

119
203



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

SISTEMAS MECANIZADOS
PARA PILOTES

T E S I S
Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL
p r e s e n t a

ALFONSO RICO ALVAREZ



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

México, D. F.

1991



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E .

INTRODUCCION.

CAPITULO I. *PROBLEMATICA DE LOS SUELOS BLANDOS EN EL VALLE DE MEXICO.*

Introducción.

- Zonificación y Estratigrafía del subsuelo.
- Resistencia y compresibilidad en las arcillas.
- Hundimiento debido al abatimiento del N.A.F.

CAPITULO II. *CIMENTACIONES PROFUNDAS.*

Introducción.

- Tipos de Cimentación Profunda.
- Generalidades sobre Pilotes.
- Asentamientos y Fricción Negativa.
- Capacidad de Carga.
- Pilote de Punta Penetrante.

CAPITULO III. *CIMENTACIONES MECANIZADAS.*

Introducción.

- Pilotes de Control.
- Características de los Pilotes de Control.
- Sistema de José M. Aguilar.

CAPITULO IV. *CONSIDERACIONES ESPECIALES.*

- Comportamiento Sísmico de Pilotes de Control.

CAPITULO V. *PROPUESTAS DE MEJORA PARA CIMENTACIONES MECANIZADAS.*

CAPITULO VI. *CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.*

BIBLIOGRAFIA.

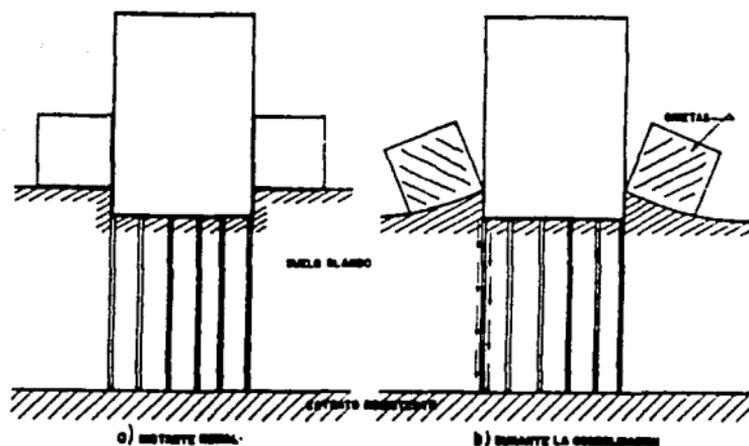
I N T R O D U C C I O N .

Es sabido que en el Valle de México, así como en otros muchos lugares similares del mundo, existen grandes formaciones de arcillas muy blandas, altamente compresibles y con contenidos de agua muy elevados. Una formación de este estilo, subyace a importantes áreas urbanas de la Ciudad de México, que comprenden las zonas de los exlagos de la Ciudad, Texcoco, Chalco y Xochimilco y, desde luego, su Zona Centro, de muy alto valor comercial.

Lo anterior ha llevado históricamente a la utilización de pilotes como elementos de cimentación de edificios importantes; de hecho, hay evidencia del uso de pilotes de madera en construcciones prehispánicas, y estos se usaron abundantemente en construcciones del Virreinato. Los primeros pilotes eran aproximadamente de 8 a 10 m. de longitud y de 30 a 40 cm. de diámetro; en la actualidad, los pilotes llegan a alcanzar longitudes de hasta 80 m., y diámetros hasta de 5m. (cilindros). El pilote de punta fue en algún tiempo el de mas uso; si bien, el pilote de fricción ya era conocido.

Los pilotes de punta que están apoyados sobre el estrato resistente, o capa dura, al irse consolidando el estrato compresible, permanecen fijos con respecto a los suelos blandos que se enjutan; es decir, que pareciese que las construcciones que están apoyadas en pilotes de punta, emergiesen de la superficie. (Fig. i.)

Al ocurrir esto, se produce el fenómeno de fricción negativa, que sobrecarga al pilote, pudiendo llegar a producir daños a la estructura, o incluso hacer fallar al pilote, al separarse el nivel de la edificación del nivel de las banquetas y jardines, como puede observarse en el Angel de la Independencia o en el Monumento a la Revolución, provocando daños serios en las construcciones vecinas, así como la ruptura de instalaciones de agua potable, de alcantarillado y daños a instalaciones telefónicas y eléctricas que se localicen en las cercanías del lugar. Pero quizás el problema mas grave, se presente cuando existiendo este fenómeno, ocurra un sismo, lo cual puede, por un efecto cortante, hacer que la construcción quede sin sustento de los pilotes, e incluso que ésta pueda llegar al grado de colapsarse.



Inducción de la fricción negativa a lo largo del fuste de pilotes de punta por Consolidación de los estratos blandos

Fig. i.

Otro sistema de cimentación profunda muy utilizado, es el de los pilotes diseñados por fricción, los cuales, en el caso del Valle de México, y en otros lugares, no han estado exentos de problemas. Al cabo de cierto tiempo, dependiendo de la constitución del estrato compresible, pueden llegar a apoyarse en estratos mas duros, e inclusive llegar a la capa dura, (pasando su comportamiento a pilote de punta), provocando inclusive desplomes o asentamientos diferenciales que ponen en riesgo la estructura. Aunque incluso los pilotes

de fricción, pueden ocasionar que los edificios emerjan, debido a la diferencia que existe entre las capas del suelo y el pilote; es decir, que la fricción puede ser mayor en un estrato que en otro, y si esto sucede en el estrato inferior, y existe consolidación en los estratos superiores, el edificio emergerá con respecto al nivel de las banquetas y calles.

Además del problema de fricción negativa, es riesgoso que el edificio quede separado del suelo, puesto que en un sismo, el movimiento del suelo y el de la estructura serán diferentes debido a la inercia de la construcción, lo cual ocasionará una sobrecarga mayor a los pilotes que soporten la compresión en el movimiento. Otro aspecto muy importante, es que, al encontrarse el edificio separado del suelo, el esfuerzo cortante producido por el sismo, será únicamente tomado por los pilotes, que al tener menor área que la base de la cimentación, se verán mas afectados por esta fuerza sísmica, dañándose o incluso fallando.

Debido a los problemas ocasionados con el uso de pilotes de punta y de fricción, en México y en muchos otros lugares del mundo, se han ideado sistemas para controlar a las

estructuras cimentadas con pilotes, a las cuales les llamaremos **Cimentaciones Mecanizadas**, dentro de las que destacan en la Ciudad de México, las que se describen el desarrollo del presente texto.

C A P I T U L O I .

Problemática de los suelos blandos.

Introducción.

Se puede decir con seguridad que los problemas y dificultades que se enfrentan en las obras de ingeniería, tanto en diseño como en construcción, son muchas veces más frecuentes y más serios cuando las estructuras están cimentadas sobre suelo, y no sobre roca. En ingeniería, al estudio que enfoca el problema de los suelos se le ha denominado universalmente **Mecánica de Suelos**. Es importante admitir que no hay una línea de demarcación firme e inalterable entre suelo y roca; por ejemplo, algunas de las lutitas¹ más deleznable², gradúan imperceptiblemente las arcillas más endurecidas, por lo cual ante tal vaguedad no hay necesidad de discusión.

¹ Lutita: Sedimento laminado, cuyas partículas constituyentes son predominantes del tipo de la arcilla.

² Deleznable: Quebradizo, poco consistente, o lo que es resbaladizo.

- Zonificación y Estratigrafía del subsuelo.

La cuenca del Valle de México está rodeada por sierras volcánicas y en su interior hay volcanes aislados. Sus límites naturales mas sobresalientes son: al Norte, las Sierras Tepotzotlán y Pachuca, con altura máxima de 3,000 m.; al Noreste, las Sierras de Chichucatlán, y del Tepozán, que se derivan de la Sierra Madre Oriental; al Este, y Sureste, la Sierra Nevada, donde destacan en su porción Norte, los cerros Tláloc, Telapon, y el Papayo, con mas de 3,500 m. de altitud, y en la parte Sur del Iztaccihuatl (5,286 m.) y el Popocatepetl (5,452 m.); al Sur, la Sierra de Chichinautzin o de Cuauhtzin y Ajusco, con el Pico del Aguila como máxima elevación (3,952 m.) en el Ajusco; al Suroeste, la Sierra de las Cruces; al Oeste, las Sierras de Monte Alto y Monte Bajo, y al Noroeste la Sierra de Tezontlapán, o Tolcayuca, que se conecta a la sierra de Pachuca y completa así el circuito de la Cuenca.

El Nevado de Toluca, el Popocatepetl, el Iztaccihuatl y la Malinche, por su juventud, y extraordinarias alturas, son testimonio del fenómeno producido por el plegamiento de los

sedimentos marinos del periodo Cretácico, cuando emergió del mar casi todo el territorio del país y se produjo todo un periodo de vulcanización.

En la era cuaternaria, hace aproximadamente un millón de años, se produjo una efusión de lavas que formó la Sierra Chichinuatzin, represó los ríos que iban hacia el sur y dio origen a la cuenca cerrada de México, después de que aparecieron los volcanes Ajusco, Iztaccihuatl, y Popocatepetl.

Aún hoy es posible encontrar indicios de gran potencia pulsante anidada bajo la superficie de México. Algunos de ellos son: la erupción del Xitle, apenas 200 años a. C., cuyas lavas destruyeron la población de Copilco; la veneración de los antiguos mexicanos a Xiutecuhтли, dios viejo del fuego, las aguas termales del Peñón de los Baños y el Peñón del Marqués, muy frecuentados hasta bien entrado este siglo y luego en decadencia por haberse abatido los niveles freáticos, y el alumbramiento de mantos de hasta 40 grados de temperatura al sureste del Cerro de la Estrella, y en muchos otros sitios.

Al extremo norte del Distrito Federal, con orientación este-oeste, se ubica la Sierra de Guadalupe, y también dentro del Distrito Federal las elevaciones presentadas por los cerros de la Estrella, del Peñón y Chiquihuite. Estos últimos han perdido su fisonomía geográfica por el incontenible aumento de colonias y barrios, que han acabado por cubrirlos casi por completo. El área total del Valle es del orden de los 7,560 Km².

Una buena parte de la Ciudad de México se encuentra construida sobre lo que fueron las zonas lacustres, por lo cual se deben los problemas de cimentación que llevaron al empleo de cimentaciones cada día más complejas. Los depósitos más finos que aparecen en el subsuelo de la Ciudad de México corresponden, según hoy se admite, al mismo origen volcánico.

Marsal y Mazari*, aprovechando los numerosos estudios que se han realizado sobre el subsuelo de la Ciudad de México, y de una amplia información proveniente de la perforación de muchos pozos de muestreo y exploración, y de estudios estadísticos provenientes de ellos, zonificaron la Ciudad en

* El Subsuelo de la Ciudad de México. Marsal, R. J. Mazari, M.

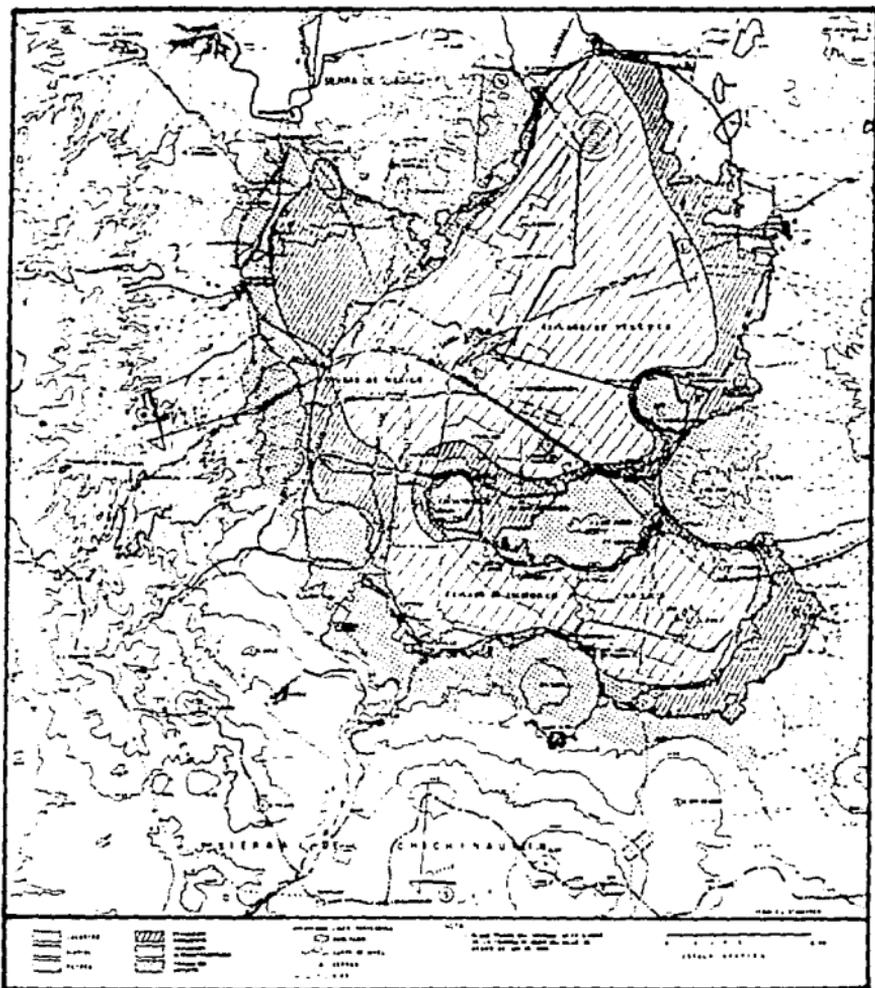


Fig. I-1.

tres grandes áreas. (Fig. I-1.) La primera de ellas corresponde a la zona llamada de Lomas, por desarrollarse en parte en la últimas estribaciones de la Sierra de las Cruces y está constituida por terrenos compactos areno-limosos, con alto contenido de grava o de tobas pumíticas; en otras partes esta zona invade los derrames basálticos del Pedregal. En general, esta zona presenta buenas condiciones para la cimentación, debido a que la capacidad del terreno es alta y no hay formaciones compresibles de importancia. Sin embargo en esta zona se localizan galerías debido a la explotación de minas de arena y grava. Estas galerías pueden estar actualmente rellenas de material arenoso suelto u otros, tales como cascajo, lo cual, sin disminuir mucho el riesgo que representa una cimentación sobre estas, si las hace de difícil localización, requiriéndose estudios para detectarlas y evitar asentamientos diferenciales en las construcciones. En la zona de derrames volcánicos, también se pueden encontrar burbujas de aire o cavernas, las cuales pueden causar problemas similares, al fallar algunas columnas pesadas que se encuentren sobre estas cavernas.

Otro problema que existe en esta zona, sobre todo en la parte norte de la Ciudad, es el que se presenten depósitos eólicos de arena fina y uniforme; estas formaciones son susceptibles de producir asentamientos diferenciales bruscos y erráticos, exigiendo esto, estudios mas minuciosos, para elegir el tipo de cimentación y para compactar el suelo eficazmente.

La segunda zona, llamada Zona de Transición se presenta entre las serranías del poniente y el fondo del lago de Texcoco, en donde las condiciones del subsuelo varían mucho de un punto a otro de la zona, en lo referente a su estratigrafía. En esta zona se presentan depósitos superficiales arcillosos o limosos, y orgánicos cubriendo arcillas volcánicas muy compresibles de espesores muy variables, con intercalaciones de arenas limosas limpias, compactas que sobreyacen a mantos potentes, predominantemente de arena y grava. Los problemas de capacidad de carga y de asentamientos diferenciales pueden ser muy críticos, debido a que edificios de grandes dimensiones pueden estar apoyados en estratos totalmente diferentes.

La última de estas zonas, es llamada Zona del Lago, la cual se localiza en los terrenos que constituyeron los lagos de Texcoco, Chalco, Xochimilco y Cd. de México caracterizándose por tener depósitos areno-arcillosos o limosos, o bien rellenos artificiales de hasta 10 m. de espesor, y arcillas de origen volcánico, con intercalación de arenas en pequeñas capas o lentes.

La primera capa dura, se constituye por materiales arcillo-arenosos o limo-arcillosos muy compactos, y suele localizarse a una profundidad de 30 a 40m. aproximadamente. Siguen espesores de entre 4 y 14 m. formados por arcillas volcánicas altamente compresibles, aunque de estructura mas cerrada que la de estratos superiores y por último estratos alternados de los materiales mencionados anteriormente.

En algunos estudios, a partir de los 65 m. se ha encontrado una tercera capa de arcilla compresible, y además de esto, también se ha observado un comportamiento mecánico diferente debido al bombeo irregular en diversos puntos de la Ciudad y a la preconsolidación ocasionada por edificaciones coloniales y aztecas que hayan existido, de las cuales se conservan algunas en la actualidad; hay lugares en donde por

este efecto la capa arcillosa superior no pasa de los 20 m. de espesor. (Palacio Nacional).

A causa de los criterios anteriores, la zona del Lago fue dividida en dos partes por Marsal y Mazari; la primera abarca las áreas preconsolidadas por las edificaciones aztecas y coloniales hoy inexistentes, y la segunda cubre aquella parte de la Ciudad que no fue cargada por construcciones antiguas y que por lo tanto presentan mayor homogeneidad en propiedades mecánicas.

- Resistencia y compresibilidad en las arcillas.

El principal problema al que se enfrentan los ingenieros en estructuras sobre zonas arcillosas es en general, el de los asentamientos inducidos por la estructura, las estructuras vecinas y las sobrecargas, así como el problema de resistencia del subauelo, lo cual refleja en un modo directo la capacidad de carga de éste. Para poder disponer de una información estadística relativa a la resistencia en las arcillas de la Ciudad de México, es necesario retomar el trabajo de Marsal y Mazari. Observando los polígonos de frecuencias y curvas de regresión estadísticas para los

valóres de la resistencia a la compresión simple en estado natural (q_u) y remoldeado (q_{ur}), se cumple con bastante precisión la regla de que la resistencia a la compresión simple es el doble del valor de la cohesión o resistencia rápida del material, lo cual hace al valor de (q_u) pieza clave en cuestión de la capacidad de carga. (Fig. I-2.)

En la Fig. I-3., se puede observar la curva de regresión estadística del ángulo de fricción interna aparente ϕ' , obtenido en pruebas rápidas consolidadas, contra el contenido de agua natural. Además de esto, realizaron pruebas de resistencia al corte en el lugar, por medio de una veleta diseñada de un modo bastante preciso, y compararon el resultado con la resistencia a la compresión simple (q_{ur}) obtenida de estudios de un pozo en las inmediaciones del lugar, por lo que observaron que la compresión simple era menor que el doble de la resistencia obtenida en la veleta, de manera que aproximadamente $q_u = 1.48$ de la resistencia en la veleta.

Debido al bombeo efectuado en los acuíferos del Valle, las arcillas normalmente consolidadas se han visto afectadas por

este fenómeno, cambiando paulatinamente su comportamiento al de las arcillas preconsolidadas.

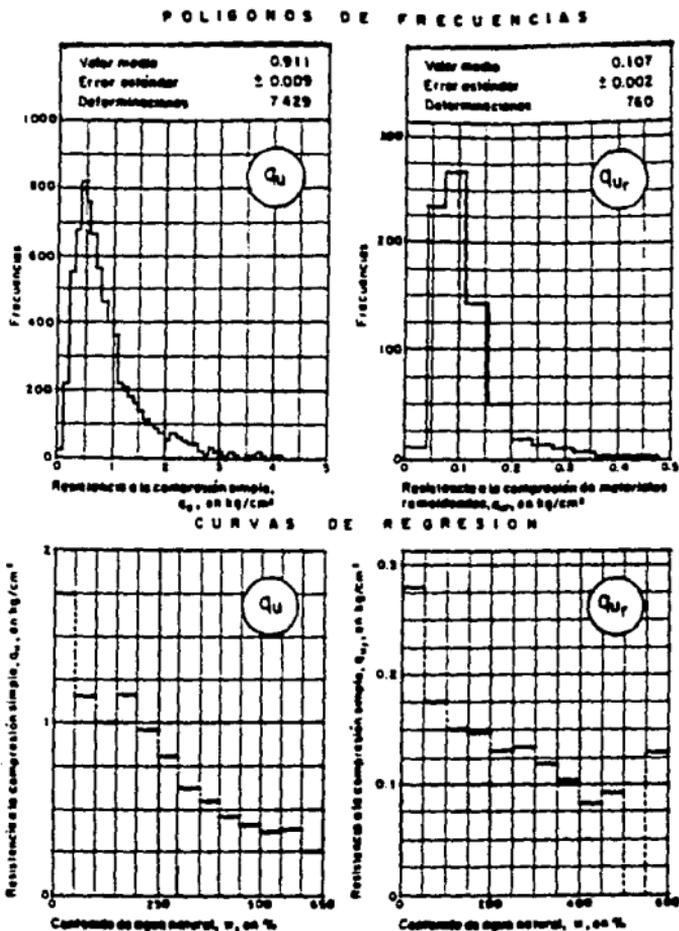
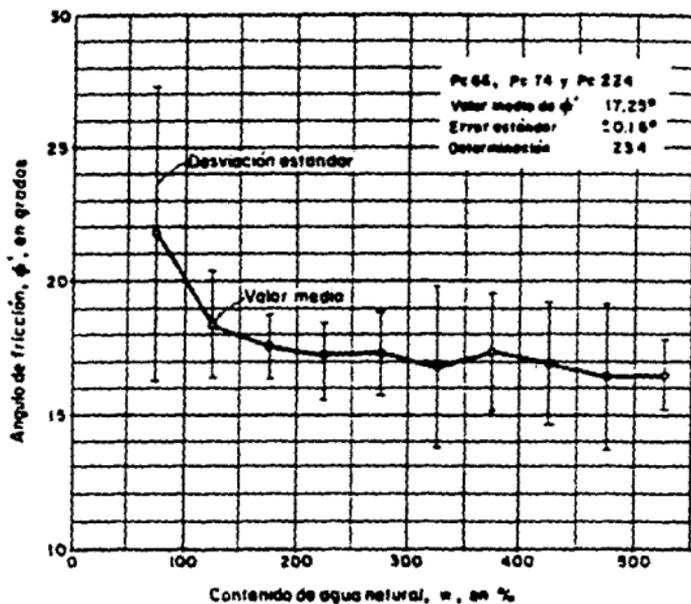


Fig. I-2.



Curvas de regresión estadística del ángulo de fricción en prueba R_c , contra el contenido natural de agua

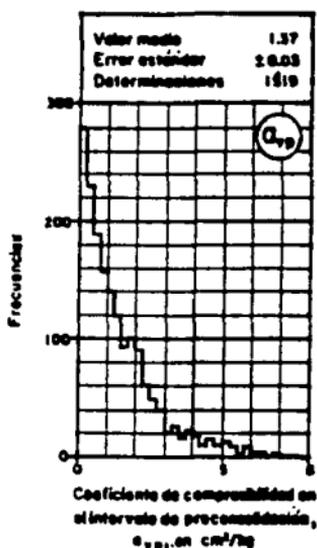
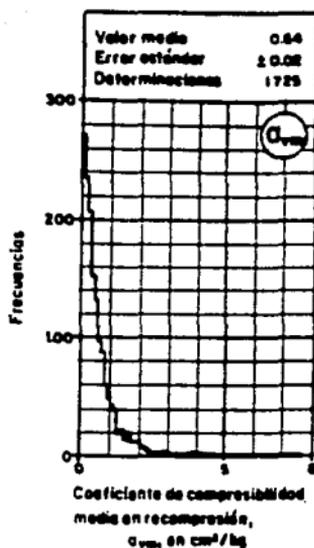
Los cálculos efectuados en el laboratorio sobre los valores de las cargas de preconsolidación, se han verificado gracias a mediciones piezométricas en muchos puntos de la zona urbana. Aplicando al teoría de Boussinesq se puede conocer la influencia de la sobrecarga superficial de la gráfica de presión por peso propio contra la profundidad.

Dada la forma de las curvas de compresibilidad Marsal y Mazari distinguen tres coeficientes de compresibilidad; el primero de ellos es el valor medio en el tramo de recompresión (a_{vm}); el segundo representa el intervalo de presiones que comprenden a la carga de preconsolidación, y se observa en el tramo de fuerte curvatura en la curva de compresibilidad (a_{vp}); la tercera representa el tramo virgen en el que la arcilla en estudio, e varia respecto a p siguiendo la siguiente ley:

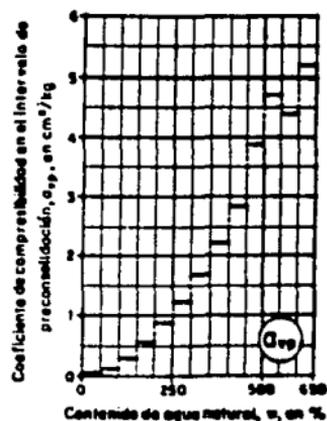
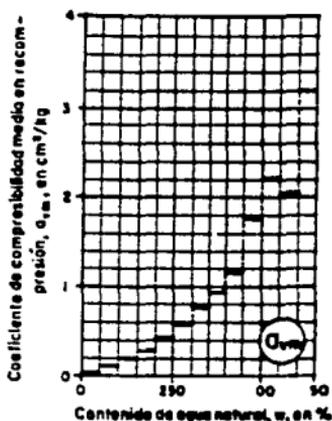
$$e = A p^{-n}$$

donde n es el índice de compresibilidad definido por dicha ecuación y A es una constante. El valor de n se ha representado por n_c en el proceso de carga.

POLIGONOS DE FRECUENCIAS



CURVAS DE REGRESION



Curvas de regresión y polígonos de frecuencias del coeficiente de compresibilidad

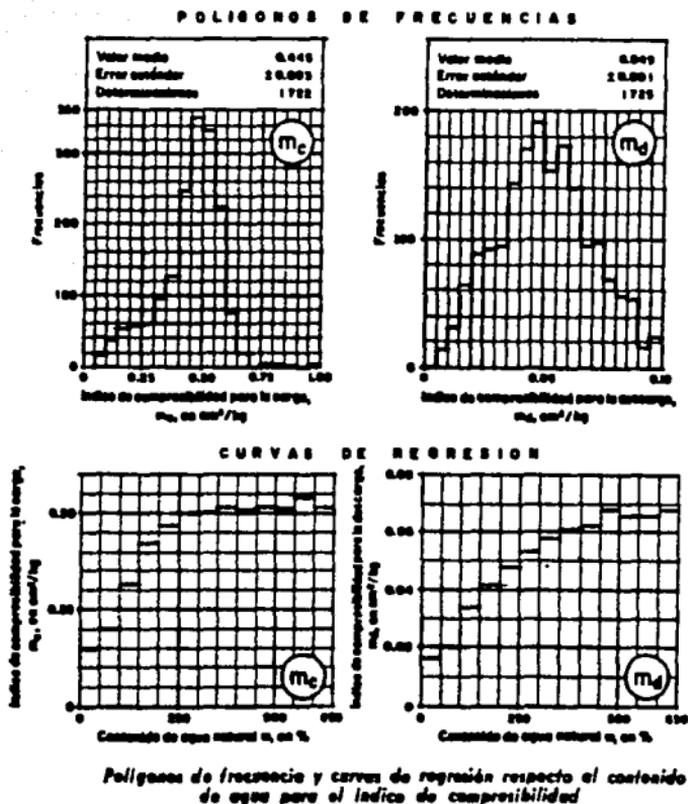


Fig. I-5.

Para los valores de a_{vm} y a_{vp} aparecen polígonos de frecuencia y curvas de regresión estadística en la figura I-4., y se da la misma información para m_c en la figura I-5., a

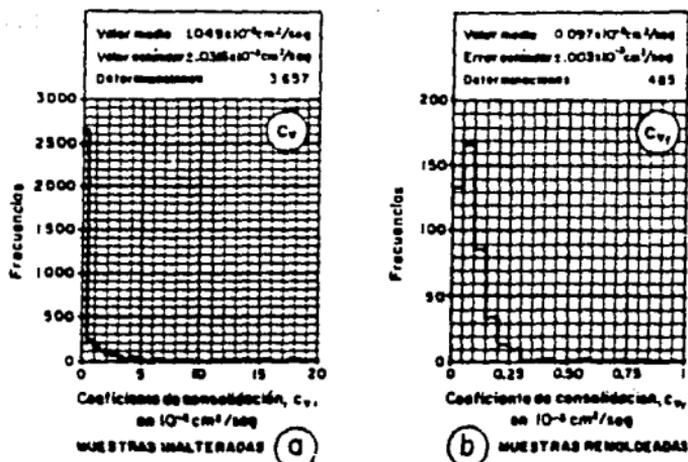
partir de las cuales puede conocerse el valor a_v en el tramo de la curva de compresibilidad empleando la siguiente fórmula:

$$a_v = \frac{m c e}{p}$$

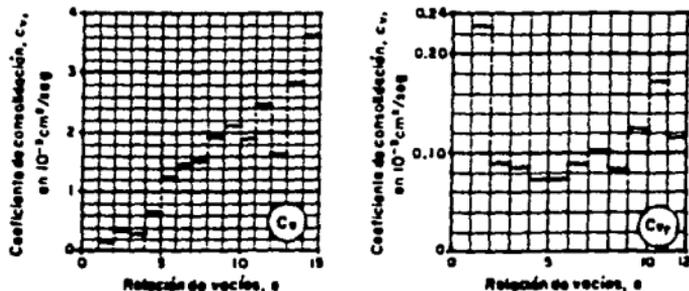
En la figura I-5., se dan curvas de regresión para el tramo de descarga con un valor de m representado por m_a obtenido de una ecuación similar a la anterior.

El coeficiente de consolidación, (C_v) con respecto a la relación de vacíos, puede observarse en la curva de regresión estadística que aparece en la figura I-6.

POLIGONOS DE FRECUENCIAS



CURVAS DE REGRESION



Polígonos de frecuencia y curvas de regresión respecto a la relación de golpes del coeficiente de consolidación

Fig. I-6.

- *Hundimiento debido al abatimiento del Nivel de Aguas Freáticas.*

El fuerte crecimiento urbano de la Ciudad de México, desde principios de siglo, aparejado a la escasez de agua dulce,

natural en una zona tan elevada, una vez que sobrevino la desecación de las cuencas lacustres originales, acarrió un nuevo problema. Para la obtención de agua, se establecieron pozos de bombeo en acuíferos a diferentes profundidades y bien dotados, que existían en abundancia. Sobra decir que este bombeo ocurrió a escala creciente con el tiempo, hasta originar abatimientos muy importantes en los acuíferos profundos; por esta razón, el manto compresible tiende a disminuir de espesor por algún proceso de consolidación inducido, ya sea el bombeo en el caso de la Ciudad de México para agua potable, o bien con fines agrícolas en otros lugares, así como en el caso de estribos de puentes, en los que el estrato compresible, disminuye de espesor y se consolida por el peso de los terraplenes de acceso.

Alrededor del año de 1925, Roberto Gayol fue uno de los primeros en advertir sobre el hundimiento general del Valle de México, fijándose especialmente en el de la Catedral Metropolitana, durante sus trabajos sobre el sistema de drenaje de la Ciudad, de cuyo proyecto fue autor. El Ing. Gayol atribula este fenómeno al drenaje de las aguas del subsuelo. Posteriormente, el Ing. José A. Cuevas, continuando

con el desarrollo de las ideas del Ing. Gayol, y junto con su discípulo Nabor Carrillo, estudiaron la influencia de las consecuencias del bombeo en los pozos para el agua de la Ciudad de México. Realizando mediciones en diferentes sectores de la Ciudad, compararon sus resultados con la Teoría de Consolidación de Terzaghi. Con esto, Nabor Carrillo, al margen de pequeños errores de detalle por no contar con información completa, demuestra definitivamente que el abatimiento de los niveles piezométricos profundos era causado primordialmente por el bombeo de los estratos acuíferos.

Posteriormente los nombres de Marsal, Hiriart, Sandoval, y mas recientemente L. Zeevaert, están asociados a un gran número de investigaciones sobre el tema, por lo cuál es un hecho comprobado, que el bombeo producido con fines de abastecimiento de agua para la zona urbana, ha producido abatimientos en los niveles piezométricos, encontrándose incluso en algunos casos, abatimientos superiores a los 20 m. Este abatimiento de presión en los acuíferos provoca flujo de agua de los mantos arcillosos hacia ellos, con la

correspondiente pérdida de volumen, acompañada de una consolidación de las arcillas.

Una cifra representativa del hundimiento de la Ciudad de México, oscila entre los 5 y 20 cm. anuales. Sin embargo si se toma como configuración inicial la que presentó el Ing. Gayol, correspondiente a la Ciudad de México, en los últimos años del siglo pasado, el hundimiento general ha sido del orden de 5 m. en la Catedral, de 6 m. en la Calle de Tacuba y en la Alameda Central, y del orden de los 7 m. en la zona en que confluyen las avenidas Juárez y Reforma.

C A P I T U L O I I .

Cimentaciones profundas.

Introducción.

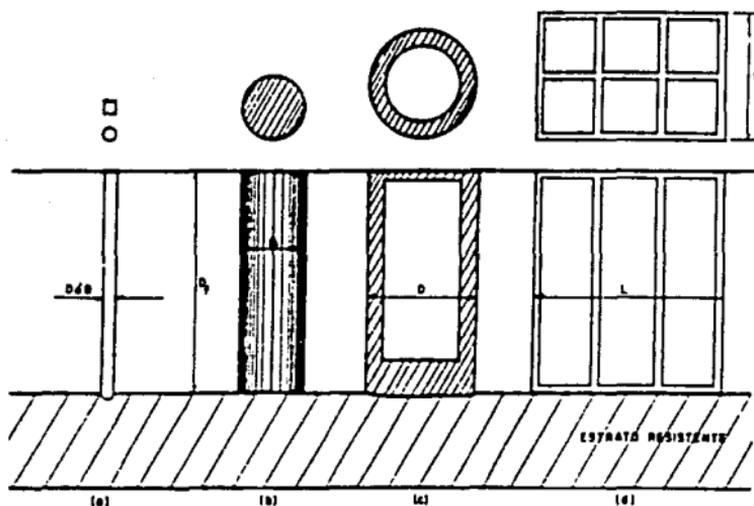
Debido a que las condiciones del suelo superficial no siempre satisfacen las necesidades para permitir el uso de una cimentación poco profunda, es necesario en construcciones pesadas buscar terrenos de apoyo mas resistentes; estos estratos no siempre se encuentran a profundidades que sean alcanzables económicamente, por lo que es necesario a veces el tener que apoyar parcialmente sobre los terrenos blandos a las estructuras a construir, complementando el apoyo con una cimentación profunda. Así, las cimentaciones profundas coexisten con otras convirtiéndose en cimentaciones mixtas.

- Tipos de Cimentación Profunda.

Las cimentaciones profundas a base de pilotes que mas frecuentemente se utilizan hoy en día, se distinguen entre si por la magnitud del diámetro o lado de sus elementos, siendo de sección recta, circular o rectangular las mas comunes.

Los elementos cuyo ancho sobrepasan 1 m., pero no exceden los 2 m., se les suele llamar pilas; sin embargo no existe en la actualidad una distinción definida entre pilas y pilotes. Los elementos muy esbeltos, con dimensiones transversales, comprendidas entre los 30 cm. y 1 m., se denominan pilotes. La inmensa mayoría de los pilotes en uso tienen diámetros comprendidos entre los 30 cm., y 60 cm. y pueden ser de madera, concreto, o acero. El criterio anteriormente establecido, es quizás el más seguido por especialistas de esta área, mas no es el único. Por ejemplo, para otros, una pila es un elemento que trabaja exactamente igual que una zapata, sólo que transmite las cargas a mayor profundidad; para este segundo grupo, un elemento es pila cuando la relación profundidad-ancho es mayor o igual a cuatro, mientras que para las zapatas suelen considerarse relaciones del orden de uno. Para otros muchos ingenieros, una pila, también es cualquier apoyo intermedio de un puente construido de concreto o de mampostería. En ocasiones se requieren elementos de mayor sección que los anteriores, a los cuales se les nombra cilindros, o cajones según su forma geométrica, y suelen oscilar entre los 3 y 6 m.; para ahorrar materiales

y aligerar a estos elementos, se construyen huecos, con un tapón en su punta, y siempre se hacen de concreto. Cuando estos últimos elementos son de forma paralelepípeda, se llaman cajones de cimentación, construidos también de concreto, y haciendolos huecos con la misma finalidad que los cilíndricos. (Fig. II-1.)



Tipos de cimentaciones profundas

- a) Pilote
- b) Pila
- c) Cilindro (corte)
- d) Cajón de 6 celdas (corte)

Fig. II-1.

- Generalidades sobre Pilotes.

La construcción y el empleo de pilotes se ha desarrollado con gran rapidez en los últimos años. Puede decirse que los pilotes representan el sistema mas general y difundido de las cimentaciones profundas. Debido a este desarrollo se ha desplazado a muchos otros métodos de cimentación profunda, por lo cual, en un sinnúmero de casos los pilotes han llegado a ser la solución única para problemas de cimentación difíciles.

Esto obedece a varias causas, por ejemplo, el que exista una gran variedad de tipos de pilotes, y a su gran flexibilidad para poder adaptar un cierto método a un proyecto determinado; es posible manejar cargas estáticas y dinámicas de gran magnitud y no uniformes, así como se pueden tomar en cuenta con cierta flexibilidad diversas condiciones del subsuelo, aún de heterogeneidad, y los distintos métodos son mas fáciles de mecanizar que otras cimentaciones. Esta mecanización cada día es mas requerida debido a la escasez de mano de obra y a la necesidad de economías mas complejas. Es importante conocer que el avance a nivel técnico, no ha ido a

la par con el desarrollo teórico, por lo cual no se ha llegado a establecer un enfoque verdaderamente racional que permita estudiar mas a fondo las condiciones de trabajo de las cimentaciones piloteadas y analizar el comportamiento de un pilote individual o de un grupo de ellos. En la práctica, la ingeniería se basa en reglas mas o menos empíricas, y uno de los mayores avances alcanzados por la Mecánica de Suelos aplicada a este campo, resultó negativo al señalar los inconvenientes de los métodos antiguos para determinar la capacidad de carga de los pilotes, la inutilidad de las fórmulas dinámicas de hincado, la simple adición de la resistencia por punta a la fricción lateral, las falacias de las fórmulas de eficiencia, etc. Sin embargo, se puede decir que son los primeros pasos para comprender racionalmente el comportamiento de los pilotes dentro de la joven Mecánica de Suelos, que tan solo nació hace unos 50 años.

Uno de los factores mas importantes para el correcto estudio de los pilotes, es el poder conocer con exactitud el suelo donde se va a apoyar el mismo; por ejemplo, es importante detectar todas las lentes de arena o las bolsas sueltas. Este grado de indeterminación en la Mecánica de

Suelos da lugar a teorías mas complicadas y sofisticadas que solo puedan tener un cierto grado de validez. Los pilotes se emplean en general cuando se requiere:

- Utilizar la fricción lateral que se produce entre el suelo y el fuste del pilote, en caso que sea necesario transmitir la carga a un cierto espesor de suelo blando. (Pilotes de Fricción.)

- Transmitir las cargas de una estructura a un estrato resistente que garantice el apoyo requerido debido a que entre la estructura y la capa resistente se encuentre un espesor de suelo blando o a través de agua. Estos pilotes trabajan de forma similar a las columnas de una estructura. (Pilotes de Punta.)

- Lograr profundidades donde la cimentación no se vea sujeta a erosión, socavaciones u otros efectos que puedan dañarla.

- Resistir las fuerzas laterales que se ejerzan sobre ciertas estructuras (como en el caso de un puente) o proporcionar el debido anclaje. (Por ejemplo, el uso de tablestacas.) Generalmente se recurre para esto, a pilotes inclinados.

- Utilizarlos como auxiliares, (conocidos como Duque de Alba), para la protección de estructuras marítimas contra el impacto de barcos u objetos flotantes. Tales como muelles, atracaderos, etc.

- Utilizarlos como elementos de tensión para proporcionar anclaje a estructuras sujetas a subpresiones, momentos de volcadura o cualquier efecto que trate de levantar la estructura.

- Para compactar suelos granulares con fines de mejorar la resistencia. En este caso particular, en realidad se está fuera del campo de las cimentaciones en si mismas.

Los pilotes pueden construirse de madera, de acero, de concreto o alguna combinación de estos materiales o, por que no, de otros materiales que cumplan con las características necesarias.

En cuanto al diseño, como es evidente, se puede hacer que los pilotes cumplan una o mas de las funciones anteriores.

En la actualidad, los pilotes de madera se utilizan prácticamente en estructuras provisionales o en funciones de compactación de arenas, mientras que los pilotes de concreto son los mas utilizados actualmente, y pueden ser de concreto

reforzado o preesforzado; aunque en su mayoría son de sección llena, también se ha desarrollado últimamente el uso de pilotes huecos debido a que con ello se logra su aligeramiento. Los pilotes de acero tienen la ventaja de que son más fáciles de hincar en terrenos de mayor resistencia debido a que soportan mejor los golpes de martinete para su hincado; suelen utilizarse secciones tubulares o secciones H, con tapón en la punta o sin él.

Desde el punto de vista de su forma de trabajo, los pilotes se clasifican en pilotes de fricción, de punta y mixtos. Los pilotes de fricción desarrollan su resistencia, por la fricción lateral que generan contra el suelo que los rodea. Los pilotes de punta, obtienen su capacidad de carga debido al apoyo directo del mismo estrato resistente. Los pilotes mixtos son los que aprovechan las cualidades de los dos anteriores. Los pilotes pueden ser prefabricados o colados en el lugar. Los primeros pueden ser hincados a golpes o a presión. Para los hincados a golpes, quizás los más frecuentes, existen tres tipos principales de martinetes de hincado. Primeramente, el de caída libre, que consiste en dejar caer un masa guiada, previamente subida por un malacate

a determinada altura; en la actualidad, es cada día menos empleado debido a la lentitud del proceso. El segundo, de vapor de acción sencilla, que utiliza la energía del vapor para elevar la masa a la altura deseada y dejarla caer por acción de la gravedad. El tercer caso, es el martinete de vapor de doble efecto, en el que además de elevar la masa, la energía del vapor también la impulsa, y la acelera en su caída. En la actualidad existe una gran variedad de máquinas piloteadoras, habiendo algunas cuya masa de impacto puede alcanzar 6 ton. de peso o más, con cien golpes por minuto, y con energías hasta de 10,000 Kgm.

En caso de los pilotes colados en el lugar, es necesario realizar previamente una excavación para poder construir y colar el concreto directamente en la perforación.

- Asentamientos y Fricción Negativa.

Si un pilote de punta atraviesa una capa de terreno que se ve sometida a un proceso de consolidación o, en general, a un asentamiento, se producirá un descenso del suelo próximo al fuste de los pilotes con respecto a éstos. Como los pilotes se moverán menos que el terreno circundante, éste tenderá a

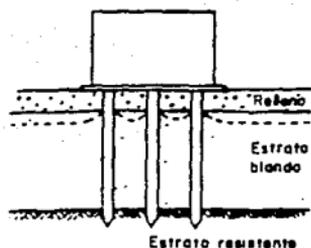
colgarse de sus fustes, induciendo en aquellos unas tensiones que pueden considerarse producidas por una cierta fricción de signo contrario a la resistente; es decir, que con la consolidación, se presentan los esfuerzos de fricción en el área lateral (fuste) de los pilotes, que son de sentido descendente (negativo) y que sobrecargan al pilote junto con la carga que deja de tomar el suelo de la estructura, por despegarse éste de la construcción. A este fenómeno se le llama fricción negativa. El Ing. Jimenez Salas (ver Bibliografía) ha indicado que los movimientos relativos del terreno con respecto al pilote, pueden producirse por diversas causas, las cuales se enumeran a continuación: (Fig. II-2.)

- Colocación de un relleno para elevar la cota de la zona sobre un terreno blando, atravesado por pilotes.

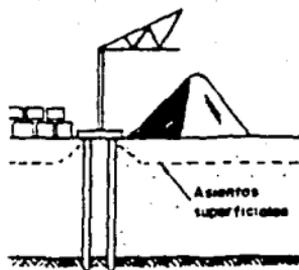
(a.)

- Colocación de sobrecargas superficiales, generalmente de uso industrial próximas al pilote. (b.)

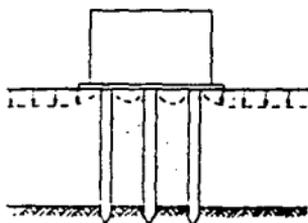
- El terreno atravesado por los pilotes es un relleno reciente y está consolidado naturalmente, como puede ocurrir en áreas ganadas al mar. (c.)



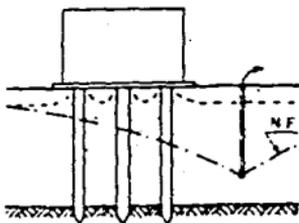
a) Colocación de relleno para elevar la cota del terreno.



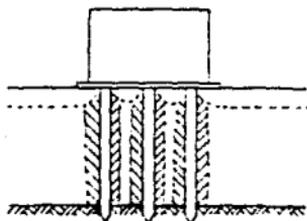
b) Colocación de sobrecargas superficiales próximas.



c) El terreno blando es un relleno reciente y está consolidado. O bien, el terreno asienta por acciones sísmicas.



d) Rebajamiento del nivel freático.



e) La finca de las piletas remoldea el terreno e induce sobrepresiones intersticiales que originan su consolidación.

Fig. II-2.

- El terreno circundante a los pilotes se compacta y asienta debido a acciones de tipo dinámico: cimentaciones vibratorias próximas, terremotos, etc.

(c.)

- Si se produce un baja del nivel freático, con lo que, al aumentar las presiones efectivas del terreno, se induce su consolidación. (d.)

- El hincado de los propios pilotes puede remodelar el terreno, (suelos tixotrópicos¹) o inducir sobre presiones intersticiales² que originan su consolidación.

(e.)

En cualquiera de los casos anteriores, el fenómeno de fricción negativa, causará que los pilotes se vean sometidos a unas cargas que, junto con la carga exterior transmitida por la estructura, habrán de ser resistidas por el terreno de los estratos inferiores en que se apoye al pilote. Con esto, la capacidad resistente del pilote, se verá reducida, puesto que, por un lado, no se dispondrá de la fricción positiva del

¹ Tixotrópicos: Propiedad del gel, que al ser agitado, pasa al estado líquido, volviendo por sí mismo al estado coloidal cuando se le deja en estado de reposo.

² Intersticial: Referente al suelo y a la materia que lo forma.

fuste en la zona en que el terreno se ha movido mas que el pilote, y, por otro lado, las zonas mas profundas del terreno, habrán de resistir la carga exterior mas la dada por la fricción negativa, llegando incluso al extremo en que el pilote únicamente soporte la sobrecarga producida por fricción negativa, o incluso hasta menos.

En el caso de que los pilotes de fricción, se lleguen a asentar sobre la capa dura, su comportamiento será similar al de un pilote de punta.

Aun en el caso de que no lleguen los pilotes de fricción a la capa dura, puede darse el fenómeno de fricción negativa, debido a que al irse consolidando el estrato compresible, habrá una diferencia de velocidades entre las partículas que rodean los extremos del pilote. En la punta del pilote, la velocidad será mucho menor que en la superficie, pues la consolidación será mayor mientras mas lejos de la capa dura se esté (donde se supone que existe el abatimiento de presión, que en todo caso no se mueve; por ello, el asentamiento del terreno en la superficie es mayor y mas rápido, por lo que se presentará el fenómeno de fricción negativa, y el posible afloramiento del edificio, presentando

esto problemas en instalaciones, daños a estructuras vecinas y a la propia, con riesgo para la estructura en el caso de que se presente un sismo o vientos importantes.) Como se ve, problemas similares a los mostrados por los pilotes de punta, si bien en los casos corrientes, pueden ocurrir a menor escala.

En los pilotes de borde, así como en los de esquina, la sobrecarga debida a fricción negativa, podrá ser mayor que en los pilotes interiores, como consecuencia a la carga tributaria mayor que les corresponde, lo cual puede crear desplomes o asentamientos importantes, e incluso hacer trabajar en tensión en su parte superior principalmente a algunos pilotes debido al efecto diferencial de la fricción negativa.

Un pilote de punta puede llegar a tener una sobrecarga por fricción negativa en la cota superior del valor del producto de la adherencia entre el suelo y el pilote, multiplicada por el fuste o área lateral del mismo. (En la práctica, se toma el valor de la adherencia igual al valor de la cohesión del suelo.) En pilotes interiores la sobrecarga no puede exceder el peso de la arcilla de un volumen tributario al pilote, que

por simples consideraciones geométricas, puede valuarde de manera aproximada.

Es decir, que los pilotes extremos (situados en las orillas y las esquinas), toman menos carga, dado que la carga tributaria que les corresponde a los pilotes centrales de la estructura, es mayor.

- Capacidad de Carga.

Uno de los aspectos de mayor incertidumbre hoy en día en la Mecánica de Suelos es la determinación de la capacidad de carga de un pilote, debido a la dificultad de cuantificar la influencia sobre el subsuelo en la construcción del mismo y el desconocimiento de las características esfuerzo-deformación tan imprecisas en la actualidad.

Aun supuesto que se conociese con la suficiente aproximación el comportamiento de un pilote, es muy diferente el como se comporta un conjunto de ellos, y en cada caso la localización y condiciones del lugar donde se encuentra el grupo de pilotes, varia. Hoy día, la investigación sobre la capacidad de carga y el comportamiento de los pilotes es sumamente limitada, pero si se puede afirmar que el

comportamiento mecánico que presenta un grupo de pilotes es sumamente diferente al de un solo pilote. Las fórmulas que existen en la actualidad para calcular la capacidad de carga son únicamente sobre pilotes aislados, y el valor obtenido de estas fórmulas se generaliza, variándolo con algunas normas, al comportamiento de un grupo de pilotes, sin tomar muy en cuenta la diferencia mencionada anteriormente acerca del comportamiento de un pilote aislado y un grupo de ellos. Esto ha ocasionado con cierta frecuencia la falla de pilotes que en los cálculos no tenían por qué fallar, por lo que la experiencia que tenga el ingeniero en este campo es de suma importancia para obtener un buen diseño y construcción de las cimentaciones piloteadas.

Las fórmulas y criterios para calcular la capacidad de carga de los pilotes de punta, que trabajan por apoyo directo en estratos de resistencia garantizada pueden agruparse en tres clases principales.

- a.) Las fórmulas empíricas obtenidas de experiencias locales para calcular la capacidad de carga del pilote. Estas fórmulas tienen el inconveniente de no poderse generalizar para zonas no locales, por lo que es

necesario para poderlas utilizar en otros lugares el tomar factores de seguridad muy altos, lo que las hace en muchas ocasiones demasiado costosas.

Una buena parte de estas fórmulas se basa en recoger experiencias locales interpretadas con un carácter totalmente burdo, y muchas de ellas obtenidas con base en criterios dinámicos. Es recomendable complementar esta teoría con la adecuada exploración y el debido muestreo para obtener un mejor trabajo de laboratorio que modifique, en su caso, o rechace estas teorías.

b.) Las fórmulas surgidas a partir de la comunicación de la energía aplicada al pilote por el impacto del martinete para su hincado, llamadas formulas dinámicas.

En las formulas dinámicas se cuantifica el impacto de la energía del martinete, multiplicando el peso de la masa golpeante por su altura de caída libre, y esto se iguala con el trabajo efectuado durante la penetración del pilote, que se cuantifica por el producto de la penetración de la punta del pilote en el impacto, por una fuerza que representa la resistencia dinámica del suelo al pilote y que se supone igual a la carga

estática que puede soportar el pilote. Esta sencilla cuantificación se ha ido complicando al considerar en las fórmulas la pérdida de energía durante el hincado por el rebote del martillo, por las vibraciones y deformaciones del pilote, así como por la absorción de energía por el suelo circundante. Una de las falacias que existen en este método es que el comportamiento estático difiere mucho del dinámico. La diferencia primordial es que en el caso estático no se presentan resistencias viscosas y de inercia en el sistema de pilotaje del suelo, que en el caso dinámico sí se dan, puesto que la penetración del pilote ocurre en un plazo breve, y ocasiona resistencia viscosa debido a la velocidad de penetración, e implica aceleraciones previas a las que deben de haberse opuesto fuerzas de inercia semejantes a las empleadas en Mecánica en el principio de D'Alambert; este método tampoco considera los efectos de cambio de resistencia del suelo en torno al pilote con respecto al tiempo, que en muchos casos son tan importantes.

c.) Son las obtenidas a partir de una teoría que valde la capacidad de carga del suelo basándose en los parámetros de resistencia, llamadas fórmulas estáticas. Dentro de estas se encuentran la teoría de Terzaghi, recomendable para toda clase de cimentaciones superficiales en cualquier suelo. La teoría de Skempton, es aplicable para el cálculo de la capacidad de carga en cilindros y pilotes en cimentaciones sobre arcillas cohesivas, sean superficiales o profundas. Por último puede mencionarse la teoría de Meyerhof para la capacidad de carga de cilindros y pilotes en cimientos profundos en arenas y gravas, debiéndose considerar que los resultados en algunas ocasiones pueden dar valores muy altos con respecto a los prudentes.

No debe de pensarse que los métodos anteriores pueden seguirse con plena confianza, debido a que las teorías aplicadas a pilas y a pilotes no dan valores de absoluta seguridad.

- *Pilote de Punta Penetrante.*

Debido a todos los problemas ocasionados en cimentaciones profundas, el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, investigó como una posibilidad, el aprovechar todas las características del subsuelo de la Ciudad, convirtiendo factores adversos, como la fricción negativa, en contribuyentes del funcionamiento adecuado de las obras. El Pilote de Punta Penetrante prometió, desde el principio, llegar al proverbial límite del "pig's squeal", pues permitiría aprovecharlo todo; es decir, eliminar la necesidad de proveer pilotes para soportar la fricción negativa, aprovechándola además como el fenómeno controlador de posibles emersiones, la capacidad friccionante a lo largo del fuste, y la compensación debida a cualquier excavación, así como cualquier sobrecarga superficial que pueda tolerar el suelo, teniéndose una capacidad de punta elegida por el diseñador para lograr que la sección de concreto del pilote

* Los cerdos que son sacrificados en los mataderos de Chicago, aprovechados tan íntegramente en muchas industrias, dejando prácticamente ningún desperdicio, se dice llegaron al límite de lo aprovechable. Con esto, alguien empezó a jugar con la idea de utilizar de algún modo, los chillidos de los infortunados animales al ser llevados a los corrales.

trabaje a los esfuerzos permisibles. Todo esto sin producir asentamientos importantes, ni requerir de métodos costosos o especiales y sin variar significativamente los métodos de diseño y construcción.

Los estudios que contestaron afirmativamente sobre si la carga última podría mantenerse prácticamente constante, aun con penetraciones de un metro dentro de la capa dura, fueron realizados por el Dr. Resendiz en 1964, y se expusieron formalmente en el Congreso sobre Cimentaciones Profundas que se celebró en México en ese mismo año.

La objeción opuesta fue: ¿qué pasaría si algún o algunos pilotes quedasen en puntos donde la capa dura tuviese una mayor resistencia? Porque, en efecto, la capa dura no ha sido muy estudiada y siempre se le ha supuesto una inherente heterogeneidad. Para salvar este escollo, los Pilotes de Punta Penetrante se convirtieron en Pilotes Fusibles, donde no se esperaba penetrar la capa dura, sino lograr que una punta metálica llegase a su límite de fluencia y se aprovechase el trabajo plástico de un tubo localizado entre el fuste de concreto y una placa o zapata apoyada en la capa

dura; sin embargo, se comprobó que estas puntas, podrían no resistir el hincado de los pilotes.

Algunos años después se vio la posibilidad de utilizar los pilotes de concreto con una punta de sección reducida compuesta de un tubo de acero empotrado en el fuste, relleno de concreto y carente de una placa o zapata en su extremo inferior. Esta punta penetrante, tenía la función de regular la capacidad de carga de los pilotes, que tendrían un funcionamiento prácticamente de fricción. El resto de la carga se transmitiría directamente al suelo a través de la losa de cimentación o de una cimentación compensada, si fuera necesario.

Años más tarde se cambió el diseño de las puntas a concreto, pues los tubos metálicos limitaban sus tamaños a los diámetros nominales existentes en el mercado, haciendo estos elementos en secciones cuadradas por ser más fácil su fabricación.

La finalidad de estos pilotes es transmitir las cargas al suelo a través de fricción positiva última, capacidad por punta última, y por superficie (con la losa de cimentación), en ese orden, según creciese la obra. Una vez terminada, se

presentaría el fenómeno de enjuntamiento de la primera formación compresible, disminuyendo la presión de contacto de la losa con el suelo, pero aumentando la carga sobre los pilotes. Como los pilotes estarían trabajando entonces a su capacidad última, cualquier incremento de carga iría a la punta, produciendo automáticamente la penetración del pilote en la capa dura y el descenso de la obra hasta que la losa tomase suficiente carga para evitar una mayor penetración de los pilotes. Este proceso sería continuo, logrando que la estructura bajase paralelamente junto con el suelo cada vez que éste se consolide.

Los principales elementos de moderación de los hundimientos y emersiones son la capa dura y la losa de cimentación y la formación compresible proveerá la mayor parte de la capacidad de carga de la cimentación. Un punto importante que debe considerarse es el relativo al desconocimiento de la resistencia al corte de los materiales de la capa dura, pues la capacidad de carga de un pilote puede predecirse aproximadamente considerando la fricción lateral de éste. Por lo tanto ahora se trabaja con un rango para la capacidad de carga por punta en la capa dura del

orden de 1,200 a 1,500 ton/m². La diferencia debida a un error en la estimación de la capacidad portante de los pilotes será tomada por la losa de cimentación. Si el grupo de pilotes carga mas de lo supuesto, la losa aplicará una menor presión al suelo, por lo cual se crearán pequeñas emersiones; si por el contrario el grupo de pilotes carga menos de lo supuesto, la losa aplicará una mayor presión al suelo creandose asentamientos.

Durante varios años, y en una gran diversidad de casos, el Ing. Ellstein ha utilizado este sistema exitosamente y con un gran ahorro en el costo de la cimentaciones realizadas.

C A P I T U L O I I I .

Cimentaciones Mecanizadas.

Introducción.

Dentro de las ventajas que se pueden mencionar acerca del uso de sistemas mecanizados en cimentaciones profundas, se tienen las siguientes:

1. Evitar que las construcciones emerjan con respecto al nivel de las banquetas y calles.
2. Que no exista sobrecarga en los pilotes de orilla y de esquina, lo que puede provocar que estos penetren mas y el edificio se desnivele.
3. Evitar la sobrecarga por fricción negativa, que en ocasiones, además de dañar al propio edificio, puede formar una loma dañando a las construcciones aledañas, especialmente a las ligeras.
4. Regular la carga que se le va a transmitir al pilote.
5. Evitar que las cimentaciones a base de pilotes sufran asentamientos diferenciales e inclinaciones a causa de la consolidación regional.

6. La posibilidad de subir o bajar las estructuras retirando carga o colocando un gato hidráulico para su elevación, debido al fácil acceso que se tiene al pilote por cruzar éste la losa de cimentación.

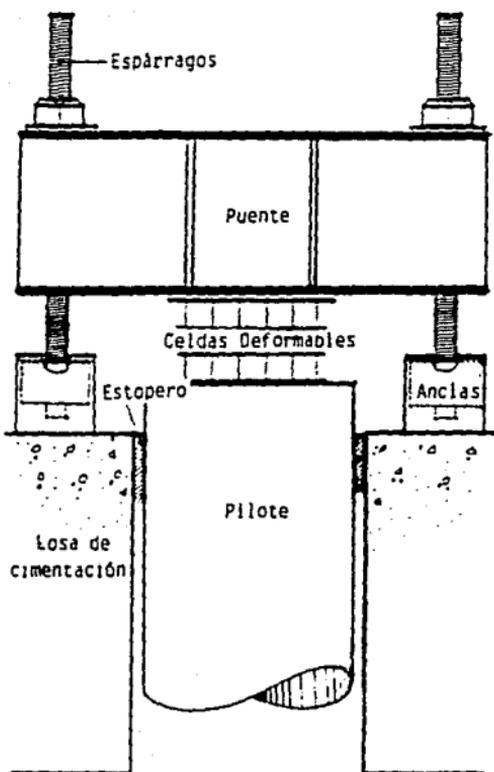
7. Ya que los pilotes están colocados a los lados de las trabes, es posible hincarlos fácilmente, incluso cuando el edificio ya se encuentre construido.

Sin embargo el mantenimiento especializado que requieren, es una seria desventaja, ya que implica un costo adicional que los propietarios de los inmuebles no están acostumbrados a pagar, adicionalmente debe de considerarse el dejar preparaciones para la colocación de posibles pilotes, en caso de que sean requeridos en un futuro, así como preparar los accesos necesarios en las celdas de cimentación para la observación y el mantenimiento de los sistemas mecanizados.

Se deberá tener especial cuidado en la ubicación de los pilotes, puesto que no podrán ser colocados bajo trabes o columnas, dado que no permitirían el control de los sistemas.

Existen un sinnúmero de sistemas mecanizados, todos ellos muy ingeniosos, y que han presentado un gran esfuerzo de muchos ingenieros e investigadores, para que día a día se

mejoren, y se den aportaciones, con el objetivo de que la ingeniería de cimentaciones progrese. De entre estos sistemas mecanizados, podemos encontrar primeramente al control tradicional desarrollado por el Ing. Manuel Gonzalez Flores, ideado en las primeras décadas de este siglo, y que se representa esquemáticamente en la figura III-1.; en él es necesario que la celda de deformación aplique un carga constante sobre la cabeza del pilote, y que ésta se deforme cuando se le aplique una carga mayor a la que fue diseñada. Para cumplir estas condiciones se llegó al empleo de cubos de madera como elementos deformables de dichas celdas. En la figura III-2., se observa el sistema inventado por M. Gonzalez Flores y M. Arizmendi Lemus que data del año de 1951, el cual es un sistema coplanar paralelo de tres fuerzas, con una celda deformable de falla plástica a compresión. Se ha visto que en condiciones estáticas y dinámicas su comportamiento es inestable, debido a su articulación del espárrago en el ancla, y a que no es capaz de transmitir tensión al pilote.



Elementos de un control tradicional.

Fig. III-1.

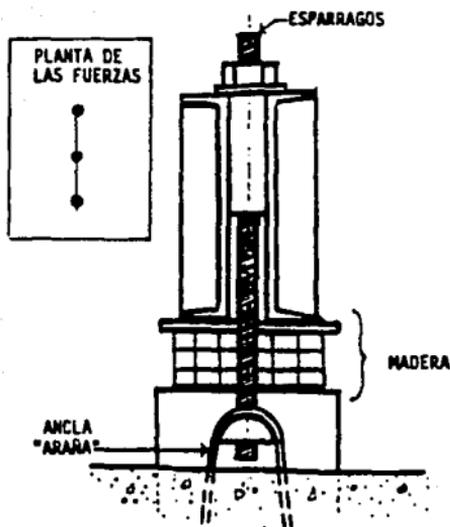


Fig. III-2.

En el año de 1957 el Ing. Pablo Gonzalez crea un sistema de nueve fuerzas en tres planos paralelos con ocho varillas trabajando a tensión, diseñadas para fluir plásticamente, contando con anclas ahogadas parcialmente de sección I. Este sistema tampoco puede transmitir tensiones al pilote, y es inestable en condiciones dinámicas, así como también presenta un alto riesgo de falla frágil en la ausencia de la celda deformable. (Fig. III-3.)

En el año de 1960, el Ing. José M. Aguilar, presentó un sistema que si podia transmitir tensión y constaba de un mecanismo coplanar paralelo de tres fuerzas con anclas metálicas ahogadas, y un casquillo metálico y opresor para regular la fricción con un tope que trabaja en el caso de presentarse un sismo. (Fig. III-4.)

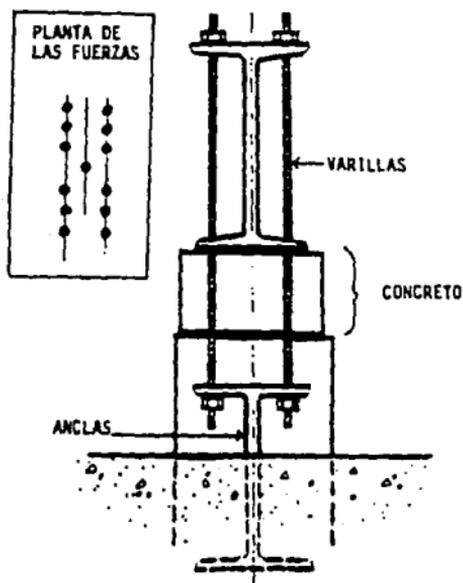


Fig. III-3.

También existió la idea de un autor desconocido, en la presentaba un sistema axial de cuatro fuerzas con un tornillo sinfin y anclas de perfil metálico, y como celda deformable, utilizaba una celda hidráulica, la que se comportó como no deformable, volviéndose muy peligrosa en caso de sismo. (Fig. III- 5.)

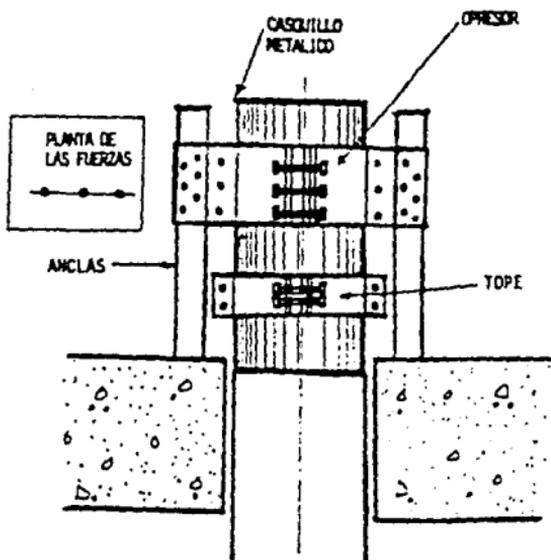


Fig. III-4.

En el año de 1963, Wolfgang Streu, presentó una celda de deformación a base de gatos tipo Freyssinet. Dicha celda es

colocada en la cabeza de los pilotes, que atraviesan libremente la cimentación. Posteriormente se observó que el sistema es incapaz de transmitir tensiones al pilote. Este sistema utiliza cinco fuerzas en tres planos paralelos y cuatro anclas no intercambiables, empleando un celda hidráulica que por desgracia resultó indeformable como en el caso anterior, la cual presentaba fallas súbitas peligrosas en el caso de sismos. (Fig. III-6.)

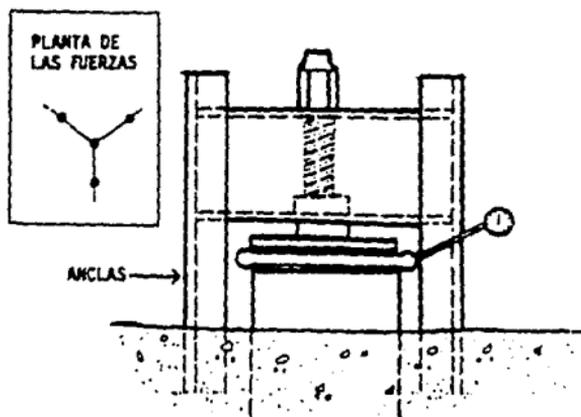


Fig. III-5.

En 1966, diversos profesionales de entre los cuales se encontraba el Dr. Daniel Resendiz, proponen el pilote de punta penetrante, en el que cualquier incremento de carga sobre el pilote, hace penetrar su punta en el estrato duro,

teniendo problemas en el análisis de este cálculo debido a la heterogeneidad del suelo. (Fig. III-7.)

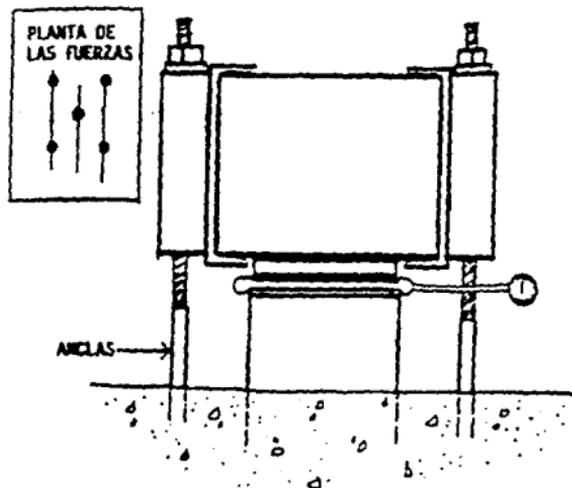


Fig. III-6.

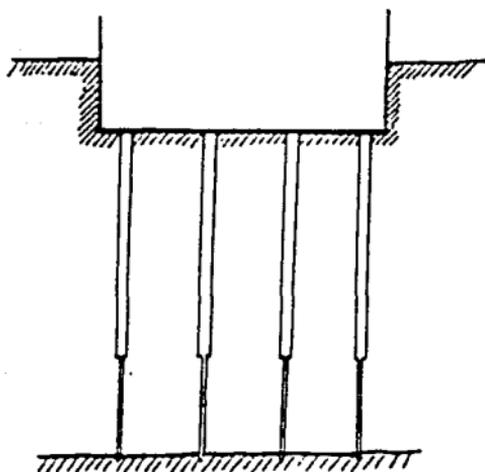


Fig. III-7.

En 1961, el Ing. Juan José Correa Rachó, estudió el efecto de la fricción negativa en los pilotes de control, llegando a la conclusión de que es altamente efectiva para reducir el hundimiento de las estructuras aún sin el dispositivo de control. En 1969, presentó en el Congreso Internacional de Mecánica de Suelos, un nuevo tipo de pilote de control denominado pilote telescópico, cuya celda de deformación se localiza en el cuerpo del pilote, y trabaja a base de

fricción entre un relleno de arena compacta y el concreto del pilote. El pilote telescópico consta de un cilindro superior hueco, un relleno de arena compacta en su interior y un cilindro macizo inferior que penetra dentro del hueco y se apoya sobre un estrato resistente en su base. Una modificación de este pilote, lo constituye el control telescópico, en el que el cilindro macizo es un pilote de punta convencional y el cilindro hueco con un relleno de arena, trabaja como control. Este control, trabaja a base de fricción positiva exterior e interior en su parte superior y por punta en su extremo inferior. Su longitud se ajusta automáticamente al hundimiento de la superficie de terreno con respecto al estrato de apoyo al dejar una altura del relleno de arena calculada previamente en función de la carga y las propiedades mecánicas del relleno de arena. Si la velocidad de descenso del edificio es mayor que la deseada, solo se tendrá que aumentar el relleno de arena, o en caso contrario, reducirlo. Este sistema no es capaz de transmitir tensiones al pilote, y en algunos casos, se han observado asentamientos bruscos con la presencia de sismos. El relleno

de arena compacta friccionando funciona como pistón y el sistema no emplea anclajes. (Fig. III-8.)

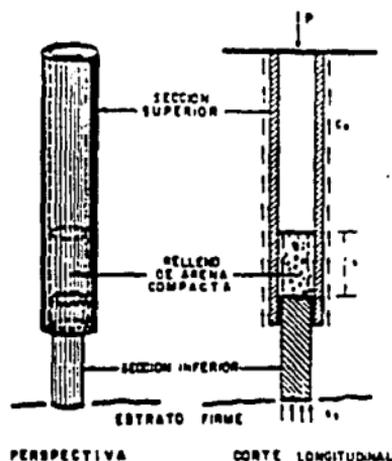


Fig. III-8.

En 1974, el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, diseña un sistema coplanar paralelo de tres fuerzas con anclas metálicas ligadas a la losa, en la que dos soleras de falla plástica constituyen la celda deformable. Este sistema puede transmitir tensión o compresión al pilote, y es estable en sismos. El sistema transforma la energía que se genera al incrementar la carga del pilote, durante la emersión relativa de la estructura, en energía para deformar una placa de acero. (Fig. III-9.)

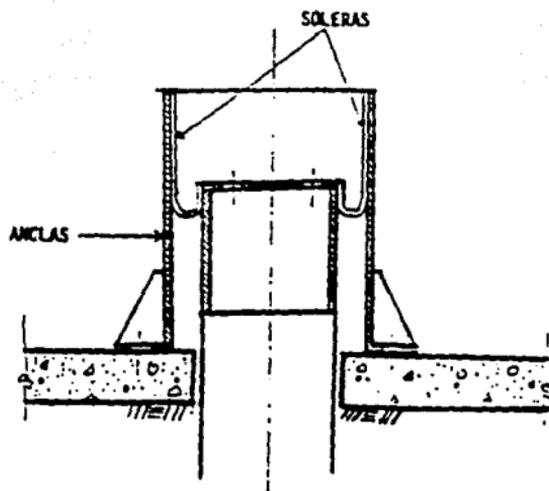


Fig. III-9.

En el año de 1975, el Ing. J. José Correa Cemeq, y el Ing. José Creixell, presentan un sistema axial con área a compresión en un cápsula cerrada y un tapón para poder extraerla. No cuenta con anclas metálicas, no transmite tensiones al pilote, y en caso de sismo, hace peligrar al conjunto. (Fig. III-10.)

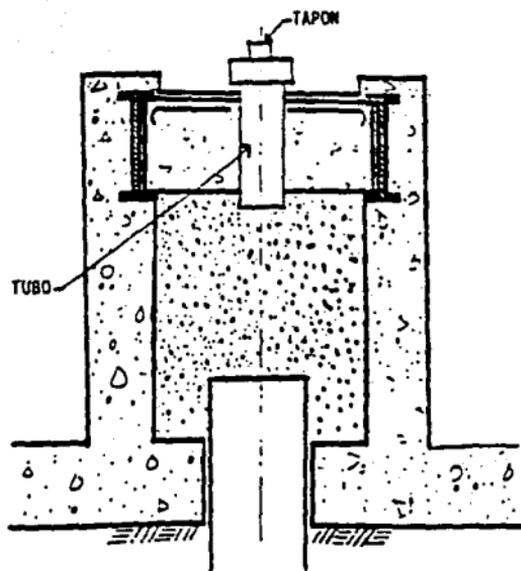


Fig. III-10.

M. Angel Jimenez, presenta en 1980, un sistema de fricción regulada con placa y un tornillo opresor. Este sistema no es capaz de transmitir tensión al pilote, pero los tirantes cruzados lo hacen estable durante los sismos. El sistema de basa en aprovechar la fricción generada entre piezas de acero y el pilote. La cimentación queda colgada mediante cables de acero de alta resistencia al dispositivo. (Fig. III-11.)

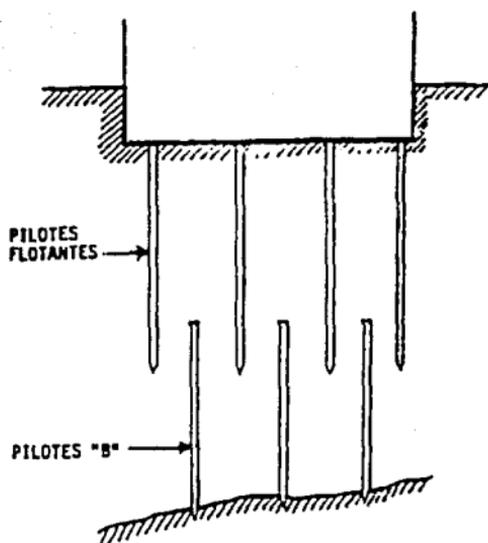


Fig. III-11.

En 1980, al Dr. Pablo Girault, coloca un sistema de pilotes dobles aumentando en los estratos bajos el confinamiento del suelo (Fig. III-12.) Mas adelante, en 1986, el Dr. Girault diseña un sistema en el que en caso de sismo, el pilote toma toda la carga y la transmite, por punta, al estrato resistente; sin embargo, la fuerza de tensión no es tomada por el pilote. (Fig. III-13.)

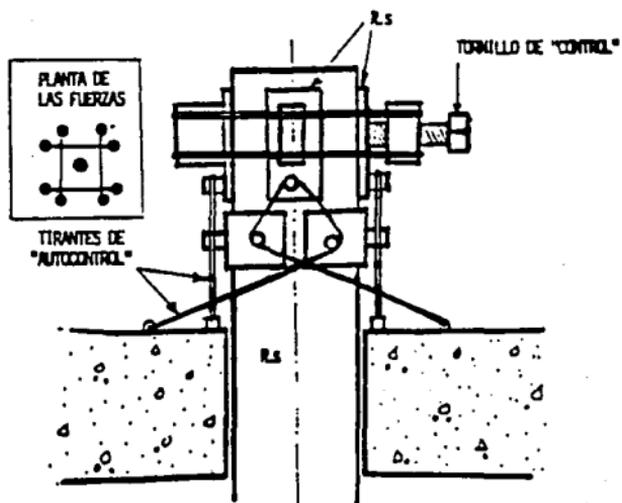


Fig. III-12.

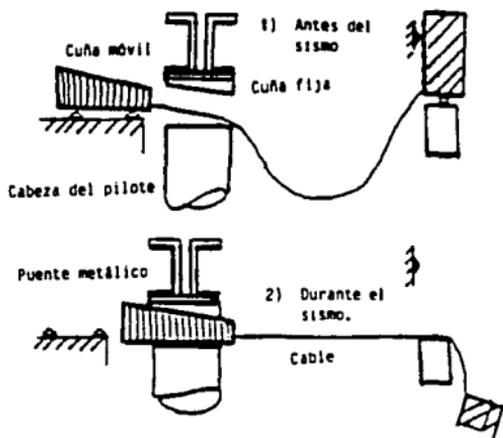


Fig. III-13.

En la figura III-14., se puede observar el mecanismo diseñado por Enrique Tamez en 1988, en el que el sistema es capaz de transmitir tensiones y compresiones al pilote y se constituye de una celda de fricción constante con anclas metálicas.

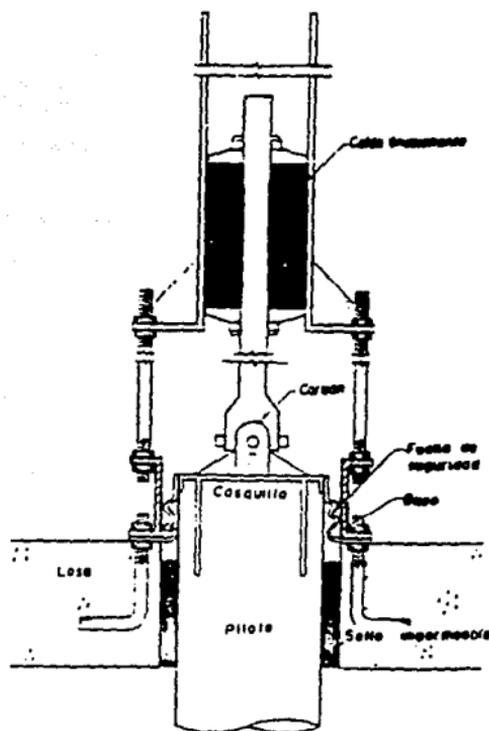


Fig. III-14.

A continuación se describen mas detalladamente los sistemas que están mas relacionados con el desarrollo del presente texto.

- Pilotes de Control.

Por los años de 1930, se empieza la construcción de edificios de altura considerable en la Ciudad de México, teniendo como principal problema, el no poderlos cimentar por extensión de base, puesto que las dimensiones de estas bases ocupaban grandes extensiones de terreno, por lo cual se emplearon cimentaciones de compensación, pero éstas, si eran totalmente compensadas, quedaban como flotantes, y tenían problemas de baja resistencia a las fuerzas laterales, por lo que su comportamiento sísmico era inapropiado. Adicionalmente en edificios muy pesados, las profundidades necesarias para la compensación producían cajones muy grandes y antieconómicos. Se empezaron a utilizar entonces cajones de cimentación trabajando conjuntamente con pilotes, pero éstos, en muchas ocasiones, por la consolidación del suelo, se velan sobrecargados al dejar de tomar carga el cajón de cimentación, y además de esto, se sobrecargaban por la

fricción negativa, ocasionando graves daños a la estructura. Otro problema que sucedía con gran frecuencia, era que los edificios con pilotes de punta, al estar apoyados sobre un estrato heterogéneo, podían inclinarse dejando al edificio en una posición crítica y de difícil solución.

El Ing. Manuel Gonzalez Flores, en esa época trabajaba conjuntamente con el Ing. José A. Cuevas en la construcción del edificio de la Lotería Nacional; utilizando una cimentación a base de pilotes, llevaron a cabo nivelaciones muy minuciosas del terreno y de la estructura, percatándose de una consolidación del suelo compresible del orden de 2 a 3 cm. por año; se vio la necesidad de controlar la carga en los pilotes y los asentamientos diferenciales y totales de la estructura.

Para resolver este problema, el Ing. Manuel Gonzalez Flores, empleó una solución en la que simplemente se trata de construir la cimentación de forma que los pilotes la atraviesen libremente. La estructura será cargada entonces directamente contra el suelo, el cual comienza a ceder bajo su peso. Esta cedencia hace que se provoque el fenómeno de fricción negativa sobre los pilotes, con lo que éstos toman

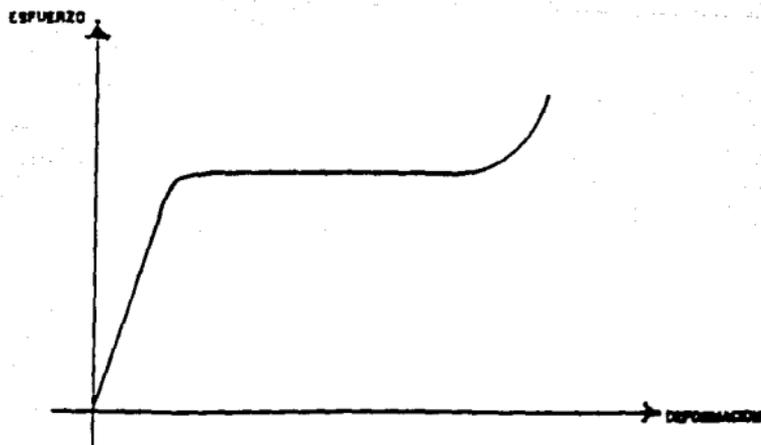
una carga parcial de la estructura disminuyendo las presiones efectivas en el suelo blando. Con este sistema se logró que los pilotes separados de la cimentación tomen cargas importantes produciendo una notable disminución en los asentamientos de la estructura. Aunque el modo de trabajar de la cimentación anterior es relativamente sencillo, la cuantificación de las cargas que toma cada pilote es incierta, así como el cálculo de los asentamientos diferenciales de la estructura. En los edificios de la Ciudad de México donde se han empleado este tipo de cimentaciones, se ha observado un comportamiento imprevisible, tanto en lo que se refiere a asentamientos diferenciales, como a penetraciones diferenciales en el estrato resistente.

El Ing. Gonzalez Flores, perfeccionando su idea, colocó un puente o cabezal con tornillos, para apoyar la cimentación sobre los pilotes de punta, que atraviesan libremente la cimentación. Este puente consiste en una vigueta de acero anclada a la losa por medio de tornillos largos de acero. Para evitar el tener que calibrar este puente con demasiada frecuencia, establece entre la cabeza del pilote y la vigueta del puente un dispositivo formado por un sistema de cubos

pequeños de una madera (de 5 x 5 x 5 cm.) con un comportamiento esfuerzo-deformación muy similar al de las arcillas, separadas por superposiciones sucesivas de placas delgadas de acero. Con este mecanismo (fusible) se puede hacer trabajar al pilote con la carga que se desee, mientras ésta no sobrepase la carga de falla. Para lograr un fusible que tuviera un comportamiento similar al de la arcilla, se ensayaron varios materiales, (neopreno, plomo, metales, plásticos, etc.) hasta llegar a la caobilla o a la caoba. Además de esto se observó la importancia de colocar los pilotes en simetría para evitar la torsión en las trabes de cimentación.

Conociendo la gráfica esfuerzo-deformación de cada cubo de caoba, se puede conocer perfectamente su rango plástico, que como se ve es muy amplio. (Fig. III-15)

Una vez determinada su carga de falla plástica, puede asegurarse que el cubo transmitirá un cierta carga fija a la cabeza del pilote, y que éste tendrá un amplio rango de deformación.

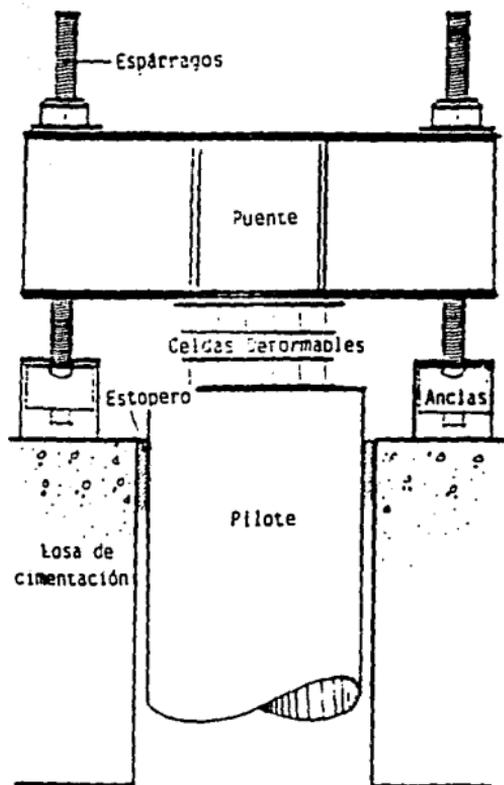


Gráfica esfuerzo-deformación en compresión simple de un cubo de Corchillo, utilizada en los pilotes de control

Fig. III-15.

Para poder calcular el número de cubos que deben de ser colocados en cada capa, solo es necesario dividir la carga que se desea que tome el pilote entre la carga de falla de los cubos de cada capa.

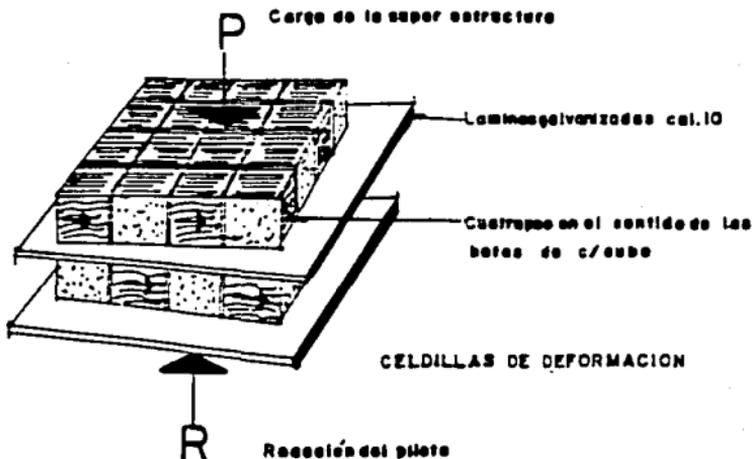
Conforme se va consolidando el suelo, los cubos de madera se van deformando hasta llegar a su estado límite de deformación plástica; sucedido esto, será necesario reemplazar los cubos de madera y ajustar la posición del puente.



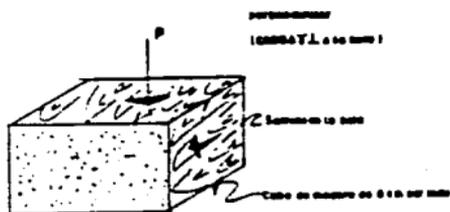
Elementos de un control tradicional.

Fig. III-16.

El rango que soportan los cubos de caobilla fluctúa entre 1.5 y 2.5 ton. cada uno. Los cubos deberán ir colocados con las vetas perpendiculares a la carga para evitar su aplastamiento.



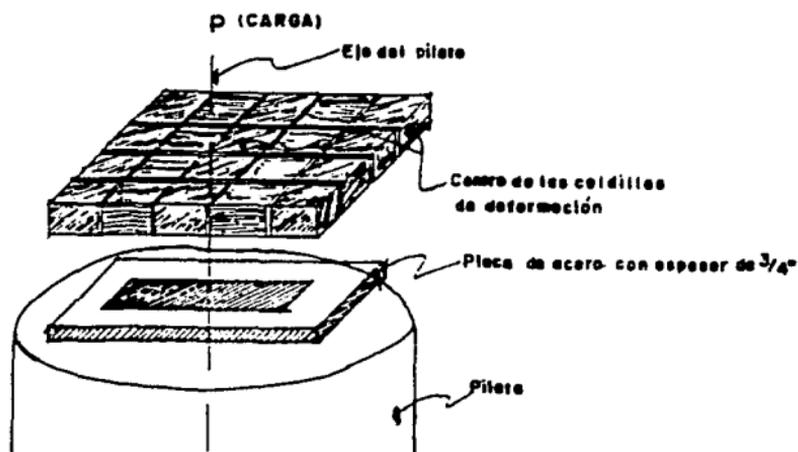
-ESQUEMA GENERAL DE LAS CELDILLAS DE DEFORMACION.



POSICION DEL CUBO EN RELACION A LA CARGA.
 (Se busca que las cargas sean
 perpendiculares a las betas).

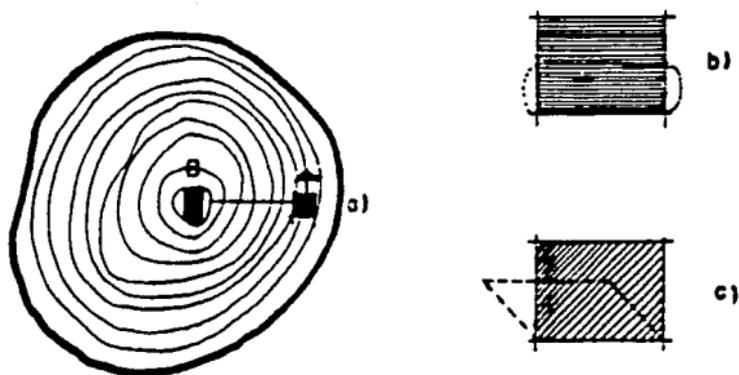
Fig. III-17.

Cuando se necesiten varias camas o capas de cubos, se colocarán láminas galvanizadas de calibre 10 entre una capa y otra. (Fig. III-16.) Las deformaciones entre los cubos serán mas uniformes mientras menos espacios existan entre ellos. Los cubos deben de ir encontrados en cuanto al sentido de la veta de madera. (Fig. III-17.) Para evitar un cabeceo del control que provocaría un mal funcionamiento del mismo, deben de centrarse las celdillas de deformación con respecto al eje del pilote. (Fig. III-18.)



POSICION DE LOS CUBOS EN LAS CAMAS DE
DEFORMACION.

Fig. III-18.

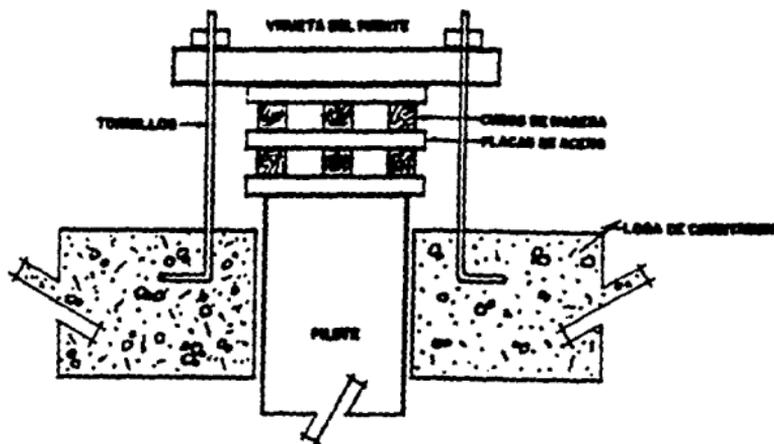


OBTENCION DE LOS CUBOS DEL ARBOL DE
PROCEDENCIA.

Fig. III-19.

Un aspecto importante a considerar para la obtención de los cubos de madera es la localización del corte en el árbol de donde estos se extraerán, debido a que con ello se determinará la densidad, así como el módulo de elasticidad y el grado de deformación. En la figura III-19, se señalan los puntos A y B de los cuales se extrajeron dos muestras que corresponden a las b y c respectivamente, de las cuales se observa que la densidad aumenta de A a B, y realizando pruebas de compresión normal a la fibra, se pudo observar que

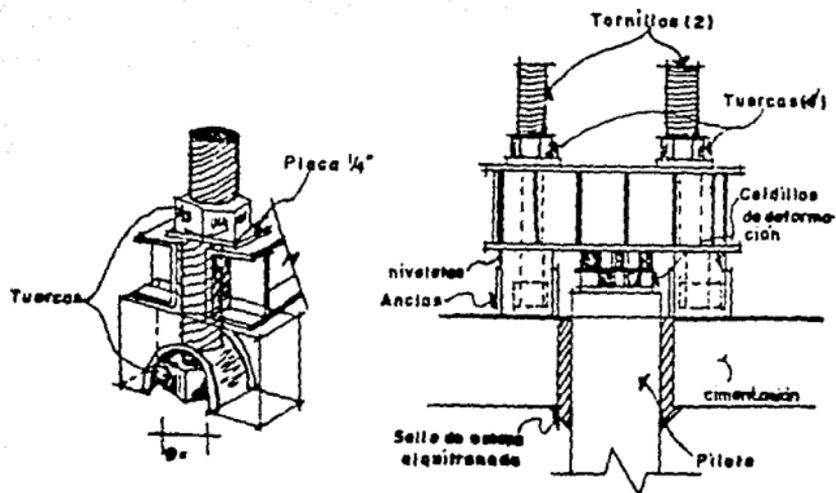
el módulo de elasticidad es mas bajo en el punto B y que la muestra se puede llegar a deformar hasta mas del 50%.



Esquema de la cabeza de un pilote de control

Fig. III-20.

El cabezal está constituido por una estructura de acero formada por canales ligados con placas de acero de 0.5" de espesor, soldadas y con atezadores que resisten las cargas directas transmitidas por las celdas de deformación. (Fig. III-20.)



TORNILLERIA Y TUERCAS.

Fig. III-21.

Existen elementos móviles además de las celdas de deformación dentro de los que se tienen niveletas, tornillos, tuercas y el cabezal descrito anteriormente. Las niveletas sirven de apoyo al cabezal para evitar el cabeceo de este último, así como para garantizar cierta perpendicularidad con el eje del pilote; generalmente son elementos de concreto.

Los tornillos y tuercas son elementos que fijan el control a la cimentación, transmitiendo la carga a los elementos de la cimentación; éstos están conformados generalmente de acero. (Fig. III-21.)

El Dr. Javier Salazar Resines presentó un desarrollo matemático, sobre el control de cargas en los pilotes en el Primer Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Dicho desarrollo es muy interesante y es importante el tenerlo en consideración. De este gran esfuerzo se complementó el conocimiento del comportamiento de la madera durante su deformación plástica, para lo cual, el Dr. Salazar Resines, efectuó pruebas de carga constante sobre muestras de madera. De ellas se obtuvieron leyes de deformación-tiempo. (Fig. III-22.) Estas leyes resultan de tipo asintótico con respecto a una deformación límite, lo que implica que para mantener una carga constante la velocidad de deformación del suelo sea igual a la que las celdas requieren para que se mantenga constante la carga sobre los pilotes.

Al realizar estas pruebas, se observó la importancia que tiene la heterogeneidad de la madera sobre sus propiedades mecánicas, por lo que es recomendable llevar un estudio

estadístico para obtener los módulos de elasticidad, límite elástico, etc., con mayor aproximación además de que es necesario clasificar las celdas antes de colocarlas en el mecanismo de control, para lograr un comportamiento uniforme de las distintas capas que forman el fusible. Es deseable el que se sigan ensayándose otros materiales de características controlables tales como el acero, (procedimiento que se emplea en la actualidad por medio de barras pretensadas hasta el límite elástico), o algunas variedades de plásticos, como lo son los termoplásticos; por ejemplo, el acetato butirato de celulosa que bajo la acción de una carga, tiene la característica de fluir uniformemente.

La interacción entre las celdas y el suelo, es decir, la transmisión del peso del edificio al subsuelo puede darse se tres diferentes formas, que se describen a continuación:

- a.) A través de la adherencia desarrollada en el fuste del pilote.
- b.) Por apoyo directo sobre el terreno de la losa de cimentación.
- c.) Por el pilote a través de las celdas de madera.

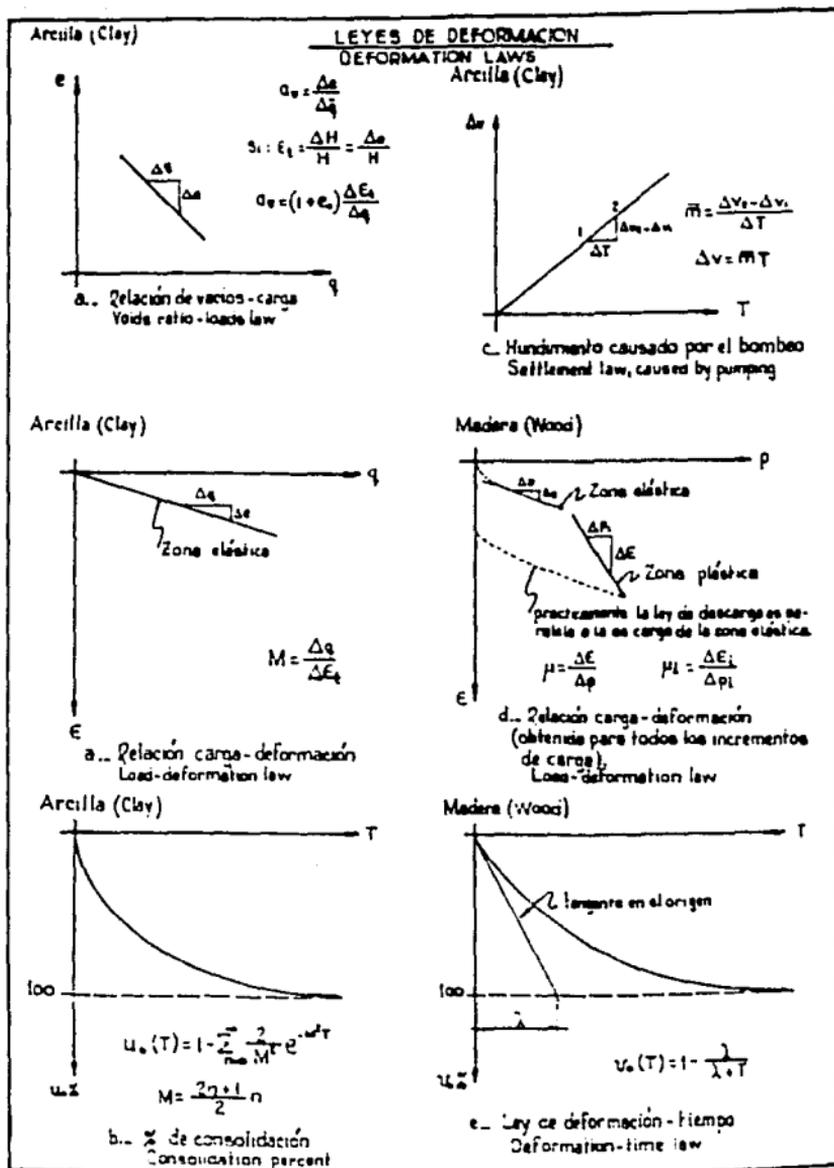


Fig. III-22.

La primera de ellas, no varía en forma importante con el tiempo según se infiere de observaciones de campo y pruebas de extracción de pilotes en la arcilla de la Ciudad de México, mientras que las dos últimos, se ha demostrado pueden presentar cambios importantes con respecto al tiempo. Para el desarrollo analítico habrán de considerarse las hipótesis siguientes:

- Las leyes de esfuerzo-deformación en el suelo y la madera son lineales en la zona elástica y en la plástica. (Esta hipótesis representa un aproximación de las leyes de esfuerzo-deformación que simplifican el análisis.)
- La adherencia entre pilote y terreno se desarrolla totalmente. (El valor de ésta, se puede fijar a partir de pruebas de extracción con velocidades semejantes a las de enjutasamiento, debido a que el asentamiento causado por el bombeo provoca un movimiento relativo de todo el estrato superior, suponiéndose con esto que la mayor parte de la adherencia se desarrolla en poco tiempo.)

- Los parámetros que intervienen en ella no varían durante el proceso, lo que hace admisible la teoría clásica de consolidación. (En la Ciudad de México es admisible la teoría de consolidación si se consideran valores adecuados de los parámetros. Por ejemplo, se ha observado que el C_v^* es función del esfuerzo y del tiempo y para un análisis de asentamientos se requiere un valor representativo elegido adecuadamente.)

- El hincado de pilotes no modifica las propiedades mecánicas de la masa del suelo, y la reacción sobre toda la superficie de cimentación se considera uniforme. (Las propiedades mecánicas del suelo con el hincado de pilotes no sufren modificaciones apreciables, y la adherencia desarrollada en los pilotes induce una concentración de la reacción en la periferia de cada grupo de pilotes. Para un mayor refinamiento, habrá de efectuarse un estudio considerando esta concentración de esfuerzos. El suelo de la Ciudad de México aparentemente es bastante blando, por lo que la variación de las

* C_v : Coeficiente de consolidación.

reacciones sobre toda el área de cimentación no resulta radical como para deshechar la aproximación supuesta.)

- El hundimiento de la Ciudad de México se considera lineal con respecto al tiempo. (Un gran número de estudios y mediciones de campo en varias zonas de la Ciudad de México confirman plenamente esta hipótesis.)

- El estrato compacto de apoyo no cede bajo la acción de los pilotes, y se consideran los pilotes, las anclas, y cabezal como rígidos. (El estrato compacto en la Ciudad de México que se utiliza para apoyar los pilotes tiene en promedio unos 3 m. de espesor, se localiza a unos 30 m. de profundidad y descansa sobre nuevos estratos arcillosos blandos. Los pilotes hincados en esta capa dura, pueden sufrir asentamientos, ya sea por penetraciones en la capa o bien por la consolidación de las capas blandas subyacentes. Las deformaciones de las anclas y del cabezal son mínimas, por lo que pueden no considerarse, mientras que las deformaciones de los pilotes, debido a su longitud, son comparables a las de las celdas a tal grado que los pilotes de madera podría emplearse como material deformable.)

Después de un análisis matemático, el Dr. Salazar Resines llegó a las siguientes conclusiones:

- Es indispensable efectuar un análisis estadístico para determinar las propiedades mecánicas de la madera empleada.

- Es deseable ensayar con mas materiales como los termoplásticos para evitar las consecuencias de la gran heterogeneidad de la madera.

- Para asegurar un comportamiento uniforme de cada mecanismo a base de celdas de maderas se requiere un clasificación mas ardua de las mismas.

- Las cargas en los pilotes y el terreno son función del tiempo.

- Es necesario proyectar las celdas de manera que el hundimiento inicial no cause perjuicios a las construcciones alledañas.

- Para las características de el subsuelo de la Ciudad de México, se puede suponer que la carga sobre los pilotes es prácticamente constante durante la mayor parte del proceso de deformación de las celdas, dado que las variaciones de carga resultan poco importantes.

La función principal de los pilotes de control es hacer que la estructura baje paralelamente junto con el suelo. Si la estructura tiene un descenso relativo menor que el suelo, es decir, si emerge de la superficie, los pilotes deberán hacerse trabajar a menor carga, y si, por el contrario, la estructura desciende con mayor velocidad que el suelo, se deberá hacer que los pilotes trabajen a mayor carga, todo esto debido a la consolidación del suelo que ocurre por distintos factores, como el bombeo de agua o el que exista un gran peso aplicado, como pueden ser terraplenes o estructuras de peso importante.

Para lograr un modo uniforme de los asentamientos diferenciales, las técnicas anteriormente descritas, deben de llevarse a cabo en diferentes puntos de la cimentación, para tratar de lograr que los asentamientos sean lo mas parecidos en toda la cimentación.

Es importante el colocar un número adecuado de pilotes, para que puedan sobrepasar su carga de falla, y se deformen los cubos de madera haciendo descender a la estructura paralela al suelo. Por el contrario, si el número de pilotes es excesivo, puede llegar a suceder que la estructura emerja

aún cuando en la cabeza de los pilotes no se aplique carga alguna.

- Características de los Pilotes de Control.

El pilote de control, al igual que el pilote de punta, se apoya en la capa dura, por lo que no puede tener hundimientos como el pilote de fricción, que queda a 3 m. o más de la capa dura. Los pilotes de control atraviesan la losa de cimentación, lo cual permite tener un más sencillo acceso para su mantenimiento y supervisión, mientras que los pilotes de punta o de fricción se encuentran colocados bajo la losa de cimentación. La distribución de esfuerzos que caracteriza a los pilotes de fricción es que tienen una capacidad de carga homogénea cuyo valor es $0.4 W$, donde W es la capacidad de trabajo de un pilote en toneladas; el pilote de punta presenta una mayor sobrecarga debida a la fricción negativa en las orillas y menor en el centro, lo que le causará una deformación considerable. Los pilotes de control tienen una capacidad de carga homogénea, y son ayudados por la fricción negativa para descender junto con el suelo. Si se considera a F como la fricción negativa y suponemos a $F = 0.4 W$, es

decir, que la fricción se considera igual a un 40% del peso, así como la capacidad útil de cada tipo de pilote, como CUPp para pilotes de punta, CUPf para pilotes de fricción, y CUPc para pilotes de control, y si por último se llama T al peso en toneladas de la estructura, se tendrá:

Para pilotes de fricción:

$$CUPf = F$$

$$\text{por lo tanto } CUPf = 0.4 W$$

Para pilotes de punta:

$$CUPp = W - F$$

$$\text{por lo tanto } CUPp = W - 0.4 W$$

$$\text{por lo tanto } CUPp = 0.6 W$$

Y para pilotes de control:

$$CUPc = W$$

Para calcular el número de pilotes, será necesario dividir el peso de la estructura del edificio (T) entre la capacidad útil del pilote, por lo que:

Número de Pilotes.

Pilotes de fricción: $T/0.4 W$

Pilotes de punta: $T/0.6 W$

Pilotes de control: T/W

Si se considera $T/W = 1$, el número de pilotes sería:

Número de Pilotes.

Pilotes de fricción: 2.50

Pilotes de punta: 1.67

Pilotes de control: 1.00

Todo suponiendo una longitud hasta la capa dura de 30 m., y una longitud para los pilotes de fricción de 25 m., y $T = 25,000$ toneladas de peso del edificio, el número de los pilotes, si se considerara una capacidad del pilote de 50 ton. sería para este ejemplo:

$$N = T/50$$

por lo tanto

$$N = 25,000/50 = 500 \text{ Pilotes.}$$

por lo que, en el caso de pilotes de fricción, como solo resisten el 40%, se necesitarán 60% mas pilotes, para resistir la carga del edificio; en el caso de pilotes de punta, se requerirán 40% mas pilotes debido a que sólo pueden soportar el 60% del peso. Por el contrario, en el caso de los pilotes de control, no se necesitará aumentar el número de ellos.

Numero de pilotes:

Pilotes de fricción:	800 p.
Pilotes de punta:	700 p.
Pilotes de control:	500 p.

El número de metros que se tendrá por cada tipo será:

Pilotes de fricción:	20,000 m.
Pilotes de punta:	21,000 m.
Pilotes de control:	15,000 m.

Si se considera un costo de perforación y metro de pilote hincado de X pesos, el costo total de cada tipo de pilote será:

- Total Pilotes de fricción:	\$20,000 X
- Total Pilotes de punta:	\$21,000 X
Pilotes de control:	\$15,000 X

Anclas, control, mas concreto del

dado: (35% del costo del pilote de

control.) Aproximadamente: \$5,250 X

- Total Pilote de Control:	\$20,250 X
----------------------------	------------

mas mantenimiento.

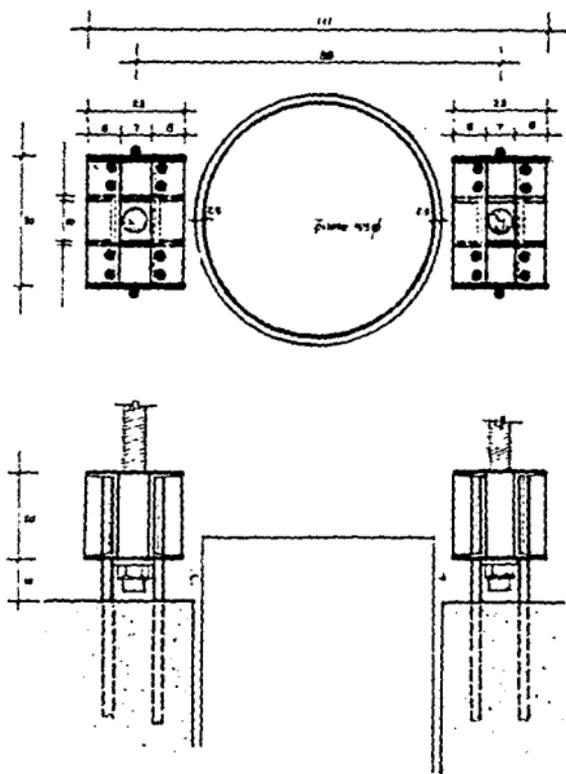
Con esto se puede observar que el costo del pilote de control es un poco menor que el de los demás pilotes, sin

contar el costo de mantenimiento, lo cual hace que un sistema de control sea, en muchas ocasiones muy atractivo para usarlo en estructuras y además contar con el poder nivelar el edificio casi al antojo.

- Sistema de José M. Aguilar.

El Ing. José Marcos Aguilar, presenta un nuevo mecanismo de control en el cual trata de corregir las diversas fallas observadas en mecanismos de control, como pueden ser el colapso del sistema anclas-cabezal-pilote, debido a la ausencia de las celdas de deformación plástica, rompiendo elementos como son los espárragos o barras de sujeción, el cabezal, o el propio pilote, debido a que la celda deformable o celdas en exceso deformadas no fluyen bajo las sollicitaciones sísmicas. Para evitar que la filtración de agua freática a través de las anclas y del estopero o sello corroan las partes metálicas de los controles comprometiendo su resistencia, o incrementando la carga transmitida a los pilotes, dado que las celdas de deformación al humedecerse hacen que la madera aumente su resistencia a la compresión, y

por último, considera la carga que transmite la losa de cimentación al suelo por el peso del agua filtrada.



Ancias para pilote cargado a 200t.

Otra falla observada es el volteo del cabezal dada la presencia de una excentricidad entre el sistema de fuerzas ancla-pilote debida posiblemente a la heterogeneidad de la madera empleada o una colocación defectuosa de las anclas o del paquete de celdas de deformación.

La primera mejora fue el diseño de un nuevo tipo de anclas que permite que los espárragos puedan desplazarse libremente en dos sentidos y esta cualidad permite la colocación de los espárragos para formar un sistema de fuerzas coplanar entre el centro del pilote y las anclas, presentando un desplazamiento máximo que puede sufrir el espárrago de ± 2.5 cm.; este desplazamiento permite la localización del centro del pilote, dado que el brocal o hueco donde este último se hinca, es de únicamente 1" (2.5 cm.) mayor que el radio del pilote, por lo cual su centro nunca se localizará a una distancia mayor del centro del ancla, evitando la aparición de momentos importantes que tiendan a golpear el cabezal. (Fig. III-23.)

El ancla también es diseñada para soportar el momento producido por la excentricidad del espárrago, por otros momentos que puedan presentarse por una localización indebida

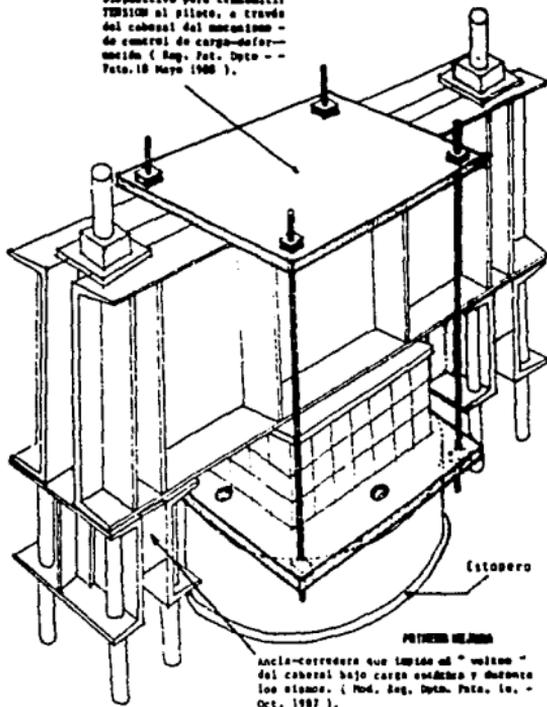
del centro del pilote, por la inercia que opera sobre el cabezal ante la presencia de un sismo, o bien por la propia heterogeneidad de la celda de deformación.

La segunda mejora ideada por el Ing. J. M. Aguilar, se basa en la capacidad del pilote de tomar y transmitir las tensiones. Dicho arreglo se compone de dos placas de acero, de $1\frac{1}{4}$ " de espesor sujetas al puente por medio de cuatro varillas de acero de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, de súper alta resistencia ($f_y = 7,000 \text{ Kg/cm}^2$.) La placa inferior se encuentra soldada al acero longitudinal del pilote, el cual deberá ser continuo hasta su punta, de tal manera que la tensión máxima que se pueda transmitir al pilote dependa de la fricción y esfuerzos laterales que crean la resistencia a la extracción del pilote. Este sistema está diseñado para absorber tensiones de 40 Ton., pero es posible, modificando algunos elementos, que absorban mayores tensiones. (Fig. III-24.)

Cuando el pilote se deba recortar dado que ha emergido en exceso, la placa inferior puede removerse mediante una tuerca aplicada en rosca que se hace previamente al acero principal del pilote.

SECCION EN JUNA

Dispositivo para transmitir
TENSION al piloto, a través
del cabezal del mecanismo -
de control de carga-infor-
mación (Reg. Pat. Dpto. - -
Pato. 18 Mayo 1966).



MATERIA MEJORADA
Acile-rodadero que impide el "volteo"
del cabezal bajo carga estática y durante
los atamos. (Mod. Reg. Dpto. Pat. 14. -
Oct. 1967).

Mecanismo de control mejorado.

Fig. III-24.

Este sistema se implantó en algunos edificios, como en el edificio de Paseo de la Reforma No. 199, el edificio de Río de la Losa No. 177, e incluso en edificaciones tan importantes como la Central Golfo de Teléfonos de México, en

las calle de Golfo de Campeche No. 4, sin presentar ningún daño en los mecanismos de control y tan solo un pequeño asentamiento del orden de los 2 a 3 cm, que fue absorbido adecuadamente por las celdas de deformación manteniendo la verticalidad de los edificios durante los sismos de Septiembre de 1985.

Para evitar al mínimo la filtración del agua a las celdas de cimentación a través de los estoperos, empleados como sellos entre el pilote y la losa de cimentación, se utiliza actualmente un nuevo tipo de sello constituido por polivinilo y negrita (la que substituye al alquitrán por tener la ventaja de no ser soluble en agua, lo que le permite no degradarse tan rápidamente). Se ha demostrado la efectividad de este nuevo sello incluso en lugares donde el agua freática produce presiones de importancia.

C A P I T U L O I V .

Comportamiento Sísmico de Pilotes de Control.

Hay un gran esfuerzo para determinar el comportamiento sísmico, realizado por el Ing. Enrique Tamez G. en el artículo de Criterios para el Diseño Sísmico de Cimentaciones para Pilotes de Control, realizado en Junio de 1986, del que, en este trabajo destacan los siguientes conceptos:

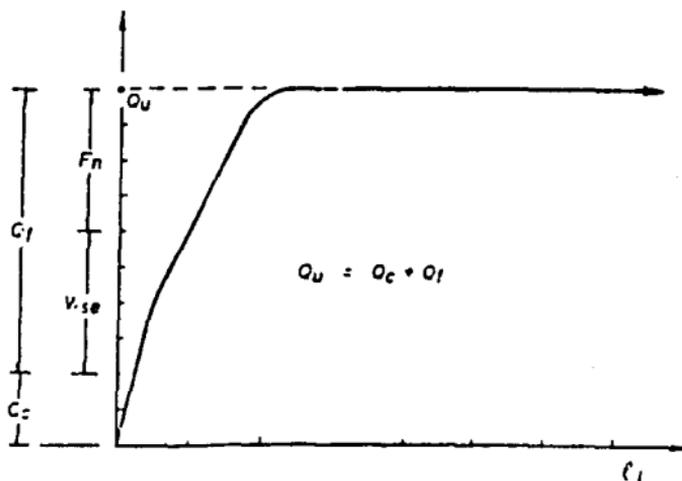
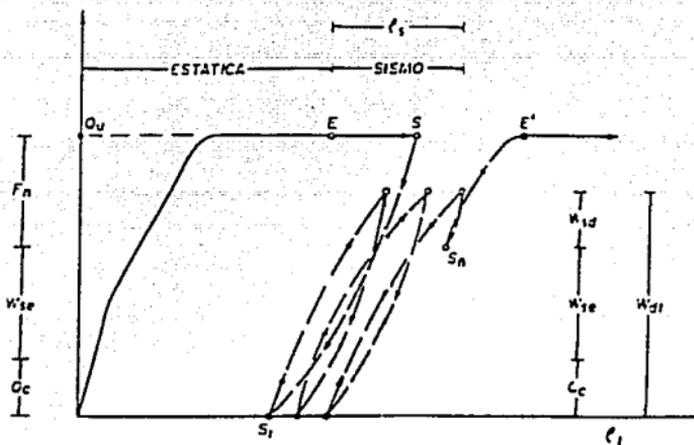


Fig. IV-1.



Evolución de la relación entre la carga y el asentamiento durante el sismo

Fig. IV-2.

Al presentarse un sismo, se produce un incremento de carga vertical que altera las condiciones de equilibrio límite en que se encuentra el sistema de control, que para condiciones de carga estática se pueden representar en la figura IV-1. Esta condición límite corresponde al punto e de la figura IV-2. El incremento de carga dinámica por sismo, W_{sd} , aplicado al sistema de la figura IV-3., se transmite íntegramente al prisma del suelo a través de la losa, dado que la carga adicional no es absorbida por la celda deformable. Como la fuerza friccionante desarrollada entre el suelo y el pilote se encuentra también en el límite, Q_r se producirá un

desplazamiento del prisma del suelo con respecto al pilote. Este movimiento descendente del suelo hará crecer la reacción R_f' que la capa dura ejerce sobre la base del prisma, de manera tal que la fricción negativa F_n disminuirá, según muestra la ecuación $F_n = P' - R_f'$, puesto que al aparecer la fuerza de fricción, disminuye la reacción efectiva de la capa dura sobre la base del prisma. Si R_f' vuelve a ser igual que P' , la fricción negativa desaparecerá, liberando en el mecanismo la parte correspondiente de capacidad friccionante, con la cual el pilote puede tomar el incremento de carga dinámica W_{sd} . La modificación de la relación asentamiento-carga por la acción del sismo, se muestra esquemáticamente en la figura IV-2. Bajo el primer impacto del sismo, representado por el segmento ES , se da un asentamiento brusco de la losa, y posteriormente para relajar la fricción negativa, y para liberar la capacidad friccionante en el pilote, bastará tan solo un asentamiento relativamente pequeño que fluctúa de 1 a 3 cm. El punto S podrá pasar a la posición extrema S_1 al reducirse la carga sobre el sistema de cimentación por el balanceo del edificio, iniciándose así una serie de ciclos de histéresis que terminarán en el punto S_n

después de los efectos del sismo, donde la carga sobre el pilote volverá a ser semejante a su condición inicial estática, pero sin el efecto de la carga negativa, dado que la cimentación habrá sufrido un asentamiento acumulado p_s , cuyo valor debe ser tolerable para la estructura.

El hundimiento regional volverá a desarrollar la fricción negativa a partir del punto S_n y se recuperará la condición inicial de equilibrio estático límite representada por el punto E' , continuando el edificio con asentamientos similares a los del suelo vecino.

La carga dinámica total W_{dt} , es el máximo valor que alcanza la carga en los ciclos de histéresis durante el sismo como se observa en la ecuación:

$$W_{dt} = Q_c + W_{se} + W_{sd} \dots (A)$$

donde los términos W_{se} y W_{sd} representan la parte de la carga total que es aplicada al prisma de suelo por la losa, y Q_c representa la capacidad de carga límite de la celda deformable, lo que implica que este elemento llevará un factor de seguridad 1. La carga se transmite al pilote por fricción, por lo que el factor de seguridad debe referirse a la capacidad friccionante del pilote, como se muestra:

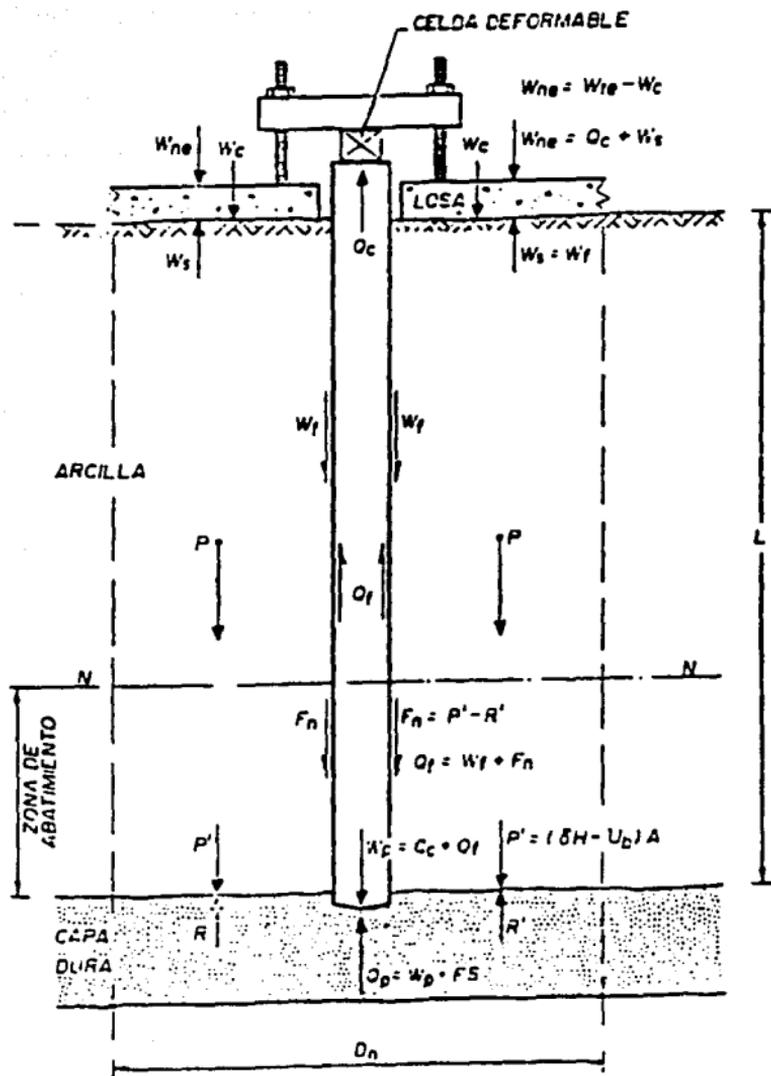


Fig. IV-3.

$$FS_d = \frac{Q_f}{W_{se} + W_{sd}}$$

o lo que es lo mismo

$$W_{se} + W_{sd} = \frac{Q_f}{FS_d}$$

que substituyendo en (A):

$$W_{dt} = Q_c + \frac{Q_f}{FS_d}$$

Obteniendo del Reglamento de Construcción los factores de seguridad para estructuras comunes se tiene:

Estructura.

Tipo A $FS_d = 2$

Tipo B $FS_d = 1.7$

y substituyendo en la ecuación anterior, se tiene:

Estructura.

Tipo A $W_{dt} = Q_c + 0.5 Q_f \dots (B)$

Tipo B $W_{dt} = Q_c + 0.6 Q_f \dots (B)$

por lo que la capacidad de la celda deformable puede expresarse por:

$$Q_c = n Q_f$$

que substituyendo en las ecuaciones (B), se tiene:

Estructura.

$$\text{Tipo A} \quad W_{at} = (n + 0.5) Q_f$$

$$\text{Tipo B} \quad W_{at} = (n + 0.6) Q_f$$

donde n se determina a partir de los valores de la resistencia al corte de las arcillas, y de la resistencia al cono eléctrico de la capa dura.

Para obtener el diámetro o lado de la sección transversal, que proporciona un diseño balanceado del pilote para diferentes valores de n que se obtienen por aproximaciones de la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{8 (1 + n) L f}{q_c}$$

donde β es el diámetro o lado del pilote, q_c es la resistencia de la capa dura a la penetración del cono eléctrico, f es la resistencia friccionante media de la arcilla y L la longitud del pilote.

La capacidad de carga dinámica admisible se calcula con la ecuación:

$$W_{dt} = Q_c + \frac{Q_f}{FS_d}$$

donde FS_d es el factor de carga de seguridad dinámica al que se le asigna un valor según el tipo de edificio del que se trate.

C A P I T U L O V .

Propuestas de mejora para cimentaciones mecanizadas.

- Propuesta de mejora del Ing. F. Zamora Millán.

Una propuesta de mejora para los sistemas mecanizados fue hecha por el Ing. Francisco Zamora Millán y consiste en colocar entre el pilote y el cabezal un gato Freyssinet como se observa en la figura V-1. El funcionamiento de este gato es igual al de una celda de deformación; la presión de este gato se controla mediante manómetros para tomar la carga de diseño de cada pilote cuando esta se excede por hundimiento del terreno. Si la presión desciende, la estructura y la losa se volverán a apoyar sobre el terreno. Este gato se encuentra conectado a un segundo gato Freyssinet que está apoyado entre el cabezal inferior y otro cabezal superior que está unido por medio de unos tornillos a elementos sujetos directamente al pilote, ya sea soldados, o por tornillos sobre la cabeza del pilote.

El primer cabezal, como se observa en la figura, está sujeto por tornillos anclados a la losa y es fijo con

respecto a la propia estructura, mientras que el segundo se mueve conjuntamente con el pilote.

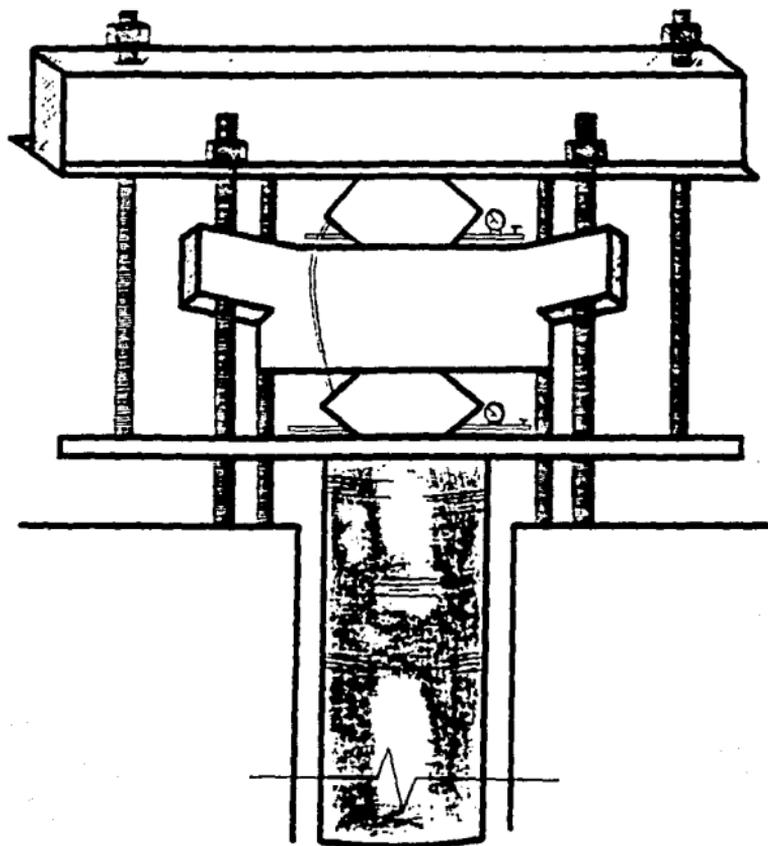


Fig. V-1.

El objetivo de este sistema, es lograr que al comprimirse el gato inferior aumentando así su presión, debido a la sobrecarga que presente el edificio, esta sea transferida al gato superior, logrando así que el edificio descienda paralelamente al suelo y que el gato superior, al incrementarse su presión, presente un aumento en su volumen y mantenga así la unión con el cabezal superior, lo que evitará que en caso de un movimiento telúrico, u otro fenómeno que requiera que el pilote tome tensiones, se presente un brinco brusco entre el cabezal superior e inferior que pueda dañar algún elemento del sistema o incluso hacerlo fallar. (Fig. V-2.)

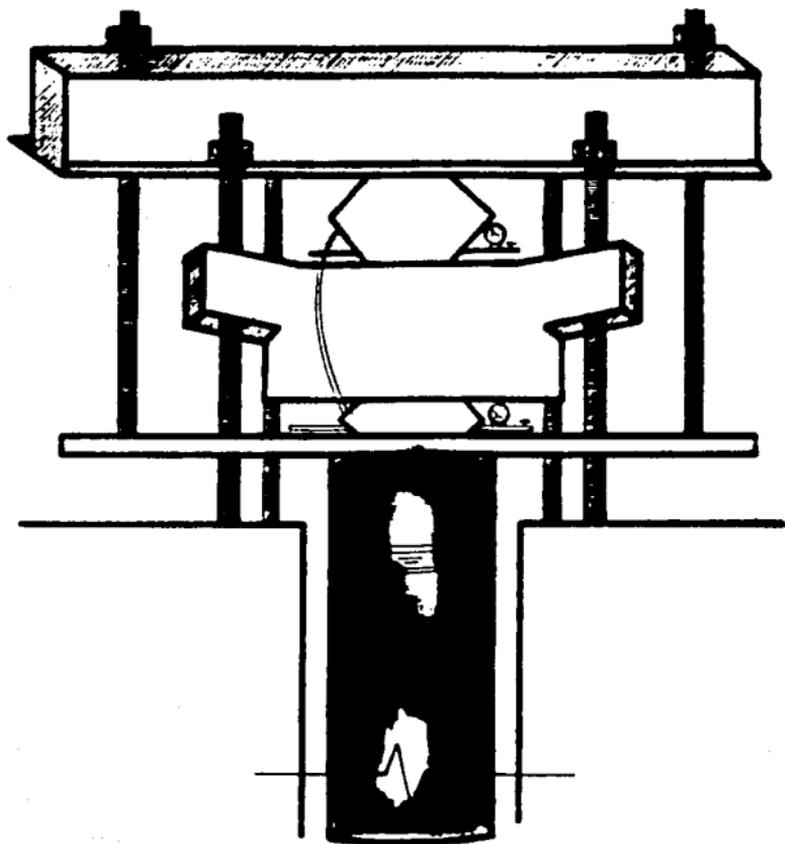


Fig. V-2.

- Propuesta de mejora de Alfonso Rico A.

El autor del presente texto, propone otra idea para mejorar los sistemas de control, que consiste en sujetar una placa en forma de canal como se muestra en la figura V-3. a la cabeza del pilote, y sobre ésta poner una celda de deformación separada por medio de laminillas y que se encuentra en contacto con el cabezal del sistema, como se puede observar en la figura V-4.

El cabezal esta sujeto por medio de tornillos a un ancla corrediza que logra el ajuste correcto del cabezal sobre la cabeza del pilote, descrito en el Capitulo III de este texto.

El canal formado por placas, esta compuesto por tres placas en las cuales la base (parte inferior) se une mediante tornillos a la cabeza del pilote, para en caso de que se requiera recortar el pilote, ésta pueda removerse fácilmente.

Las placas laterales, constan de pequeños dientes o cejas de forma triangular, como se indica en la figura V-5., que se van ajustado automáticamente conforme se deforman las celdillas de madera.

La función de este sistema es lograr que el edificio descienda simultáneamente con el suelo vecino, lográndose

esto al deformarse el fusible compuesto por cubos de madera calculados para resistir la carga estática del edificio, y que al presentarse una sobrecarga causada por hundimientos o sismos deformen este fusible.

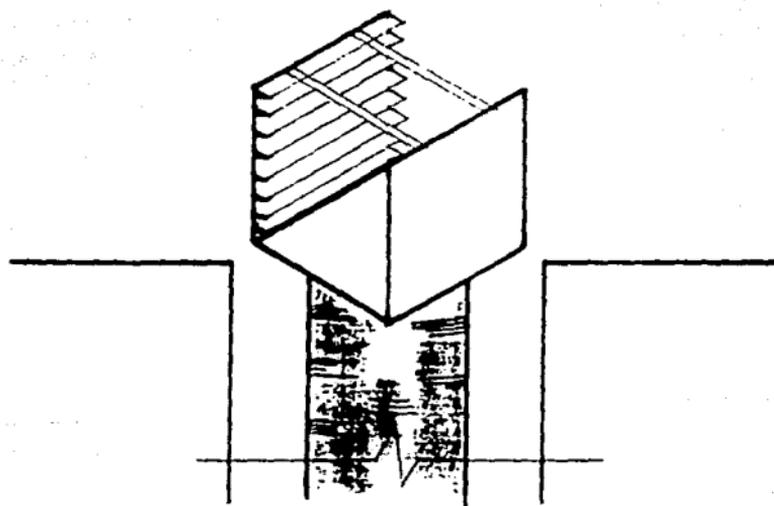


Fig. V-3.

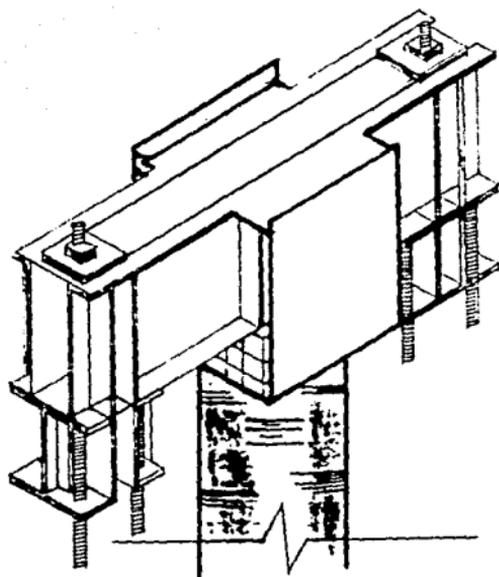


Fig. V-4.

El canal que forma el sistema propuesto, permite al pilote tomar tensiones al trabarse los dientes o cejas de este canal con una placa en la parte superior del cabezal, y este elemento hace que nunca se separen estas placas a una distancia que la existente entre un diente y otro, lográndose así que no haya un movimiento brusco que pueda romper los dientes o dañar algún elemento del mecanismo, permitiendo así que el sistema sea capaz de tomar tensiones en el caso de un sismo u otro fenómeno en donde se requiera, y haciendo que el

mantenimiento no sea tan frecuente, evitándose así mayores costos y dando mas seguridad a la estructura.

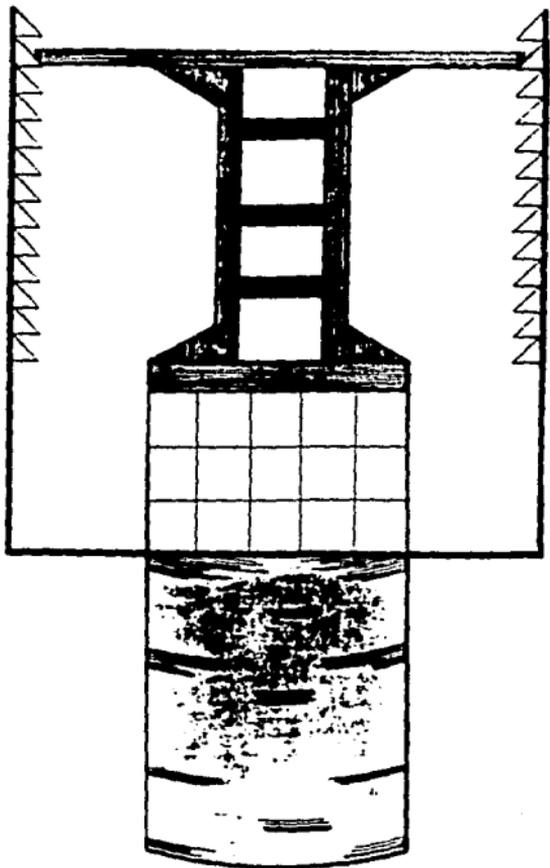


Fig. V-5.

Las dos ideas anteriores se antojan merecedoras de posterior consideración e investigación y ejemplifican el tipo de trabajos modestos, cuya acumulación puede conducir a un mayor conocimiento de los problemas tratados y al progreso de la tecnología.

C A P I T U L O VI.

Conclusiones y Recomendaciones.

Se sabe hoy día que ya desde la civilización azteca, existía un conocimiento intuitivo, pero bastante completo, de la problemática del Valle de México, que llevó a aquellos constructores a la concepción de las cimentaciones piloteadas en una forma que, en muchos aspectos, no difiere de la que hoy se tiene.

El conocer el gran esfuerzo que han realizado algunos ingenieros, iniciando con el Ing. Manuel Gonzalez Flores, en lo referente a dotar a las cimentaciones profundas de elementos de control que permitan que los asentamientos y desplomes de las edificaciones puedan mantenerse dentro de límites permisibles, es de gran importancia práctica, pues estas ideas constituyen a no dudarse un paso fundamental en la adecuación de la cimentación al terreno circundante y en la posibilidad de adecuar el comportamiento de la propia cimentación a vidas útiles largas.

Al momento actual, se han adoptado algunos sistemas mecanizados que han demostrado su validez tanto en trabajos

de cimentación como de recimentación. Algunos de los principales se han mencionado en páginas anteriores. Sin embargo, debe considerarse que existen dos fundamentales problemas que requieren investigación adicional y del ingenio de los constructores del momento y del futuro.

El primer problema es el comportamiento sísmico de las cimentaciones profundas controladas, que continua presentando hasta el día de hoy, incertidumbres de importancia. Esto equivale a decir que ha sido mas fácil establecer controles para movimientos verticales que para movimientos horizontales. Algunas ideas dignas de estudio para contribuir a este problema figuran también en este trabajo, pero es seguro que en estos aspectos es mucho lo que falta por hacer, tanto en el terreno teórico como en el práctico.

El segundo problema sobre el que convendrá seguir pensando en los años por venir, es en el comportamiento de los pilotes de fricción y su control. Aunque no cabe duda en el presente de que los pilotes de fricción, también presentan fenómenos de emergencia y son proclives al desarrollo de fricción negativa, muy poco se ha pensado sobre ellos y no existen

mecanismos de control prácticos que puedan equipararse al los desarrollados para los pilotos de punta.

Es opinión del autor de este trabajo, que en los dos problemas antes descritos mencionados deberá centrarse la atención de los ingenieros que decidan pensar en el comportamiento de cimentaciones profundas en el Valle de México.

Figuras.

Fig. i.

Mecánica de Suelos, Tomo II.

Juarez Badillo - Rico Rodriguez. Pag. 479.

Fig. I-1.

Manual de Exploración Geotécnica, Pag. 6.

Fig. I-2.

Mecánica de Suelos, Tomo II.

Juarez Badillo - Rico Rodriguez. Pag. 677.

Fig. I-3.

Mecánica de Suelos, Tomo II.

Juarez Badillo - Rico Rodriguez. Pag. 678.

Fig. I-4.

Mecánica de Suelos, Tomo II.

Juarez Badillo - Rico Rodriguez. Pag. 679.

Fig. I-5.

Mecánica de Suelos, Tomo II.

Juarez Badillo - Rico Rodriguez. Pag. 680.

Fig. I-6.

Mecánica de Suelos, Tomo II.

Juarez Badillo - Rico Rodriguez. Pag. 681.

Fig. II-1.

Mecánica de Suelos, Tomo II.

Juarez Badillo - Rico Rodriguez. Pag. 460.

Fig. II-2.

José Antonio Jimenez Salas, et al.

Geotécnia y Cimientos III. Cimentaciones,

Excavaciones y Aplicaciones de la Geotécnia.

Editorial Rueda, Madrid, 1980. Primera Parte.

Pag. 435.

- Fig. III-1.
Decimoquinta Reunión de Nacional de
Mecánica de Suelos.
San Luis Potosí, 1990. Pag. 139.
- Fig. III-2.
Decimoquinta Reunión de Nacional de
Mecánica de Suelos.
San Luis Potosí, 1990. Pag. 140.
- Fig. III-3.
Decimoquinta Reunión de Nacional de
Mecánica de Suelos.
San Luis Potosí, 1990. Pag. 140.
- Fig. III-4.
Decimoquinta Reunión de Nacional de
Mecánica de Suelos.
San Luis Potosí, 1990. Pag. 140.
- Fig. III-5.
Decimoquinta Reunión de Nacional de
Mecánica de Suelos.
San Luis Potosí, 1990. Pag. 140.
- Fig. III-6.
Decimoquinta Reunión de Nacional de
Mecánica de Suelos.
San Luis Potosí, 1990. Pag. 141.
- Fig. III-7.
Decimoquinta Reunión de Nacional de
Mecánica de Suelos.
San Luis Potosí, 1990. Pag. 141.
- Fig. III-8.
Decimoquinta Reunión de Nacional de
Mecánica de Suelos.
San Luis Potosí, 1990. Pag. 141.

- Fig. III-9.
Decimoquinta Reunión de Nacional de Mecánica de Suelos.
San Luis Potosí, 1990. Pag. 141.
- Fig. III-10.
Decimoquinta Reunión de Nacional de Mecánica de Suelos.
San Luis Potosí, 1990. Pag. 141.
- Fig. III-11.
Decimoquinta Reunión de Nacional de Mecánica de Suelos.
San Luis Potosí, 1990. Pag. 142.
- Fig. III-12.
Decimoquinta Reunión de Nacional de Mecánica de Suelos.
San Luis Potosí, 1990. Pag. 142.
- Fig. III-13.
Decimoquinta Reunión de Nacional de Mecánica de Suelos.
San Luis Potosí, 1990. Pag. 142.
- Fig. III-14.
Decimoquinta Reunión de Nacional de Mecánica de Suelos.
San Luis Potosí, 1990. Pag. 142.
- Fig. III-15.
Gráfica esfuerzo-deformación de caobilla utilizados en los pilotes de control.
Mecánica de Suelos, Tomo II.
Juarez Badillo - Rico Rodriguez. Pag. 483.
- Fig. III-16.
Importantes Mejoras en los Dispositivos de Control de Pilotes.
San Luis Potosí, 1990. Pag. 139.

Fig. III-17.

Control de las Cargas en la Cimentación y de los Asentamientos de Edificios, mediante mecanismos en los Pilotes. Dr. Javier Salazar Resines. Trabajo, Segunda Edición, México, 1978, U.N.A.M. - U.A.M. Pag. 19.

Fig. III-18.

Control de las Cargas en la Cimentación y de los Asentamientos de Edificios, mediante mecanismos en los Pilotes. Dr. Javier Salazar Resines. Trabajo, Segunda Edición, México, 1978, U.N.A.M. - U.A.M. Pag. 18.

Fig. III-19.

Control de las Cargas en la Cimentación y de los Asentamientos de Edificios, mediante mecanismos en los Pilotes. Dr. Javier Salazar Resines. Trabajo, Segunda Edición, México, 1978, U.N.A.M. - U.A.M. Pag. 19.

Fig. III-20.

Mecánica de Suelos, Tomo II.
Juarez Badillo - Rico Rodriguez. Pag. 482.

Fig. III-21.

Control de las Cargas en la Cimentación y de los Asentamientos de Edificios, mediante mecanismos en los Pilotes. Dr. Javier Salazar Resines. Trabajo, Segunda Edición, México, 1978, U.N.A.M. - U.A.M.

Fig. III-22.

Control de las Cargas en las Cimentaciones y en los Asentamientos de Edificios mediante mecanismos en los Pilotes.
Ing. Javier Salazar Resines. Pag. 422

Fig. III-23.

**Decimoquinta Reunión de Nacional de Mecánica
de Suelos.**

San Luis Potosí, 1990. Pag. 144.

Fig. III-24.

**Decimoquinta Reunión de Nacional de Mecánica
de Suelos.**

San Luis Potosí, 1990. Pag. 146.

Fig. IV-1.

**Criterios para el diseño sísmico de Cimentaciones
sobre Pilotes de Control. Pag. 29.**

Fig. IV-2.

**Criterios para el diseño sísmico de Cimentaciones
sobre Pilotes de Control. Pag. 30.**

Fig. IV-3.

**Criterios para el diseño sísmico de Cimentaciones
sobre Pilotes de Control. Pag. 28.**

Bibliografía.

Manual de Exploración Geotécnica,
Secretaría General de Obras del D. D. F.

Mecánica de Suelos, Tomo II. Juarez Badillo - Rico Rodriguez.
Ed. Limusa, México 1979, Segunda Edición.

Primer Congreso Panamericano de
Mecánica de Suelos y Cimentaciones.
Septiembre de 1959. Volumen I - Cimentaciones.
Control de las Cargas en las Cimentaciones y en los
Asentamientos de Edificios mediante mecanismos
en los Pilotes.
Ing. Javier Salazar Resines.

Reglamento de Construcción para el Distrito Federal.
Leyes y Códigos de México.
Ed. Porrúa, México, 1988.

Decimoquinta Reunión de Nacional de Mecánica de Suelos.
San Luis Potosí, 1990. S.M.M.S.

La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres.
Vol. II.
Alfonso Rico R. Hermilo Del Castillo.
Ed. Limusa. México, 1984.
Cuarta Reimpresión.

Criterios para el diseño sísmico de Cimentaciones
sobre Pilotes de Control.
Ing. Enrique Tamez G.
Artículo.
Manual de Estudios Geotécnicos, 1985.
C.O.V.I.T.U.R.

Los Sismos de 1985.
Simposio México, D.F., 1986.
S.M.M.S.

The Desing of Piled Foundations.
J. B. Burland (1937) Vèase T. Whitaker.
Pergamon Press, 1976.

Third Nabor Carrillo Lecture.
Tercera Conferencia de Nabor Carrillo.
A. Kézdi.
S.M.M.S., 1976.

José Antonio Jimenez Salas, et al.
Geotécnia y Cimientos III. Cimentaciones, Excavaciones
y Aplicaciones de la Geotécnia. Primera Parte.
Editorial Rueda, Madrid, 1980.

El Subsuelo de la Ciudad de México. Marsal, R. J. Mazari, M.
Partes A, B, C. Publicación del
Instituto de Ingenierla de la Universidad
Nacional Autónoma de México. México, D. F., 1959.