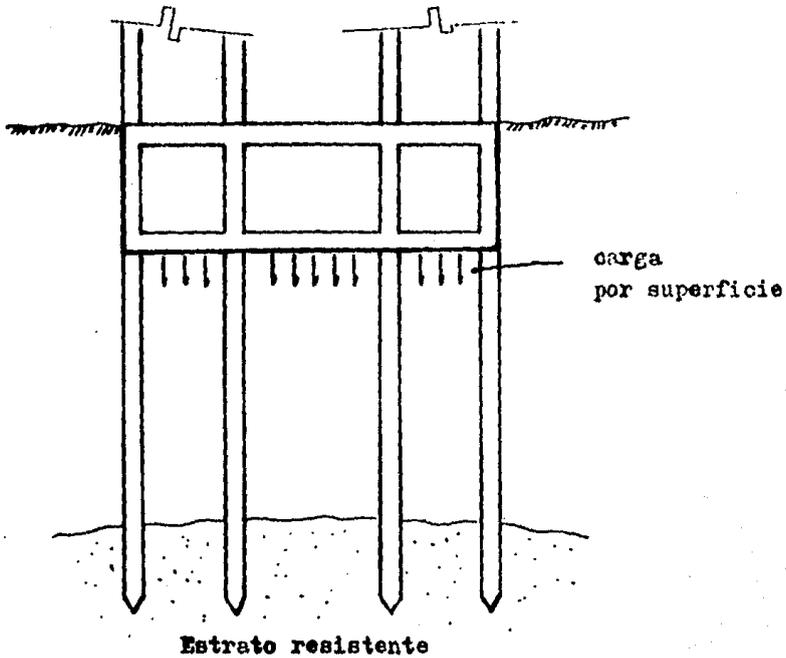
PILOTES PENETRANTES

Este tipo de pilotes pueden aprovechar todas las propiedades que presenta el suelo, y aun las que pudieran desarrollarse a largo plazo; cualquier sobrecarga superficial o fricción negativa que se presente no causaría ningún daño. El sistema lo forman la losa de cimentación y los pilotes de punta que serán hincados hasta penetrar en la capa dura del subsuelo.

La carga será transmitida tanto por superficie como por fricción, es decir, con la losa de cimentación y con los pilotes respectivamente.

Una vez que el suelo empieza a consolidarse provoca dos cosas;— que la presión de contacto de la losa con el suelo disminuya, y que la carga sobre los pilotes aumente. La carga sobre los pilotes puede llegar a ser tal que al aumentarla en lo más mínimo, provocaría que el pilote penetrara en la capa dura; cuando esto

sucede la fricción negativa desaparece y al mismo tiempo la obra desciende hasta que la losa de cimentación se posa en la superficie y toma de nuevo parte de la carga.



El único problema que se presentaba para utilizar este sistema -- lo era el conocer el valor de la resistencia al corte de la capa donde se apoya el pilote; en la actualidad para mayor seguridad -- se han establecido rangos de confiabilidad.

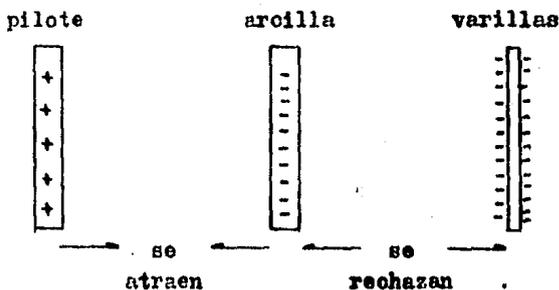
Como se puede apreciar en la figura, tanto la losa de cimentación como la capa resistente son los reguladores de los hundimientos.

PILOTES ELECTROMETALICOS

Para incrementar la capacidad de carga en pilotes de fricción, - algunos investigadores han querido aprovechar la consolidación y endurecimiento de las arcillas; como resultado de un tratamiento eléctrico.

Su funcionamiento es el siguiente: El pilote esta formado por un tubo de acero que se hinca en el suelo, su diametro varia de - 1 1/2 pulgadas a 4 pulgadas, y su longitud puede ser la que se requiera para que quede apoyado en depositos resistentes. El pilote es hincado con un martinete ligero, y sometido a una corriente eléctrica haciendolo funcionar como ánodo, en tanto unas - varillas de acero que se han colocado a cierta distancia se conectan al cátodo del circuito; con todo ello se busca que mediante el fenómeno de electroósmosis, y en un término de tiempo, la adherencia suelo-pilote sea de tal magnitud que estos trabajen - como si formaran un sólo elemento.

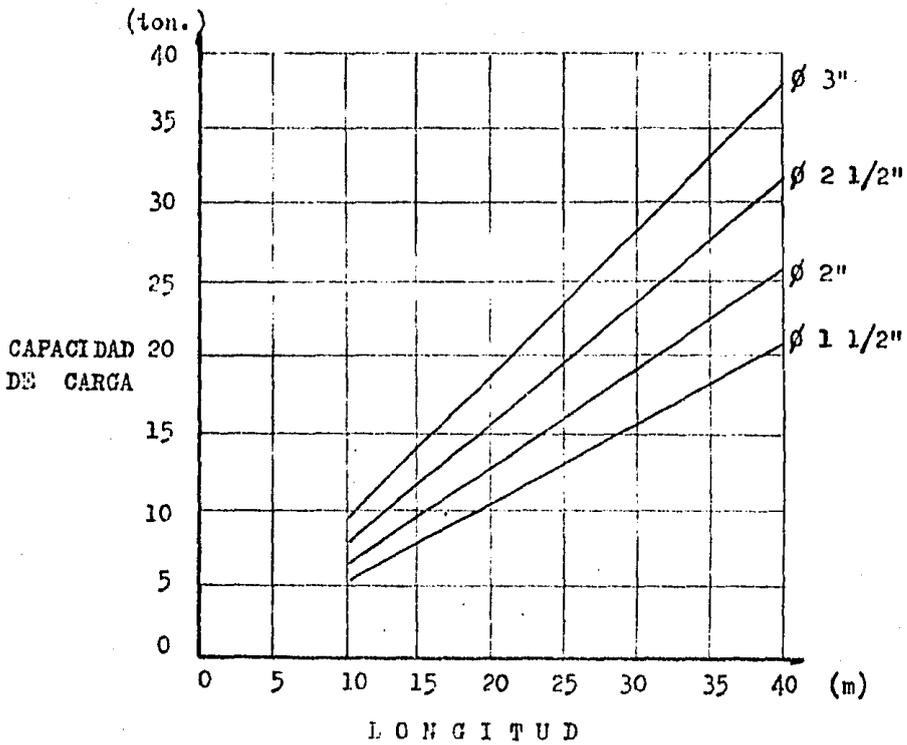
Los pilotes se van uniendo en secciones con soldadura y su término de tratamiento acaba con la extracción de las varillas que - funcionaron como cátodo



De algunas pruebas que se hicieron en los suelos arcillosos de la ciudad de México se obtuvieron los siguientes datos:

- 1.- Estos pilotes presentan gran facilidad en su manejo.
- 2.- Se comprobó como resultado del tratamiento, el incremento de por lo menos un 50% en la capacidad de carga.
- 3.- Cuando se aplica un potencial eléctrico constante, la capacidad de carga aumenta hasta llegar a un valor máximo, y si la aplicación continua, la capacidad de carga empieza a decrecer.
- 4.- Además de lograr un valor máximo de adherencia de 9.0 t/m^2 se disminuye la corrosión.
- 5.- La punta empieza a penetrar en la capa dura cuando se llega a la carga de 12 ton.

Este sistema hasta ahora ha tenido poco desarrollo, y su uso se ha dedicado preferentemente a recimentar. Sin embargo aún sigue en estudio su comportamiento.



GRAFICA DE DISEÑO PARA PILOTES
ELECTROMETALICOS EN EL VALLE
DE MEXICO

Para la elaboración de la gráfica se tomo un factor de seguridad de 1.5 con respecto a la capacidad máxima de carga. (Ref. 4)

SUGERENCIAS

Después de haber estudiado las ventajas y desventajas que ofrece cada uno de los tipos de pilotes, y de conocer las propiedades que el suelo de la ciudad de México presenta, podemos dar sugerencias con base para su aplicación. Estas no se deberán tomar - como una conclusión, ya que cada tipo de construcción presenta diferentes problemas, y por lo tanto diferentes alternativas de solución.

La necesidad de construir edificios cada vez más altos y en consecuencia más pesados, viene a desechar la utilización de pilotes de madera, ya que como explicamos anteriormente el peso - que estos pueden soportar es mínimo.

Parece entonces lógico pensar en el uso de los pilotes de acero. Sin embargo se presenta el inconveniente del hundimiento del suelo; debido a que estos pilotes no funcionan por rozamiento en las arcillas volcánicas lacustres y altamente compresibles, sólo queda la opción de utilizar su capacidad de carga por punta, lo que provocaría la emersión del edificio y con ello la deficiencia de su uso.

Los pilotes compuestos son muy económicos, y trabajan en forma eficiente siempre y cuando la punta este formada o por madera, o por acero; es ilógico pensar en otra combinación. Este sistema depende en su totalidad del máximo aprovechamiento que se tenga en la combinación de las propiedades de los materiales. Tomando como base los dos puntos anteriores podemos afirmar que este método es inadecuado para ser aplicado en un suelo como el

que presenta la ciudad de México.

Los pilotes de concreto armado, trabajando por fricción, son en mi opinión una muy buena solución. Realmente las consecuencias en las cimentaciones, que trajo consigo la extracción del agua fueron dos: la emersión de la estructura, y en algunos casos el asentamiento del mismo.

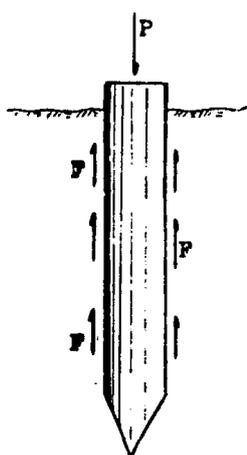


figura a

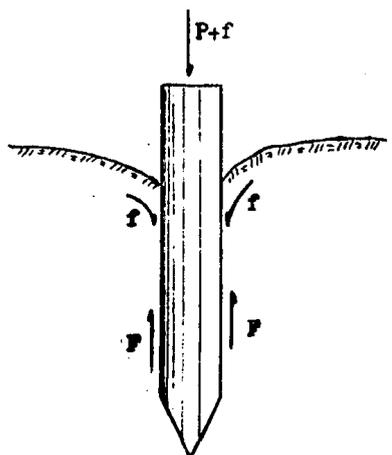


figura b

En los pilotes de fricción, la carga P es tan sólo soportada por la fuerza de rozamiento F que existe entre la pared del pilote y el suelo que lo rodea. Ver fig a.

En la fig. b, cuando el suelo se comprime, el pilote se sobrecarga debido a la fuerza de tracción f que se crea hacia abajo. A esta fuerza de tracción se le conoce como fricción negativa.

Si utilizamos pilotes para que trabajen por fricción, y en el cálculo del asentamiento y de la capacidad de carga del pilote tomamos en cuenta la fricción negativa producida por el suelo que se comprime, lo más probable es que no se presenten ninguna de las situaciones mencionadas.

Además de lo anterior, también podemos aliviar la presión de sobrecarga por medio de basamentos; para que los asentamientos no sean excesivos.

El único cuidado que se debe tener para este tipo de pilotes es evitar en lo posible el agrietamiento.

Finalmente, el sistema de pilotes de control es sin duda la mejor opción para resolver las cimentaciones de estructuras que se posarán sobre un estrato muy compresible; sus dispositivos dan la posibilidad de que la estructura por propio peso quede de nuevo sobre el terreno, anulando con ello la posibilidad de emergencia y asentamientos excesivos del edificio.

DISEÑO DEL PILOTE

En el presente capítulo serán descritos los diferentes métodos que se pueden usar para determinar la capacidad de carga que un suelo nos proporciona; cuando el peso que se le aplica es distribuido a base de pilotes.

2.1 CAPACIDAD DE CARGA

La capacidad de carga, también conocida como carga máxima admisible es la propiedad que presenta toda estructura de soportar una carga que ha sido calculada de antemano, sin que por ello se vea afectada su estabilidad.

La capacidad de un suelo para soportar un peso varía no solamente con la resistencia del suelo, sino también con la magnitud y forma de distribución de la carga.

La capacidad de carga del pilote es la capacidad que tiene el pilote para transmitir la carga que soporta, al suelo que lo rodea y que lo sostiene, sin que por ello sufra daños o asentamientos considerables. Esta capacidad de carga del pilote, puede ser calculada por tres diferentes métodos; dos analíticos y un práctico. Los métodos analíticos son: el método estático, el cual depende en esencia de las propiedades mecánicas que presenta el suelo; y el método dinámico, basado en la transferencia de energía cinética durante el hincado, por medio del martinete hacia el pilote y hacia el suelo.

La capacidad de carga de un grupo de pilotes, puede ser mucho menor que la correspondiente a la suma de los pilotes considerados por separado. Esto se puede dar con mayor probabilidad en

suelos compresibles, su origen es la interacción que se produce entre las zonas de esfuerzos de cada pilote.

El asentamiento de un grupo de pilotes, será igual al asentamiento de un sólo pilote, bajo la misma carga, sólo si estos se apoyan en un estrato duro. De no ser así, el asentamiento del grupo de pilotes será mayor que el producido en uno sólo.

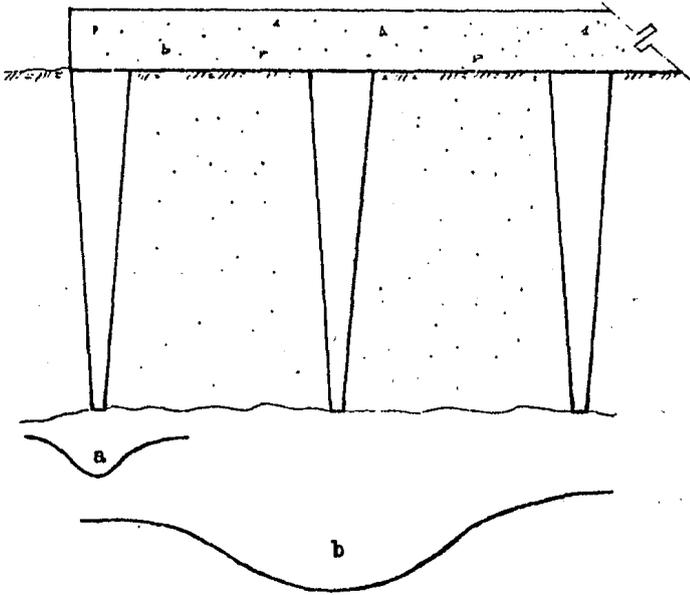


Diagrama de tensiones al nivel de la punta del pilote

a) pilote aislado

b) grupo de pilotes

A continuación presentaremos los dos métodos de cálculo; explicando para cada uno cuales son sus fundamentos teóricos.

METODO ESTADICO

Este método se puede aplicar a cualquier tipo de suelo, y a cualquier tipo de pilote; para el cálculo de capacidad de carga del pilote sólo se requiera de los parámetros mecánicos del suelo.

Capacidad por punta. Suelo cohesivo.

Para este tipo de suelo, la capacidad de carga del pilote por punta, será calculada con la siguiente ecuación:

$$Q_p = q_c A_s \quad \dots\dots (1)$$

Donde Q_p = Capacidad por punta.
 q_c = Capacidad por cohesión.
 A_s = Area de la sección.

La capacidad por cohesión q_c estará dada por:

$$q_c = C N_c + \gamma D_f \quad \dots\dots (2)$$

Donde C = Cohesión
 N_c = Factor de capacidad de carga
 γ = Peso específico del suelo
 D_f = Profundidad del pilote

Sustituyendo la ec. 2 en la ec. 1 tenemos:

$$Q_p = (C N_c + \gamma D_f) A_s$$

El valor de N_c , se obtendrá de la gráfica No. 1 de Skempton, con la relación D/B , siendo D la profundidad y B el diámetro o ancho del pilote.

En este caso D será la profundidad que esta introducido el pilote en el estrato resistente.

Capacidad por punta. Suelo friccionante.

Para obtener la capacidad de carga en éste caso, se podrá usar la siguiente expresión:

$$Q_p = q_f A_s \dots\dots (1)$$

Donde q_f será la capacidad aportada por la fricción.

$$q_f = \gamma_m D_t N_q \dots (2)$$

Donde γ_m = Densidad del material.

D_t = Profundidad total

N_q = Factor de capacidad de carga.

El factor N_q se obtiene de la gráfica No. 2

Sustituyendo la ec. 2 en la ec. 1

$$Q_p = (\gamma_m \cdot D_t N_q) A_s$$

Donde $D_t = D_f + D_m$

D_m es la penetración que sufrirá el pilote una vez cargado, y su valor se obtendrá con la ecuación:

$$D_m = 4 \sqrt{N \phi} B$$

Siendo "B" el ancho o diametro del pilote.

$$N \phi = \text{tg}^2 (45 + \phi/2)$$

ϕ = Angulo de fricción del material.

Capacidad por punta. En roca.

La roca presenta también características de cohesión y de resistencia al deslizamiento. Sin embargo la evaluación de estos, - presenta serias dificultades para ser obtenidos en el laboratorio; deberá por lo tanto ponerse mucho cuidado en la obtención de estos valores. Se recomienda siempre realizar ensayos representativos de las rocas más débiles y más fuertes; para que el proyectista pueda tomar el criterio más adecuado.

Para este caso, la ecuación a aplicar será la siguiente:

$$Q_p = q_p A_s$$

Donde Q_p = Capacidad por punta

como $q_p = C N_c$

Entonces $Q_p = C N_c A_s$

Donde C = Cohesión

N_c = Factor de carga

A_s = Area de la sección

El valor de " N_c " se obtendrá de la gráfica No. 2

Capacidad por fricción. En suelo friccionante.

Como es lógico suponer, los esfuerzos serán absorbidos tan sólo por el efecto de fricción que se produzca a lo largo del perímetro del pilote. Por lo que la expresión siguiente es perfectamente aplicable.

$$Q_f = Fr \cdot p \cdot L \quad \dots (1)$$

Donde Q_f = Capacidad por fricción
 Fr = Efecto de la fricción
 p = Perímetro del pilote
 L = Longitud del pilote

El efecto de la fricción será evaluado con la sig. ecuación:

$$Fr = K \frac{L}{2} \gamma \operatorname{tang} \delta \quad \dots (2)$$

Sustituyendo la ec. 2 en la ec. 1

$$Q_f = \left(K \frac{L}{2} \gamma \operatorname{tang} \delta \right) p L$$

Donde K = Coeficiente de presión del suelo
 γ = Densidad del estrato de suelo
 $\delta = \frac{2}{3} \phi$
 ϕ = Angulo de fricción del material.

El valor del coeficiente de presión K se obtiene de la tabla 1

Capacidad por fricción. En suelos cohesivos.

En las arcillas blandas, la capacidad de carga aumenta considerablemente tiempo después del hincado. Se ha comprobado por experimentos que las arcillas y limos son muy sensibles al reanaldamiento durante el hincado, y que por ello se produce una disminución de la resistencia. Sin embargo con el tiempo la adherencia aumenta y con ello la capacidad final del pilote.

En algunos casos en que la temperatura produce hinchamiento y -
contracción del suelo, la cohesión se considera nula.

La expresión que servirá para el cálculo de ésta capacidad es:

$$Q_f = a p L$$

Donde Q_f = Capacidad por fricción
 a = Adherencia entre suelo-pilote
 p = Perímetro del pilote
 L = Longitud del pilote

El valor de la Adherencia se obtendrá de la tabla N.º 2 y para ello nos auxiliaremos con la siguiente expresión.

$$C = \frac{q_u}{2}$$

Donde C = Cohesión
 q_u = Resistencia a la compresión sin -
confinar.

Capacidad por fricción. En suelos combinados.

En este caso serán participes de la capacidad de carga del pilote, tanto la fricción como la cohesión. Esta combinación se ve contemplada en la siguiente expresión:

$$Q_f = Fr \cdot p \cdot L$$

$$\text{Como } Fr = a + K \frac{L}{2} \gamma' \operatorname{tg} \delta$$

$$\text{Entonces } Q_f = \left(a + K \frac{L}{2} \gamma' \operatorname{tg} \delta \right) p L$$

Donde

a = Adherencia

K = Coef. de presión del suelo

L = Longitud del pilote

γ' = Densidad del suelo

p = Perímetro del pilote

δ = Coef. de fricción

$$\delta = \frac{2}{3} \phi$$

ϕ = Angulo de fricción interna del material.

Revisión de grupo de pilotes que trabajan por punta.

Para que un grupo de pilotes den seguridad, deberán cumplir con la siguiente expresión:

$$n Q_d \leq \frac{Q_g}{F.S.}$$

Por lo tanto la eficiencia del grupo quedará definida así:

$$e = \frac{Q_g}{n Q_d}$$

Donde n = Número de pilotes

Q_d = Capacidad de carga de diseño, de un sólo pilote.

$$Q_g = q_p B L + D_f (2B + 2L) S$$

F.S. = Factor de seguridad

q_p = Capacidad de carga del suelo

B = Ancho del área de cimentación

L = Largo del área de cimentación

D_f = Profundidad de la cimentación

S = Resistencia media al corte del suelo, en ton/m^2

Q_g = Capacidad de carga, por grupo de pilotes.

La capacidad de carga " Q_g " es la suma de la capacidad de carga de la base de la cimentación (considerada esta como una base gigantesca), más la resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de las caras verticales del grupo de pilotes.

Revisión de un grupo de pilotes que trabajan por fricción.

Para la revisión de este grupo se utiliza la siguiente ecuación:

$$a n L p \leq a P L$$

donde a = Adherencia
 n = Número de pilotes
 L = Longitud del pilote
 p = Perímetro del pilote
 P = Perímetro del área piloteada

Aunque siempre se recomienda que la separación entre los pilotes sea de 2 a 3 veces el diámetro de estos, también se puede calcular de la siguiente manera.

$$S = 1.1 + 0.4 n^{0.4}$$

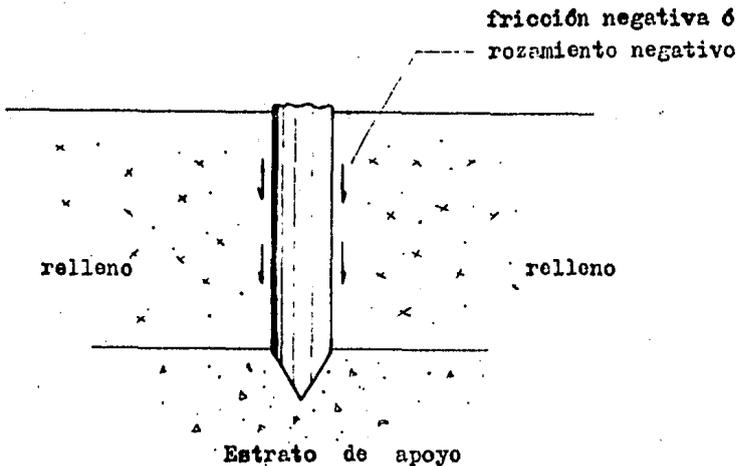
donde S = Separación óptima
 n = Número de pilotes

Esta expresión se determinó después de varios ensayos.

El R.C.D.D.F. establece que la separación mínima entre pilotes será de 3 veces el ancho del pilote, medida de centro a centro

Grupo de pilotes en terreno de rellenos.

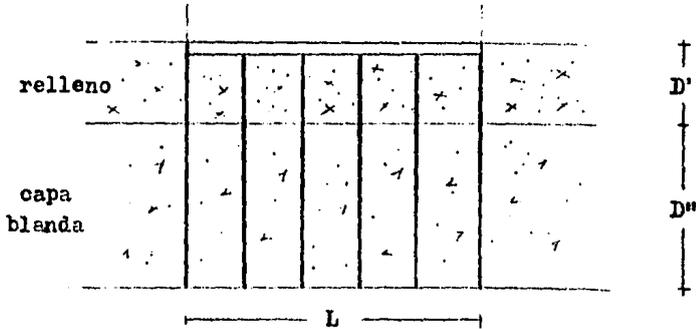
Para explicar el efecto que produce la consolidación del material de relleno, nos auxiliaremos de la siguiente figura:



El estrato al comprimirse provoca una carga adicional sobre el pilote, ésta carga produce fuerzas de tracción hacia abajo, denominadas rozamiento negativo.

La experiencia ha comprobado que aún cuando las arcillas sufrán consolidación, estas continuarán proporcionando apoyo a los pilotes, con el consiguiente asentamiento. Es importante hacer no tar este comportamiento, ya que si recordamos, en los antecedentes históricos se menciona como una gran parte del suelo del Valle de México se formó a base de rellenos acumulados.

Para obtener la carga total que posará sobre el grupo de pilotes al nivel del estrato de apoyo, utilizaremos la fig. siguiente:



Q_t = Carga de trabajo + Carga por fricción negativa

Como fricción negativa = $(L B \gamma' D') + (L B \gamma'' D'')$

Q_t = Carga de trabajo + $(L B \gamma' D') + (L B \gamma'' D'')$

donde Q_t = Carga total

L = Largo de la cimentación

B = Ancho de la cimentación

γ' = Densidad del primer estrato del subsuelo

D' = Espesor del primer estrato

γ'' = Densidad del segundo estrato del subsuelo

D'' = Espesor del segundo estrato

Para comprobar su funcionamiento, se deberá cumplir con:

$$Q_t \leq \text{Carga de trabajo} + S_1 f' + S_2 f''$$

En donde S_1 = Suma de las áreas de los pilotes en el relleno.

S_2 = Suma de las áreas de los pilotes en el suelo blando.

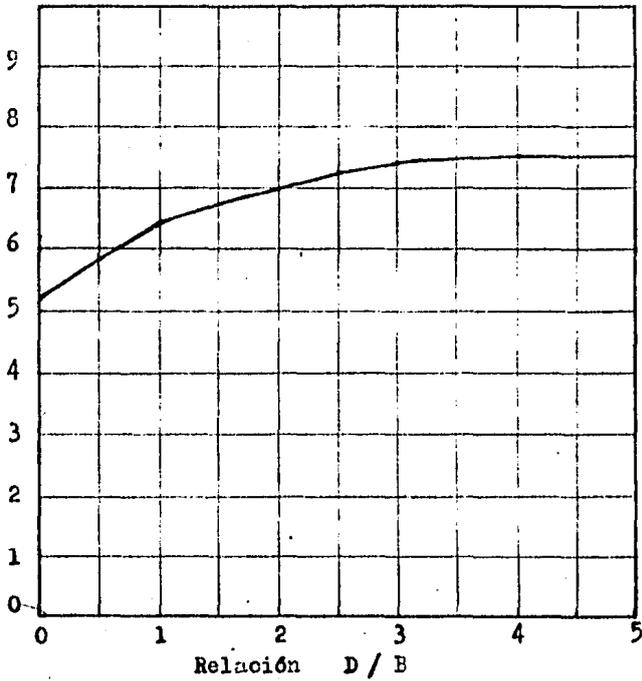
f' = fricción entre el relleno y los pilotes.

f'' = Adherencia entre el suelo blando y los pilotes

Por lo tanto su factor de seguridad estará definido de la forma:

$$F.S. = \frac{\text{Capacidad final de carga}}{\text{Carga de trabajo} + \text{fricción negativa}}$$

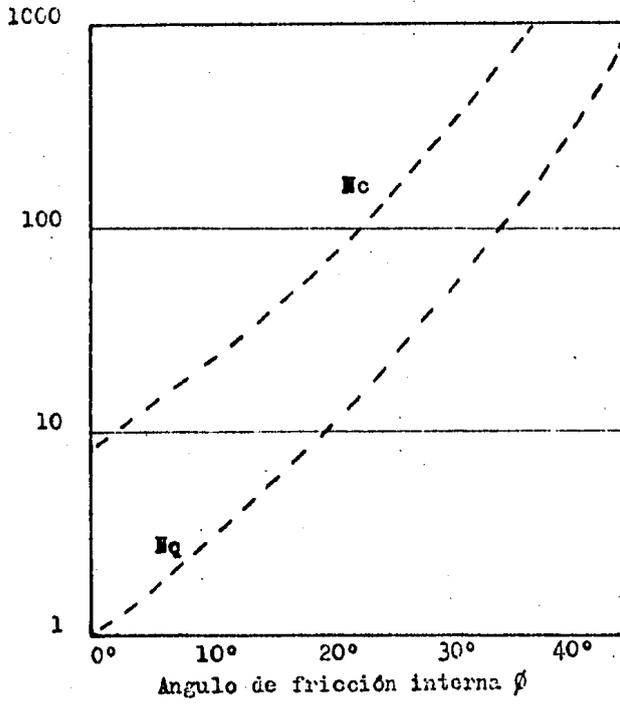
Factor No



Gráfica No. 1 Valores del factor de carga No,
para suelos puramente cohesivos



← B →



Gráfica No. 2 Factores de capacidad de carga para pilotes.

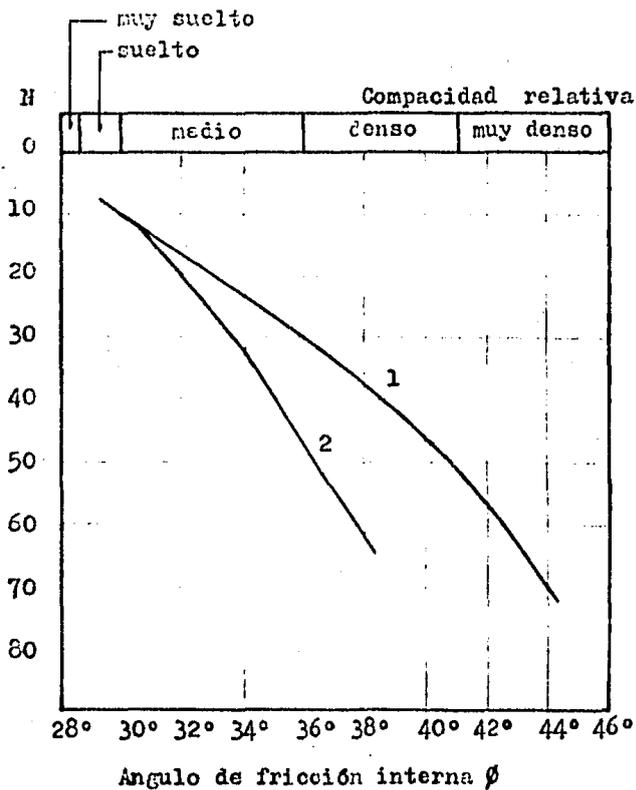


Gráfico No. 3 Relación entre el número de golpes para 30cm de penetración estándar y el ángulo de fricción interna de las arenas.

- 1.- Para arenas gruesas.
- 2.- Para arenas finas.

Tabla No. 1 Coeficiente "K" de la presión lateral del suelo adyacente al pilote.

Suelo	Condición	K
Arena suelta	Pilote instalado con perforación previa	0.75-1.50
	Pilote hincado	2.00-3.00
Arena compacta	Pilote instalado con perforación previa	1.00-2.00
	Pilote hincado	3.00-5.00

Tabla No. 2 Valores de Tomlinson

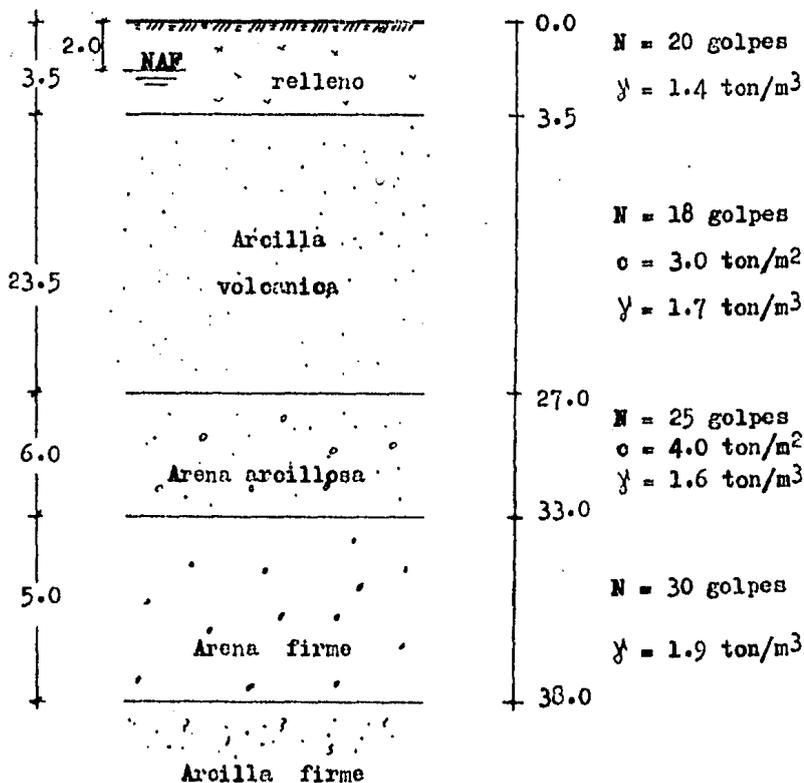
Material del pilote	Consistencia de arcilla	Cohesión "c" ton/m ²	Adherencia ton/m ²	"qu" ton/m ²
Concreto y Madera	blanda	0.0-4.0	0.0-3.5	0.0-7.5
	firme	4.0-8.0	3.5-4.5	7.5-15.0 15.0-30.0
	dura	8.0-15.0	4.5-7.0	más de 30.0

Ejemplo de aplicación práctica.

Una estructura, con peso de 4000 tons. y dimensiones de 20 mts. de largo por 10 de ancho, será construida sobre un suelo que presenta las características mostradas en el esquema.

Determinar ¿ Cual es el número de pilotes necesarios para soportar la carga eficientemente?

1.- Cálculo de pilotes trabajando por punta.



Analizando la estatigrafía, observamos que la primera capa que nos ofrece mayor resistencia es la que se encuentra a 33.0 mts de profundidad, y por lo tanto el cálculo se referirá específicamente a este nivel.

El pilote será desplantado a 33.0 mts. de profundidad, sobre un suelo friccionante, por lo tanto la ecuación correcta a usar es:

$$Q_p = (\gamma_m D_t N_q) A_s$$

- Proponemos una sección del pilote de 0.40 m x 0.40 m

$$A_s = 0.4 \times 0.4 = 0.16 \text{ m}^2$$

- Calculamos "Nq"

Con el dato del número de golpes, podemos obtener el valor de ϕ de la gráfica No. 3

Con el valor de ϕ podemos obtener de la gráfica No. 2 el valor de "Nq"

$N = 30$ golpes. Este valor deberá corregirse siempre que el estrato de suelo presente agua. La corrección se hace de la siguiente manera:

$$N' = 15 + \frac{N - 15}{2} ; \quad N' = 15 + \frac{30 - 15}{2} = 22.5$$

Con $N' = 22.5$ golpes, de la gráfica No. 3, $\phi = 33.5^\circ$

Con $\phi = 33.5^\circ$, de la gráfica No. 2, $N_q = 80$

- Calculamos la penetración "Dm" que sufrirá el pilote:

$$D_m = 4 \sqrt{H \phi} \quad B$$

$$H \phi = t_g^2 (45 + \phi/2)$$

$$H \phi = t_g^2 (45 + 33.5/2) = 3.46$$

$$D_m = 4 \sqrt{3.46} \quad 0.40 \text{ m} = 2.97 \text{ m.}$$

- Ahora sólo falta calcular $\gamma_m D_t$

$$\gamma_m D_t = \gamma_1 D_1 + \gamma_2 D_2 + \dots + \gamma_m D_m$$

$$\gamma_m D_t = (1.4 \times 2.0) + (0.4 \times 1.5) + (0.7 \times 23.5) + (0.6 \times 6.0) + (0.9 \times 2.97)$$

$$\gamma_m D_t = 2.8 + 0.6 + 16.45 + 3.6 + 2.67 \quad \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \times \text{m} \right) = \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$\gamma_m D_t = 26.12 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

- Sustituyendo en la ecuación inicial tenemos:

$$Q_p = (\gamma_m D_t N_q) A_p$$

$$Q_p = \left(26.12 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 80 \right) \times 0.16 \text{ m}^2$$

$$Q_p = 334.33 \text{ ton/pilote.}$$

- La carga de diseño será:

$$Q_d = \frac{Q_p}{F.S.}$$

$$Q_d = \frac{334.33 \text{ ton/pilote}}{3.0}$$

$$Q_d = 111.44 \text{ tons / pilote}$$

Por lo tanto el número de pilotes requeridos es:

$$\text{No. de pilotes} = \frac{4\,000 \text{ tons.}}{111.44 \text{ tons / pilote}}$$

$$\text{No. de pilotes} = 36 \text{ pilotes}$$

- Revisión por grupo de pilotes

$$n Q_d \leq \frac{Q_g}{F.S.}$$

$$Q_g = q_p B L + D_f (2B + 2L) S$$

Si tomamos valores conservadores de $q_p = 4.0 \text{ ton / m}^2$
y $S = 3.0 \text{ ton / m}^2$

$$Q_g = 4.0 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 10\text{m} \times 20\text{m} + 35.97\text{m} (20\text{m} + 40\text{m}) 3.0 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$Q_g = 7\,274.6 \text{ tons.}$$

Sustituyendo tenemos:

$$36 \times 111.44\text{ton} \leq \frac{7\,274.6 \text{ tons.}}{1.5}$$

$$4\,011.84\text{tons} \leq 4\,849.73 \text{ tons.}$$

Por lo tanto es correcto.

2.- Cálculo de pilotes trabajando por fricción.

Procederemos a calcular la aportación de resistencia que ofrece cada estrato.

- 1er. Estrato, de 0.0 mts a 2.0 mts.

Por ser suelo friccionante:

$$Q_f = \left(K \frac{L}{2} \gamma \operatorname{tg} \delta \right) pL$$

$$K = 2.0 \quad (\text{de tabla No. 1})$$

$$L = 2.0 \text{ mts.}$$

$$\gamma = 1.4 \text{ ton / m}^3$$

$$p = 0.4 \text{ m} \times 4 = 1.6 \text{ mts.}$$

Calculamos " $\operatorname{tg} \delta$ "

Con $N = 20$ golpes, de gráfica No. 3 ; $\phi = 33^\circ$

$$\delta = \frac{2}{3} \phi = \frac{2}{3} \times 33^\circ = 22^\circ$$

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} 22^\circ = 0.41$$

Sustituyendo tenemos

$$Q_f = \left(2.0 \times \frac{2.0 \text{ m}}{2} \times 1.4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \times 0.41 \right) 1.6 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$$

$$\underline{Q_f = 3.67 \text{ ton.}}$$

- 1er. Estrato, de 2.0 a 3.5 mts.

Por ser suelo friccionante:

$$Q_f = \left(K \frac{L}{2} \gamma \operatorname{tg} \delta \right) pL$$

Al igual que en el cálculo por punta, se deberá hacer una corrección por presencia de agua:

$$N' = 15 + \frac{N - 15}{2}$$

$$N' = 15 + \frac{20 - 15}{2} = 17.5 \text{ golpes}$$

Con N' pasamos a la gráfica No. 3 y obtenemos ϕ

$$\phi = 32^\circ$$

$$\delta = \frac{2}{3} \phi = 21.33^\circ$$

$$\operatorname{tg} = 0.39$$

$$p = 1.6 \text{ mts.}$$

$$\gamma = 1.4 - 1.0 = 0.4 \text{ ton / m}^3$$

$$L = 1.5 \text{ mts.}$$

$$K = 2.0 \text{ (de tabla No. 1)}$$

Sustituyendo tenemos:

$$Q_f = \left(2.0 \frac{1.5 \text{ m}}{2} \times 0.4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \times 0.39 \right) 1.6 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$$

$$\underline{Q_f = 0.56 \text{ ton.}}$$

- 2o. Estrato, de 3.5 mts a 27.0 mts.

En esta ocasión tenemos un suelo combinado, es decir, que presenta tanto características de cohesión como de fricción.

La ecuación a aplicar es:

$$Q_f = \left(a + K \frac{L}{2} \gamma \operatorname{tg} \delta \right) pL$$

$$K = 1.0 \quad (\text{de la tabla No. 1})$$

$$L = 23.5 \text{ mts.}$$

$$\gamma = 0.7 \text{ ton / m}^3$$

$$N = 16.5 \text{ golpes}$$

$$p = 1.6 \text{ mts.}$$

Cálculo de "a"

Con el valor de $c = 3.0 \text{ ton / m}^2$ pasamos a la tabla No. 2

Extrapolando obtenemos el valor de "a"

$$a = 2.62 \text{ ton / m}^2$$

Cálculo de "tg δ"

Con $N = 16.5$; de gráfica No. 3 $\phi = 32^\circ$

$$\delta = 21.33^\circ$$

$$\operatorname{tg} \delta = 0.39$$

Sustituyendo tenemos:

$$Q_f = \left(2.62 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} + 1.0 \frac{23.5 \text{ m}}{2} \times \frac{0.7 \text{ ton}}{\text{m}^3} \times 0.39 \right) 37.6 \text{ m}^2$$

$$\underline{Q_f = 219.12}$$

- 3er. Estrato, de 27.0 m a 33.0 mts.

Por tratarse de un suelo combinado la ecuación es:

$$Q_f = \left(a + K \frac{L}{2} \gamma \operatorname{tg} \delta \right) pL$$

Con $c = 4.0$; $a = 3.5 \text{ ton / m}^2$ (de tabla No. 2)

$$K = 3.0$$

$$L = 6.0 \text{ mts.}$$

$$\gamma = 0.6 \text{ ton / m}^3$$

$$p = 1.6 \text{ mts.}$$

Con $N = 20$; $\phi = 33^\circ$

$$\delta = 22^\circ$$

$$\operatorname{tg} \delta = 0.4$$

Sustituyendo tenemos:

$$Q_f = \left(3.5 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} + 3.0 \frac{6.0 \text{ m}}{2} \times \frac{0.6 \text{ ton}}{\text{m}^3} \times 0.4 \right) 9.6 \text{ m}^2$$

$$\underline{Q_f = 54.33 \text{ ton.}}$$

RESUMEN

Estrato	Capacidad de carga
1er.	3.67 ton / pilote
1er.	0.56 "
2o.	219.12 "
3er.	<u>54.33</u> "
	277.60 ton / pilote.

La carga de diseño por pilote será:

$$Q_d = \frac{Q_r}{F.S.} = \frac{277.66}{3.0} = 92.0 \text{ ton / pilote}$$

El número de pilotes necesarios es:

$$\text{No. pilotes} = \frac{4\,000 \text{ ton}}{92 \text{ ton/pilote}}$$

No. pilotes = 44 pilotes

Revisión por grupo de pilotes.

$$a n L p \leq a P L$$

$$a = 2.5 \text{ ton/m}^2 \quad (\text{promedio})$$

$$n = 44 \text{ pilotes}$$

$$L = 33.0 \text{ mts.}$$

$$p = 1.6 \text{ mts.}$$

$$P = 60.0 \text{ mts.}$$

Sustituyendo tenemos:

$$2.5 \times 44 \times 33 \times 1.6 \leq 2.5 \times 60 \times 33$$

$$5\,808 \text{ tons} > 4\,950 \text{ tons}$$

En este caso la capacidad por grupo de pilotes no cumple con lo establecido.

Lo que podemos hacer es reducir el F.S. a 2.0 y volver a revisar

$$Q_d = \frac{277.68 \text{ ton/pilote}}{2.0}$$

$$Q_d = 138.84 \text{ ton/pilote}$$

$$\text{No. de pilotes} = \frac{4\,000 \text{ tons.}}{138.84 \text{ ton/pilote}}$$

$$\text{No. de pilotes} = 29 \text{ pilotes}$$

Revisión por grupo:

$$2.5 \times 29 \times 33 \times 1.6 \leq 2.5 \times 60 \times 33$$

$$3\,828 \text{ tons.} < 4\,950 \text{ tons.}$$

Como pudimos observar, en suelos muy compresibles la separación entre pilotes deberá ser mayor para que el grupo funcione en forma eficiente.

METODO ESTATICO PROPUESTO POR CAQUOT Y KERISEL

CAPACIDAD POR PUNTA.

De la fórmula que se aplica a una cimentación circular de poca profundidad, tenemos:

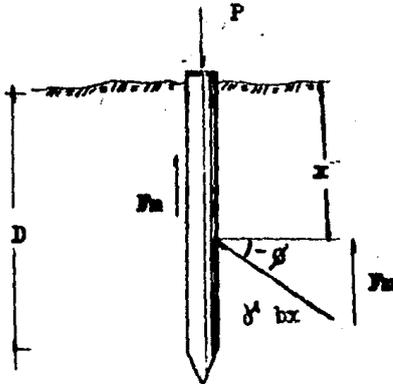
$$Q_p = 1.3 C N_c + \gamma D N_q + 0.3 B \gamma N_\gamma$$

Como en el caso de pilotes, N_γ es despreciable

$$Q_p = 1.3 C N_c + \gamma D N_q$$

CAPACIDAD POR FRICCIÓN.

a) En suelo friccionalante.



Haciendo
$$\text{sen } \beta = \frac{f_n}{\gamma b x}$$

donde f_n = La fricción unitaria.

γ = Peso específico del suelo

b = Coeficiente de empuje pasivo.

$$\text{Como } \text{sen } \phi = \frac{F_m}{\gamma' b x}$$

$$\text{despejando } F_m = \text{sen } \phi \gamma' b x$$

Si esta fricción unitaria la integramos para toda la superficie del fuste,

, obtendremos la fricción total a lo largo del fuste.

$$Q_f = P \int_0^D \gamma' b x \text{ sen } \phi \, dx$$

donde Q_f = Capacidad de carga por fricción.

P = Perímetro del pilote.

La integración se realizará desde cero hasta la profundidad total del pilote, es decir, de 0 a D

En la figura, q_1 y q_2 son originados por un deslizamiento a lo largo del fuste.

El método se basa en el siguiente desarrollo:

De la figura $\text{sen } \phi = \frac{Q_F}{q_2}$

Despejando $Q_F = q_2 \text{ sen } \phi \dots\dots\dots (1)$

Como $q_2 = q_1 \cdot 2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \text{tg } \phi$

Como se puede apreciar, tan sólo falta obtener el valor de q_1 y para ello recurriremos de nuevo a la figura:

$$\text{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) = \frac{q_1}{c/\text{tg } \phi}$$

Despejando $q_1 = \frac{c}{\text{tg } \phi} \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$

Sustituyendo q_1 en q_2

$$q_2 = \frac{c}{\text{tg } \phi} \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \cdot 2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \text{tg } \phi$$

Sustituyendo q_2 en la ecuación 1 tenemos:

$$Q_F = \text{sen } \phi \frac{c}{\text{tg } \phi} \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \cdot 2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \text{tg } \phi$$

Como
$$\frac{\text{sen } \beta}{\text{tg } \beta} = \text{cos } \beta$$

Finalmente tenemos que la capacidad de carga por fricción en un suelo cohesivo es:

$$Q_p = c \text{ cos } \beta \text{ tg } \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2} \right) \cdot \left(\frac{\pi}{2} + \beta \right) \text{ tg } \beta$$

Es importante señalar que el último término de "e" es el que describe en forma aproximada a la espiral logarítmica que representa el deslizamiento del terreno.

METODO DINAMICO

Este método se basa fundamentalmente en la teoría de que la resistencia de los pilotes al golpe del martillo, es semejante a la resistencia que presentan cuando son sometidos a la carga-real de trabajo, y en el concepto de que un pilote que penetra fácilmente durante el hincado, soportará menos carga que otro - idéntico que ofrezca gran resistencia al ser introducido en el suelo.

El análisis matemático se basa en la teoría del impacto de - Newton; en la transferencia al pilote y al suelo de la energía cinética. Esto nos hace pensar que la solución que nos da este método consta tan sólo de una fórmula para calcular la capacidad de carga del pilote. Sin embargo es contradictorio, ya que - existen varias ecuaciones que dependen de valores empíricos propuestos por los autores de estas.

El proceso que sufre el pilote al introducirse puede explicarse de la siguiente manera: a) La fuerza que se genera en el pilote al ser golpeado con el martillo se va disipando al vencer la resistencia de fricción del suelo, b) La fuerza restante que llega al extremo del pilote vence la resistencia por punta.

En algunos casos los resultados obtenidos con este método son - más o menos exactos, mas por el contrario en otros son carentes de lógica; no son tomadas en cuenta para nada las condiciones - del suelo, como son los efectos de fricción negativa y la capaci-dad de carga a largo plazo. Además la forma de aplicar la carga con respecto al tiempo es muy diferente de ser hincado a ser - cargado con el peso de la estructura.

A continuación trataremos de presentar en forma sencilla el desarrollo matemático en que se basa el método. También entre cada uno de los pasos se mencionarán los conceptos teóricos que se toman en cuenta, así como datos importantes.

Sabemos que $\text{Trabajo} = \text{Fuerza} \times \text{Distancia}$

$\text{Energía} = \text{Fuerza} \times \text{Distancia}$

Entonces la energía producida por un mazo de peso " M " y que cae libremente desde una altura " H " es:

$\text{Energía} = M \times H$

$E = M \times H$

Si la altura " H " se transforma en una aceleración:

$$H = \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{entonces } E = M \frac{v^2}{2g}$$

El término $v^2/2g$ se refiere a la aceleración de caída del mazo.

donde v = velocidad de caída del mazo.

g = aceleración de la gravedad.

Aunque se pretende que la energía sea utilizada en su totalidad para hundir el pilote, esto no es posible, ya que existen pérdidas de energía que deben ser tomadas en cuenta.

Por lo tanto la energía útil será estimada de la siguiente forma:

$$E_u = M \frac{v^2}{2g} - E_c - E_e - E_n$$

Donde E_c = Energía perdida en el choque.

E_e = Energía perdida por deformación elástica del pilote.

E_n = Energía perdida por deformación elástica del terreno.

La energía que se opone a la penetración está definida por la siguiente ecuación:

$$E_R = R_d \cdot e$$

Donde E_R = Energía resistente que se opone a la penetración del pilote en el terreno.

R_d = Resistencia dinámica del pilote.

e = Hundimiento del pilote por cada golpe del mazo.

Esta energía resistente del pilote al igual que la energía útil se ve menguada; en este caso por dos factores que son el peso M del mazo y el peso P del pilote. Por lo tanto

$$E_R = (R_d - M - P) e$$

Por equilibrio sabemos que la energía útil que pretende introducir al pilote debe ser igual a la energía de reacción o energía resistente, esto es:

$$E_u = E_R$$

$$M \frac{v^2}{2g} - E_c - E_e - E_n = (R_d - M - P) e \quad \dots (1)$$

Los valores de "E_c" y "E_e" dependen del tipo de material entre los cuales se sucede el choque de hincado.

Para cuerpos rígidos $E_c = M H \frac{P}{M+P}$

Para cuerpos perfectamente elásticos $E_e = 0$

Para cuerpos imperfectamente elásticos $E_e = M H \frac{P}{M+P} (1 - p^2)$

Donde p = Coeficiente de restitución de Newton

$$p = \sqrt{\frac{H'}{H}}$$

H' = Altura de rebote

El valor de "E_e" es: $E_e = \mu R_d^2 \frac{L}{E A_t}$

Donde μ = Coeficiente que afecta la deformación elástica del pilote.

L = Longitud del pilote.

E = Modulo de elasticidad del pilote.

A_t = Sección transversal homogénea del pilote.

Finalmente el valor de "En" se obtendrá con la siguiente ecuación:

$$E_n = C_t R_d$$

Donde C_t = Coeficiente de deformación elástica del terreno.

R_d = La resistencia dinámica que se opone al movimiento del pilote.

Si sustituimos los valores de E_c , E_e , y E_n en la ecuación 1, tomando como el valor de E_c el que corresponde a los pilotes, - es decir, el de los cuerpos imperfectamente elásticos, tenemos:

$$M \frac{v^2}{2g} - MH \frac{P}{M+P} (1 - p^2) - \mu R_d^2 \frac{L}{E A_t} - C_t R_d = (R_d - M - P) e$$

o sea:

$$MH - MH \frac{P}{M+P} (1 - p^2) - \mu R_d^2 \frac{L}{E A_t} - C_t R_d = (R_d - M - P) e$$

Si en el segundo miembro los valores del peso "M" del mazo, y el peso "P" del pilote se consideran insignificantes con respecto a la resistencia " R_d ", la ecuación quedará así:

$$MH - \frac{MHP}{M+P} (1 - p^2) - \mu \frac{R_d^2 L}{E A_t} - C_t R_d = R_d e$$

Finalmente, sabemos que tanto el trabajo "MH" producido por el mazo, como el trabajo " $\frac{MHP}{M+P} (1 - p^2)$ " perdido en el

choque, dependen del rendimiento " η " del mazo, y por lo tanto deben ser afectados:

$$\eta_{MH} - \eta \frac{MHP}{M+P} (1 - p^2) - \mu \frac{R_d^2 L}{E A_t} - C_t R_d = R_d e$$

Despejando:

$$\eta_{MH} = R_d e + \eta \frac{MHP}{M+P} (1 - p^2) + \mu \frac{R_d^2 L}{E A_t} + C_t R_d$$

ECUACION GENERAL DE HINCADO

En esta ecuación se basan todas las fórmulas que en la actualidad se proponen para calcular la resistencia dinámica de los pilotes.

La elección del valor de "Ec" se realizó en base a la teoría de choque expuesta por Newton: para que un choque se considere perfectamente elástico, la energía cinética se debe conservar, es decir, la energía cinética producida después del choque debe ser igual a la energía cinética contenida antes del choque. De no ser así, se considera choque inelástico. El valor del coeficiente de restitución está siempre entre 0 y 1.

A continuación citamos algunas de las fórmulas más usuales:

Autor: Holandesa

$$p = ? \quad \mu = 1/2 \quad C_t = 0 \quad \eta = 1$$

$$R_d = \frac{E A_t}{L} \left[-e + \sqrt{e^2 + \frac{2M (M+P^2 P) H}{M+P} \times \frac{L}{E A_t}} \right]$$

El F.S. varía entre 6 y 10

Autor: Redtenbacher

$$p = 0 \quad \mu = 1/2 \quad C_t = 0 \quad \eta = 1$$

$$R_d = \frac{E A_t}{L} \left[-e + \sqrt{e^2 + \frac{2 M^2 H}{M+P} \times \frac{L}{E A_t}} \right]$$

El F.S. varía de 3 a 4

Autor: Rankine

$$p = 1 \quad \mu = 1/4 \quad C_t = 0 \quad \eta = 1$$

$$R_d = 2 \frac{E A_t}{L} \left[-e + \sqrt{e^2 + MH \frac{L}{E A_t}} \right]$$

El F.S. varía entre 3 y 10

Autor: Engineering News

$$p = 1 \quad \mu = 1/2 \quad C_t = 0 \quad \eta = 1$$

$$R_d = \frac{M H}{e + C_o}$$

El F.S. es 6

Autor: Hiley

$$p = ? \quad \mu = 1/2 \quad C_t = K \quad \eta = 1$$

$$R_d = \frac{M H}{e + \frac{K}{2}} \times \frac{M + p^2 P}{M + P}$$

El F.S. varía entre 3 y 4

En las dos últimas ecuaciones son introducidas dos nuevas variables:

En la fórmula de Engineering News.

- a) Para mazo de caída libre $C_o = 0.025$
- b) Para mazo de vapor $C_o = 0.002$

Para la fórmula de Hiley:

$$K = C_1 + C_2 + C_3$$

Donde C_1 = Acortamiento elástico del casco de protección.

C_2 = Acortamiento elástico del pilote

C_3 = Compresión del suelo

Tabla No. 3 Valores de C_1 , C_2 , C_3

Valores de C_1	Esfuerzos sobre el pilote kg/cm^2			
	35.15	70.30	105.75	140.60
Pilotes de madera	0.27	0.25	0.38	0.50
Pilotes de concreto	0.05	0.01	0.01	0.02
Pilotes de acero	0.10	0.20	0.03	0.04
Valores de C_2				
Pilotes de madera	0.27	0.25	0.38	0.50
Pilotes de concreto	0.06	0.01	0.19	0.25
Pilotes de acero	0.10	0.20	0.30	0.40
Valores de C_3	0.01	0.02	0.02	0.001

Tabla No. 4 Coeficientes de restitución de Newton.

	P
Acero sobre acero	..... 0.55
Acero sobre hormigón	..... 0.40
Fundición sobre hormigón	..... 0.35 a 0.40
Fundición sobre madera	..... 0.25

Nota: La palabra hormigón se designa también para referirnos al concreto.

Carga de diseño:

La carga de diseño que puede soportar el pilote queda definida - por la siguiente ecuación:

$$Q_d = \frac{R_d}{F.S.}$$

Por supuesto que el factor de seguridad deberá ser el propuesto - por el autor de la fórmula.

Todas las fórmulas de hincado presentadas, sólo son válidas si - $M \geq P$ de no ser así, la carga de diseño deberá afectarse por un coeficiente de reducción.

M/P	Coficiente de reducción
0.37	0.000
0.40	0.136
0.45	0.334
0.50	0.500
0.60	0.744
0.70	0.892
0.80	0.968
0.90	0.996

En caso de pilotes inclinados la carga de diseño será:

$$Q_{\alpha} = Q_d \frac{l_0}{H} (\cos \alpha - f \operatorname{sen} \alpha)$$

Donde l_0 = longitud recorrida por el mazo.
 α = Angulo de inclinación del pilote.
 f = Coeficiente de rozamiento entre el - mazo y las guías.

Ejemplo de aplicación

Determinar la carga de diseño, para un pilote vertical de concreto armado, de sección de 0.40 m x 0.40 m y de 15 m de longitud, armado con 4 ϕ No. 8, sabiendo que ha dado una penetración de 2.0 mm por hincado con un mazo de peso $M = 3.0$ ton. cayendo en caída libre desde una altura $H = 1.0$ m, el modulo de elasticidad del pilote $E = 500\,000$ kg/cm² y el coeficiente de equivalencia $m = 15$.

Datos

$$L = 15 \text{ m} = 1\,500 \text{ cm}$$

$$c = 2 \text{ cm} = 0.2 \text{ cm}$$

$$M = 3 \text{ t} = 3\,000 \text{ kg}$$

$$H = 1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

$$E = 500\,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$m = 15$$

A_a = Area del acero.

E_a = Modulo de elasticidad del acero.

E_p = Modulo de elasticidad del concreto.

A_p = Area del concreto.

$$m = \frac{E_a}{E_p}$$

$$E_a = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_p = 10\,000 \sqrt{f'c}$$

$$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de la área

$$A_t = A_b + m \times A_a$$

$$\text{Como } A_b = 40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} = 1\,600 \text{ cm}^2$$

$$m \times A_a = 15 \times 4 \times 5.06 \text{ cm}^2 = 303.6 \text{ cm}^2$$

$$\text{Entonces } A_t = 1\,600 \text{ cm}^2 + 303.6 \text{ cm}^2 = 1\,903.6 \text{ cm}^2$$

Cálculo del peso del pilote

$$P = 0.40 \text{ m} \times 0.40 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 2\,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P = 5\,760 \text{ kg.}$$

- Para la fórmula de Redtenbacher

$$\frac{L}{E A_t} = \frac{1\,500 \text{ cm}}{500\,000 \text{ kg/cm}^2 \times 1\,903.6 \text{ cm}^2} = 1.576 \times 10^{-6} \frac{\text{cm}}{\text{kg}}$$

$$\frac{2 M^2 H}{M + P} = \frac{2 \times (3\,000 \text{ kg})^2 \times 100 \text{ cm}}{3\,000 \text{ kg} + 5\,760 \text{ kg}} = 205\,479.45 \text{ kg-cm}$$

Sustituyendo en la ecuación tenemos:

$$R_d = \frac{1}{1.576 \times 10^{-6} \frac{\text{cm}}{\text{kg}}} \left(-0.2 \text{ cm} + \sqrt{(0.2 \text{ cm})^2 + 205\,479.45 \text{ kg-cm}} \right)$$

$$\times \left(1.576 \times 10^{-6} \frac{\text{cm}}{\text{kg}} \right)$$

$$R_d = \frac{1}{1.576 \times 10^{-6} \frac{\text{cm}}{\text{kg}}} (-0.20\text{m} + \sqrt{0.04 \text{ cm}^2 + 0.3238 \text{ cm}^2})$$

$$R_d = 255\,832 \text{ kg.} = 255.8 \text{ ton.}$$

$$\text{Por lo tanto } Q_d = \frac{255.8 \text{ ton.}}{3} = 85 \text{ ton/pilote}$$

Como $M < P$ la carga de diseño se deberá afectar por el factor de reducción:

$$\frac{M}{P} = \frac{3.0}{5.76} = 0.52$$

El coeficiente de reducción es 0.55

$$\text{Por lo tanto } Q_d = 85 \text{ ton/pilote} \times 0.55$$

$$Q_d = \underline{46.75 \text{ ton/pilote}}$$

- Para la fórmula Holandesa

$$\frac{2 M H}{M+P} = \frac{2 \times 3\,000 \text{ kg} \times 100 \text{ cm}}{3\,000 \text{ kg} + 5\,760 \text{ kg}} = 68.5 \text{ cm}$$

$$M + (p^2 P) = 3\,000 \text{ kg} + (0.40)^2 \times 5\,760 \text{ kg} = 3\,921.6 \text{ kg.}$$

Por tratarse de un pilote de hormigón el valor de $p = 0.40$

$$R_d = \frac{1}{1.576 \times 10^{-6} \frac{\text{cm}}{\text{kg}}} \left(-0.2 \text{ cm} + \sqrt{(0.2 \text{ cm})^2 + 68.5 \text{ cm} \times 3\,921.6 \text{ kg}} \right) \\ \times 1.576 \times 10^{-6} \frac{\text{cm}}{\text{kg}}$$

$$R_d = \frac{1}{1.576 \times 10^{-6} \frac{\text{cm}}{\text{kg}}} \left(-0.2 \text{ cm} + \sqrt{(0.2 \text{ cm})^2 + 0.42 \text{ cm}^2} \right)$$

$$R_d = \frac{1}{1.576 \times 10^{-6} \frac{\text{cm}}{\text{kg}}} (-0.2 \text{ cm} + 0.68 \text{ cm})$$

$$R_d = 304\,575.9 \text{ kg} = 304.6 \text{ tons.}$$

$$Q_d = \frac{304.6 \text{ tons.}}{6} = 50.7 \text{ ton/pilote}$$

Haciendo la corrección tenemos:

$$Q_d = 50.7 \times 0.55 = 27.88 \text{ ton/pilote}$$

$$\underline{Q_d = 27.88 \text{ ton/pilote}}$$

CALCULO PARA MARTILLO TIPO DIESEL

Debido a que el martillo tipo Diesel es el último en desarrollo y por lo tanto el más reciente, el cálculo de la capacidad de carga de los pilotes que son hincados con este sistema requieren de un análisis muy particular.

El procedimiento de cálculo es el que a continuación mostramos:

Si W = Energía que provoca el hundimiento del pilote.

W_1 = Energía causada por la caída del mazo.

W_2 = Energía causada por la explosión al final de la caída.

f = Coeficiente de rozamiento del mazo sobre el cilindro

α = Angulo del pilote con la vertical.

generalmente $f = 0.2$

$$\text{Si } N \geq \frac{P}{3}$$

a) Para pilote vertical

$$W = W_1 + W_2$$

b) Para pilote oblicuo

$$W = W_1 \times (\cos \alpha - f \sin \alpha) + W_2$$

$$\text{Si } \frac{P}{6} \leq M \leq \frac{P}{3}$$

a) Para pilote vertical:

$$W = w_1 \left[1 - 4 \left(1 - \frac{3M}{P} \right)^3 \right] + w_2$$

b) Para pilote oblicuo:

$$W = w_1 \left[1 - 4 \left(1 - \frac{3M}{P} \right)^3 \right] \times (\cos \alpha - f \operatorname{sen} \alpha) + w_2$$

Los valores de w_1 , w_2 y M se toman de la siguiente tabla:

CONCEPTO	TIPO DE MARTILLO		
	D - 22	D - 12	D - 5
Valores de M (ton)	2.20	1.25	0.50
Valores de w_1 (t-m)	3.16	1.80	0.72
Valores de w_2 (t-m)	2.38	1.32	0.53

Carga de diseño:

$$Q_d = \frac{W M}{n (c + cL) (M + P)}$$

donde

W = Energía (kg-m)

M = Peso del martillo (kg)

n = Coeficiente de seguridad = 5/3

c = Penetración con el último golpe (mm)

c = Deformación elástica del pilote (mm/m)

L = Longitud del pilote (m)

P = Peso del pilote (kg)

Para pilotes de concreto armado y acero, $c = 0.30$

Para pilotes de madera, $c = 0.60$

Ejemplo:

Determinar la carga admisible para un pilote vertical de concreto armado, con sección de 0.40 m por lado y 15 m de longitud, sabiendo que el hincado se ha hecho con un martillo tipo Delmag B - 12 y que la penetración promedio fue de 2 mm en los últimos tres golpes.

Datos

$$L = 15 \text{ m}$$

$$e = 2 \text{ mm}$$

$$c = 0.30 \text{ mm/m}$$

$$P = ?$$

$$W = ?$$

$$Q_d = ?$$

De la tabla que presenta el método obtenemos:

$$M = 1\,250 \text{ kg} \quad w_1 = 1\,800 \text{ kg-m} \quad w_2 = 1\,320 \text{ kg-m}$$

$$P = 0.40\text{m} \times 0.40\text{m} \times 15\text{m} \times 2.4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} = 5.76 \text{ ton} = 5\,760 \text{ kg}$$

$$\text{Entonces } \frac{P}{6} = 0.96 \text{ ton.} \quad \text{y} \quad \frac{P}{3} = 1.92 \text{ ton.}$$

$$\text{y como } \frac{P}{6} < W < \frac{P}{3}$$

La ecuación que debemos de usar es:

$$W = 1\,800 \text{ kg-m} \left[1 - 4 \left(1 - \frac{3 \times 1\,250 \text{ kg}}{5\,760 \text{ kg}} \right)^3 \right] + 1\,320 \text{ kg-m}$$

$$W = 2\,810 \text{ kg-m}$$

Sustituyendo tenemos que:

$$Q_d = \frac{3}{5} \frac{(2\,810 \text{ kg-m}) (1\,250 \text{ kg})}{(2\text{mm} + \frac{0.30\text{mm}}{m} \times 15\text{m}) (1\,250 \text{ kg} + 5\,760 \text{ kg})}$$

$$Q_d = 46.25 \frac{\text{kg}^2 - \text{m}}{\text{kg} - \text{mm}}$$

Transformando unidades:

$$Q_d = 46.25 \frac{\text{kg} - \text{m}}{\text{mm}} \times \frac{1\,000\text{mm}}{\text{m}}$$

Finalmente:

$$Q_d = 4\,625 \text{ kg.}$$

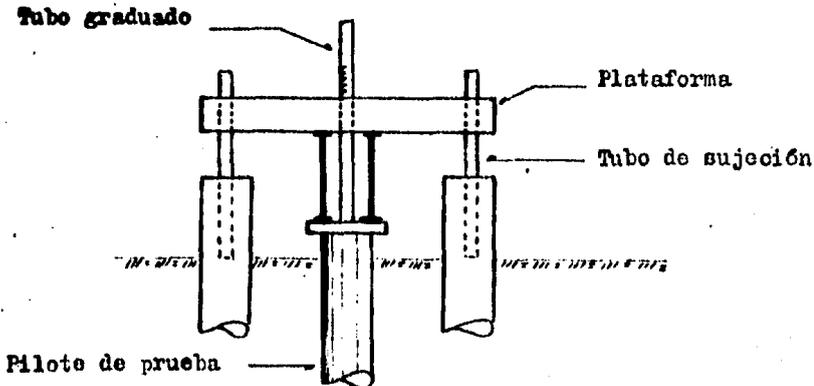
PRUEBA DE CARGA

Esta es otra de las formas con que se puede obtener la capacidad de carga del pilote. El método consiste en someter a algunos de los pilotes que han sido hincados a una carga estática de prueba, la cual se va incrementando hasta producir la falla del pilote. Lo más adecuado es que tanto los pilotes de ensayo, como el equipo de hincado tengan las mismas dimensiones y características — que los que posteriormente se utilicen para la construcción del cimiento.

En construcciones de gran importancia se utiliza como un complemento para comprobar los resultados obtenidos con cálculos analíticos. En suelos duros y consistentes donde el pilote trabajara por punta, los resultados de la prueba son bastante confiables.

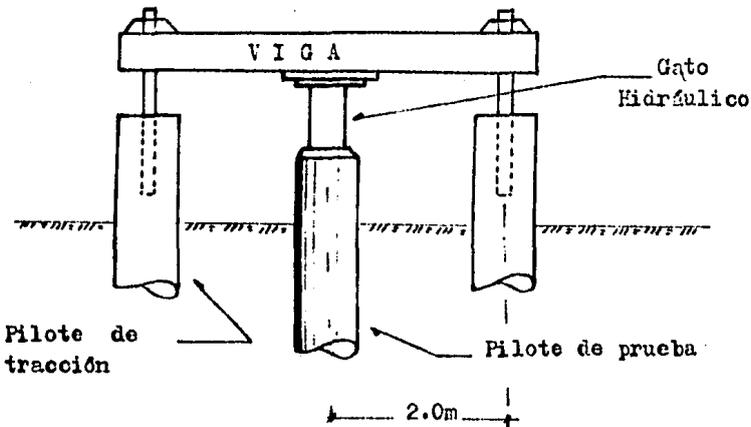
En las construcciones pequeñas donde no es posible adquirir el equipo de hincado con anterioridad, lo mejor será comprometer al propietario para que someta a ensayos a algunos de los primeros pilotes permanentes.

La ejecución de la prueba se realiza de la siguiente manera: Una vez hincados los pilotes, se construye una plataforma en la que se colocará la carga que le será aplicada.



Existen varias formas de aplicar la carga al pilote de prueba, - ya sea someter al pilote con cargas permanentes de sacos de arena, de bloques de concreto, etc.

La carga también puede ser aplicada a base de presión, por medio de un gato hidráulico. En este caso la prueba es más rápida y - con menos costo, ya que la carga es aplicada en forma de incrementos sucesivos. La presión deberá ser medida con una cápsula de presión que se colocará entre el gato y el pilote, como se muestra en la figura.



La reacción de la viga sobre el pilote producirá que este penetre en el suelo.

El tiempo para aplicar la carga dependerá del tipo de suelo que se tenga, es decir, si se hincan pilotes en arcillas blandas y altamente compresibles el ensayo deberá realizarse un mes después del hincado, para dar tiempo a que el suelo se reconode y

su adherencia al pilote aumente su capacidad. La carga se aplicará en incrementos aproximados a $1/4$ de la capacidad que se espera del pilote, con ello se busca lograr una prueba en lo mejor posible.

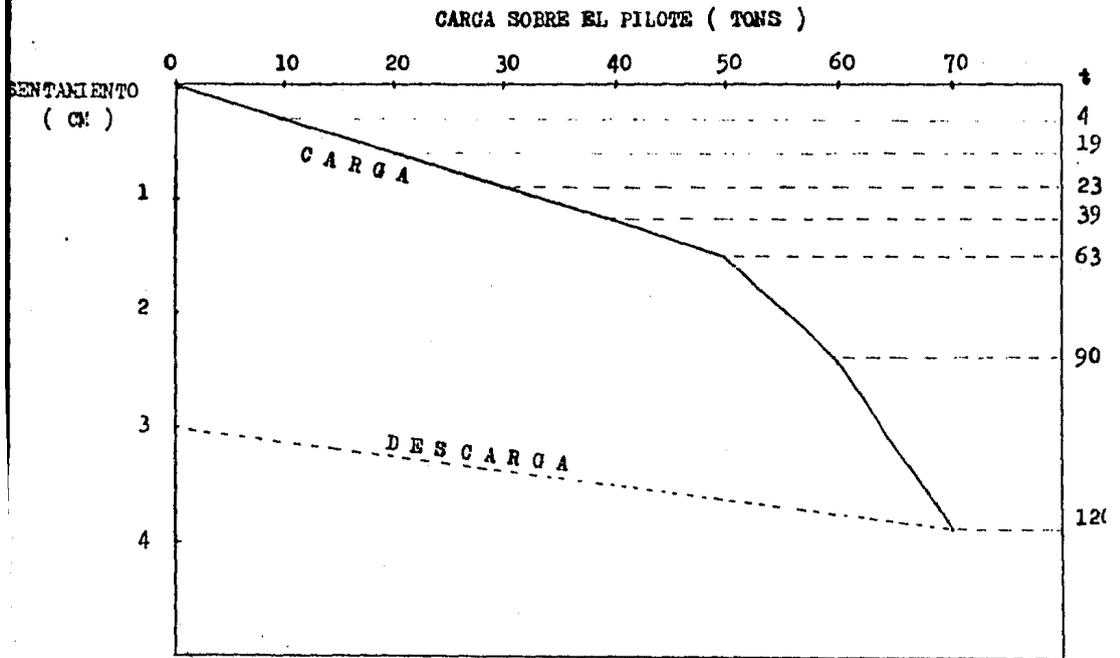
Para hacer un análisis de lo más completo, de la capacidad real del pilote, es necesario obtener varios datos; estos datos -- comprenden la construcción de gráficas y la complementación de tablas como la siguiente:

Tiempo (hr)	Penetración (m)	No. Golpes p.c/30 cm	Carrera del embolo	Comp. temporal
----------------	--------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------

Las gráficas son muy útiles para determinar los asentamientos del pilote debidos a la carga, y referidos a un tiempo determinado.

Datos y forma de graficarlos

Incremento de carga sobre el pilote (tons)	Duración de la carga (hrs)	Asentamiento (cm)
10	4.0	0.3
20	15.0	0.6
30	4.0	0.9
40	16.0	1.2
50	24.0	1.5
60	27.0	2.4
70	30.0	3.9



Es importante cuidar el uso de la escala para poder interpretar correctamente los resultados de la prueba.

Cada incremento de carga se deberá hacer cuando el asentamiento casi sea horizontal en la curva tiempo-asentamiento.

Una vez alcanzado la carga de trabajo del pilote, o haber producido su falla, se procede a la descarga y se determina su forma de recuperación. Esta descarga se ejecutará en decrementos de $1/5$ de la carga máxima soportada.

Como seguramente se obtendrán varios resultados de capacidad de carga, de los ensayos, lo recomendable es tomar un valor medio que provoque el máximo asentamiento.

El factor de seguridad que se aplique lo decidirá el ingeniero, y por lo tanto todo depende de su experiencia.

La resistencia a tracción de los pilotes con bulbo en la punta se puede determinar con excelentes resultados con este tipo de ensayos.

De acuerdo al Reglamento de Construcción del Departamento del DF, la dirección general de obras públicas puede exigir se realice la prueba en los siguientes casos:

- a) Cuando el número de pilotes exceda los 200
- b) Cuando el área de construcción exceda los 400 m^2
- c) Cuando el edificio sea de servicio público y existan frecuentes aglomeraciones de personas.
- d) Cuando el edificio pueda tener deterioro a raíz de algún temblor.

Cabe hacer notar que en la carga de diseño, además de tomar en cuenta el peso propio de la estructura, deberá adicionarse el peso de los pilotes, la carga debida a la fricción negativa, y cargas accidentales que se pudieran presentar con el tiempo.

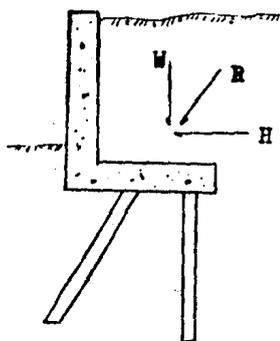
De acuerdo al Reglamento De Construcciones Del D.F. el factor de seguridad varía entre 1.5 y 3; su valor depende del método que se ha escogido para el cálculo de la capacidad de carga de los pilotes; de las condiciones que presenta el suelo, y de los cambios que estas condiciones pudieran tener.

Las tolerancias que el Reglamento permite, son mínimas y algunas de ellas se mencionan a continuación:

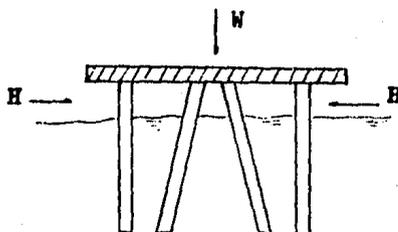
- a) Tanto las dimensiones de la sección, como la posición del acero de refuerzo, no diferirán de las de diseño en más de 1 cm.
- b) La posición de la cabeza del pilote, no será diferente con respecto a la posición en proyecto en más de 15 cm.
- c) En pilotes por fricción hay que dejar un colchón entre la punta y el estrato resistente.
- d) La flecha del pilote en posición vertical, antes de ser hincado, deberá ser:

Para pilotes de punta	1/200 de la longitud de cada tramo.
Para pilotes de fric..	1/100 de la longitud de cada tramo.
- e) La profundidad de la punta no deberá variar, respecto a la profundidad de diseño en más de 40 cm.
- f) En pilotes de concreto, no se admitirán elementos de concreto simple, que excedan la longitud de 1.5m.

Los pilotes inclinados son usados adecuadamente en ocasiones en que el pilote además de estar sujeto a carga vertical, estará - expuesto a severas cargas horizontales, como viento, el empuje - de la tierra en muros de contención, empuje de marea, etc.



Muro de retención



Embarcadero

En las figuras anteriores se muestra como es que un grupo de pilotes inclinados trabajan en conjunto con los pilotes verticales; para dar estabilidad a la estructura. La posición de estos pilotes permite que se tenga mayor resistencia a las cargas horizontales.

En casos en que se coloquen pilotes inclinados en arcillas, será necesario precisar por medio de ensayos de tracción, los valores de cohesión y rozamiento del suelo.

En las arcillas y limos blandos, estos parámetros se considerarán nulos; por ello se deberá tratar de apoyar el pilote en un estrato duro que no permita aflojamiento. Los pilotes verticales suelen soportar aproximadamente $1/10$ de su capacidad vertical, en cargas horizontales.

El anclaje de pilotes, es una necesidad de las estructuras que requieren ser sujetadas; ya sea en cimentaciones que sufren flotación, o en cimentaciones que soportan momentos de vuelco.

La resistencia al levantamiento se consigue únicamente con la cohesión, y por la fricción lateral que se produce a lo largo del fuste del pilote. La resistencia de extremo se considera nula.

Los pilotes más usados con este fin, en suelos arcillosos son los pilotes de hélice, y los pilotes con forma de bulbo en la punta; por la dificultad de su extracción.

Para suelos rocosos, suele hacerse con varillas de sujeción; anclados en agujeros y protegidas contra la corrosión.

La resistencia al arranque estará determinada por la siguiente ecuación:

$$\text{Para pilote circular} \quad T = (r_3 + r_5) \pi D^2/4$$

$$\text{Para pilote cuadrado} \quad T = (r_3 + r_5) L_1 \times L_2$$

$$\text{donde} \quad r_3 = 1/2 \gamma h^2 \times (4/D S_3)$$

$$r_5 = c h (4/D S_5)$$

L_1 = Largo del pilote.

L_2 = Ancho del pilote.

γ = Densidad del suelo.

h = Longitud del pilote.

c = Cohesión.

S_3 y S_5 son parametros de resistencia que dependen del ángulo de fricción.

ϕ	S_3	S_5
10°	0.126	0.892
15	0.166	0.824
20	0.199	0.744
25	0.232	0.661
30	0.265	0.573
35	0.299	0.487
40	0.334	0.406
45	0.355	0.328

Ejemplo:

Calcular la resistencia al arranque de un pilote de 0.40m x 0.40m y 12m de longitud, hincado en un terreno con $\phi = 15^\circ$, de densidad de 1.8 ton/m³

Con el valor de $\phi = 15^\circ$ obtenemos; $S_3 = 0.166$ y $S_5 = 0.824$

Sustituyendo tenemos:

$$r_3 = 1/2 (1.8 \text{ t/m}^3) (12\text{m})^2 \times (4/0.40\text{m}) (0.166)$$

$$= 215.13 \text{ ton/m}^2$$

$$r_5 = 0.0 (12\text{m}) (4/0.40\text{m}) (0.824) = 0.0$$

Finalmente tenemos:

$$T = (215.13 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} + 0.0) (0.40\text{m} \times 0.40\text{m})$$

$$\underline{T = 34.32 \text{ ton.}}$$

OBSERVACIONES

METODO ESTATICO

Por lo que se refiere a este método, señalemos que además de tomar en cuenta las características actuales del pilote y del suelo, también permite precalcular y tomar en cuenta condiciones - que se pudieran presentar durante, o después de construida la - estructura, como son: el efecto de la fricción negativa, asentamientos, y sobrecargas accidentales. El tomar en cuenta todos estos factores, hace que el método sea considerado como un procedimiento de cálculo, que da gran seguridad para ser aplicado a - cualquier tipo de suelo.

METODO DINAMICO

Este método presenta serios inconvenientes por los cuales no - puede ser considerado como un proceso que pueda ser aplicable al suelo de la ciudad de México.

Uno de estos inconvenientes lo es la imposibilidad que se tiene para obtener el valor del rechazo a la penetración. Recordemos - que la mayor parte del suelo del D.F. está constituido por rellenos, y por arcillas volcánicas, y que el comportamiento de estos materiales durante el hincado dejan mucho que desear. Se ha - comprobado que cuando el pilote es introducido en un material - muy compresible, se forma un hueco entre el pilote y el suelo, - esto es debido tanto al golpeteo del martinete como al reacondo

del material. Todo este cambio que sufre el suelo da como resultado que la resistencia al hincado sea mucho menor que la real, ya que la resistencia por fricción se vuelve casi nula. Sin embargo conforme transcurre el tiempo la consolidación regional hace que el hueco se cierre y que la adherencia entre el suelo y el pilote vaya en aumento hasta llegar a su máximo valor.

Tomando como base toda la explicación anterior, concluimos los siguientes puntos:

a) Durante el hincado la adherencia entre suelo-pilote es mínima debido al reacomodo del material; por lo que se tiene un valor de la resistencia a la penetración o rechazo que no es real.

b) Nunca se tendrán los mismos efectos al aplicar la carga en un mínimo de tiempo, que aplicar la carga conforme la construcción se va desarrollando.

c) El factor tiempo no se toma en cuenta. La prueba inmediata, de hincado no permite que el pilote trabaje como tal, es decir, que no se deja que el pilote funcione en conjunto con el suelo a su máxima capacidad.

d) Tanto el efecto de fricción negativa, que tanto afecta a la ciudad de México, como la eficiencia del grupo de pilotes, son dos aspectos que deben de considerarse en todas las cimentaciones construidas a base de pilotes. Sin embargo el método dinámico los omite y no los toma en cuenta para nada.

Finalmente y resumiendo, el método dinámico es inadecuado para suelos compresibles como los existentes en la zona del lago y en la zona de transición de la ciudad de México, y en especial para

los pilotes que trabajan por fricción. Sin embargo el método puede ser utilizado en el cálculo de la resistencia de suelos más estables y de mayor firmeza, y que no presenten situaciones que desfavorezcan al sistema.

PRUEBA DE CARGA

Por lo que se refiere a la prueba de carga, aunque en algunos casos por reglamento es obligatorio realizarla, también se puede considerar como un dispositivo más que nos permite comprobar y corregir los resultados obtenidos analíticamente.

Aunque puede ser muy costosa, es muy recomendable realizarla; ya que por medio de ella podremos verificar el comportamiento real del pilote.

HINCADO DE LOS PILOTES

El objetivo de este capítulo es mostrar cual es el funcionamiento de las formas más usuales de hincado; desde la más sencilla, en la cual se requiere de la fuerza muscular del hombre, hasta las más modernas, en las cuales se ve aplicada la energía mecánica.

El hincado es un proceso, en el cual se pretende introducir al pilote, sin que este sufra o provoque daños en el terreno, y para ello se requiere de cierta energía la cual será aplicada o proporcionada por el equipo de hincado, llamado martinete.

3.1 EQUIPO Y FORMAS DE HINCADO

Los tipos de martinetes más usuales incluyen a los siguientes:

- a) Martinete de caída libre.
- b) Martinete de vapor, de simple acción.
- c) Martinete de doble acción.
- d) Martinete de acción diferencial.
- e) Martinete Diesel.

Los martinetes de caída libre son escogidos dependiendo tan sólo de su peso, mientras que el tamaño de los demás se designa por la energía teórica producida por cada golpe del martinete; esta energía teórica es la analizada en el capítulo anterior como $M H$ (mts - kg).

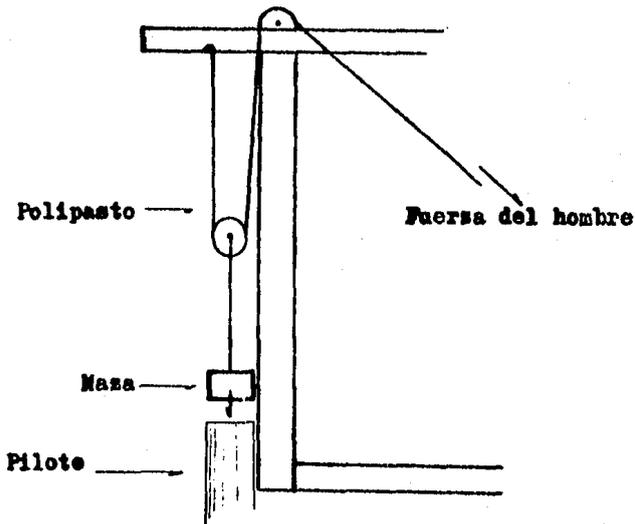
A continuación se explica en forma sencilla como es que funciona cada equipo de hincado:

a) Martinete de caída libre

Es también conocido como martinete de gravedad, es utilizado para hacer penetrar pilotes pequeños de madera, y en construcciones pequeñas en donde resulta antieconómico el traslado de todo un equipo.

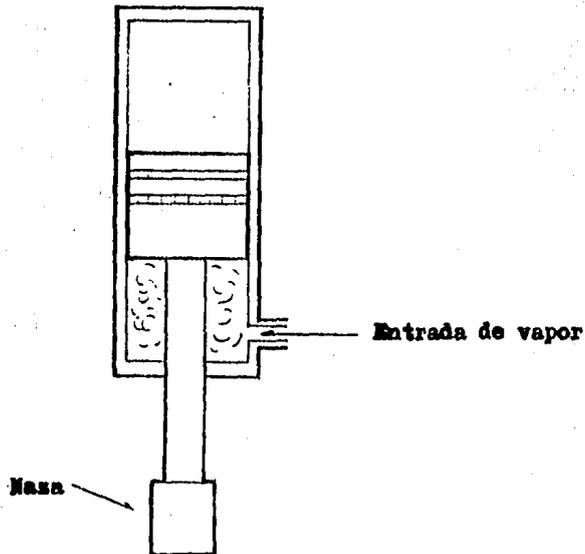
Consiste de una maza de metal, la cual se deja caer al soltar el cable que la sujeta; al mecanismo se adaptan poleas para disminuir el esfuerzo necesario del hombre.

Aunque es muy simple de operar, presenta muchos inconvenientes, como son la baja velocidad de hincado, la dificultad para regular la energía producida por cada golpe, la posible excentricidad del golpe, y el deterioro que se puede producir en el mismo pilote. Como mencionamos anteriormente este tipo de martinete, se designa tan sólo por el peso de su maza.



b) Martinete de vapor, de simple acción.

Este consiste de un peso que cae libremente llamado ariete; se introduce vapor o aire comprimido para levantar la maza, se corta el vapor y el mazo cae libremente.

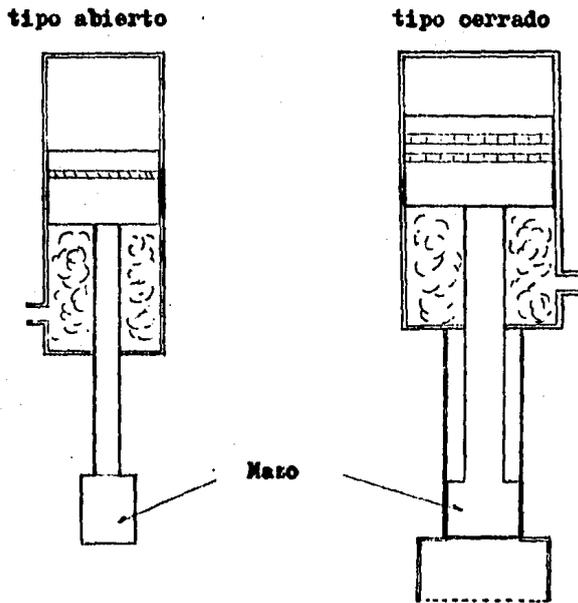


La maza pesada golpea con una baja velocidad debido a la caída relativamente corta; ésta reducción en la velocidad del ariete, disminuye el peligro de dañar al pilote.

Un martinete de caída libre puede golpear de 4 a 8 veces por minuto, mientras que este de simple acción puede dar hasta 50 golpes por minuto.

Comparado con el anterior, este martinete requiere de un mayor costo en equipo (caldera o compresor de aire) y mantenimiento, lo cual se compensa con la calidad del hincado.

Este tipo de martinete puede ser cerrado o abierto, es decir, la maza puede estar protegida por una camisa de metal, o totalmente descubierta.



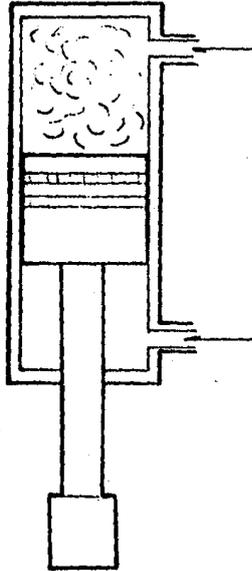
c) Martinete de doble acción.

Mecanicamente este sistema es muy parecido al anterior, sólo que en este caso se aplica la presión del vapor tanto para levantar el ariete, como para acelerar su caída.

La carrera o altura de caída es más corta, y los golpes poco más rápidos, por lo que el tiempo necesario para la hinca puede reducirse aún más.

Este tipo de martinete puede elegirse de acuerdo al servicio que

se tenga que dar; puede ser de servicio ligero, de servicio normal, y para trabajos forzados. La elección de uno de estos depende del tipo de pilote que se vaya a hincar, y del tipo de terreno que se presente.

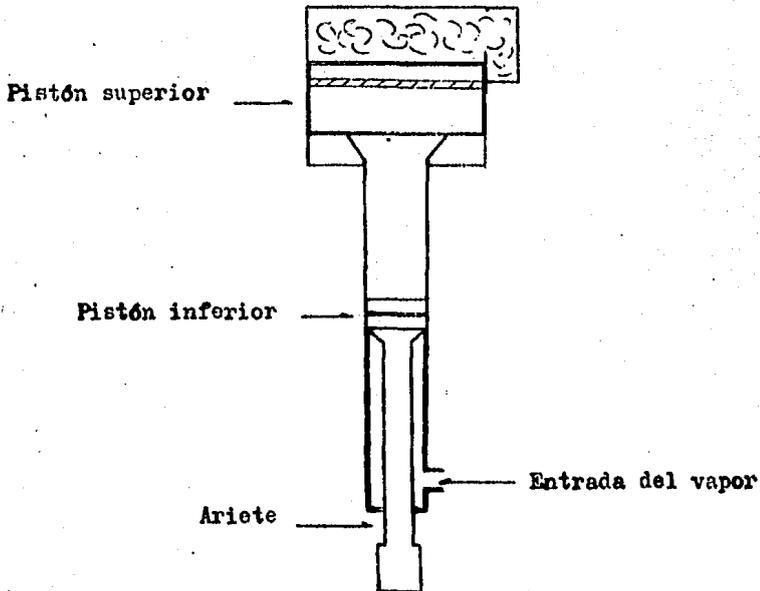


El martinete puede ser movido también por la presión hidráulica de una bomba, y que aunque es muy fácil de trasladar, presenta el inconveniente mecánico de la dificultad para regular las presiones. También existen del tipo cerrado y del tipo abierto.

d) Martinete de acción diferencial.

Este sistema funciona con dos pistones, uno en la parte superior del cilindro y otro en la parte inferior del mismo. El movimiento del ariete es provocado por la diferencia de fuerzas de presión entre los dos pistones.

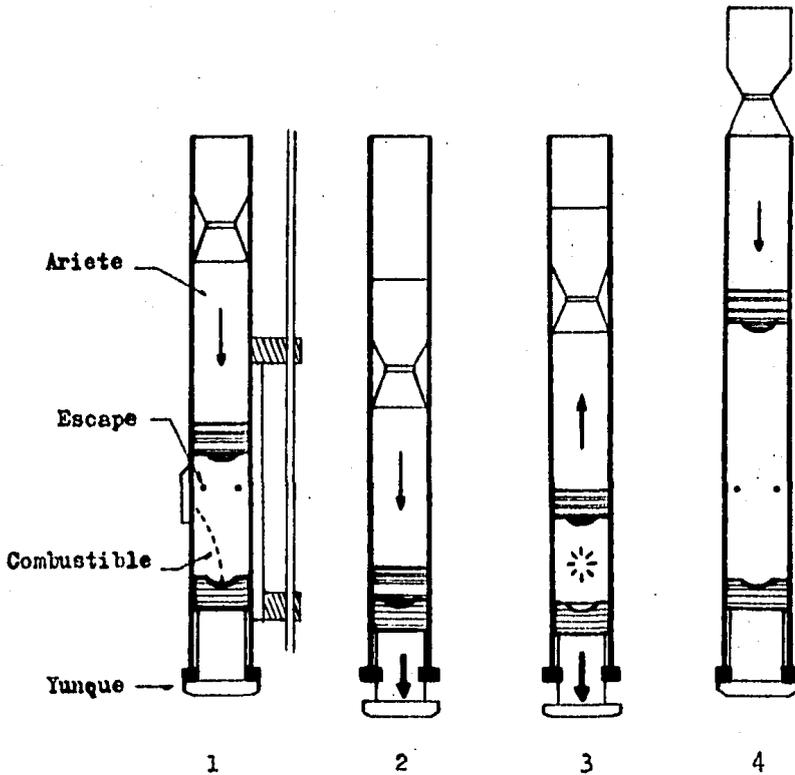
Presenta las mismas ventajas que los martinetes de acción simple y de doble acción.



e) Martinete tipo Diesel.

Este tipo de martinete se compone de las siguientes partes; un cilindro que en su fondo contiene un macizo conocido como yunque, una maza, y su fuente de energía.

Para explicar su funcionamiento nos basamos en la sig. figura:



1.- Se inicia su funcionamiento; la maza se levanta mecánicamente y se deja caer. Cuando cae la maza se inyecta el combustible dentro del cilindro.

2.- La maza comprime el aire y el combustible hasta provocar una

elevación de temperatura con el choque que se sucede entre la maza y el yunque.

3.- La explosión provocada por la elevación de la temperatura, hace que el yunque se mueva hacia abajo contra el pilote, y a la maza hacia arriba.

4.- Se inicia de nuevo el ciclo.

Las ventajas que ofrece éste martinete son principalmente tres; lleva consigo su fuente de energía, es económico y es de fácil manejo. Sin embargo presenta un inconveniente, este se refiere a que la energía que se produce por golpe varía con la resistencia que ofrece el pilote.

Los martinetes de vapor pueden operar también con aire comprimido, sin embargo el uso de este disminuye su eficiencia. Siempre es aconsejable que el peso del ariete oscile entre un tercio y dos veces el peso del pilote para que la pérdida de energía por impacto, la cual varía en relación a los pesos entre la maza en movimiento y la maza estática, sea mínima.

Es muy importante tomar en cuenta que siempre será más efectivo un martinete pesado con una altura de caída corta, que un martinete ligero que cae desde gran altura, ya que además de producir mayor energía, se evitan daños en el pilote.

Ejemplo: Primer caso

$$m = 3000 \text{ kg.}$$

$$h = 0.8 \text{ m}$$

$$E = 3000 \text{ kg} \times 0.8 \text{ m} = 2400 \text{ kg-m}$$

Segundo caso:

$$m = 1\ 000\ \text{kg}$$

$$h = 1.70\ \text{m}$$

$$E = 1\ 000\ \text{kg} \times 1.70\ \text{m} = 1\ 700\ \text{kg-m}$$

Como se puede ver, aunque la altura en el segundo caso es mucho mayor, la energía producida por el martinete es mucho menor.

OTRAS FORMAS DE HINCADO.

Existen otras formas de hincado en las cuales no se requiere de una maza para golpear y hacer penetrar al pilote en el terreno. Algunos de los métodos más comunes son el hincado con inyección de agua, hincado punzado y el hincado con gatos hidráulicos.

Para ayudar en la penetración de los pilotes en suelos friccio - nantes se puede hacer con la inyección de agua a presión; se colocan unos tubos, ya sea a los costados del pilote, o en el interior de éste, y se procede a inyectar el agua. Se utiliza sólo - en casos en que los pilotes son cortos, si por el contrario los pilotes que se van a hincar son de una considerable longitud, el sistema solo se tomara como un procedimiento auxiliar. Antes de llegar a la zona de desplante se deja de inyectar el agua, y la penetración restante se realiza con el martinete.

El punzonado se refiere al hincado de un perfil de acero, con el cual se pretende romper las capas duras que pudieran provocar - daños en el pilote al ser hincado. El perfil una vez que a tras pasado el estrato duro es extraído para permitir el hincado del-

pilote que sera permanente.

El uso de gatos hidráulicos es necesario cuando por espacio no se puede utilizar un martinete, o cuando el ruido del golpeteo no es permitido. Este sistema es muy utilizado para levantar es estructuras, utilizando como reacción el peso de la misma.

En general todas estas formas se deben de considerar como sistemas auxiliares en el hincado del pilote.

HINCADO DE PILOTES EN EL AGUA

El hincado en presencia de agua se puede ejecutar de dos formas distintas, y la elección de una de estas depende de el tipo de equipo de hincado que se tenga disponible. Cuando se tiene un martinete del tipo abierto, el hincado se lleva a cabo sobre la superficie del agua, es decir, el pilote es hincado hasta que la cabeza de este apenas asome en la superficie, después se coloca un seguidor sobre el pilote para transmitir el golpe al pilote. La otra forma procede cuando se tiene un martinete del tipo cerrado, en este caso no hay necesidad de seguidor pues el equipo puede operar bajo la superficie.

Tanto el equipo de hincado como los pilotes son montados en barcasas o chalanas, y en otras ocasiones se construyen estructuras de sosten llamadas entramados, estas estructuras son montadas so bre la plataforma sostenida por los propios pilotes previamente hincados.

Es muy importante el establecer un lugar que permita trabajar con comodidad y seguridad. De la estabilidad que se tenga dependerá en mucho la calidad del hincado.

En casos en que el martinete este bajo el agua, es importante - adaptar un mecanismo de mangueras, tanto para la extracción del vapor, como para el suministro de aire comprimido en la parte inferior del martinete; esto último es para impedir que penetre el agua.

Finalmente, y para terminar este inciso, aclaramos que en la actualidad, sólo se utilizan los martinetes Diesel, todos los demás martinetes han pasado a ser una máquina más que se utilizó en su momento. Sin embargo el conocer cual es su funcionamiento, y como ha evolucionado cada uno de ellos, no esta por demás.

El martinete Diesel viene a revolucionar la operación de hincado de los pilotes, el hecho de que porte su propia energía, hizo que los demás fueran desplazados; proporciona una mayor facilidad para el traslado de equipo ya que las compresoras y calderas son innecesarias.

Otra ventaja es que el costo de equipo sólo comprendera lo que es el martinete en si, las compresoras y calderas de vapor pasan a ser historia en el hincado de pilotes.

Para elegir el martinete de hincado, se debe de tratar de escoger el más grande y más pesado que se pueda emplear sin dañar el pilote.

El martinete tiene que satisfacer la siguiente ecuación:

$$\eta MH > \eta \frac{MHP}{N+P} (1 - p^2) + \mu \frac{R_d^2 L}{E A_t} + C_t E_d$$

Es decir, que la suma de las pérdidas de energía tiene que ser menor que la energía neta entregada por el martinete.

Ejemplo.

Se pretenden hincar pilotes de 30 cm por lado, y 10 m de longitud. De las pruebas de carga se deduce que el pilote puede soportar 50 tons. con factor de seguridad de 3.

Determinese ¿ Que tipo de martinete se puede utilizar, y que penetración se obtendra con cada golpe ?

Para iniciar proponemos un martinete; en este caso elegimos el D-12 con sus siguientes características:

Energía por golpe = 3 125 kg - m ; M = 1 250 kg

$$\eta = 0.70$$

- Cálculo del peso del pilote

$$P = 0.30m \times 0.30m \times 10m = 0.90 m^3$$

$$0.9 m^3 \times \frac{2.4 \text{ ton}}{m^3} = 2.16 \text{ ton.}$$

- Cálculo de la resistencia dinámica

$$R_d = 50 \text{ ton.} \times 3 = 150 \text{ ton}$$

- Cálculo de la energía perdida en el choque

$$E_c = \gamma M H \frac{P}{M+P} (1 - p^2)$$

$$P = 0.40 \text{ (por ser acero sobre hormigón)}$$

$$E_c = 0.70 \times 3\,125 \text{ kg-m} \times \frac{2\,160 \text{ kg}}{1\,250 \text{ kg} + 2\,160 \text{ kg}} (1 - 0.16)$$

$$E_c = 1\,163.93 \text{ kg-m} = 1.16 \text{ ton-m}$$

- Cálculo de la energía perdida por la deformación elástica del pilote.

$$E_e = \mu R_d^2 \frac{L}{E A_t} \quad \text{como } E = 10\,000 \sqrt{250} = 158\,114 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$E_e = 0.5 \times 22\,500 \text{ ton}^2 \times \frac{10.0 \text{ m}}{1\,581\,140 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 0.16 \text{ m}^2}$$

$$E_e = 0.445 \text{ ton-m}$$

- Energía perdida por la deformación elástica del terreno

$$E_n = C_t \cdot R_d$$

Aunque la mayoría de los autores considera a $C_t = 0$ las pérdidas por deformación del terreno deben ser tomadas en cuenta. Basandonos en la tabla que se muestra al final del problema y tomando como mediana la resistencia al hincado, -- tenemos: $C_t = 0.254 \text{ cm}$

Sustituyendo $E_n = 0.0025 \text{ m} \times 150 \text{ ton}$

$$E_n = 0.381 \text{ ton-m}$$

La suma total de las pérdidas es:

Pérdida en el choque $E_c = 1.16 \text{ ton-m}$

Pérdida en el pilote $E_p = 0.44$

Pérdida en el terreno $E_n = \frac{0.38}{1.98 \text{ ton-m}}$

- La energía neta proporcionada por el martinete es:

$$\begin{aligned} \eta MH &= 0.70 \times 3125 \text{ kg-m} = 2187.5 \text{ kg-m} \\ &= 2.187 \text{ ton-m} \end{aligned}$$

- La energía disponible es:

$$(2.18 \text{ ton-m}) - (1.98 \text{ ton-m}) = 0.20 \text{ ton-m}$$

- Finalmente calculamos la posible penetración que vamos a obtener por cada golpe del martinete.

Según la ecuación $E_d \times e = MH - \text{perdidas}$

Es decir que $E_d \times e = \text{Energía disponible}$

$$e = \frac{0.20 \text{ ton} \cdot \text{m}}{150 \text{ ton}}$$

$$e = 0.0013 \text{ m.}$$

Esfuerzos sobre el pilote kg/cm²	35.15	70.30	105.75	140.60
Resistencia al Hincado	Baja	Mediana	Alta	Muy alta
Valores de G_t (cm)	0.00 a 0.254	0.254 a 0.508	0.254 a 0.762	0.127 a 0.508

VALORES DE G_t

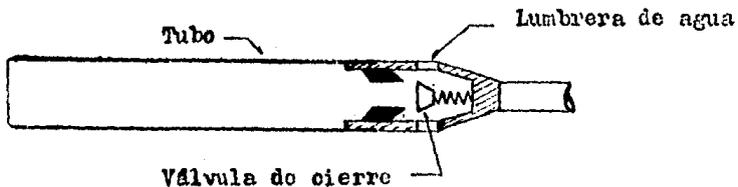
3.2 EQUIPO UTILIZADO EN LA EXPLORACION DEL SUELO Y LA DETERMINACION DE SUS PROPIEDADES MECANICAS

El conocer al máximo las condiciones que presenta el terreno de apoyo, es de suma importancia; ya que de ello depende el valor - que se obtiene de la capacidad de carga del suelo. Para conocer la configuración del subsuelo, así como sus características mecánicas de fricción, cohesión, peso volumétrico, y demás se debe de contar con el mejor equipo posible.

Si es importante conocer las condiciones del terreno, lo es también en el conocer el equipo que se va a utilizar. Por ello a continuación se mencionan los mecanismos más comunes y más recomendados - para obtener toda la información que se requiere.

a) Tomamuestras.

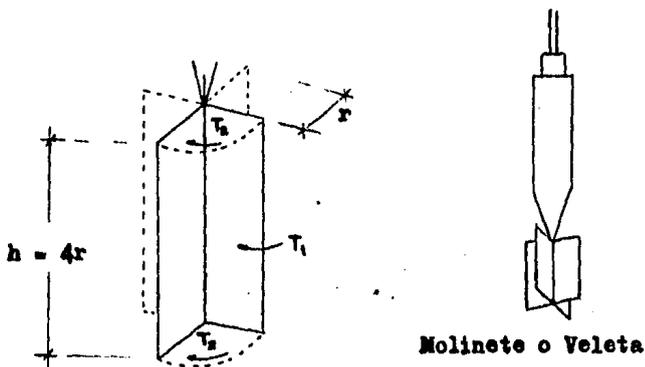
Equipo muy utilizado para ejecutar reconocimientos geotécnicos. La toma de muestras inalteradas se puede efectuar ya sea con toma muestras hincados en suelos blandos, o por rotación en suelos de mayor firmeza. De los más comunes son los siguientes:



TUBO SHELBY

b) Molinete o Veleta.

Se utiliza en casos en que se requiere conocer la cohesión del suelo. El sistema procede de la siguiente forma; previamente son hincadas dos placas rectangulares simétricas, tal y como se muestra en la figura, después se aplica una fuerza para que el cilindro que sostiene las placas gire. Al tratar de girar este cilindro se ejerce un momento de torsión T , al cual se opondrá un momento resistente formado por un par resistente T_1 y T_2



Molinete o Veleta

El momento T registrado en el aparato es:

$$T = T_1 + 2 T_2$$

Como $T_1 = 8\pi r^3 c_u$ y $T_2 = \frac{2\pi}{3} r^3 c_u$

Sumando $T_1 + 2 T_2$ tenemos:

$$T = \frac{28}{3} \pi r^3 c_u$$

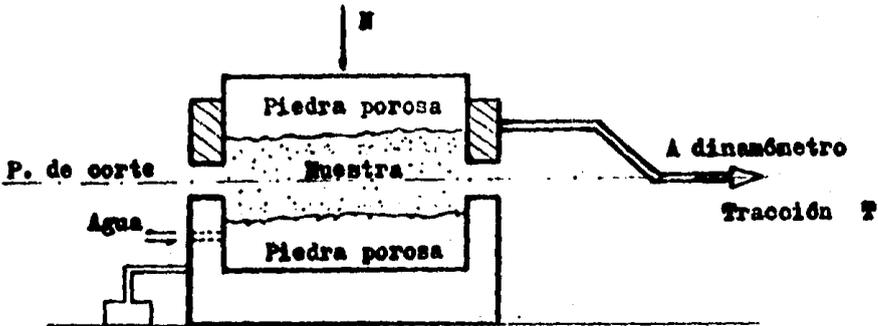
Finalmente despejando.

$$c_u = \frac{3}{28} \frac{T}{\pi r^3}$$

c) Caja de Casagrande y Aparato triaxial

Son dos dispositivos que permiten conocer la resistencia al corte del suelo. El primero, la caja de Casagrande único mecanismo que permite hacer el corte de la muestra, en forma directa.

Su funcionamiento y forma es la siguiente:



La caja superior que se mueve a velocidad constante, aplica al mismo tiempo una fuerza de compresión "N", y una fuerza horizontal que trata de cortar la muestra.

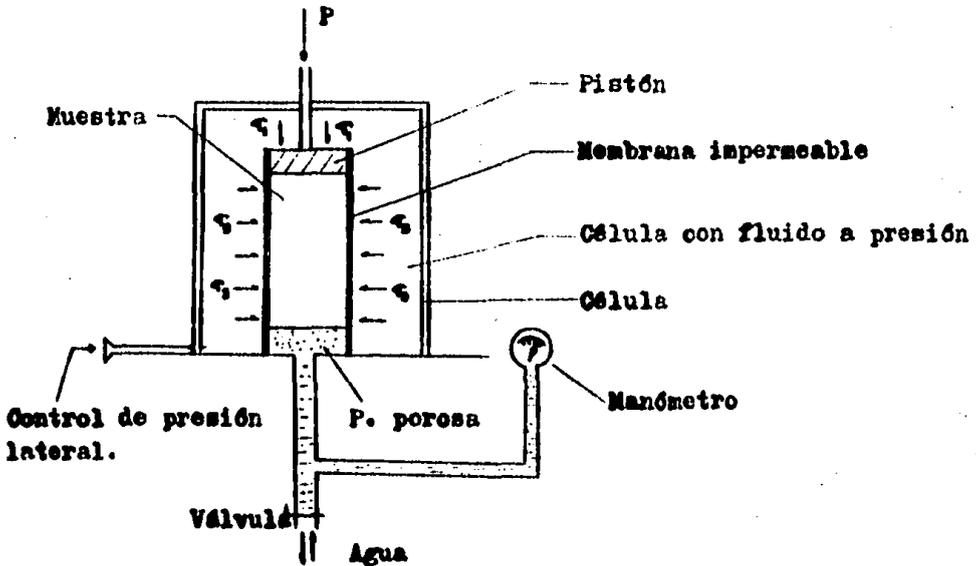
Para este mecanismo, la resistencia al corte queda definida por la siguiente expresión:

$$R.C = \frac{T}{A}$$

Siendo A la superficie horizontal de la muestra, según el plano de corte.

Algunos de los inconvenientes que presenta; la superficie de la muestra varía durante los ensayos, por los desplazamientos de las semicajas. La pérdida en ocasiones, de la humedad de las muestras.

El segundo, el aparato de compresión triaxial, lo representa la siguiente figura.



Su funcionamiento es el siguiente:

a) Primero se aplica una presión hidrostática σ_3 a la muestra, - esta presión puede ser ejercida con agua o aire. La presión se mantendrá hasta producir la falla en la muestra, de tal forma que:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \text{la presión que produce la falla (P)}$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 + P$$

Se efectúan varios ensayos, con diferentes muestras y variando el valor de σ_3

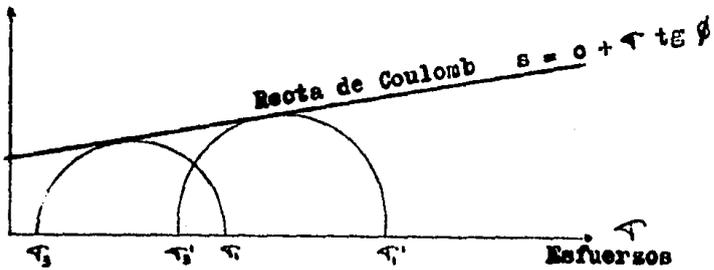
b) Si es necesario se consolida la muestra; abriendo la válvula - para que penetre el agua.

c) Se puede medir la presión del agua de la muestra en cualquier instante por medio de un manómetro, y teniendo la válvula de -

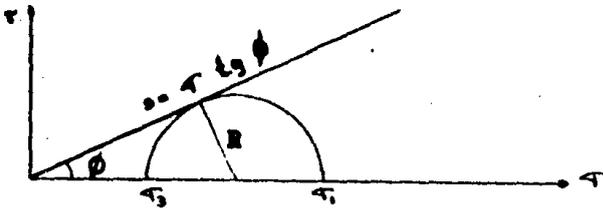
agua cerrada.

Una vez efectuados los ensayos, se gráficán los datos de la siguiente manera

Resistencia
al corte
(τ)

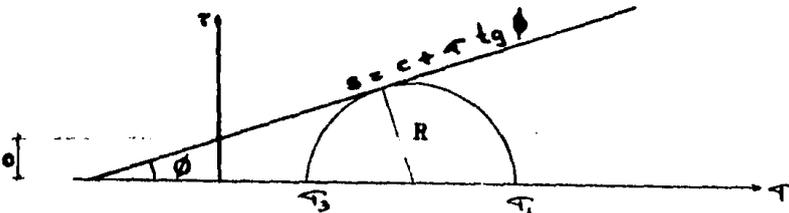


1.- Cuando se obtiene una gráfica de la siguiente forma, se dice que la muestra analizada es granular.

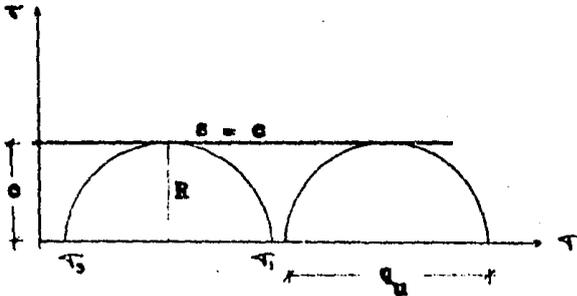


ϕ = Ángulo de rozamiento o fricción interna.

2.- Cuando se obtiene una gráfica de la siguiente manera, se dice que la muestra en estudio es de un material combinado, es decir, con características de cohesión y con características de fricción.



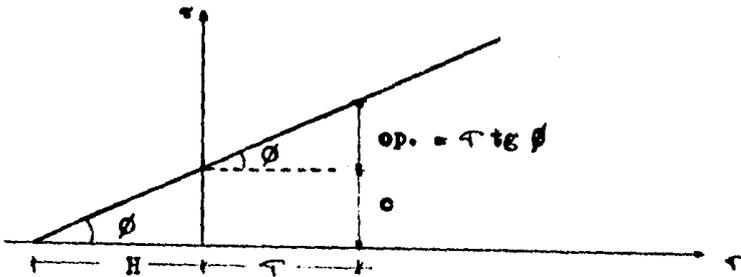
3.- Si por el contrario se tiene un material puramente cohesivo, -
la forma de la gráfica obtenida sera como la que se muestra:



c = cohesión

$c = \frac{q_u}{2}$ donde q_u es la resistencia a comp. simple

Suponiendo que la muestra es de un material combinado, podemos -
expresar la resistencia al corte de la siguiente forma:



$$\text{De } \operatorname{tg} \phi = \frac{\text{op.}}{\tau} \quad ; \quad \text{op.} = \tau \operatorname{tg} \phi$$

$$\text{Por lo tanto} \quad \tau = c + \tau \operatorname{tg} \phi$$

"H" es la resistencia del material, a tensión $H = c \operatorname{cot} \phi$

d) **Sondeo eléctrico.**

Este método se basa en la resistividad que presenta el subsuelo, a ser atravesado por una corriente de energía eléctrica. Esta resistividad es débil en terrenos arcillosos (1 a 100 Ohms-m), media en arenas y gravas (100 a 1000 Ohms-m) y superior a los-1000 Ohms-m en las rocas.

Su funcionamiento es el siguiente: se hincan en el suelo dos electrodos que están conectados a una fuente de energía, mientras -- tanto otros dos electrodos hincados a cierta distancia servirán -- de receptores. La medición se hace con un potenciómetro que está instalado en los electrodos receptores.

e) **Sondeo sísmico.**

Este tipo de sondeo es muy parecido al anterior; nos permite establecer principalmente cual es el grado de compacidad del suelo, y si este presenta fallas.

Su funcionamiento se basa en el hecho de que una onda móvil provocada por el golpe de un martillo, se propaga a diferente velocidad en el subsuelo, según las características del terreno atravesado. La onda provocada por el emisor es captada al transcurrir -- cierto tiempo por un aparato conocido como geófono. Al momento de percibir la llegada de la onda móvil, un aparato mide el tiempo -- transcurrido entre el golpe del martillo y su recepción.

De la experiencia se han obtenido los siguientes valores:

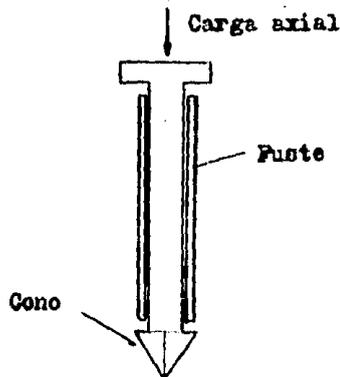
- 1.- De 0 a 500 m/seg. para tierra vegetal y arcillas
- 2.- De 500 a 1 500 m/seg. para arenas finas, gravas, y niveles -- acuíferos.
- 3.- De 1500 a 7000 m/seg. para rocas compactas.

f) Penetrómetros.

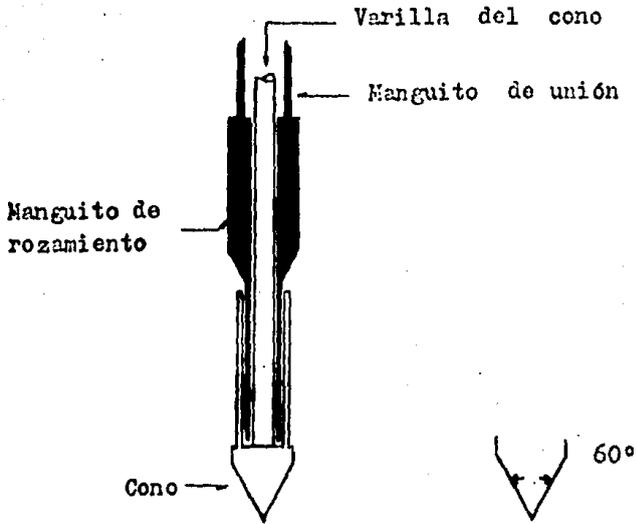
Es un aparato que nos permite obtener en el sitio de hincado, la capacidad portante que el suelo puede proporcionar al pilote. Es de forma esbelta, y debido a su semejanza con el pilote proporciona datos de resistencia por punta y de resistencia total del terreno, que son muy parecidos a los reales.

La resistencia debida al rozamiento se calcula como la diferencia entre la resistencia total, menos la resistencia por punta.

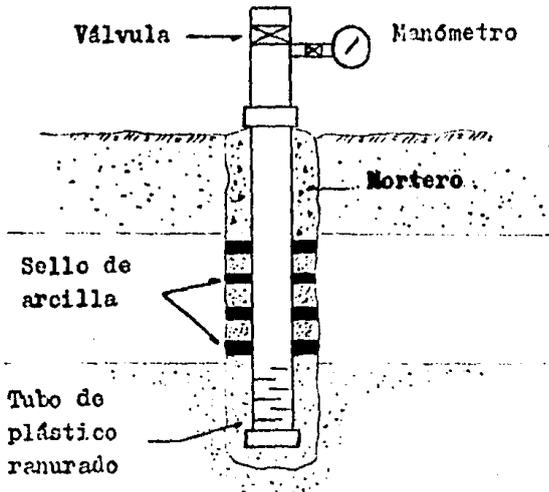
Existen de dos tipos; los dinámicos, los cuales son golpeados para su hincada con una maza de caída libre, y los estáticos en los cuales se sustituye la maza de hincada por un gato hidráulico. Para obtener buenos resultados, a cada tipo de penetrómetro se le ha especializado para diferentes tipos de terreno, es decir, mientras que los estáticos se dedican para pruebas en capas poco resistentes, los dinámicos se utilizan para suelos compactos.



Aunque su aparición es relativamente reciente, cabe mencionar que se han creado ya unos penetrómetros que sirven para todo tipo de terreno, y se les denomina "estático - dinámicos".



PENETROMETRO HOLANDES



PIEZOMETRO SELLADO

3.3 ASPECTOS A CONSIDERAR DURANTE EL HINCADO

REACCION DEL TERRENO Y DEL PILOTE

Es siempre importante el notar cuales son las reacciones que se tienen tanto en el pilote como en el terreno durante la hincada; para corroborar resultados, y para cuidar que los imprevistos -- que se presenten sean bien resueltos.

Los cambios que sufre el terreno pueden en un momento dado dañar las construcciones contiguas; estos cambios generalmente son el aumento en la presión lateral del suelo, y el levantamiento del terreno, esta última consecuencia puede provocar a su vez que -- los pilotes ya hincados sufran desplazamientos. Mientras el pilote va penetrando, a su alrededor el suelo se ve sometido a -- esfuerzos, estos esfuerzos son diferentes en cada una de las -- zonas vecinas al pilote.

También es necesario verificar el comportamiento de los pilotes, es decir, observar el comportamiento de compresión, de penetra -- ción, y del daño que pudiera sufrir éste. La compresión se puede obtener sobre el mismo pilote que esta siendo hincado, de la -- siguiente forma:

a) Se coloca un papel, y con un lápiz perpendicular al pilote es trazada automáticamente la reacción del pilote a cada golpe del martillo.

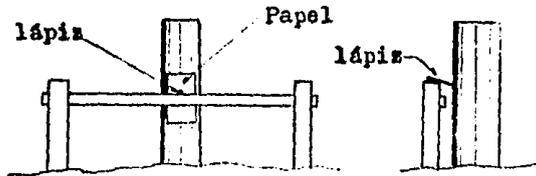


Fig.A Procedimiento

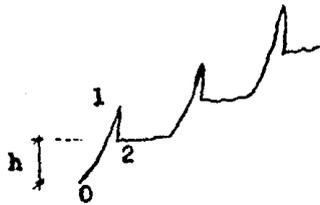


Fig. B Esquema obtenido

De la figura B, de 0 a 1 representa la penetración total de impacto.

de 1 a 2 representa la recuperación de la compresión elástica del pilote.

y "h" representa la penetración real del pilote.

En caso de que un pilote sufra daños, se debe extraer para ser sustituido por otro.

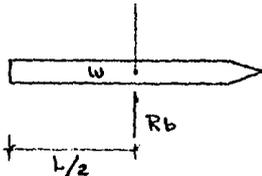
ASPECTOS ESTRUCTURALES

En el manejo de los pilotes se requiere siempre tener mucho cuidado y especialmente si se trata de pilotes de concreto, ya que además de ser bastante pesados pueden deteriorarse fácilmente.

En este caso nos referiremos al especial cuidado que se debe de tener cuando los pilotes son levantados, ya sea para su transporte o para su hincado, y es que es en este momento en el que la estructura se encuentra sometida a los máximos esfuerzos de compresión y tensión; es por ello que generalmente el diseño estructural del pilote se basa en estos valores.

Para tener una idea de como es que los pilotes se encuentran sujetos a diferentes esfuerzos, dependiendo de la forma en que se maneje, a continuación presentamos tres ejemplos prácticos.

a) Pilote con agarre al centro.



siendo $w = \text{peso} / \text{m.l.}$

$$\text{con } \sum M_a = w l \times \frac{l}{2} - R_b \times \frac{l}{2}$$

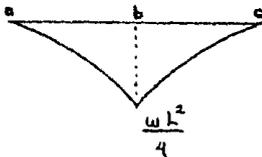
$$R_b = w l$$

como a y c no son apoyos:

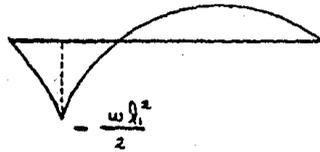
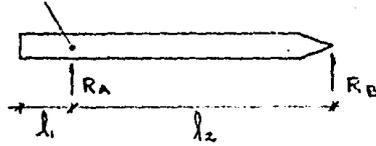
$$R_a = 0 \quad R_c = 0$$

$$M_b = - \frac{w l}{2} \times \frac{l}{2} = - \frac{w l^2}{4}$$

$$M_c = - w l \times \frac{l}{2} + w l \times \frac{l}{2} = 0$$



b) Pilote con agarre excentrico.



$$\text{con } \Sigma M_A = -R_B l_2 + \frac{w l_2^2}{2} - \frac{w l_1^2}{2} \quad ; \quad R_B = \frac{w l_2^2}{2 l_2} - \frac{w l_1^2}{2 l_2}$$

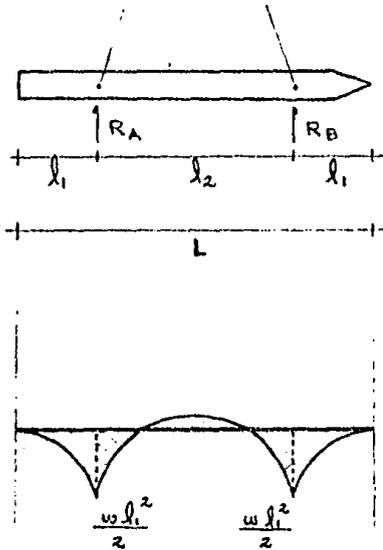
$$\text{con } \Sigma M_B = -w l_1 \left(\frac{l_1}{2} + l_2 \right) + R_A l_2 - \frac{w l_2^2}{2} \quad ;$$

$$R_A = \frac{w l_2^2}{2 l_2} + \frac{w l_1}{l_2} \left(\frac{l_1}{2} + l_2 \right)$$

calculando de izquierda a derecha, tenemos:

$$M_A = -\frac{w l_1^2}{2}$$

c) Agarre de dos puntos.



Con
$$\Sigma M_A = w l \times \frac{l_2}{2} - R_B l_2$$

Despejando:
$$R_B = \frac{wL}{2} \quad \text{y} \quad R_A = \frac{wL}{2} = \frac{w(2l_1 + l_2)}{2}$$

Calculando por la izquierda:

$$M_A = -w l_1 \times \frac{l_1}{2} = -\frac{w l_1^2}{2}$$

Calculando por la derecha:

$$M_B = -w l_1 \times \frac{l_1}{2} = -\frac{w l_1^2}{2}$$

Es importante hacer notar, que los momentos deben ser iguales, es decir, en valor absoluto; para que la estructura sea simétrica.

La ecuación que determina el máximo momento de resistencia, para concreto armado es:

$$M_R = F_R b d^2 f_c' q (1 - 0.5q)$$

Donde

$$F_R = 0.9 \text{ (factor de reducción)}$$

b = Ancho de la sección

d = Peralte de la sección

$$f_c' = 0.8 \times 0.85 f_c$$

f_c = Resistencia a la compresión del concreto

q = Coeficiente de resistencia

$$q = p \frac{f_y}{f_c'}$$

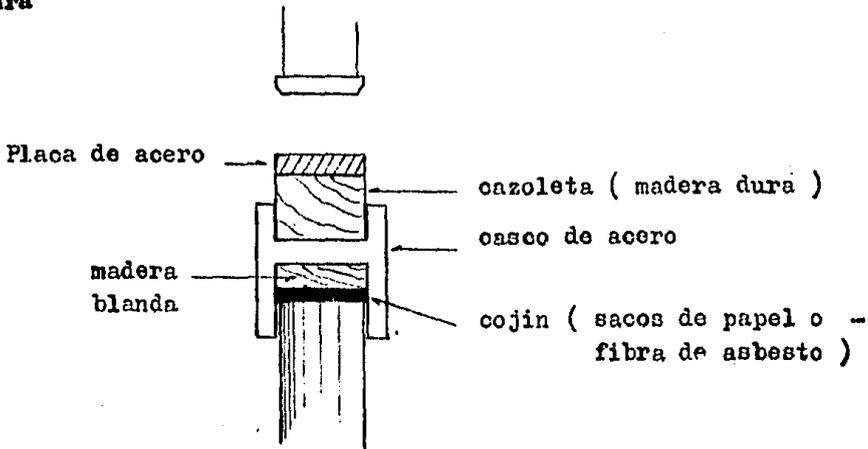
f_y = Límite de fluencia del acero.

A manera de recordatorio señalaremos que el Reglamento de Construcciones del Departamento del Distrito Federal, permite que los pilotes se proyecten como columnas cortas para su trabajo a compresión. Además los pilotes deberán ser capaces de resistir una fuerza de tensión producida por el esfuerzo cortante del terreno atravesado.

Para considerar a los pilotes como columnas cortas, estos deberán encontrarse totalmente confinados en el subsuelo.

Como mencionamos ya en el capítulo 1, es muy importante adaptar de todos los mecanismos necesarios a los pilotes, para su protección. La parte superior de la cabeza del pilote, debe ser protegida; para que no se produzcan en ella agrietamientos durante el hincado.

Los siguientes cascos de hincia se colocan tal y como muestra la figura



El casco de acero además de distribuir los esfuerzos sobre el pilote, sirve para sostener la cazoleta en su parte superior, y el cojín en su parte inferior.

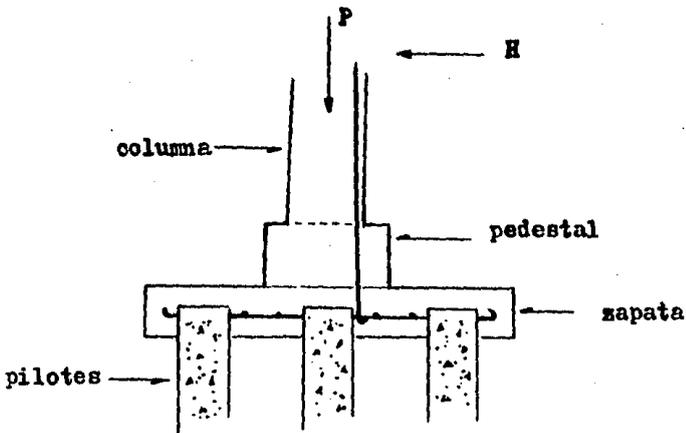
En la parte superior se coloca una cazoleta de material plástico para que soporte hincados dificultosos y transfiera la energía del martinete en forma homogénea sobre el pilote; los materiales más utilizados son las maderas duras y en algunos casos los plásticos. Los materiales que están bajo el casco sirven de almohadilla para amortiguar los golpes entre el casco y el pilote.

Para la elección de los materiales y espesores de los mismos, se requiere de gran experiencia, ya que una falla en un detalle que

al parecer es simple, puede provocar que dañemos el pilote por la mala transmisión de carga o por la falta de elasticidad de los materiales elegidos.

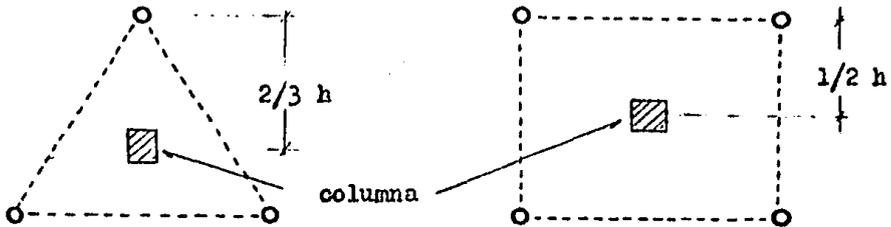
COLOCACION FINAL DE LOS PILOTES.

Para distribuir la carga que soporta una columna o un muro sobre un grupo de pilotes, es necesario construir una zapata; esta — además de servir como placa para transferir la carga en forma — homogénea, servirá también para sujetar a todo el grupo de pilotes.



Cada grupo de pilotes debe estar formado al menos por tres elementos, tratando de que el centroide de estos coincida siempre con el sitio donde está aplicada la carga con la columna. El interés que tiene todo esto es para lograr que todos los pilotes trabajen al mismo esfuerzo, y se tenga una mayor estabilidad.

Ejemplos:

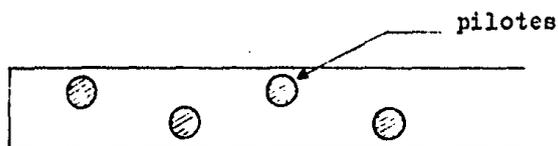


En ambos casos la columna está situada en el centroide del grupo de pilotes.

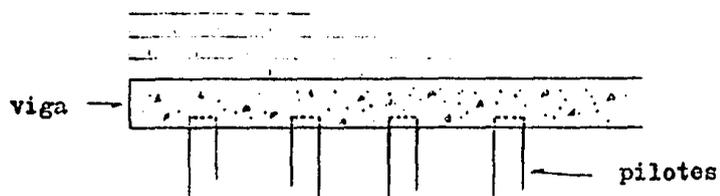
Debido a que la zapata va a estar sometida a fuerzas verticales, y a fuerzas horizontales, su diseño estructural es también importante. Su diseño debe de tomar en cuenta tanto los momentos de flexión, debidos al espaciamiento entre los pilotes, como los esfuerzos cortantes provocados por la penetración de los mismos. También la estructura debe ser lo suficientemente rígida para que la carga sea transmitida por partes iguales sobre cada uno de los pilotes.

En el caso de que los pilotes sean de acero, se requerira una gran longitud de desarrollo para tener el anclaje adecuado entre el pilote y la zapata; será necesario adaptar al pilote de dispositivos que le permitan tener una adherencia adecuada, estos dispositivos pueden ser barras de acero soldadas, o placas que le den mayor área de apoyo.

En planta:



En corte:



En los casos en que la carga vaya a ser transmitida por un muro se recurre a la construcción de una viga que transferira la carga en forma lineal y uniforme; los pilotes quedarán formados a lo largo del muro, o contrapuestos si se quiere absorber la excentricidad de la carga.

ANÁLISIS COMPARATIVO

El objetivo de este capítulo es, hacer notar la importancia que tiene el realizar un análisis comparativo de todas las alternativas lógicas posibles que se tienen para satisfacer una necesidad socio-económica, y así poder llegar a elegir la más apropiada.

En todo anteproyecto es necesario elaborar un estudio; evaluar la eficiencia, la economía, y el tiempo de ejecución de cada una de las alternativas. En base a estos tres factores se determina cual de las soluciones presentadas es la que ofrece condiciones más favorables, y cual servirá como proyecto. El determinar cual de las soluciones será el proyecto definitivo, no solo dependerá del personal técnico, sino también del propietario, ya que en muchas ocasiones la condición o situación en que se encuentra la persona obligan a que el proyecto elegido no siempre sea el más eficiente. Sin embargo y aún cuando no se opte siempre por la mejor solución, se debe de tratar de encontrar la mejor combinación razonable entre la técnica y la economía, es decir, lograr una máxima eficiencia a un menor costo.

Una vez determinado el proyecto, se planea la obra y se inicia posteriormente la etapa de construcción y control.

4.1 FACTOR COSTO

Al igual que todo costo de construcción, el precio de fabricación e hincado del pilote está determinado por un costo de directos, un costo de indirectos y una utilidad.

COSTO DIRECTO

Como sabemos, el costo directo es la suma del costo de los materiales, más el costo de la mano de obra, más el costo del equipo.

a) Para saber cual es el costo de los materiales, se debe hacer una visita a la zona donde se va a construir, y realizar un -- estudio de mercado de los materiales.

b) El costo de la mano de obra lo determina el rendimiento y el salario, este último debe comprender los incrementos por prestaciones (vacaciones, aguinaldo), los incrementos por salario - (dias pagados/dias trabajados), y también se deben de considerar los pagos de impuestos como el seguro social.

c) Para saber cual sera el valor de renta o costo horario de la maquinaria, tendremos que realizar un análisis de costo que tome en cuenta todos los factores que puedan afectar su funcionamiento.

COSTO INDIRECTO

El costo indirecto es la amortización de todos los gastos que -- tiene que realizar la empresa, tanto en sus oficinas centrales, como en las oficinas del lugar de la construcción, además de los financiamientos e impuestos principalmente.

Este costo varia entre un 25% y un 35% del costo directo, y de -- depende en esencia del tamaño de la empresa y de la capacidad de -- trabajo que tenga.

UTILIDAD

Toda ejecución de trabajo tiene una retribución o utilidad, y el valor de esta es determinado por la empresa de acuerdo a su situación y necesidad. La mayoría de las veces se maneja como un porcentaje de la suma del costo directo, más el costo indirecto.

4.2 FACTOR TIEMPO

Uno de los factores de mayor importancia, que determinan el tiempo de construcción, y en consecuencia el costo de la misma, lo es el rendimiento. Sí, tanto el rendimiento de la maquinaria como el rendimiento del hombre son dos aspectos que deben de observarse y cuidarse durante el desarrollo del proyecto.

El rendimiento del equipo que generalmente se utiliza no es fijo o constante, sino por el contrario su rendimiento es muy variable y esta variación depende de varios aspectos, como son: las condiciones locales de la obra, las condiciones del equipo, las condiciones climatológicas, y las condiciones de habilidad del operador.

a) Condiciones locales de la obra.

Tanto el lugar de localización como las instalaciones en el subsuelo, pueden determinar el cuidado que se debe de tener para operar la maquinaria. No es lo mismo trabajar en una zona urbanizada a trabajar en un lugar con gran espacio.

Aunque un martinete produce entre 40 y 60 golpes/min. , no provocará la misma penetración en un suelo blando que en un suelo rocoso.

b) Condiciones del equipo.

El buen cuidado y mantenimiento que se le da al equipo repercute en su eficiencia, y por lo tanto en su rendimiento. Las descomposturas afectan con mucho el calendario de obra.

c) Condiciones climatológicas.

El clima de la zona también es determinante en el rendimiento de la maquinaria, por ejemplo; el rendimiento que tiene en tierra una piloteadora es muy diferente al que se tiene en el mar hincando pilotes sobre una chalana que es atacada por la marea.

d) La habilidad del operador.

El rendimiento del operador es otro factor que interviene en el costo de construcción, la habilidad que esta persona tiene para maniobrar el equipo puede aumentar o disminuir el costo horario de la maquinaria, lo que a largo plazo repercute en el presupuesto y en el tiempo de ejecución del proyecto.

Cabe hacer notar que en opinión de varios ingenieros consultados, la experiencia es obligada para poder analizar estos dos factores a que se refiere el capítulo.

A continuación se muestran algunos análisis de costos.

- Obtener el costo de fabricación por m.L. de pilote de concreto armado, su sección es de 30cm x 30cm con $A_s = 6\phi$ No. 6 y estribos del No. 4 20cm, $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$
 $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$. Se utilizarán placas de acero para unir tramo con tramo de $3/4''$. La longitud total del pilote es de 35m y será unido en tres secciones.

CUANTIFICACION DE LOS MATERIALES POR M.L.

a) Concreto.

$$0.30\text{m} \times 0.30\text{m} \times 1.0\text{m} = 0.09 \text{ m}^3/\text{m.L.}$$

b) Acero de refuerzo.

$$6 \phi \text{ No. 6} \quad 6.0\text{m} \times 2.33 \text{ kg/m} = 13.98 \text{ kg/m.L.}$$

$$E \text{ No. 4} \quad 6.3\text{m} \times 0.99 \text{ kg/m} = \frac{6.24}{20.22} \text{ kg/m.L.}$$

c) Alambre recocido.

$$30 \text{ amarres/m.L.} \times 0.50\text{m/amarra} \times 0.082 \text{ kg/m} = 1.23 \text{ kg/m.L.}$$

d) Placas de acero.

$$\text{Se requieren en total } 75 \text{ kg ;} \quad 75 \text{ kg}/35\text{m} = 2.14 \text{ kg/m.L.}$$

e) Soldadura.

$$\text{Se requiere en total } 1 \text{ kg ;} \quad 1 \text{ kg}/35\text{m} = 0.028$$

f) Oxígeno.

$$\text{Se requiere en total } 0.01 \text{ m}^3 ; \quad 0.01\text{m}^3/35\text{m} = 0.00028$$

g) Acetileno.

$$\text{Se requiere en total } 0.01 \text{ m}^3 ; \quad 0.01\text{m}^3/35\text{m} = 0.00028$$

h) Cimbra.

Se requieren 3 tablas de 0.40m de ancho.

$$3 \times 0.40\text{m} \times 1.0 \text{ m} = 1.2 \text{ m}^2$$

i) Anclas y asas.

Se requieren 18 piezas con un peso total de 58 kg.

$$58 \text{ kg} / 35 \text{ m} = 1.66 \text{ kg/m.L.}$$

Para cubrir desperdicios, todos los valores obtenidos tienen que ser incrementados en un 10% para luego ser vaciados en la sig. forma.

COMPANIA:

CONCURSO:

OBRA:

FECHA:

CONCEPTO: Costo de fabricacion por m.L. de pilote.

M A T E R I A L E S	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO	COSTO
Concreto	0.099	m ³	\$ 7 600.00 m ³	\$ 752.40 m.L
Acero de refuerzo	22.242	kg	60.00 kg	1 334.40
Alambre recoido	1.353	kg	95.00 kg	128.53
Placa de acero 3/4"	2.354	kg	90.00 kg	211.86
Soldadura	0.030	kg	295.00 kg	8.85
Oxigeno	0.0003	m ³	219.00 m ³	0.06
Acetileno	0.0003	kg	700.00 kg	0.21
Cimbra	1.320	m ²	120.00 m ²	158.40
Anclas y abas	1.820	kg	57.50 kg	104.65

RENDIMIENTO:

SUMA DE COSTO DE MATS.

\$ 2 699.36 m.L

MANO DE OBRA	CANT.	RENDIMIENTO	SALARIO	COSTO
Peon	4	0.025 Jor./m.L	\$ 1 120.64 Jor.	\$ 112.06 m.L
Ayudante	3	0.025	2 023.13	151.73
Operador de la.	3	0.025	2 614.80	196.11
Soldador	1	0.005	3 113.07	15.56
Cabo	1	0.0025	3 440.71	8.60

RENDIMIENTO: 40 m.L/Jor.

SUMA DE COSTO DE M. DE O.

\$ 484.06 m.L

MAQUINARIA	CANT.	RENDIMIENTO	RENTA	COSTO
Soldadora	1	0.10 hr./m.L	\$ 490.00 hr.	\$ 49.00 m.L
Vibrador p/concreto	1	0.125	300.00	37.50
Herramienta	M.O.	2%	484.06	9.68

SUMA DE COSTO DE MAQ.

\$ 96.18 m.L

CALCULO:

SUMA DE COSTO DIRECTO :

\$ 3 279.60 m.L.

COSTO INDIRECTO 30% :

983.88

UTILIDAD 10% :

426.34

REVISO:

PRECIO UNITARIO :

\$ 4 591.44

COMPANIA:

CONCURSO:

OBRA:

FECHA:

CONCEPTO: Costo por m.L. de hincado del pilote anterior

MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO	COSTO
Soldadura	0.075	kg	\$ 298.00 kg	\$ 22.35 m.L.

SUMA DEL COSTO DE MATS. \$ 22.35 m.L.

MANO DE OBRA	CANT.	RENDIMIENTO	SALARIO	COSTO
Operador de grúa	1	0.0125 Jor./m.L.	\$ 3 424.26 Jor.	\$ 42.80 m.L.
Operador de mart.	1	0.0125	2 563.11	32.03
Soldador	1	0.0125	3 113.07	38.91
Maniobrista	4	0.0125	2 023.13	101.15

RENDIMIENTO: 80.0 m/Jor. SUMA DEL COSTO DE M. DE O. \$ 214.89 m.L.

MAQUINARIA	CANT.	RENDIMIENTO	RENTA	COSTO
Draga a/orugas	1	0.10 hr./m.L.	\$ 5 500 hr.	\$ 550.00 m.L.
Martinete	1	0.10	3 000	300.00
Soldadora	1	0.10	490	49.00

SUMA DEL COSTO DE LA MAQ. \$ 899.00 m.L.

CALCULO:	SUMA DEL COSTO DIRECTO:	\$ 1 136.24 m.L.
	COSTO INDIRECTO 30% :	340.87
	SUB-TOTAL :	1 477.11
REVISO:	UTILIDAD 10% :	147.71
	PRECIO UNITARIO :	\$ 1 624.82

COSTO HORARIO DE UN MARTINETE DIESEL D - 12

DATOS GENERALES

- a) Precio de adquisición \$ 75 000.00
- b) Impuesto y transporte \$ 37 500.00
- c) Valor inicial (Va) = \$ 112 500.00 = \$ 6 750 000.00
- d) Valor de rescate (Vr) = 20% = \$ 1 350 000.00
- e) Tasa de interés (i) = 30%
- f) Prima de seguros (s) = 5%
- g) Vida economica (Ve) = 10 años
- h) Horas por año (Ha) = 200 horas
- i) Potencia (F) = 180 H.P.
- j) Factor de operación = 0.80
- k) Potencia de operación = (180 H.P.) x 0.80 = 144 H.P.
- l) Coef. de almacenaje (E) = 0.10
- m) Coef. de mantenimiento (Q) = 0.90

I.- CARGOS FIJOS:

a) Depreciación:

$$D = \frac{Va - Vr}{Ve} = \frac{\$ 6 750 000 - \$ 1 350 000}{10 \times 2 000 \text{ hrs.}} = \$ 270.00/\text{Hr.}$$

b) Inversión:

$$I = \frac{Va + Vr}{2Ha} i = \frac{\$ 6 750 000 + \$ 1 350 000}{2 \times 2 000 \text{ hrs.}} 0.3 = \$ 607.50/\text{Hr.}$$

c) Seguros:

$$S = \frac{Va + Vr}{2Ha} s = \frac{\$ 6 750 000 + \$ 1 350 000}{2 \times 2 000 \text{ hrs.}} 0.05 = \$ 101.25/\text{Hr.}$$

d) Almacenaje:

$$A = E D = 0.10 \times \$ 270.00/\text{Hr.} = \$ 27.00/\text{Hr.}$$

e) Mantenimiento:

$$M = Q D = 0.90 \times \$ 270.00/\text{Hr.} = \underline{\$ 243.00/\text{Hr.}}$$

$$\text{SUMA DE CARGOS FIJOS POR HORA} = \underline{\$ 1\,248.75/\text{Hr}}$$

II.- GASTOS POR CONSUMO

a) Combustible:

$$C = e p c$$

e = Factor; para gasolina = 0.24 y para diesel = 0.20

p = Potencia de operación.

c = Costo del combustible.

$$C = (0.20) (144 \text{ H.P. }) (\$ 19.00 /\text{Lt. }) = \$ 547.20/\text{Hr}$$

b) Electricidad:

c) Lubricante:

$$L = a p l$$

$$a = \frac{c}{t} + (0.0035 P)$$

pl = precio por litro

c = capacidad = 3 litros

t = cambio de aceite = c/4 horas

P = potencia de operación

$$a = \frac{3}{4} + (0.0035 \times 144 \text{ H.P. }) = 1.254$$

$$L = 1.254 \times \$ 300.00/\text{Lt.} = \underline{\$ 376.20/\text{Hr}}$$

d) Llantas:

LL = Costo de llantas

Vida economica de llantas

$$\text{SUMA DE GASTOS POR CONSUMOS} = \underline{\$ 923.40/\text{Hr}}$$

ANALISIS DEL COSTO HORARIO INACTIVO

I.- CARGOS FIJOS

a)	Depreciación: D = (\$ 270.00/hr) (0.15) =	\$ 40.50/hr
b)	Inversión: I = (\$ 607.50/hr) (1.00) =	607.50
c)	Seguros: S = (\$ 101.25/hr) (1.00) =	101.25
d)	Almacenaje: A = (\$ 27.00/hr) (1.00) =	27.00
e)	Mantenimiento: M = (\$ 243.00/hr) (0.00) =	0.00
SUMA DE CARGOS FIJOS		\$ 776.25/hr

II.- CONSUMOS

a)	Combustible: C = (\$ 547.20/hr) (0.03) =	\$ 16.42/hr
b)	Electricidad: E = (\$ 0.00/hr) (0.03) =	0.00/hr
c)	Lubricante: L = (\$ 376.20/hr) (0.03) =	11.28/hr
d)	Llantas: LL = (\$ 0.00/hr) (0.03) =	0.00/hr
SUMA DE CONSUMOS		\$ 27.70/hr

III.- OPERACION

a)	Operación: O = (\$ 583.33/hr) (1.00) =	\$ 583.33/hr
SUMA DEL COSTO DE OPERACION		\$ 583.33/hr

TOTAL DEL COSTO HORARIO INACTIVO	\$ 1 387.28/hr
---	-----------------------

Este último análisis sirve para saber cuanto le costara al dueño del martinete tener su equipo inactivo.

El dueño al momento de rentar su martinete lo tiene que ofrecer al costo de horario activo, ya que en este costo cubre toda su inversión. Obsérvese como en este último análisis de costo horario inactivo la depreciación baja.

Cuando el martinete sea regresado a su propietario, este tendrá que ahorrar el costo de operación inactivo para cubrir su inversión.

El porcentaje que pertenece a la cimentación del total del costo de la construcción, es muy difícil establecerlo con un valor fijo. Este porcentaje es muy variable ya que además de depender de las condiciones mencionadas anteriormente en este capítulo, también depende del tipo de estructura que se va a construir y de la calidad que requiere la misma. Nunca se tendrá el mismo costo si la construcción se destina a estacionamiento, que si se le adapta para prestar los servicios de un hospital.

F R I C C I O N N E G A T I V A

Como ya mencionamos en capítulos anteriores, la fricción negativa producto de la consolidación del suelo es un problema que en la actualidad se está haciendo presente en las cimentaciones de la ciudad de México, y en especial en la zona del lago.

El propósito de esta introducción a la fricción negativa es mostrar alguna de las formas como se puede cuantificar este fenómeno, y formas de reducir los efectos del mismo.

El R.C.D.D.F. establece que para el diseño de las cimentaciones, se deben de tomar en cuenta todos los efectos de carga, y entre ellos el de fricción negativa, además da todas las libertades para cuantificar dicha carga.

El origen de la fricción negativa puede ser atribuido a diferentes causas:

- a) Debido a sobrecargas superficiales.
- b) Debido al peso de rellenos.
- c) Debido a la reducción de niveles piezométricos; ocasionado por el bombeo.
- d) Debido al abatimiento del nivel freático ocasionado por las fugas.

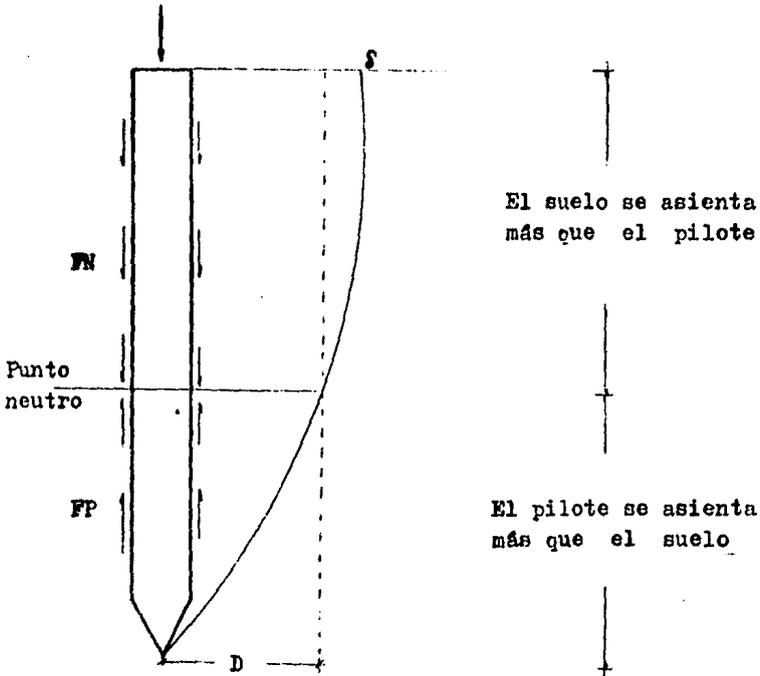
DISEÑO DE LAS CIMENTACIONES

Para realizar un diseño de cimentación en forma adecuada es necesario conocer la causa que dio origen a la fricción negativa.

A continuación se presentan los criterios con los que se puede cuantificar este efecto

CRITERIO DE TERZAGHI Y PECK

Su criterio se basa en dos conceptos fundamentales: el primero - se refiere a la existencia de un punto neutro, el cual limita la terminación de la fricción negativa y el inicio de la fricción-positiva; el segundo se refiere a que la carga producida por la fricción negativa de un terreno no puede ser mayor que el peso del suelo correspondiente a su área tributaria.



D = Penetración del pilote en el estrato resistente.

s = Asentamiento de la superficie.

PILOTES POR PUNTA

a) Fricción negativa provocada por un relleno

La carga total que soporta el pilote es:

$$Q_t = q + q' + q''$$

donde q = Carga transmitida por la estructura
 q' = Peso del relleno, por pilote.
 q'' = Carga debida a la fricción negativa, por pilote.

$$q' = \frac{A \gamma Hr}{n}$$

donde A = área del grupo de pilotes
 γ = densidad del relleno
 Hr = espesor del relleno
 n = número de pilotes

$$q'' = \sum \frac{L He \tau}{n}$$

donde L = perímetro del grupo de pilotes.
 He = espesor del estrato compresible
 τ = resistencia media al corte del estrato-compresible

Para este caso la carga por fricción negativa es:

$$FN = q' + q''$$

b) Fricción provocada por abatimiento del nivel freático.

La carga total que soporta el pilote es:

$$Q_t = q + q'' + q'''$$

donde q y q'' son igual al caso anterior.

q''' = carga debida al abatimiento del nivel freático, por pilote.

$$q''' = \frac{A \gamma_w H_a}{n}$$

donde A = área del grupo de pilotes

γ_w = peso específico del agua

H_a = abatimiento

n = número de pilotes

Para este caso la carga producida por la fricción negativa es;

$$F_N = q'' + q'''$$

Para obtener la carga permisible por punta en el pilote de los dos casos anteriores, se hace uso de las siguientes ec.

$$Q_p = \frac{Q_u - F_N}{F.S.}$$

$$Q_p = \frac{Q_u}{F.S.} - F_N$$

La elección de la ecuación depende de la experiencia del proyectista, y de las condiciones del subsuelo.

Q_p = carga permisible por pilote

Q_u = capacidad de carga última por punta, por pilote.

PILOTES POR FRICCIÓN

Tanto la fricción negativa como la fricción positiva se determinan por tanteos, hasta lograr satisfacer la siguiente ecuación:

$$Q_u + FP = Q_a + FN$$

donde Q_u = capacidad de carga última del pilote, por punta.

FP = carga producida por la fricción positiva.

Q_a = carga debida al peso de la estructura

FN = carga debida a la fricción neg.

Cabe hacer notar que la igualdad depende de la posición del eje neutro.

Para el diseño de este caso sólo se requiere determinar el número y dimensionamiento de los pilotes, ya que de acuerdo a esto - tanto la localización del punto neutro se está cambiando de posición, como la capacidad de carga por pilote se modifica.

La localización exacta de los esfuerzos verticales se vuelve - para este caso un aspecto de gran importancia por el tipo de fricción que se puede desarrollar en el fuste del pilote.

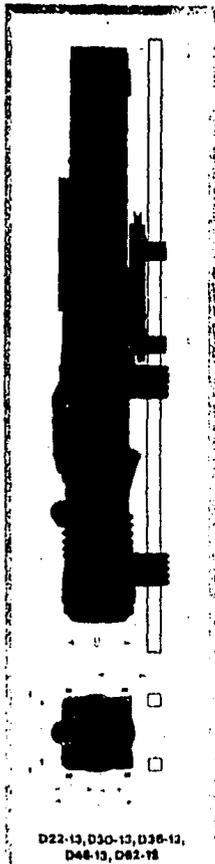
Dos formas para disminuir el efecto de la fricción negativa son: el disminuir en lo más posible la distancia entre los pilotes, y lubricar de la mejor manera la superficie lateral del pilote.

MODELO DESCRIPCION	UNID.	K - 13	K - 25	K - 35	K - 45	K B 45	K B 60
Longitud total	m	4.14	4.65	4.65	4.92	5.46	5.77
Diam. del yunque "A"	m	0.46	0.59	0.70	0.80	0.80	0.92
Distancia entre el centro del mart. y la guía "B"	m	0.37	0.43	0.49	0.58	0.58	0.73
Ancho máximo del martinote "C"	m	0.61	0.76	0.88	0.99	0.99	1.13
Peso total	kg	2900	5200	7500	10 500	11 000	15 000
Peso del ariete	kg	1300	2500	3500	4 500	4 500	6 000
No. de golpes	g/min	40 a 60	39 a 60	39 a 60	39 a 60	35 a 60	35 a 60
Máxima energía producida por cada golpe	kg-m	3700	7500	10 500	13 500	13 500	18 000
Presión sobre el pilote debido a explosión	kg	68000	108000	150 000	151 000	151 000	246 000
Consumo de combustible	L/hr	3 a 8	9 a 12	12 a 16	17 a 21	17 a 21	24 a 30
Consumo de aceite	L/hr	1.0	1.5	2.0	2.5	3.5	4.0
Capacidad del tanque para combustible	Lts.	40	40	48	65	95	130
Capacidad de la cámara para aceite	Lts.	5	7	9.5	13.5	Arie Yun 15 15	Arie Yun 25 25
Capacidad del tanque de agua fría	Lts.	70	80	140	170	220	350
Máximo ángulo de inclinación	G	20°	20°	20°	20°	45°	45°

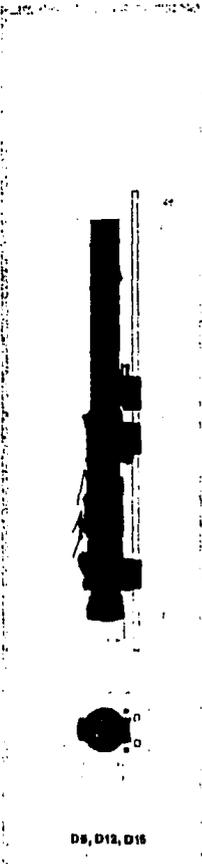
CARACTERISTICAS DE LOS MARTINETES DIESEL - KOBELCO

Estos son los Datos Técnicos más importantes de los martinets DELMAG.

Esta hoja le informa sobre las potencias, las piezas y medidas.
 Todos los datos corresponden al estado en el momento de la impresión. Nos reservamos el derecho de introducir las modificaciones que contribuyen al progreso técnico.



D22-13, D30-13, D38-13, D48-13, D62-18



D8, D12, D16

Martinete Diesel, tipo	D22-13	D30-13	D38-13	D48-13	D62-13	D15	D12	D8
Maza de golpeo (pesado)	kg 6500	4 800	3 800	3 000	2 200	1 500	1 250	800
Energía por golpe	mm 223 220-11 800	146 000-73 000	115 000-57 500	91 000-45 500	67 000-33 500	37 500	31 250	17 500
	(mte) (22 320-16 940)	(14 600-7 300)	(11 500-5 750)	(9 100-4 550)	(6 700-3 350)	(3 750)	(3 125)	(1 750)
Número de golpes por minuto	1/min 25-50	37-62	37-62	38-52	36-52	42-60	42-60	42
Fuerza max. de presión de explosión sobre pilote	MPa 2 600	1 800	1 400	1 250	1 180	425	425	210
	(kg) (250 000)	(180 000)	(130 000)	(125 000)	(118 000)	(42 500)	(42 500)	(21 000)
Adecuado para hincar pilotes, hasta	kg 25 000*	15 000*	10 000*	8 000*	6 000*	4 500*	4 000*	1 500*
Inclinación hincado, adel./atras, hasta	1:2 (16,7°)	1:1 (45°)	1:1 (45°)	1:1 (45°)	1:1 (45°)	1:3 (18,3°)	1:1 (45°)	1:3 (16,3°)
Consumo combustible Diesel	l/h 3,0	2,3	1,5	1,0	7,5	6,8	5,6	3,5
Consumo lubricante	l/h 3,2	2,3	2,3	1,5	1,5	0,75	0,75	0,5
Capacidad depósito (dep. combustible Diesel)	l 80	80	80	70	75	15,5	15,5	11,5
Capacidad depósito (dep. lubricante)	l 18	11	11	11	11	3	3	2
Capacidad depósito (dep. agua)	l -	-	-	11	11	-	-	-
Peso	kg 12 800	9 050	8 080	5 800	5 150	3 000	2 750	1 240
Peso total listo p. funcionar en estaladeras DELMAG (martinete Diesel + mordazas de goma + mecanismo disparador con listones de goma) aprox	kg 12 800	9 050	8 080	5 800	5 150	3 000	2 750	1 240
Martinete Diesel (sin accesorios) aprox.	kg 12 800	9 050	8 080	5 800	5 150	3 000	2 750	1 240
Mordazas de goma para martinets, aprox	kg 170	100	100	70	70	40	40	110
Dispos. disparador con listones de goma, aprox	kg 470	470	470	220	220	130	130	70
Patín y protección de transporte, aprox.	kg 430	430	430	430	430	190	190	120
Caja de herramientas, herramientas + repuestos, kg	kg 140	140	140	100	100	60	60	60
Cabezas de golpeo (de diferentes medidas)	kg A pedido	A pedido	A pedido	A pedido	A pedido	A pedido	A pedido	A pedido
Dimensiones A	mm 591G	5 285	5 285	5 240	5 740	4 245	4 245	3 815
B	mm Ø 710	Ø 690	Ø 690	Ø 500	Ø 500	Ø 460	Ø 460	Ø 320
C	mm 800	830	860	780	780	540	540	390
D	mm 980	840	840	540	540	230	230	230
E	mm 470	455	455	365	365	325	325	240
F	mm 380	275	275	225	225	305	305	245
G	mm 920	802	802	705	705	630	630	445
H	mm 800	580	500	438	435	370	370	280

C O N C L U S I O N

- En un país como el nuestro, en el que las equivocaciones se pagan con creces por el retraso que se tiene para satisfacer las demandas de la población, ya no se pueden permitir más errores; debemos realizar estudios técnicos y económicos que nos den la posibilidad de satisfacer de forma adecuada estas necesidades socio-económicas.

- Para tener mayores perspectivas y tener la posibilidad de presentar mejores planteamientos es necesario prepararnos; no podemos iniciar un objetivo sin antes establecer perfectamente sus fundamentos, y hasta si es posible predeterminar cual puede ser su comportamiento proyectado a futuro. Así en una cimentación debemos de tratar de preveer su comportamiento de acuerdo a los cambios que pudiera sufrir el subsuelo.

- Aunque existen diferentes formulas analizadas y métodos propuestos para calcular la capacidad de carga de un suelo, se pueden considerar como confiables todas ellas, ya que se basan fundamentalmente en el hecho de que el suelo trabajará elásticamente. Sin embargo todas las teorías que se basan en modelos ideales están expuestas a que conforme se van desarrollando puedan irse alejando cada vez más y más de la realidad, se debe de tener mucho cuidado ya que la acumulación de estas

desviaciones pueden llegar a convertirse en acumulación de errores que provoquen en un momento dado la falla del diseño, y por lo tanto del proyecto, por ejemplo, si para iniciar una teoría supongo que $2+6 = 10$ y que $3+4 = 9$, al final tendre que $2+6+3+4 = 9+10$ lo cual es completamente falso, y lo que en un inicio sólo era una diferencia de lo real de dos unidades, al final se incremento hasta cuatro. Por lo tanto, toda teoría por muy perfecta que sea necesita de toda la experiencia del técnico basada en ensayos e información del comportamiento de estructuras similares, en este caso pilotes, para así aplicarla en la forma más adecuada.

- Generalmente el hacer un cálculo anflítico de la capacidad de carga de una cimentación es muy sencillo. Sin embargo el lograr que ésta estructura se comporte como tal es complicado, por lo tanto es muy recomendable que siempre que se pueda se compruebe con todo tipo de ensayos su comportamiento, y en casos en que esto no sea posible recurrir a la comparación de diferentes resultados matemáticos, para elegir en base a la experiencia el valor más adecuado.

- Aunque la elección del tipo de cimentación va a depender del tipo de estructura, de la carga que va a sostener, y de las condiciones del suelo, yo creo que del buen reconocimiento del subsuelo dependera en esencia el buen diseño de la cimentación.

- Aunque los sistemas de control se han desarrollado favorablemente, es importante estar observando su comportamiento para poder ser precavidos en los posibles cambios y consecuencias a que pudiera dar origen su uso; y dentro de las posibilidades económicas y técnicas seguir instrumentando a las cimentaciones, y comparar su comportamiento con la teoría que dio origen a su diseño.

- En todas las ramas del estudio continuamente se inician nuevos fundamentos, y los ya establecidos se desarrollan cada vez más. Sin embargo los cambios se dan progresivamente y lo que hoy se toma como acertado posiblemente algún día parezca totalmente exagerado, ejemplo de ello lo son las gráficas -- propuestas por Fadum, las propuestas por Boussinesq y las -- propuestas por Mendlin para cálculos de esfuerzos, cada una de ellas nuevos conceptos y por lo tanto cambios. Por lo tanto debemos estar preparados para poder aceptar o rechazar los conceptos, ya que nuestro país como cada uno de los países es un caso muy particular que requiere de especiales puntos de vista para poder operar con la máxima eficiencia en las labores de su pueblo.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- J. SCHMITTER " El subsuelo y la Ing. de cimentaciones en el área urbana del Valle de México " Publicación de SMMS.
- 2.- GONZALES BLACKALLER Y GUEVARA RAMIREZ.
" Historia de México " Ed. Herrero.
- 3.- " Reunión conjunta consultores- constructores de cimentaciones profundas "
Publicación de SMMS.
- 4.- " Pilotes Electrometálicos "
Publicación de SOLUM
- 5.- G.W. DUNHAM " Cimentaciones de estructuras "
- 6.- R.L. PEURIFOY " Métodos, planeamientos y equipos de construcción "
- 7.- ZAVEN DAVIDIAN " Pilotes y cimentaciones-sobre pilotes "
- 8.- TOMLINSON. " Cimentaciones "
- 9.- J. COSTET / G. SANGLERAT " Curso práctico de mecánica de suelos "
- 10.- HERMINIER. " Mecánica del suelo y dimensionamiento de firmes "