

3
20/ 5812/5

UNIVERSIDAD ANAHUAC

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Con estudios incorporados a la
Universidad Nacional Autónoma de México



UNIVERSIDAD ANAHUAC

VINCE IN BONO MALUM

PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE PILAS Y PILOTES

T E S I S

Que para obtener el Título de

INGENIERO CIVIL

presenta

MARIA DE LOS ANGELES ESPERANZA

GALINDO FUENTES

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F. 1991



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

CAPITULO I

INTRODUCCION

I.1	INTRODUCCION	1
I.2	HISTORIA DE LA FUNDACION DE LA CIUDAD DE MEXICO	5

CAPITULO II

HISTORIA DE LAS CIMENTACIONES EN LA CIUDAD DE MEXICO

II.1	PERIODO DE LOS AZTECAS	9
II.2	EPOCA COLONIAL	15
II.3	EPOCA DE LA INDEFENDENCIA	19
II.4	PERIODO DE PRINCIPIOS DE SIGLO	21
II.5	PERIODO DE 1911 A NUESTROS DIAS	24

CAPITULO III

TIPOS DE CIMENTACIONES PROFUNDAS

III.1	PILOTES	26
III.2	PILAS	29
III.3	CLASIFICACION DE PILAS Y PILOTES	31
III.3.1	DE ACUERDO A COMO TRANSMITEN LAS CARGAS AL SUBSUELO	31

III.3.2	DE ACUERDO AL MATERIAL CON QUE SE FABRICAN	33
III.3.3	DE ACUERDO A SU PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	35

CAPITULO IV

DETERMINACION DEL TIPO DE CIMENTACION MAS ADECUADO

IV.1	EXPLORACION DEL SUBSUELO	39
IV.2	EXPLORACION GEOTECNICA	40
IV.2.1	INVESTIGACION PRELIMINAR	40
IV.2.2	INTERPRETACION DE FOTOGRAFIAS AEREAS	41
IV.2.3	RECORRIDO DE CAMPO	41
IV.2.4.	INVESTIGACION GEOTECNICA DE DETALLE	41
IV.3	LEVANTAMIENTO GEOLOGICO	42
IV.4	PRUEBAS DE CARGA	43
IV.5	ACCION DE LAS CARGAS SISMICAS SOBRE LAS CIMENTACIONES PROFUNDAS	45

CAPITULO V

PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

V.1	PERFORACIONES PARA PILAS	
V.1.1	LOCALIZACION EN CAMPO Y ALINEAMIENTO VERTICAL DE LAS PERFORACIONES	48
V.1.2	MEDIDA DE LA PROFUNDIDAD DE LA PERFORACION	50
V.1.3	PERFORACIONES RAPIDAS EN SUELOS ESTABLES	50
V.1.4	PERFORACIONES EN SUELOS DUROS Y ROCAS	53
V.1.5	PERFORACIONES EN SUELOS INESTABLES	54
V.1.6	ESTABILIZACION DE LA PERFORACION	55
V.2	ACERO DE REFUERZO	58
V.3	COLOCACION DEL CONCRETO	60
V.3.1	COLADO EN SECO	61
V.3.2	COLADO BAJO AGUA	61
V.3.3	COLADO AISLANDO EL NIVEL FREATICO	62

V.4	METODOS DE CONSTRUCCION PARA PILAS DE CIMENTACION	63
V.4.1	METODO SECO	63
V.4.2	METODO DE ADEME	64
V.4.3	METODO DEL LODO DESPLAZADO	66
V.5	PILOTES PREFABRICADOS E HINCADOS A PERCUSION	67
V.6	PILOTES HINCADOS A PRESION	69

CAPITULO VI

HERRAMIENTA Y EQUIPO

VI.1	GRUAS	71
VI.2	PERFORADORAS	72
VI.3	MARTILLOS	76
VI.4	VIBROHINCADORES	78
VI.5	HERRAMIENTA	82

CAPITULO VII

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	87
----------------------------	----

PROLOGO

El presente trabajo se refiere a los procesos constructivos tanto de pilas como de pilotes, que actualmente son utilizados internacionalmente.

La razón por la cual se ha elegido a la ciudad de México a manera de ilustración de la evolución de dichos procesos constructivos, es debido a que en este sitio desde hace varios siglos se han desarrollado los procesos más interesantes y completos en lo que a este tipo de cimentaciones profundas se refiere, debido a las características especiales del subsuelo (zona lacustre, zona de transición y zona de lomas) y por otra parte al alto grado de sismicidad de toda la zona.

Aún en nuestros días, el gran desarrollo que han tenido la mecánica de suelos, así como los procesos constructivos de cimentaciones profundas, ha hecho que tengan una gran difusión y aplicación en todo el mundo obteniendo excelentes resultados.

Por lo anteriormente citado, y por otra parte debido a la accesibilidad así como a la calidad y confiabilidad de la información que las fuentes históricas nos proporcionan, es que se ha elegido a la ciudad de México como ejemplo de la evolución y el desarrollo que los procesos constructivos de cimentaciones profundas (en especial los referentes a pilas y pilotes) han tenido a través de los siglos.

CAPITULO I



" INTRODUCCION "

INTRODUCCION

Aunque no existe una frontera bien definida entre cimentaciones superficiales y profundas, se consideran cimentaciones profundas aquellas cimentaciones cuyo nivel de desplante se realiza en un estrato localizado en el subsuelo a una profundidad considerable a partir del nivel natural del terreno. La localización de los estratos adecuados para el desplante de la cimentación se determinará en base a los resultados obtenidos del estudio de Mecánica de Suelos, que nos proporcione los elementos técnicos que permitan el diseño y construcción que pueda considerarse como para soportar las estructuras por cimentar.

Una vez determinado el tipo de cimentación profunda, se podrá elegir el elemento más conveniente, siendo los más comunes las pilas y los pilotes. Las pilas son elementos fabricados "in situ" cuyo diseño y construcción varían de acuerdo a la carga a la que serán sometidas y a las condiciones del subsuelo. Los pilotes son elementos prefabricados en diferentes tipos de materiales como: acero, concreto armado, concreto simple, madera, sus características serán determinadas también en función de los factores carga y subsuelo.

Debido a que existen suelos con propiedades muy distintas, no se puede emplear un mismo proceso constructivo para todos los casos, por lo tanto ha sido necesario desarrollar diferentes procesos constructivos, los cuales se han ido perfeccionando a través del tiempo.

Para la construcción de pilas se emplean equipos muy sofisticados como son perforadoras de rotación, de percusión o vibradores de alta frecuencia. Los pilotes se hincan con martillos (de combustión interna, hidráulicos, caída libre, vapor o neumáticos), vibrohincadores y a presión hidráulica.

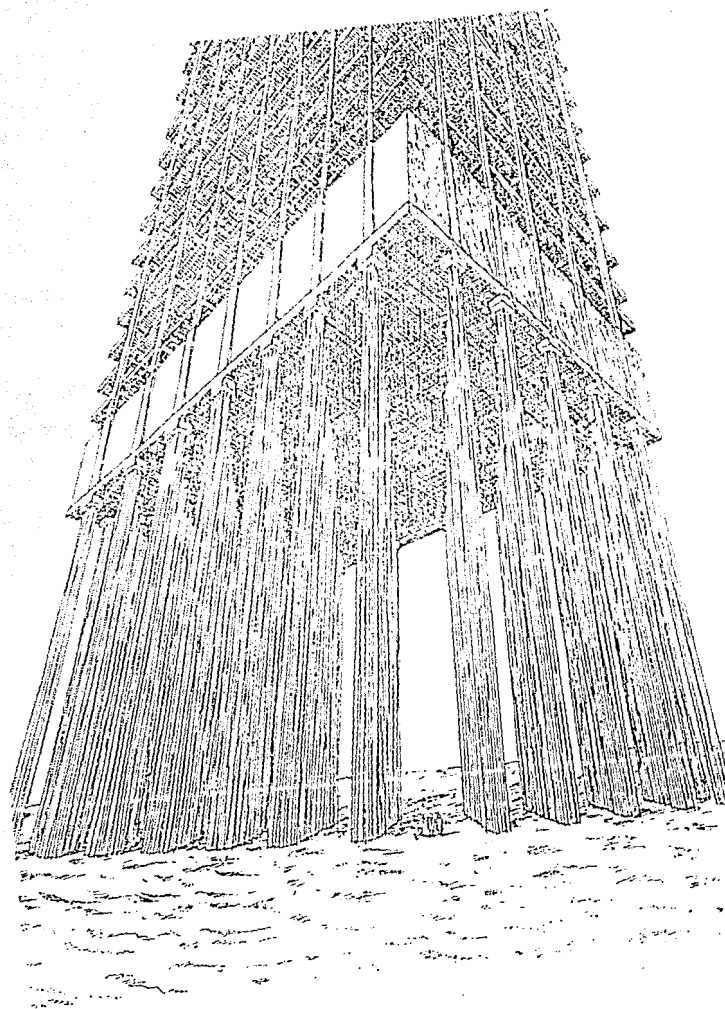
Es importante destacar que el correcto diseño y construcción de una cimentación sometida a cargas sísmicas garantiza el buen comportamiento de la estructura; por lo que es necesario tener un mayor conocimiento de la relación entre el efecto del sismo sobre las cimentaciones y las fallas que éste pudiera ocasionar sobre las mismas.

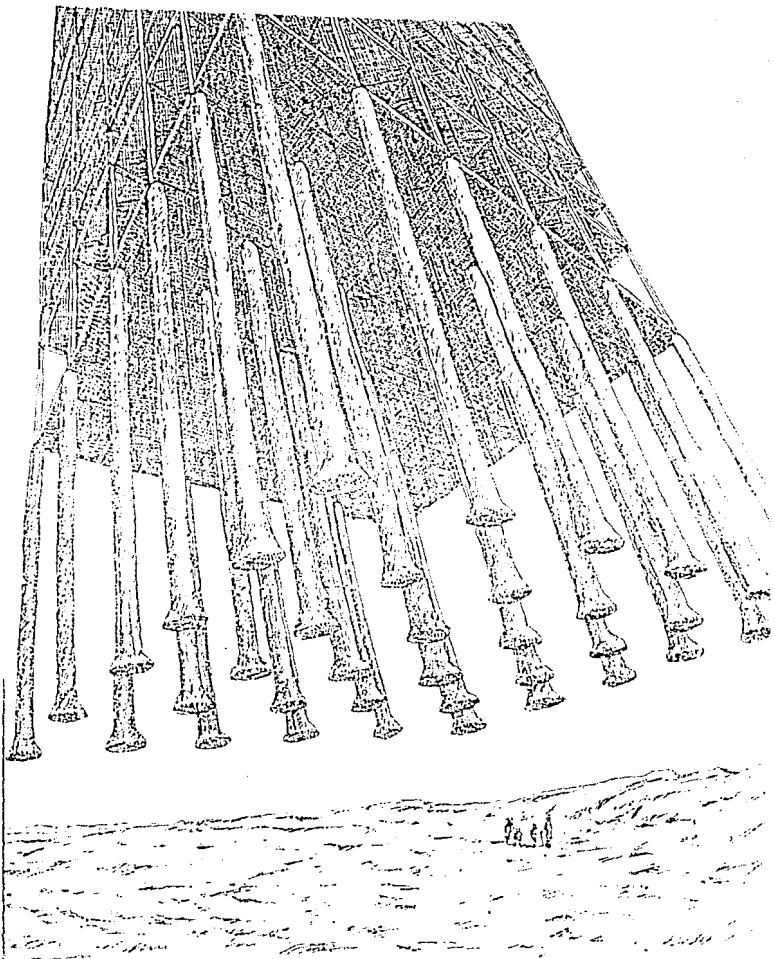
Por todo lo anteriormente expuesto el principal objetivo de esta tesis es lograr una mayor difusión de la Mecánica de Suelos, enfocada hacia las cimentaciones profundas, sus procesos constructivos y la problemática que las mismas implican.

Al realizarse, se busca la actualización de los conocimientos referentes a cimentaciones profundas dentro de

los aspectos teóricos y principalmente la práctica constructiva mediante la aplicación de dichos conocimientos.

Se pretende que la presente sea útil como una instrumentación de consulta que ayude a normar un criterio más amplio tanto en estudiantes como profesionistas, y en general en todas aquellas personas que de una u otra forma se encuentran involucradas en la construcción de cimentaciones profundas.





HISTORIA DE LA FUNDACION DE LA CIUDAD DE MEXICO

Mucho se ha dicho y escrito en el transcurso de más de 400 años acerca de la magnificencia de México Tenochtitlan. Para el mundo europeo esta ciudad cobró realidad en el siglo XVI a través de las descripciones que de ella hicieron los cronistas, algunos testigos presenciales y partícipes directos en la conquista y destrucción de la capital tenochca. Los relatos de Castellanos no fueron, al momento de ser redactados, solamente palabras envanecidas destinadas a ponderar sus propias hazañas. En verdad eran sinceros también la admiración y asombro que sintieron a la vista de Tenochtitlan.

Su extrañeza se explica fácilmente pues ellos habían llegado de las islas donde los pobladores carecían de una cultura urbana; y cuando arribaron a las costas de Veracruz no se imaginaron la existencia de ciudades. Algunas como Tlaxcala y Cholula les impresionaron más adelante por el orden y concierto que guardaban, por las magníficas construcciones que tenían y por el gran número de sus habitantes. Pero el espectáculo de los lagos con sus muchas poblaciones policromas, destacando entre ellas Tenochtitlan, fue algo verdaderamente inusitado para ellos, no obstante que ya tenían noticias más o menos aproximadas de su apariencia.

"... y por otra parte el dicho capitán envió a Diego de Ordaz y a otros, con ciertos principales de Tlaxcala, a ver el camino que los dichos señores la habían dicho que era bueno; y así vendidos los primeros, dijeron al dicho capitán como el camino era muy bravo y fragoso, y que los caballeros no podían pasar. Y luego otro día vino el dicho Ordaz, el cual dijo que venía espantado de lo que había visto. Y preguntado que qué había visto, dijo que había visto otro mundo de grandes poblaciones y torres, y una mar, y dentro de ella una ciudad muy grande, edificada, que a la verdad al parecer ponía temor y espanto"

Esta fue, según uno de los acompañantes de Cortés, la primera visión que ojos occidentales tuvieron de México. Pero una vez vencidos el temor y espanto, dejaron lugar a la franca admiración. Las descripciones de Cortés han venido a ser de un valor pocas veces superado para dar a la posteridad una idea muy aproximada de lo que era Tenochtitlan los momentos de su máximo esplendor.

Este pueblo había alcanzado en relativamente poco tiempo lo que el hombre, antiguo habitante de los lagos, obtuviera después de varios siglos. Como entender esto que parece cosa de milagro.

Contada a grandes rasgos ésta es la historia: en una serie de sucesivas migraciones procedentes de diversos rumbos, el llamado Valle de México se había ido poblando hasta formar un conglomerado de grupos que, pasando de una vida de cazadores y recolectores a otra de agricultores, tenían una cultura similar en muchos aspectos. Esto sucedió en el transcurso de no menos de catorce mil años. Los últimos inmigrantes fueron los aztecas.

Estos no se nombraban a sí mismos con ese apelativo. En realidad habían partido de un lugar lejano cuyo nombre era Aztlán, precisamente para liberarse del yugo al que los tenían sometidos los habitantes de dicho lugar, es decir, los verdaderos aztecas. La salida estuvo determinada, en gran parte, por la incitación de su dios tribal que les hablaba a través de un sacerdote guía.

Llena de peripecias en las que se mezclan el mito y la realidad, los mexicanos realizaron su peregrinación pasando por diversos "paisajes", confortados siempre por su numen. Siguiendo los consejos e indicaciones de éste, que les había profetizado y prometido su posterior encumbramiento, hicieron su camino cazando, recolectando, asentándose y a veces cultivando. Se enemistaron entre ellos mismos, se separaron, y el grupo que perseveró, llegó finalmente a los lagos.

Ya en la región, que estaba ocupada, tuvieron dificultades con los moradores y en ningún sitio eran bien recibidos; no lograron en seguida lo que venían buscando. Cuando la situación parecía ya insostenible el dios indicó a los guías el lugar elegido; hallaron éstos el peñasco, el lugar de la blancura, pues allí todo era blanco: el sauce, el junco, el pez, la culebra....y lloraron.

Regresaron después con todo el pueblo a buscar el águila galana que estaba posada sobre un nopal y, encontrándola, fundaron la ciudad entre carrizos y fango. El templo que erigieron inmediatamente a su dios fue tan humilde que apenas si merecía ese nombre.

Años después se habían elevado vertiginosamente sobre los demás, dominaban el Valle y ejercían su presión tributaria sobre un territorio que iba de océano a océano.

Hoy resulta bastante difícil imaginar con exactitud el aspecto que presentaba la región de los lagos en la época prehispánica, pues tanto la acción del hombre como la de la naturaleza han contribuido a su radical transformación.

Las primeras descripciones hechas por los españoles proporcionan mucha información acerca de ello, aunque a veces no concuerdan en los datos, por ejemplo cuando se refieren a las dimensiones de los contornos. Tampoco son

uniformes, pues mientras a unos cronistas les interesó más dar una visión general, otros se preocuparon por los detalles precisos.

Se habla de una gran superficie plana rodeada de montañas que iban decreciendo en altura hacia el interior. Estas montañas estaban cubiertas por espesos bosques de pinos, encinos y robles, por las vertientes corrían numerosos ríos pequeños. La mayor parte de aquella superficie plana estaba ocupada por dos lagos separados entre sí, aunque no totalmente, por una lengua de tierra en la que destacaban varios cerros. Ambos lagos diferían uno de otro no sólo en tamaño sino en cantidad de las aguas. El que estaba al sur, llamado Chalco, era largo y estrecho y tenía agua dulce gracias a la gran cantidad de manantiales que allí había. En cambio el del norte o de Tetzcoco, era hondo y mayor, sus aguas eran saladas por que la tierra contenía salitre, y no consentía la existencia de peces. Sin embargo en su parte más septentrional había agua dulce aunque esta porción no llegaba a tener el volumen del lago de Chalco.

Los lagos no se encontraban a la misma altura. El de Tetzcoco era más bajo, por esa razón el agua dulce del de Chalco se desbordaba muchas veces sobre él. No obstante esto y el agua que conducían los ríos, ni dejaba de ser salado y amargo, ni subía mayormente de nivel. Este último hecho hizo creer que tendría algunas salidas naturales por donde se escurría el líquido pues en tiempos de secas apenas se podía navegar.

En éste punto referente a las aberturas naturales por las cuales se desagüaba la laguna de Tetzcoco, no hubo acuerdo, ya que algunos pensaron por el contrario se trataba de vías que la surtían de agua procedente de las lluvias o del mar; en ocasiones pensaban que no había sumideros, sino manantiales.

Estos dos lagos de los que nos hablan las fuentes coloniales, quizá fueron en un remotísimo pasado un solo y gran lago. Los recientes estudios geológicos nos indican que tuvo origen cuando se formó la cuenca de México, pues fracturamientos, hundimientos, fallas, rellenos, erupciones volcánicas, etcétera, produjeron una "hoya" o depresión rodeada de sierras por sus cuatro puntos cardinales.



La cuenca lacustre del Valle de México.

CAPITULO II



" HISTORIA Y EVOLUCION DE
LAS CIMENTACIONES EN
MEXICO "

HISTORIA DE LAS CIMENTACIONES EN LA CIUDAD DE MEXICO

Aunque el uso de las cimentaciones profundas se ha hecho común sobre todo durante el presente siglo, su empleo se remonta siglos atrás, incluso desde la época de los aztecas.

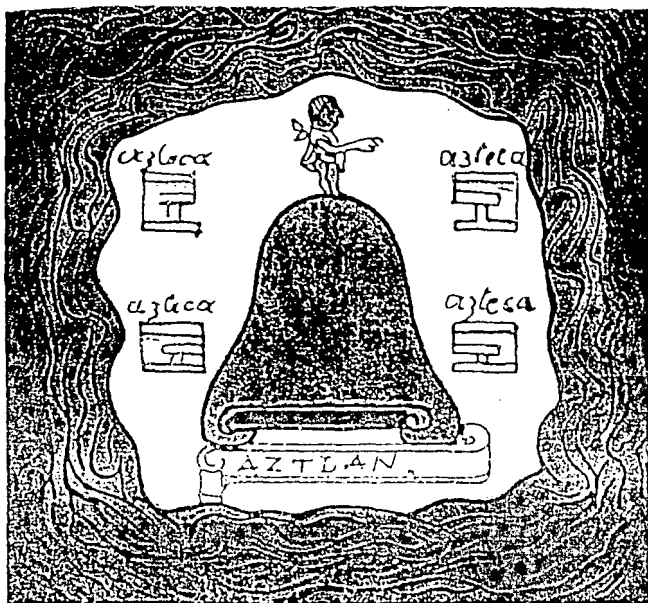
Para estudiar la historia de las cimentaciones en la Ciudad de México se ha dividido el tiempo en cinco periodos bien definidos, cada uno de los cuales será descrito detalladamente a lo largo del presente capítulo, estos periodos son:

- 1.- El de los aztecas, de 1325 a 1521
- 2.- El de la Epoca Colonial, de 1521 a 1821
- 3.- El de la Epoca de Independencia, de 1821 a 1900
- 4.- El de principios de siglo, de 1900 a 1910
- 5.- El actual, de 1911 a nuestros días

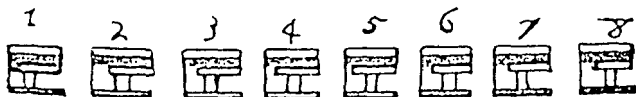
PRIMER PERIODO:

" PERIODO DE LOS AZTECAS "

La tradición relata que las primeras tribus errantes que pisaron el Valle de México venían del norte. Después de largas jornadas por la Mesa Central, la vista de esta tierra debe haberlos decidido a descansar y a radicar en un lugar tan ameno, abundante de caza todo el año con bosques y fuentes cristalinas. Pronto otras tribus se presentaron dispuestas a luchar por el dominio de la tierra y sin descanso se sucedieron hasta que aparecieron los Aztecas, pueblo guerrero por excelencia. Procedían de Aztlan a principios del siglo catorce. Llegaron al valle en pequeños grupos, por distintos lados estableciéndose primero en Zumpango y Cuautitlán. Rechazados por los pueblos que habitaban ya en la comarca, se refugiaron en el peñón de Chapultepec y en los islotes inmediatos de Acolco reducidos a esclavitud, tuvieron que establecerse en la ciénega cerca de Cuahuacán, el punto que más tarde llamaron Mexicalcingo. Ahí crecieron y se multiplicaron tanto y se hicieron tan notables en sus luchas locales, que temerosos sus señores, los emanciparon y los hicieron alejarse a sus antiguos aduarens en medio del lago. Entonces se cumplieron sus profecías. Ese era el punto del fin de sus peregrinaciones, ya que según la tradición segregada, se había visto el águila imperial posarse sobre un nopal en una peña, con una



a huexotzinca Cholca Xochimilca Cuiclavaca
 Malinalca Chichimeca Topaneca Matlatzinsa
 Ompanuallaque quinehuayan



Representación de Aztlán, situado en medio de una laguna, lugar donde los antiguos textos sitúan el origen de los mexicanos.
 Fuente: *El Libro de los Aztecas*

serpiente en el pico: Aquél lugar era el asiento señalado para el pueblo azteca; allí tenía que levantarse su capital. En honor de su gran sacerdote y jefe Tenoch cuyo nombre de hecho implicaba su profecía, pues significaba nopal sobre una piedra, a la nueva capital se llamaba Tenochtitlan; si bien por otro lado, estando consagrada a su dios Mexitli, se le dió el nombre de México, la fundación de Tenochtitlan se hizo en el año de 1325, y se localizó en la parte occidental del lago Texcoco.

Establecidos los Aztecas en los islotes de Acolco y Tlaltelolco, empezaron a luchar para asegurar su subsistencia, procurándose artificialmente la tierra que la suerte les negaba. En la parte más sólida los fundadores instalaron su gran templo y edificios principales, alrededor de los cuales levantaron sus chozas afirmando el terreno y ensanchándolo con césped. Al instalarse no emplearon en sus construcciones otros materiales que carrizo y tules, únicos que podían disponer fácilmente. Construido así el primer templo, con lodo y carrizos, lo mismo que sus cabañas, trabajaron sin descanso para extenderse y mejorar sus condiciones, habiendo logrado llegar a la categoría de Ciudad; la dividieron en barrios y fue adquiriendo sucesivamente más ensanche hasta que un siglo después de fundada comenzó su apogeo que no llegó a decaer, antes bien siguió en aumento durante cerca de otro siglo. La cinta (vegetación flotante) fue uno de los principales materiales que en cantidades enormes se empleaban para dominar las aguas, ayudados de tierra y piedras que en caños conducían desde muy lejos, y aprovechaban las corrientes naturales, deteniéndolas con bordes para estancar los azoives. De esta manera y con el constante trabajo de cerca de dos siglos, llegaron a extender la ciudad a 5.5 Km cuadrados. Aquel templo, construido al principio con carrizos y lodo, quedó sustituido por otro suntuoso y muy extenso; era el principal, construido en medio en un enorme espacio de piso pulimentado y cerrado por una gran muralla coronado por cabezas de serpientes, labradas en grandes trozos de basalto. Las cuatro cercas de cerca lo encerraban formaban un rectángulo que alcanzaba una superficie de unas 20 hectáreas, en las que quedaban comprendidos también los palacios imperiales estaban orientadas y de ellas partían cuatro calzadas principales, una para cada uno de los cuatro puntos cardinales. El templo tenía la forma de una pirámide truncada y en su cara austral había una gran escalera de piedra que conducía una meseta ocupada por dos adoratorios.

Las casa habitación eran arregladas a las categorías de sus dueños: las de los nobles que eran espaciosas de construcción muy sólida, algunas de dos pisos con lujosos departamentos y jardines. Patios, adoratorios, salones y el indispensable departamento para el baño. Los techos eran planos, de viguería de cedro, oyamel o pino y cubiertos de una torta de mezcla y de piedra menuda.

Las casas de las gentes que no pertenecían a la nobleza, eran de tezontle y cal, de adobe o de carrizos de un solo piso con sus techos inclinados de tejamanil, de pencas de maguey o de zacate.

Tenochtitlan se comunicaba por tierra con muchos de los pueblos de los alrededores, por medio de calzadas o diques construídos al efecto para subdividir las aguas, a la vez que para aprovechar los azolves y extender la tierra firme. También establecieron sus comunicaciones por agua, por medio de amplios canales aborados con cinta, que a la vez les servían para dividir la Ciudad en barrios comprendidos entre canales y calzadas. Un acueducto conducía a la ciudad el agua de Chapultepec y de Acucuecco de Coyoacán. La Ciudad era de bastante importancia y albergaba a más de 100000 habitantes.

Desgraciadamente con la conquista todo acabó y la Ciudad fue destruída por completo, es por esto que se tiene tan pocos datos acerca del sistema de cimientos empleado los grandes edificios en las casa habitación de los Aztecas aunque hallazgos recientes, parecen demostrar que la cimentación se hacía con pilotes de madera, como en el caso del Templo Mayor de la ciudad de México.

mexicala de ciudad n ceddes para



La fundación de Tenochtitlan según el Codex Aubin, p. 48. Valiéndose de elementos pictográficos, combinados con textos en lengua náhuatl, el Ilacuilco o pintor, alude a la pobreza de la ciudad de México durante los primeros años después de su fundación.



Tenochtitlan en un plano muy esquematizado en donde aparecen las calzadas y el alharradon, según Alberto Beltrán.

SEGUNDO PERIODO:

" EPOCA COLONIAL "

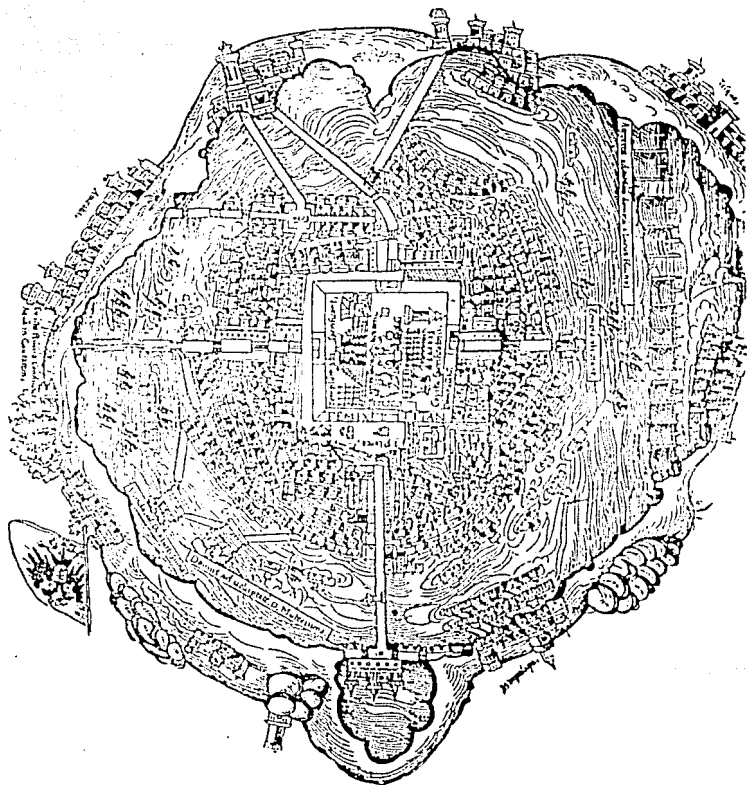
Arrasada rápidamente la ciudad azteca, se decidió levantar la nueva en el mismo sitio y justo lugar sobre los escombros de la primitiva; la catedral, en el sitio que ocupó el gran templo azteca y los palacios y edificios principales, en los solares que habían ocupado los palacios de los emperadores. Se procedió luego a marcar la traza de la Ciudad Española; se le dió la figura de un triángulo que medía aproximadamente 1450 m de oriente a poniente y 1225 de norte a sur, dentro de la cual los indígenas no podían edificar.

Se trabajó con actividad para levantar los edificios según la traza y el plan adoptados, empleando diversos materiales de construcción, tales como cales, canteras y basalto de los alrededores, tezontle del peñón viejo y magníficas maderas de cedro sacadas de los bosques del valle de México.

En el primer siglo de la dominación española se construyeron la mayor parte de los templos, conventos y edificios públicos, habiendo sido los primeros los de la Inquisición. En 1620 se terminó el acueducto de la Verónica. En el S XVIII se concluyó la construcción de algunos edificios públicos y se hicieron muy pocos más, se estrenó la catedral sin concluir, y se continuó la edificación de casas particulares.

A principios del S XVIII se construyó el acueducto de Belém, de 1711 a 1716; poco después se levantó el edificio de la aduana frente a la Plazuela de Santo Domingo y en 1784 se mejoró notablemente la casa de moneda. En 1753 se estrenó el teatro principal. En 1797 se comenzó la construcción del Colegio de Minería y se concluyó en 1813, cuya obra y las que se hicieron para la completa terminación de la Catedral fueron las últimas de importancia, ejecutadas en la metrópoli bajo la dominación española.

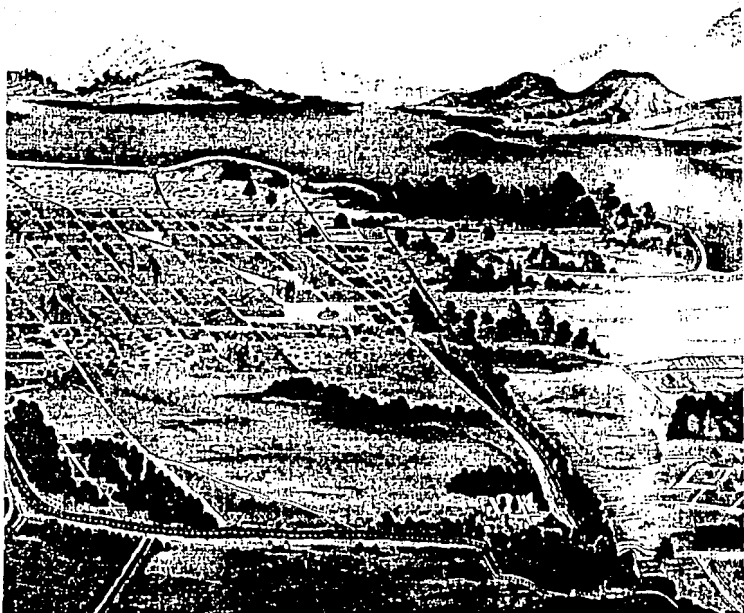
En ese periodo de trescientos años la ciudad sufrió fuertes inundaciones. En 1553, las aguas le invadieron por primera vez, y para cortar el mal se levantó un gran dique curvo, que se apoyaba por el norte en la Calzada de Guadalupe y por el sur de San Antonio Abad. En 1580 tuvo lugar la segunda inundación y a consecuencia de ella y de la primera, la idea del desagüe directo del Valle fue indicada por primera vez y como la verdadera y única solución al problema.



México-Tenochtitlan. Siglo XVI. Se atribuye a Hernán Cortés. Apareció publicado en 1524 en una edición de una de las Cartas de Relación de Hernán Cortés. Al centro, el recinto sagrado de donde parten las calzadas de Tepeyacac, al norte; de Coyohuacan o Itzapalapan, al sur, y la de Tacuba junto con el acueducto de Chapultepec, al oeste. La ciudad aparece surcada por ininidad de acequias. Al este se ve el albaradón de Netzahualcóyotl.

Posteriormente se emprendió la construcción del desagüe, pero en 1629 habiendo un periodo de lluvias muy abundantes el túnel, parte del desagüe, se obstruyó, no pudo cumplir su objetivo, y el agua refluyó con ímpetu sobre la ciudad ocasionando la mayor inundación que recuerda la historia pues duró casi cinco años. Se pretendió remediar un tanto los males, atendiendo a liberar del agua los templos y los edificios principales, cerrando con muros sólidos sus puertas y empleando aparatos desagüadores para extraer el agua del interior. Entonces sobrevino un fenómeno que, aunque natural, era inesperado: al abrirse paso las aguas por debajo de los cimientos de los edificios, con una corriente constante, sostenida por el efecto de los aparatos desagüadores, el terreno deleznable del piso debajo de los cimientos, era arrastrado, aumentando así los vacíos en la tierra y con ello los conductos de las filtraciones. Luego que esto se observó, se suspendieron las operaciones de desagüe de los edificios; pero ya varios habían sufrido desperfectos manifestaban hundimientos, siendo muy notables en los antiguos colegios de San Ildefonso y en los de San Fernando, San Agustín y otros.

Para construir los cimientos de los edificios los españoles utilizaron tres sistemas: el de pilotes (de madera) los cuales eran colocados a golpe de martinete, hasta que su hundimiento en cada golpe fuese menor; el segundo sistema utilizado fue el de emparrillados el cual se comprendía de un sistema de piezas llamadas largueros, cruzadas en ángulo recto y embalsamadas unas con otras de diversas maneras. Los rectángulos que los maderos formaban se rellenaban con tierra apisonada colocando sobre todo el sistema una plataforma hecha con tablones clavados o atornillados contra los largueros; el tercer y el último método de cimentación utilizado por los españoles fue, el de simple mampostería, eran de piedra y de buena mezcla de cal grasa, y de la misma construcción, aunque no tan esmerada como la de las paredes. El primer método se aplicó a los edificios pesados como a la catedral, las iglesias, Minería y algunos otros, siempre colocando emparrillados de madera sobre los pilotes. El segundo, o sea el emparrillado, sin descansar sobre pilotes, lo emplearon en los conventos y en algunos edificios públicos. Encontraron poco costosos estos dos sistemas de cimientos, pues tenían a su disposición en las cercanías de la Ciudad bosques de madera de cedro, oyamel y ocote, en árboles muy apropiados para el objeto. El otro sistema, el de simple mampostería lo aplicaron a cimientos de casas particulares, desplantándolos a mas o menos profundidad del suelo natural según la idea de cada constructor.



Forma y levantado de la ciudad de México. Grabado coloreado de Juan Gómez de Tramonte, año de 1628, Firenze. Litografía A. Ruffoni, Vhizza, S. Crotte 20, (Col. Museo de la ciudad de México.)

TERCER PERIODO:

" EPOCA DE LA INDEPENDENCIA "

Consumada la independencia el 27 de septiembre de 1821, en los primeros 20 años después de este suceso la gente estuvo demasiado ocupada en la política del país y no pensó en mejoras materiales, por lo que la capital nada adelantó en este periodo. Como primera obra importante se construyó el Gran Teatro Nacional, que se estrenó en 1844 se siguieron la Cúpula de Santa Teresa, el Ciprés de la Catedral, el Mercado del Volador; la apertura de nuevas calles -Independencia, Gante, Lerdo, Ocampo, Leandro Valle, Del Ayuntamiento y otras- y se ensacharon algunos callejones, lo que trajo consigo la construcción de nuevas fincas de dos y tres pisos. Se amplió y mejoró el edificio de la Academia Nacional de Bellas Artes. Se fundaron muchas colonias en las que se construyeron una multitud de casas habitación casi todas de un piso al principio, muchas de las cuales se transformaron posteriormente en otras de dos pisos y de mejor construcción. Se establecieron fábricas en edificios para tal fin, para hilados y tejidos, loza, azulejos, mosaicos para pisos, elaboración de tabacos, ácidos, cerillos, cerveza, licores, taponés de corcho, dulces, galletas y otras; molinos de trigo, de aceites, de nixtamal para tortillas, etc.

En 1881 se comenzó a emplear el fierro en los techos; los primeros contruidos fueron con rieles de ferrocarril de Veracruz o Morelos, y bóvedas de ladrillo; y enseguida empezaron a importarse viguetas de fierro de Bélgica y de Inglaterra, la lámina de fierro galvanizado, acanalada, recta y curva.

En los últimos veinte años de este tercer periodo se levantaron una multitud de construcciones de todo género; se terminó la gran estación del Ferrocarril Mexicano; se contruyeron la central, la de "Nordeste", la del Interoceánico, la del Nacional Mexicano, y para los tranvías eléctricos se comenzó la obra. Se contruyeron iglesias y edificios públicos, así como grandes almacenes para el comercio, tales como: El Puerto de Veracruz, El Palacio de Hierro, El Puerto de Liverpool, etc.

Los tres sistemas de cimentación empleados por los españoles se siguieron en este tercer periodo; el de pilotes y emparrillado de madera se aplicó en la Plaza de la Constitución para soportar la columna proyectada como monumento a la Independencia. Los emparrillados de madera se emplearon poco; en el Hotel Humboldt en 1885. Los cimientos de arena se usaron solo en el Teatro Nacional; este

procedimiento consistía en formar una especie de cajones con estacas y tablestacas, del ancho que debían tener los cimientos, uniendo las dos paredes de los cajones de manera de impedir que se abrieran por el peso de la construcción, y sacando en seguida la tierra encerrada en el cajón, reemplazandola con arena perfectamente extendida y apisonada en toda la longitud que debía ocupar el cimiento, sobre ésta capa de arena se asentaban por hiladas horizontales las piedras que formaban el enrase teniendo especial cuidado de ir elevando toda la construcción al mismo tiempo para evitar la desigualdad en el asiento. Los cimientos de mampostería fueron los adoptados más generalmente, unos de mortero con cal grasa, y comúnmente con mezcla terciada compuesta generalmente por cal, arena y barro en las siguientes proporciones: 125 kg de cal, 1 metro cúbico de arena y un metro cúbico de barro. Los emparrillados de fierro, con rieles del Ferrocarril Mexicano, de 35 kg por metro lineal se emplearon en el Palacio de Hierro; con viguetas de fierro en el Centro Mercantil. En general los cimientos que se emplearon en este tercer periodo, puede decirse que no trajeron gran novedad respecto de los que se emplearon en el segundo periodo, con excepción del que a continuación se describe:

Como un sistema nuevo, completamente desconocido en México, fue el que introdujo el Dr. Javier Cavallari. En 1857 vino a México procedente de Italia con el fin de impartir clases de Ingeniería Civil y Arquitectura en la Academia Nacional de Bellas Artes de San Carlos. Al año siguiente de haber llegado, ya había hecho un concienzudo estudio del subsuelo de la Ciudad de México, implantó su sistema de cimentación, muy sencillo, preciso y económico: consistía en cavar las capas para el cimiento hasta la profundidad a la que aparecía el agua del subsuelo, y sin bombear procedía a rellenar las capas por capas de 0.10m a 0.15m de espesor, alternando una de mezcla hidráulica con cal grasa apagada y otra de pedacería de ladrillo, sucesivamente hasta llegar al enras que lo hacía en losas. Preparaba su mezcla hidráulica con cal grasa apagada espontáneamente, arena común y tezontle y a éste mortero agregaba una parte igual de la tierra fangosa que había sacado de la excavación. La pedacería de ladrillo la hacía triturar del tamaño de la grava de río. Era circunstancia especial comprimir las capas fuertemente a pisón para obtener una masa compacta; y con éstas operaciones, bien ejecutadas, a los tres meses el todo había formado un bloque de una dureza extraordinaria. Pronto se acreditó de bueno este nuevo sistema y muchos constructores la aceptaron tal como fue introducido, o con algunas variantes debidas a las circunstancias locales o a las ideas y conveniencias particulares del constructor.

CUARTO PERIODO:

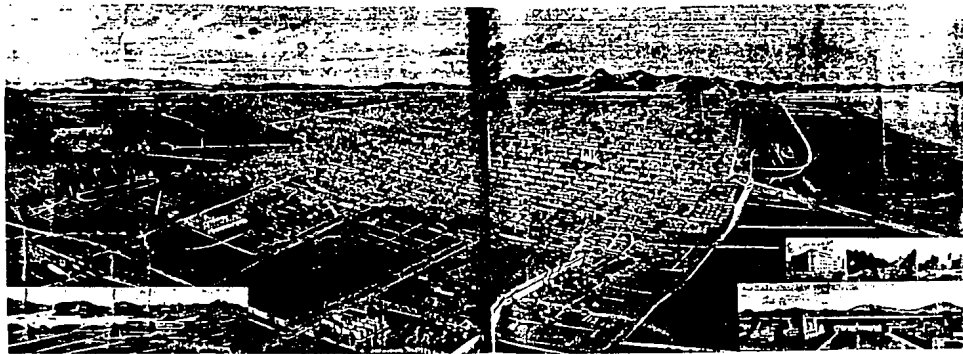
" PERIODO DE PRINCIPIOS DE SIGLO "

Este periodo a pesar de ser muy corto es de gran importancia, tanto por el gran número de nuevas construcciones cuanto por que fue en esta época cuando se empezó la verificación del subsuelo del Valle y de la Ciudad de México a causa de las obras del desagüe y drenaje de la ciudad.

Entre los edificios más importantes se encuentran: El Instituto Médico, el Instituto Geológico, el Palacio Legislativo, el Panteón Nacional, el Monumento a la Independencia, la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, el Gran Teatro Nacional, el Nuevo Correo, el Palacio de Justicia y otros edificios públicos. También hubo muchas construcciones particulares, tales como el edificio de la Mercería de Boker el cual fue el primero que se construyó con estructura de acero y fue concluido en 1900. Otros edificios importantes fueron también El Banco Agrícola e Hipotecario, construido de concreto armado, y el edificio de La Mexicana, cuya estructura fue de acero, y contaba con cinco niveles.

En cuanto a las cimentaciones se refiere, en este periodo hubo la novedad de haberse introducido en México el sistema de cimentación a base de plataforma, formada a base de viguetas de acero y de concreto, ocupando la superficie total del edificio. La primer cimentación de este tipo fue la del edificio de la Mercería de Boker y siguieron el mismo sistema los edificios del Panteón Nacional, el Nuevo Correo la Secretaría de Comunicaciones, y algunos más. Otros se hicieron con emparrillados de viguetas de acero y se empezó a aplicar el concreto armado. En varias casas que recibieron un piso más, sobre todo en las más antiguas, no se hizo modificación alguna en sus cimientos. En las casas nuevas y ligeras se emplearon cimientos de mampostería de piedra de distintos tipos.

Es interesante hacer notar los comentarios que acerca de los diversos tipos de cimentaciones, algunos ingenieros tenían al respecto, como el Ingeniero Manuel Tellez Pizarro: " El sistema de pilotes no ha tenido buen éxito; después de



**PLANO PERSPECTIVA DE LA CIUDAD
Y DEL VALLE DE MEXICO,
DISTRITO FEDERAL.**

Población en 1906: 400,000
Distrito Federal: 330,000

- a) Palacio Nacional
- b) El Correo
- c) La Adana

- d) Palacio Municipal
- e) Palacio de Justicia
- f) Biblioteca Nacional
- g) Escuela de Agricultura
- h) Instituto Geológico
- i) Colegio Militar de Chapultepec
- j) Fabrica de Armas
- k) La Universidad
- l) Conservatorio de Música
- m) Academia de Bellas Artes

- 1. Ferrocarril Mexicano
- 2. Ferrocarril Central Mexicano
- 3. Ferrocarril Nacional de México
- 4. Ferrocarril Interoceánico
- 5. Ferrocarril de Hidalgo

- 6. Ferrocarril de Cuernavaca (Central)
- 7. Ferrocarril de Niza y San Rafael
- 8. Ferrocarril del Valle
- 9. Ferrocarril del Dezagua
- 10. Ferrocarril de Nizama

ser muy costoso, resulta contraproducente en la Ciudad de México, cuyo subsuelo es más y más compresible, a medida que se profundiza.

Los emparrillados de madera como de fierro, han dado hasta hoy buenos resultados, pues que a los primeros hasta hace poco tiempo les ha faltado el agua del subsuelo que ha conservado intactas las maderas; al podrirse éstas por la falta del agua, tendrán que ceder. Los de fierro, no puede decirse que están a prueba todavía, ni es posible asegurar por ahora como y en qué circunstancias serán más duraderos.

Las bóvedas inversas, por cuanto a que amplían la base de sustentación, son buenas pero costosas y exigen una construcción esmerada.

Los cimientos de arena empleados únicamente en el Teatro Nacional, que se construyó de 1842 a 1844 y se demolió en 1901 para prolongar la Avenida Cinco de Mayo, dieron muy buen resultado.

Los de mampostería de piedra con buena mezcla de cal o terciada han sido de los mejores cimientos para las construcciones comunes, y de un éxito muy satisfactorio, respecto a solidez y economía, cuando se han construido por escalones de la anchura competente.

El sistema "Cavallari", de mezcla hidráulica y pedacería de ladrillo reducida al tamaño de grava de río, aplicado por capas alternadas de 0m.10 a 0m.15 de espesor, bien comprimidas a pisón, desde 1858 que fue introducido en México, no ha dejado de emplearse y siempre con buenos resultados en fincas hasta de tres pisos. Resulta más barato aún que el de buena mampostería de piedra.

El sistema de plataforma de viguetas de acero y concreto de cemento, recientemente introducido en México y aceptado con entusiasmo, es demasiado pesado para emplearse en este subsuelo, indefinidamente compresible (como le decía el notable geólogo D. Antonio del Castillo) y que en las circunstancias actuales a consecuencia del desagüe está bajando diariamente el agua subterránea, reemplazándose su lugar por el aire que mucho beneficia para el saneamiento pero favorece los hundimientos".

La opinión que respecto a las cimentaciones profundas (pilotes) se tenía en aquella época, resultaba desfavorable dado el poco desarrollo tecnológico que se tenía para entonces.

QUINTO PERIODO :

" DE 1911 A NUESTROS DIAS "

Este es posiblemente el periodo más importante en la evolución de las cimentaciones profundas, dado que es cuando se presentan los cambios más drásticos en los procesos de construcción de las mismas.

Una vez resueltos los conflictos político-sociales que afectaron al país al final de la primer década del presente siglo, se hizo cada vez más necesario la construcción de estructuras de mayores dimensiones e importancia, sobre todo en la Ciudad de México, que seguía siendo el centro de actividades de la nación.

Pero no es sino hasta después de la segunda guerra mundial cuando realmente evolucionan los procesos constructivos en las cimentaciones profundas, esto como una consecuencia del avance tecnológico que trajo consigo la producción masiva de maquinaria especializada y eficiente con lo cual se facilitó y agilizó la construcción a nivel mundial.

Por otra parte, dadas las condiciones socioeconómicas del país, se facilitó la inversión extranjera tanto económica como tecnológica, es así como llegan a México las primeras máquinas para construcción de cimentaciones profundas de origen europeo a mediados de los años cincuenta. Posteriormente hace su aparición en México la maquinaria Norteamericana, que tuvo gran aceptación entre los constructores del país.

Es también durante este periodo, en el que se hacen las investigaciones más completas acerca del subsuelo de la ciudad de México, así como la clasificación de la ciudad por zonas en función del tipo de suelo y se elaboran también los reglamentos de construcción en función del tipo de estructura y a la localización de la misma.

Otro factor que no debe pasarse por alto durante este periodo es el alto índice de crecimiento demográfico que ocasiona una demanda desmedida de vivienda y en general de todo tipo de servicios, desde médicos hasta recreativos.

Es por todo lo anteriormente citado que se construyen todo tipo de edificios de dimensiones mucho mayores que los que se habían construido hasta entonces, por ello es que se hace necesario el uso de cimentaciones profundas que garanticen la estabilidad y seguridad de los mismos. Por otra parte, la evolución de las vialidades y de los sistemas de transporte demanda necesariamente el uso de puentes dentro de la ciudad, en donde también será necesario utilizar éste tipo de cimentación.

CAPITULO III



"TIPOS DE CIMENTACIONES PROFUNDAS"

TIPOS DE CIMENTACIONES PROFUNDAS

La cimentación es aquella parte de la estructura que tiene como fin dar un apoyo seguro a la misma, bajo diferentes solicitaciones de carga.

Si existe a poca profundidad un estrato de suelo adecuado para soportar la estructura, ésta puede establecerse sobre el mismo con una cimentación directa o superficial, pero si los estratos superiores son muy débiles, las cargas se transfieren a un material más adecuado situado a una mayor profundidad, siendo necesario para ello el uso de cimentaciones profundas.

Las cimentaciones profundas se clasifican en pilas y pilotes. La diferencia entre éstos elementos es un poco arbitraria.

La clasificación tanto de pilas como de pilotes se realiza actualmente: según la forma como transmiten las cargas al subsuelo (punta o fricción), según el material con el que se encuentran fabricados (concreto, acero, madera), y según su procedimiento constructivo (hincado a percusión, a presión, con vibración, mediante perforación previa, colados en el lugar, etc.)

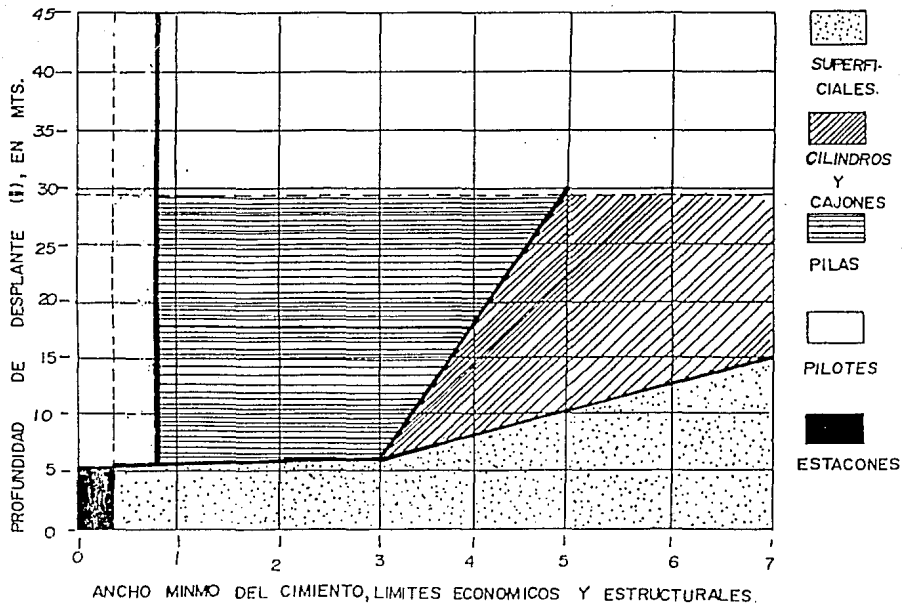
El presente capítulo trata a fondo los principales tipos de cimentaciones profundas: pilas y pilotes. A continuación se describen individualmente sus funciones y características.

" PILOTES "

Antes del siglo XIX casi todos los edificios se construían sobre zapatas continuas. Los pilotes se utilizaban solamente cuando el aspecto del terreno indicaba que era incapaz de soportar las presiones que ejercían las zapatas. Como la madera era abundante y la mano de obra barata, se hincaban tantos pilotes como resultaba posible instalar en el terreno. El asentamiento no causaba inquietud alguna, pues el tipo de estructura más en boga podía experimentar un asentamiento diferencial muy grande sin sufrir daño alguno.

Durante el siglo XIX, el desarrollo industrial creó una demanda de estructuras pesadas y económicas, situadas en lugares en que había terreno blando, de modo que el costo de las cimentaciones sobre pilotes se transformó en un problema

CLASIFICACION DE CIMENTACIONES



de importancia y los ingenieros se vieron en la necesidad de especificar que el número de pilotes no fuese mayor del necesario para proporcionar el soporte adecuado a dichos edificios. No podía cumplirse este requisito sin tener por lo menos algún conocimiento de la carga máxima o de falla que un pilote podía soportar. Los esfuerzos hechos para obtener la información necesaria con un mínimo de gasto y trabajo, condujeron a especulaciones teóricas que dieron como resultado un enorme surtido de fórmulas de hinca. Mas poco a poco se fue notando que las fórmulas de hinca aducían de defectos intrínsecos y se hizo más y más usual, en las obras de alguna importancia determinar la carga admisible por pilote ejecutando ensayos de carga en pilotes de prueba.

El número de pilotes necesarios para soportar una estructura dada, se determinaba por el procedimiento simple de dividir la carga total por la admisible por pilote. Muchas de las cimentaciones proyectadas en esta forma resultaron satisfactorias, pero de vez en cuando alguna estructura sufrió asentamientos inesperados y excesivos. Estas circunstancias evidenciaron que el asentamiento de una cimentación no estaba, necesariamente, relacionado con el asentamiento del pilote único de prueba, aún en el caso de que la carga por pilote fuese igual a la de prueba. Naturalmente, estos hechos llevaron a la conclusión de que el conocimiento de la capacidad de carga de un pilote único es sólo una parte de la información necesaria para el proyecto de una buena cimentación sobre pilotes.

Actualmente podemos definir como pilotes aquellos miembros estructurales con un área de sección transversal pequeña, comparada con su longitud, y usualmente se instalan utilizando una piloteadora que tiene un martillo o también un vibrador. A menudo se hincan en grupos o filas conteniendo cada uno suficientes pilotes para soportar la carga de una sola columna o muro.

Una estructura se cimenta sobre pilotes cuando el suelo situado por debajo de su base no tiene suficiente capacidad de carga y es compresible, o cuando una estimación de costos indica que un pilotaje puede resultar más económico que cualquier otro tipo de cimentación.

Las columnas con poca carga pueden, en algunos casos, necesitar un solo pilote. Sin embargo, ya que en las condiciones del trabajo de campo, la posición real de un pilote puede quedar a varios centímetros de la posición proyectada, difícilmente pueden evitarse las excentricidades. En consecuencia, las cabezas de los pilotes aislados usualmente se arriostran en dos direcciones por medio de contratrabes. Si solo se necesitan dos filas, las cabezas se unen con un cabezal de concreto, siendo arriostradas solamente en una dirección, perpendicular a la línea que une los dos pilotes. Los grupos que contienen tres

o más pilotes están provistos de cabezales de concreto reforzado, y se consideran estables sin apoyarlos con contratraveses.

También pueden usarse pilotes verticales para resistir cargas laterales; por ejemplo, debajo de una alta chimenea sujeta al viento. Comparada con la capacidad axial, la capacidad lateral es usualmente pequeña. Cuando es necesario soportar grandes cargas laterales, pueden usarse pilotes inclinados. Las inclinaciones de 1 horizontal a 3 vertical representan aproximadamente la mayor inclinación que puede obtenerse con el equipo de hincado. La economía favorece usualmente las menores inclinaciones aunque tenga que usarse un mayor número de pilotes.

" PILAS "

En la ingeniería de cimentaciones el término de pila tiene dos significados diferentes. De acuerdo con uno de sus usos, una pila es un miembro estructural subterráneo que tiene la función que cumple una zapata, es decir, transmitir la carga a un estrato que sea capaz de soportarla, sin peligro de que falle ni de que sufra un asentamiento excesivo. Sin embargo, en contraste con una zapata, la relación de la profundidad de la cimentación al ancho de la base de las pilas es usualmente mayor que cuatro, mientras que para las zapatas esta relación es menor que la unidad.

De acuerdo con su segundo uso, una pila es el apoyo, generalmente de concreto o de mampostería para la superestructura de un puente. Usualmente, la pila sobresale de la superficie del terreno, y comúnmente se prolonga a través de una masa de agua hasta un nivel superior al de las aguas máximas. De acuerdo con esta definición, puede considerarse la pila en sí, como una estructura, que a su vez debe estar apoyada en una cimentación adecuada. Generalmente se usa el término de cuerpo de la pila para referirse a la parte que queda arriba de la cimentación. La base de ese cuerpo puede descansar directamente en un estrato firme, o puede inclusive descansar directamente en un pilote o sobre varias pilas de cimentación. Un cuerpo de pila, situado en el extremo de un puente y sujeto al empuje de la tierra, se denomina un estribo.

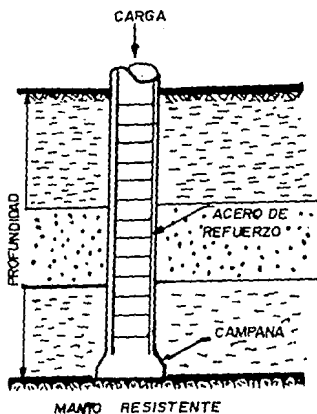
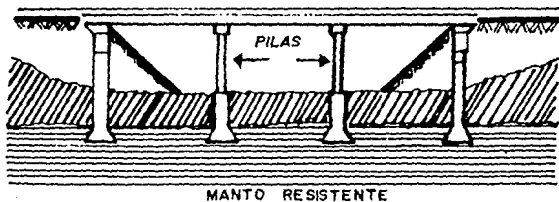
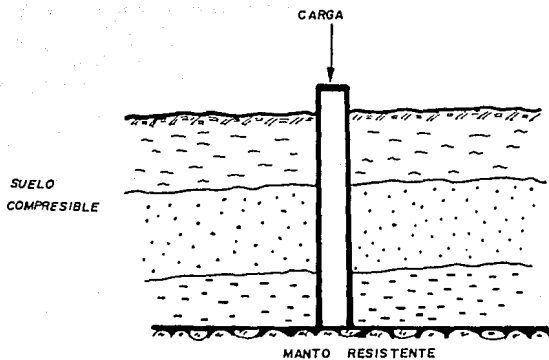


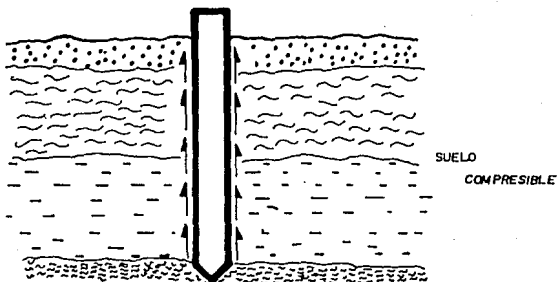
DIAGRAMA DE UNA PILA DE CIMENTACION



PILAS PARA PUENTE



PILOTE DE PUNTA



PILOTE DE FRICCION

" CLASIFICACION DE PILAS Y PILOTES "

De acuerdo con las dimensiones de su sección transversal, las cimentaciones profundas generalmente se dividen en pilas, cuando su diámetro es mayor de 60 cm. y pilotes, para dimensiones menores. En el diseño y construcción de pilas y pilotes intervienen fundamentalmente tres variables: la forma como transmiten las cargas al subsuelo, el material con el que están fabricados, y su procedimiento constructivo.

DE ACUERDO A LA FORMA COMO TRANSMITEN LAS CARGAS AL SUBSUELO

Las pilas y pilotes en general se diseñan y construyen para transmitir cargas verticales por punta a estratos resistentes profundos o por fricción al suelo que los rodea; los pilotes se usan también para anclar estructuras en suelos expansivos y para resistir cargas horizontales inducidas por la estructura o por un sismo.

Cuando el o los estratos de suelo superficiales son de espesor considerable, compresibles y de baja resistencia al esfuerzo cortante, utilizando pilotes de punta se transmite prácticamente todo el peso y las cargas de la superestructura a un estrato profundo de suelo más resistente o a la roca.

Las pilas también pueden transmitir las cargas al subsuelo por punta, y se utilizan cuando el estrato de suelo superficial es blando y compresible, y cuando el peso y las cargas de la superestructura son importantes. Una ventaja de las pilas radica en que se puede acampanar su base, aumentando de ésta forma su carga útil.

Para incrementar la capacidad de carga de pilas y pilotes se pueden empotrar una cierta profundidad en el estrato resistente. Para pilotes se recomienda hacerlo a una profundidad de 4 a 10 veces su dimensión horizontal dependiendo de la compacidad relativa del material de empotramiento y de la capacidad del equipo disponible, y en pilas la distancia que sea posible constructivamente hablando.

Los pilotes de fricción son aquellos que transmiten la carga al suelo que los rodea; la magnitud de la fricción lateral es función del área perimetral del pilote. Esta solución se utiliza cuando no se encuentra ningún estrato resistente, a una profundidad adecuada, en el que podrían apoyarse pilotes de punta, o cuando el sitio donde se

instalarán se localiza en una zona que sufre asentamientos significativos por consolidación regional.

Los pilotes de anclaje se utilizan en zonas con suelos arcillosos expansivos que por su espesor no pueden ser removidos; con estos elementos se pueden absorber los movimientos estacionales que ocurren en la parte superficial de estos suelos, que se traducen en expansiones. Estos pilotes se hincan hasta alcanzar la zona del suelo estable. También se utilizan a veces para evitar el hundimiento por excavación en suelos arcillosos.

Las fuerzas horizontales permanentes de reacción de una estructura o temporales inducidas por un sismo se pueden recibir aunque en forma poco eficiente con pilas o pilotes verticales que tengan empotramiento y características estructurales adecuadas. Funcionalmente, los pilotes inclinados son la mejor solución. La orientación de los mismos, se hará de acuerdo a la dirección en que se presente la fuerza horizontal o con distintas direcciones cuando deban soportar las fuerzas horizontales que induce un sismo.

DE ACUERDO AL MATERIAL CON EL QUE SE FABRICAN

Los materiales que se emplean para fabricar pilotes en orden descendente de utilización son los siguientes:

- Concreto (prefabricado o colado en el lugar)
- Acero
- Concreto y acero (mixtos)
- Madera

Los pilotes prefabricados de concreto se fabrican con concreto simple, concreto reforzado, presforzado o postensado, empleando cemento portland normal o resistente a las sales, álcalis y silicatos de acuerdo a las características del medio donde se hincarán. Se fabrican de una sola pieza o en segmentos que se pueden unir con juntas rápidas o soldando placas de acero que se dejan en los extremos de cada tramo precolado.

Los pilotes mas pequeños de éste tipo tienen un diámetro que varía entre los 20 y los 30 cms., alcanzan una longitud de hasta 15 metros y pueden soportar cargas de 50 toneladas.

Los más grandes son generalmente huecos de acero para reducir su peso, con una longitud de 60 metros y soportan cargas de 200 toneladas.

Cuando se someten a un pretensado soportan mejor los esfuerzos a que son sometidos durante el manejo y colocación.

Són utilizados principalmente en construcciones marinas donde es importante la durabilidad en condiciones severas de

intemperie y para sostener puentes en donde los pilotes se entienden fuera de la superficie del terreno.

Estos pilotes son los de uso más frecuente por su durabilidad y la facilidad con que se ligan a la superestructura. Sus limitaciones se relacionan con las dificultades de fabricación, manejo e hincado. Según la geometría de su sección transversal pueden ser cuadrados, octagonales, ochavados, hexagonales, triangulares, de sección H y circulares.

Los pilotes y pilas de concreto colado en el lugar se fabrican generalmente de concreto armado, aunque es factible usar concreto simple cuando se trata de pilas cortas en una región no sísmica. El colado se debe hacer con una tubería tremie para evitar la segregación y contaminación del concreto.

El pilote colado en el lugar no es muy empleado.

Los pilotes de acero son de secciones estructurales ligeras o pesadas dependiendo de la carga que transmitirán. Los perfiles estructurales de acero, especialmente los perfiles H, son muy utilizados como pilotes. Se pueden utilizar tubos de acero que pueden quedar huecos o rellenarse con concreto, también se fabrican tubos de acero con una hélice soldada lateralmente, que se introducen a rotación.

Entre las ventajas principales de estos pilotes se tiene la facilidad y precisión con que se pueden alargar o recortar y el hecho de que pueden atravesar estratos duros con boleas y roca alterada, además de que su manejo es más simple que en los de concreto. La desventaja principal de estos pilotes es que son susceptibles a la corrosión, fenómeno que debe tomarse en cuenta especialmente en ambiente marino, que es donde más se utilizan, para protegerlos debidamente.

Este tipo de pilotes se utiliza cuando van a ser sometidos a un manejo e instalación muy severos o cuando se requieren longitudes muy grandes o cuando es preciso soportar cargas de gran magnitud, pues llegan a soportar cargas de 150 toneladas.

Los pilotes compuestos consisten en una combinación de un pilote de acero o de madera en el tramo inferior y un pilote de concreto colado en el lugar en el tramo superior.

En su construcción se debe vigilar cuidadosamente la unión entre los dos tramos; esta unión debe ser hermética para que no penetre el suelo o el agua. Además debe mantenerse una perfecta alineación entre los dos tramos. Esta clase de pilotes se utiliza para aprovechar las ventajas de "cierto material". Por ejemplo, utilizando este tipo de pilotes es posible combinar el bajo costo del pilote de concreto colado en el lugar con la gran longitud o mayor resistencia del pilote de acero.

Se utilizan pilotes de concreto con puntas de acero como protección durante el hincado; en algunos suelos con condiciones estratigráficas peculiares se han utilizado pilotes que tienen un segmento inferior de tubo de acero y el resto de concreto reforzado. En general, este tipo de pilotes mixtos tiene poco uso.

Los pilotes de madera han sido utilizados durante siglos, pues es el material más fácil de obtener. Pueden soportar con seguridad de 15 a 30 toneladas y cuando se encuentran completamente sumergidos en agua se conservan indefinidamente. Si el pilote se encuentra por arriba del nivel del agua, será necesario darle un tratamiento con creosota para defender a la madera del ataque de insectos. Este tipo de pilotes han caído en desuso ante el desarrollo de los de concreto; su empleo ha quedado restringido a la cimentación de estructuras provisionales y de embarcaderos pequeños en donde se aprovecha la resistencia de la madera para soportar las fuerzas de impacto. La limitación fundamental de estos pilotes se tiene en su corta duración, ya que fácilmente se daña el tramo que queda sujeto a variaciones del nivel del agua, sobre todo cuando están en un ambiente de aguas salobres. En este caso se puede recubrir con concreto el tramo expuesto a las variaciones de nivel.

DE ACUERDO A SU PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Existen un gran número de procedimientos constructivos para la fabricación así como para la instalación en el lugar o para fabricar en el sitio pilas y pilotes; la característica principal que establece la diferencia es que durante la construcción de la cimentación se induzca o no el desplazamiento del suelo que los rodea; en el caso particular de las pilas, dado que éstas se fabrican de concreto simple o reforzado, colado en el sitio en una perforación realizada previamente éstas caen exclusivamente en la clasificación sin desplazamiento. Los pilotes en cambio, pueden ser:

- * Con desplazamiento, cuando desplazan un volumen de suelo igual al del pilote al ser hincados.
- * Con poco desplazamiento, son pilotes hincados en una perforación previa de menor área que la del pilote mismo, tales como los pilotes de perfiles de acero, o pilotes hincados con ayuda de chiflón.
- * Sin desplazamiento, cuando se fabrican en el sitio, de semejante manera que las pilas.

Cabe señalar, que dependiendo del tipo de suelo en el que se realice la cimentación, el comportamiento del mismo

será distinto, ya que en suelos blandos, los pilotes con desplazamiento pueden inducir disminución de la resistencia al corte provocado por el remoldeo causado al efectuar el hincado del pilote, en cambio en suelos de tipo granular se puede generar aumento de la compacidad relativa.

A continuación se describen en forma generalizada los procedimientos constructivos, ya que posteriormente se tratan éstos con mayor detalle.

CÓN DESPLAZAMIENTO:

Pilotes hincados a percusión: Este es el procedimiento más comúnmente utilizado, consiste en hincar a percusión los pilotes con la ayuda de un martillo de impacto; se deben de considerar al efectuar el hincado del pilote la masa y la longitud del mismo, el peso y energía del martillo y el tipo de suelo en el que se efectúa el hincado. Generalmente el pilote es sostenido verticalmente o con la inclinación requerida con una estructura guía en la cual se desliza el martillo durante la maniobra. Cuando a causa de la longitud del pilote no es posible su manejo en un solo tramo, el hincado se realiza en dos o más tramos, para la unión de los mismos se utiliza una junta rápida o con placas prefijadas en los extremos soldados durante el hincado.

Cuando no es posible utilizar una estructura guía de hincado, debido a restricciones de espacio disponible o en el caso de obras fuera de costa, puede ser utilizada una "guía colgante", que se sostenga por la pluma de una grúa y unos cables.

Pilotes hincados a presión: Estos pilotes se fabrican de concreto (simple o armado) en tramos de sección cilíndrica de 1.5 m de largo; la punta es cónica y tiene ahogado el cable de acero de refuerzo que se aloja en el hueco central. El hincado se realiza a presión con un sistema hidráulico en cuyo marco de carga se van colocando los tramos de pilote. Cuando se alcanza la presión máxima de proyecto se tensa el cable central de acero de refuerzo y se rellena el hueco con concreto. La reacción del sistema de carga usualmente se absorbe con lastre colocado en una plataforma.

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

Pilotes hincados con vibración: Esta técnica es empleada en suelos granulares consiste en excitar al pilote con un vibrador pesado de frecuencia controlada, formado por una carga estática y un par de contrapesos rotatorios excéntricos en fase. El pilote penetra en el suelo por influencia de las vibraciones y del peso conjunto

pilote-vibrador-lastre. Por lo general son pilotes metálicos o tablestacas.

La misma técnica ha sido utilizada para extraer pilotes desviados o de cimentaciones antiguas.

Al proyectar la aplicación de este método, se deben estudiar los fenómenos que las vibraciones pueden ocasionar cuando su frecuencia se acerca a la natural de las estructuras e instalaciones vecinas, especialmente si están cimentadas sobre materiales poco densos, porque en esta condición de resonancia se pueden provocar daños estructurales y hundimientos.

CON POCO DESPLAZAMIENTO:

Pilotes hincados en una perforación previa: Todos los pilotes citados anteriormente como pilotes de desplazamiento, se transforman en pilotes de poco desplazamiento si antes de efectuar el hincado, se realiza una perforación previa, la cual puede requerir ser estabilizada con lodo de perforación, que en el caso de suelos arcillosos blandos se puede formar con el mismo suelo, mezclándolo con agua previamente agregada, o a base de bentonita y agua.

Esta técnica es utilizada cuando:

- a) El hincado de los pilotes sin perforación previa induce deformaciones que reducen la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.
- b) El pilote debe atravesar estratos duros que dificulten su hincado y por ello, puedan presentar problemas de daño estructural.
- c) El número de pilotes por hincar es alto y la suma de sus desplazamientos puede provocar el levantamiento del terreno con el consiguiente arrastre de los pilotes previamente hincados.

Pilotes hincados con chiflón: Este procedimiento se utiliza para disminuir el volumen de suelo desplazado durante el hincado de pilotes en arenas; consiste en aplicar dos efectos simultáneos: el de un chiflón de agua a presión que descarga en la punta del pilote, el cual erosiona y transporta a la superficie parte de la arena, combinado con los impactos de un martillo o la excitación de un vibrador para movilizar el pilote. Adicionalmente, se puede agregar aire a presión para facilitar la extracción del agua. En pilotes de varios tramos hay dificultades en la continuidad del chiflón. El martillo debe usarse una vez que se ha dejado de operar el chiflón y únicamente cuando se deba llegar al rechazo.

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

A veces es aplicado un tratamiento eléctrico de corta duración posterior al hincado para incrementar rápidamente la adherencia entre pilote y suelo; en éste caso, además de perfiles estructurales se usan también tubos.

SIN DESPLAZAMIENTO:

Pilas y pilotes de concreto colado en el lugar: Los pilotes y pilas de concreto colados en el lugar se clasifican como elementos de cimentación sin desplazamiento porque para su fabricación se extrae un cierto volumen de suelo que después es ocupado por el concreto colado en la perforación previa, por lo que se puede decir que no existe desplazamiento del suelo al fabricarlos.

CAPITULO IV



*"DETERMINACION DEL TIPO DE
CIMENTACION MAS ADECUADO"*

DETERMINACION DEL TIPO DE CIMENTACION

MAS ADECUADO

Para determinar el tipo de cimentación más adecuado deben de ser analizados varios factores, tanto técnicos como económicos, ya que se tienen diferentes opciones a seguir al diseñar y construir una cimentación profunda.

El análisis para la determinación del tipo de cimentación más adecuado se inicia determinando las características geológicas del terreno en el cual se llevará a cabo la cimentación; la determinación de dichas características se lleva a cabo mediante pruebas tanto de campo como de laboratorio, es importante hacer notar que la selección de los elementos constructivos sea compatible con la estratigrafía y con las propiedades mecánicas de los suelos o rocas del lugar, a partir de la cual se define la profundidad de cimentación, se dimensionan los elementos elegidos (pilas o pilotes), se recomiendan los procedimientos constructivos más adecuados y se hace una predicción del comportamiento de la cimentación.

Debido a la influencia determinante que tienen los procedimientos constructivos en el análisis diseño y comportamiento de las cimentaciones profundas, deberá concedérsele importancia significativa a la labor de supervisión de los aspectos técnicos durante la construcción. Por otra parte, siempre es recomendable efectuar pruebas de carga sobre los elementos de la cimentación para determinar su capacidad.

En ocasiones se puede hacer una predicción respecto a la acción esperada del terreno a partir de la información de tal acción en cuyos subsuelos son de características semejantes.

Finalmente una vez determinado el tipo de cimentación que se usará es de gran importancia analizar el costo del procedimiento constructivo a realizar, para así optar por la mejor alternativa tanto técnica como económicamente.

EXPLORACION DEL SUBSUELO:

El programa de exploración geotécnica deberá proporcionar información sobre las condiciones estratigráficas del sitio en estudio, las condiciones de presión del agua del subsuelo y las propiedades mecánicas de

los suelos (resistencia, compresibilidad y permeabilidad), a fin de facilitar el diseño racional de la cimentación de estructuras y la selección del método constructivo adecuado para su ejecución.

OBJETIVOS DEL PROGRAMA DE EXPLORACION GEOTECNICA:

- Conocer la estratigrafía del sitio
- Conocer las condiciones de presión del agua del subsuelo
- Determinar las propiedades mecánicas de los suelos

Para asegurar que se alcancen los objetivos de la exploración geotécnica, los trabajos de campo se supervisarán por un ingeniero especialista en suelos y su realización estará a cargo de una brigada de trabajadores entrenados en los trabajos de perforación, muestreo y ejecución de pruebas de campo.

ETAPAS DE LA EXPLORACION GEOTECNICA

El programa de exploración geotécnica del sitio donde se construirá una estructura consiste de dos etapas: la primera, de investigación preliminar, deberá permitir la definición tentativa de los problemas geotécnicos del sitio, lo que servirá para fundamentar la segunda etapa, de investigación de detalle, que incluye la realización de sondeos, pruebas de campo y laboratorio.

INVESTIGACION PRELIMINAR

El objetivo de esta etapa de la exploración es el de recopilar la información geotécnica que exista de un sitio, para realizar una interpretación preliminar de los problemas que podrán presentarse en la cimentación de una estructura de características y requerimientos conocidos.

Al recorrer un lugar y examinarlo es posible observar varias características, entre las que se encuentran:

- 1.- Pruebas de que ha habido corrimiento o deslizamientos de tierra.
- 2.- Terraplenes hechos anteriormente en el sitio.
- 3.- Excavaciones o cortes previos.
- 4.- Agrietamientos de la superficie del suelo, si está seco.

Esto indicara contracciones de los suelos. Por lo común, esos suelos son expansivos y pueden constituir un problema durante la construcción, además de que pueden crear dificultades en las estructuras terminadas. Los árboles inclinados son buena prueba de la inestabilidad anterior de una ladera o talud.

INTERPRETACION DE FOTOGRAFIAS AEREAS

Una fotografía aérea del sitio puede ayudar a indicar puntos que deben examinarse sobre el terreno, entre los que se encuentran:

- 1.- Cambios notables del tono del color de la superficie del suelo.
- 2.- Zonas de afloramientos rocosos.
- 3.- Zonas de crecimiento frondoso de plantas, lo que indica un nivel freático poco profundo.

La interpretación geológica de las fotografías aéreas de un sitio permite identificar de manera preliminar las características geológicas del sitio, tales como fallas y fracturas de los fenómenos geodinámicos relacionados con zonas de taludes inestables y zonas erosionables. Con respecto a los suelos se pueden identificar las características probables de los suelos e inferir las del subsuelo, así como definir probables bancos de préstamo.

RECORRIDO DE CAMPO

El recorrido de campo tiene como objetivos:

- 1.- Comprobar la interpretación fotogeológica además de identificar y clasificar los suelos superficiales.
- 2.- Visitar las estructuras construidas en la zona e indagar sobre su comportamiento.
- 3.- Obtener información adicional que permita programar la investigación de detalle.

INVESTIGACION GEOTECNICA DE DETALLE

El programa de la investigación de detalle debe tomar muy en cuenta que tratándose de cimentaciones con pilas o pilotes, las propiedades de los suelos se modifican en la vecindad del pilote, aunque se trate de un procedimiento constructivo de no desplazamiento, como el de colado en el lugar, y que en el caso de pilotes que desplazan el volumen de suelo que ocupan, se induce mayor alteración y cambios estructurales al suelo vecino aún a varios diámetros de distancia. Por lo anterior, cuando se tiene la certeza de que la cimentación de la estructura se resolverá con pilas o pilotes, se propone que en la exploración geotécnica de

detalle se ponga énfasis en las pruebas de campo como son, las de penetración estática con cono tipo eléctrico, de penetración estándar, de veleta y de piezómetro. Este enfoque se ha seguido para diseñar cimentaciones piloteadas de estructuras marinas, ante la enorme dificultad de obtener muestras de buena calidad.

LEVANTAMIENTO GEOLOGICO

Excepcionalmente se realiza este tipo de levantamiento, ya que usualmente la geología de la región donde se construirá la estructura ha sido estudiada anteriormente o se considera que el recorrido de campo de la investigación preliminar proporciona la información geológica necesaria y suficiente para el diseño de la cimentación profunda de una estructura.

En caso de que se trate de la cimentación de estructuras muy importantes o de desarrollos industriales localizados en áreas poco estudiadas, se justifica realizar el levantamiento geológico de la zona.

EXPLORACION GEOFISICA

Los métodos de exploración geofísica aplicables en geotecnia se basan en la medición de la variación de la velocidad de propagación de ondas sísmicas o de la resistividad eléctrica de los suelos, y mediante su interpretación de correlaciones se deducen las características estratigráficas, posición del nivel freático y posibles tipos y propiedades de suelos y rocas.

Estos métodos se utilizan para obtener información preliminar del subsuelo, para complementar la información geológica y para reducir el número de sondeos.

a) Método geosísmico de refracción total: Consiste en determinar el tiempo de arribo de las ondas longitudinales sísmicas, generadas por una pequeña explosión o impacto, a geófonos captadores que envían su señal a un sismógrafo receptor; con ésta información se calcula la velocidad de propagación de las ondas.

El equipo consta de:

- Un dispositivo generador de onda que puede ser un explosor o un martillo instrumentado con un sensor del impacto.
- El conjunto de geófonos electromagnéticos que al vibrar con el suelo emiten una señal eléctrica.
- El sismógrafo receptor que recibe la señal de los geófonos en galvanómetros de espejo y que registra el papel fotosensible.

Los resultados que se obtienen del método sísmico permiten:

- Interpretar la estratigrafía del sitio.
- Predecir la clasificación de los suelos y rocas.
- Deducir el módulo elástico dinámico del medio.

La estratigrafía se determina con desarrollos basados en la ley de la refracción de las ondas en medios elásticos; para ello se han formulado soluciones para los casos que usualmente se presenta en la práctica.

PRUEBAS DE CARGA

La necesidad de realizar pruebas de carga de pilotes y de pilas se justifica debido a que el análisis de la capacidad de carga de éstos elementos está sujeto a la incertidumbre tanto de las teorías del comportamiento del sistema pilote-suelo o pila-suelo, así como a la dificultad de definir confiablemente, mediante trabajo experimental el comportamiento mecánico de los suelos de un sitio. Lo anterior lleva a recomendar que las pruebas de carga deban realizarse para determinar a escala natural el comportamiento cimentación-suelo y siempre que económicamente sea factible, sabiendo que normalmente generan ahorros en los costos de cimentación.

Las pruebas de carga pueden realizarse en pilotes o pilas convencionales y en elementos instrumentados; en el primer caso los objetivos que se persiguen son:

- Determinar la capacidad de carga vertical de pilas o pilotes apoyados en estratos firmes.
- Definir confiablemente la longitud necesaria de los pilotes de fricción.
- Definir la capacidad de carga lateral.
- Ensayar el tipo de pilote, las técnicas y equipo de hincado y verificar si es necesario realizar perforaciones previas.
- Ensayar el procedimiento constructivo con el que se proyecta fabricar las pilas.

Cuando se justifica utilizar pilotes o pilas instrumentados, la información adicional que se obtiene permite:

- Conocer la magnitud de los esfuerzos durante el manejo e hincado del pilote.
- Evaluar el efecto del hincado de los otros pilotes.

- Conocer la transferencia de carga al suelo durante la prueba y su variación con el tiempo.
- Estudiar el fenómeno de fricción negativa.

Para alcanzar los objetivos mencionados, una prueba de carga debe diseñarse simulando las condiciones carga-tiempo bajo las cuales trabajara el pilote o pila, para el diseño es necesario contar con la información geotécnica y el diseño preliminar de la cimentación. Cabe destacar que en cada problema específico la elección del tipo de prueba dependerá de los siguientes aspectos:

- Grado en que se reproducen las condiciones de trabajo de la estructura.
- Costo.
- Tiempo de ejecución.
- Simplicidad en su ejecución.

De ser posible llevar a efecto pruebas de fatiga, éstas proporcionaran los valores de fricción. Uno de los más importantes factores que tienden a confundir los resultados a partir de las pruebas de carga de un pilote único, es el descuido en el tiempo de prueba.

ACCIÓN DE LAS CARGAS SISMICAS SOBRE LAS CIMENTACIONES PROFUNDAS

Los pilotes de gran diámetro colados en el sitio o pilas usadas para soportar cargas pesadas sobre suelos firmes a través de sedimentos suaves del subsuelo pueden estar sujetos a fuerzas importantes de arrastre que deben ser estimadas e incluidas en el diseño y consideradas en la construcción de dichos elementos. Las fuerzas de arrastre son aquellas relacionadas con las condiciones ambientales del lugar en cuestión; su efecto puede analizarse por separado, y después de estudiar la combinación de los diferentes fenómenos para encontrar la envolvente de la respuesta máxima.

En cimentaciones de pilas y pilotes las fuerzas ambientales más importantes que se presentan son:

a) Las fuerzas laterales ejercidas por el movimiento del hielo o congelación del agua.

b) Los empujes de tierra producidos por condiciones especiales de diseño, resbalamiento de la superficie del suelo o cuando las bases de las pilas quedan apoyadas en pendientes.

c) La fricción negativa provocada por el hundimiento de suelos superficiales, ya sea a causa de la reducción de las elevaciones piezométricas del agua o a sobrecargas colocadas en la superficie del suelo, originándose un incremento de esfuerzos transmitidos al fuste de la pila por el suelo cercano a la pila.

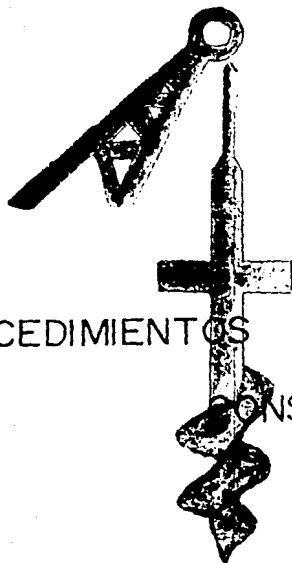
d) Las fuerzas laterales dinámicas originadas en el vástago de la pila por desplazamientos horizontales en la masa del subsuelo inducidos por los terremotos.

Quando se requiere analizar la influencia de las fuerzas ambientales mencionadas, e incluirlas en el diseño de una cimentación de pilas, se hace necesario investigar las propiedades físicas e hidráulicas así como las mecánicas estáticas y dinámicas de los sedimentos que confinan al vástago de la pila, desde la superficie del suelo hasta el suelo firme donde descansa la base.

Durante movimientos fuertes en la masa del suelo a causa de terremotos se ocasionan reacciones laterales en el vástago de la pila, las fuerzas involucradas en el movimiento

del suelo se traducen en reacciones desconocidas sobre el vástago de la pila. Estas se consideran fuerzas concentradas interactuantes representativas de las acciones lineales unitarias desarrolladas en cada una de las secciones consideradas sobre el vástago de la pila. Las fuerzas exteriores sobre la pila y las reacciones laterales desconocidas actúan en el vástago de la pila y suelo haciendo que el sistema de la cimentación de pilas se encuentre en equilibrio. Sin embargo la compatibilidad de deformación deberá lograrse en la interfase del suelo con el vástago de la pila en su longitud total.

CAPITULO V



" PROCEDIMIENTOS

CONSTRUCTIVOS"

PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

En el presente capítulo se describirán los principales procesos constructivos de cimentaciones profundas, usados actualmente, ya que existe una gran variedad de los mismos debido a las circunstancias de cada problema en particular, y al avance tecnológico en cuanto a la fabricación de equipos para cimentaciones profundas se refiere.

Se han tratado por separado los procesos de construcción tanto para pilas como para pilotes. Las pilas se considerarán fabricadas a base de concreto colado en el lugar usando como cimbra a la perforación previa realizada en el subsuelo o, en otras condiciones, un ademe metálico. Por otra parte para los pilotes se considerarán que son fabricados en la superficie, ya sea en el lugar en el cual serán hincados o en otro sitio para ser posteriormente transportados, y después hincados mediante distintas técnicas en su lugar definitivo.

Es importante hacer notar que dependiendo del procedimiento constructivo a seguir, se hará la elección tanto de maquinaria y herramienta que garantice la optimización y consecuentemente la economía tanto en tiempo como en recursos disponibles así como la calidad de los trabajos realizados. En el presente capítulo únicamente se mencionan la herramienta y el equipo utilizado en los procesos constructivos de cimentaciones profundas, siendo descritos de manera más detallada en el capítulo siguiente.

En primer lugar se hará la descripción detallada de las operaciones realizadas que generalmente abarcan el proceso constructivo de una pila de cimentación posteriormente se describirá el proceso constructivo de los pilotes, describiendo también los pasos para su fabricación e hincado.

PILAS

" LOCALIZACION EN CAMPO Y ALINEAMIENTO VERTICAL DE LAS PERFORACIONES "

El primer paso en la construcción de una pila de cimentación es colocar las estacas que indicarán donde se llevarán a cabo las perforaciones. El responsable de la obra debe checar que dichas estacas se encuentren en los lugares correctos. Pero esto no garantiza que el eje central de la pila estará en el mismo lugar. el descuido al iniciar la perforación puede causar que el eje central se mueva algunos centímetros, y un suelo rocoso, arcillas compactas, la superficie de alguna roca o el uso de una herramienta inadecuada causará que el punto de perforación se mueva al inicio de la misma. La perforación puede quedar desplomada también en el caso de que la perforadora o el barretón de la misma no hayan sido puestos a plomo cuidadosamente y ocasionalmente se pueden presentar irregularidades en el suelo que ocasionen la falta de verticalidad del equipo.

Actualmente la localización y alineamiento de una perforación comparada con la tolerancia con respecto a la localización y alineamiento con los que fueron diseñados originalmente concierne a distintas personas:

- 1.- El proyectista, es quien tendrá que especificar medidas que remedien el problema si la perforación está demasiado lejos de su localización original o muy desplomada.
- 2.- El topógrafo, quien debe colocar las estacas en primer lugar, estar pendiente durante el proceso de perforación y checar las perforaciones cuando se terminan de realizar.
- 3.- El supervisor, quien debe checar las localizaciones y la verticalidad de las mismas de acuerdo al proyecto original y a las tolerancias especificadas para el mismo.
- 4.- El contratista, quien tendrá que realizar los trabajos de corrección, si cualquiera de las perforaciones terminadas no son aprobadas por la supervisión.

La mayoría de los equipos de perforación están contruídos de tal manera que es fácil de centrar el barreno sobre las estacas que indican la localización de la pila, y cuentan además con guías que mantienen el barreno centrado durante la perforación de acuerdo al inicio de la misma.

Sin embargo, cuando la perforación se inicia en rocas duras, fragmentadas, o en terrenos en declive puede ser difícil evitar el desplazamiento al iniciarla. En la mayoría de los casos una perforación guía tendrá que ser realizada

previamente a la perforación definitiva. En otras circunstancias especialmente cuando la perforación se llevará a cabo en taludes, una pequeña guía cilíndrica puede colocarse para conservar la posición. Dichas guías pueden improvisarse en campo colocando un brocal del diámetro que corresponda a la perforación a realizar.

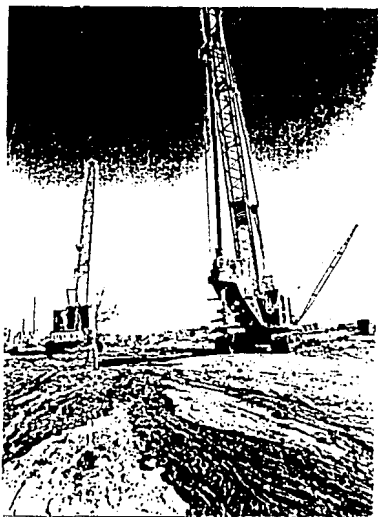
El alineamiento vertical (plomo) se mantiene fácilmente debido al peso de la broca que evita la tendencia al desplazamiento horizontal. Algunos equipos dependen del peso de la broca o del avance del barrenado, el cual es controlado regulando la tensión del cable del que se encuentra suspendido. Otros equipos tienen el mecanismo de avance hidráulico para aumentar el peso de herramientas ligeras y del barrenado cuando se perfora en condiciones difíciles. Debido a esto se debe tener aun más cuidado en estos casos al chequear el alineamiento de las perforaciones particularmente cuando se trabaja en suelos duros.

Un barrenado de longitud considerable es más maniobrable, y por el contrario forzar el avance del mismo afectará el alineamiento vertical de la perforación. De cualquier modo, esto no se considerará que tenga importancia estructural, ya que la desviación que ocurre bajo condiciones normales generalmente es insignificante.

El mayor problema para el alineamiento es la existencia de boleos, de capas duras con inclinaciones considerables o pináculos de rocas. Cuando éstas obstrucciones producen serios daños en las herramientas de perforación, será necesario usar herramientas y técnicas especiales. Bajo estas condiciones la perforación puede sobredimensionarse. En suelos difíciles será más económico perforar un orificio mayor (lo que ayudará mucho en perforaciones en boleos) y usar concreto para compensar la localización y el alineamiento de la perforación definitiva.

Las tolerancias en cuanto a las especificaciones para la localización del eje central de la pila, pueden ocasionar importantes diferencias en cuanto a costo y tiempo. La tolerancia de las especificaciones deberá ser compatible con el diseño estructural, con el equipo de construcción así como también con los procedimientos de construcción, dichas especificaciones no deberán ser ambiguas y tendrán que ser accesibles tanto para el contratista como para el supervisor.

" EQUIPO DE PERFORACION "



"MEDIDA DE LA PROFUNDIDAD DE LA PERFORACION"

Una medida final de la profundidad de la perforación será necesaria para cada pila; y en muchos casos se tendrán que medir la profundidad a la que se encuentran los mantos rocosos, obstrucciones, nivel freático, etc. Estas medidas tendrán que ser exactas, ya que confirman las especificaciones de diseño. Las medidas tendrán que registrarse en bitácora. Se pueden llevar a cabo de varias formas: usando una cinta, o marcando con un gis (u otra marca) en el barrenado. Recientemente la tecnología ha desarrollado sistemas más exactos para medir la profundidad de las perforaciones, los cuales son cada vez más usados. Una unidad consiste básicamente de dos partes:

- 1) Una rueda medidora sobre la parte superior de la sección, rodante sobre el cable del barrenado, y
- 2) Una lectora electrónica y una unidad de control colocada en la cabina del operador.

Dependiendo de lo que se requiera, la unidad puede medir la profundidad total de la perforación o la penetración en un estrato determinado. La operación de la unidad es rápida y fácil. Se estima un ahorro de 3 a 5 minutos por perforación en comparación de los métodos tradicionales.

" PERFORACIONES RAPIDAS Y SUELOS ESTABLES "

PERFORACIONES VERTICALES

En suelos en los cuales se perforan pozos fácilmente las perforaciones verticales se hacen rápidamente generalmente con una broca de hélice abierta teniendo 2 o 3 giros en un solo paso. La broca contará con una cuchilla afilada o con dientes cortadores, en ambos casos tendrán que ser hechas de acero duro o revestido con soldadura de tungsteno, que asegure una vida más larga, sobre todo en suelos abrasivos.

En general la broca de cuchillas es usada en suelos uniformes, suaves o que tienen una consistencia firme, mientras que la broca dentada es usada en suelos rocosos, duros, cementados o muy arcillosos, en los cuales las cuchillas no efectúan el corte.

Pueden lograrse mejores resultados con las cuchillas cuando la broca avanza lo suficiente para realizar un corte uniforme, pero sin ocasionar un efecto de tirabuzón en el suelo. Una broca bien diseñada tiene una cuchilla cortadora en los lados (rimadores), así como también en la parte inferior para poder hacer una perforación limpia y asegurarse que cuando la broca esté dentro de la

perforación podrá ser levantada sin tener que recortar o romper el suelo en su periferia.

La cuchilla y los dientes de la broca deben estar siempre afilados. Perforar con herramientas en malas condiciones ocasionan pérdidas en tiempo y dinero.

USO DE AGUA EN PERFORACIONES CON BROCA

En algunos suelos arcillosos, particularmente cuando el nivel freático se encuentra a una profundidad considerable, se puede perforar rápidamente, aunque en ocasiones se pueden presentar estructuras de roca fragmentadas o de fácil desmoronamiento que dificultan la perforación. En la práctica es común, cuando se han llegado a encontrar este tipo de suelos, agregar agua mientras se lleva a cabo la perforación. Esto produce una capa uniforme de suelo húmedo cohesivo y remoldeado en la pared lateral de la perforación, permitiendo algunas ocasiones, que la pila sea completada sin ademar y sin que ocurran derrumbes.

PERFORACIONES INCLINADAS

Las pilas de cimentación inclinadas son frecuentemente usadas para proporcionar reacciones con componentes horizontales tanto a compresión como a tensión y son generalmente usadas en puertos. La mayoría de las perforadoras montadas sobre grúa están diseñadas para poder trabajar con la broca y el barretón a cualquier ángulo entre el plano vertical y el horizontal. La mayoría de las perforadoras pueden dar ángulos mayores de 45 grados con respecto a la horizontal.

El equipo montado sobre camión diseñado para perforar con bote, generalmente no tiene la capacidad de trabajar con la torre inclinada. En este tipo de maquinaria, la inclinación se obtiene inclinando toda la máquina, longitudinal o transversalmente, para la práctica se considera que el límite de inclinación es de 30 grados con respecto a la vertical.

Los problemas de perforación para pilas inclinadas no se limitan a la colocación inclinada del barretón y la torre del equipo. Colocar al ángulo de inclinación requerido, es usualmente sencillo además que se puede hacer con mucha exactitud.

La dirección si se coloca sin mucha precisión, se determinará por la observación de la dirección de la torre inclinada lo cual se hace por medio de instrumentos topográficos. Una variación en la dirección de la perforación inclinada, generalmente no es de gran importancia.

Posiblemente haya una tendencia al cambio de la pendiente en la perforación inclinada mientras ésta se está realizando. Si la formación del suelo es homogénea (lo que rara vez sucede) habrá una tendencia del ángulo a modificarse de acuerdo a las características del suelo mientras se lleva a cabo la perforación.

En formaciones compuestas por capas, la deflexión puede ser ascendente o descendente dependiendo de la orientación y la secuencia de los estratos más duros o más suaves. La mayoría de las desviaciones usualmente no tiene importancia estructural para las perforaciones de las pilas. Por el contrario, las desviaciones de las perforaciones son muy importantes, cuando éstas serán destinadas para la explotación de un manto acuífero. Esto es también importante cuando se trata de explotar una serie de pozos interconectados diseñados para interceptar un flujo subterráneo de agua.

El alineamiento de las perforaciones es un problema tanto en del contratista como del supervisor.

Es importante que los planos y las especificaciones sean revisadas antes de firmar un contrato, para evitar problemas posteriores. El contratista deberá reconocer qué es lo que puede hacer de acuerdo a los requerimientos antes de empezar la obra. El proyectista que considera que las tolerancias propuestas en cuanto a inclinación y dirección son las máximas permitidas, deberá dar medidas que permitan solucionar problemas tales como: un diámetro de perforación mayor o una perforación más profunda, o un incremento en el refuerzo del armado de la pila.

En las perforaciones inclinadas hay más tendencia al derrumbe que en las verticales, incluso en la misma formación, y en consecuencia, los requerimientos en cuanto al ademe, se refieren serán más críticos, además que las perforaciones con ensanchamientos serán más difíciles que en el caso de verticales, debido a ésto es recomendable utilizar ademes que eviten el derrumbe de la pared superior de la perforación en algunos casos es conveniente dejar el ademe perdido para que garantice la estabilidad de la perforación.

PERFORACIONES EN SUELOS DUROS Y ROCAS

Para suelos duros o rocosos o con rocas blandas o alteradas, las brocas o herramientas usualmente están fabricadas con acero duro y se prefieren los dientes cortadores a la cuchilla. Este tipo de herramienta es muy resistente, y se usa con maquinaria de suficiente capacidad, y perfora en la mayoría de los suelos formados por conglomerados, de arcillas compactas o rocas alteradas, con una velocidad considerable.

En algunos casos los boleos duros tendrán cualquier tipo de broca. Si la roca no es mayor que aproximadamente un tercio del diámetro de la perforación, esta podría ser extraída con la broca o con una broca especial llamada extractor de boleos o algunas veces con una almeja. Si una roca es demasiado grande o el suelo es muy compacto, se deberá romper previamente. El rompimiento de los obstáculos puede en ocasiones hacerse dejando caer el barretón equipado con herramientas como cuñas (lo que no es muy recomendable) o con un barretón perforador, o con una rompedora de boleos la cual es una broca que tiene en la punta una cuña rompedora.

Otros medios para romper obstáculos al estar haciendo la perforación son:

- 1) Usar una rompedora hidráulica de rocas.
- 2) Inyectar lechada de cemento expansiva en agujeros de diámetros pequeños perforados en los boleos.
- 3) Colocando barrenos explosivos y controlando las voladuras.

Los pedazos pueden ser sacados de la perforación por una almeja, una broca o incluso a mano (lo cual es difícil y caro). Una formación de boleos es una de las más difíciles de perforar, especialmente cuando la perforación tiene tendencias al derrumbe.

Cuando la broca se detiene debido a la existencia de capas delgadas de roca dura (muchas veces intercalada con suelos con rocas alteradas, o por capas de suelo que se han cementado), las técnicas anteriormente citadas pueden ser utilizadas para romper estas capas, o también pueden utilizarse las brocas con dientes duros de metal.

En las perforaciones que se tienen que hacer en pizarras o rocas intemperizadas, la penetración usualmente se puede llevar a cabo mediante la broca dentada, o en condiciones más difíciles de perforación, mediante una broca especial para roca. Existen muchos diseños de brocas para perforar rocas y la elección de una en particular dependerá del tipo y las condiciones de la roca, el suelo, la

existencia de capas distintas de suelo, el nivel freático, etcétera, y la experiencia del contratista.

Una perforación efectiva en la roca dependerá también del trabajo y la experiencia del operador. Si se aplica demasiada presión (de manera que se clave) se pueden romper los dientes, o también una rotación demasiado rápida puede sobrecaleentar y quemar los dientes. Con la velocidad y presión correcta los dientes de la broca fracturaran, pulverizarán o causaran abrasión en las rocas.

" PERFORACIÓN EN SUELOS INESTABLES "

Ocasionalmente cuando se hace una perforación en un estrato suave o sin cohesión, se ha encontrado que existe una tendencia al derrumbe, lo que reduce el diámetro de la perforación, mientras esta se lleva a cabo. Si se permite que esto suceda se corre el riesgo de que haya una reducción en el diámetro de toda la perforación, además de una pérdida de suelo y retrasos al levantar la broca.

Siempre que se encuentre la tendencia al derrumbe, se tendrá que usar un ademe para limitar este terreno tanto como sea posible. El ademe tendrá que ser guiado o hincado previamente a la excavación para hacer que éste pade la zona de suelo derrumbable.

Se debe recordar, que aunque se encuentre suelo firme o roca por debajo, y se proceda a la perforación bajo la zona ademada el suelo derrumbable sellará el ademe. Una buena recomendación sería dejar el ademe en este tipo de perforaciones en el nivel donde se encuentra el derrumbe.

Dondequiera que se encuentren suelos inestables en la perforación para una pila (o cualquier excavación) habrá una pérdida potencial de suelo, causando asentamiento cerca de la excavación, es por esto que se debe tener cuidado para no causar daño a las estructuras adyacentes.

Los suelos no cohesivos (gravas, arenas o sedimentos) bajo el nivel freático, usualmente se derrumbarán al ser perforados por una broca. Algunas excepciones ocurren cuando el suelo está cementado. Convencionalmente en arenas finas no saturadas se desarrolla una cohesión aparente por capilaridad del agua proporcionando estabilidad durante la perforación al menos por periodos limitados. De cualquier modo estas fuerzas de estabilidad intergranular disminuyen con un incremento en el grado de saturación y se pierde al llegar a la completa saturación.

Los suelos gruesos no saturados tales como gravas tienden a derrumbarse a menos que estén mezclados o contengan partículas de arcilla o sedimentos arcillosos.

" ESTABILIZACION DE LA PERFORACION "

En algunas perforaciones en que el suelo no es capaz de sostenerse por sí mismo debido a la falta de cementante en su estructura, será necesario la estabilización del mismo mediante procedimientos que han sido probados por mucho tiempo en la práctica con resultados satisfactorios de los cuales se expondrán algunos (los más comunes) a continuación.

De acuerdo a las características del suelo se usará la técnica más adecuada para su estabilización.

El procedimiento de abatimiento funciona bien en la mayoría de los casos en arenas finas bien graduadas. Como el nivel freático se está abatiendo fuera de la perforación, las fuerzas de presión de poro alrededor de la periferia de la perforación están invertidas; las fuerzas de capilaridad actúan en forma ascendente, lo que permite mantener las paredes de la perforación estables, se puede estabilizar la perforación a través de los estratos.

En donde las condiciones del suelo son favorables se puede usar el método del abatimiento del nivel freático, logrando los mismos resultados que si se usara ademe para sellar el estrato inestable. De cualquier modo, cuando se presentan suelos altamente compresibles el uso de esta técnica puede producir hundimientos en el suelo, y los efectos en las estructuras adyacentes se deberán tener también presentes.

El método más usual y directo al trabajar en suelos inestables es ademar conforme la perforación avanza a través de la formación inestable. Es como perforar el barrenado de un diámetro mayor que el diámetro del ademe que se usará. Este espacio libre se considera de aproximadamente 5 cm. perimetrales.

Aún en suelos inestables es posible hacer la perforación rápidamente y colocar el ademe libremente antes de que se presenten sobredimensionamientos en la perforación, pero habrá casos en que las condiciones particulares del suelo no permitan realizar lo anterior.

De cualquier modo se cuenta con diferentes técnicas que de una u otra manera mantendrán la perforación abierta mientras esta se lleva a cabo y permitirán el avance del ademe en la misma, así como el colado cuando la perforación se complete.

Un método consiste en mantener una carga de agua durante el perforado -esto es mantener la perforación llena de agua de modo que la presión hidrostática sea suficiente para evitar el derrumbe de suelo en el fondo - y alternar el perforado o el hincado del ademe por debajo de la punta de la broca, perforando para remover el suelo sin que el ademe se mueva (la perforación no se debe hacer bajo el ademe).

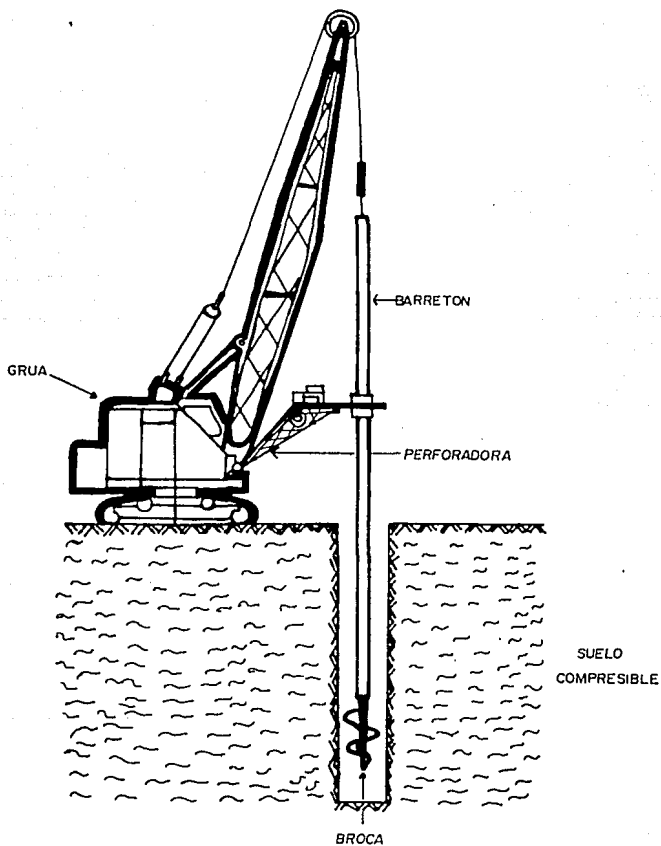
Otro método utilizado es el aislamiento del nivel freático el cual consiste en perforar con un diámetro mayor que el diámetro del ademe hasta encontrar la capa de arcilla impermeable procurando no traspasarla, ahí se empotra el ademe, se saca el agua que haya quedado en el mismo y se continúa con la perforación en seco hasta llegar a la profundidad requerida de desplante pudiendo así realizar los trabajos en seco de ampliación del área y supervisión de los mismos.

En el caso de suelos formados por arenas finas poco estables que no contengan cementante que sostenga la perforación, es usada comúnmente la técnica de estabilización con lodo bentonítico, la cual consiste en inyectar una mezcla de agua y bentonita (7-10% de bentonita del volumen total del agua) llamada lodo bentonítico el cual debe sustituir progresivamente el material extraído de la perforación teniendo especial cuidado de mantener el nivel del mismo muy cercano al brocal, para que actúe la máxima carga hidrostática sobre las paredes de la perforación.

Dadas las propiedades expansivas del lodo bentonítico este estabiliza las paredes formando una película plástica e impermeable con lo que impide el paso del agua hacia el interior de la perforación.

Es importante hacer notar que la mezcla se deberá hacer 12 horas antes de usarse en la perforación. En algunos casos el lodo puede utilizarse nuevamente aunque generalmente esto no es costoso.

DIAGRAMA DE EQUIPO DE PERFORACION



" PERFORACION PARA PILA DE CIMENTACION "



"ACERO DE REFUERZO"

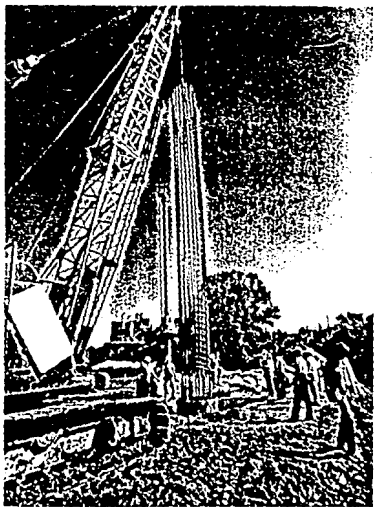
Una vez realizada la perforación se coloca el acero de refuerzo, el cual deberá habilitarse previamente de acuerdo a las especificaciones del proyecto. Se tendrán que tomar las precauciones para asegurar que el armado se mantendrá centrado durante el colado, para lo cual se colocarán separadores perimetrales de acero o de concreto. La colocación del armado se hará con la grúa, teniendo cuidado al realizar las maniobras.

El acero de refuerzo deberá cumplir con las especificaciones del proyecto y deberá estar libre de lodo, grasa, aceite o de cualquier otro recubrimiento superficial que pudiera alterar la adherencia acero-concreto.

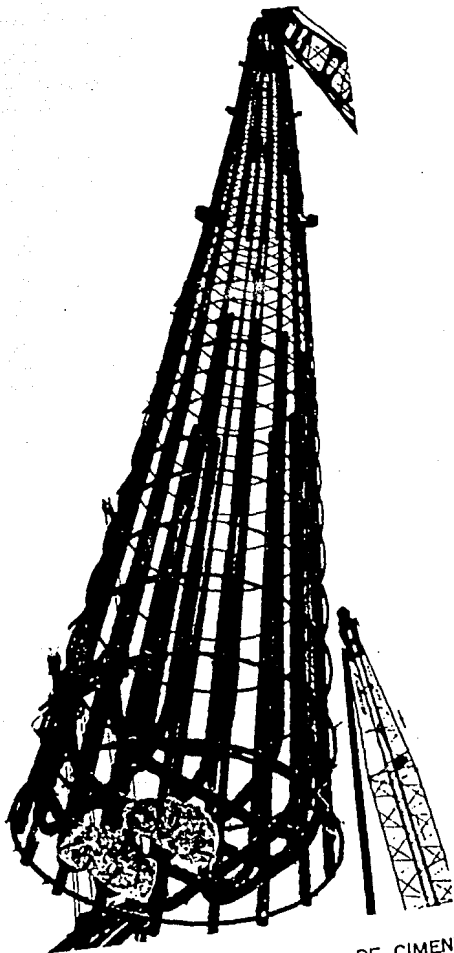
Los armados de refuerzo se diseñarán de manera tal que sean estables en la maniobra de colocación y durante el colado del concreto. El espacio entre varillas deberá ser al menos 1.5 veces el tamaño máximo del agregado.

Para el corte y el armado del acero de refuerzo debe planearse su "secuencia de utilización" con el objeto de que además de procurar que los empalmes o traslapes no queden en la misma sección transversal, de acuerdo a los reglamentos respectivos, se logre un aprovechamiento más racional del mismo.

Cuando un elemento estructural requiere varillas de mayor longitud que las que normalmente se fabrican, se recurre a traslaspas o empalmas para alcanzar la longitud requerida en los planos del proyecto. Para varillas del No. 8 y menores, se recomiendan usar traslapes de longitud equivalente a 40 diámetros de la varilla, aunque nunca menores de 30 cm. Para las varillas del No. 10 o mayores no se aconseja el traslape y debe recurrirse al soldado de las mismas.



COLOCACION DE ACERO DE REFUERZO
EN EL
INTERIOR DE UN ADEME METALICO.



ACERO DE REFUERZO PARA PILA DE CIMENTACION

" PREPARACION DE LA PERFORACION PARA EL COLADO "

Cualquier perforación destinada para una pila de cimentación cuya estabilidad dependerá de su apoyo en el subsuelo, deberá ser limpiada cuidadosamente antes del vaciado del concreto en la misma. En algunos suelos es posible perforar y lograr que el fondo de la perforación quede limpio. De cualquier modo, en algunas perforaciones con ensanchamientos y también en perforaciones rectas se requerirá hacer a mano la limpieza de la misma para tener una superficie de apoyo adecuada.

Al descender a quien hará la limpieza a mano de la perforación, se le proporcionará las herramientas y las medidas de seguridad adecuadas.

" COLOCACION DEL CONCRETO "

La colocación del concreto en una perforación se debe hacer tan pronto como sea posible, ya que así se evitarán problemas de derrumbes, contaminación, entrada de agua a la perforación o dificultad para sacar el ademe.

La forma en que se realice el colado es muy importante, ya que muchas pilas defectuosas son el resultado de un colado mal hecho.

Una vez que la perforación ha sido terminada y limpiada, y se ha colocado el acero de refuerzo, el concreto se deberá colocar de manera de que se evite la segregación de agregados, la infiltración de aguas o cualquier otro factor que pueda disminuir la resistencia del mismo, o la capacidad de soporte de la pila terminada.

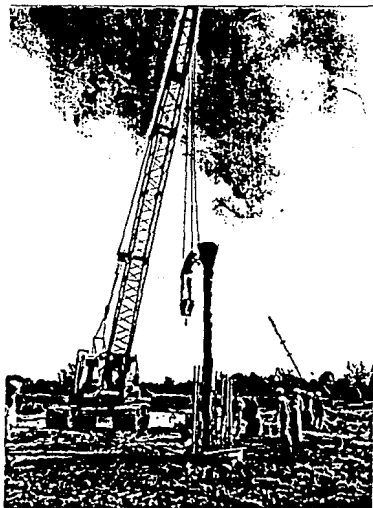
La colocación del concreto se hará por medio de un embudo acoplado a un tubo tremie, colocado al centro de la perforación de manera que el concreto caiga libremente sin obstáculo como serían el acero de refuerzo o las paredes mismas de la perforación.

El diámetro del tubo tremie será pequeño en comparación con el diámetro de la perforación.

El colado de la pila de cimentación puede ser:

- En seco
- Bajo agua
- Aislado el nivel freático

" COLOCACION DEL TUBO TREMIE PARA EL COLADO "



COLADO EN SECO :

La colocación del concreto se hará por medio de un embudo acoplado al tubo tremie, colocado al centro de la perforación de manera que el concreto caiga libremente.

El diámetro del tubo será menor que el diámetro de la perforación y contará con ventanas laterales que permitan escapar un embudo auxiliar que se colocara conforme el concreto vaya subiendo dentro de la perforación, teniendo cuidado que la distancia de la punta del tubo al nivel superior del concreto no sea mayor de 1.00 m.

El concreto se dejará al nivel de desplante que marca el proyecto.

COLADO BAJO AGUA :

En este caso el tubo tremie estará acoplado en tramos que no permitan la entrada de agua dentro del mismo.

El colado se inicia colocando el tubo dentro de la perforación, que se encuentra llena de agua, por lo que para desplazar el agua alojada dentro de la tubería se lanza una pelota de igual diámetro que el tubo (diablo), la cual actuará en forma de émbolo al vaciar el concreto dentro de la tubería, lo que impide que el agua se mezcle con el concreto, logrando así un colado totalmente en seco.

Durante el colado se deberá mover verticalmente el tubo tremie cuando esté lleno de concreto, para desalojar el mismo y a la vez proporcionar un efecto de acomodado.

Si se está colando una pila de longitud considerable y la presión inferior del concreto dentro de la pila no permite la fluidez del mismo, es conveniente quitar uno o varios tramos de tubo teniendo especial cuidado que la punta del tubo quede introducida al menos 1.00 m. dentro del concreto.

El colado se continuará hasta que la totalidad del agua o lodo bentonítico sea desalojada completamente de la longitud del fuste de la pila, y advertir que el concreto quede aproximadamente a 50 cm. más arriba del nivel de desplante de proyecto para garantizar que la cabeza de la pila quede libre de contaminación. Estos 50 cm. se deberán rebajar cuidadosamente en un lapso no mayor de 24 h. para facilitar el desoabe de la pila con mayor facilidad y manualmente.

El lograr un colado "perfecto" dependerá de dos factores :

" COLOCACION DEL EMBOLO DENTRO DEL TUBO TREMIE "



- 1) El revenimiento del concreto que deberá ser de 16 mm a 2 cm.
- 2) El garantizar un colado continuo que evite que cambie la consistencia del concreto.

CÓLADO AISLANDO EL NIVEL FREÁTICO :

Una vez aislado el nivel freático (como se indicó anteriormente), hecha la perforación y colocado el acero de refuerzo dentro de la misma, se procede a la colocación del concreto. En este caso, el tubo de adema que se hincó previamente (al hacer la perforación), deberá permanecer hasta la etapa final del colado.

El colado se hará a un nivel superior al nivel de desplante del proyecto, de manera tal que al retirar el tubo de adema el concreto llene el perímetro exterior al tubo garantizando que la cabeza de la pila quede al nivel indicado en el proyecto.

A continuación se describen los métodos más comunes para la construcción de pilas de cimentación, dichos métodos son un conjunto de los procedimientos descritos anteriormente.

METODO SECO

El método seco puede aplicarse en suelos sobre el nivel freático donde no existe peligro de derrumbe o socavación al perforar el pozo hasta el fondo. Por ejemplo un suelo que cumple con esta especificación sería una arcilla homogénea y firme. En algunos casos puede emplearse el método en suelos arenosos arriba del nivel freático si son cohesivos o si una cohesión aparente les permite sostenerse durante cierto lapso.

También puede aplicarse el método seco en el caso de suelos debajo del nivel freático, si la permeabilidad es tal que la filtración en el pozo es mínima mientras permanece abierto.

El primer paso es colocar el equipo de perforación en el sitio indicado por las estacas y seleccionar la broca de acuerdo a las condiciones encontradas por el estudio de mecánica de suelos. Se efectúa la perforación hasta su profundidad total depositando el material excavado en un lugar conveniente para su remoción posterior.

El tiempo que se requiere para terminar la excavación dependerá naturalmente de las condiciones del suelo y de la geometría del pozo. Pueden hacerse perforaciones de pozos con diámetro de un metro y profundidad de 20 m. , a través de una arcilla dura, en menos de 30 min. Se requerirá más tiempo si se encuentra boleó o roca. Pueden barrenarse pozos con diámetro hasta 3m. y se dispone de equipos en el mercado que permiten hacer perforaciones hasta de 35 m.

Una vez alcanzada la profundidad total de la perforación a la profundidad del diseño puede utilizarse un ampliador o ensanchador en el fondo de la perforación. El porcentaje de acero de refuerzo que se emplea y la longitud del pozo que va a reforzarse se determina en base a las condiciones de carga. En algunos casos puede omitirse el refuerzo de acero, mientras que en otros será necesario colocarlo en toda la longitud del pozo.

En la cimentación terminada, el pozo se ha llenado totalmente con concreto, la cimentación es compatible con la superestructura en cuanto a características y posición, y su capacidad de carga es tal que puede soportar la carga aplicada con un factor de seguridad adecuado.

METODO DE ADEME

El empleo de ademes es aplicable cuando las condiciones del suelo implican derrumbes o deformación excesiva de la perforación al hacerla. Un buen ejemplo lo constituye un suelo arenoso limpio que se encuentre debajo del nivel freático.

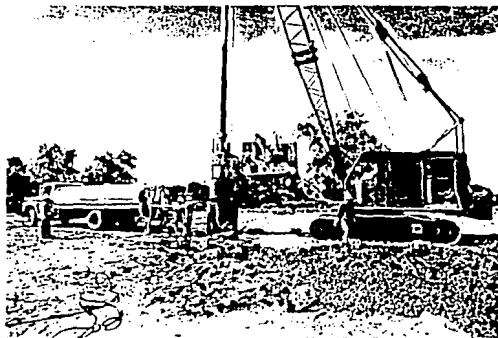
Si existe un suelo cohesivo cerca de la superficie, de manera que no se presente un riesgo de derrumbe, puede iniciarse la perforación como en el caso del método seco. Al encontrar el suelo suelto se introduce una mezcla fluida en el pozo y se procede a la perforación, el lodo se mezcla en el lugar empleando bentonita seca.

Según la condición de la superficie del suelo, la elevación superior de la columna de lodo puede mantenerse ligeramente arriba del suelo suelto, o bien puede llevarse hasta la superficie. Así puede prepararse el lodo con los suelos del sitio, mezclándolos con agua, esta técnica tiene grandes ventajas si la perforación puede efectuarse sin dificultad.

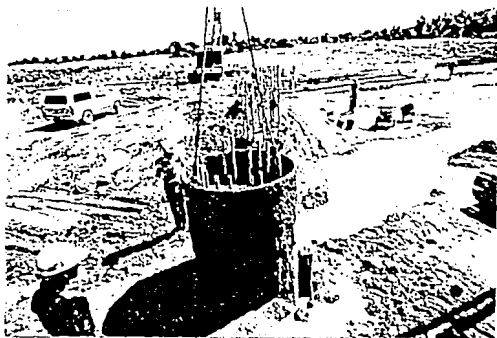
La perforación se continúa hasta pasar la capa de suelo suelto y encontrar un estrato impermeable. Se introduce entonces el ademe y se coloca un dispositivo en el barratón del equipo para introducir el ademe con un movimiento rotativo en el suelo impermeable hasta crear un suelo adecuado. Debe escogerse un tramo de ademe de longitud adecuada pues la distancia entre la superficie del terreno y la masa rotatoria del equipo perforador es limitada.

Se coloca un cucharón de limpieza en el barratón y se extrae el lodo del interior del ademe. Luego se introduce una broca más delgada en la perforación, que pueda pasar por el ademe, y se procede a terminar la excavación a la profundidad del diseño. Luego puede acoplarse un ensanchador para ampliar el fondo de la perforación. Mientras se efectúa esta operación, habrá lodo en el espacio anular entre el exterior del ademe y el interior del tramo superior del pozo. Por tanto, es sumamente importante lograr un sello adecuado en la formación impermeable, de manera de evitar el flujo del lodo debajo del ademe. Algunas veces resulta necesario fijar dientes en el fondo del ademe con el fin de penetrar el suelo impermeable y así asegurar el sello. Evidentemente no es posible utilizar el método del ademe si no se logra el sello o si no existe una formación

" PERFORACION EN EL INTERIOR DEL ADENE "



" EXTRACCION DEL ADEME "



impermeable a través de la cual pueda perforarse el tramo interior del pozo, la dificultad de establecer, mediante barrenos exploratorios, si existe o no una formación de baja permeabilidad a una profundidad que permita fijar la base de la pile de manera adecuada, ha sido motivo de gran número de controversias entre ingenieros y contratistas.

Si se proyecta introducir refuerzo de acero armado en perforaciones, según el método del ademe, aquel debe llevarse hasta el fondo.

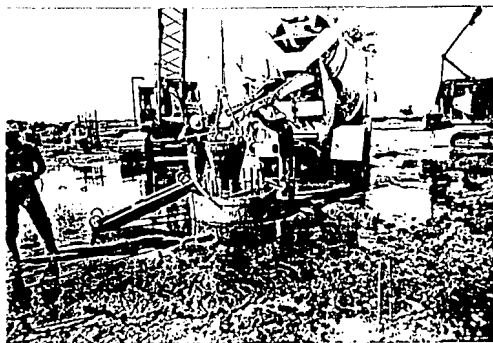
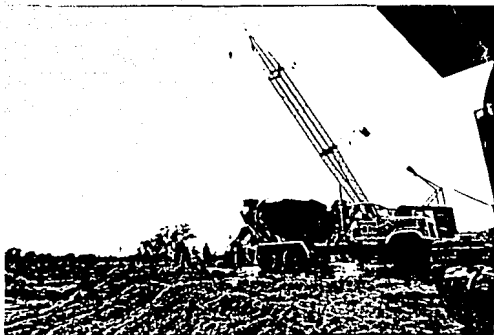
Al colocar el acero de refuerzo debe llenarse en su totalidad la perforación con concreto fresco que posea buenas características de flujo. No debe extraerse el ademe hasta que el concreto haya llenado el pozo completamente para evitar los riesgos asociados con la ruptura del sello en su base. Solo puede extraerse el ademe cuando la presión hidrostática en la columna de concreto es suficiente para expulsar el lodo atrapado detrás del ademe hacia la superficie. La operación más crítica del método es la antes citada: Si no hay suficiente presión hidrostática en el concreto líquido al fondo del ademe, el lodo se colará en el pozo y puede provocar serios problemas (discontinuidades) en la pile. En el caso de colar el concreto a una elevación adecuada, pero que ha empezado a fraguarse, o bien el reventamiento ha sido insuficiente, la fricción entre el concreto y el interior del ademe puede causar un movimiento de la columna de concreto hacia arriba al sacarse el ademe, de manera que el lodo queda en el pozo, provocando la falla del cimiento a una carga menor que la del diseño.

El tramo superior de la columna de concreto debe desplazarse hacia abajo con respecto al armado al extraer el ademe. Este movimiento hacia abajo de la columna de concreto impondrá una fuerza en el mismo sentido al refuerzo, de una magnitud que dependerá de la resistencia al corte del concreto fresco a la velocidad de flujo que impera, y del área de superficie expuesta a los elementos del armado. Este puede fallar por pandeo debido a torsión, por debilidad en las juntas o, posiblemente, por doblamiento de una sola varilla.

Hay casos donde el perfil del subsuelo es tal que solo existe un estrato delgado del suelo suelto. Es factible entonces, eliminar el empleo de lodo e introducir el ademe al encontrar el suelo no cohesivo. Se fuerza al ademe a través del estrato delgado de un movimiento rotatorio hasta penetrar nuevamente en el suelo impermeable inferior.

En ocasiones puede encontrarse mas allá del nivel freático un sitio donde el suelo suelto sea una arena de arcilla firme subyacente. Sin embargo, pueden producirse asentamientos de consideración en la superficie debido a la

" COLOCACION DEL CONCRETO EN LA PERFORACION "



ensificación de la arena, de manera que en la vecindad de otras estructuras este procedimiento no siempre es aceptable.

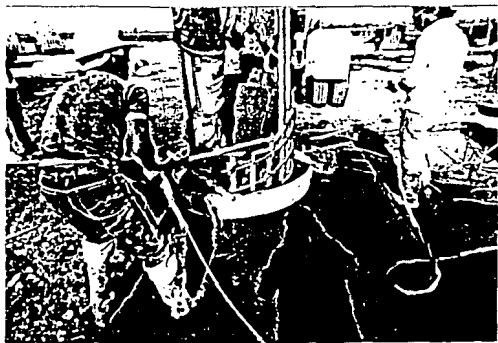
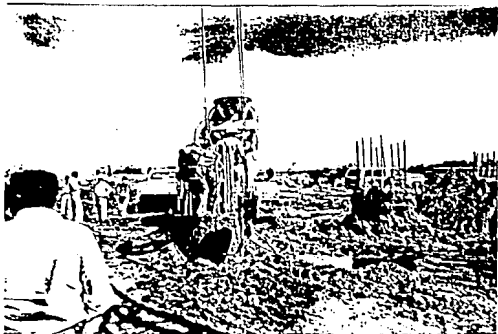
METODO DEL LODO DESPLAZADO

El método del lodo desplazado puede aplicarse en todas las condiciones de suelos descritos anteriormente. Quizá resulta el más indicado en sitios donde no es factible sellar un ademe sin recurrir a técnicas especiales.

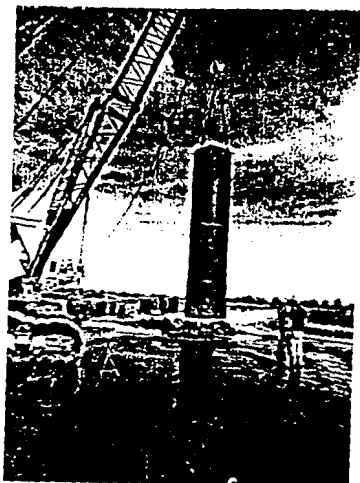
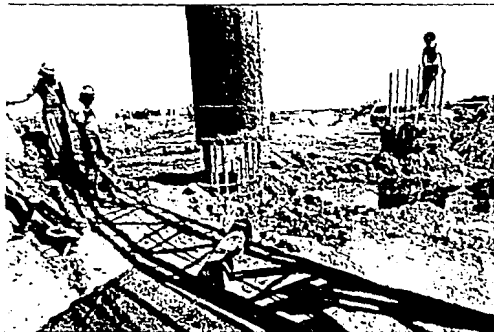
Se inicia el proceso constructivo según el método seco hasta topar con una formación de suelo suelto. Entonces se introduce una pasta fluida o lodo en la perforación, como en el caso del método del ademe y se procede a seguir perforando. Alternativamente se "enloda" el pozo, hasta una consistencia tal que se mantengan en suspensión las partículas de suelo granulares. Si es necesario priorar un estrato de arcilla éste se retirará a través del lodo. Debe escogerse una broca y una barrena que permitan el libre flujo del lodo con el fin de evitar la formación de un vacío debajo de la broca y el consecuente derrumbe de las paredes de la perforación. Si se proyecta el empleo de acero de refuerzo, debe colocarse en el lodo. Después de colocar el armado se procede al colado del concreto.

Los datos escasos referentes a pilas y pilotes colados en el sitio, contruidos según el método del lodo desplazado, revelan que la magnitud de la transferencia de carga en resistencia lateral es próxima a la que se logra cuando se aplica al método seco. En cuanto a la transferencia de cargas en el punto de apoyo, se han logrado valores aceptables. Se requiere un buen control de los detalles constructivos para asegurar una cimentación de buena calidad cuando se emplea este método.

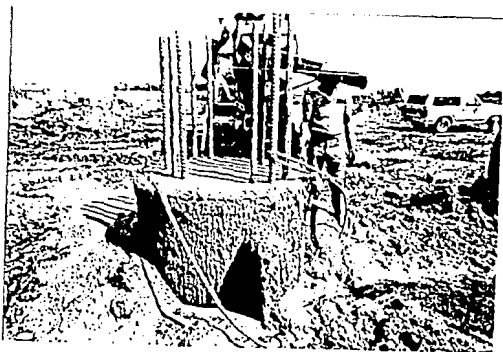
" EXPULSION DEL LODO BENTONITICO "



" EXTRACCION DEL ADEME DESPUES DEL COLADO "



" CONCRETO SANDO DESPUES DEL COLADO "



PILOTES

Para la fabricación de pilotes se deben establecer ciertos requisitos mínimos así como procedimientos básicos de construcción para poder satisfacer los requisitos de diseño referente a la calidad, resistencia y durabilidad del material bajo cualquier condición, ya sea que se fabriquen en planta o en el sitio de la obra.

" PILOTES PREFABRICADOS E HINCADOS A PERCUSION "

Los pilotes de concreto se fabrican mediante el colado sobre camas de colado, las cuales son plataformas de concreto simple de 5 a 10 cm. de espesor coladas sobre una base de material compactado, que sirven para el apoyo y fijación de los moldes para fabricación de los pilotes; para esto último tiene integrados algunos elementos de madera o metal que ayuden a la fijación de la cimbra.

Los moldes reciben el concreto y generalmente se forman a base de cimbras de maderas o metálicas, o sus combinaciones, que permiten darle al pilote la sección requerida. Deben estar diseñados para soportar las presiones del concreto durante su colocación y vibrado y suficientemente rígidos para conservar su forma sin alteraciones.

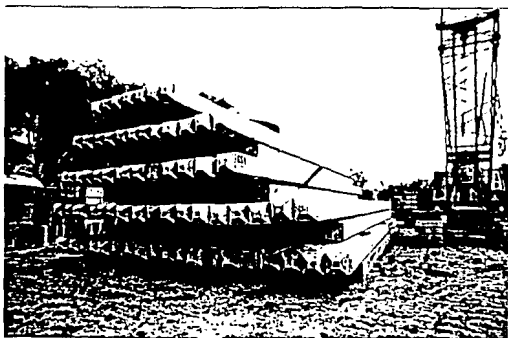
Los moldes o cimbras más comunes por su facilidad de manejo tanto en su instalación como en el colado son los que se emplean para pilotes de sección cuadrada y es usual realizar el ciclo de fabricación de manera tal que sea posible usar los mismos pilotes ya colados en una primera fase como cimbra de los siguientes.

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

Después de despegar y transportar los pilotes de las camas de colado al lugar de hincado que deberá estar trazado con estacas referenciadas, es conveniente :

- Colocar marcas a una separación máxima de un metro a todo lo largo del pilote con el fin de determinar con facilidad el número de golpes para cada metro de hincado.

PLATE 11. THE MANTLEHEAD OF TUSSE



- Hacer una perforación previa para garantizar la verticalidad del pilote, o en su caso hacer "cajas" orientadas en el terreno natural de acuerdo a las dimensiones del pilote.

- Izar el pilote manejándolo con estrobos apoyados en los puntos correctos de acuerdo a las recomendaciones hechas (generalmente se localizan en las quintas partes del claro del pilote).

- Colocarlo en el punto de su ubicación o en la perforación previa, si existe, de acuerdo a los planos constructivos.

- Orientar las curvas del pilote si es requerido.

- Colocar en posición perfectamente vertical o en el ángulo requerido, si se trata de pilotes inclinados, tanto el pilote como la resbaladera del martillo.

Una vez hecho esto, se coloca el martillo que deberá tener una cachucha o sufridera en la parte inferior del mismo, la cual deberá tener un material amortiguante para evitar el daño por impacto en la cabeza del pilote, así como el símbolo inferior del martillo.

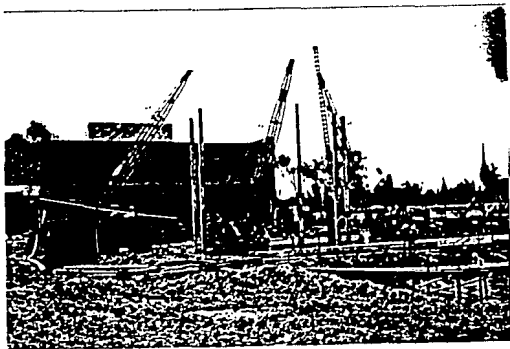
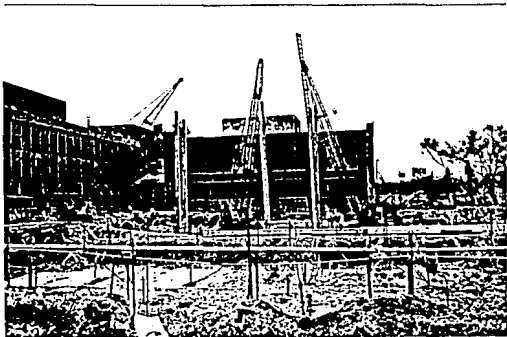
Se procede a accionar el martillo para que dispare e hinque el pilote, chequeando el plomo del pilote en dos direcciones durante el proceso de hincado.

Existen en el mercado equipos accionados por energía a base de diesel, vapor o presión hidráulica.

Este mismo procedimiento se utiliza para pilotes de acero ya sea tubulares o de vigueta, así como en trabajos de pantallas de tablestacados.

En el caso de pilotes hincados en suelos granulares (arenas) se colocará el pilote en la punta (antes del colado del mismo) un tubo que permita la inyección de agua a alta presión durante el hincado de manera que se facilite la penetración del pilote en el suelo.

CONSTRUCTION OF THE PORT OF BANGALORE



CAPITULO VI



"HERRAMIENTA

EQUINO"

HERRAMIENTA Y EQUIPO

En la época prehispánica el hacer excavaciones a mano era común con el fin de extraer agua del subsuelo. Estas excavaciones eran llamadas norias, pozos indios o a cielo abierto, y a la fecha aún se siguen haciendo en muchos lugares de México.

Otros antecedentes de las cimentaciones profundas era el uso de estaciones de madera hincados a golpes mediante un peso sujeto a una cuerda y un tripie, los cuales tenían una longitud máxima de aproximadamente 4.00m.

Con la llegada de los españoles cambiaron las técnicas de las herramientas de construcción usadas hasta entonces, estas nuevas técnicas fueron cada vez más eficientes. Se empezaron a usar cuerdas de henequén, herramientas de acero, se aprovechó la fuerza de las bestias de carga, etc.

Pero no es sino hasta el presente siglo cuando llegan a México las primeras máquinas para la construcción de cimentaciones profundas, dada la necesidad de construir estructuras de mayor magnitud y seguridad.

Los primeros equipos utilizados eran accionados por vapor y tenían muchas limitaciones, sobre todo para su desplazamiento dentro y fuera de la obra, dadas sus grandes dimensiones.

La evolución acelerada de estos primeros equipos, fue a consecuencia de la segunda guerra mundial, ya que las presiones en cuanto a tiempo se refería crearon la necesidad de construcciones rápidas, para lo cual se requería el uso de equipos eficientes y de fácil transportación.

Para el hincado de pilotes, surgieron los primeros martillos, de fabricación alemana, accionados por diesel, que en México llegaron en la década de los cincuentas, y muchos de los cuales aún siguen funcionando eficientemente.

En un principio el martillo se montaba en una torre acoplada a una base que consistía en una cama de durmientes sobre los que se colocaban rieles y encima de ellos una rueda de acero, sobre esta se acoplaba un triángulo de acero que giraba sobre la rueda para dar movimiento circular. Para el avance longitudinal se desplazaba la rueda sobre los rieles. Para dar el movimiento deseado, se tenían que hacer

varias combinaciones de los movimientos anteriores, lo que resultaba una gran pérdida de tiempo.

Dada la dificultad que para manear este equipo había, posteriormente se acopló el martillo a la grúa, lo cual resultó un éxito, ya que se agilizaron las operaciones para montar el equipo y para la operación misma del martillo. Este tipo de equipo es el que se sigue usando hasta la fecha pues ha resultado ser el más eficiente.

El desarrollo de los equipos de perforación tuvo lugar también después de la segunda guerra mundial, debido al auge de la construcción y a la demanda de estructuras cada vez más grandes y pesadas.

Se desarrollaron de acuerdo a los problemas que se encontraban en campo, equipos cada vez más eficientes dotados de herramientas de mayor diámetro que permitieran realizar perforaciones de mayores dimensiones. También surgieron los botes ensanchadores para hacer pilas con campana, y brocas especiales para perforaciones en suelos difíciles. Es así como finalmente se llega a la producción de equipos cada vez más sofisticados y de alto rendimiento, y a la creación de diversos tipos de equipos para perforación: perforadoras para ser acopladas a grúa, sobre orugas autopropulsadas, montadas sobre camión, etcétera, las cuales se adaptan a las necesidades de cada caso en particular para construcción de cimentaciones profundas.

Actualmente los equipos comúnmente usados en la construcción de cimentaciones profundas son:

- Grúas
- Perforadoras
 - a) Para ser acopladas a grúa
 - b) Montadas sobre camión o sobre orugas
- Martillos (diesel, hidráulicos y de vapor)
- Vibrohincadores

GRUAS:

Son equipos sobre orugas autopropulsados de gran capacidad de carga. Se clasifican de acuerdo a la misma y en la construcción de cimentaciones profundas los más comúnmente utilizados son de capacidad entre 45 y 80 toneladas. Son el equipo versátil para acoplar la maquinaria de perforación (perforadoras) e hincado (martillos), además son utilizados durante el proceso constructivo de pilas de cimentación para realizar maniobras tales como la colocación del acero de refuerzo, la extracción del ademe y la colocación de la tubería durante el colado del concreto. y

en el caso de pilotes prefabricados para el izaje y colocación de los mismos.

Tienen la capacidad de girar sobre su eje vertical, lo que las hacen muy versátiles para cualquier tipo de maniobra en campo. El principal inconveniente que presentan, es su transportación fuera de la obra, para lo cual se utilizan tractocamiones y plataformas especiales para el transporte de maquinaria pesada.

PERFORADORAS:

Para la construcción de cimentaciones profundas las máquinas perforadoras se clasifican en dos tipos:

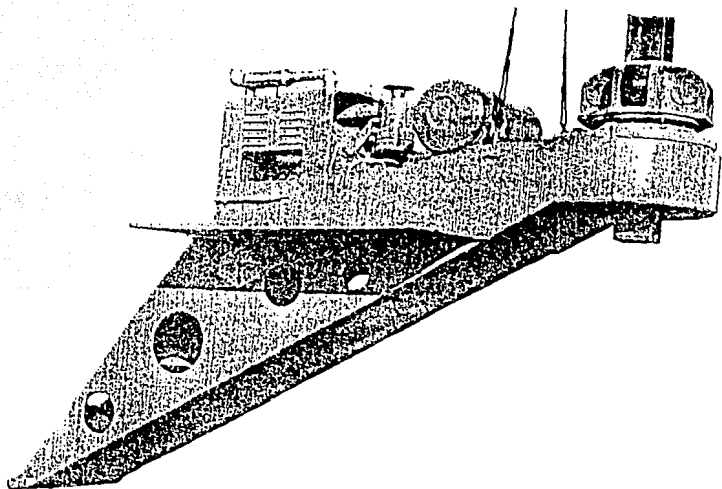
- a) Perforadoras para ser acopladas sobre grúas.
- b) Perforadoras montadas sobre camión o integradas sobre orugas.

Ambas tienen como finalidad la perforación de barrenos en el subsuelo. Esto lo realizan mediante una torre móvil la cual sostiene mediante cables una barra de acero rotatoria, impulsada por un sistema motriz, llamado vulgarmente "barretón", en cuyo extremo inferior se acopla la herramienta de ataque, ya sea un bote perforador, una broca, un trépano, un aditamento para extraer boleas o una punta de percusión dependiendo del tipo de trabajo que se lleve a cabo así como también de las condiciones del subsuelo.

Las perforadoras montadas sobre camión generalmente son utilizadas para hacer barrenos de diámetro pequeño (hasta 1.20 m), las integradas en orugas pueden llegar a perforar barrenos hasta 1.50 m, mientras que los equipos para ser montados sobre grúa pueden perforar barrenos desde .30 m hasta 3.00 m de diámetro.

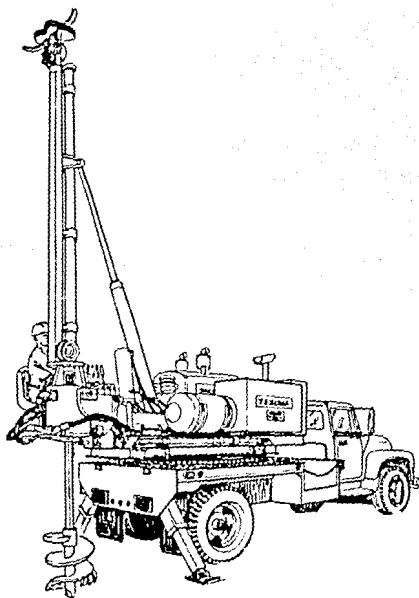
La ventaja que las perforadoras montadas sobre camión ofrecen, es su capacidad de transportarse por sí mismas tanto dentro del lugar de trabajo como fuera de él. Las perforadoras montadas sobre orugas tienen más facilidad de transporte dentro de la obra, pero para su transporte fuera de la misma será necesario un transporte especial. En cuanto a las perforadoras para ser acopladas a grúa, tienen versatilidad de movimiento en obra dadas las características de las grúas a las que se encuentran acopladas, por otra parte, para su transporte fuera de la obra se requerirá también de un transporte especial.

Existen en el mercado gran variedad de perforadoras de los tipos citados anteriormente, y la elección de una en particular dependerá de las especificaciones del proyecto.



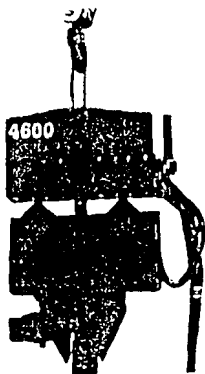
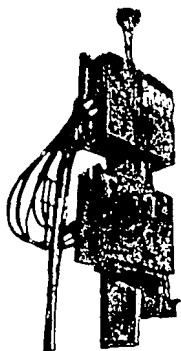
PERFORADORA PARA SER ACOPLADA

A GRUA

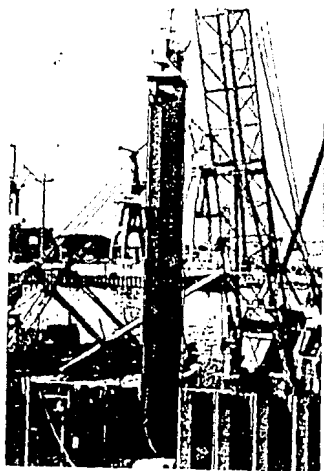
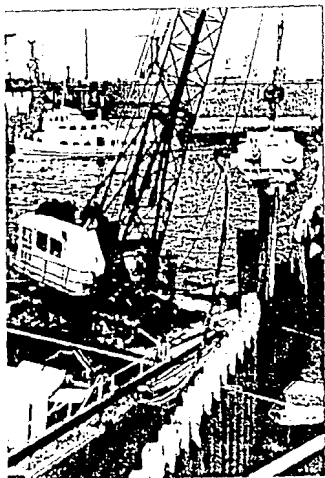
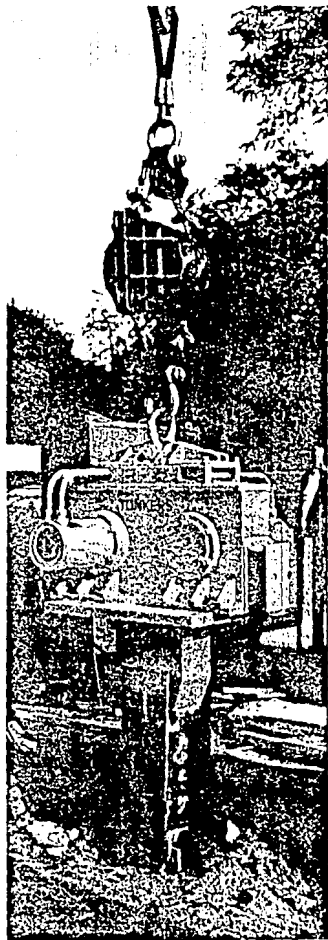


PERFORADORA MONTADA SOBRE

CAMION



VIBROHINCADORES



HERRAMIENTA

La correcta selección de la herramienta en cualquier trabajo de cimentaciones profundas será muy importante, ya que de ello dependerá en buena parte la calidad y rapidez, y por lo tanto la economía de dichos trabajos.

Para la construcción de pilas de cimentación las herramientas comúnmente utilizadas son las brocas y los botes perforadores para distintos tipos de suelos.

BOTES:

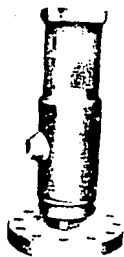
Los botes pueden ser para perforaciones verticales o para perforaciones con ensanchamiento (pilas con campana). Los botes para perforaciones verticales son cilindros de acero con una tapa articulada en la base, en la cual se localizan los elementos cortadores además de unas trampas que permiten la entrada del material cortado pero que impiden la salida del mismo. Para perforaciones en suelos duros, los elementos cortadores son dientes de acero de alta resistencia o de carburo de tungsteno. Los botes ampliadores, llamados también botes campaneros son también cilindros de acero, pero a diferencia de los anteriores, tienen un dispositivo formado por uno o dos alerones cortadores, que van sobresaliendo del bote a medida que van cortando el material en el fondo de la perforación, formando así la campana o ampliación de la base de la pila. Ambos se acoplan al barretón de la perforadora y mediante el movimiento rotatorio del mismo penetran en el subsuelo llenando su interior con el material excavado para posteriormente ser vaciado en el exterior.

BRÓCAS:

Las brocas utilizadas para la perforación de barrenos pueden ser de distintos tipos de acuerdo al tipo de suelo en el que se trabajará y a las dimensiones del barreno. Las brocas espirales pueden ser cilíndricas o cónicas y están formadas por una hélice colocada alrededor de una barra central; los elementos de corte están constituidos por dientes o cuchillas de acero de alta resistencia colocados en su extremo inferior, en la parte superior tienen una caja en donde penetra la punta del barretón para su acoplamiento, y se fijan con un perno o seguro. Las espirales cilíndricas se emplean en suelos preferentemente cohesivos y las espirales cónicas se utilizan en suelos que tienen boleos o como guía en terrenos duros.

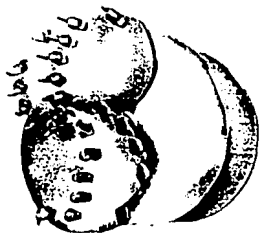


CORTADOR PARA ROCA



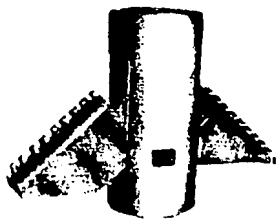
DESTORCETOR O SWIVEL
PARA INYECTAR AGUA O
LUBRIFICANTE PARA FACILITAR LAS
PERFORACIONES EN ROCA

BACCA DE DOBLE ATAQUE
CON DIENTES INTERCAMBIABLES
PARA PERFORACIONES EN
ROCA

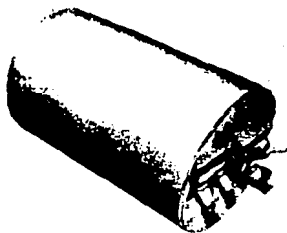




BROCA LARGA PARA
PERFORACIONES EN
TIERRA.



BOTE CAMPANERO PARA
ENSANCHAR LAS BASES
DE LAS PILAS



BOTE PARA PERFORACIONES
VERTICALES



*BROCA CON DIENTES
INTERCAMBIABLES PARA
PERFORACIONES NORMALES*



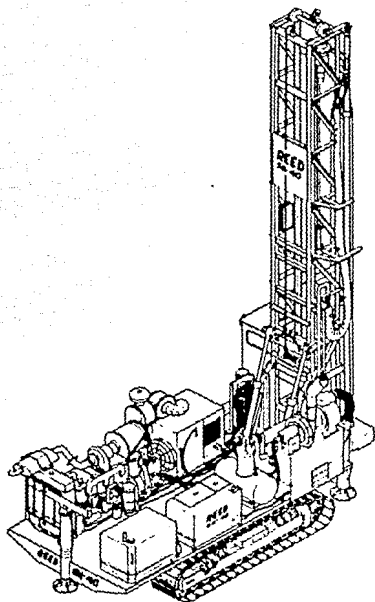
*BROCAS CON DIENTES
INTERCAMBIABLES PARA
PERFORACIONES EN ROCA*



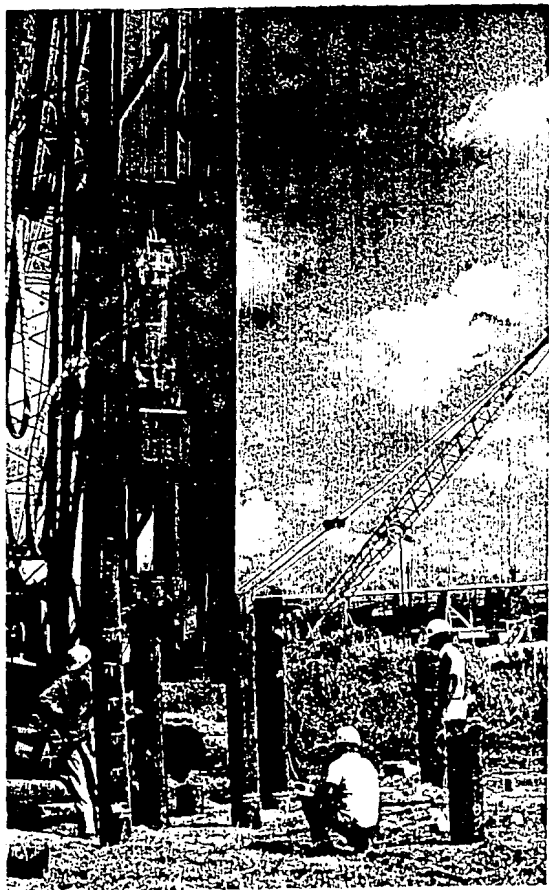
TREPANOS:

Otra herramienta utilizada son los trépanos de acero de gran peso que trabajan a percusión dejándolas caer libremente desde una cierta altura. Son usados para romper rocas o boleos encontrados en la perforación o para empotrar las pilas en las formaciones rocosas existen varios tipos y tamaños que se emplean de acuerdo a las necesidades específicas.

Para lograr resultados óptimos en los trabajos de cimentaciones se debe tener cuidado de conservar la herramienta en las mejores condiciones posibles, ya que debido al uso constante de las mismas, éstas sufren desgaste aún en el caso de herramientas fabricadas en materiales de alta resistencia.



PERFORADORA MONTADA SOBRE
ORUGAS (AUTOPROPULSADA)



MARTILLO DE VAPOR

de las condiciones del subsuelo, y del espacio disponible en el área de trabajo.

MARTILLOS:

Son máquinas utilizadas para el hincado de pilotes o tubos de acero. El hincado se realiza mediante una serie de impactos originados sobre el pilote o tubo. Están accionados por un sistema motriz ya sea a vapor, hidráulico o diesel.

Martillos a vapor :

Los primeros martillos de este tipo se desarrollaron alrededor de 1837 y eran de acción sencilla. Actualmente se producen tres tipos de martillos accionados a vapor.

a) Martillos a vapor de acción sencilla: el proceso se inicia abriendo la válvula de manera tal que el vapor o aire entre en el cilindro bajo el pistón. El vapor o aire levanta dicho pistón que cae posteriormente por gravedad. Las características del golpe son una velocidad baja, y un peso fuerte de golpeo.

b) Martillos a vapor de doble acción: Emplean aire o vapor para el izaje de la sección golpeadora y también para impartir energía adicional durante la carrera descendente. La aceleración hacia abajo del martillo debido a la gravedad, se incrementa por la aceleración debida a la presión del vapor. Corren a mayores velocidades que los martillos de acción sencilla.

c) Martillos a vapor de acción diferencial: También utilizan vapor o aire para izar la sección golpeadora e impartir energía adicional durante la carrera descendente. El empleo de vapor no expansivo en el ciclo del mismo evita una caída a partir del acceso del vapor a presión que signifique una presión efectiva. Corren a mayor velocidad que los martillos de acción sencilla.

Martillos hidráulicos:

Utilizan el mismo principio de los martillos a vapor, pero en lugar de vapor para accionar el pistón utilizan aceite hidráulico, y en vez de caldera usan una toma de fuerza hidráulica que se acopla a la parte superior de la grúa de la que están suspendidos los martillos.

" PILOTES HINCADOS A PRESION "

Estos pilotes se fabrican de concreto en moldes metálicos cilíndricos con una perforación al centro generalmente en secciones de 30 a 90 cm. de diámetro y de longitud de 1.00 m.

El hincado se realiza mediante un gato hidráulico montado sobre un marco metálico rígido, acoplando las secciones de acuerdo a la longitud requerida.

Después del hincado se checa la verticalidad del pilote. Posteriormente se introduce el acero de refuerzo y se llena con una mezcla a base de mortero-cemento de alto revenimiento.

Este tipo de pilotes es de uso común en recimentaciones o en cimentaciones en las que se construyó previamente las trabes de la cimentación, debido a las características del equipo de hincado y de los pilotes mismos.

Cualquiera que sea el procedimiento utilizado, la instalación de pilotes debe efectuarse de manera tal que se garantice la integridad estructural del pilote y se alcance interacción deseada con el suelo, en forma tal que el pilote pueda adecuadamente cumplir con su cometido.

Martillos diesel:

Este tipo de martillos para hincado de pilotes es impulsado por combustible diesel. El martillo consta principalmente de un cilindro, ya sea abierto o cerrado en la parte superior, un pistón y un bloque de impacto. La parte que golpea o masa de golpeo del martillo, es el pistón guiado por el cilindro, y la bomba está activada por el pistón, inyectándose así en el cilindro cierta cantidad de combustible diesel.

Para poner en marcha el martillo diesel, se levanta el pistón por medio de un dispositivo de disparo que desconecta al pistón a una cierta altura, para que pueda caer. Durante la caída el pistón comprime el aire en la cámara de combustión del cilindro en forma tal, que el combustible diesel se enciende y se quema súbitamente.

La energía liberada en este proceso es llamada "energía de explosión", ya que es el resultado de una combustión súbita. Esta energía impulsa el pistón hacia arriba nuevamente para que inicie un nuevo ciclo de trabajo, y ayuda por otro lado, a hincar al pilote en el suelo.

VIBROHINCADORES:

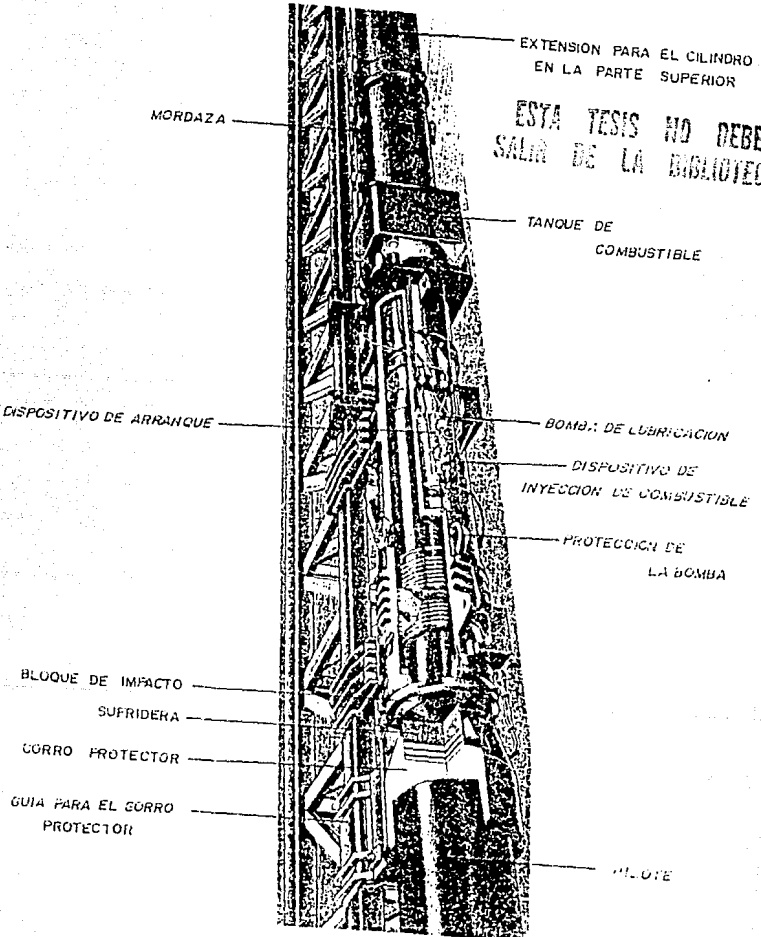
Los vibrohincadores son máquinas mediante las cuales se realiza el hincado de pilotes, ataguías o tablescas (generalmente metálicas) mediante la acción dinámica de un generador de vibraciones.

La energía que genera las vibraciones es originada en una unidad motriz formada por un motor de combustión interna (por lo general diesel) que acciona un generador eléctrico o una bomba hidráulica en función de que el generador de vibraciones a base de contrapesos excéntricos de rotación contraria, opere con motores eléctricos o hidráulicos respectivamente.

Los pilotes se sujetan con mordazas durante su hincado y con un sistema de control remoto se arranca o se para el generador de vibraciones. Para acoplar el vibrohincador a la grúa se cuelga de la pluma de la misma por medio de un sistema de cables.

Dadas las características de operación de los vibrohincadores, su uso es recomendado en suelos granulares.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



CAPITULO VII



"COMENTARIOS

Y

CONCLUSIONES"

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Dado que la cimentación de una estructura es parte fundamental de la misma, se debe además de diseñar, construir apeándose estrictamente a las especificaciones y normas de construcción correspondientes.

La construcción de una cimentación profunda, es un conjunto de actividades coordinadas mediante las cuales se llevan a cabo las especificaciones del proyecto. El que se lleven a cabo satisfactoriamente dependerá tanto del contratista como del supervisor de obra, quienes serán los responsables de la localización exacta del trazo y verificación del mismo cuantas veces sea necesario, así como de la verticalidad de la perforación y el hincado, la calidad y el armado del acero de refuerzo, así como de las operaciones de colado y control de calidad del concreto. Todos los detalles por mínimos que sean se deben cuidar durante el proceso constructivo. En caso de haber algún problema en cuanto a que no se cumplan las especificaciones de construcción, ellos son quienes deberán decidir si el trabajo se aprueba o no.

Se debe también hacer notar la importancia que juegan en la construcción de las cimentaciones tanto la maquinaria como el equipo, ya que de no usarse lo adecuado de acuerdo a las condiciones de cada caso en particular se pueden obtener resultados insatisfactorios, tanto en calidad como en economía. Además de usar el equipo y herramientas adecuadas se deben de mantener siempre en buen estado pues como resultado del constante uso sufren desgaste y si el mantenimiento y reparación de las mismas no es el adecuado, se corre el riesgo de que queden inservibles, lo que representa un alto costo.

Aunque en México el uso de cimentaciones profundas se ha utilizado desde la época prehispánica, no es sino hasta mediados de este siglo cuando realmente se nota un cambio significativo en los procesos de construcción, como resultado de la necesidad cada vez mayor de construir

estructuras de mayores dimensiones, más seguras, pero al mismo tiempo económicas. Por otra parte debemos considerar las particulares condiciones del subsuelo de la Ciudad de México y la alta sismicidad de la misma, es por ello que en México se han desarrollado procesos de construcción particulares y novedosos logrando muy buenos resultados incluso en otras partes del mundo.

Al concluir el presente he podido advertir la importancia de una cimentación profunda en una estructura, así como también el cuidado que se debe tener para determinar las características de la misma, y sobre todo al construirla, puesto que los problemas que se presentan son muy distintos para cada caso.

Cabe señalar también la influencia que ha tenido en los procesos constructivos el avance tecnológico, ya que actualmente la construcción de una cimentación profunda no se hace de igual manera que hace algunos años, pues en el mercado existe maquinaria cada vez más eficiente que hace mas precisos y rápidos los trabajos de construcción de cimentaciones profundas, además de mucho más seguros para los trabajadores que los realizan.

Finalmente es conveniente hacer notar que día a día se perfeccionan las técnicas de construcción en todos los medios de la misma, y por lo tanto la construcción de cimentaciones profundas evolucionará aceleradamente de acuerdo al avance tecnológico que se logre tanto mundial como nacionalmente.

ANEXO I

TABLAS DE DATOS TECNICOS PARA DIFERENTES TIPOS DE MARTILLOS

MARTILLOS VULCAN DE CAÍDA LIBRE

Artículo	Tipo de martillo						
	K	M	P	S	T	V	W
Martillo, peso (lb.), lb.	500	700	1,000	1,500	1,900	2,000	3,000
Cañete de anclaje para solistas de acero, peso, lb.	500	800	1,200	1,500	1,900	2,500	3,000
Cañete tubular, peso, lb.	180	500	520	720	760	700	750
Ensamblaje de cabeza de anclaje para usarse con pilotes Monarbel, peso, lb.							970
Amortiguadores de madera o fibra			760	760	760	760	760
Amortiguadores de acero o fibra							814 814 814 814 814
Cañete-revestimiento, peso, lb.	Varía demandado, pero aproximadamente el mismo peso que para cañetes de pilote.						

* Estos pesos incluyen los intereses en el de peso para de cables en pilote, que varía de aproximadamente de 15 a 95 lb., dependiendo del diámetro de cables de pilote.

MARTILLOS FACIL DE CAÍDA LIBRE

Compartimiento 160 mm x 160 mm (6 3/8" x 6 3/8")	Peso del martillo lb.																
	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000	4,500	5,000	5,500	6,000	6,500	7,000	7,500	8,000	8,500	
Platos de anclaje																	
8" (203 mm)			70	70	80	80	90	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10" (254 mm)			100	100	110	110	120	120	130	130	130	130	130	130	130	130	130
12" (305 mm)			130	130	140	140	150	150	160	160	160	160	160	160	160	160	160
14" (355 mm)			160	160	170	170	180	180	190	190	190	190	190	190	190	190	190
16" (406 mm)			190	190	200	200	210	210	220	220	220	220	220	220	220	220	220
18" (457 mm)			220	220	230	230	240	240	250	250	250	250	250	250	250	250	250
20" (508 mm)			250	250	260	260	270	270	280	280	280	280	280	280	280	280	280
22" (559 mm)			280	280	290	290	300	300	310	310	310	310	310	310	310	310	310
24" (610 mm)			310	310	320	320	330	330	340	340	340	340	340	340	340	340	340
26" (660 mm)			340	340	350	350	360	360	370	370	370	370	370	370	370	370	370
28" (711 mm)			370	370	380	380	390	390	400	400	400	400	400	400	400	400	400
30" (762 mm)			400	400	410	410	420	420	430	430	430	430	430	430	430	430	430
32" (813 mm)			430	430	440	440	450	450	460	460	460	460	460	460	460	460	460
34" (864 mm)			460	460	470	470	480	480	490	490	490	490	490	490	490	490	490
36" (915 mm)			490	490	500	500	510	510	520	520	520	520	520	520	520	520	520
38" (965 mm)			520	520	530	530	540	540	550	550	550	550	550	550	550	550	550
40" (1,016 mm)			550	550	560	560	570	570	580	580	580	580	580	580	580	580	580
42" (1,067 mm)			580	580	590	590	600	600	610	610	610	610	610	610	610	610	610
44" (1,118 mm)			610	610	620	620	630	630	640	640	640	640	640	640	640	640	640
46" (1,168 mm)			640	640	650	650	660	660	670	670	670	670	670	670	670	670	670
48" (1,219 mm)			670	670	680	680	690	690	700	700	700	700	700	700	700	700	700
50" (1,270 mm)			700	700	710	710	720	720	730	730	730	730	730	730	730	730	730
52" (1,321 mm)			730	730	740	740	750	750	760	760	760	760	760	760	760	760	760
54" (1,372 mm)			760	760	770	770	780	780	790	790	790	790	790	790	790	790	790
56" (1,423 mm)			790	790	800	800	810	810	820	820	820	820	820	820	820	820	820
58" (1,474 mm)			820	820	830	830	840	840	850	850	850	850	850	850	850	850	850
60" (1,525 mm)			850	850	860	860	870	870	880	880	880	880	880	880	880	880	880
62" (1,575 mm)			880	880	890	890	900	900	910	910	910	910	910	910	910	910	910
64" (1,626 mm)			910	910	920	920	930	930	940	940	940	940	940	940	940	940	940
66" (1,677 mm)			940	940	950	950	960	960	970	970	970	970	970	970	970	970	970
68" (1,728 mm)			970	970	980	980	990	990	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
70" (1,778 mm)			1,000	1,000	1,010	1,010	1,020	1,020	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
72" (1,829 mm)			1,030	1,030	1,040	1,040	1,050	1,050	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060
74" (1,880 mm)			1,060	1,060	1,070	1,070	1,080	1,080	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090
76" (1,930 mm)			1,090	1,090	1,100	1,100	1,110	1,110	1,120	1,120	1,120	1,120	1,120	1,120	1,120	1,120	1,120
78" (1,981 mm)			1,120	1,120	1,130	1,130	1,140	1,140	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150
80" (2,032 mm)			1,150	1,150	1,160	1,160	1,170	1,170	1,180	1,180	1,180	1,180	1,180	1,180	1,180	1,180	1,180
82" (2,083 mm)			1,180	1,180	1,190	1,190	1,200	1,200	1,210	1,210	1,210	1,210	1,210	1,210	1,210	1,210	1,210
84" (2,134 mm)			1,210	1,210	1,220	1,220	1,230	1,230	1,240	1,240	1,240	1,240	1,240	1,240	1,240	1,240	1,240
86" (2,185 mm)			1,240	1,240	1,250	1,250	1,260	1,260	1,270	1,270	1,270	1,270	1,270	1,270	1,270	1,270	1,270
88" (2,236 mm)			1,270	1,270	1,280	1,280	1,290	1,290	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300
90" (2,287 mm)			1,300	1,300	1,310	1,310	1,320	1,320	1,330	1,330	1,330	1,330	1,330	1,330	1,330	1,330	1,330
92" (2,338 mm)			1,330	1,330	1,340	1,340	1,350	1,350	1,360	1,360	1,360	1,360	1,360	1,360	1,360	1,360	1,360
94" (2,389 mm)			1,360	1,360	1,370	1,370	1,380	1,380	1,390	1,390	1,390	1,390	1,390	1,390	1,390	1,390	1,390
96" (2,440 mm)			1,390	1,390	1,400	1,400	1,410	1,410	1,420	1,420	1,420	1,420	1,420	1,420	1,420	1,420	1,420
98" (2,491 mm)			1,420	1,420	1,430	1,430	1,440	1,440	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450
100" (2,542 mm)			1,450	1,450	1,460	1,460	1,470	1,470	1,480	1,480	1,480	1,480	1,480	1,480	1,480	1,480	1,480

* Fabricados y vendidos por la Eagle Iron Works, Inc. Martillos y platos embudados con una o varias tablas para operar con los tipos de cañetes.

* Peso de los platos embudados que son ajustados y varían con las diferentes longitudes de golpe. De acuerdo con un tipo particular de martillo, como el modelo y el tipo embudados.

* No permitimos cambios menores a pedido.

* Respete de 10 minutos para el tamaño de 10 pies.

HINCAPILOTES A DIESEL DELMAG—THE FOUNDATION
EQUIPMENT CORPORATION, NEWCOMERSTOWN, OHIO

Artículo	Tamaño de martillo		
	D-5	D-12	D-22
Peso total, lb	2,220	4,940	8,800
Martinete, peso (W.), lb	1,100	2,750	4,850
Energía por golpe valuada por el fabricante (E.), lb-pie:			
lb-pie	9,100	22,500	39,700
Golpes por minuto	50-60	50-60	50-60
Longitud total, pies	11.35	12.25	12.83
Combustible diesel, gal/hora	0.67	1.75	3.33

MARTILLOS A DIESEL McKERNAN-TERRY

Artículo	Tamaño de martillo	
	DE20	DE30
Carrera (A), pulg.	48-96	48-96
Martinete, peso (W.), lb	2,000	2,800
Peso de envoltorio (W.), lb	3,750	5,325
Energía por golpe valuada por el fabricante (E.), lb-pie:		
Mín.	12,000	16,800
Máx.	16,000	22,400
Golpes por minuto	48-52	48-52
Longitud total, pies	11.67	14
Combustible diesel, gal/hora	1.6	2

MARTILLOS A VAPOR SEMIAUTOMÁTICOS de ACCIÓN SENCILLA,
BRITISH STEEL PILING COMPANY, LTD.

Artículo	Tamaño de martillo*										
	4b	5b	6b	7b	9b	9c	10b	10c	12b	12c	
Carrera normal (A), pulg.	54 ^b	54 ^a	54 ^a	54 ^a	54 ^a	72 ^a	54 ^a	72 ^a	54 ^a	72 ^a	
Peso de mano descendente (cilindro), cwt ^c	30	40	50	60	80	80	100	100	120	120	
Peso total, cwt ^c	41	52	63	70	90	93	117	118	158	167	
Capacidad requerida de caldera:											
Evaporación de agua, lb/hora ^d	1,130	1,320	1,550	1,700	2,000	2,000	2,400	2,400	3,000	3,000	
Tamaño de caldera (Spender-Hopwood) ^e	12	14	16	18	20	20	22	22	24	24	
Aire libre, c.f.m. ^f	600	700	800	900	1,000	1,100	1,300	1,300	1,600	1,600	

* Otros tamaños disponibles de 10 cwt a 10 tons.

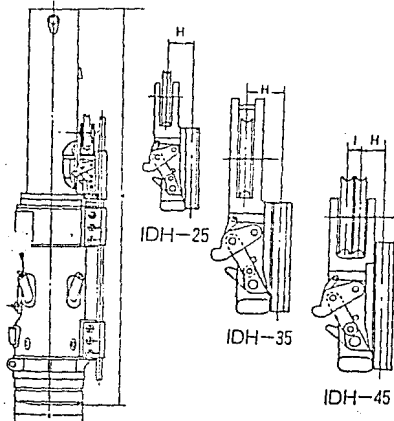
^b Carrera más larga; la longitud de carrera puede ser controlada por el operario.

^c 1 cwt = 112 lb.

^d Recomendado para trabajo normal. Cuando el lincado es duro y continuo, los requisitos pueden aumentar en aproximadamente un 33 por ciento.

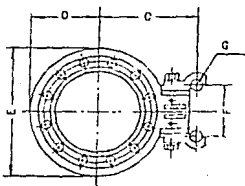
Especificaciones

Tipo	IDH-25	IDH-35	IDH-45
Peso de impacto (Pisón) (kg)	2500	3500	4500
Energía por golpe (m.kg)	7500	10500	13500
Número de golpes por minuto	42-60	42-60	42-60
Máxima presión de combustión contra el pistón (kg)	100000	150000	191000
Peso de operación (en seco) (kg)	5500	7800	11000
Sistema de enfriamiento	Enfriamiento por agua		
Consumo de aceite Diesel (L/h)	10-14	14-20	18-25
Consumo de lubricante (L/h)	1,5	1,8	2
Capacidad (Tanque del aceite Diesel) (L)	35	50	62
Capacidad (Depósito del aceite lubricante) (L)	7	7,6	10
Capacidad (Tanque del agua de enfriamiento) (L)	125	150	175



Datos Dimensionales (%)

	IDH-25	IDH-35	IDH-45
A	4,565	4,613	4,699
B	590 ϕ	700 ϕ	780 ϕ
C	433,5	490	580
D	305	355	405
E	610 ϕ	710 ϕ	810 ϕ
F	330	330	330
G	70 ϕ	70 ϕ	70 ϕ
H	125	146,5	118
I	—	—	67,5



ANEXO 11

FORMULA DINAMICA PARA LA CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES EN EL
HINCAJE

ANEXO 11

FORMULA DINAMICA PARA LA CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES EN EL HINCADO

La fórmula para martillos de caída libre y de acción simple proviene de igualar la energía del impacto con el trabajo de penetración más las pérdidas de energía que tengan lugar.

Para el caso de martillos de doble efecto, la fórmula se modifica al considerar que la fuerza que produce el impacto es el peso del martillo más el empuje del vapor expresado por la presión en éste, multiplicada por el área del embolo.

La capacidad de carga última del pilote será determinada a partir de la relación $Q_d = Wh$ si no fuera por las pérdidas de energía producidas por diferentes causas, de donde se obtiene la expresión conocida como fórmula dinámica:

$$Q_d = \frac{e f W h}{s + 1/2(1+e)W/Q_p} = \frac{W + e W p}{W + W p}$$

La expresión anterior, es válida, para martillos de caída libre o de acción simple. Para martillos de doble acción, la fórmula se modifica sustituyendo el valor Wh por el término En , energía por golpe, proporcionada por el fabricante de la unidad.

La fórmula anterior no es aplicable en rigor al caso de pilotes hincados al rechazo en material muy duro o hincados sobre roca dura, en donde la punta del pilote no se mueve libremente; sin embargo, aún en esos casos, con ella se obtienen resultados que no difieren mucho de los obtenidos con fórmulas más apropiadas, pero también más complicadas.

En la fórmula anterior el sentido detallado de los símbolos utilizados es el siguiente:

Q_d = Resistencia última al hincado, supuesta igual a la capacidad de carga última del pilote.

W = Peso del martillo que hince al pilote.

n= Altura de caída libre de un martillo de este tipo o carrera del martillo en uno de acción simple.

ef= Eficiencia mecánica del martillo de hincado. El valor dependerá del tipo de martillo utilizado.

Wp= Peso del pilote y todos sus accesorios necesarios para la hincada.

l= Longitud del pilote. Si en la resistencia del pilote al hincado juega un papel importante la fricción lateral, l será la distancia de la cabeza del pilote al centro de las fuerzas de resistencia al hincado.

e= Coeficiente de restitución, que varía de 0 en pilotes con cabeza de madera deteriorada sin protección o en pilotes con amortiguadores en la cabeza a 0.55 en pilotes con cabeza protectora de acero. Deberá usarse el valor 0.40 cuando la cabeza protectora en el pilote de acero esté provista de un amortiguador poco resistente; 0.25 en pilotes de madera o de concreto con cabeza de madera.

sp= Penetración del pilote con el golpe.

c1= Compresión temporal de la cabeza del pilote y de su protección; incluye la compresión de los seguidores, si los hubiere.

c2= Compresión temporal del pilote.

$$c2 = \frac{Qd1}{A E}$$

c3= Compresión del suelo bajo el impacto. Oscila de 0.5 cm en suelos relativamente resistentes hasta 0 en suelos muy duros. Un valor normal es 0.25 cm.

A= Sección recta del pilote. Si ésta no es constante, se deberá tomar un promedio entre los valores en la cabeza y en la punta. En pilotes de concreto reforzado, precolados, deberá transformarse el área de acero a un área equivalente de concreto.

E= Módulo de elasticidad del material del pilote.

El varía de 0 a 1.25 cm, dependiendo de varios factores. Valores altos de el se tienen cuando el suelo es muy resistente, la cabeza del pilote tiene colchón amortiguador de importancia y el pilote es de concreto; el es cero si el golpe se le aplica directamente a un pilote de acero.

ANEXO III

REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL

ANEXO III

" REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL "

TITULO SEXTO

Seguridad estructural de las construcciones

CAPITULO VIII

Diseño de cimentaciones

ART. 217.- En éste capítulo se disponen los requisitos mínimos para el diseño y construcción de cimentaciones. Requisitos adicionales relativos a los métodos de diseño y construcción y a ciertos tipos específicos de cimentación se fijarán en las Normas Técnicas Complementarias de este Reglamento.

ART. 218.- Toda construcción se soportará por medio de una cimentación apropiada.

Las construcciones no podrán en ningún caso desplantarse sobre tierra vegetal, suelos rellenos sueños o desechos. Solo será aceptable cimentar sobre terreno natural competente o rellenos artificiales que no incluyan materiales degradables y hayan sido adecuadamente compactados.

El suelo de cimentación deberá protegerse contra deterioro por intemperismo, arrastre por flujo de aguas superficiales o subterráneas y secado local por la operación de calderas o equipos similares.

ART. 219.- Para fines de este Título, el Distrito Federal se divide en tres zonas con las siguientes características generales:

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

Zona II.- Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 10 m de profundidad o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y

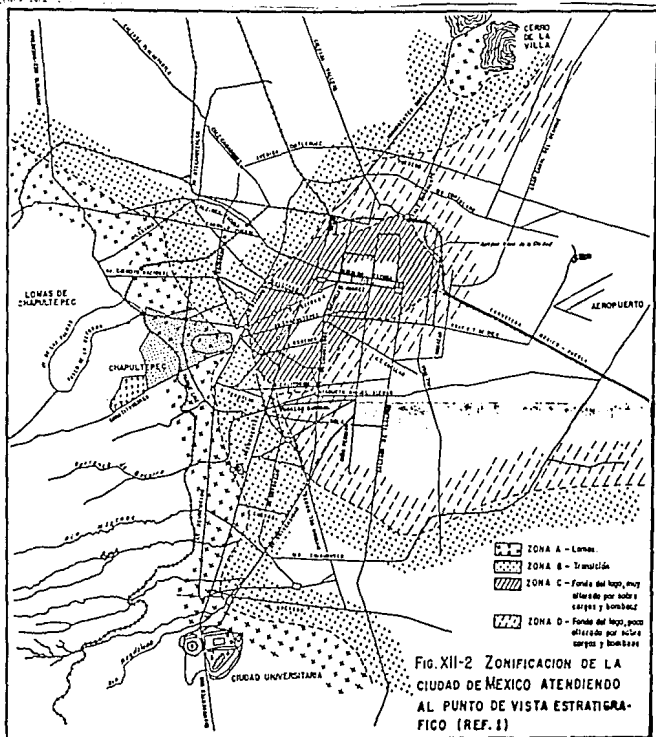


FIG. XII-2 ZONIFICACION DE LA CIUDAD DE MEXICO ATENDIENDO AL PUNTO DE VISTA ESTRATEGICO (REF. 1)

limoarenosos intercalados por capas de arcilla lacustre; el espesor de estas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros, y

Zona III.- Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme a muy dura y de espesores variables de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

La zona a que corresponda un predio se determinará a partir de las investigaciones que se realicen en el subsuelo del predio objeto de estudio, tal y como lo establezcan las Normas Técnicas Complementarias. En caso de construcciones ligeras o medianas, cuyas características se definan en dichas Normas, podrá determinarse la zona mediante el mapa incluido en las mismas, si el predio esta dentro de la porción zonificada; los predios ubicados a menos de 200 m de las fronteras entre dos de las zonas antes descritas se supondrán ubicados en la más desfavorable.

ART. 220.- La investigación del subsuelo del sitio mediante exploración de campo y pruebas de laboratorio deberá ser suficiente para definir de manera confiable los parámetros de diseño de la cimentación, la variación de los mismos en la planta del predio y los procedimientos de construcción. Además será tal que permita definir:

I. En la zona I a que se refiere el artículo 219 del Reglamento, si existen en ubicaciones de interés materiales sueltos superficiales, grietas, coqueadas naturales o galerías de minas, y en caso afirmativo su apropiado tratamiento, y

II. En las zonas II y III del artículo mencionado en la fracción anterior, la existencia de restos arqueológicos, cimentaciones antiguas, grietas, variaciones fuertes de estratigrafía, historia de carga del predio o cualquier otro factor que pueda originar asentamientos diferenciales de importancia, de modo que todo ello pueda tomarse en cuenta en el diseño.

ART. 221.- Deberán investigarse el tipo y las condiciones de cimentación de las construcciones colindantes en materia de estabilidad, hundimientos, emersiones, agrietamientos del suelo y desplomes, y tomarse en cuenta en el diseño y construcción de la cimentación en el proyecto.

Asimismo, se investigarán la localización y las características de las obras subterráneas cercanas, existentes o proyectadas, pertenecientes a la red de transporte colectivo, de drenaje y de otros servicios públicos, con objeto de verificar que la construcción no cause daños a tales instalaciones ni sea afectada por ellas.

ART. 222.- En las zonas II y III señaladas en el artículo 219 de este Reglamento, se tomará en cuenta la evolución futura del proceso de hundimiento regional que afecta a gran parte del Distrito Federal y se prevenirán sus efectos a corto y largo plazo sobre el comportamiento de la cimentación en proyecto.

ART. 223.- La revisión de la seguridad de las cimentaciones, consistirá, de acuerdo con el artículo 193 de este Reglamento, en comparar la resistencia y las deformaciones máximas aceptables del suelo con las fuerzas y deformaciones inducidas por las acciones de diseño. Las acciones serán afectadas por los factores de carga y las resistencias por los factores de resistencia especificados en las Normas Técnicas Complementarias.

ART. 224.- En el diseño de toda cimentación, se considerarán los siguientes estados límite, además de los correspondientes a los miembros de la estructura:

I. De falla:

- a) Flotación;
- b) Desplazamiento plástico local o general del suelo bajo la cimentación, y
- c) Falla estructural de pilotes, pilas u otros elementos de la cimentación.

II. De servicio:

- a) Movimiento vertical medio, asentamiento o emersión, con respecto al nivel de terreno circundante;
- b) Inclinación media, y
- c) Deformación diferencial.

En cada uno de estos movimientos, se considerarán el componente inmediato bajo carga estática, el accidental, principalmente por sismo, y el diferido, por consolidación, y la combinación de los tres. El valor esperado de cada uno de tales movimientos deberá ajustarse a lo dispuesto por las Normas Técnicas Complementarias, para no causar daños intolerables a la propia cimentación, a la superestructura y sus instalaciones, a los elementos no estructurales y acabados, a las construcciones vecinas ni a los servicios públicos.

ART. 225.- En el diseño de las cimentaciones se considerará las acciones señaladas en los capítulos IV a VII de este Título, así como el peso propio de los elementos estructurales de la cimentación, las descargas por excavación, los efectos del hundimiento regional sobre la cimentación, incluyendo la fricción negativa, los pesos y empujes laterales de los rellenos y lastres que graviten sobre los elementos de la subestructura, la aceleración de la masa de suelo deslizando cuando se incluya sismo, y toda otra acción que se genere sobre la propia cimentación o en su vecindad.

La magnitud de las acciones sobre la cimentación provenientes de la estructura sera el resultado directo del análisis de esta. Para fines de diseño de la cimentación, la fijación de todas las acciones pertinentes será responsabilidad conjunta de los diseñadores de la superestructura y de la cimentación.

En el análisis de los estados límite de falla o servicio, se tomará en cuenta la subpresión del agua, que debe cuantificarse conservadoramente atendiendo a la evolución de la misma durante la vida útil de la estructura. La acción de dicha subpresión se tomará con un factor de carga unitario.

ART. 226.- La seguridad de las cimentaciones contra los estados límite de falla se evaluará en términos de la capacidad de carga neta, es decir del máximo incremento de esfuerzo que pueda soportar el suelo al nivel de desplante.

La capacidad de carga de los suelos de cimentación se calculará por métodos analíticos o empíricos suficientemente apoyados en evidencias experimentales o se determinará con pruebas de carga. La capacidad de carga de la base de cualquier cimentación se calculará a partir de las resistencias medias de cada uno de los estratos afectados por el mecanismo de falla más crítico. En el cálculo se tomará en cuenta la interacción entre las diferentes partes de la cimentación y entre ésta y las cimentaciones vecinas.

Cuando en el subsuelo del sitio o en su vecindad existan rellenos sueltos, galerías, grietas u otras coquedades, estas deberán tratarse apropiadamente o bien considerarse en el análisis de estabilidad de la cimentación.

ART. 227.- Los esfuerzos o deformaciones en las fronteras suelo-estructura necesarios para el diseño estructural de la cimentación, incluyendo presiones de contacto y empujes laterales, deberán fijarse tomando en cuenta las propiedades de la estructura y las de los suelos de apoyo. Con base en simplificaciones e hipótesis conservadoras se determinará la distribución de esfuerzos compatibles con la deformabilidad y resistencia del suelo y de la subestructura para las diferentes combinaciones de solicitaciones a corto y largo plazo, o mediante un estudio explícito de interacción suelo-estructura.

ART. 228.- En el diseño de las excavaciones se considerarán los siguientes estados límite:

1. De fallas: colapso de los taludes o de las paredes de la excavación o del sistema de soporte de las mismas, falla de los cimientos de la construcción de las construcciones adyacentes y falla de fondo de la excavación por corte o por subpresión en estratos subyacentes, y

II. De servicio: movimientos verticales y horizontales inmediatos y diferidos por descarga en el área de excavación y en los alrededores. Los valores esperados de tales movimientos deberán ser suficientemente reducidos para no causar daños a las construcciones e instalaciones adyacentes ni a los servicios públicos. Además la recuperación por recarga no deberá ocasionar movimientos totales o diferenciales intolerables para las estructuras que se desplanten en el sitio.

Para realizar la excavación, se podrán usar pozos de bombeo con objeto de reducir las filtraciones y mejorar la estabilidad. Sin embargo, la duración del bombeo deberá ser tan corta como sea posible y se tomarán las precauciones necesarias para que sus efectos queden prácticamente circunscritos al área de trabajo. En este caso, para la evaluación de los estados límite de servicio a considerar en el diseño de la excavación, se tomarán en cuenta los movimientos del terreno debidos al bombeo.

Los análisis de estabilidad se realizarán con base en las acciones aplicables señaladas en los capítulos IV a VI de este Título, considerándose las sobrecargas que puedan actuar en la vía pública y otras zonas próximas a la excavación.

ART. 229.- Los muros de contención exteriores contruídos para dar estabilidad a desniveles del terreno, deberán diseñarse de tal forma que no rebasen los siguientes estados límite de servicio, como asentamiento, giro o deformación excesiva del muro. Los empujes se estimarán tomando en cuenta la flexibilidad del muro, el tipo de relleno y el método de colocación del mismo. Los muros incluirán un sistema de drenaje adecuado que limite el desarrollo de empujes superiores a los de diseño por efecto de presión del agua.

Los empujes debidos a sollicitaciones sísmicas se calcularán de acuerdo con el criterio definido en el Capítulo VI de este Título.

ART. 230.- Como parte del estudio de mecánica de suelos, se deberá fijar el procedimiento constructivo de las cimentaciones, excavaciones y muros de contención que asegure el cumplimiento de las hipótesis de diseño y garantice la seguridad durante y después de la construcción. Dicho procedimiento deberá ser tal que se eviten daños a las estructuras e instalaciones vecinas por vibraciones o desplazamiento vertical u horizontal del suelo.

Cualquier cambio significativo que deba hacerse al procedimiento de construcción especificado en el estudio geotécnico se analizará con base en la información contenida en dicho estudio.

ART. 231.- La memoria de diseño incluirá una justificación del tipo de cimentación proyectado y de los procedimientos de construcción especificados así como una descripción explícita de los métodos de análisis usados y del comportamiento previsto para cada uno de los estados límite indicados en los artículos 224, 228 y 229 de este Reglamento. Se anexarán los resultados de las exploraciones, sondeos, pruebas de laboratorio y otras determinaciones y análisis, así como las magnitudes de las acciones consideradas en el diseño, la interacción considerada con las cimentaciones de los inmuebles colindantes y la distancia, en su caso, que se deje entre estas cimentaciones y la que se proyecta.

ART. 232.- En las edificaciones del grupo A y subgrupo B1 a que se refiere el artículo 174 de este reglamento, deberán hacerse nivelaciones durante la construcción y hasta que los movimientos diferidos se estabilicen, a fin de observar el comportamiento de las excavaciones y cimentaciones y prevenir daños a la propia construcción, a las construcciones vecinas y a los servicios públicos. Será obligación del propietario o poseedor de la edificación, proporcionar copia de los resultados de estas mediciones así como de los planos, memorias de cálculo y otros documentos sobre el diseño de la cimentación a los diseñadores de edificios que se construyan en predios contiguos.

B I B L I O G R A F I A

" MEMORIA DE LAS OBRAS DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO DEL
DISTRITO FEDERAL "
Departamento del Distrito Federal
México, D.F. 1975

" ESTUDIO SOBRE CIMIENTOS PARA LOS EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE
MEXICO "
Ingeniero y Arquitecto Mariano Tellez Pizarro
México, 1907

" COMPILACION DE ARTICULOS TECNICOS DE INGENIERIA ESCRITOS A
PRINCIPIOS DE SIGLO "
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos
México, 1982

" ESTUDIOS DE SUELOS Y CIMENTACIONES EN LA INDUSTRIA DE LA
CONSTRUCCION "
Gordon A. Fletcher
Vernon A. Smoots
Ed. Limusa
México, 1982

" INGENIERIA DE CIMENTACIONES "
Ralph B. Peck
Walter E. Hanson
Thomas H. Thornburn
Ed. Limusa
México, 1983

" PILE FOUNDATIONS ANALYSIS AND DESIGN "
H. G. Poulos
Ed. Wiley

" REUNION CONJUNTA CONSULTORES-CONSTRUCTORES DE
CIMENTACIONES PROFUNDAS "
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos
México, 1980

" CIMENTACIONES PROFUNDAS "

Robert D. Chellis
Ed. Diana
México

" CONSTRUCTION OF DRILLED PIER FOUNDATIONS "

David M. Greer
William S. Gardner
Ed. Wiley
U.S.A. 1986

" NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA LA INDUSTRIA DE PILAS DE
CIMENTACION "

ADSC
1980

" DRILLED SHAFT MANUAL "

U.S. Department of Transportation
U.S.A. 1977

" MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PILAS Y PILOTES "

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos
Mexico. 1983

" DRILLED SHAFT TECHNICAL WORKBOOK "

ADSC
U.S.A. 1980

" LOS ASENTAMIENTOS DEL TEMPLO MAYOR ANALIZADOS POR LA
MECANICA DE SUELOS "

M. Mazari
R.J. Marsal
J. Alberro
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos
Mexico. 1985