

20 29.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



ALTERNATIVAS DE SOLUCION A LOS ASENTAMIENTOS DE EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE MEXICO

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A M :

ARTURO	BOLAÑOS	PEREZ
ROBERTO CHAVEZ	GARCIA MALO	
JUAN JOSE HERNANDEZ	GALINDO	
JUAN MANUEL LUNA	ROSALES	
RAFAEL	PELAEZ	FERRA



FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1990



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

	Hojas
INTRODUCCION.	1
CAPITULO I.- Generalidades.	5
I.1.- Historia Geológica.	6
I.2.- Zonificación de la Ciudad de Mé xico y perfil estratigráfico re presentativo de la zona del la- go.	12
I.3.- Problemas de asentamientos de - la Ciudad de México.	27
CAPITULO II.- Tipos de Cimentaciones.	33
II.1.- Superficiales.	36
II.2.- Profundas.	43
CAPITULO III.- Asentamiento de Edificaciones.	56
III.1.- Afloramientos.	58
III.2.- Asentamiento Uniforme.	58
III.3.- Asentamiento Diferencial.	65
CAPITULO IV.- Alternativas de Solución a los Asentamientos.	69
IV.1.- Tipos de Solución.	73
IV.2.- Pilotes de Punta.	82

	Hojas
IV.3.- Pilotes de Fricción.	95
IV.4.- Respuesta a la Solicitud Sísmica de Pilotes.	100
CAPITULO V.- Procedimiento Constructivo.	110
V.1.- Pilotes Colados en el Sitio.	111
V.2.- Pilotes Precolados.	128
CAPITULO VI.- Conclusiones.	152
BIBLIOGRAFIA.	

INTRODUCCION

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

El presente trabajo tiene como objeto, estudiar algunos aspectos constructivos sobre soluciones viables de "recimentación" en edificaciones desplantadas en la zona lacustre del Valle de México.

Debido al tipo de estratigrafía del Valle, en general se puede afirmar que es de las zonas del orbe con mayor grado de dificultad para cimentar y como consecuencia de -- los sismos de 1985, es un lugar con gran número de recimentaciones resueltas.

Desde su fundación los pobladores de la Gran Urbe se han tenido que enfrentar a las características difíciles -- del subsuelo, hacia la mitad de este siglo, sus edificios -- se han desplantado sobre la zona central del ex lago, y en lo que va de la segunda mitad, la urbe se ha extendido aún más, rebasando los límites del relleno y subiendo a los espacios cubiertos por los abanicos volcánicos que forman las zonas de Lomas.

La magnitud del efecto del hundimiento se empezó a dimensionar hace 70 años aproximadamente y fue en la época de los 40 cuando se inició la difusión de los conocimientos de la mecánica de suelos, con lo que se corroboró que los -- hundimientos eran el efecto de la explotación del agua subterránea.

Para tratar este tema hemos dividido el presente trabajo en seis capítulos:

En el capítulo Uno, se hace una breve reseña Histórica-Geológica y consideraciones sobre la zonificación plan -

teada por el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, así como del problema de los hundimientos regionales.

En el capítulo Dos, se describen los diversos tipos de cimentación empleados en la Ciudad de México.

En el capítulo Tres, se hablará de los tipos de asentamientos existentes y los principales factores que los ocasionan.

En el capítulo Cuatro, se comentan las premisas a -- considerar para el análisis y diseño de las soluciones para los diversos tipos de cimentación.

En el capítulo Cinco, se hace la evaluación y presentación de los procedimientos constructivos, poniendo énfasis a las cimentaciones con pilotes.

Por último, en el capítulo Seis, se presentan los comentarios y conclusiones correspondientes.

CAPITULO I

I. GENERALIDADES

Desde la fundación de Tenochtitlán, hace aproximadamente 600 años, los pobladores del Valle de México, han tenido que enfrentarse a las características complejas del suelo sobre el cual han edificado la Ciudad de México.

En el presente siglo, a partir de la década de los años treinta, con el crecimiento desorbitado de la capital, la perforación y explotación de numerosos pozos de agua, el hundimiento regional del suelo se ha incrementado.

Al igual que en otras grandes urbes del mundo los problemas de la Ciudad de México son producto de una compleja interacción de factores políticos, económicos y sociales. Sin embargo, algo importante de tomar en cuenta, es que mientras que las grandes civilizaciones del mundo se desarrollaron generalmente en terreno firme, la de los Aztecas floreció sobre una laguna, por lo que hoy día resulta bastante difícil imaginar con exactitud el aspecto que presentaba el Valle de México en la época Prehispánica, pues tanto la acción del hombre como la de la naturaleza han contribuido a su radical transformación.

Para tener una ligera idea de los problemas a los que tenemos que enfrentarnos como Ingenieros Civiles, en este primer capítulo haremos una breve descripción de la historia geológica, de zonificación y estratigrafía de la Cuenca del Valle de México, esto con objeto de ayudarnos a interpretar y entender claramente el orden preciso de la secuencia de los depósitos lacustres, así como advertir que las zonas de transición también cumplen con cier-

to orden estratigráfico.

En cuanto a la zona de lomas, se describirá brevemente la naturaleza de los depósitos y los fenómenos geológicos que han actuado en esa parte del Valle. Por último comentaremos los hundimientos regionales, que tanto dañan a las edificaciones, provocados principalmente por las causas mencionadas anteriormente.

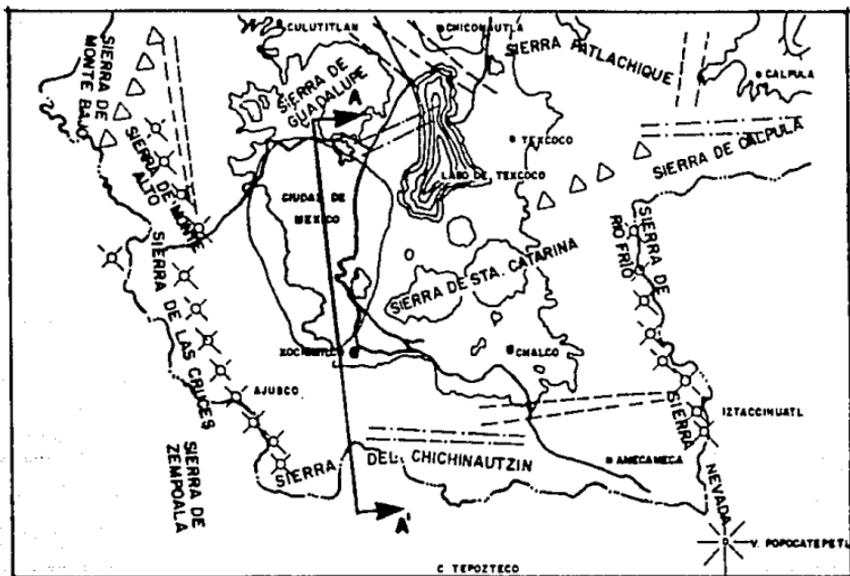
I.1. HISTORIA GEOLOGICA.

Para comprender la naturaleza geológica de los depósitos sobre los que se edifica la Ciudad de México, es necesario considerar los siguientes tres marcos de referencia: el geológico general, el paleoclimático y el vulcanológico.

I.1.a.- Marco Geológico.

La cuenca del Valle de México asemeja una enorme presa azolvada, situada entre los meridianos 98° y $99^{\circ}30'$ y -- los paralelos $19^{\circ}00'$ y $20^{\circ}15'$; la cortina, situada en el sur, está representada por los basaltos de la Sierra de --- Chichinautzin, mientras que los rellenos del vaso están --- constituidos en su parte superior por arcilla lacustre y en su parte inferior por clásticos derivados de la acción de --- ríos, arroyos, glaciares y volcanes. (Fig. I.1.01).

La roca más antigua conocida en el Valle y que forma su base, la constituyen plegamientos de rocas marinas que emergieron durante el Cretácico. Vinieron luego rocas volcánicas del Terciario inferior, de composición intermedia a ácida, sin afloramientos en el Valle, pero encontradas en sondeos profundos (a 2,000 m. en promedio).



- ⊗ VOLCANES MIO-PLICENICOS
- △ VOLCANES CUATERNARIOS
- FALLAS EXISTENTES
- - - FALLAS INFERIDAS

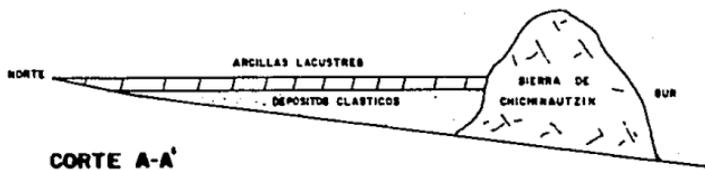


FIG. I.101. SIERRAS Y LAGOS DEL VALLE DE MEXICO

El conjunto de rellenos contiene además capas de cenizas y estratos de pómez, producto de las erupciones volcánicas menores y mayores durante el último medio millón de años o sea en el Pleistoceno Superior, que es aproximadamente el lapso transcurrido a partir del inicio del cierre de la cuenca. También se reconocen en el mencionado relleno numerosos suelos, producto de la meteorización de los depósitos volcánicos fluviales, aluviales y glaciales; estos suelos, hoy transformados en paleosuelos o tobas, llevan el sello del clima en el que fueron formados, siendo a veces amarillos, productos de ambiente fríos, y otras veces cafés y hasta rojizos, producto de ambientes moderados a subtropicales.

I.1.b.- Ma-co Paleoclimático.

El clima uniformemente cálido y a menudo desértico del Plioceno, en las latitudes de la Meseta Central Mexicana, cedió a climas cambiantes y extremosos del Pleistoceno. Las causas de esta acción que afectó a toda la tierra hace dos millones de años se desconocen aún.

Principió el cambio con ligeras oscilaciones de períodos calurosos a fríos, los que se fueron acentuando hasta hace un millón de años, cuando se inició una primera gran glaciación (Nebraska), con una duración aproximada de 100,000 años, (Tabla I.1.01). Siguiendo un lapso de clima caluroso, el cual cedió renovadamente a un segundo período de glaciación prolongada (Kansas), entonces se produjo un lapso extenso de clima caliente de unos 200,000 años.

años antes de hoy 10^4		Holoceno - Reciente
$80-10 \times 10^3$	4a	Glaciación : Wisconsin 3 Avances
$100-80 \times 10^3$	3er	Interglacial Sangamun
$300-100 \times 10^3$	3a	Glaciación : Illinois 2 Avances
$400-600 \times 10^3$	2a	Gran Interglacial: Yarmouth
?	2a	Glaciación: Kansas
?	1er	Interglacial:
$\sim 900 \times 10^3$	1a	Glaciación: Nebraska

TABLA.I.IOI PERIODOS GLACIALES E INTERGLACIALES

Siguió un tercer período glacial (Illinois), para el cual se han podido determinar dos avances separados por un período con clima moderado. Esta tercera glaciación terminó al desarrollarse de nuevo un clima relativamente cálido a lo largo de 100,000 a 80,000 años antes de hoy. De nuevo se fue enfriando el clima imponiéndose la cuarta glaciación (Wisconsin), caracterizada por tres oscilaciones y dos estadales de clima moderado terminando hace 10,000 años aproximadamente.

Es entonces que principió el Holoceno o Reciente, Pe
ríodo climático moderado, tendiendo a caliente, o sea el ac
tual. De lo anterior se deriva que la Cuenca del Valle de
México desde su cierre en el sur por los basaltos de la Sie
rra Chichinautzín, ha pasado por dos períodos de glaciación,
El Illinois y el Wisconsin y dos interglaciales, el Yarmouth
y Sangamon, como se describe en la Tabla I.1.01. Investiga
ciones recientes han permitido comprobar en el espacio de -
las Lomas, depósitos formados por glaciales pertenecientes
al Illinois. Debajo de las arenas azules de Santa Fé, espe-
cialmente en la mina Totolapa, se descubrieron restos incon
fundibles de depósitos morrénicos, además de superficies pu
lidas en roca atribuibles exclusivamente a la acción gla --
cial en pequeños domos formados en el Pleistoceno Medio. --
Estos indicios de glaciación son anteriores a 170,000 años
(Illinois Inferior).

Las profundas barrancas de la Magdalena, de Santa Ro-
sa y de la Cañada, caracterizadas por su sección clásica en
U, se han podido identificar como productos de erosión gla-
cial.

Hay que señalar que todas las manifestaciones glacia-
les descritas sobreyacen a secuencias de suelos rojos del -
tipo Interglacial o sea el Yarmouth. Este horizonte indica-
dor paleoclimático define los fenómenos de origen glacial -
como pertenecientes a la tercera glaciación. Uno de los --
productos típicos acompañado de la existencia de glaciares
son los suelos sólidos eólicos, las llamadas brisas del va-
lle y montaña que se desarrollan hoy en día en la Cuenca, -
deben haberse acentuado extraordinariamente durante los cli-
mas glaciales, transformándose en vendavales. Es casi segu-
ro que estos fuertes vientos acarreaban importantes volúme-
nes de partículas finas de polvo volcánico alterado el Va -
lle. Al precipitarse este polvo llamado Loess en el Lago,

se hidrataba fácilmente creando las conocidas arcillas lacustres del lago; con este mecanismo se interpreta hoy que las arcillas son producto principal de la alteración físico-química de Loess glaciales.

I.1.c.- Marco Vulcanológico.

Todo material contenido en los depósitos de la Cuenca del Valle de México es directa o indirectamente de origen -- volcánico.

De origen volcánico directo son, por ejemplo, las lavas de los domos pliocénicos del Cerro de Chapultepec y del Cerro del Tepeyac. Lo son también las lavas, brechas, tezonales y cenizas del Peñón del Marqués, así como las de la Sierra de Santa Catarina con su hilera de conos, escoriales juveniles rodeadas de lavas y las coladas recientes del Pedregal de San Angel Originadas en el Xitle (Fig. I.1.01). -- Los productos de estos derrames volcánicos menores no compiten en variedad y volumen con los de un volcán grande, como lo es el Cerro de San Miguel, que se eleva al SW de la Ciudad de México. Este complejo volcán con calderas múltiples, estuvo activo desde finales del Plioceno hasta algo más de 100,000 años, habiéndose producido en un lapso de dos a tres millones de años erupciones pumáticas de gran volumen y energía, varios kilómetros cuadrados de lavas, además de extensos lahares calientes y fríos, avalanchas ardientes y otros numerosos tipos de piroclásticos, que han contribuido a los extensos abanicos volcánicos que se conocen como zona de Lomas.

En el renglón de depósitos volcánicos indirectos se -

deben mencionar las acumulaciones de polvo eólico. Las regiones volcánicas de por sí abundan en detritos finos derivados de cenizas volcánicas. El viento levanta este polvo y lo transporta a veces a grandes distancias; si el viento los deposita en laderas durante períodos de clima frío, se transforma en suelos inmaduros, que con el transcurso del tiempo se convierten en tobas amarillas que tanto abundan en las Lomas.

Sin embargo, si se depositan en un lago, como en el antiguo Vaso de Texcoco, sus partículas se hidratan transformándose en arcillas. Por otra parte, si se asientan durante un interglacial, o sea cuando impera un clima relativamente caliente, se producen suelos con coloides debido a la actividad fitológica más intensa; estos suelos con el tiempo se transforman en tobas rojizas arcillosas. Los suelos rojos, ricos en coloides, son característicos del Sangamon.

Relacionados con los períodos glaciales, especialmente a finales de ellos, están los deshielos, por los cuales crecieron arroyos y ríos caudalosos. Los deshielos generaron potentes depósitos fluviales que se reconocen hoy en numerosos puntos de Las Lomas, así como al pie de ellas en la transición a la Planicie Central, formando abanicos aluviales.

I.2 ZONIFICACION DE LA CIUDAD DE MEXICO Y PERFIL ESTRATIGRAFICO REPRESENTATIVO DE LA ZONA DEL LAGO.

La zonificación del área urbana de la Ciudad de México está basada en las propiedades de comprensibilidad y resistencia de los depósitos característicos de la Cuenca,

y que son: lacustres, aluviales y volcánicos; en la fig. I.2.02. se presenta una zonificación actualizada que sigue los lineamientos presentados por Marsal y Mazari en 1959. En las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones vigentes a la fecha en el Distrito Federal, aparece un plano donde no se aprecian claramente los límites de las zonas, por lo cual para este trabajo utilizaremos la zonificación antes mencionada. Durante el estudio de un lugar determinado, esta zonificación debe consultarse para definir en forma preliminar los problemas geotécnicos relacionados con el diseño y construcción de la obra a realizar. La zonificación se completa con la información estratigráfica típica, la cual permitirá desarrollar las siguientes etapas iniciales del estudio:

- Realizar un análisis preliminar de las condiciones de estabilidad y comportamiento de la estructura durante la construcción y funcionamiento de la obra, pudiendo identificarse las alternativas de solución para el diseño definitivo.
- Planear la campaña de exploración, identificando - donde eventualmente pueden presentarse condiciones estratigráficas complejas.
- Establecer las técnicas de exploración y muestreo aplicables a la zona que se está estudiando.

La zonificación de la Ciudad de México está dividida en tres partes: Zona de Lomas (Zona I), Zona de Transición (Zona II) y Zona de Lago (Zona III).

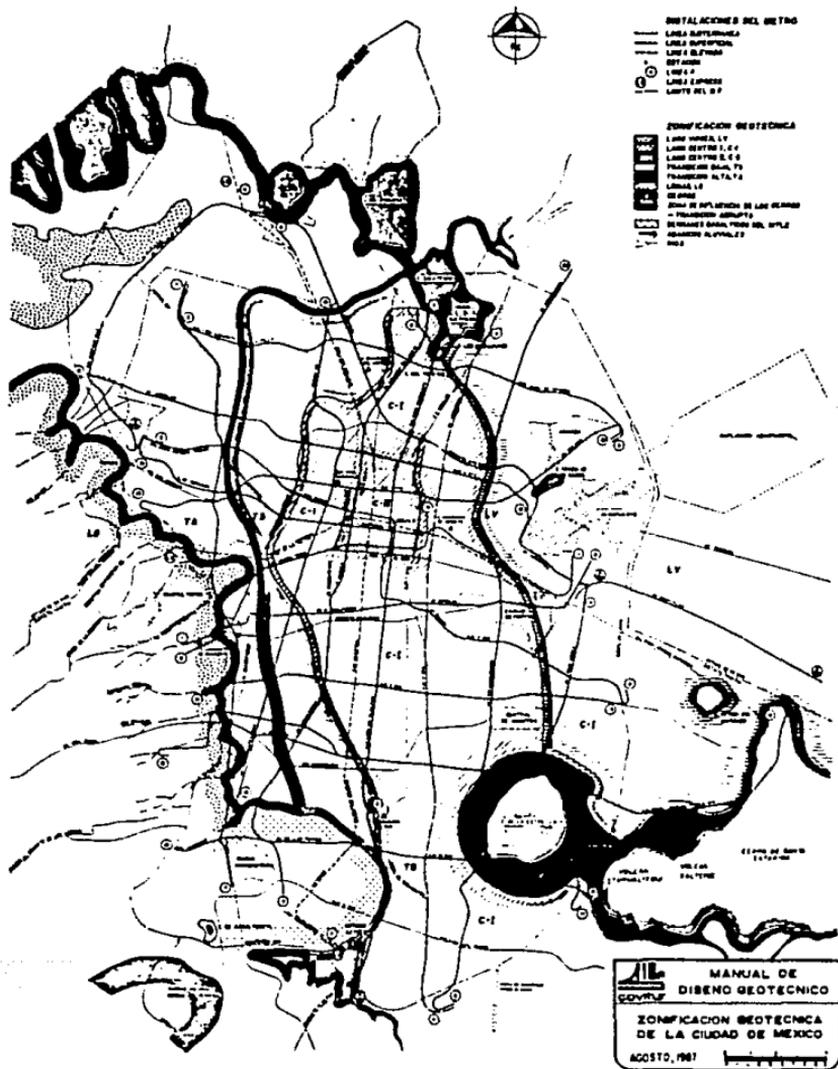


Fig 1.202 ZONIFICACION GEOTECNICA DE MEXICO

I.2.a. Zona de Lomas (Zona I).

En la formación de las lomas se observan los siguientes elementos litológicos, producto de erupciones de los grandes volcanes andesíticos estratificados de la Sierra de Las Cruces:

- Horizontes de cenizas volcánicas
- Capas de erupciones pumíticas.
- Lahares.
- Avalanchas ardientes.
- Depósitos glaciales.
- Depósitos fluvio-glaciales.
- Depósitos fluviales.
- Suelos.

Eventualmente se encuentran rellenos no compactados, utilizados para nivelar terrenos cerca de las barrancas y tapar accesos y galerías de minas antiguas.

Todos estos materiales presentan condiciones e irregularidades de compacidad y cementación, que determinan la estabilidad de las excavaciones en esta zona; por ello, exceptuando a los cortes en lahares compactos, en los demás depósitos pueden desarrollarse mecanismos de falla. Los más comúnmente encontrados son:

- a) Tobas y Lahares fracturados. Estos materiales pueden presentar fracturas en direcciones concurrentes que generan bloques potencialmente inestables; estos bloques pueden activarse bajo la acción de un sismo o por efecto de la alteración de las superficies de fracturamiento, al estar sometidos a un humedecimiento producto de la infiltración de escurrimientos no controlados. En algunos casos, las fallas locales en la superficie del corte podrían generar taludes invertidos de estabilidad precaria.

Un aspecto significativo de las tobas, es que algunas de ellas son muy resistentes al intemperismo y que incluso endurecen al exponerse al medio ambiente, mientras que otras son fácilmente degradables y erosionables.

- b) Lahares poco compactados y depósitos glaciales y fluvioglaciales. Estos depósitos presentan una compacidad y cementación muy errática por lo que la erosión progresiva de origen eólico y fluvial tiende a generar depósitos de talud crecientes, que solo detienen su avance cuando alcanzan el ángulo de reposo del suelo granular en estado suelto.

De la descripción anterior se concluye que los principales agentes de activación son el agua y el viento, por lo cual es necesario proteger estos materiales contra un intemperismo prolongado.

- c) Basaltos. Son los pedregales generados por el Xitle (Fig. I.1.01) formadas por coladas lávicas que presentan discontinuidades como fracturas y cavernas, eventualmente rellenas de escoria. La estabilidad de excavaciones en estos basaltos se analiza en función de los planos principales de fracturamiento y no de la resistencia intrínseca de la roca; en el caso de las cavernas grandes debe estudiarse la estabilidad de los techos.

I.2.b.- Zona de Transición (Zona II).

Es la franja comprendida entre las zonas del Lago y la de Lomas. Depositados en esta zona se alternan estratos arcillosos en un ambiente lacustre con suelos gruesos de origen aluvial, dependiendo de sus espesores de las transgresiones y regresiones que experimentaba el antiguo lago. La frontera entre las zonas de Transición y de Lago se definió donde desaparece la serie arcillosa inferior, que corresponde aproximadamente con la curva de nivel donde la capa dura está a 20 m. de profundidad respecto al nivel medio de la planicie. Esta transición se divide en subzonas, en función de la cercanía a las lomas y sobre todo del espesor de suelos relativamente blandos; se identifican así las transiciones alta y baja.

I.2.b.1. Transición Alta.

En la subzona de esta transición más próxima a las lomas, presenta irregularidades estratigráficas producto de los depósitos aluviales cruzados; la frecuencia y disposición de estos depósitos depende de la cercanía a antiguas -

barrancas. Bajo estos materiales se encuentran estratos arcillosos que sobreyacen a los depósitos propios de las lomas.

La estratigrafía comúnmente encontrada tiene las características reflejadas en la fig. I.2.03.

I.2.b.2 Transición Baja.

Corresponde a la transición vecina a la zona del Lago; aquí se encuentra la serie arcillosa superior con intercalaciones de estratos limoarenosos de origen aluvial, que se depositaron durante las regresiones del antiguo lago.

Este proceso dio origen a una estratigrafía compleja donde los espesores y propiedades de los materiales pueden tener variaciones importantes en cortas distancias dependiendo de la ubicación del sitio en estudio respecto a las corrientes de antiguos ríos y barrancas. Por lo anterior, puede decirse que las características estratigráficas de la parte superior de la transición baja son similares a la subzona de Lago Centro I o Centro II, teniendo en cuenta que:

- a) la costra superficial está formada esencialmente por depósitos aluviales de capacidad de carga no uniforme; - - -
- b) los materiales compresibles se extienden únicamente a profundidades del orden de 20 m., c) existe interestratificación de arcillas y suelos limoarenosos, y d) se presentan mantos colgados.

En la fig. I.2.04 se muestran los resultados de un sondeo de cono representativo de esta subzona.

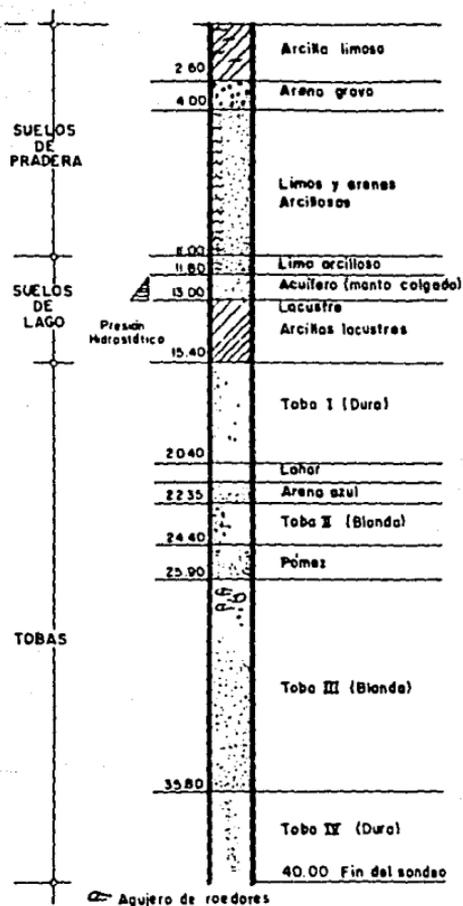
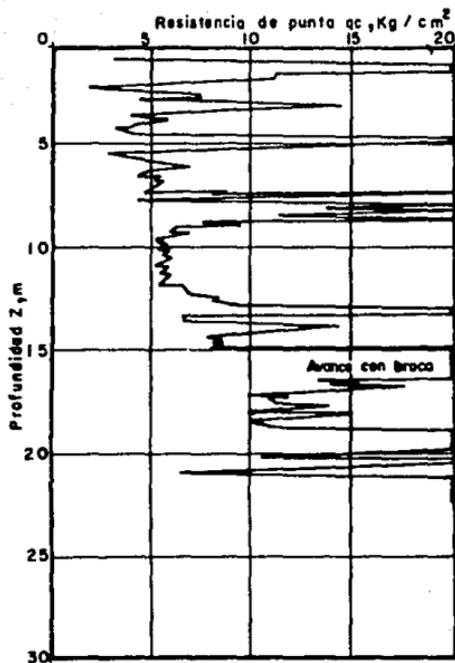


Fig.I.2.03. ESTRATIGRAFIA EN LA ZONA DE TRANSICION ALTA



**Fig. I.204 SONDEO CON CONO ELECTRICO
EN LA SUBZONA DE TRANSICION BAJA**

I.2.c. Zona del Lago (Zona III).

Esta zona se caracteriza por los grandes espesores - de arcillas blandas de alta compresibilidad (Fig. I.2.05) - que subyacen a una costra endurecida superficial de espesor variable en cada sitio, dependiendo de la localización e -- historia de precargas. Por ello la zona del lago se ha dividido en tres subzonas (Fig. I.2.02) atendiendo a la importancia relativa de dos factores independientes:

- a) el espesor y propiedades de la costra superficial, y
- b) la consolidación inducida en cada sitio.

I.2.c.1. Lago Virgen.

Corresponde al sector oriente del lago, cuyos suelos prácticamente han mantenido sus propiedades mecánicas desde su formación; sin embargo, el reciente desarrollo de esta - zona de la Ciudad está provocando sobrecargas y bombeo profundo.

La estratigrafía típica de la subzona lago virgen -- arriba de la capa dura se ilustra con la fig. I.2.06.

I.2.c.2. Lago Centro I.

Está asociada al sector no colonial de la Ciudad, -- que se desarrollo a partir de principios de este siglo y ha estado sujeta a las sobrecargas generadas por construc ----

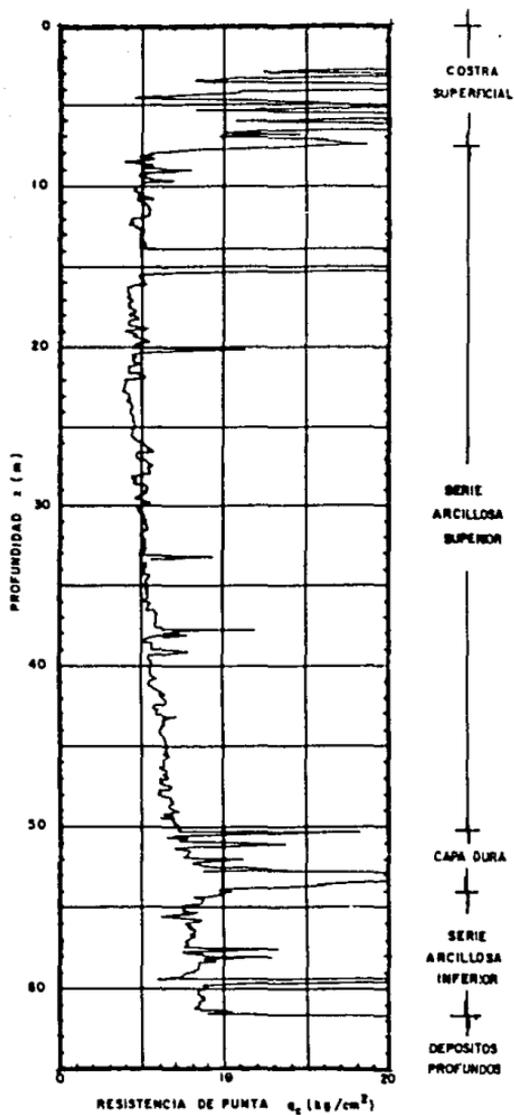


Fig.12.05 SONDEO DE ZONA DE LAGO.

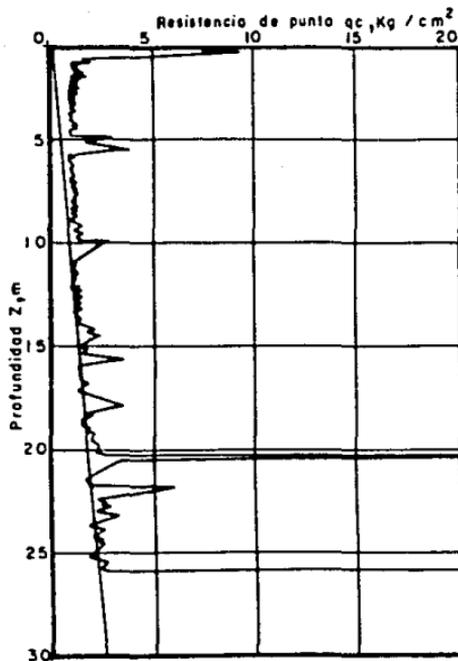


Fig.I.2.06 SONDEO DE CONO ELECTRICO EN LA SUBZONA DEL LAGO VIRGEN.

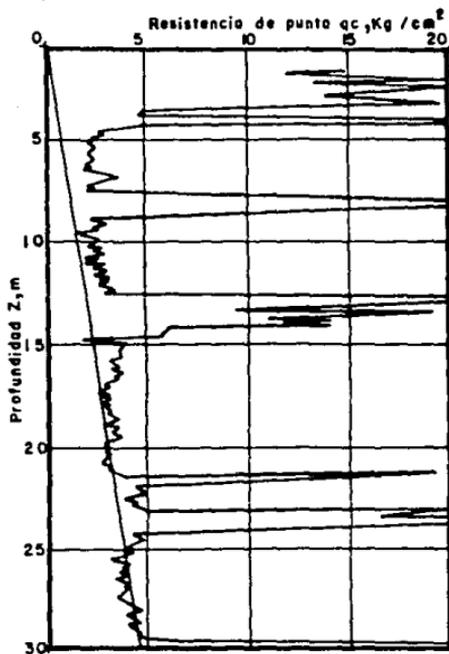
ciones pequeñas y medianas. Las propiedades mecánicas del subsuelo en esta zona representan una condición intermedia entre el lago virgen y el lago Centro II. Las características estratigráficas propias de esta subzona se pueden visualizar en la fig. I.2.07 (resistencia de punta del --- cono eléctrico de la serie arcillosa); es interesante comparar esta figura con la fig. I.2.06 para observar el incremento de resistencia originado por las precargas.

I.2.c.3. Lago Centro II.

Esta subzona corresponde con la antigua traza de la Ciudad, donde la historia de las cargas aplicadas en la superficie ha sido muy variable; esta situación ha provocado que se encuentren las siguientes condiciones extremas:

- a) Arcillas fuertemente consolidadas por efecto de rellenos y grandes cargas de construcciones Aztecas y Coloniales.
- b) Arcillas blandas, asociadas a lugares que han alojado plazas y jardines durante grandes períodos de tiempo, y
- c) Arcillas muy blandas en los cruces de antiguos canales.

Por otra parte, el intenso bombeo para surtir de agua a la Ciudad se refleja en el aumento general de la resistencia de los estratos de arcilla por efectos de la consolidación inducida, como se observa en la fig. I.2.08.



**Fig 1.2.07 SONDEO CON CONO ELECTRICO
EN LA SUBZONA LAGO CENTRO I**

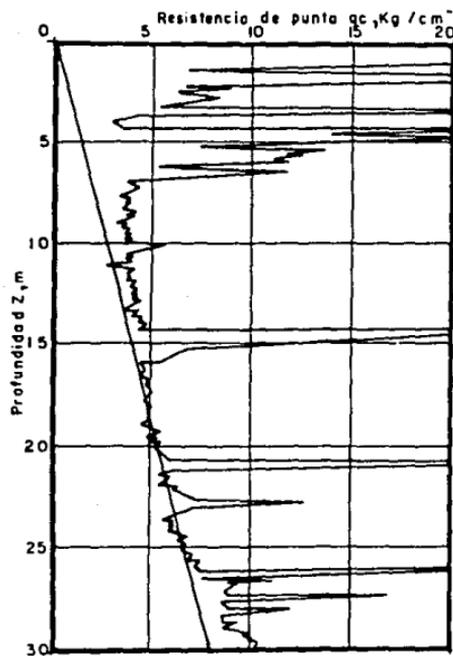


Fig.I.2.08 SONDEO CON CONO ELÉCTRICO EN LA SUBZONA LAGO CENTRO II.

J.3 PROBLEMAS DE ASENTAMIENTOS DE LA CIUDAD DE MEXICO.

Como ya se mencionó anteriormente, debido a que las arcillas del Valle de México son altamente compresibles, el problema de los asentamientos ha sido el principal factor que se debe tomar en cuenta para el diseño y construcción de cimentaciones. Las arcillas están normalmente consolidadas, sin embargo, el intenso bombeo que últimamente se ha efectuado en los acuíferos de la zona metropolitana, ha aumentado las cargas de preconsolidación en las zonas sujetas a dicho fenómeno.

Las primeras investigaciones fundamentales que se hicieron sobre los asentamientos generales del Valle de México, fueron hechas por el Ing. Roberto Gayol, alrededor del año 1925, durante sus trabajos sobre el sistema de drenaje de la Ciudad de México, atribuyó el fenómeno a las perturbaciones que en el fondo del Valle ha producido el drenaje de las aguas del subsuelo. José A. Cuevas fue el continuador de las ideas de Gayol y el verdadero precursor y primer introductor de la mecánica de suelos de México. El y su discípulo N. Carrillo analizaron la influencia del bombeo en los pozos de aprovisionamiento de agua de la Ciudad, a la luz de la teoría de la Consolidación de Terzaghi y comparando los resultados obtenidos de las mediciones locales en diferentes sectores de la Ciudad; de esa época data la demostración definitiva, realizada por Carrillo al margen de pequeños errores de detalle por falta de información completa para respaldar todas sus conclusiones, de que el abatimiento de los niveles piezométricos profundos era la causa principal del hundimiento.

La historia de la explotación de los mantos acuíferos de la Ciudad, está íntimamente ligada al hundimiento del suelo. Es un hecho comprobado que los acuíferos del subsuelo y entre ellos mantos poco profundos, estuvieron sujetos a presiones artesianas.

El incremento de la población, particularmente en los últimos años, ha orillado a una explotación de las fuentes subterráneas, de tal modo que se han inducido abatimientos de los niveles piezométricos del orden de 20 m. o mayores, provocando el flujo de agua de los mantos arcillosos hacia ellos, con la correspondiente consolidación de las arcillas acompañadas de pérdida de volumen.

Sin embargo, mediciones realizadas en zonas como el fondo del lago de Texcoco, a pocos kms. de la zona urbana evidencian que en la actualidad subsiste el artesianismo de las capas permeables del subsuelo.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos a través de la Comisión de Aguas del Valle de México y el Departamento del Distrito Federal a través de la DGCOH han realizado nivelaciones constantes a partir de julio de 1952 a noviembre de 1983 en la mancha urbana de la Ciudad de México. Como primer análisis se estudiaron 38 sitios de interés, calculando los hundimientos a partir de varias nivelaciones efectuadas y calculando la velocidad de hundimiento. Los resultados se graficaron en función del tiempo y se pudieron detectar cinco zonas dentro de la mancha urbana de la Ciudad de México, de acuerdo a las velocidades de hundimiento calculadas, representadas en la figura I.3.09.

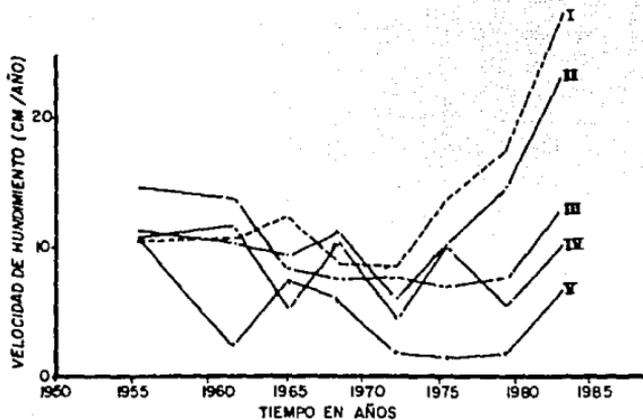


Fig. I.3.09 VELOCIDAD DE HUNDIMIENTO-TIEMPO

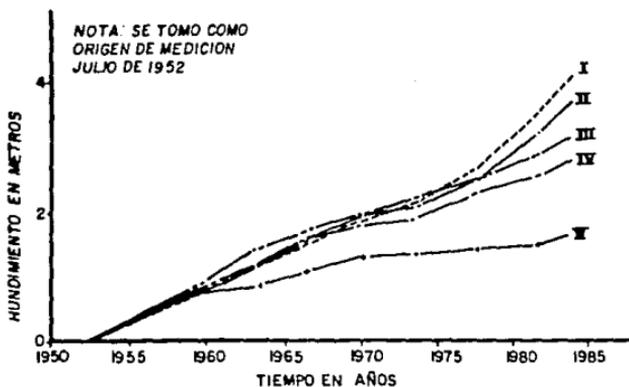


Fig. I.3.10 HUNDIMIENTO-TIEMPO

En la gráfica de hundimiento contra tiempo de la figura I.3.10, se puede apreciar que continúa el incremento del hundimiento de toda la Ciudad de México y que sólo en la zona V (al poniente) se tuvo durante casi 20 años un adecuado control del hundimiento. Es importante recalcar que el hundimiento en las Zonas I y II (al oriente) es el máximo observado en la última década. En la gráfica de velocidad de hundimiento a través de los años (fig. I.3.9.) se --- aprecian los siguientes resultados de interés:

- a) Las zonas III y IV y principalmente en la Zona V se tenía una tendencia a disminuir o controlar la velocidad de hundimiento hasta fines de la década de los setentas, sin embargo nuevamente se ha incrementado la velocidad de hundimiento.
- b) En las zonas I y II se aprecia que la velocidad de hundimiento es muy alta, con valores entre -- 27.5 y 23.0 cm/año, respectivamente. Es importante mencionar que en estas zonas, se han incrementado las cargas en superficie debido a construcciones.
- c) Las zonas III y IV presentan velocidades de hundimiento de 12.5 y 10.5 cm/año, respectivamente.
- d) La velocidad de hundimiento en la Zona V es de - 6.5 cm/año; aunque en esta zona, ya se habían tenido velocidades de 2 cm/año hasta 1980.

En la figura I.3.11 se puede apreciar un intento de una subzonificación de la formación de Lago, de acuerdo al comportamiento de hundimiento regional actual.

CAPITULO II

II. TIPOS DE CIMENTACIONES

Se hará aquí una breve descripción de los diferentes tipos de cimentaciones que se han construido y se siguen -- construyendo, con algunas variantes en la Ciudad de México, en donde su diseño, construcción y previsión de su comportamiento presentan un grado de dificultad mayor que en otras Ciudades por las particulares características geotécnicas y sísmicas del Valle de México, como se ha comentado en el capítulo I.

Primeramente definiremos la cimentación como la subestructura que recibe las cargas que le transmite la superestructura y las distribuye al terreno natural o estrato resistente inmediato, como se puede apreciar esquemáticamente en la figura II.0.01.

Existen diferentes tipos de cimentaciones los cuales se pueden clasificar por sus características de forma y profundidad. Un criterio académico teórico es el de A.W. - - Skempton que nos dice que cuando la relación de profundidad y el ancho de la cimentación es menor a dos se considera como poco profunda o superficial y cuando la relación es mayor a dos se trata de una cimentación profunda, sin embargo este criterio es poco descriptivo ya que al considerar únicamente la profundidad y el ancho de la cimentación excluye características más importantes.

En las "Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones", que entraron en vigor el 13 de Noviembre de 1987, se precisa en la Tabla I "Requisitos mínimos para la investigación del subsuelo", la clasificación de las construcciones y por lo tanto de sus cimentaciones en dos tipos: A.- Construcciones ligeras o media -

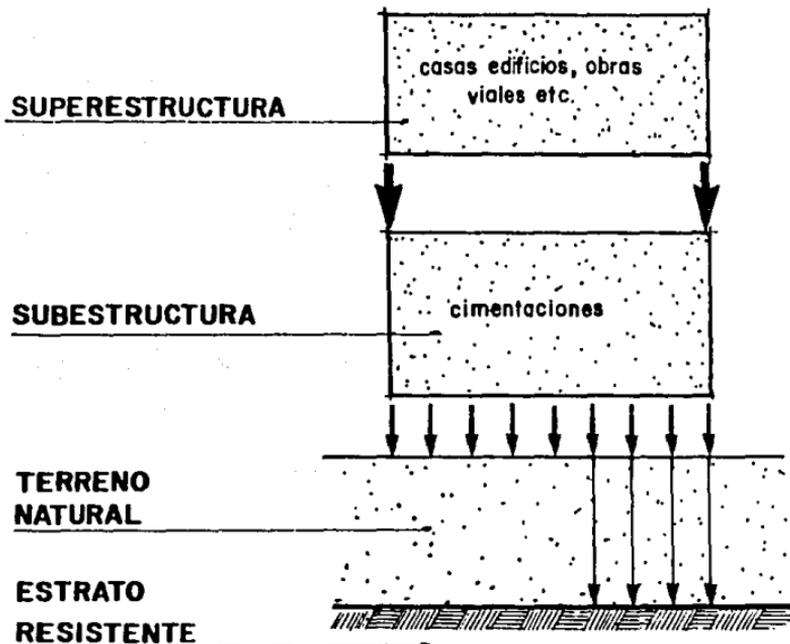


Fig.II.001. FUNCION DE LAS CIMENTACIONES EN UNA OBRA DE INGENIERIA CIVIL.

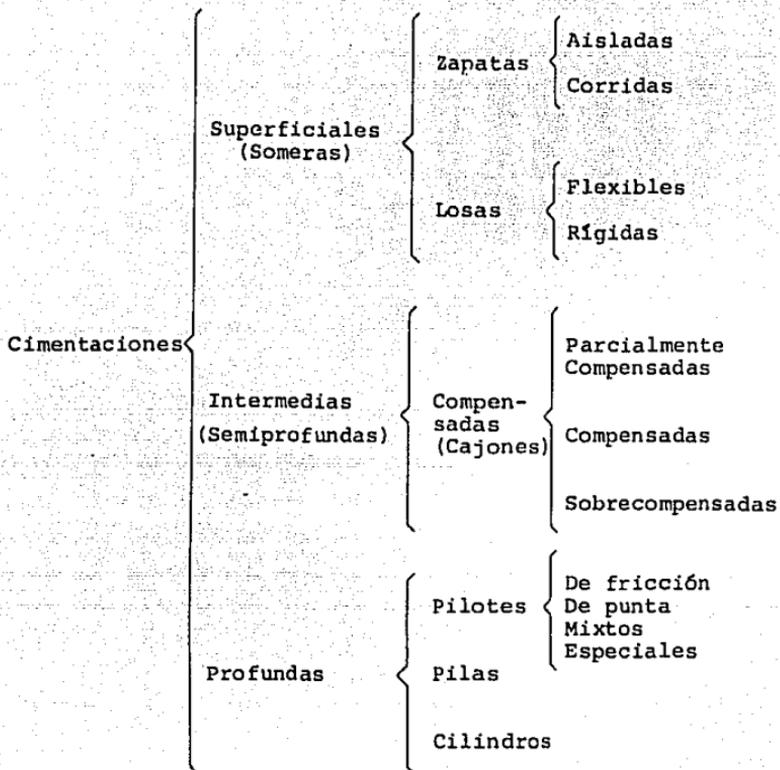
nas de poca extensión y con excavaciones someras y B.- ---
Construcciones Pesadas, Extensas o con excavaciones profundas.

En esta última clasificación se consideran tres características que son: peso de la estructura, perímetro de la construcción y profundidad de desplante proporcionando una frontera entre las cimentaciones superficiales y profundas.

En las mismas Normas Técnicas en el punto 3.- "Verificación de la seguridad de las cimentaciones", en donde se revisa la seguridad ante los estados límite de falla y límite de servicio, clasifican a las cimentaciones como sigue: Cimentaciones someras (zapatas y losas); Cimentaciones compensadas; Cimentaciones con pilotes de fricción; Cimentaciones con pilotes de punta o pilas; y Cimentaciones especiales (pilotes controlados, penetrantes, etc.).

En cuanto a su procedimiento constructivo las cimentaciones se pueden clasificar en: Cimentaciones de Contacto (zapatas, losas y compensadas) y Cimentaciones con pilotes o pilas.

Para efectos de nuestro trabajo y tomando en cuenta los criterios de clasificación más prácticos que sobre cimentaciones hay (y que se ajusta a la forma en como lo hacen las Normas Técnicas), presentamos en el siguiente cuadro los tipos de cimentaciones de acuerdo a su profundidad de desplante y forma, en donde consideramos el tipo de cimentaciones Intermedias o Semiprofundas en forma separada, puesto que su clasificación como superficiales o profundas dependerá de las características de cada caso, sin embargo, para su descripción más adelante las incluiremos en las primeras:



Estamos conscientes de que como resultado de la edición del Nuevo "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal" y de sus Normas Técnicas Complementarias en --- 1987, como consecuencia de los sismos de Septiembre de 1985, aparecerán considerables diferencias entre las cimentaciones de antes y después de este hecho, por ejemplo, es debido al importante incremento de los factores de carga, que conducen a mayores armados y dimensiones.

II.1. SUPERFICIALES

De acuerdo con las "Normas Técnicas Complementarias

para Diseño y Construcción de Cimentaciones" se consideran como superficiales las que pertenezcan a las edificaciones que cumplan los siguientes tres requisitos:

Peso unitario medio de la estructura $w < 5 \text{ t/m}^2$

Perímetro de la construcción $P < 80 \text{ m}$ en las Zonas

I y II, o

$P < 120 \text{ m}$ en la Zona

III

Profundidad de desplante $D < 2.5 \text{ m}$

f -

En este grupo podemos tener las zapatas en todas sus variedades, las losas planas, flexibles o rígidas, los cascarones y algunas cimentaciones de cajón.

II.1.a Zapatas.

Una zapata se puede considerar como la ampliación de la base de una columna o un muro, cuya función es reducir la presión sobre el suelo de acuerdo a las propiedades del mismo. Si la zapata soporta una columna separada de muros o elementos estructurales continuos se llama zapata aislada; si la zapata se construye bajo un muro continuo o bajo varias columnas se llama zapata corrida. En la figura II.1.02 mostramos esquemáticamente la clasificación de zapatas.

II.1.b Losas.

La losa de cimentación es el resultado de la combinación de las cimentaciones de todos los muros y columnas de la superestructura y se aplica cuando la suma de sus áreas

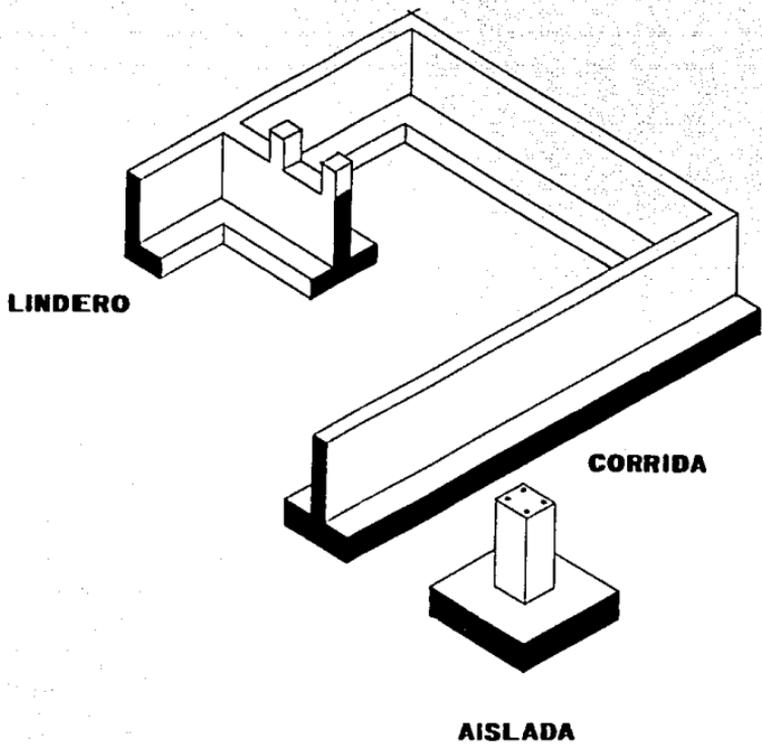


Fig II.1.02. CLASIFICACION DE ZAPATAS

de contacto superan el 50% del área del edificio obteniendo así la máxima área de cimentación para dicho edificio. - Este tipo de cimentación se emplea también cuando hay que resistir subpresión utilizando el peso del edificio para -- contrarrestarla.

II.1.b.1. Losas flexibles.

Comúnmente las losas de cimentación se diseñan como losas planas de concreto reforzado sin nervaduras, en donde las cargas las soportan las columnas y los muros que se apo-yan hacia abajo; si el centro de gravedad de las cargas --- coincide con el centroide de la losa, se considera cargada uniformemente y la carga será igual a la suma de todas las cargas dividida entre el área total, sin dejar de conside-rar los esfuerzos producidos por los asentamientos diferenciales. Estas losas se utilizan en zonas altamente compresibles y en estructuras pequeñas y ligeras. Ver fig. II.1.03.

II.1.b.2. Losas rígidas.

Este tipo se utiliza en estructuras con amplia área de contacto y para soportar grandes cargas estructurales. - Se construye adicionando contratraveses que trabajan como nervaduras, como se puede apreciar en la figura II.1.04, repa-rtiendo la carga y evitando deformaciones a la losa debidas a asentamientos diferenciales, llegando a un límite cuando la losa es muy grande y la carga soporte del suelo baja, en este caso resulta más económico cambiar el sistema de losa rígida por el de cimentaciones compensadas o cajones.

En algunos casos se llegan a construir losas de cí-mentación en forma de arcos invertidos o cascarones, pero - el costo de construcción se eleva en gran medida debido a -

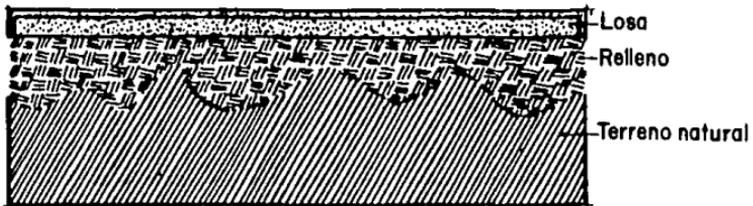


Fig.II.1.03 LOSA FLEXIBLE

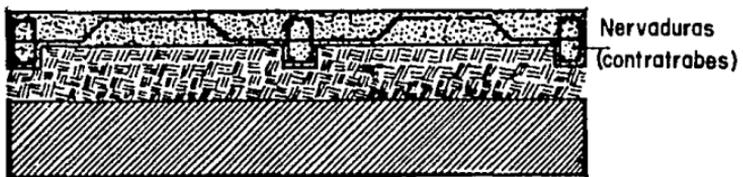


Fig.II.1.04 LOSA RIGIDA

la mano de obra necesaria, ya que el proceso constructivo es más metódico.

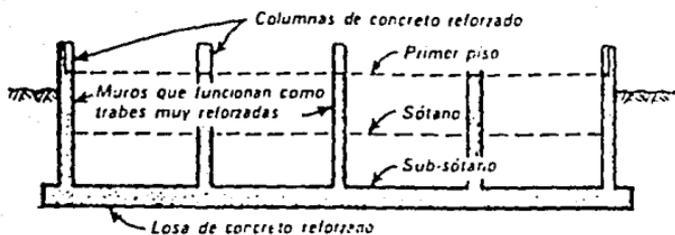
II.1.c. Cimentaciones Compensadas (Cajones).

De acuerdo con el punto 3.4 de las Normas Técnicas mencionadas, las Cimentaciones Compensadas son aquellas en las que se busca minimizar el incremento neto de carga aplicado al subsuelo mediante excavación del terreno y uso de un cajón. Según que el incremento neto de carga aplicado al suelo en la base del cajón resulte positivo, nulo o negativo, la cimentación se denomina parcialmente compensada, compensada o sobrecompensada, respectivamente.

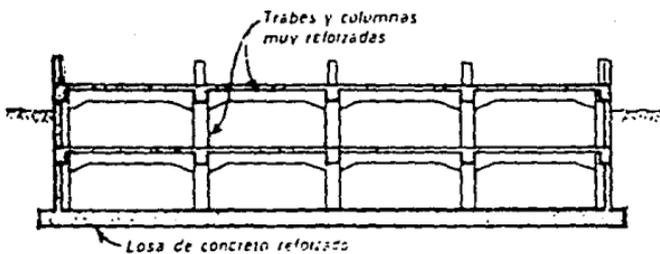
En términos generales, la cimentación de cajón consiste en una losa rígida en la que las contrarabes tienen tales dimensiones que físicamente son muros, de acuerdo con la profundidad del cajón este puede ser de varios niveles los que, en muchos casos, se habilitan como áreas de trabajo o estacionamientos. En la figura II.1.05 mostramos cimentaciones de cajón.

Para la construcción de este tipo de cimentación se deberá tener en cuenta las siguientes particularidades: Si una cimentación es parcialmente compensada los asentamientos diferenciales pueden tener fuerte influencia en la estructura. Una cimentación compensada es lo óptimo para evitar daños a la superestructura.

Las Cimentaciones sobrecompensadas pueden presentar el problema de la flotación de las estructuras lo que provoca que ésta emerja, causando daños no solo en el edificio sino también en las estructuras vecinas debido a su arrastre.



CAJON CON MUROS Y LOSAS



CAJON CON TRABES Y COLUMNAS

Fig. II.105 CIMENTACIONES DE CAJON

El paso del suelo sumergido a saturado presenta un incremento en las cargas netas, lo que puede provocar asentamientos diferenciales peligrosos causados por la extracción excesiva de agua o por una larga temporada de sequía o por el incremento de áreas asfaltadas que disminuyen las zonas permeables para la infiltración natural del terreno.

II.2. Profundas.

Según las "Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones" se consideran como profundas las cimentaciones que pertenezcan a las edificaciones que tienen al menos una de las siguientes características:

Peso unitario medio de la estructura $w > 5 \text{ t/m}^2$

Perímetro de la construcción $P > 80 \text{ m}$ en las Zonas
I y II, 6

$P > 120 \text{ m}$ en la Zona
III

Profundidad de desplante $D_f > 2.5 \text{ m}$.

Dentro de estas se incluyen algunas cimentaciones --compensadas que ya fueron descritas, los pilotes, las pilas y cilindros y sus combinaciones.

II.2.a Pilotes.

Cuando la carga soporte del suelo a nivel superficial, donde se podrían apoyar una zapata o losa, es muy baja comparada con la carga de la estructura, además de ser un estrato compresible, se toma la decisión de apoyar la estructura en capas más resistentes, aunque éstas se encuen-

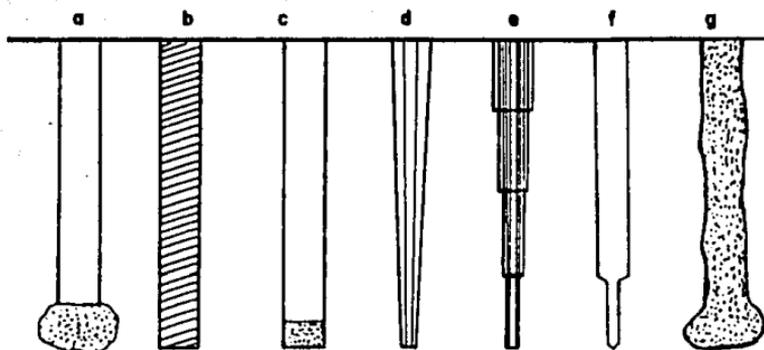
tren a mayor profundidad. Esto se logra por medio de pilotes: los pilotes son elementos estructurales de sección --- transversal relativamente pequeña, con diámetro menor de 80 centímetros y la forma de hincarlos es a percusión, vibración o a presión (aplicados en el control de asentamientos) y puede ser con o sin perforación previa. También tenemos los pilotes de concreto colados en el lugar. En la figura II.2.06 presentamos algunos tipos de pilotes según su forma.

En la práctica y en forma general, en la Ciudad de - México son más usuales los pilotes de concreto reforzado en toda variedad de tamaños y largos, las secciones transversales pueden ser Triangulares, Circulares, Cuadradas, Hexagonales, Octagonales; o en sección metálica hueca o sólida: - circular, I, H. Las formas de transmitir los esfuerzos al terreno natural pueden ser las siguientes:

II.2.a.1.- Pilotes de Fricción.

Cuando el estrato resistente se localiza demasiado - profundo o el estrato no cuenta con el espesor adecuado para soportar la carga transmitida por la estructura y se --- cuenta con un estrato limo arcilloso es posible usar la --- adherencia que se genera en todo el fuste del pilote. Es - tos elementos se pueden usar como complemento de un sistema de cimentación parcialmente compensado para reducir asentamientos.

Dentro de este tipo de pilotes podemos mencionar, -- aparte de los más comunes de concreto reforzado (prefabricados o colados en el lugar), a los pilotes electrometálicos, de trabajo combinado y a los de tramos con longitud pequeña usados en el control de asentamientos.



a) Ademado

b) Cilíndrico corrugado (cobi)

c) Tubo de pared delgada

d) Tubo cónico

e) Cónico escalonado

f) Penetrante

g) No ademado (colado en sitio)

FIG. II 2.06 TIPOS DE PILOTES SEGUN SU FORMA

Pilotes electrometálicos.

Estos pilotes son piezas metálicas en los cuales, -- después de hincarlos se aplica una carga eléctrica -- para generar en un tiempo corto las características de adherencia del terreno natural.

Pilotes de trabajo combinado.

En la Ciudad de México existen muchas cimentaciones que se diseñaron combinando los pilotes con los cajones; en algunos casos se utilizan pilotes entrelazados los cuales una parte se incrusta en el estrato resistente y no toca la estructura y la otra parte trabaja por fricción siendo la que físicamente soporta la estructura lográndose un confinamiento que incrementa la adherencia de los pilotes.

Pilotes usados en el control de asentamientos.

Este tipo de pilotes se compone de tramos de longitud pequeña de concreto reforzado que se hincan mediante presión de gatos hidráulicos y se ligan unos a otros de diferentes formas, siendo ideales para recimentaciones que se tengan que realizar en áreas de difícil acceso.

II.2.a.2. Pilotes de Punta.

Son elementos estructurales que transmiten la mayor parte de la carga a un estrato resistente por medio de su punta. Estrictamente hablando todos los pilotes trabajan por fricción, cuando los clasificamos como pilotes de punta estamos despreciando la pequeña contribución de su capacidad por fricción.

II.2.a.3 Pilotes mixtos

Pilotes que aprovechan el trabajo de punta combinado con la fuerza de adherencia. Este tipo de pilotes es usado cuando el estrato resistente es delgado pero el estrato superficial tiene características friccionantes, por lo que resulta económico comparado con el costo de apoyarse en un estrato resistente más profundo con las características --- apropiadas para soportar las cargas.

En la figura II.2.07 presentamos los tipos de pilotes según la forma de transmisión de carga.

II.2.a.4 Pilotes especiales.

Son considerados como cimentaciones especiales dentro de las cuales podemos mencionar los Pilotes controlados y los Pilotes penetrantes:

Pilotes Controlados.

Este es un sistema especial de pilotes desarrollado por la Ingeniería Mexicana, el pilote utilizado es común pero su cabeza atraviesa la losa de cimentación y se apoya en un puente mediante probetas de madera o hidráulicas (figura II.2.08), en las cuales se puede observar en que sentido se incrementan los esfuerzos por lo que, manipulando el sistema, se realiza una redistribución de las cargas evitando que la estructura emerja o se presente asentamiento diferencial. El trabajo de este tipo de pilotes generalmente es por punta.

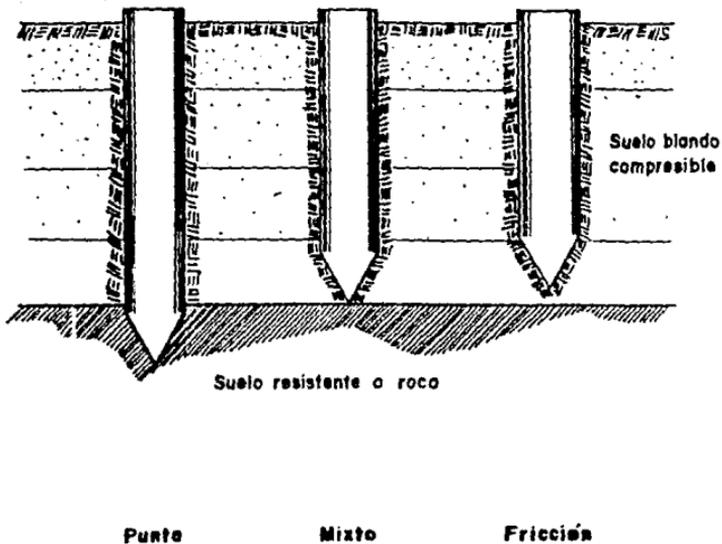


FIG 207 TIPOS DE PILOTES SEGUN LA FORMA DE TRANSMISION DE CARGA

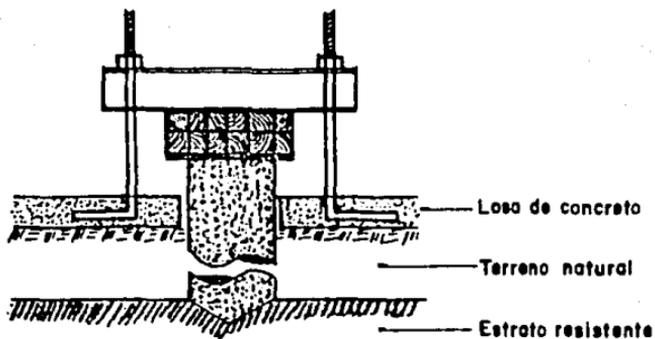


Fig.II.2.08 PILOTE CON SISTEMA DE CONTROL

Pilotes penetrantes.

En su diseño se busca que la punta, apoyada en la capa dura, llegue al límite como consecuencia de la carga (estática) aplicada por la estructura y la fricción negativa máxima que podría desarrollarse, - este criterio de diseño genera la forma peculiar de estos pilotes (figura II.2.09), quedando de sección grande en el tramo de fricción y esbelta en el que penetrará al suelo. Este último tramo se fabrica con tubo de acero o bien con concreto reforzado. Este tipo de pilotes también ha sido usado en el control de asentamientos.

II.2.b. Pilas.

Las pilas son elementos estructurales de diámetro mayor a 80 centímetros de sección sólida de concreto reforzado, con el extremo inferior angosto o acampanado (figura II.2.10). La pila en Ingeniería tiene dos usos: soportar y transmitir las cargas de la estructura y formar parte de la superestructura por lo que se describe de la siguiente manera: La parte que se encuentra bajo el terreno se denomina pila de cimentación, ésta es similar a una zapata, la única diferencia es la profundidad de desplante distribuyendo la carga en un terreno más favorable. En realidad no existe una diferencia entre pilote o pila excepto su diámetro y su capacidad de carga por unidad.

II.2.c. Cilindros.

Otro sistema de cimentación es utilizando cilindros huecos de gran diámetro, que también pueden ser una serie de cajones no siempre cilíndricos, que formando celdas integran una cimentación de grandes dimensiones, este tipo es generalmente utilizado para apoyar estructuras bajo tirante

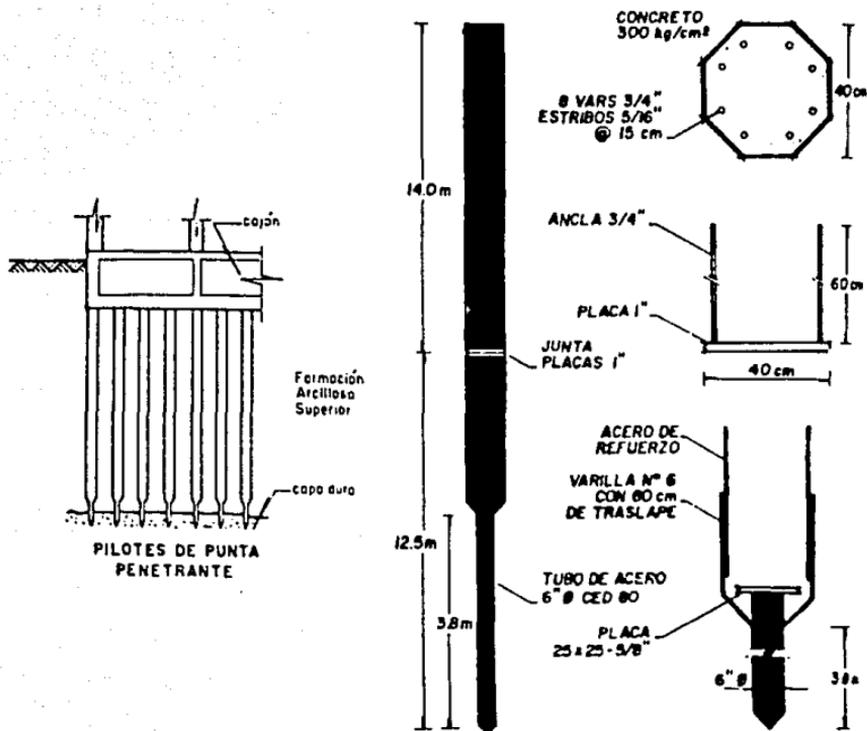


FIG II 2.09 PILOTES DE PUNTA PENETRANTE

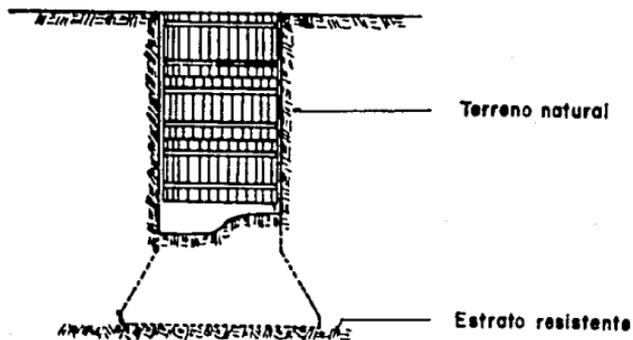
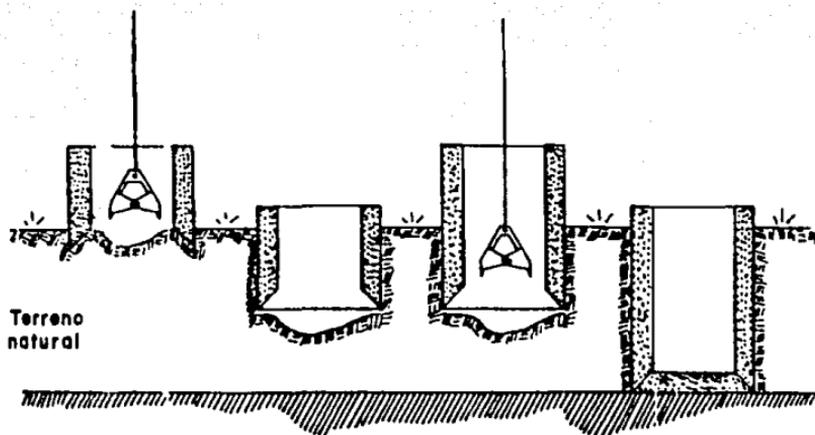


Fig II.2.10 PILA CON FORRO DE MADERA

hidráulico en ríos, lagos e incluso el mar.

Cuando el cilindro se desplanta en terreno firme el sistema es el llamado pozo indio, que mostramos en la figura II.2.11. Para el desplante bajo tirante de agua se puede utilizar el sistema llamado Isla Artificial de Arena, o el cajón flotante. Este sistema lo mismo que las pilas y los pilotes se apoyan en un estrato resistente profundo.

Los problemas de asentamientos de edificaciones en la Ciudad de México se presentan principalmente aunque no exclusivamente en las zonas II y III o de Transición y del Lago respectivamente, que están integradas por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, encontrándose todo tipo de edificaciones y por lo tanto de cimentaciones -- con este tipo de problemas.



ESTRATO RESISTENTE

Fig.II2 II HINCADO DE CILINDRO MEDIANTE SISTEMA LLAMADO POZO INDIO

CAPITULO III

III. ASENTAMIENTOS DE EDIFICACIONES

En el proyecto de cualquier sistema de cimentación, el problema fundamental es evitar que se produzcan asentamientos suficientemente grandes para dañar las estructuras o dificultar su funcionamiento en forma eficiente. La magnitud máxima del movimiento vertical (hundimiento o emersión) permisible en las edificaciones del Distrito Federal está considerada en la tabla II de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones (tabla III.0.01).

Como sabemos, el diseño de las cimentaciones en la zona lacustre de la Ciudad de México presenta dificultades muy superiores a las usuales en otras ciudades, debido a los siguientes factores:

La baja resistencia al esfuerzo cortante de las arcillas.

Su alta compresibilidad que obliga a limitar las presiones aplicadas al terreno a valores aún más pequeños que los aceptables desde el punto de vista de la resistencia, para evitar asentamientos totales y diferenciales excesivos.

La existencia del hundimiento regional que provoca la emersión de las cimentaciones apoyadas en estratos resistentes profundos y la sobrecarga de sus pilotes o pilas por fricción negativa.

Existen básicamente dos tipos de movimientos en las estructuras. El afloramiento o emersión y el asentamiento, que puede ser uniforme o diferencial.

TABLA II
LIMITES MAXIMOS PARA MOVIMIENTOS Y DEFORMACIONES
ORIGINADOS EN LA CIMENTACION*

a) Movimientos verticales (hundimientos o asentamiento)		Limites
Valor medio en el punto	Asentamiento	Construcciones aisladas 30 cm**
Velocidad del resquebraje diferido	Asentamiento	Construcciones empujadas 15 cm
	Empujado	30 cm**
		1 cm/sereno
b) Inclinación media		
Tipo de dato	Limite	Observaciones
Inclinación vertical	100/(100 + H) por mil	H = altura de la construcción, en m
Mil hundimiento de grías viejas	0.5 por ciento	En dirección longitudinal
c) Deformaciones diferenciales en la propia estructura y sus secciones		
Tipo de estructura	Variable que se limita	Limite
Marcas de acero	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.004
Marcas de concreto	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.004
Marcas de carga de ladrillo recubrido o bloques de concreto	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.002
Marcas con escalones muy grandes como puentes, puentes vehiculares, etc.	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.001
		Se toman valores menores en la medida en que la deformación ocurre antes de colocar los muros finales o puentes de concreto del lado de los muros
Escalas móviles o marcas con escalones para escaleras, como emparrillado con juntas móviles	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.004
Tolerancias de concreto con juntas	Cambio de pendiente en las juntas	0.015

* Comprende la suma de movimientos diferidos y todos los recombinamientos de carga que se especifican en el Reglamento y las Normas Técnicas Complementarias. Los valores de la tabla son solo límites máximos y en cada caso habrá que revisar que no se exceda ninguno de los demás mencionados en el artículo 223 del Reglamento.

** Las construcciones aisladas son aquellas que no se toman en cuenta explícitamente en el diseño estructural de los pilares y de sus cimientos con la subestructura.

TABLA III.O.O.I. LIMITES MAXIMOS PARA MOVIMIENTOS Y DEFORMACIONES ORIGINADOS EN LA CIMENTACION.

III.1 Afloramientos.

Este problema se presenta principalmente en las edificaciones apoyadas en pilotes de punta, debido a su tendencia a emerger con respecto al terreno vecino como consecuencia del hundimiento regional y consiste en que los estratos del suelo reducen su espesor como consecuencia de las cargas, el tiempo y la pérdida de agua, en tanto que la longitud de los pilotes no varía, a menos que la sobrecarga debida a la fricción negativa provoque que su punta se hínque en la capa de apoyo. La fricción negativa ocurre como una carga vertical hacia abajo, cuando el suelo que rodea al pilote se adhiere. (fig. III.1.01).

En el caso de estratos del subsuelo que se encuentran en estado de consolidación sobre el suelo firme, se desarrollará fricción negativa debido al movimiento relativo entre suelo y pilote (fig. III.1.02). Esta fuerza friccional es función de los parámetros del esfuerzo cortante representativo de los sedimentos a diferentes profundidades y de los esfuerzos horizontales que actúan sobre el fuste del pilote.

Es conveniente aclarar que en edificios cimentados con pilotes de fricción no se han observado problemas importantes provocados por la emersión.

Como ejemplos de este fenómeno podemos mencionar los edificios de los cines México, Latino y el Monumento a la Independencia (figs. III.1.03 y III.1.04).

III.2 Asentamiento Uniforme.

El Asentamiento Uniforme, como su nombre lo dice, es el asentamiento de una edificación sin perder la verticali-

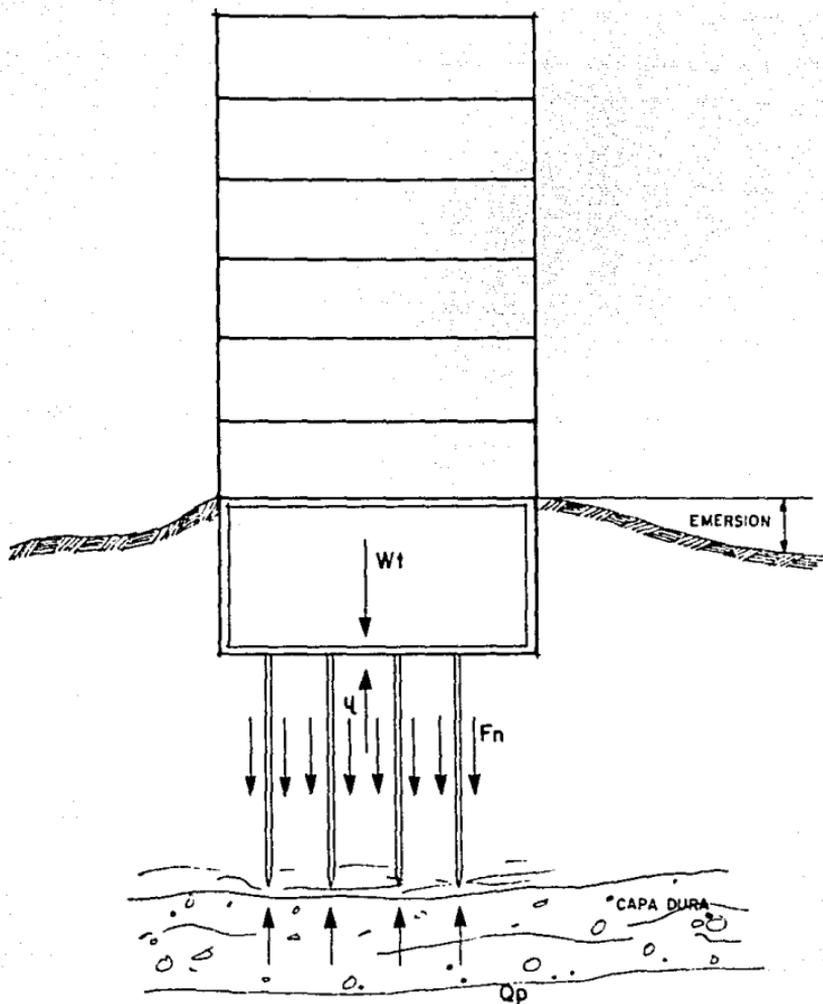


FIG III.101. EMERSION DE UNA ESTRUCTURA

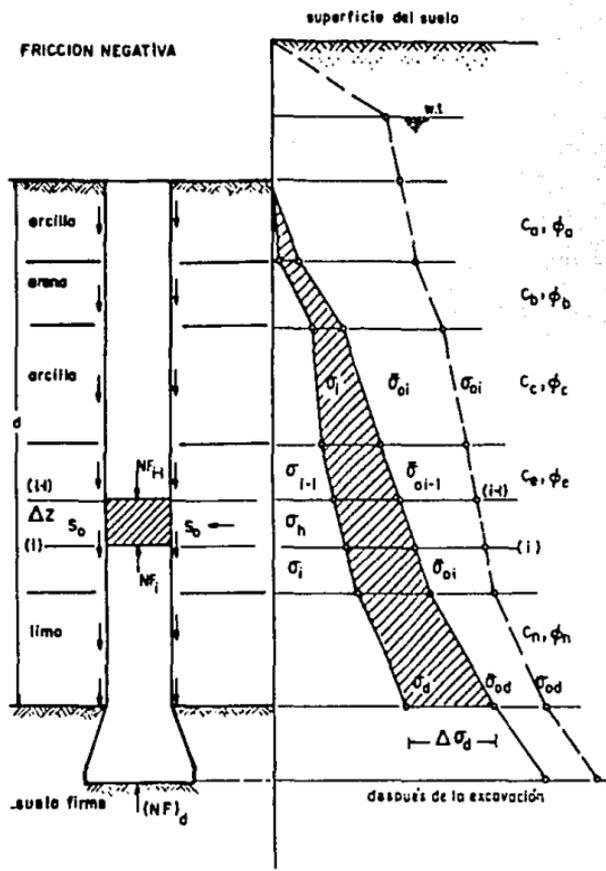
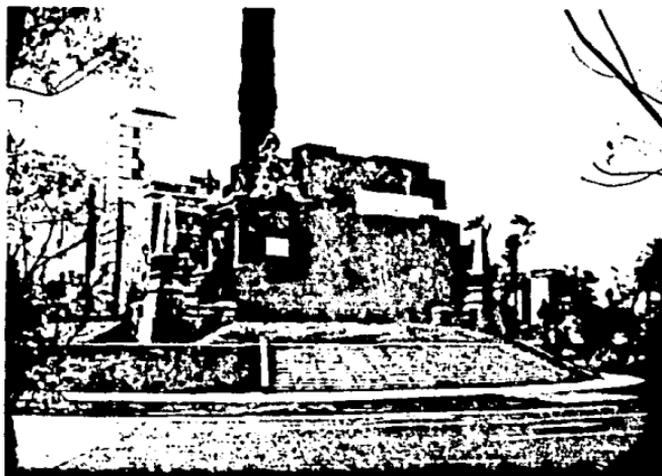


FIG. III. I.02. FRICCION NEGATIVA



**fig III.103. AFLORAMIENTO DE LOS CINES
LATINO Y MEXICO**



**fig III.104. AFLORAMIENTO DEL MONUMENTO
A LA INDEPENDENCIA**

dad. Este tipo de asentamiento es el menos desfavorable para cualquier edificación, siempre y cuando la magnitud de los Asentamientos Totales se encuentre dentro de ciertos límites que se definirán, principalmente, de acuerdo a las condiciones de la edificación en cuanto a su vecindad.

Es necesario comentar que al hablar de Asentamiento Uniforme nos referimos al movimiento de la edificación con respecto a un banco de nivel no afectado por asentamientos o movimientos locales. Las Normas Técnicas Complementarias establecen en la tabla II, los "Límites máximos para movimientos y deformaciones originados en las cimentaciones" (tabla III.0.01) en donde, con respecto a los Asentamientos Uniformes, se establece en el inciso a).- Movimientos Verticales (hundimiento o emersión), que el valor medio en el predio, en construcciones aisladas, será de 30 centímetros máximo con la posibilidad de un valor mayor si se considera explícitamente en el diseño estructural de los pilotes y de sus conexiones con la subestructura. En construcciones colindantes con otras edificaciones el límite de asentamiento será de 15 cms. Estos límites se deberán considerar en el diseño de la cimentación en la revisión ante estados límite de servicio y comprenden la suma de asentamiento debidos a todas las combinaciones de carga que se especifican en el Reglamento y las Normas Técnicas Complementarias. En cada caso se deberá revisar que no se causen daños intolerables a la propia cimentación, a la superestructura y sus instalaciones, a los elementos no estructurales y acabados, a las construcciones vecinas y a los servicios públicos como lo establece el artículo 224 del Reglamento.

En cuanto al problema de Asentamiento Uniforme en Edificaciones existentes diremos que se presenta en cualquier tipo de éstas con cimentaciones superficiales, semi-

profundas o profundas, excepto en las que se apoyan de punta en un estrato resistente. En relación a su localización encontramos este problema en las zonas II y III (Transición y Lago) en donde existen suelos arcillosos muy deformables y poco resistentes principalmente en la zona del Lago.

Para que se presente un Asentamiento Uniforme generalmente se deben cumplir las condiciones de carga uniforme, es decir, que el centro de cargas coincida con el centro geométrico y que exista una compresibilidad uniforme en el subsuelo, lo cual no siempre se encuentra por lo que este tipo de asentamiento no es muy común.

El comportamiento de Asentamiento Uniforme está asociado a una o varias circunstancias combinadas entre las que podemos mencionar:

Deficiencias en la práctica del diseño.

La no consideración del hundimiento regional, cada vez más acelerado en algunas áreas arcillosas de la Ciudad de México, en proceso de consolidación debido a la reducción de la presión en el agua que contienen, como consecuencia de la extracción de ella.

Deficiencias en el procedimiento constructivo de las cimentaciones: en la excavación, al ser inadecuada produciendo expansiones fuertes (bujamientos); en el bombeo para facilidad de construcción cuando se realiza sin control y cuando no se logra un cajón de cimentación estanco sobrecargando el suelo o bien bajando el nivel freático por el bombeo de achique.

También encontramos edificaciones que sufrieron el asentamiento uniforme como resultado del mal comportamiento

de su cimentación ante la intensidad excepcional de los sig mos de Septiembre de 1985, como resultado del particular -- comportamiento de ciertos tipos de cimentaciones en condi - ciones dinámicas.

Como ejemplo del Asentamiento Uniforme presentamos - el Edificio ubicado en el Eje Central Lázaro Cárdenas No. - 657 en la colonia Narvarte, en la zona del Lago (fig. III.2. 05).

Este edificio ha sufrido un asentamiento de aproxima damente 0.40 mts. con respecto al nivel de la banqueta.

III.3. Asentamiento Diferencial.

El Asentamiento Diferencial consiste en el movimien to irregular de una edificación provocando desplomes, agrie tamientos y deficiencia en su funcionamiento. La determina ción de asentamientos en la Ciudad de México no es fácil da do que la predicción de la evolución de los mismos con el - tiempo es insegura, ya que por un lado existe la duda en -- cuanto a la exactitud del coeficiente de consolidación y -- por otra parte, se desconoce el efecto de drenaje de las ca pas y lentes de arena existentes. Es por lo anterior que - la calidad de la exploración geotécnica es cada vez más im portante.

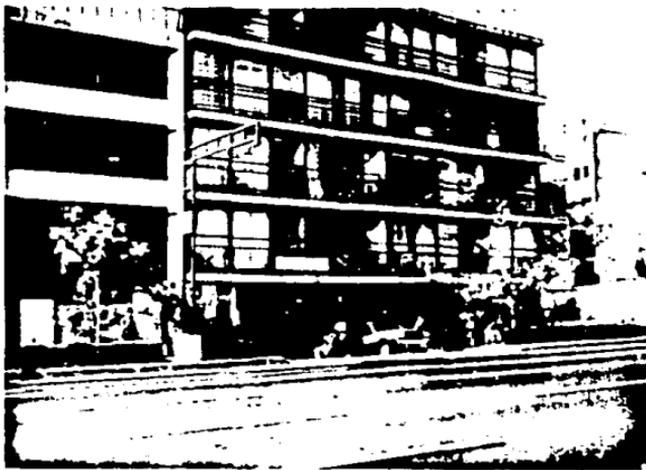
En las Normas Técnicas Complementarias se establecen los "Límites máximos para movimientos y deformaciones origi nados en las cimentaciones" (Tabla III.0.01), en donde, con respecto a los Asentamientos Diferenciales, encontramos los incisos b).- Inclinación media y c).- Deformaciones dife renciales en la propia estructura y sus vecinas, en donde - se marcan los límites en función de la altura de la edifica

ción y de las características de sus estructuras en cuanto al tipo de marcos (de acero o de concreto), al tipo de muros (de carga de ladrillo recocido o bloque de cemento) y al tipo de sus acabados.

El problema del Asentamiento Diferencial es, desafortunadamente, de lo más común en la Ciudad de México y la padecen cualquier tipo de edificación y cimentación encontrándolo en cualquiera de las zonas en que se divide la Ciudad según el subsuelo.

El comportamiento de Asentamiento Diferencial está asociado a las mismas circunstancias del Asentamiento Uniforme y que se mencionaron en el subcapítulo anterior, y agregaremos el frecuente cambio de uso de las edificaciones provocando un importante incremento en la carga viva además de una irregular distribución de la misma modificando el centro de cargas.

Como ejemplo del Asentamiento Diferencial presentamos fotografías del Edificio ubicado en el Eje Central Lázaro Cárdenas No.829, en la Zona del Lago (Fig. III.3.06). Este edificio ha sufrido un Asentamiento Diferencial de -- aproximadamente 0.30 mts.



**fig.III.2.05 ASENTAMIENTO UNIFORME DEL
EDIFICIO UBICADO EN EL EJE CENTRAL
LAZARO CARDENAS Nº 657**



**fig.III.3.06 ASENTAMIENTO DIFERENCIAL DEL
EDIFICIO UBICADO EN EL EJE CENTRAL
LAZARO CARDENAS Nº 829**

CAPITULO IV

IV. ALTERNATIVAS DE SOLUCION A LOS ASENTAMIENTOS

Cuando el ingeniero se enfrenta a un problema de --- asentamientos, su primera interrogante es preguntarse ¿Qué sucede?, la respuesta a este cuestionamiento implica que -- previamente nos hemos situado en un lugar cuyas características debemos conocer; cuales han sido las soluciones adoptadas para adecuarse a la localidad en cuestión y sus resultados; lo que nos permite saber por qué y como sucede. Lo - anterior ha sido labor de los tres primeros capítulos.

En este capítulo trataremos sobre un problema cuya - atención es de carácter "Correctivo" en inmuebles y estructuras ya construidas, lo cual haremos concentrándonos exclusivamente en la zona III (del Lago), sin profundizar en el análisis y diseño de proyecto, dando particular énfasis a - la recimentación a base de pilotes, dada la gran incidencia de edificaciones que los tienen y por su gran versatilidad de uso, lo que realza su importancia en una urbe con alta densidad de construcción como la Ciudad de México, donde se cuenta con espacios muy reducidos para el desplante de ci - mentaciones, aprovechándose al máximo el predio, lo que dificulta enormemente cualquier intento de incrementar la su - perficie de contacto.

Es importante aclarar que debido a los parámetros -- sísmicos vigentes antes de septiembre de 1985, los criterios de recimentación conducían principalmente a devolver la verticalidad a las estructuras o a reducir su velocidad de hundimiento, actualmente en cambio, primordialmente debemos -- conseguir que los factores de seguridad de la cimentación - en condiciones dinámicas sean adecuados a los nuevos parámetros, lo que regularmente nos conlleva al reforzamiento del

sistema de cimentación, siendo como lo dijimos anteriormente, de gran utilidad la implementación de pilotes.

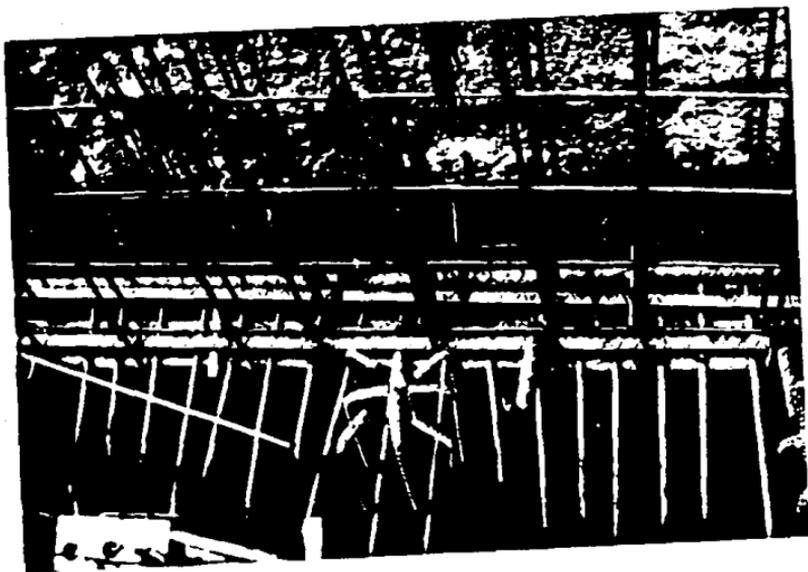
El tema ha adquirido mayor importancia a consecuencia de los sismos mencionados, siendo precisamente en la zona del lago, donde se presentaron mayores efectos en los inmuebles desplantados en ella, como los que a continuación se indican:

- En algunos edificios, los grandes esfuerzos a que se vieron sujetas sus cimentaciones, los dañaron estructuralmente.
- Otros más tuvieron variaciones en las condiciones de la superficie de contacto Subestructura - Suelo (remoldeo, ondulación del terreno, etc.).
- Varios inmuebles sufrieron daños estructurales -- que obligaron a reforzarlos, variando sus secciones y cargas, lo que propició la recimentación; -- como ejemplo de este caso tenemos la Central Telefónica ubicada en la esquina que forman las calles de Puebla y Monterrey.
- El reglamento en su nueva emisión, prevé la revisión de las edificaciones, resultando que muchas no lo cumplen, lo que obliga a reforzar su estructura y cimentación, según su importancia, Ejemplo La Central Telefónica ubicada en Av. Industria -- No. 25, Santa Rosa, Estado de México. Fig. IV.0. 01.a y b.

Para el control de asentamientos, debemos buscar y plantear una gama de soluciones factibles, económicas y --- efectivas. En las recimentaciones pretendemos llegar a soluciones tradicionales de cimentación, enfrentándonos al -- análisis, diseño y construcción notoriamente más complejos



**Fig. IV.0.01.a CENTRAL TELEFONICA EN PROCESO DE
RECIMENTACION Y REESTRUCTURACION.**



**Fig IV.001b PROCEDIMIENTO DE LIGA DE CIMENTACION
EXISTENTE CON LOS NUEVOS PILOTES**

que lo usual, debido a las estructuras y fundaciones existentes.

A continuación se comentarán brevemente los tipos de solución y los factores a considerar:

IV.1.- Tipos de Solución.

Describiremos brevemente los diferentes tipos de solución que se conocen, primeramente y desde un punto de vista práctico para las cimentaciones superficiales aclarando que estas soluciones son aplicables a otros tipos de cimentación (de cajón o con pilotes de fricción) dependiendo de las circunstancias de cada caso. Posteriormente nos avocamos al procedimiento de análisis de revisión y diseño para las cimentaciones con la aplicación de pilotes de punta y de fricción que, como se dijo anteriormente, por las características de la Zona III (Lago), son los sistemas más utilizados en la Ciudad de México; haciendo por último algunos comentarios sobre su comportamiento ante sollicitación sísmica.

IV.1.a.- Alternativas de Solución para Cimentaciones Superficiales.

Las alternativas de solución para las edificaciones con cimentación superficial que presentan asentamientos dependerán de sus características particulares, sin embargo, las soluciones que con mayor frecuencia se emplean se comentarán a continuación:

IV.1.a.1.- Bombeo.

La primera solución es el bombeo que puede ser con pozos de bombeo y absorción, pozos de recolección comunes o con pozos para electrólisis (Ver fig. IV.1.02 a y b) dependiendo de la estratigrafía del lugar y de la vecindad de la edificación. Esta solución es recomendable para la correc-

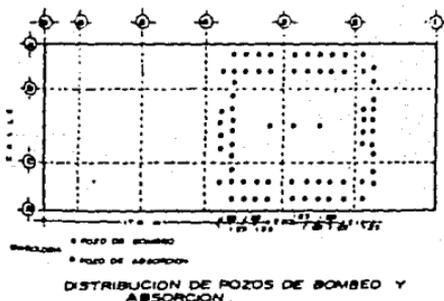
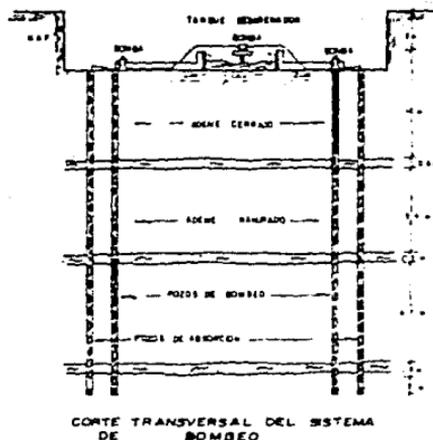
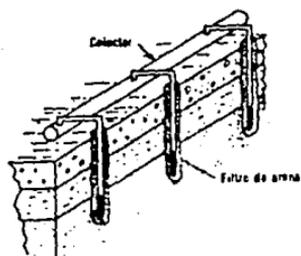
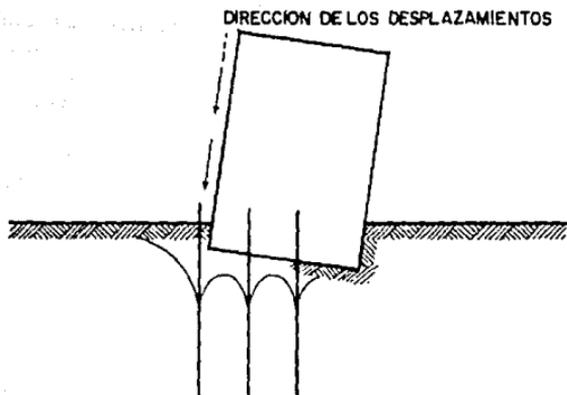
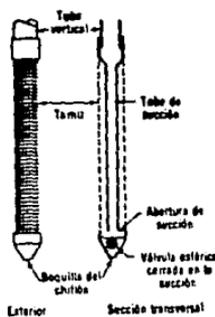


Fig. IV.102 a

PROCEDIMIENTO DE ENDEREZADO CON LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE POZOS DE BOMBEO Y ABSORCION UBICADOS EN EL AREA EN QUE SE PRETENDE HACER DESCENDER EL EDIFICIO.



a Dibujo recortado que muestra un pozo filtrante instalado en terreno anexo al colector



b Construcción de un pozo filtrante

Fig IV 102. b. PROCEDIMIENTO DE ENDEREZADO CON LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE POZOS DE RECOLECCION COMUNES O UTILIZANDO ELECTROSMOSIS

ción de asentamientos en edificaciones con una cimentación capaz apoyada en un suelo no preconsolidado y con hundimiento. Cuando no existen las condiciones anteriores el bombeo se utiliza en combinación con las otras soluciones para lograr la verticalidad de la edificación.

IV.1.a.2.- Lastre.

La segunda es la de colocar un lastre (contrapeso) a la estructura (Ver fig. IV.1.03) con el fin de producir momentos en el sentido inverso al desplome. Como lastre se puede utilizar cualquier material con una densidad alta cuidando aplicarlo sin afectar los elementos estructurales ni incrementar las solicitaciones sísmicas.

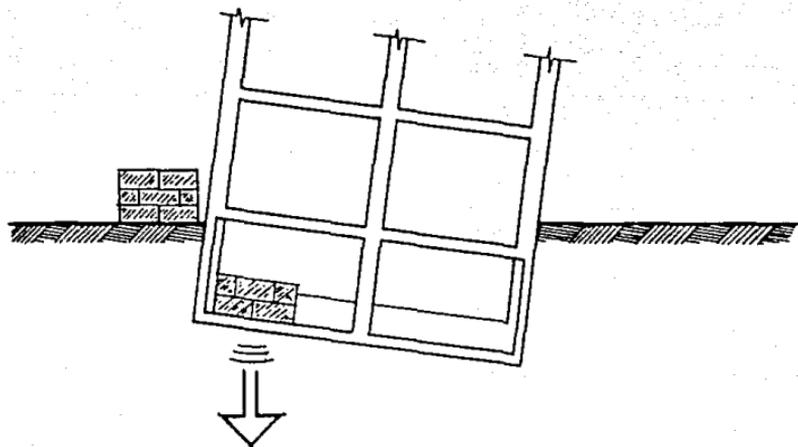
Es conveniente tener en cuenta las conexiones de servicios subterráneos como la toma de agua, el drenaje, teléfonos, etc. cuando se tienen problemas de asentamiento o se trabaja en la corrección de los mismos.

IV.1.a.3.- Subexcavación.

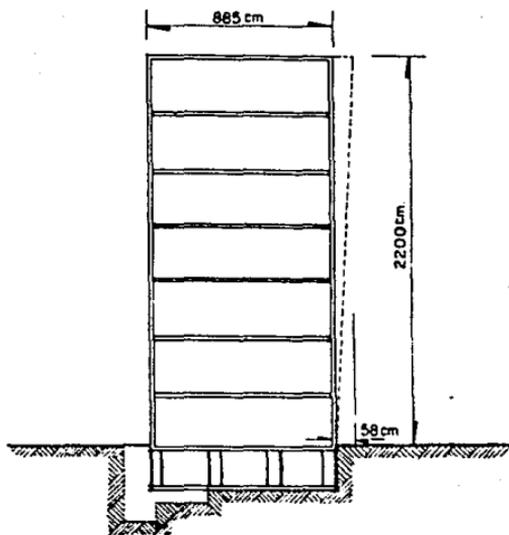
Como tercera solución tenemos la subexcavación que, como su nombre lo dice, consiste en excavar bajo la cimentación existente, franjas (tabletas) para provocar asentamientos donde se requiera y corregir el desplome como se muestra en la fig. IV.1.04.

IV.1.a.4.- Eliminación de Peso.

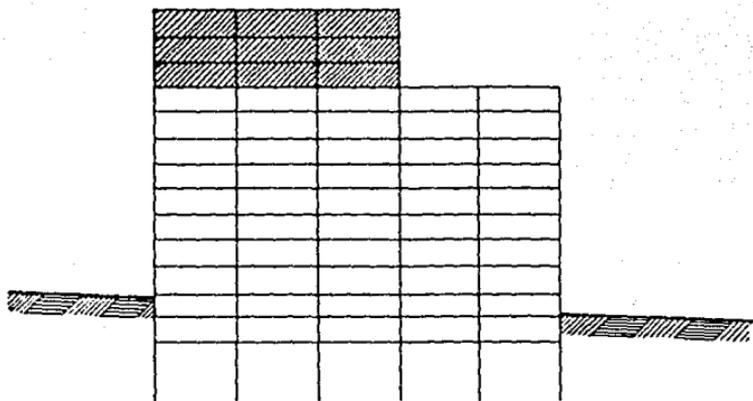
La cuarta solución consiste en restar peso a la estructura mediante la eliminación parcial o total de plantas cuando el uso de la edificación lo permite. Ver fig. IV.1.05.



**Fig IV.103. PROCEDIMIENTO DE ENDEREZADO
CON LASTRE.**



**Fig IV.104. PROCEDIMIENTO DE ENDEREZADO
MEDIANTE LA SUBEXCAVACION.**



 PLANTAS A DEMOLER

Fig IV.105. PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE HUNDIMIENTOS MEDIANTE LA ELIMINACION DE PESO.

IV.1.a.5 Modificación de la cimentación.

Como quinta posible solución tenemos el modificar - la cimentación ya sea aumentando el área de contacto cuando se cuenta con el espacio necesario, o cuando la cimentación superficial ha resultado inadecuada, buscar el apoyo necesario a una profundidad mucho mayor que la de las zapatillas o losas originales. Esto último consiste en la aplicación de pilotes ya sea colados en el sitio o precolados. - En la fig. IV.1.06 mostramos ejemplos de este tipo de soluciones.

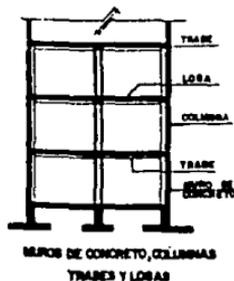
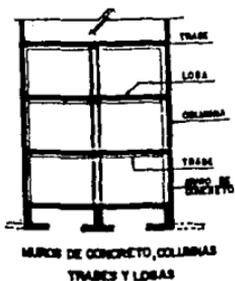
Las soluciones anteriormente descritas se pueden -- aplicar una o más a la vez de acuerdo con los requerimientos y condiciones generales.

IV.1.b. Alternativas de Solución para Cimentaciones con Cajón.

Como en el caso anterior, existen varias alternativas que se aplicarán de acuerdo al origen y gravedad del - problema una vez valorado y hecho el análisis correspondiente.

Así pues, las soluciones anteriormente descritas, - como el Bombeo Controlado, el Lastrado, la Subexcavación, que son métodos que no afectan o modifican la Subestructura del edificio y los que la afectan como la implementación de Pilotes e incrementar el área de desplante, y las posibles combinaciones ya también vislumbradas con anterioridad, deberán estar regidas todas ellas por el reglamento.

Coincidiendo con las cimentaciones superficiales, - la opción más propia es la de ampliar la superficie de contacto, con el fin de redistribuir cargas, pero su factibi-



AMPLIACION DEL AREA DE CONTACTO

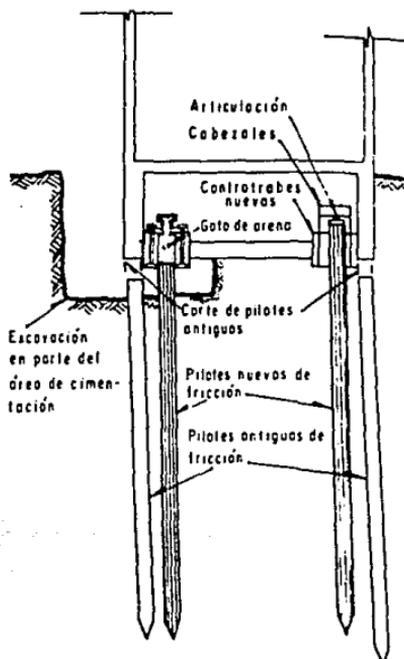


Fig. IV.106. PROCEDIMIENTO DE RECIMENTACION MEDIANTE LA MODIFICACION DE LA CIMENTACION

lidad está en función del espacio disponible, lo que limita su empleo. Ahora bien, en caso de ser posible existen dos opciones, mediante el crecimiento de la losa tapa, o la de fondo del cajón, reforzadas con contratraves.

Si fuera mediante la losa de fondo, habrá que controlar el Nivel de Aguas freáticas y las expansiones, lo que implica un diseño cuidadoso del procedimiento constructivo.

La implementación de pilotes se desarrollará con -- más amplitud posteriormente.

En relación a las soluciones combinadas, diremos -- que surgen de la necesidad de resolver más de un problema simultáneamente, de tal manera que puede suceder que al implementar pilotes a una subestructura, le estamos proporcionando mayor capacidad de carga, pero nó le devolvemos -- instantáneamente la verticalidad, por lo que será posible recurrir al bombeo controlado e incluso a la Subexcavación por tabletas, para conseguirlo con mayor oportunidad.

IV.2. Pilotes de Punta.

Dado que ya han sido descritos en el capítulo II, -- pasaremos directamente al tema de interés:

Basándonos en las normas técnicas complementarias -- (1987) así como en la experiencia, consideraremos para el estudio de una recimentación, los siguientes aspectos válidos, los cuales son requeridos para una obra nueva, teniendo en cuenta que tendrán peculiaridades propias de una recimentación:

IV.2.a. Nivelación y Levantamiento Topográfico.

Ante el mal comportamiento de una cimentación y los correspondientes efectos detectados sobre la Superestructura, se requiere realizar una valoración, mediante una nivelación del edificio y levantamiento topográfico de la zona, lo que nos permitirá tener una idea más gráfica de las deformaciones y geometría de la estructura y su superficie - de contacto con el terreno de desplante (Ver fig. IV.2.07).

Aún siendo muy visibles los daños y deformaciones, es importante hacer uso de la información anteriormente señalada, dado que es necesario mantener un control progresivo de los movimientos que se den; además que nos permite - determinar con precisión el grado de desplome o de asentamientos diferenciales que se producen por la penetración - de algunos de los pilotes en el estrato resistente, así como el movimiento relativo respecto a el terreno o estructuras circunvecinas producido principalmente por el asentamiento regional.

IV.2.b. Investigación del Subsuelo y Determinación de Propiedades.

Previo reconocimiento del sitio, mediante la observación de construcciones vecinas; recabación de antecedentes sobre cargas soportadas anteriormente; evidencias de - rellenos o grietas profundas, se hacen exploraciones de -- acuerdo a las normas técnicas complementarias del reglamento de construcciones, tomando en cuenta la zona Geotécnica de la Ciudad.

Para cimentaciones profundas se considerarán los -- tres aspectos siguientes:

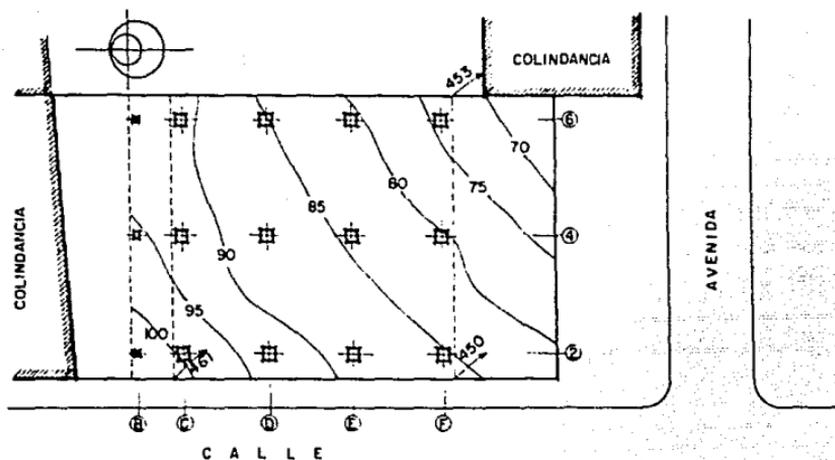


Fig. IV.2.07 NIVELACION TOPOGRAFICA EN PLANTA DE EDIFICIO, EN DONDE SE NOS MUESTRA LA DIRECCION DEL DESPLOME.

- Inspección superficial detallada, para la detección de rellenos sueltos y grietas.
- Se harán sondeos para determinar la estratigrafía y propiedades índice, así como mecánicas de los materiales; fijando con los datos la profundidad de desplante o su influencia en los estratos subyacentes.

Se tomarán muestras inalteradas de todos los estratos que puedan afectar el comportamiento de la cimentación. Los sondeos deberán realizarse en número suficiente para verificar la homogeneidad del subsuelo en el predio.

- Se hará la investigación de los movimientos del subsuelo por consolidación regional y determinación de las condiciones de presión del agua en el subsuelo, de tal manera que podamos calcular los efectos de la subpresión y las presiones -- efectivas en la masa del suelo.

Los sondeos que se realicen con el propósito de explorar el espesor de los materiales compresibles, deberán además penetrar en el estrato incompresible subyacente en donde se apoyarán los pilotes.

Muy importante es tener en mente, que una deficiente exploración puede ser el motivo indirecto de una falla.

Los sondeos podrán ser de los siguientes tipos:

- Con recuperación continua de muestras alteradas (Penetración estándar), para evaluar la consistencia o capacidad de los materiales superficiales y profundos resistentes. En arcillas blandas

se emplea para obtener un perfil continuo del -- contenido de agua.

- Mixto, con recuperación alternada de muestras --- inalteradas y alteradas (Ver fig. IV.2.08).
- De Verificación Estratigráfica, sin recuperación.
Se emplea la penetración de un cono mecánico o - eléctrico, con el fin de aplicar los resultados en una área mayor (Ver fig. IV.2.09).

De los sondeos y sus muestras, obtendremos las propiedades índice (Contenido de agua; Densidad de sólidos; - Granulometría; Límite de consistencia; Límite líquido; Límite plástico y Límite de Contracción), Mecánicas (resistencia y deformabilidad al esfuerzo cortante y de compresibilidad) e Hidráulicas (permeabilidad) de los suelos, mediante procedimientos específicos; no olvidando que con los datos obtenidos se hará un perfil estratigráfico.

En las normas técnicas complementarias se estipula que será aceptable la estimación de propiedades mecánicas basados en los resultados de penetración de cono, veleta o algún otro ensaye de campo, si sus resultados se han correlacionado confiablemente con los de pruebas "convencionales" para los suelos de que se trate; lo que hace pensar que vale la pena dar un espacio a manera de paréntesis para ahondar un poco en lo que es un sondeo de cono y en especial el eléctrico.

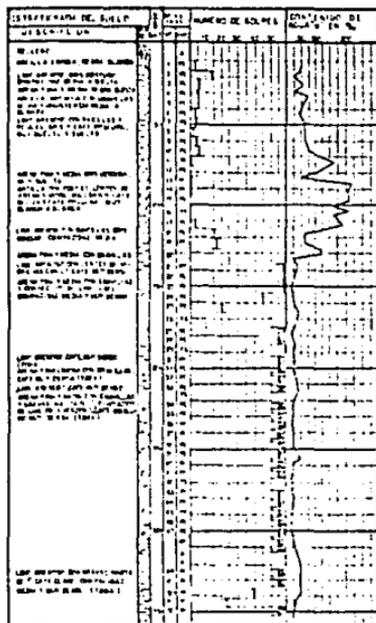
Sondeo con Cono Eléctrico:

El cono eléctrico es un dispositivo de uso cada vez más frecuente en México.

METRO LINEA - 7 NORTE

SONDEO MOTO 8 7K-2

Km. 6 + 957



SIMBOLOGIA

RELLENO

ARCILLA

LIÑO

ARENA

GRAVA

FOSILES

VEDRIO VOLCANICO

NIVEL DE AGUA FREÁTICA

FIN DE SONDEO

Fig. IV 208 PERFIL DE SUELOS OBTENIDO A PARTIR DE UN SONDEO CONVENCIONAL

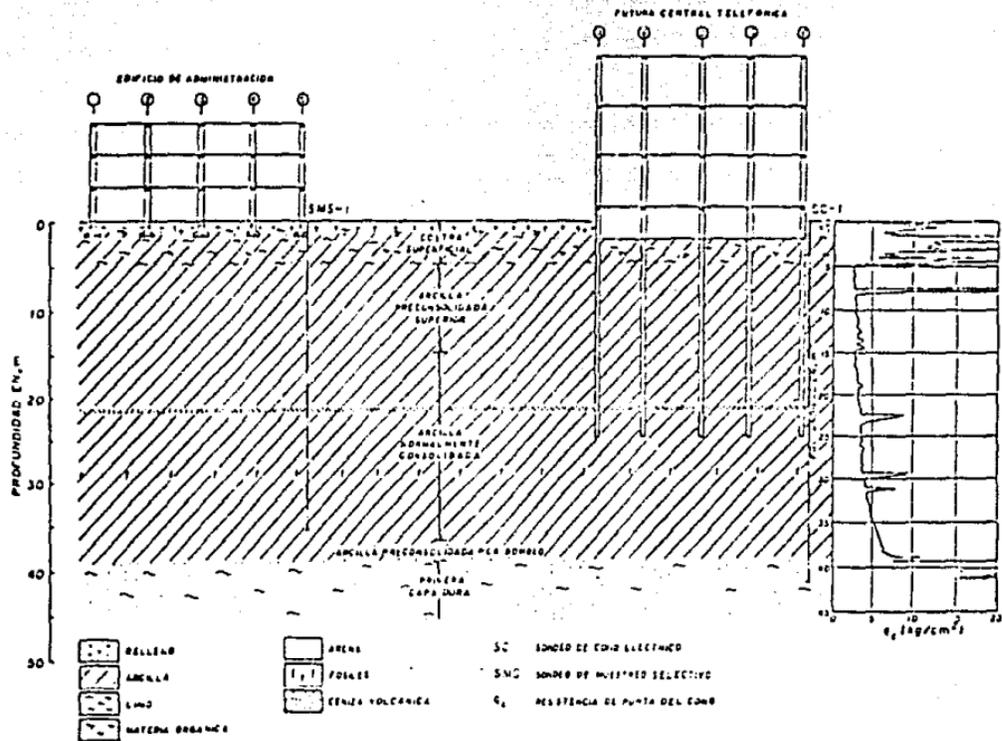


Fig. IV 2.09 VERIFICACION ESTRATIGRAFICA Y DE RESISTENCIA A LA PENETRACION MEDIANTE SONDEO DE CONO EN PROYECTO CERCANO AL PALACIO DE LOS DEPORTES.

Su aplicación comprende la identificación de los estratos del suelo en base a su resistencia a la penetración, y la determinación de la resistencia al corte, medida por correlación con ensayos de laboratorio sobre muestras obtenidas por alguno de los métodos de muestreo adecuados.

Los sondeos se efectúan con un cono instrumentado -- con deformímetros (Strain-gages) eléctricos, que miden la fuerza necesaria para el hincado de la punta cónica de 60° de ángulo de ataque y de sección transversal variable (10, 18 y 13.4 cm²). La capacidad de carga de la celda es de 2 toneladas y tiene sensibilidad de un kilogramo. El hincado del cono se hace con una máquina perforadora convencional, aplicando una velocidad de penetración de 1 cm/seg.

Una vez definida la estratigrafía, se puede programar un muestreo selectivo racional, con los límites estratigráficos obtenidos con el cono, lo que redundará en una gran economía y oportunidad en la obtención de resultados, dado que se puede reducir el número de muestras al mínimo indispensable, además de ser más rápido de efectuar y barato. En la fig. IV.2.10, se puede observar cómo con un sólo sondeo mixto apoyado por dos de cono se obtuvo la información adecuada para el proyecto en cuestión.

El ampliar la utilidad del Cono Eléctrico en los estudios geotécnicos implica, como se externó anteriormente, establecer los coeficientes de correlación de la resistencia de los suelos, en las diferentes pruebas de laboratorio para condiciones no drenadas, con la correspondiente a la penetración del cono eléctrico. Esto se debe hacer mediante sondeos inalterados selectivos o continuos de excelente calidad.

IV.2.c. Diseño Estructural

Además de las consideraciones necesarias para reforzar la subestructura en el caso de pilotes, éstos y sus conexiones se diseñarán para resistir los esfuerzos resultantes de las acciones verticales y horizontales consideradas en el diseño de la cimentación y los que se presenten durante el proceso de transporte e hincado. Los pilotes deberán resistir estructuralmente la carga que corresponde a su capacidad de carga última, con un factor de resistencia unitario (según las normas técnicas) o mayor, de acuerdo al criterio de análisis.

En el caso de los pilotes de punta, empleados en la zona III (del Lago); se tomará en cuenta que por el hundimiento regional, los pilotes pierden el confinamiento lateral en su parte superior. La losa de cimentación deberá revisarse para que pueda trabajar estructuralmente tanto con soporte como sin él, en este último caso apoyada sólo en los pilotes.

IV.2.d. Verificación de la Seguridad.

En una recimentación, se deberán de efectuar dos tipos de revisión, en estado límite de falla y en estado límite de servicio.

IV.2.d.1. Estado límite de falla.

Consiste en comparar la capacidad de carga del suelo con las acciones de diseño, afectando la capacidad de carga neta de la cimentación con un factor de resistencia (menor de uno) y las acciones de diseño con un factor de carga (de 1.5; 1.4; 1.1; 2 ó 0.9), según artículos 193; 194 y 223 del

reglamento. El artículo 188, indica dos tipos de combinación.

- Primer tipo de combinación:

Acciones permanentes más variables, incluyendo - carga viva (tanto para estado Límite de falla, - como para el de Servicio). Las acciones variables se considerarán en su intensidad media para fines de cálculo de asentamientos y movimientos a largo plazo.

Para el estado límite de falla, se considerará - la acción variable más desfavorable en su intensidad máxima y las acciones restantes con intensidad instantánea.

- Segundo tipo de Combinación:

Acciones permanentes más acciones variables con intensidad instantánea y acciones accidentales - (viento o sismo).

Con ésta se revisarán los estados límite de falla y de servicio asociadas a deformaciones transitorias y permanentes del suelo bajo carga accidental. Se incluirá la fuerza de inercia que actúa en la masa del suelo susceptible de deslizar se bajo la cimentación por sismo, en su caso.

En un sistema de cimentación a base de pilotes de - punta deberá despreciarse la contribución del suelo bajo - la losa de la subestructura y la contribución de la subpre sión a la capacidad de carga.

Deberá considerarse la suma de los incrementos ne - tos de carga por las acciones verticales según la combina-

ción a emplear, afectadas por su respectivo factor de carga. Se incluirán el peso propio de los pilotes y la fricción negativa factible de desarrollarse sobre el fuste de éstos o de su envolvente.

Se revisará la capacidad del suelo para resistir es fuerzas horizontales inducidos por los pilotes sometidos a fuerzas en dicha dirección, así como la capacidad estructural de los pilotes para transmitir las sollicitaciones en cuestión, lo anterior además de la capacidad de carga vertical.

IV.2.d.2.- Estados Límite de Servicio.

Los asentamientos se calcularán considerando:

- La deformación propia de los pilotes bajo las diferentes sollicitaciones a que serán sometidos, - incluyendo fricción Negativa.
- La deformación de los estratos abajo del de apoyo de las puntas.

Para evaluar la emersión producida por el hundimiento regional, se considerará la consolidación previsible -- del estrato que se comprende entre la cabeza y la punta -- del pilote (durante la vida útil de la estructura).

IV.2.e.- Alternativas de Solución en cimentaciones con pilotes de Punta.

En este tipo de cimentaciones, cuando hay necesidad de modificarlas para el control de asentamientos, y esta solución puede ser viable, una vez que se han explorado -- las posibilidades de controlar los hundimientos eliminando

peso en la estructura, las soluciones serán con el uso del mismo tipo de pilotes o sea de punta, dependiendo su factibilidad de contar provisionalmente con espacios libres horizontales y verticales, tales que permitan el procedimiento constructivo para fabricar pilotes colados en el sitio o hincar precolados.

Para este caso existen tres soluciones:

IV.2.e.1. Aumentar el número de pilotes con igual o diferente sección apoyadas en el mismo estrato resistente que los existentes. La factibilidad de esta solución dependerá de los espacios horizontales en la cimentación para poder ubicar nuevos pilotes, y que esta ubicación sea congruente con los requerimientos de la revisión geotécnica-estructural de la cimentación.

IV.2.e.2. Sustituir los pilotes existentes por otros con sección más ventajosa, solución factible de realizar teóricamente; llevarla a la práctica es muy difícil y tardada por la extracción de los pilotes existentes, hecho que se incrementa cuando se trata de pilotes seccionados que no tienen continuidad, o cuando son de madera los que se destruyen fácilmente al intentar maniobras.

IV.2.e.3. Hincar los pilotes existentes hasta otro estrato resistente, aumentando o no el número de pilotes. Esta solución depende principalmente de la existencia o no de un estrato resistente más profundo y de la posibilidad de hincar los pilotes existentes hasta ese nuevo estrato.

IV.3. Pilotes de Fricción.

Su empleo cobra gran interés, por ser muy adecuados para edificaciones de mediano tamaño, las cuales son abundantes en el Valle de México; además de que difícilmente se ven sujetas al fenómeno de emersión que provoca el hundimiento regional en los edificios desplantados sobre pilotes de punta.

IV.3.a. Nivelaciones y Levantamiento Topográfico.

Este tipo de cimentaciones es muy susceptible a los movimientos, dado que es sensible al hundimiento regional, a las sollicitaciones accidentales (sismo) e incluso a las variaciones del nivel freático. Todo esto provoca deformaciones en los elementos estructurales y en el suelo de apoyo; por tanto, es necesario determinar la magnitud de éstas, para proceder a diseñar y ejecutar la corrección correspondiente.

IV.3.b. Investigación del Subsuelo y Determinación de Propiedades.

Como en el caso anterior, deberá de efectuarse con las recomendaciones para una cimentación profunda, teniendo especial cuidado en la localización del estrato resistente, de tal manera que se evite cualquier interferencia al trabajo de los pilotes. Será también importante el conocimiento de la estratigrafía supra y subyacente al manto resistente.

En cuanto a las propiedades del suelo, se obtendrán los parámetros correspondientes al tipo de éste, como son los ya indicados anteriormente (Propiedades índice, mecánicas e hidráulicas).

IV.3.c.- Diseño Estructural.

Deberán considerarse las recomendaciones ya dadas, - excepto las específicas para el trabajo de punta en los pilotes, en cambio se tendrá especial cuidado en el diseño de los elementos complementarios, que regularmente es un cajón.

IV.3.d.- Verificación de la Seguridad.

Se harán los dos tipos de revisión, como en los casos anteriores.

IV.3.d.1.- Estado límite de falla.

La comprobación de la estabilidad de la cimentación en conjunto, para grupos de pilotes o para cada uno bajo -- las distintas combinaciones de sollicitaciones verticales, - implica que la capacidad de carga del sistema constituido por pilotes de fricción más losa o zapatas es mayor que la sumatoria de las cargas incidentes.

Según las Normas Técnicas Complementarias, la capacidad de carga a considerar será la mayor de los valores siguientes:

a).- Despreciando los pilotes.

El elemento estructural de contacto y sus contrarribes, se diseñarán para soportar las presiones máximas calculadas, más la concentración de carga correspondiente a la capacidad de cada pilote evaluada con un factor de reducción igual a uno.

b).- Evaluando el Sistema Suelo-Pilotes se iguala la capacidad de carga del sistema a la de punta de los pilotes individuales, más el menor de los siguientes va-

lores:

- Suma de las capacidades de adherencia de los pilotes individuales.
- Capacidad de adherencia de una pila con geometría igual a la envolvente del conjunto de pilotes.
- Suma de las capacidades de adherencia de los diversos subgrupos de pilotes en que pueda subdividirse la cimentación.

Bajo cargas excéntricas, se despreciará el aporte de los pilotes que trabajen a tensión, a menos que se hayan diseñado y construido para ello.

Para los suelos cohesivos blandos de la zona III, la adherencia pilote-suelo se considerará igual a la cohesión media del suelo (la cual se determina con pruebas triaxiales no consolidadas, no drenadas).

IV.3.d.2.- Estado Límite de Servicio.

Los movimientos "verticales" (Asentamiento o Emersión) de la cimentación con pilotes de fricción bajo cargas estáticas, se valorarán considerando:

- Penetración de los pilotes.
- Deformaciones del suelo de apoyo bajo cargas actuantes.
- Fricción negativa.
- Interacción con el hundimiento regional.
- Excentricidad de las cargas.

El desplazamiento horizontal y el giro transitorio - de la cimentación por fuerza cortante y momento de volteo - sísmico, se calcularán según el Artículo 203 del Título VI de Diseño Sísmico:

Las estructuras se analizarán bajo la acción de dos componentes horizontales ortogonales no simultáneos del movimiento del terreno. Deformaciones y fuerzas internas resultantes, se combinarán entre sí (Normas Técnicas Complementarias) y a su vez con los efectos de fuerzas gravitacionales y demás acciones establecidas en los criterios de diseño estructural.

Según la naturaleza de la Estructura, ésta podrá analizarse por sismo mediante el método simplificado; el estático, o uno de los dinámicos (establecido en las N.T.C.)

En el análisis se tendrá en cuenta la rigidez de todo elemento estructural o no, que sea significativa. Se calcularán las fuerzas sísmicas, deformaciones y desplazamientos laterales, incluyendo giros por torsión, teniendo en cuenta los efectos de flexión de sus elementos y los de fuerza cortante, fuerza axial, torsión de los elementos y efectos de segundo orden.

La estructura y su cimentación no deberán alcanzar ningún estado límite de falla o de servicio.

Si un elemento contribuye en más del 35% de la capacidad total en fuerza cortante, momento torsionante o momento de volteo de un entrepiso dado, se emplearán factores de resistencia 20% inferiores de los que corresponderían.

Las deformaciones permanentes bajo combinaciones de carga, incluyendo el sismo, se podrán estimar a partir de pruebas de laboratorio representativas del fenómeno.

IV.3.e.- Alternativas de solución en cimentaciones con pilotes de Fricción.

En cimentaciones con pilotes de fricción y en los casos en que no es posible aplicar las soluciones a los hundimientos sin alterar la cimentación, existen las siguientes posibilidades de solución, cuya factibilidad de construcción dependerá de la posibilidad de disponer provisionalmente de espacios libres horizontales y verticales en la estructura para su ejecución ya sea con pilotes colados en el sitio o precolados.

IV.3.e.1.- Aumentar al número de pilotes con igual o diferentes dimensiones. La factibilidad de esta solución dependerá del espacio horizontal disponible en la cimentación, que permita el trabajo independiente de los pilotes nuevos.

IV.3.e.2.- Modificar la longitud de los pilotes existentes, solución posible cuando la estratigrafía del sitio lo permita, para que el espesor de capa compresible en el suelo bajo los pilotes, permita una vida útil rentable de la cimentación; además es necesario que los pilotes estén alejados lo suficiente del eje de las columnas para permitir el procedimiento constructivo.

IV.3.e.3.- Sustituir los pilotes existentes, por otros con dimensiones más ventajosas o con una longitud suficiente para que trabajen de punta. La posibilidad de estas soluciones, tienen las mismas condiciones del caso anterior, haciendo notar que la extracción de pilotes existentes representa un alto grado de dificultad incrementándose para el caso de los pilotes seccionados usados antes de septiembre de 1985 que no tienen continuidad.

Las soluciones indicadas se pueden combinar con el uso de lastre para la solución definitiva y con el bombeo y su excavación para iniciar el proceso de recuperación de la verticalidad.

IV.4.- Respuesta a la Solicitud Sismica de Pilotes.

Cuando se presenta un sismo, se generan en el foco del mismo ondas de compresión y cortante, que viajan a través de la corteza terrestre, afectando a las construcciones cuando llegan a la superficie. La refracción de las ondas al pasar de un estrato a otro y la reflexión de ellas al llegar a la superficie del terreno generan otro tipo de ondas sísmicas.

Un estrato de suelo blando que sobreyace a uno firme puede producir un fenómeno de amplificación de las ondas sísmicas, ya que el depósito blando está constituido por arcillas saturadas y cuya estructura responde ante excitaciones sísmicas en forma aproximadamente elástica dentro de cierto rango; esto sucede para las arcillas lacustres de origen volcánico de la Ciudad de México.

Las fallas que sufrieron los diferentes tipos de cimentaciones durante el sismo del 19 de septiembre de 1985, está ligada al comportamiento del subsuelo en su parte superficial durante la excitación, a las características del diseño de la cimentación y esfuerzos a los que ésta somete al subsuelo por el peso del edificio.

Siendo el tema de interés los pilotes, nos avocaremos a describir el comportamiento de éstos ante la acción sísmica.

IV.4.a.- Pilotes de Punta.

Dado que en este tipo de cimentaciones, la punta de los pilotes carga el peso efectivo total del edificio, más la fricción negativa inducida en ellos por el hundimiento regional de la superficie del suelo, los pilotes son forzados a moverse en el sentido horizontal por las ondas sísmicas y a su vez son restringidos por la inercia del edificio produciéndoles flexión. Por otra parte, el movimiento de volteo, principalmente en edificios altos, origina incrementos de cargas axiales sísmicas importantes en los pilotes limítrofes, los que resultan más castigados y trabajan fuertemente a la flexocompresión y cortante (Ver fig. IV.4.11).

Las fallas que se producen en los pilotes son la rotura de estos o la penetración de su punta en el estrato -- donde se apoyan, lo que provoca desplome en los edificios.

En términos generales las edificaciones cimentadas -- sobre pilotes de punta, se comportaron bastante bien; por lo que valdría la pena analizar, si al coeficiente sísmico para su diseño en la zona del lago es el aplicable de acuerdo al comportamiento del estrato firme sobre el que se apoyan.

Una modalidad de los pilotes de punta, son los de -- control, cuyos sistemas de carga en la cabeza de los pilotes presentaron con frecuencia deformaciones grandes y en menor escala la falla estructural o el volteo de dichos mecanismos.

Lo anterior puede atribuirse a múltiples factores, -- entre los que destaca la falta de mantenimiento que provocó se generaran concentraciones de carga en ciertos pilotes, -- acrecentaron las fallas los defectos de hincado y la concepción misma de ciertos sistemas que difícilmente permiten absorber la fuerza cortante transmitida a la cimentación por el sismo.

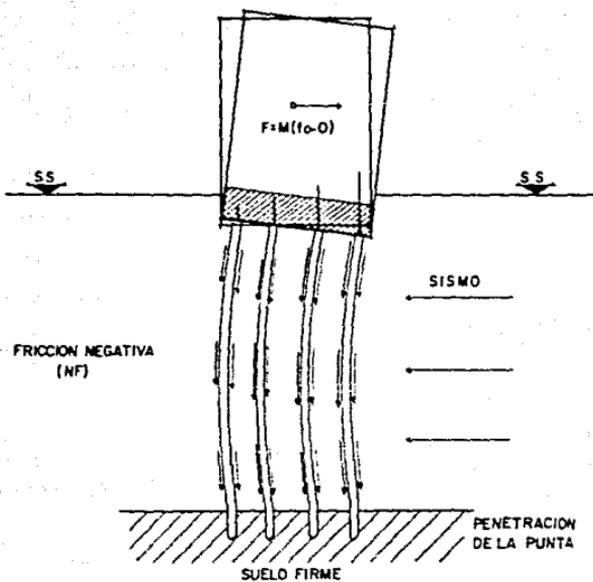


Fig IV 4.11. FLEXION DE PILOTES POR LA ACCION SISMICA EN EL SUBSUELO.

IV.4.b.- Pilotes de Fricción.

Como ya hemos explicado anteriormente, los pilotes de fricción se emplean regularmente combinados con cajones por lo que el análisis de su comportamiento estará en función de las características de ambos elementos.

Cabe aclarar que existen dos corrientes principales, en lo que se refiere al comportamiento sísmico y las consideraciones de diseño a seguir en las cimentaciones combinadas a base de cajón y pilotes de fricción; en una se hace trabajar a los pilotes a la falla y en la otra se les aplica un factor de seguridad, lo que hace su trabajo más significativo.

Se procederá a describir escuetamente los principios que se manejan en cada una de estas posiciones.

IV.4.b.1.- Pilotes trabajando a la falla.

En edificaciones con cimentaciones parcial o deficientemente compensadas y con pilotes de fricción, se puede dar la falla por hundimiento súbito. Dado que los pilotes en condiciones estáticas trabajan en su parte inferior con fricción positiva y en la superior con negativa (Ver fig. - IV.4.12), la estructura de la cimentación se separa de la superficie del suelo por el fenómeno de hundimiento regional, produciéndose el asentamiento súbito cuando los pilotes de fricción reducen su capacidad de carga por la acción sísmica, impactando la masa del suelo. Un mecanismo similar se produce cuando las ondas sísmicas inducen variaciones en la presión de poro del subsuelo, reduciendo su capacidad resistente, provocando una reducción momentánea de la fricción positiva e incrementando la negativa, traduciendo-se en una penetración súbita del pilotaje, que progresa en función del número y magnitud de las ondas.

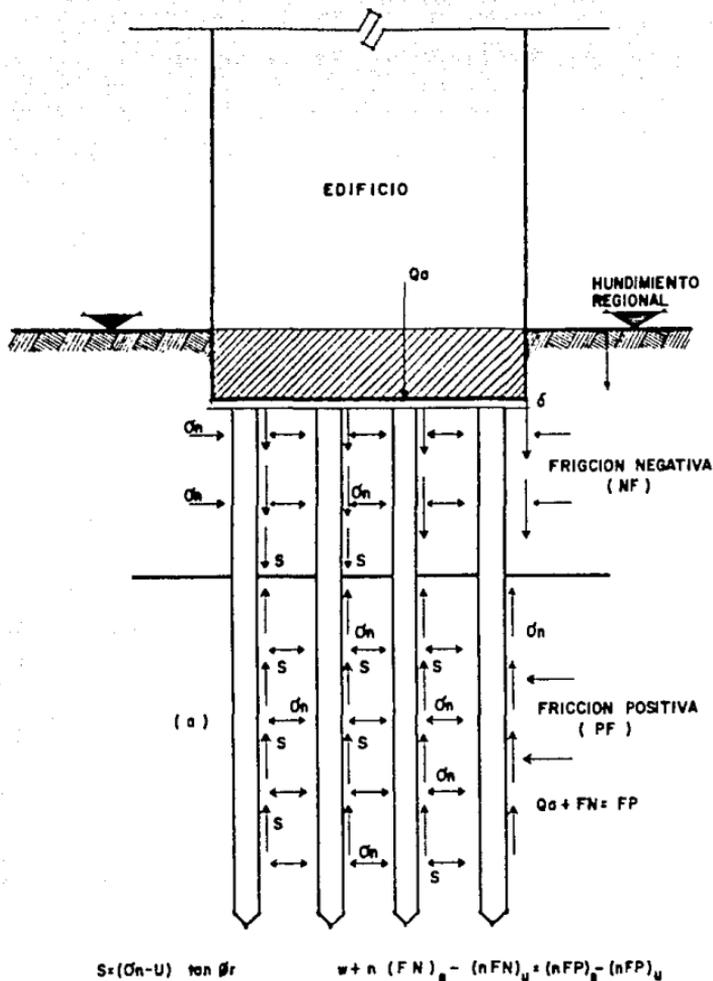


Fig. IV. 4.12. DISTRIBUCION DE FRICCION NEGATIVA, EN PILOTES DE FRICCION.

En las cimentaciones compensadas con pilotes de fricción, se admite una carga sobre la losa de cimentación, ésta considerándola como continua. La carga en cuestión deberá ser compatible con la resistencia y compresibilidad del suelo haciendo trabajar a los pilotes a su última capacidad. En esta forma, se obtiene una reserva de resistencia y al perder los pilotes momentáneamente parte de su fricción, el subsuelo y losa de cimentación toman eficientemente la diferencia.

La sollicitación dinámica induce incrementos de esfuerzos en las orillas de la cimentación, los que se valoran mediante un análisis estático y sismo dinámico de interacción Suelo-Estructura, verificando la capacidad de carga en condiciones dinámicas, para resistir tales esfuerzos.

En la cimentación compensada con pilotes de fricción, los pilotes trabajan con su capacidad última de carga a la fricción positiva, con el objeto único de reforzar el subsuelo y reducir asentamientos.

No conviene que los pilotes de fricción tomen los incrementos de carga sísmicos, debido a la ya mencionada pérdida de resistencia al corte de la arcilla, por tanto, en este caso el sismo se toma con el cajón de cimentación, --- siendo la losa y muros de éste, los que resisten el momento y la fuerza cortante sísmicos. Los pilotes se diseñan con un factor de seguridad de uno, para que el edificio siga el hundimiento regional.

IV.4.b.2.- Pilotes con Factor de Seguridad Mayor de Uno.

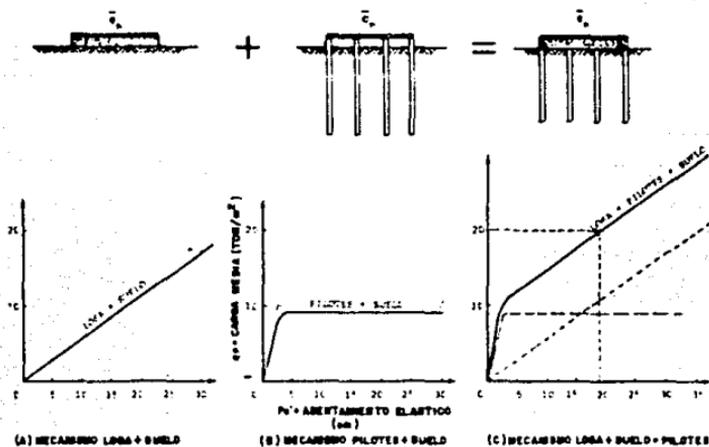
La posición aquí expuesta en cuanto al comportamiento dinámico y metodología de diseño, se basa en los siguientes principios:

- Se deberán contemplar las sollicitaciones estáticas y dinámicas a las que se verán sujetos los pilotes.
- En los pilotes de fricción cobra poca importancia el fenómeno de fricción negativa por hundimiento regional, ya que

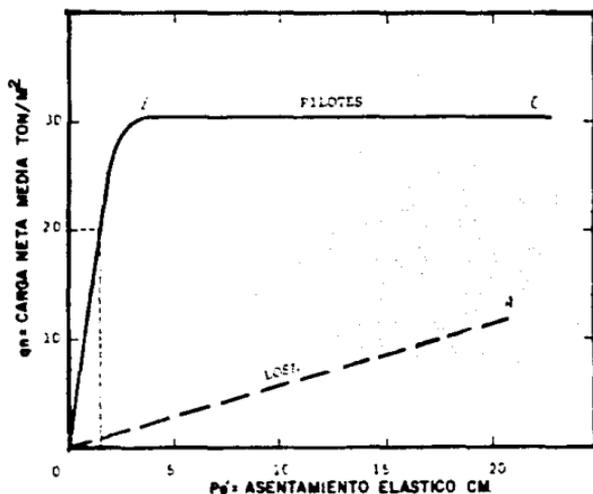
Cuando ocurre la carga sísmica, la fricción negativa desaparece con deformaciones muy pequeñas -- del pilote transformándose toda la capacidad en fricción positiva.

En cimentaciones con pilotes de fricción, no se ha observado problemas importantes provocados por la emersión, ya que el hundimiento regional se origina principalmente por la consolidación de las arcillas lacustres más profundas, sin "afectar" a los pilotes.

- En cuanto al diseño de la recimentación, debe considerarse la compatibilidad de las deformaciones de losa y pilotes, ya que la carga de falla de los pilotes de fricción generalmente se alcanza con un desplazamiento menor a 1 cm; y la carga de falla de una losa con los factores usuales de seguridad, se obtiene con deformaciones de 10 cm. por lo menos. Resulta entonces que la compatibilidad de respuesta en el sistema losa-pilotes se logra con cargas muy pequeñas en la losa, siendo despreciable su contribución en edificios muy altos. (Ver fig. IV.4.13).
- No se deben diseñar los pilotes con valores cercanos a la falla para carga estática, ya sea reduciendo el número de pilotes ó igualando la capaci



PARA LA SUPERPOSICION DE A+B, Y PARA UNA q_n DE 20, LOS ASENTAMIENTOS SON DEL ORDEN DE 19 cm



GRÁFICA ASENTAMIENTO-CARGA DE UN GRUPO DE PILOTES DISEÑADO PARA SOPORTAR LA CARGA NETA, CON FACTOR DE SEGURIDAD DE 16, PARA UNA q_n DE 20, LOS ASENTAMIENTOS SON DEL ORDEN DE 1.5 cm

Fig. IV.4.13. COMPATIBILIDAD DE RESPUESTA EN EL SISTEMA LOSA-PILOTES

dad a la magnitud de las solicitaciones con el --
fin de que el edificio no emerja o mediante el --
uso combinado de asignar un valor alto a la capa-
cidad de la losa e igualarla como en el caso ante-
rior.

En suma, se establece la conveniencia de diseñar las
cimentaciones mixtas de este tipo, de tal manera que la to-
talidad de la carga neta (Estática más dinámica), sean so-
portadas por el conjunto de pilotes, sin colaboración de la
losa de cajón y con un factor de seguridad razonable, con -
el fin de evitar la pérdida de capacidad de carga de los pi-
lotes por remoldeo de la arcilla.

Un aspecto muy importante que no debemos descuidar -
en un proyecto de recimentación es el evitar o corregir la
excentricidad de la resultante de las cargas gravitaciona-
les, ya que se generan asentamientos diferenciales que se -
agravan por la acción del sismo, traduciéndose en momentos
de volteo mayores.

CAPITULO V

V.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Como ya se ha comentado, debido a la particularidad de cada caso, cuando los asentamientos de las edificaciones en el Valle de México conducen a modificaciones en su cimentación, se presenta un problema de Ingeniería Civil cuya solución no es tipificada en los libros de referencia, es un problema en el que el procedimiento y secuencia constructiva posibles de seguir participan en la definición de las bases y consideraciones de Diseño.

A lo anterior se debe que en la solución de estos -- proyectos, se requiera un trabajo estrecho y simultáneo de la geotécnica, diseño estructural de concreto, acero y de -- procedimientos constructivos, para encontrar la solución -- factible de realizar con:

El menor riesgo sísmico adicional durante el proceso constructivo.

El menor incremento en los asentamientos producidos por las demoliciones en la cimentación o el achique.

Mayor control de calidad en la reconstrucción.

Menor tiempo y costo en la ejecución del proyecto.

Las dimensiones nominales de los pilotes, son el resultado del estudio de varias alternativas de análisis coordinado. El análisis estructural definirá la necesidad de capacidad de soporte en cada zona de descarga de la cimentación, de acuerdo a los nuevos parámetros sísmicos la que se podrá satisfacer con diferentes combinaciones de dimensiones horizontales-verticales y número de pilotes. El número y dimensiones de los pilotes, dependerá de las propiedades geotécnicas del lugar y de las facilidades de espacio horizontal y vertical existente en la cimentación y en la ----

estructura para maniobras de equipo y obra de mano.

El procedimiento factible de realizar dependerá de las características del edificio en estudio y de los que lo rodean, por lo que se toma en cuenta:

Estratigrafía del lugar.

Tipo de estructuración y materiales empleados en las edificaciones colindantes y en la estudiada.

Espacios libres horizontales y verticales existentes o factibles de implementar para trabajadores y operación de equipo.

La necesidad de analizar y ejecutar diferentes soluciones para las múltiples condiciones de las edificaciones en el Valle de México, nació de manera clara a efecto de los macrosismos de Septiembre de 1985, habiéndose logrado dos tipos de solución para el caso de asentamientos en cimentaciones piloteadas que requirieron modificación:

- a) Pilotes colados en el sitio, similares a pilas con diámetros aproximados de 30 cm.
- b) Pilotes precolados seccionados en tramos de longitud tal que sea factible su manejo dentro de los espacios existentes o implementados provisoriamente.

Al procedimiento constructivo de estas soluciones, nos vamos a referir en este capítulo.

V.1. Pilotes Colados en el Sitio.

En términos generales el procedimiento constructivo

empleado en este tipo de pilotes, es similar al que se usa en la construcción de pilas, usando equipo de menor tamaño en la perforación, siendo posible el uso de herramienta manual.

Una vez que se cuenta con una nivelación de la estructura y que se ha determinado la secuencia constructiva, se inicia el procedimiento con control posible del NAF (nivel freático), que permita los trabajos con menor dificultad; continuando con la perforación y la estabilización simultánea de las paredes siguiendo la colocación del refuerzo y finalizando con el vaciado del concreto.

V.1.a. Control del Agua Freática.

La elevación del nivel del agua freática en el Valle de México es muy variable, no existe una lógica para suponerlo aún conociendo la estratigrafía del lugar. En las zonas con asentamientos humanos o urbanizados la erraticidad se incrementa debido a fugas en las redes de agua potable, de drenaje y la fecha de exploración respecto a las épocas de estiaje.

Para la construcción de pilotes adicionales en edificaciones existentes, por facilidad constructiva, lo idóneo sería que la elevación del NAF, estuviera del orden de 1.0 m abajo del nivel inferior del concreto de la losa o zapatas de cimentación; hecho que no es común. Es frecuente que la elevación del NAF sea tan alto, que sea causa de filtraciones por las paredes de los sótanos, a esto se debe que de alguna manera sea necesario controlar el NAF.

La posibilidad de bajar la elevación de la cimentación sin afectar la operación de la estructura, el grado de

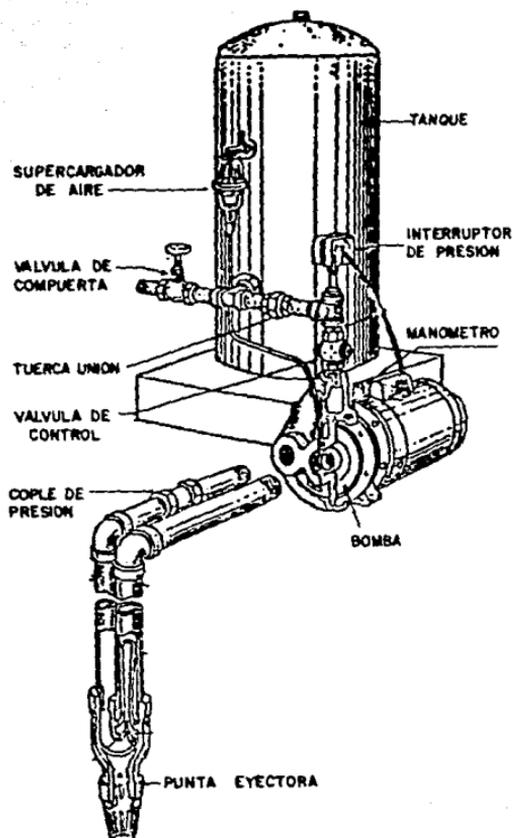


Fig.V.102. SISTEMA DE BOMBEO CON BOMBA DE VACIO EN CIRCUITO CERRADO

desplome, la secuencia constructiva, la sensibilidad del suelo y la cercanía de las cimentaciones vecinas, determinan el tipo de control del NAF, el cual puede ser de achique momentáneo o de abatimiento, ya sean parciales o en toda la zona en función de la secuencia constructiva.

V.1.a.1. Achique momentáneo.

El control del NAF usando achique momentáneo, se emplea cuando la estructura tiene:

- a) Asentamientos verticales uniformes o diferenciales.
- b) El suelo es compresible al perder agua y la secuencia constructiva provocará asentamientos diferenciales, los cuales en lo posible se evitan.
- c) Las cimentaciones vecinas pueden resultar afectadas si se emplea abatimiento.
- d) La elevación de la cimentación no admite alteraciones.

De acuerdo a la estratigrafía del sitio, se determina la profundidad de las galerías hacia las que fluye el agua por gravedad o pozos de bombeo para achique, en los que operarán sistemas de bombas centrífugas, sumergibles, ó de vacío en circuito cerrado. (Ver figs. V.1.01 y 02)

V.1.a.2. Abatimiento del NAF.

El control del NAF provocando abatimiento se emplea cuando:

- a) El volumen del suelo es poco sensible al perder agua.
- b) Con el abatimiento no se afectan las cimentaciones cercanas.



FIG.V.101. SISTEMA DE BOMBEO CON BOMBA CENTRIFUGA

- c) La elevación de la cimentación permite variaciones sin afectar la operación de la estructura.
- d) En combinación con la secuencia constructiva, - ayuda a recuperar la verticalidad de la estructura.

Similar al caso anterior, de acuerdo a la estratigrafía del sitio, se determinan las dimensiones horizontales y verticales de los pozos de bombeo. En este caso, el flujo hacia los pozos de bombeo puede ser por gravedad o inducido aplicando electrólisis; el sistema de extracción del agua puede ser con bombas de pozo, centrífugas o de vacío en circuito cerrado.

V.1.b. Perforación.

Una vez controlado y estabilizado el NAF a la elevación determinada previamente, antes de iniciar la secuencia de perforación, se construyen los brocales para las perforaciones inmediatas, se verifica la nivelación y verticalidad de la estructura; de no haber alteración, se inicia la secuencia de perforación que cause el menor incremento a los desplomes y que en caso de un evento sísmico durante el proceso, provoque el mínimo de desventaja adicional a la estructura.

El procedimiento aplicado para la perforación es similar al empleado en los pozos de bombeo; usando equipo estacionario con vástagos de la broca con longitud compatible con los espacios disponibles. Para el caso de pilotes colocados en el sitio para mejorar cimentaciones en el Valle de México, usando equipo mecánico se han construido con fustes de menos de 30m y diámetros nominales de 30 cm (Ver fig. -- V.1.03); usando herramienta manual, es posible lograr fustes hasta de 12 m (Ver fig. V.1.04).

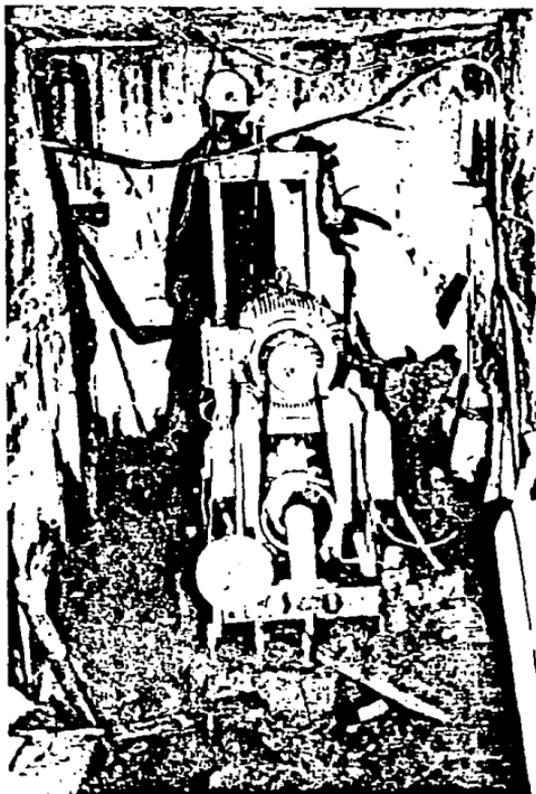


Fig.V.103. EQUIPO DE PERFORACION MECANICO



a) PALA POSTEADORA



b) BARRENA HELICOIDAL

Fig.V.104. HERRAMIENTA PARA PERFORACION MANUAL

La perforación se logra, introduciendo en el suelo - hasta la profundidad proyectada, una broca cuyo tipo dependerá de las clases de material que formen la estratigrafía del sitio, buscando la versatilidad que reduzca el número - de maniobras por cambios en las capas del suelo.

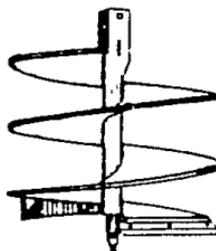
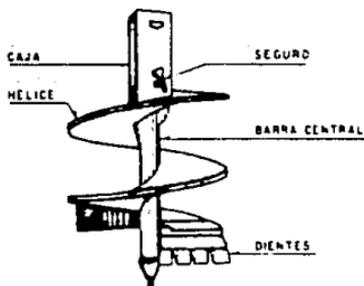
En la zona del Lago Virgen, el procedimiento ante -- rior es el común; debido a la dureza de las capas del suelo en las zonas de transición y de la zona de lomas, o de la - capa superficial en la zona de lago centro, se procede primero haciendo una perforación guía de menor diámetro y se - rima por etapas hasta llegar al diámetro nominal. En la -- fig. V.1.05 presentamos tipos de brocas para diferentes sue los.

El largo del fuste o sea el de la perforación depen - de de la capacidad de fricción pilote-suelo, o de la profun - didad de la capa dura cuando el trabajo del pilote es de -- punta. Usando como solución este tipo de pilotes, la longi - tud del fuste está limitada a la longitud del armado posi - ble de manejar, así en interiores de estructuras la longi - tud máxima de refuerzo es de 12 m. o sea la longitud neta - del fuste no puede ser mayor de 11 m. Cuando es posible ha - cer demoliciones provisionales en las losas acoplando pre - viamente el refuerzo, es factible construir pilotes con fus - tes de mayor longitud. En el caso de pilotes construidos - en exteriores libres, la longitud máxima del fuste que se - ha logrado es de 56 m. aproximadamente.

El residuo o cascajo que se produce al avanzar la -- perforación en los suelos arcillosos como los del Valle de México, el que es un lodo prácticamente, permanece en movi - miento hasta que es retirado, aprovechando el acople de un nuevo tramo de vástago, en cuya etapa cuando la estabilidad de las paredes lo permiten se sustituye por agua el lodo -- formado con la perforación.



BROCAS PARA SUELO DURO



BROCAS PARA SUELO BLANDO

Fig. V.I.05. TIPOS DE BROCAS PARA SUELO BLANDO Y SUELO DURO

Debido a los diámetros usados en el tipo de pilotes analizado y al tipo de suelo que se tiene en la zona del lago, la estabilización de las paredes se logra con el agua lodosa que se maneja en la perforación, incluso en las zonas donde existen capas de arena.

Cuando no es posible la estabilización con el lodo propio de la perforación, se hincan camizas recuperables de lámina de acero, lo cual requiere del incremento del diámetro de la perforación en la zona encamizada, para la colocación de ésta y para las maniobras de la herramienta, como se muestra en la fig. V.1.06, el manejo de los lodos se hace con bombas de alta presión del tipo tornillo (Ver fig. V.1.07).

Una vez que se llega a la profundidad proyectada se extrae todo el cascajo y se verifica la limpieza de ese material en el fondo, haciendo pasadas con la broca sin avance y recirculando lodo.

El lodo que llena la perforación debe tener un peso volumétrico menor de 2.2 Ton/m^3 , para facilidad de su expulsión cuando se vacíe el concreto.

V.1.c. Colocación del Acero de Refuerzo.

Por facilidad de maniobras en el caso de pilotes construidos en interiores, el diámetro del acero de refuerzo deberá ser el menor posible que permita el curvado del armado para lograr colocarlo dentro de las perforaciones, evitando de esa manera juntas soldadas o traslapes en el refuerzo longitudinal.

Así, lo más conveniente es que la longitud del re -

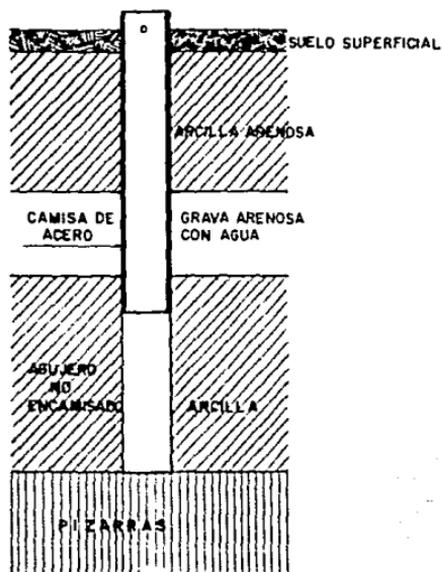
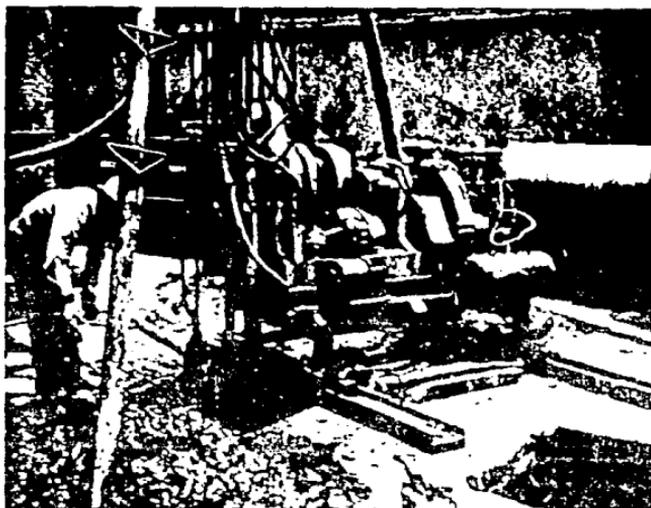


Fig V.106. PERFIL DE UNA PERFORACION MOSTRANDO LA COLOCACION DE UNA CAMISA DE LAMINA DE ACERO EN LAS ZONAS DE ARENA



**Fig. Y 107 SISTEMA DE CIRCULACION DE LODOS
CON BOMBA DE ALTA PRESION.**

(EN ESTE CASO LAS BOMBAS SON SUMERGIBLES Y RECIRCULAN LOS
LODOS DEL POZO A UN CAJON DE DEPOSITO)

fuerzo longitudinal de los pilotes construidos en interiores, no exceda el largo normal de las varillas corrugadas y por facilidad de maniobras, el refuerzo transversal, armado solo en una longitud equivalente al 40% del espacio vertical disponible, incluyendo los separadores para dar recubrimiento simultáneamente con la colocación en el interior de la perforación. (Ver. fig. V.1.08).

La malla que forma el refuerzo, debe ser razonablemente uniforme con separaciones que permitan el paso del concreto para formar el recubrimiento planeado mayor de 3.5 cm.

Para el caso de pilotes construidos en los exteriores de los edificios, la colocación se facilita, ya que se pueden armar totalmente tramos completos de refuerzo longitudinal con su transversal correspondiente, manejados con malacates o garruchas.

V.1.d.- Vaciado del Concreto.

El vaciado de concreto en este tipo de pilotes construidos en el Valle de México, generalmente es bajo agua o lodo, por lo que se usan tubos tipo Tremie o manguera flexible cuando se emplea bomba de concreto.

Debido a los diámetros comunes de 30 ó 40 cm., el diámetro de las tuberías a usar en el vaciado no pueden ser mayores de 15 cm. y dependiendo si la colocación es por gravedad o con presión, el tamaño del agregado grueso es buena práctica que no exceda de 1.9 cm.

Los cuidados para el vaciado de concreto, son los necesarios para garantizar que el concreto colocado a partir

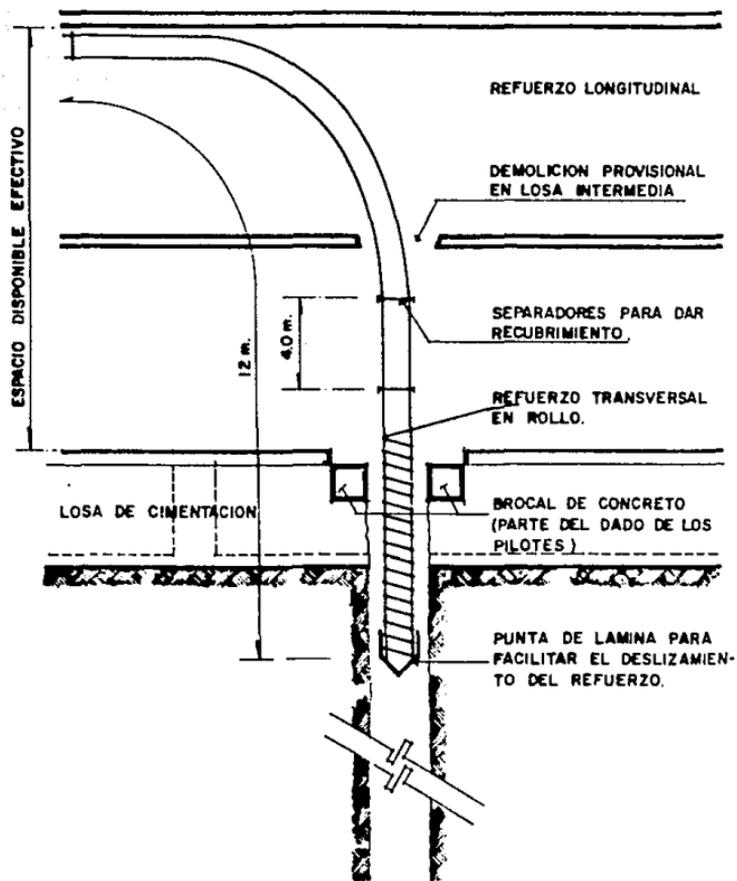


Fig V.I.08. SECUENCIA DE ARMADO DE PILOTES COLADOS EN EL SITIO.

del fondo de la perforación vaya expulsando al lodo, y que la fluidez del concreto sea tal que se compacte por gravedad, lo que se logra con revenimientos de más de 16 cm.

El vaciado del concreto debe ser continuo sin interrupciones para evitar taponamientos por fraguado inicial, teniendo especial cuidado en que la producción o suministro del concreto sea suficiente y que el extremo del tubo para vaciar el concreto permanezca ahogado en él, cuando menos 15 cm. para garantizar la no contaminación del concreto y la expulsión total del lodo.

Las tuberías usadas deberán ser seccionables en tramos de longitud compatible con los espacios disponibles y con juntas de liberación rápida para que el vaciado no sufra interrupciones (Ver fig. V.1.09).

El vaciado del concreto se llega cuando menos 20 cm. arriba del nivel proyectado para demoler la parte en exceso la que generalmente está formada por concreto contaminado.

Una vez fraguado el concreto, se hacen pruebas con propagación de ondas para verificar la calidad.

Este tipo de pilotes para incrementar la capacidad de cimentaciones existentes y también en el caso de las nuevas, siendo de construcción muy delicada que requiere de muchos cuidados y controles, tiene ventaja sobre los pilotes precolados pues no requiere cimbra, no es necesario esperar el fraguado total del concreto para continuar con la construcción.

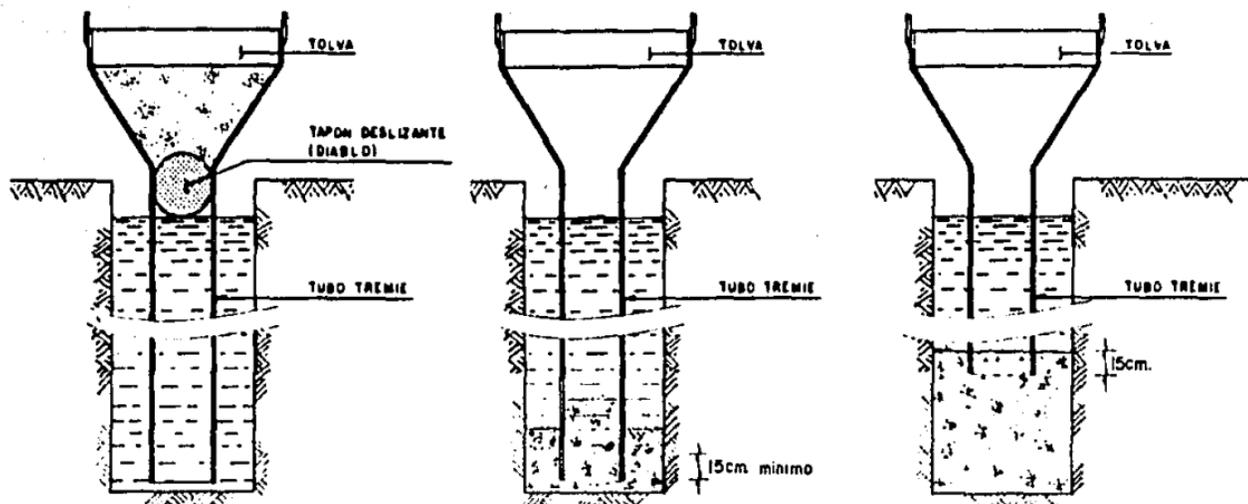


Fig. V.109. PROCEDIMIENTO DE VACIADO DE CONCRETO CON TUBO TREMIE

V.2.- Pilotes Precolados.

Este tipo de elementos estructurales para cimentación, es el más empleado en las edificaciones nuevas, en las que no existe restricción de espacio; se emplean también en los casos de control de asentamientos y de incremento de capacidad de carga de cimentaciones en edificaciones existentes, aún con restricciones de espacio exterior que impiden el uso de equipo de percusión usual en el hincado. Al caso de su empleo en el interior de las cimentaciones en el que el hincado por razones de espacio solo se logra ejerciendo presión a tramos de pilotes que se unen con juntas terminadas en el sitio, nos vamos a referir en este trabajo.

La definición del uso de éste tipo de elementos, -- así como el caso de los colados en el sitio, es el resultado del trabajo previo coordinado de los diseños geotécnico estructural-procedimiento constructivo, en el que se han definido las "Bases y Consideraciones de Diseño" aplicables a la revisión estructural de todo el edificio; en el diseño de las adiciones a la cimentación, estructura y anclaje o ligas de los elementos estructurales nuevos con los existentes; la parte de construcción ha definido el sistema posible para generar la presión de hincado, el equipo y la longitud máxima de los tramos de pilotes a usar.

Con la aportación de la construcción, es posible de terminar las adecuaciones a la estructura existente para hacer posible la reacción de la presión de hincado en la cimentación o estructura existente o sus adiciones; se podrá valorar la necesidad de apuntalamientos por seguridad estática o durante un evento sísmico de la estructura y la secuencia de construcción con menor riesgo y tiempo de eje

cución.

Después de la nivelación inicial de la estructura, la cual se verificará constantemente durante todo el proceso de construcción y aún después de concluida con una periodicidad tal, que se detecten los movimientos bruscos o no previstos, permitiendo con oportunidad hacer los ajustes necesarios a la secuencia constructiva o al diseño si fuera necesario; y después del control posible del NAF como en el caso de los pilotes colados en el sitio, las etapas del procedimiento constructivo se pueden definir en:

- a) Apuntalamiento de la estructura.
- b) Construcción del complemento a la cimentación y estructura dejando los huecos o pasos necesarios que permitan las maniobras de hincado.
- c) Fabricación de los elementos provisionales para transmitir la presión de hincado a la estructura o cimentación.
- d) Fabricación de pilotes.
- e) Perforación previa y montaje de los elementos para transmitir la presión de hincado.
- f) Hincado de pilotes por secciones.
- g) Anclaje de pilotes a la cimentación.
- h) Complemento de la cimentación y de la estructura.

Las figuras V.2.10 y V.2.11 servirán de apoyo para la descripción de cada etapa, son de una estructuración posible en una cimentación. La V.2.11 muestra un detalle de la primera e indica dos posibles soluciones para la transmisión de cargas o de conexión de la estructura existente

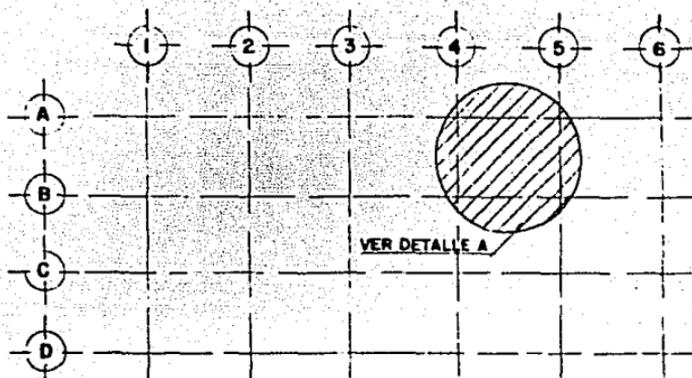


Fig.V.2.10. EJEMPLO DE LA ESTRUCTURACION DE UNA CIMENTACION.

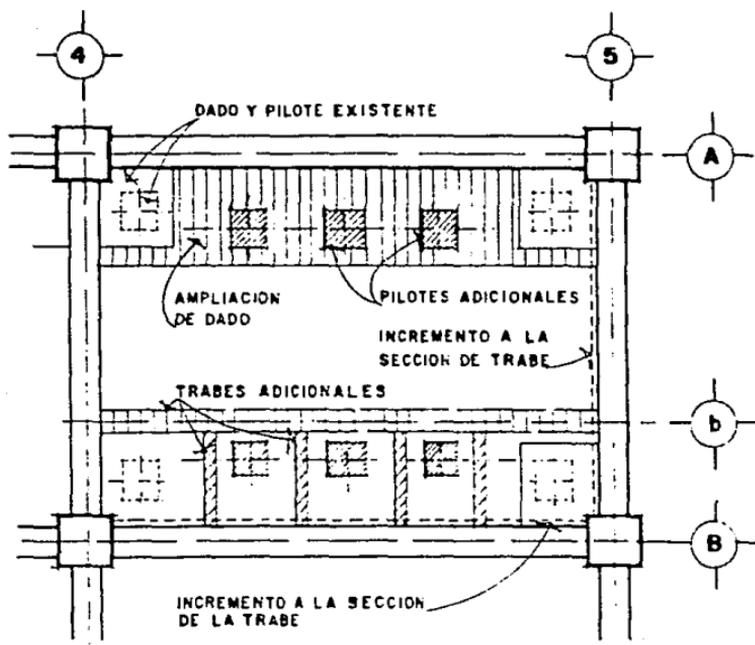


Fig.V.2.11. DETALLE A DE LA Fig.V.2.10 SOLUCIONES PARA TRANSMITIR

con los pilotes nuevos; la zona adyacente al eje (A) tiene como solución un dado complementario, en tanto que la del eje (B) está resuelta con estructuración a base de trabes.

La elección de una solución u otra, se ha decidido tomando en cuenta los espacios disponibles para la construcción, la operación del equipo y el sistema de hincado de los pilotes.

V.2.a.- Apuntalamiento.

El apuntalamiento en las edificaciones previo al inicio de cualquier modificación se coloca en los sitios analizados en el diseño estructural, estarán localizados de tal forma que en lo posible no incrementen el grado de dificultad de la recimentación, cumpliendo su función de evitar colapsos durante el proceso aún en ocasión de un evento sísmico.

V.2.b.- Construcción

La construcción parcial del complemento a la cimentación y estructura, se hace en las zonas en que no afecte las condiciones propias de la cimentación por incremento de carga o por trabajo estructural no previsto por cambios en la flexibilidad de la estructura.

Se hacen en las zonas indispensables para el anclaje de los elementos para el hincado, dejando el acero ahogado necesario para formar las conexiones y para adecuar el refuerzo de las zonas de apoyo; para este efecto el que es ten en la cimentación o en la estructura, dependerá de los espacios disponibles y de las dimensiones del equipo que generará la presión de hincado.

En la figura V.2.12, se muestra una alternativa de anclaje de los elementos de reacción en la cimentación; en las figs. V.2.13 y 14 se detallan alternativas de anclaje en la estructura.

NOMENCLATURA DE LAS FIGURAS V.2.12, 13 Y 14:

- 1.- Dado nuevo; transmite las descargas a los pilotes adicionales.
- 2.- Trabes adicionales en las que se apoya el dado nuevo y transmiten la reacción de los pilotes adicionales a la estructura existente.
- 3.- Perforación previa.
- 4.- Acero ahogado en las trabes adicionales o de apoyo en existentes, para formar el clip de conexión de los tirantes en los que se apoya el puente de reacción de la presión de hincado.
- 5.- Tirantes.
- 6.- Puente de reacción de la presión de hincado.
- 7.- Gato hidráulico para generar la presión de hincado.
- 7'- Pistón del gato hidráulico.
- 8.- Cuña de ajuste.
- 9.- Tramo de pilote con longitud l la que depende del espacio libre vertical H , del peralte del puente (6) y de la longitud del vaso del gato (7).
- 10.- Juntas para unir los tramos de pilotes, las que se terminan conforme se va complementando la longitud del fuste.

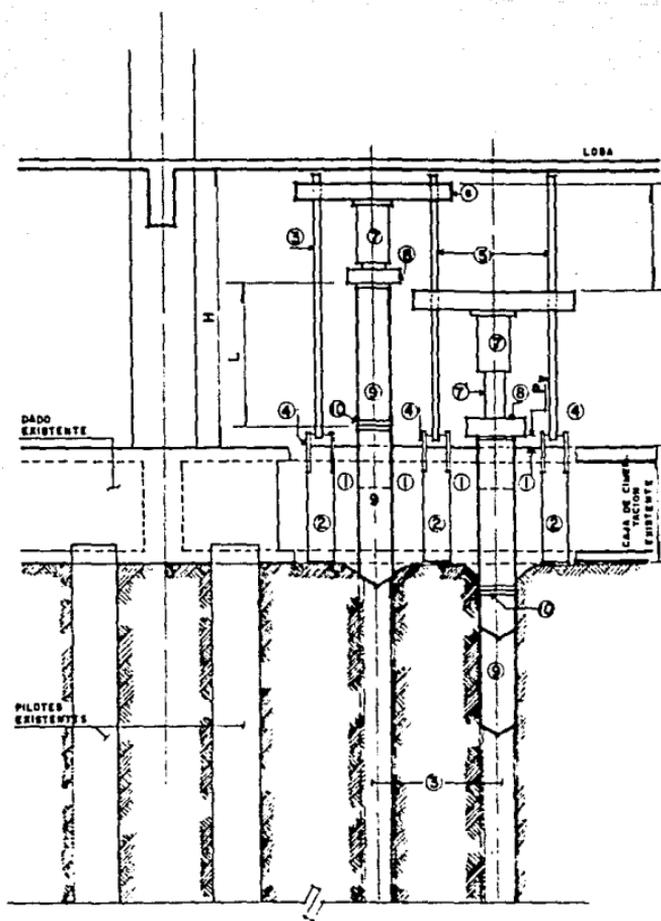


Fig V.2.12. ANCLAJE DE LOS ELEMENTOS DE REACCION EN LA CIMBENTACION

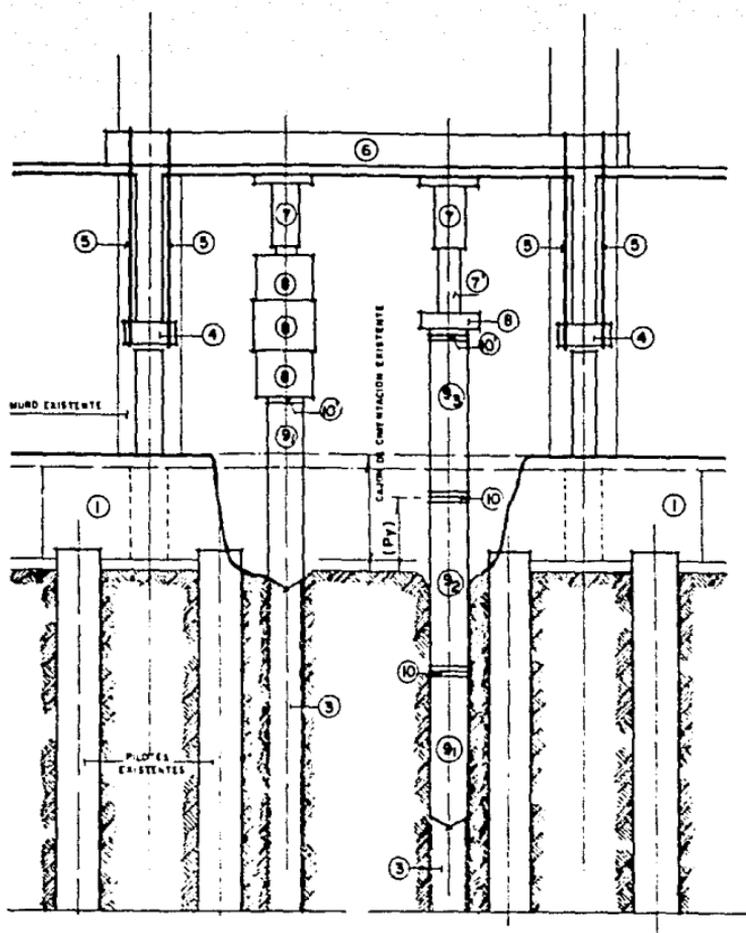


Fig V.2.13 APOYO DEL SISTEMA DE REACCION USANDO TIRANTES

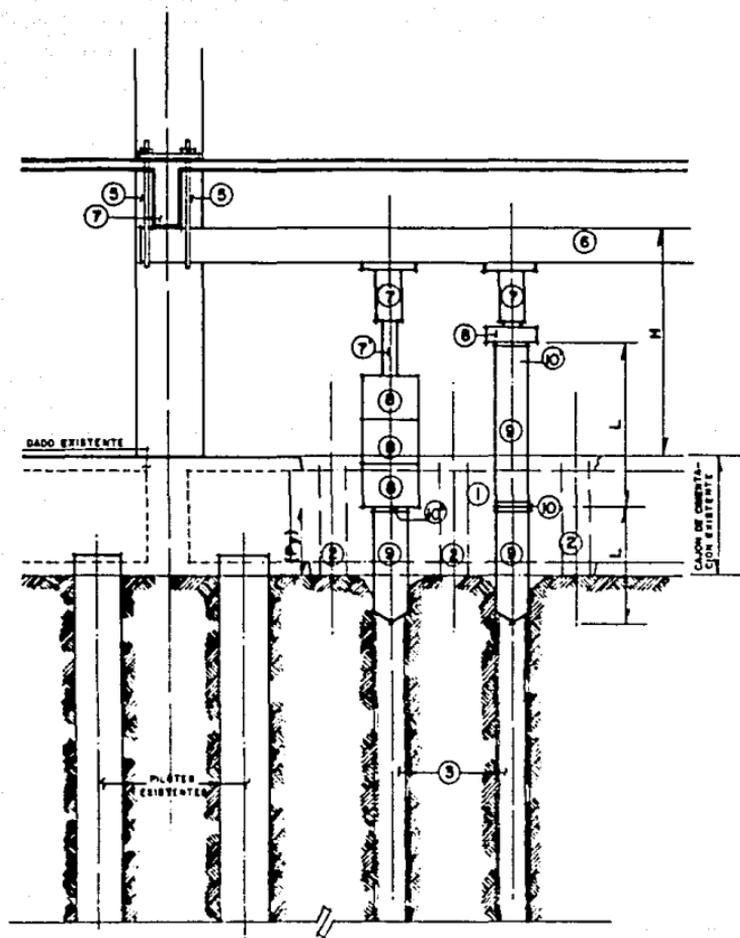


Fig.V.2.14 ANCLAJE DE LOS ELEMENTOS DE REACCION EN LA ESTRUCTURA CON APOYO DIRECTO

- C.- Máximo desplazamiento vertical del puente de reacción (6) del que dependerá el número de maniobras necesarias para hincar un tramo de pilote.
- 10'.- Acero ahogado en cada tramo del pilote para formar las juntas del fuste del pilote.
- Py.- Proyección del tramo de pilote para permitir el terminado de la junta.

La revisión estructural de los elementos que sean afectados por las cargas producidas por el hincado, son revisados para esta condición considerando la fuerza máxima necesaria de hincado para el último tramo, dato proporcionado por la geotecnia y que está en función del tipo de suelo, dimensiones de los pilotes y la existencia o no de perforación previa.

V.2.c.- Elementos provisionales.

La fabricación de los elementos provisionales para transmitir la presión de hincado a la cimentación o estructura, marcados con los números (4), (5) y (6) en las figuras V.2.12, 13 y 14 también dependen del espacio horizontal y vertical disponible.

Por lo general, por versatilidad a variación de dimensiones y capacidades, se fabrican en acero soldado y se diseñan prácticamente en el sitio, pues los diseños hechos en gabinete requieren ajustes una vez que se hacen las demoliciones para el anclaje, ya que es frecuente que la información para construcción oficial del edificio, haya sufrido ajustes o cambios durante su ejecución.

Así, el acero ahogado en las travesas adicionales o de apoyo en las existentes (4), para formar clips de conexión a los tirantes en los que se apoya el puente de reacción, - son dimensionados para transmitir tensión o compresión por aplastamiento al concreto, los tirantes (5) que sujetan el puente de reacción se dimensionan para resistir la tensión que les transmite el puente (6) y éste está capacitado para flexión y cortante.

V.2.d.- Pilotes.

Los pilotes cuya sección y longitud de fuste ha sido diseñada por la geotecnia-diseño estructural, es necesario segmentarlos en tramos con longitud de acuerdo a los espacios horizontales y verticales para maniobras y las dimensiones del sistema de hincado se fabrican lo más próximo al sitio de hincado en dos etapas:

- 1) Conexiones.
- 2) Tramos de pilotes.

V.2.d.1.- Fabricación de conexiones.

La conexión más común para obtener capacidad de flexión, transmisión de tensión y compresión a todo lo largo del fuste, consiste en soldadura de campo para unir las placas ancladas en los extremos internos de los tramos de pilote (Ver fig. V.2.15).

NOTAS DE LA FIGURA V.2.15.

- 1.- La soldadura que une las placas de conexión -- tiene la capacidad a tensión igual o mayor que la capacidad del refuerzo longitudinal.

- 2.- El anclaje de la placa de conexión a los tramos de pilote, usando para ello el refuerzo longitudinal del pilote o usando barbas independientes depende de la facilidad para soldar las varillas de refuerzo a la placa.
- 3.- El extremo que estará conectado a la cimentación puede llevar también placa, para soldar sobre ella barbas para anclaje en la cimentación.
- 4.- La sección cuadrada respecto a la redonda es más fácil y económica en su fabricación en el sitio.

La conexión anterior tiene la desventaja que la soldadura para unir los tramos de pilote, al ser de campo, se realiza en condiciones difíciles de ejecutar y de calidad precaria.

Otra solución posible es sustituir la soldadura "de campo" para unir los pilotes, por "una unión" mecánica en la que sus componentes transmitan la tensión trabajando a flexión o a cortante. (Ver fig. V.2.16)

Debido a que la industrialización de las conexiones anteriores, no se ha difundido en nuestro país, para la unión entre tramos de pilotes adicionados en cimentaciones del Valle de México, se ha usado la siguiente solución la cual puede fabricarse en pequeños talleres de pailería sin necesidad de grandes cantidades para ser rentable.

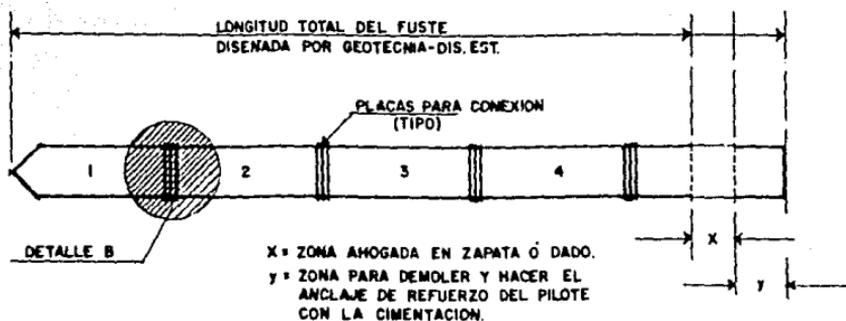
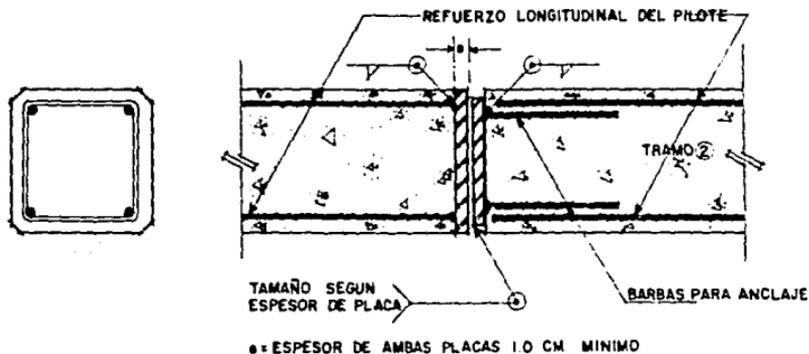
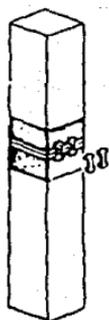


Fig. V.2.15 PILOTE TIPO CON PLACAS DE CONEXION



DETALLE B



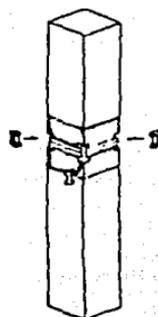
A-ELEMENTTI OY



MERCULES



ENCHUFADA



WEST

**Fig.V.216 TIPOS DE JUNTAS MECANICAS
ENTRE TRAMOS DE PILOTES**

La solución consiste en sustituir el trabajo a tensión de la soldadura de campo que une los tramos de pilotes, por el trabajo a cortante doble que inducen los carretes o dados soldados en el taller al refuerzo longitudinal, o sea que prácticamente la soldadura de campo que une las placas de conexión, se sustituye en el taller uniendo las varillas de refuerzo a los conectores que pueden ser carretes de barra hueca o dados machueleados para usar tornillos. (Ver fig. V.2.17)

V.2.d.2.- Fabricación de los tramos de Pilotes.

La fabricación de los tramos de pilotes tiene los cuidados y proceso general, similar a cualquier construcción de concreto con calidad controlada, realizada en una planta especializada o en el sitio. Se fabrican sobre camas de firme de concreto pulido, con una longitud tal, que permita la construcción de toda la longitud del fuste en una sola vez.

a) Cimbra.- La cimbra de madera o metálica, se fijará en la cama para vaciado, estará hecha para que se fabriquen pilotes en un sólo lecho en forma alternada, o sea una vez fraguado el concreto de los primeros, las paredes de éstos, sirvan de cimbra para las del segundo vaciado. (Ver fig. V.2.18).

La cimbra será diseñada para resistir todos los impactos y presiones propias de la ejecución del armado, manejo del concreto, vibrado, desmontaje y los usos planeados, conservando su forma para producir pilotes con sección uniforme con aristas paralelas de acuerdo al diseño.

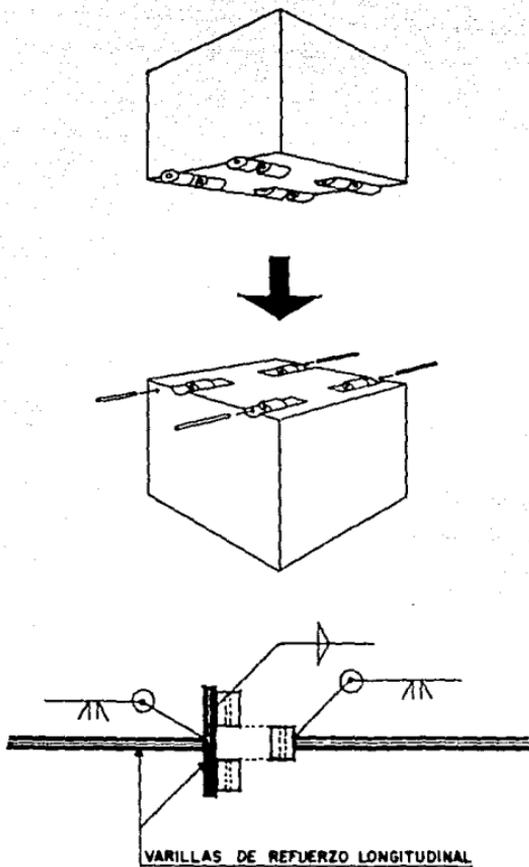


Fig.V.2.17 ALTERNATIVA DE CONEXION MECANICA

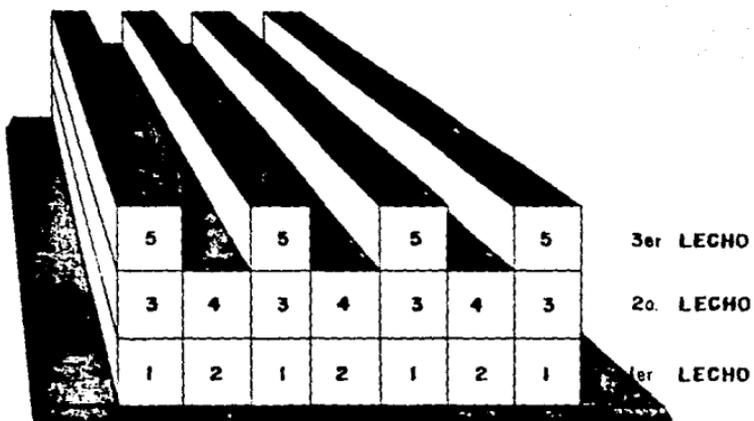


Fig V.218. SECUENCIA DE COLADO DE PILOTES.

Antes de continuar con la segunda etapa de la fabricación (el armado del acero de refuerzo), se coloca en todas las superficies de contacto del concreto, una membrana que facilite el desmontaje de la cimbra y la separación de los tramos de pilotes, como parafina, diesel, polietileno, etc.

b) Armado del Acero.- Se coloca el acero de refuerzo de toda la longitud del fuste, libre de oxidación, grasa, polvo o cualquier sustancia que reduzca su adherencia con el concreto, alineado, usando separadores para producir el recubrimiento planeado. Para el caso de conexiones entre tramos usando placas ancladas soldadas en el campo, se empalman éstas haciendo contacto, tal y como si fuesen a ser soldadas usando clips de fijación para que no pierdan el contacto durante todo el proceso de fabricación, que se eliminarán antes de iniciarse el fraguado inicial del concreto.

Cuando se trata de conexiones sin soldadura de campo, usando pernos o tornillos, se arma todo el fuste del pilote introduciendo los pernos o tornillos en las juntas, tomando las precauciones para hacer posible su retiro cuando se haya desmontado la cimbra y se vayan a separar los tramos de pilotes, para su almacenaje o para su hincado.

Una vez armado todo el acero de refuerzo, se colocan en cada tramo, las formas para los ductos o ganchos que ayuden a las maniobras de los tramos de pilotes.

c) Concreto.- La elaboración se hace con agregado grueso menor de 2.0 cm y el proporcionamiento considerando las características de los agregados incluyendo la calidad del agua disponible, con una cantidad de cemento mayor de 350 Kg/m³ la cual puede ser portland normal o resistente a las sales álcalis y silicatos del medio donde se hincarán,

el revenimiento apropiado es de 7.5 cm y el f'c puede ser de 300 Kg/cm² tomando en cuenta que el hincado será a presión.

La colocación del concreto puede hacerse con bacha, carretilla, canalón, bomba, etc., compactándolo con vibradores de alta frecuencia de contacto o inmersión, estos últimos con cabeza vibratoria de acuerdo a las dimensiones de los elementos que se compactan.

Después de colocado el concreto, se mantiene a más de 10°C, retirando los clips que ayudan al perfecto contacto de las placas de conexión soldada antes del fraguado inicial, resanando las partes afectadas, y se mantiene húmeda la superficie expuesta un mínimo de siete días o hasta llegar a la resistencia de diseño, que se verifica con una serie de pruebas de compresión a cilindros por cada 15 m³ máximo de concreto vaciado curados de manera similar a los pilotes.

Se marca cada tramo de pilote con números consecutivos a partir del extremo que se va a hincar primero que es el que tiene punta "de diamante", (Señalando series diferentes en cada fuste) y se retira la cimbra en espera a que el concreto tenga una resistencia mayor de 245 Kg/cm² para despegar de la cama los pilotes y llevarlos a hincar o al almacén.

Las maniobras para trasladar los pilotes al sitio de hincado o al almacén, se hacen después de retirar los pernos o tornillos que unen los tramos entre sí; en el caso de tramos con placas ancladas para soldarse en el campo, el retiro de los tramos de la "cama de colado", se hace sin dificultad. Se toman precauciones para no dañar los tramos de pilotes durante las maniobras usando en lo posible, carretillas o rodillos.

V.2.e.- Perforación Previa.

La perforación previa como en el caso de los pilotes colados en el sitio, se inicia después de revisar la nivelación y verticalidad del edificio, haciendo los ajustes a la secuencia, procedimiento constructivo y al diseño si fuera necesario.

Para este tipo de pilotes, al iniciar la perforación previa, después de la demolición de la zona de cimentación según la secuencia constructiva estudiada, no es indispensable la construcción de brocales, ya que resultan un obstáculo para el hincado.

La perforación previa como en el caso de los pilotes colados en el sitio, puede ser a toda la longitud o sólo en parte del fuste, con retiro del material o solo con remoldeo; con diámetro hasta de la diagonal de la sección del pilote o menor.

Las dimensiones y tipo de perforación la determinan las características de la estratigrafía del sitio y la profundidad del NAF.

V.2.f.- Hincado.

Conforme a las recomendaciones de geotecnia el proceso de hincado se inicia extrayendo el lodo de la perforación y montando los tirantes, el puente y el gato, que --- transmitirán la reacción y generará la presión de hincado - respectivamente y que están señalados con los números (5), (6) y (7) de las figuras V.2.12, 13 y 14.

El traslado de los tramos de pilotes al sitio, se hacen en el orden en que se hincarán, haciendo las maniobras para que los tramos queden ordenados según su marca y sus caras orientadas entre sí, tal como fueron colados.

Para posicionarlos se usan pórticos de fabricación "ad hoc" y polipastos manuales o eléctricos. El puente de reacción de hincado (6) cuando está apoyado en la estructura, también puede usarse para posicionar dependiendo del espacio.

Se coloca el primer tramo con una cuña de ajuste sobre él, marcada con el número (8) de las figuras indicadas y se acciona ligeramente el gato sobre la cuña, únicamente para impedir que el tramo del pilote se mueva al ajustar su verticalidad.

Una vez verificada la verticalidad del tramo del pilote se acciona el pistón del gato (7'), iniciándose así el hincado del pilote. Se continúa la proyección del pistón del gato hasta su longitud total, una vez logrado, se retrae el pistón en su totalidad, para colocar otra cuña de ajuste reiniciándose otro ciclo de hincado, ciclos que se continúan hasta llevar al extremo superior a una proyección (P_y) de las figuras V.2.12, 13 y 14 sobre el nivel del piso de trabajo, tal que sea posible posicionar el siguiente tramo y permitir terminar la conexión entre ambas secciones de pilote.

Si se trata de una conexión con soldadura para unir placas ahogadas, ésta se realiza con personal recientemente calificado, supervisados constantemente por un inspector especializado para verificar la calidad y el cumplimiento de

las normas precautorias para garantizar en la soldadura, una capacidad mínima o mayor a la capacidad a tensión del refuerzo longitudinal del fuste del pilote, usando el diámetro y tipo de electrodo de acuerdo al espesor de las placas y al ambiente húmedo en el que se realiza el trabajo. Como complemento se toman radiografías cada cincuenta juntas o cada dos jornadas realizadas por el mismo soldador.

Cuando se usan pernos o tornillos para terminar las juntas, el proceso es más sencillo y rápido pues el colocar los sólo lleva segundos.

Una vez terminada la junta entre tramos, se continúa el proceso de hincado con ciclos similares al descrito, haciendo lo más continuo para evitar que los pilotes se peguen al suelo durante las interrupciones para terminar las conexiones o por falla en el sistema de la fuente de poder del gato, en el suministro de energía eléctrica que impida soldar, etc. Lo anterior conduce a que se deberán tener en el sitio, elementos suficientes para atender emergencias como refacciones y equipo en espera.

La capacidad del gato es dada por las recomendaciones de geotecnia y se necesita para el hincado de los últimos tramos, por lo que es conveniente que el gato esté equipado con manómetro con calibración reciente, para llevar registros constantes de la energía necesaria en las diferentes profundidades de hincado y hacer los ajustes necesarios en los posteriores, como variar el diámetro o profundidad de la perforación previa, extraer o no el material de perforación, etc.

El caso mostrado en la figura V.2.12 en la que se está usando la cimentación para el anclaje de los tirantes --

(5), puede tener una alternativa para las maniobras con las cuñas de ajuste (8) entre ciclos de hincado: Es posible hacer preparativos en los tirantes para mover hacia abajo el puente (6) aprovechando para esta maniobra el tiempo que se requiere para retraer el pistón del gato. Las condiciones del sitio y los espacios disponibles son los que determinan el hacerlo de una manera u otra.

V.2.g.- Anclaje de Pilotes.

El anclaje de los pilotes a la cimentación ya sea -- del tipo colados en el sitio o precolados, debe garantizar la transmisión de los esfuerzos por carga vertical o accidental de la estructura, para ello es necesario que la capacidad a compresión, tensión, flexión y cortante considerados a los pilotes en el diseño, la tenga también el anclaje respectivo.

La capacidad a compresión es la más simple de satisfacer, pues prácticamente sólo se requiere un contacto completo, las otras tres se satisfacen simultáneas evitando la reducción de la sección de los pilotes en el anclaje y prolongando el acero de refuerzo del fuste con el mismo arreglo en su sección, ahogando en el concreto una longitud tal que garantice la transmisión de la capacidad a tensión de las varillas por adherencia.

Para lograr el anclaje, se acostumbra dos soluciones, una ahogando en la cimentación un tramo del pilote y demoliendo otra de longitud tal, que permita lograr el anclaje del refuerzo descubierto, que cumpla los requisitos de adherencia. La segunda es ahogando el extremo superior del pilote, el que tiene una placa ahogada al concreto, en la que se sueldan anclas con una separación que garantice -

la capacidad a flexión supuesta al pilote y con una longitud y forma, de acuerdo a su diámetro que asegure el anclaje.

CAPITULO VI

VI.- CONCLUSIONES

Al diseñar y construir una edificación nadie espera la futura necesidad de recimentarla, si acaso se puede planear en función de un posterior crecimiento. El hecho de que se presente un mal comportamiento en dicha edificación, es indudablemente el resultado de una falla en su proceso de investigación - diseño - construcción. En cuanto a las edificaciones de hace más de 40 años, cuando se inició el intenso bombeo de extracción de agua para consumo humano, provocando el tan mencionado hundimiento regional no podemos culpar a sus diseñadores de los malos comportamientos de algunas de ellas, por no prever la modificación de las condiciones originales, lo que actualmente se considera en las Normas Técnicas Complementarias.

Por otro lado, tenemos la dramática experiencia de los sismos de Septiembre de 1985 con el colapso de numerosas edificaciones que hasta ese momento habían tenido un buen comportamiento, lo que obligó a efectuar rigurosas revisiones y análisis de los parámetros sísmicos hasta entonces empleados, teniendo como resultado la modificación de los mismos por los ahora registrados y cuya magnitud varía considerablemente. Esto trajo como consecuencia directa la necesidad de reestructurar y recimentar los edificios en virtud de la probabilidad de que se repita el fenómeno.

Cabe aclarar que en la medida que se evolucione en el diseño y control de calidad de las cimentaciones, los eventos que obliguen al proceso de recimentación se irán reduciendo lo que es muy deseable por el alto costo que representan. Lo anterior hace pensar que este tipo de problema está actualmente en su momento más significativo.

En resumen y como resultados de este trabajo, presentamos - las siguientes conclusiones:

Apoyar el diseño de las estructuras y sus cimentaciones en un estudio riguroso y real de la estratigrafía del sitio.

Actualizar constantemente las técnicas constructivas y mejorar el control de calidad de las mismas.

Impulsar la investigación geotécnica y la instrumentación de estructuras y cimentaciones, a fin de contar con mejores y más datos, que aportarán a los diseñadores bases firmes para el desarrollo de soluciones adecuadas.

Dado que al efectuarse una recimentación, se requiere de toda la información disponible, es imprescindible contar con la edición de planos de las edificaciones, tal y como se construyeron, así como con una Bitácora de Obra acuciosamente llevada.

Considerando el relativo buen comportamiento durante las solicitaciones sísmicas, de las estructuras cimentadas con pilotes de punta, con la capacidad de transmitir las fuerzas horizontales a la base del Edificio; valdría la pena hacer la investigación e instrumentación necesaria, para valorar la influencia del suelo firme de apoyo y si ésta infliere -- que recibe aceleraciones menores.

Reafirmando lo planteado en el Artículo 33, del Capítulo -- Cuarto "Restricciones a las Construcciones", del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1987; en el cual, de acuerdo a la Planificación Urbana se determina el uso al que podrán destinarse los predios, se vislumbra la necesidad de restringir la construcción de grandes edificaciones en la zona del Lago con alto riesgo sísmico.

También es necesario mantener y aumentar las medidas que permiten disminuir los efectos de la extracción del agua del subsuelo y además promover la recuperación de dichos mantos, mediante la creación de áreas de infiltración y pozos de recuperación.

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

Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal (1975), Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.

Tamez, E., (1987) Manual de Diseño Geotécnico Volumen I, Covitur.

Marsal, R.J. y Mazari, M. (1969) El subsuelo de la Ciudad de México, Instituto de Ingeniería, U.N.A.M., Segunda Edición.

La Mecánica de Suelos y la Geohidrología, (1985) S.M.M.S, A.C. y A.G.M., A.C., Comportamiento de Cimentaciones en la Ciudad de México.

Carrillo N. (1969), El Hundimiento de la Ciudad de México. Proyecto Texcoco, México.

"Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal" -- (1987), Departamento del Distrito Federal.

"Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción para el D.F." (1987), Departamento del Distrito Federal.

Sowers, George B, Sowers George F. (1972) "Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones", Limusa.

Peck B., Ralph, Hanson E. Walter, Thornburn H., Thomas -- (1982), "Ingeniería de Cimentaciones., Limusa.

Juárez B., Eulalio, Rico R., Alfonso (1976) "Mecánica de Suelos" Tomos I, II y III, Limusa.

Moreno P. Gabriel, "Recimentación de un edificio histórico apoyado en un suelo sumamente deformable", Revista Ingeniería.

Memorias del Simposio: Los Sismos de 1985; Casos de Mecánica de Suelos (1986), Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C.

Santoyo E., Riqing Lin Xue, Ovando Efraín, (1989) "El cono en la exploración Geotécnica", TGC Geotecnia.

Ingeniería Experimental, S.A. (1988), Informe de Exploración correspondiente al sondeo de cono de la Central Telefónica "Las Torres" en Ciudad Netzahualcoyotl.

TGC Geotecnia (1987) Estudio Geotécnico para centro de trabajo y central telefónica, Mixhuca, D. F.

Alberro A., Jesús, Esquivel D., Raúl, Holguín G. Ernesto Santoyo V., Enrique, Farjeat P., Daniel, López R., Raúl Montejano B., Javier, Ponce S., José A., Porrás. L., Alberto, Ríos G., Marcelo, Sánchez M. Bernardo, Jacobo Schmitter, Juan. (1983).

"Manual de diseño y construcción de pilas y pilotes", Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

Ingeniería Experimental, S.A. (1986); Informe de la Revisión de la Recimentación de la Central Telefónica "Condesa" en México, D.F.