



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON  
DIRECCION

JESUS VICENTE MEJIA MIRAMON  
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 30 de junio del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. RUBEN FRIAS ALDARACA pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "CONOCIMIENTO Y APLICACION DEL PILOTE DE CONTROL PARA ESTRUCTURAS DE LA CIUDAD DE MEXICO", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Edo. Mex., julio 20 de 1989.  
EL DIRECTOR

Lic. SERGIO GUERRERO VERDEJO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

c c p Coordinación de Ingeniería.  
c c p Unidad Académica.  
c c p Departamento de Servicios Escolares.  
c c p Asesor de Tesis.

SGV/JFPB/elec.



## **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.

	PAG.
INTRODUCCION	1
Clasificación de las cimentaciones	3
Generalidades sobre pilotes	8
CAPITULO 1	15
BREVE EXPOSICION SOBRE LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO	
1.1. Composición del subsuelo, propiedades índice y mecánicas	15
1.1.1. Zonificación y estratigrafía	24
1.2. El hundimiento general de la Ciudad de México	29
1.2.1. Consecuencias en las construcciones	34
CAPITULO 2	43
PILOTE DE CONTROL	
2.1. Antecedentes	43
2.2. Descripción	50
2.2.1. Dispositivo	51
2.2.2. Pilote	57
2.3. Funcionamiento	61
CAPITULO 3	67
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	
3.1. Estudios preliminares	67
3.2. Diagrama general del "Sistema Pilote de Control"	68
3.3. Dado de cimentación	69
3.4. Hincado del pilote (equipo y maquinaria)	77
3.4.1. Sugerencias	83

	PAG.
CAPITULO 4	86
CONSERVACION EN EDIFICIOS	
4.1. Mantenimiento	86
4.1.1. Mantenimiento Preventivo	89
4.1.2. Mantenimiento Correctivo	93
CAPITULO 5	99
EJEMPLOS DE APLICACION	
5.1. Iglesia del "Convento de las Capuchinas"	99
5.2. Financiera Latina, S.A.	113
5.3. Otros ejemplos	119
CONCLUSIONES	122
BIBLIOGRAFIA	124

## INTRODUCCION

La construcción de cimentaciones fue una de las artes más antiguas de la humanidad, pues los habitantes primitivos de los lagos de Europa construían sus chozas en suelos pantanosos sobre estacas de madera aprovechando el apoyo o adherencia entre la madera y el suelo.

Este mismo procedimiento fue hecho por los aztecas al realizar sus construcciones sobre las partes fangosas del Lago de Texcoco; posteriormente construían sus pirámides sobre capas de piedra. En la época de la colonia construían los edificios sobre emparillados de madera, sustentados por pilotes y en algunos casos utilizaban bóvedas de piedra invertida.

En aquel entonces se basaban los proyectos de cimentaciones únicamente en experiencias anteriores, reglas muy someras o conjeturas; fue hasta principios del siglo XX cuando dejó de ser un arte, y se empezó el estudio de las cimentaciones por la falta de técnicas, diseños y cálculos adecuados para su realización, creando así un conocimiento exacto, razonado y metódico al cimentar una construcción.

Hoy en día existen diferentes tipos de cimentaciones, materiales con los que están contruidos, procedimientos constructivos, etc. y al conjuntar éstos con el ingenio del hombre para enfrentarse a los problemas que se tienen al cimentar una construcción, se originan así diferentes criterios, soluciones e innovaciones al realizarlas.

Una de éstas soluciones fue un invento mexicano desarrollado por el Ing. Manuel González Flores, para cimentar o recibir

mentar en forma adecuada las construcciones en suelos con gran problema de compresibilidad; como es el caso en que se encuentra la Ciudad de México.

### Clasificación de las cimentaciones

Dentro del ámbito constructivo se define a la cimentación como la parte de la estructura destinada a soportar el peso de la superestructura y el propio, transmitiéndola al terreno en que se encuentre desplantada en forma estable y segura.

Para su estudio, las cimentaciones se clasifican atendiendo a su profundidad de desplante.

En la Tabla I, se muestran los diferentes tipos de cimentaciones.

CIMENTACION	}	POCO PROFUNDA	}	AISLADA
		O SUPERFICIAL		CORRIDA
				LOSA DE CIMENTACION
				ESPECIAL
		PROFUNDA	}	PILOTE
				PILA
				CILINDRO
				CAJON

Tabla I  
Criterios de clasificación

A continuación se describe a cada uno de los tipos de cimentación, mostrándose en la Figura Introd-1 la forma en que están contruidos.

**CIMENTACION POCO PROFUNDA O SUPERFICIAL:**

Se dice que las cimentaciones poco profundas o superficiales son en general aquellas en que las que la profundidad de desplante no es mayor que un par de veces el ancho del cimiento, sin embargo no existe un límite preciso en la profundidad de desplante que separe a una cimentación poco profunda de una profunda.

**CIMENTACION AISLADA:**

Se considera a las cimentaciones aisladas (entiéndase por zapatas aisladas), como elementos estructurales generalmente cuadrados, rectangulares y algunas veces circulares. Se construyen de mampostería o concreto reforzado, desplantándose en terrenos resistentes y/o donde las cargas son pequeñas. Y van por debajo de las columnas con objeto de transmitir la carga al terreno en una mayor área, ligándose a éstas por medio de un elemento estructural (dala o cadena) para dar una mayor rigidez a la cimentación.

**CIMENTACION CORRIDA:**

La cimentación corrida (entiéndase por zapata corrida) es una forma evolucionada de la cimentación aislada. Se emplea en el caso de que el suelo ofrezca una resistencia baja y por lo tanto se obligue al empleo de mayores áreas de repartición de carga, necesitando también de un elemento de ligamiento entre sí, (dala o cadena). La cimentación corrida puede ser de mampostería o de concreto reforzado.

**LOSA DE CIMENTACION:**

La losa de cimentación, como su nombre lo indica, no es más que una losa; y se utiliza cuando las cargas son muy al-

tas y el área de apoyo de la cimentación tiene que aumentarse a tal grado que debe ocuparse la totalidad o gran parte del área de construcción, llegando así a formar una losa.

Esta se construye de concreto reforzado y su cálculo y armado es parecido al de una losa normal, pero en forma invertida.

#### CIMENTACION ESPECIAL:

Una cimentación especial es aquella en donde se requiere de un tipo de cálculo y procedimiento de construcción diferente a los usuales, de acuerdo al propósito para el cual es destinada.

#### CIMENTACION PROFUNDA:

En lo que se refiere a las cimentaciones profundas, son aquellos elementos de sustentación en donde se busca obtener una capacidad mayor de carga, que la de una cimentación poco profunda. Generalmente, en las cimentaciones profundas la profundidad de desplante se hace en estratos más resistentes.

#### CIMENTACION POR PILOTE:

Una de las cimentaciones profundas que se utiliza comúnmente es la de pilotación, y se define como elementos esbeltos generalmente de un diámetro menor de 0.60 m., que transmiten las cargas de la estructura a través de suelo blando hasta un estrato resistente o por adherencia con el terreno en el que se hincan. Por lo general éste tipo de cimentación es el más frecuentemente usado en la Cd. de México.

#### CIMENTACION POR PILA:

Debe entenderse por pilas a los elementos cuyo diámetro es mayor que 1.0 m y se utilizan para transmitir el peso de la estructura a estratos más resistentes, cuando el estrato de suelo superficial es blando y compresible. Su fabricación es a base de concreto colado en el lugar ya sea simple o reforzado, usando como cimbra el barreno previamente excavado.

en el subsuelo, lodo bentonítico o en condiciones excepcionales se utiliza un ademe metálico. Una de las ventajas que tiene la pila, es que se puede acampanar su base, aumentando así su carga útil.

#### CIMENTACION POR CILINDRO:

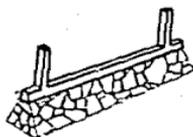
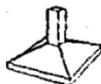
La cimentación por cilindro es una sección circular de concreto reforzado cuyo diámetro generalmente es mayor de 3.0 m., su interior es hueco y se construye colocando sobre terreno el elemento y excavando en su interior con una cuchara de almeja para retirar el material; el cilindro va descendiendo a medida que se retira el material bajo él, hasta llegar al estrato resistente. La penetración se facilita con punta biselada y cuchilla de acero en la parte inferior. Cuando son de gran magnitud se construyen por tramos, colando cada sección sobre la superficie la cual queda monolíticamente unida a la parte que se haya hincado con anterioridad. Una vez que se llega a la profundidad de desplante definitiva se cuela un tapón en su parte inferior y una tapa en la superior, quedando el interior hueco.

#### CIMENTACION POR CAJON:

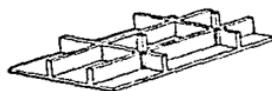
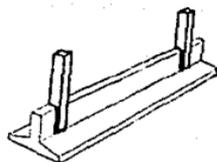
La cimentación a base de cajón, se basa en la teoría por compensación en la cual se excava una cierta cantidad de terreno, aliviando con ésto la presión total existente en el fondo, y se sustituye con la carga debida al peso de la construcción conservando así el equilibrio original del terreno.



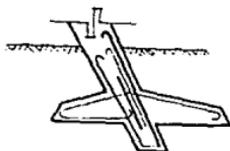
CIMENTACION AISLADA



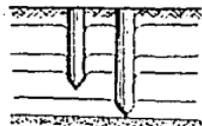
CIMENTACION CORRIDA



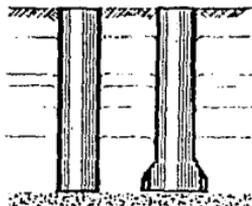
LOSA DE CIMENTACION



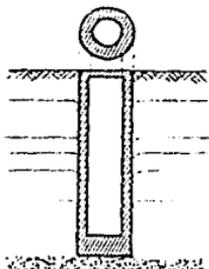
CIMENTACION ESPECIAL



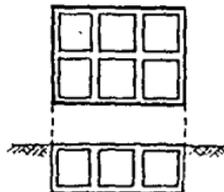
CIMENTACION POR PILOTACION



CIMENTACION POR PILA



CIMENTACION POR CILINDRO



CIMENTACION POR CAJON

Figura Introd-1  
Diferentes tipos de cimentaciones

### Generalidades sobre pilotes

De acuerdo a su diseño y construcción, en general los pilotes se clasifican en tres grupos. La Tabla II presenta ésta clasificación.

CLASIFICACION DE PILOTES	SEGUN LA FORMA COMO TRANSMITEN LAS CARGAS AL SUBSUELO
	SEGUN EL MATERIAL CON QUE ESTAN FABRICADOS
	SEGUN EL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Tabla II  
Clasificación de pilotes

SEGUN LA FORMA COMO TRANSMITEN  
LAS CARGAS AL SUBSUELO

Los pilotes en general se diseñan y construyen para utilizarse en la transmisión de cargas a compresión vertical, ya sea por punta a estratos resistentes o por fricción al terreno que les rodea.

El pilote de punta tiene por objeto transmitir práctica - mente todo el peso propio y las cargas de la estructura a un estrato profundo y resistente, cuando el estrato del terreno superficial es de muy baja resistencia.

En la Cd. de México este tipo de pilote tiene el inconveniente de provocar que los edificios aparentemente sobresalgan - de la superficie del suelo, ocasionando graves daños a sus - alrededores, (sobre éste tema se tratará con más detalle en el punto 1.2.1).

Una de las desventajas que tiene este pilote, es que requie - re de tramos demasiados largos en ciertas zonas de la ciudad para poder apoyarse en estratos resistentes.

Por el contrario, el pilote de fricción transmite el pe - so y las cargas de la estructura a base de fricción o adhe - rencia a las capas del terreno que le rodea. Este tipo de - pilote se utiliza en zonas que sufren asentamientos por con - solidación local, teniendo presente que para su óptimo fun - cionamiento debe existir un estrato suave de terreno compre - sible entre la punta del pilote y el estrato resistente, el - cual debe tener cerca de 4 ó 5 m. de espesor.

La desventaja de este pilote, es que en construcciones muy - pesadas sufre hundimientos inaceptables por la consolidación de los estratos, y por lo consiguiente se hace necesario li - mitar la carga máxima que se le pueda aplicar a la cimenta - ción. Además en edificios con gran esbeltez que tienen este tipo de cimentación se pueden producir algunas veces, pequ - ñas inclinaciones respecto a su vertical provocadas por los - sismos.

En la Figura Introd-2 se muestran las características - de apoyo de cada uno de estos pilotes.

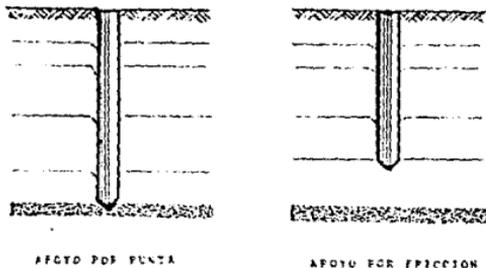


Figura Introd-2  
Características de apoyo en los pilotes

#### SEGUN EL MATERIAL CON QUE ESTAN FABRICADOS

Atendiendo a los materiales que se emplean en la fabricación del pilote, éstos se dividen en: Concreto (prefabricado y colado en el mismo lugar), acero, mixto y de madera.

El pilote de concreto prefabricado se construye empleando concreto simple, concreto reforzado o concreto presforzado empleando cemento Portland normal o resistente a las sales alcalinas y silicatos.

Se puede fabricar de una sola pieza o en tramos. Cuando su longitud es demasiado grande se hace necesario unir los tramos, soldando las placas de acero que se tienen en los extremos de cada tramo prefabricado. La longitud para pilotes de una pieza es por lo regular de 6 a 12 m., y para pilotes for-

mados por tramos cortos es de 0.80 a 1.0 m. La geometría de su sección transversal, puede ser triangular, cuadrada, hexagonal, octogonal o circular.

El pilote de concreto colado en el lugar (in situ), se fabrica para satisfacer los requisitos referentes a calidad, resistencia y durabilidad bajo cualquier condición. Puede ser de concreto simple o reforzado empleando cemento de tipo I, III y V. En caso de usarse en ambiente marino se debe tomar en cuenta que el agua utilizada no debe tener impurezas, aceites o materiales orgánicos que puedan ser perjudiciales al concreto y al acero.

Los pilotes de acero se fabrican en secciones estructurales de tipo H ó I, también pueden ser tubos de acero que pueden quedar huecos o ser rellenados con concreto. Este tipo de pilote es adecuado para penetrar en estratos duros, y debe ser protegido contra la corrosión.

Al fabricar un pilote mixto por lo general se hace con materiales de acero y concreto. Un ejemplo de esto es la utilización de pilotes de concreto con punta de acero como protección al hincado. También caen dentro de esta denominación los pilotes de concreto formados por una parte prefabricada y la otra colada en el lugar.

Por último, el pilote de madera es por lo regular de tramos de 6 m. ó mayores, pudiendo ser de pino, roble o abeto, tratado con sustancias químicas protectoras para evitar la putrefacción o destrucción por animales xilófagos. Actualmente han caído en desuso ante el desarrollo de los pilotes de concreto y sólo se emplean en algunas cimentaciones de estructuras provisionales.

## SEGUN EL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

En la actualidad se han desarrollado numerosos procedimientos constructivos para fabricar y posteriormente instalar - en el lugar a los pilotes, o bien para fabricarlos en el si - tio mismo de su colocación.

Se dificulta entonces dar una lista precisa y completa de ca - da uno de estos procedimientos, ya que éstos en su mayoría - son de compañías privadas protegidas con patentes comerciales en donde cada una de ellas tiene su propio equipo especializa - do, características, limitaciones y capacidades acordes al ti - po de pilote por construir.

Algunos ejemplos de estos pilotes son: Button-Bottom, Franki-Mc Arthur, etc.

El hincado del pilote puede ser a presión o percusión, - pero éste último es quizá el más frecuentemente usado. Para el hincado a percusión existen tres tipos principales - de martinetes, de los cuales a continuación se da una breve - descripción para cada uno de ellos.

El martinete de caída libre, ya de poco uso debido a su lentitud, consiste en una masa guiada que se eleva por medio de un malacate y se deja caer desde una altura específica.

El martinete de vapor de doble efecto, que se basa en la energía de vapor que eleva la masa golpeante, impulsándola y - acelerándola con mayor fuerza en su caída.

Finalmente, el martinete de combustión interna se funda - menta en la caída de una masa guiada dentro de un cilindro, - que comprime al combustible (diesel), y por medio de una chig - u produce su explosión; teniendo como consecuencia que los -

gases quemados al expandirse hagan que ésta masa golpenante - se impulse hacia arriba. En la actualidad este último es el más comúnmente utilizado en el hincado de los pilotes, por su fácil operación, mantenimiento y eficiencia.

En la Figura Introd-3 se muestran cada uno de éstos tipos de martinete empleados en el hincado de pilotes. Así también en la Tabla III, se muestra la variedad de modelos diesel de máquinas de percusión que existen en el mercado hoy en día.



MARTINETE DE MASA



MARTINETE DE VAPOR

MARTINETE DE COMBUSTION  
INTERNA

Figura Introd-3  
Principales tipos de martinetes

MARCA	MODELO	PESO DEL PISTON Kg	ENERGIA POR GOLPE Kj/m	PESO VARIAS DEL PILOTE Kg	RELACION DE PESOS PISTON/PILOTE	PESO DEL MARTILLO Kg
DELAG	D5	500	1250	1500	0.30	1240
DELAG	D17	1250	3125	4000	0.31	2750
DELAG	D22-13	2200	8700-1350	8000	0.37	5160
DELAG	D30-13	3000	9100-4450	8000	0.38	5960
DELAG	D36-13	600	11500-5750	10000	0.36	8050
DELAG	D46-13	4600	14600-7300	19000	0.31	9050
DELAG	Do2-12	6000	22320-11160	29000	0.25	12800
KOBE	K43	1300	3700	-	-	2900
KOBE	K75	2500	7500	-	-	5200
KOBE	K15	3500	10500	-	-	7500
KOBE	K45	4500	13500	-	-	10500
MITSUBISHI	MH15	1500	3900	3800	0.39	3800
MITSUBISHI	MH75	2500	6500	6300	0.40	6000
MITSUBISHI	MH15	3500	9100	8800	0.40	8400
MITSUBISHI	MH45	4500	11700	11300	0.44	11100

Tabla III  
Máquinas de percusión usuales en México

# CAPITULO 1

## BREVE EXPOSICION SOBRE LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO

### 1.1 Composición del subsuelo, propiedades índice y mecánicas

La Ciudad de México se localiza dentro de la cuenca del Valle de México, la cual se encuentra situada entre los  $19^{\circ} 03' 53''$  y  $20^{\circ} 11' 09''$  de latitud norte y los  $98^{\circ} 11' 53''$  y los  $99^{\circ} 30' 24''$  longitud oeste. La cuenca del Valle de México queda limitada hacia el Norte por las sierras de Tepotztlan Tezoniapan y Pachuca; al Sur por las sierras de Cuauhtzin y Ajusco; al Este por los Llanos de Apan y Sierra Nevada; al Oeste por las sierras de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo.

Anteriormente fue una cuenca cerrada, hasta 1789 año en que se abrió el Tajo de Nochistongo para dar salida a las aguas del Valle de México y así evitar las inundaciones en la Ciudad.

La cuenca del Valle de México tiene una superficie de  $9,600 \text{ km}^2$  de los cuales  $3,080 \text{ km}^2$  corresponden a áreas montañosas y los restantes a partes intermedias de diferente uso. Dentro de ésta se encuentra el Distrito Federal con una superficie de  $1,500 \text{ km}^2$  en la cual se incluye a la Ciudad de México con una área aproximada de  $600 \text{ km}^2$  de zona urbanizada; donde parte de esta área está ubicada en las estibaciones de las sierras de las Cruces, Ajusco y gran parte sobre el Ex-lago de Texcoco, teniendo ésta una altura promedio en su parte mas baja sobre el nivel del mar de  $2,240 \text{ m}$ . Véase Figura 1.1-1

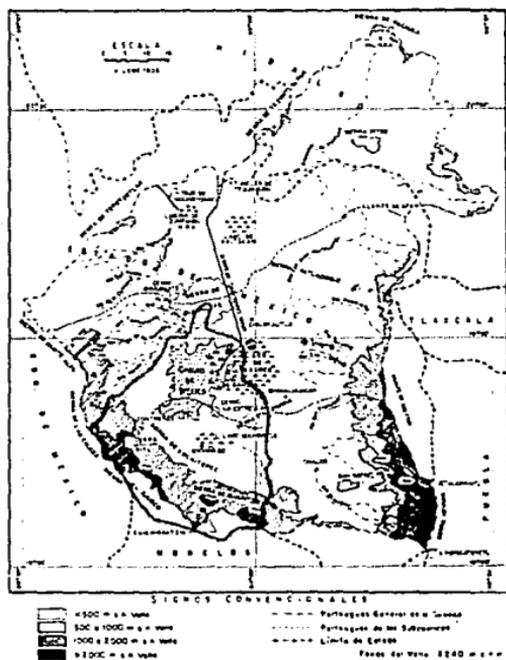


Figura 1.1-1  
Cuenca y mapa orográfico del Valle de México

Los estudios realizados por los investigadores Raúl J. - Marsal y Marcos Mazari<sup>1</sup> en colaboración con distintas instituciones públicas y privadas del país fueron hechos con el objeto de conocer: la composición principal del subsuelo, sus propiedades índice, mecánicas y zonificar desde un punto de vista estratigráfico a la Cd. de México, (sobre este último punto se dará a conocer más adelante).

Durante las investigaciones se realizaron aproximadamente 600 sondeos con perforadora de percusión, extrayendo los materiales con muestreadores de distintos tipos a una profundidad de los 70 a 100 m. y realizando ensayos de unos 10,000 especímenes aproximadamente.

Se encontró también, que parte del relleno de la cuenca se constituye por restos volcánicos estratificados, tobas, brechas y derrames de lava. Los tipos de roca son muy variadas, siendo éstas: andesitas, andesitas basálticas, basaltos, dacitas y en su mayor parte parte por cenizas volcánicas, lo cual se explica al considerar el hecho de que las cenizas arrojadas por los volcanes son transportadas por el viento y encontradas a cientos de kilómetros del punto de emisión. Como ejemplo se tiene a la del volcán del Xitle, que hizo erupción hace unos 2,400 años y posteriormente la del Popocatepetl.

En términos muy generales el subsuelo de la Cd. de México consta de las siguientes formaciones:

---

<sup>1</sup> Raúl J. Marsal-Marcos Mazari. The subsoil of México City. Part. A (Stratigraphy and properties). Publicación del Instituto de Ingeniería, perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México.

#### MANTO SUPERFICIAL

Ocupa generalmente los primeros cinco metros y consiste en rellenos artificiales heterogéneos con sucesión de capas arenosas, limo-arenosas y arcillo-limosas en ocasiones con caliche y en general compactos.

#### FORMACION ARCILLOSA SUPERIOR

Son depósitos lacustres de ceniza volcánica de consistencia blanda a media blanda, y muy compresibles. Con espesor del orden de los 32 m.

#### CAPA DURA

Es una capa de arena-limoso y limo-arenoso, muy compacta y en ocasiones cementada; su espesor es del orden de los 3 m.

#### FORMACION ARCILLOSA INFERIOR

Son depósitos lacustres de ceniza volcánica de consistencia media a dura, compresibles y con intercalaciones de lentes de arena. Su espesor es del orden de los 10 m.

#### DEPOSITOS PROFUNDOS

Son capas de arena, gravas-arenosas, limos-arcillosos y arenas-limosas en general muy compactas.

En la Figura 1.1-2 se muestra el corte del subsuelo de la Cd. de México, de una manera muy general.

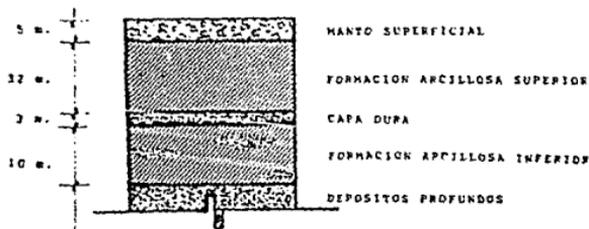


Figura 1.1-2  
Corte del subsuelo

Para la identificación de las arcillas volcánicas, que son las que se encuentran en la mayor parte de la Cd. de México, se recurrió a diferentes métodos de investigación (microscopio electrónico, balance térmico y rayos X), para obtener un mejor resultado en su clasificación. Durante éstos estudios se hicieron revisiones cuidadosas y exhaustivas para poder llegar a una clasificación, en la cual destacan generalmente:

Ilita	47.3 %
Montmorilonita	36.5 %
Caolinita	15.2 %
Beidelita	0.7 %
Fósiles (diatomeas)	0.2 %
Dudosa	0.1 %

Pero en definitiva no parece determinarse la composición exacta del subsuelo de la Ciudad de México, pues en diversos métodos y análisis aparece alternada la prevalencia de Ilitas y/o Montmorilonita y por último de Caolinita.

Aunque existen diversos autores, como A. W. Skempton<sup>2</sup>, - quien señala que "el tipo de arcilla que constituye principalmente al subsuelo de la Ciudad de México, es la Montmorilonita"; hay otros autores como Marzal-Mazari quienes dicen: - "que es la Ilita".

Cabe destacar que la estructura interna de éstas arcillas está formada en su conjunto por láminas intercaladas de sílice, alumina o potasio. La naturaleza de las ligaduras -

---

<sup>2</sup> Skempton, A. W. The Colloid Activity of Clays. Proceeding of Third International Conference on Soil Mechanic and Foundation Engineering.

o uniones entre las láminas que las mantienen juntas es la base fundamental para entender el comportamiento de una partícula arcillosa y por consecuencia a la masa formada por dichas partículas. La Figura 1.1-3 muestra las ligaduras de éstas partículas.

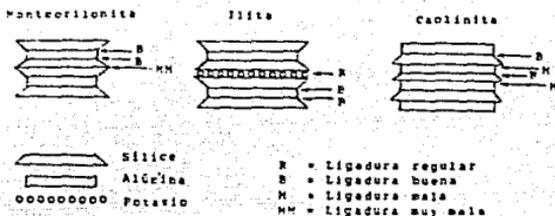


Figura 1.1-3  
Estructura laminar

En la montmorillonita las partículas son débiles, por lo tanto las moléculas de agua pueden penetrar en las diferentes capas de ésta, es por esto que la montmorillonita tiene la característica de ser expansiva al contacto con el agua ya que hasta seis capas de moléculas de ésta pueden penetrar en su estructura; en cambio, la illita y caolinita no se expanden tanto con la presencia del agua.

Para poder eliminar el agua absorbida en su mayor parte; la montmorillonita requiere de temperaturas del orden de los 200 a 300 °C, siendo que para las illita y caolinitas no se requiere de temperaturas tan altas.

La característica más notable de las arcillas de la Cd. de México es su contenido de agua, debido a que su relación de vacíos varía entre 4 y 12. Y su contenido de agua es

aproximadamente de 500 %, siendo por lo tanto el peso de los sólidos menor que un 17 % del total.

La Figura 1.1-4 presenta una muestra del subsuelo con un contenido de agua de alrededor de 400 %, que fue dejada secar al aire libre, observándose después de un tiempo una reducción en su volumen de aproximadamente ocho veces su tamaño original.



CONDICION NATURAL

SECADO AL AIRE

Figura 1.1-4  
Muestra de una arcilla del subsuelo de la Cd. de México

Debido a la gran cantidad de información recopilada para obtener las pruebas índice y mecánicas, los investigadores Marsal-Masari recurrieron al estudio estadístico para dar así en una forma resumida, las propiedades que prevalecen en el subsuelo de la Cd. de México.

Las Tablas IV y V muestran éstas propiedades.

PROPIEDAD	Formación arcillosa superior		Formación arcillosa inferior	
	Valor medio	Error estándar	Valor medio	Error estándar
Contenido de agua natural, $w$ , en %	281.2	$\pm 1.3$	191.6	$\pm 2.3$
Densidad de sólidos, $s_s$	2.419	$\pm 0.001$	2.409	$\pm 0.004$
Relación de vacíos inicial, $e$	6.90	$\pm 0.03$	4.74	$\pm 0.06$
Límite líquido, LL, en %	289.1	$\pm 1.5$	212.9	$\pm 2.3$
Límite plástico, LP, en %	85.3	$\pm 0.3$	68.8	$\pm 0.6$
Índice de plasticidad, $I_p$	203.8	$\pm 1.3$	142.9	$\pm 2.0$

Tabla IV  
Propiedades índice del subsuelo de la Cd. de México

PROPIEDAD	Formación arcillosa superior		Formación arcillosa inferior	
	Valor medio	Error estándar	Valor medio	Error estándar
Resistencia a la compresión simple, $q_u$ , en $\text{kg/cm}^2$	0.73	$\pm 0.03$	1.56	$\pm 0.03$
Módulo de deformación, $M$ , en $\text{kg/cm}^2$	30.7	$\pm 0.3$	67.7	$\pm 1.6$
Coefficiente de compresibilidad medio en recompresión, $a_{v,m}$ , en $\text{cm}^2/\text{kg}$	0.745	$\pm 0.019$	0.223	$\pm 0.019$
Coefficiente de compresibilidad en el intervalo de preconsolidación, $a_{v,p}$ , en $\text{cm}^2/\text{kg}$	1.621	$\pm 0.035$	0.460	$\pm 0.036$
Coefficiente de compresibilidad máximo, $a_{v,máx}$ , en $\text{cm}^2/\text{kg}$	2.285	$\pm 0.047$	0.662	$\pm 0.047$
Índice de compresibilidad para la carga $m_c$	0.470	$\pm 0.003$	0.518	$\pm 0.012$
Índice de compresibilidad para la descarga $m_e$	0.053	$\pm 0.0005$	0.044	$\pm 0.0013$
Carga de preconsolidación, $p_c$ , en $\text{kg/cm}^2$	1.37	$\pm 0.02$	2.61	$\pm 0.07$
Presión en que el coeficiente de compresibilidad es máximo, $p_m$ en $\text{kg/cm}^2$	1.65	$\pm 0.02$	3.10	$\pm 0.11$
Relación de vacíos en que el coeficiente de compresibilidad es máximo, $e_m$	5.83	$\pm 0.06$	4.12	$\pm 0.13$
Coefficiente de consolidación medio en recompresión, $c_{v,m}$ , en $10^{-3} \text{cm}^2/\text{seg}$	6.62	$\pm 0.19$	11.19	$\pm 0.63$
Coefficiente de consolidación en el intervalo de preconsolidación, $c_{v,p}$ , en $10^{-3} \text{cm}^2/\text{seg}$	1.61	$\pm 0.10$	3.33	$\pm 0.52$
Coefficiente de consolidación en el tramo "virgen" $c_{v,v}$ , en $10^{-3} \text{cm}^2/\text{seg}$	0.52	$\pm 0.05$	0.69	$\pm 0.23$

Tabla V  
Propiedades mecánicas del subsuelo de la Cd. de México

### 1.1.1 Zonificación y estratigrafía

Los estudios que se han hecho del subsuelo de la Cd. de México, han permitido zonificarla en tres grandes áreas, desde un punto de vista estratigráfico. En la Figura 1.1.1-1 se muestran las porciones del Distrito Federal cuyo subsuelo se conoce aproximadamente en cuanto a la zonificación definida - en el Artículo 219 del Reglamento<sup>3</sup>. En el caso de discrepancia entre el mapa y los resultados de exploración directa del subsuelo, se adoptarán éstos últimos.

La primera área corresponde a la zona de las Lomas, y se extiende en las estibaciones de la sierra de las Cruces. Constituida por terrenos compactos, areno-limosos, con alto contenido de grava algunas veces y con tobas pumíticas bien cementadas.

Esta zona en general presenta buenas condiciones para la cimentación de estructuras, la capacidad de carga del terreno es alta y no hay formaciones compresibles capaces de asentarse mucho.

Sin embargo en algunas zonas debido a la explotación de minas de arenas y grava, el área puede estar cruzada por galerías de difícil localización, y con ello se tiene un peligro para las cimentaciones; ya que pueden presentarse colapsos -

---

<sup>3</sup> Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones. pág. 5. Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, Quinta época No. 124 México D.F.. 6 de marzo de 1989.

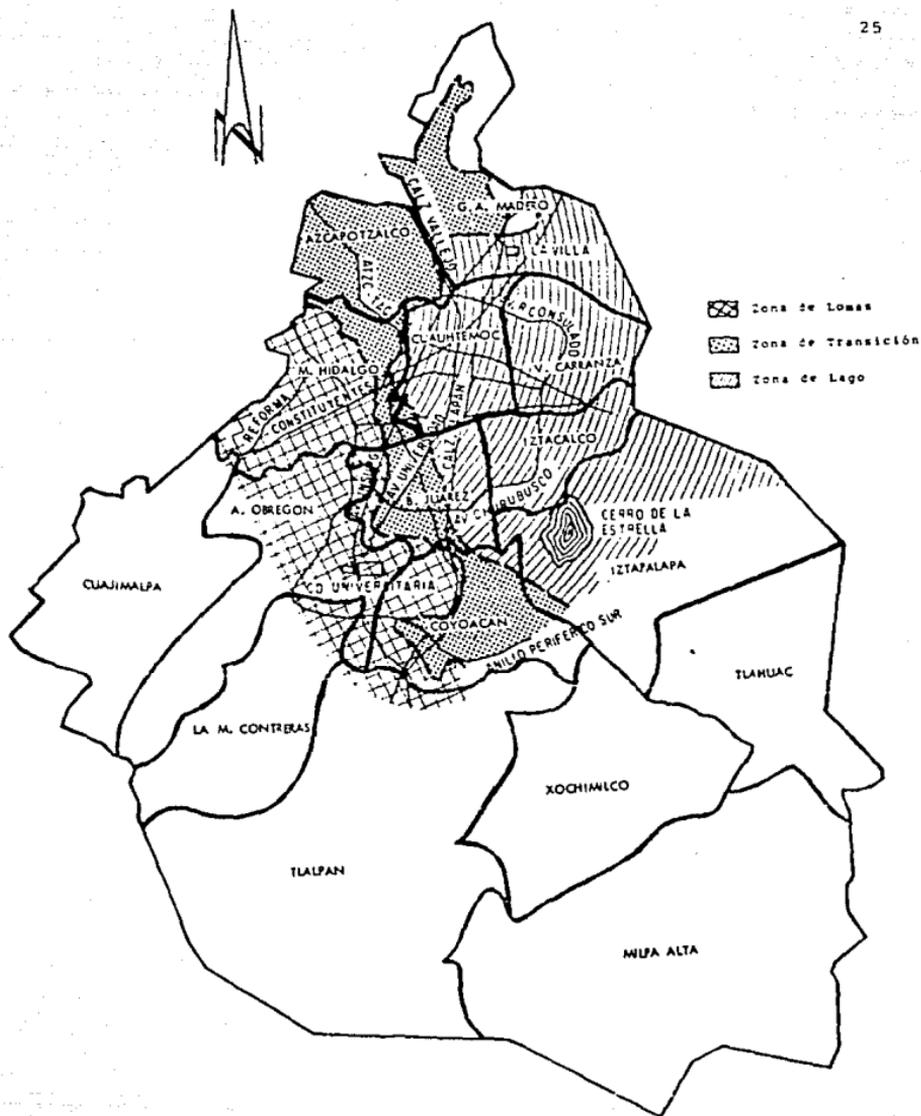


Figura 1.1.1-1  
Zonificación de la Ciudad de México

súbitos en las construcciones. Véase Figura 1.1.1-2

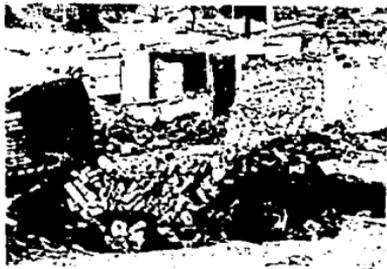


Figura 1.1.1-2  
Zona minada

La segunda área denominada zona de Transición; se debe a que se encuentra entre las zonas de Lomas y Lago, debido a las condiciones estratigráficas que varían en forma extraordinaria de un punto a otro.

En general, aparecen aquí depósitos superficiales arcillosos o limosos orgánicos cubriendo arcillas volcánicas muy compresibles y de espesores variables, intercalados con capas de arena limosa compacta o arena limpia. Finalmente se tienen grandes mantos en los que el material predominante es la grava y arena.

La tercera área llamada zona de Lago; porque en ese lugar estuvo localizado el Lago de Texcoco, se encuentra en la frontera Este de la zona de Transición y parte del centro de la Cd. de México. La estratigrafía de ésta zona exhibe los siguientes suelos:

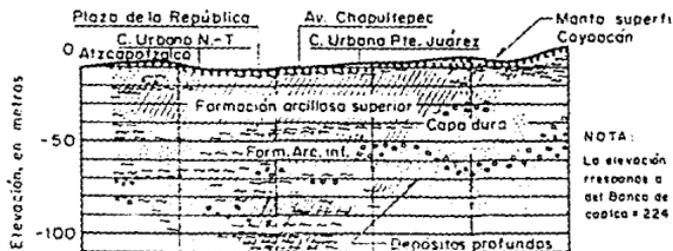
- 1) Los depósitos areno-arcillosos, limosos, rellenos artificiales de hasta 10 m. de espesor.
- 2) Arcillas de origen volcánico altamente compresibles con intercalaciones de arena en pequeñas capas o lentes.
- 3) La primera capa dura de 3 m. de espesor aproximadamente, constituida por materiales arcillo-arenosos muy compactos.  
Esta capa suele localizarse a una profundidad del orden de los 33 m.
- 4) Arcillas volcánicas de características semejantes a las del inciso 2), aunque más comprimidas y resistentes. El espesor de éste manto oscila entre 4 y 14 m.
- 5) Depósito alternados de arena con grava, limo o arcilla arenosa.

Cabe destacar que en ésta zona se debe esperar que ocurran asentamientos importantes por consolidación cuando se aplican sobrecargas que exceden la carga de preconsolidación por tratarse de formaciones blandas.

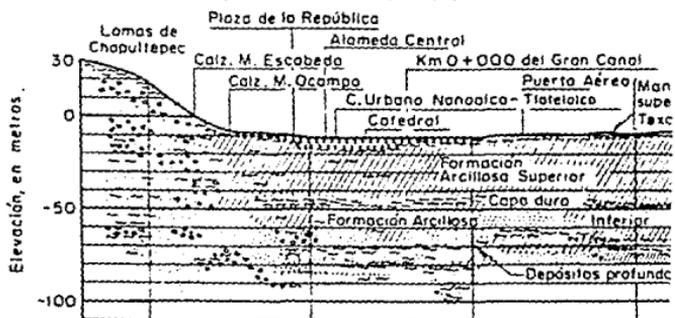
Los cortes estratigráficos bajo el área urbanizada, según dos ejes perpendiculares con dirección Norte-Sur y Este-Oeste que cruzan en el monumento a Cristóbal Colón, dan una idea de la disposición de estratos mencionados anteriormente. Vease Figura 1.1.1-3



SIGNOS  
CONVENCIONALES



CORTE N-S (Por el Monumento a Colón)



CORTE W-E (Por el Monumento a Colón)

Figura 1.1.1-3  
Cortes estratigráficos

## 1.2 El hundimiento general de la Ciudad de México

Una vez descritas a grandes rasgos las características - que prevalecen en el subsuelo, consideremos un importante fenómeno que acontece en él; siendo éste paralelo al desarrollo extraordinario que tiene la Cd. de México en los últimos años. La primera persona que se dió cuenta sobre éste caso, fue el - Ing. Roberto Gayol<sup>4</sup>, Director de Obras de Alcantarillado del - Distrito Federal alrededor de 1925, quien informa a la Socie - dad de Ingenieros y Arquitectos de México sobre el "fenómeno - del Hundimiento General que sufre la Ciudad de México". A partir de ése momento el problema preocupa a las autoridades e incita a los investigadores a analizar el problema. Uno de - estos investigadores fue el Ing. José A. Cuevas, quien es el - continuador de las observaciones del Ing. Roberto Gayol e ini - cia en aquel entonces los primeros estudios de Mecánica de Suelo en México. Posteriormente, a proposición del Ing. José A. - Cuevas, el Dr. Nabor Carrillo Flores investiga las causas prin - cipales del hundimiento.

Con el paso del tiempo y el crecimiento tan rápido y ace - lerado que tiene la población, es necesaria una cantidad enor - me de agua para satisfacer sus necesidades. Para suplir en parte el déficit de agua se abrieron en el pasa - do una serie de pozos para satisfacer en forma rápida y progre - siva la demanda de agua que se requería, pero con el venir de -

---

<sup>4</sup> Gayol, Roberto. Breves apuntes relativos a las obras de saneamiento y desagüe de la república y de las que el mismo género necesita con urgencia. Revista Mexicana de Ingeniería y Arquitectura. Vol. VIII, 1929.

los años se descubrió que ésta solución fue perjudicial y errónea.

Puesto que la demanda del agua potable en el área metropolitana es del orden de los  $37.7 \text{ m}^3/\text{seg.}$  y crece a razón de  $2 \text{ m}^3/\text{seg.}$  por año, mientras que la recarga natural de los acuíferos es del orden de los 700 millones de metros cúbicos por año; la extracción rebasa los 1,500 millones de metros cúbicos por año. Es decir, existe una sobre-explotación de más del 100 por ciento.

En la investigación que realizó el Dr. Nabor Carrillo F. correlacionando observaciones de: bombeo de agua subterránea, nivelaciones de la Ciudad y nivelaciones piezométricas, concluye que: "Las causas principales del Hundimiento General de la Ciudad de México se debe a la pérdida de presión que sufren los mantos acuíferos, ocasionada por el excesivo bombeo y aumentado con las sobrecargas en la superficie debido a las grandes y pesadas construcciones, dando así origen a un proceso de consolidación en las formaciones arcillosas altamente compresibles".<sup>5</sup>

Para comprender mejor el análisis del proceso de hundimiento, se muestra mediante la Teoría de Consolidación propuesta por Terzaghi. Consideremos un dispositivo como se muestra en la Figura 1.2-1 en el que hay un recipiente lleno de agua con unos resortes y un pistón perforado y perfectamente ajustado.

<sup>5</sup> Carrillo Flores, Nabor. Influence of Artesian Wells in the Sinking of México City. Proceedings of the Second International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. VII, 1949.

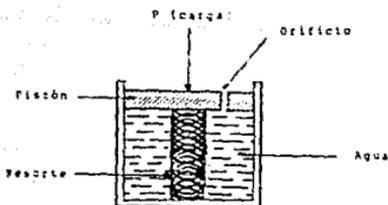


Figura 1.2-1  
Esquema del modelo mecánico de Terzaghi

Al cargar el pistón, éste tendrá que bajar pero antes de que eso suceda y que los resortes empiecen a contraerse, una parte del agua será obligada a salir a través del orificio del pistón. Al proceder el escape del agua los resortes se contraen más cada vez, hasta que el descenso se detiene. Al aplicar la carga, toda presión es tomada por el agua y transmitida gradualmente a los resortes; al final del movimiento descendente del pistón toda carga es resistida por los resortes ya que el agua no soporta la carga; en ese momento se considera que el cuerpo está consolidado.

Haciendo una semejanza, los resortes y el agua corresponden a las partículas de arcilla y contenido de agua en los poros, respectivamente. Cuando una masa de arcilla saturada es cargada, todo el esfuerzo es tomado principalmente por el agua contenida, que gradualmente lo transmite a las partículas del suelo. Entonces se dice que el suelo está sometido a un proceso de consolidación mientras dure esa transmisión gradual del esfuerzo. Es evidente que el grado o tendencia de consolidación depende del suelo dado, pues en casos de suelos muy permeables como arenas prácticamente no hay proceso de consolidación.

En el caso de tener un recipiente con un terreno granular arcilloso, con un cierto contenido de agua, en vez del resorte (Véase Figura 1.2-2), también el émbolo tendrá a bajar y el agua a salir a través del orificio que haya en el recipiente (suponemos que el émbolo es impermeable). El volumen ocupado por el agua que sale pasará a ser ocupado por los granos desplazados debido a la presión ejercida y el émbolo descenderá en un tiempo dado  $t$ , de un nivel  $N$  a un nivel  $N'$ . Este descenso será tanto más rápido cuanto mayor sea  $P$  y tanto más lento cuanto mayor vaya siendo el contenido de agua del recipiente, hasta que sea nulo al tomar la masa arcillosa todo el esfuerzo y encontrarse completamente consolidado ese cuerpo. El asentamiento producido por esa consolidación para el tiempo  $t$ , considerado anteriormente estará dado por el desnivel  $NN'$ , siendo éste el hundimiento que tiene la muestra del terreno.

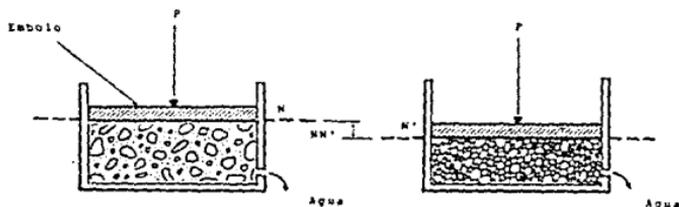


Figura 1.2-2  
Fenómeno de consolidación

En el caso particular de la Ciudad de México, vemos que el fenómeno es semejante, es decir que el subsuelo se encuentra sujeto a un proceso de consolidación debido a que la Ciudad se encuentra en un terreno arcilloso altamente compresible

con gran contenido de agua y sometido a cargas de las mismas capas superiores y de las construcciones, y es así como se ha originado el hundimiento de la Ciudad con el paso del tiempo.

En la Figura 1.2-3 se muestran las curvas de hundimiento que ha tenido la Ciudad de México en los últimos años. Donde éste ocurre como una función lineal de tiempo; pero es muy variable de una zona a otra por lo que es difícil hablar de una cifra representativa del hundimiento anual, debido a que oscila con una velocidad aproximada y constante de 4.5 a 4.9 cm/año. Siendo que en la parte central de la Ciudad alcanza un hundimiento de aproximadamente 8 metros.

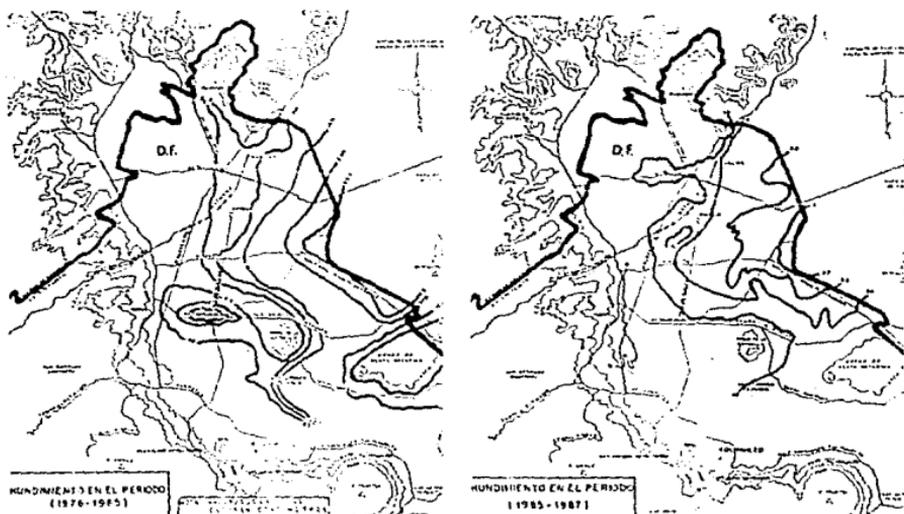


Figura 1.2-3  
Hundimiento General de la Ciudad de México

### 1.2.1 Consecuencias en las construcciones

El hundimiento de la Ciudad de México no se puede considerar solamente como un caso aislado, puesto que de él emanan una serie de consecuencias afectando a un sin número de ca - sos, siendo en las construcciones donde más se destaca.

Las evidencias más notables en las que repercute este fe - nómeno se observan en:

- a) Colector central e interceptores
- b) Agrietamiento en la superficie
- c) Construcciones cimentadas por pilotes de punta

A continuación se expone en una forma resumida cada uno de estos temas, dando una idea general de las causas que tie - ne el hundimiento.

- a) Colector central e interceptores

En el colector central e interceptores, en un principio la evacuación de las aguas negras y pluviales se operaban por medio de gravedad dando un óptimo resultado; pero las condi - ciones fueron cambiando con el paso del tiempo debido al hun - dimiento, ocasionando dislocamientos y contrapendientes en - las instalaciones hidráulicas destinadas a desalojar las - aguas servidas, provocando en un tiempo pasado las inundacio - nes en las partes más bajas de la Ciudad, llegando a alturas - aproximadas a 1 m.

El hundimiento ha colocado a la Ciudad en condiciones tales que, en su zona central se encuentra en el punto más bajo de la cuenca, situación que antiguamente pertenecía al Lago de Texcoco. Obviamente una falla del Gran Canal dentro de sus primeros 20 Km. ó de los bordes de protección, causaría en la Ciudad una inundación de consecuencias gravísimas.<sup>6</sup> Véase Figura 1.2.1-1

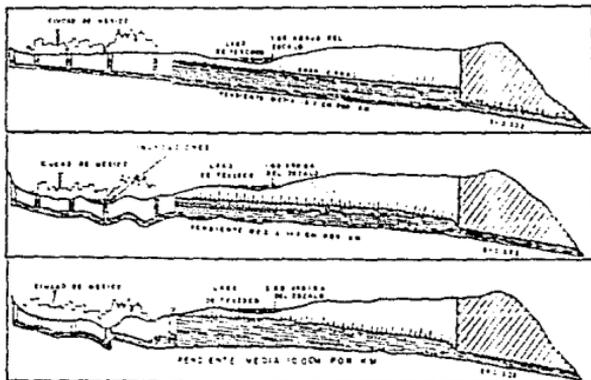


Figura 1.2.1-1  
Variación del desagüe y condición de la Ciudad de México respecto al Lago de Texcoco

Actualmente las autoridades han terminado en su totalidad las obras del Drenaje Profundo cuyo túnel tiene 6.3 m. de diámetro y 136 Km. de longitud, el cual evacuará por medio de gravedad las aguas negras del área urbana, para poder evitar así el problema de la inundación.

<sup>6</sup> Interceptoría Profundos y el Eductor Central, D.D.F., Dirección General de Obras Hidráulicas. I. Planteamiento: Origen del problema y condiciones actuales.

### El Agrietamiento en la superficie

Las primeras observaciones sobre el agrietamiento en la superficie, fueron hechas alrededor de 1960 por los propietarios de las casas habitación del entonces nuevo fraccionamiento Hacienda de Echegaray, en el Municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México. Donde las grietas afectaron a sus recién construidas casas; cabe destacar que la mayoría de las casas de ese fraccionamiento tienen una cimentación y estructura similar y sólo en algunas de ellas sufrieron daños en muros, pisos y drenaje.

Posteriormente, estudios realizados permitieron localizar la existencia de dos grietas sensiblemente paralelas (véase Figura 1.1.1-1), a la primera de éstas se le denominó "La Florida" y afectaba a las colonias La Florida y Hacienda de Echegaray, mientras que la segunda, llamada "Echegaray", afectaba al fraccionamiento Rosques de Echegaray y al poblado de Santa Cruz - Acatlán.



Figura 1.1.1-1  
Grietas La Florida y Echegaray

Estas grietas se desarrollaron en dirección Este-Oeste - con una separación entre cada una de 800 m. aproximadamente; - ambas estaban caracterizadas por un escalón cuya altura era variable. La grieta denominada La Florida tenía una longitud aproximada de 1600 m. y presentaba un escalón, donde el lado Norte permanecía fijo, mientras que en el Sur descendía.

En cambio la grieta de Echegaray abarcaba una distancia de no más de 1700 m. y mostraba un escalón cuyo lado Norte descendía y en el Sur permanecía fijo; lo que fue contrario a la grieta la Florida (Véase Figura 1.2.1-2).

Finalmente podemos decir que el problema de las grietas tuvieron una influencia limitada, pues sólo provocó graves daños a las construcciones y calles por donde ésta atravesaba (Véase Figura 1.2.1-4).

Actualmente éste problema ha dejado de presentarse en dichas zonas, solamente ha quedado de ellas los acontecimientos que produjeron éstas grietas.



Figura 1.2.1-3  
Escalón de falla



Figura 1.2.1-4  
Construcción dañada

### c) Construcciones cimentadas por pilotes de punta

Las construcciones sustentadas por pilotes de punta y aún los inmuebles cimentados superficialmente que en el pasado habían tenido un buen comportamiento, hoy en día a causa del hundimiento, sufren asentamientos diferenciales que ponen en peligro su estabilidad.

Por las causas que se mencionaron anteriormente, sabemos que el terreno de la Ciudad de México, al consolidarse, va perdiendo altura respecto al nivel original en el que se encontraba, haciendo que con ésto las construcciones piloteadas por punta sobresalgan a la superficie (Véase Figura 1.2.1-5).

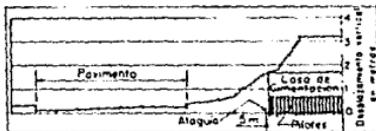
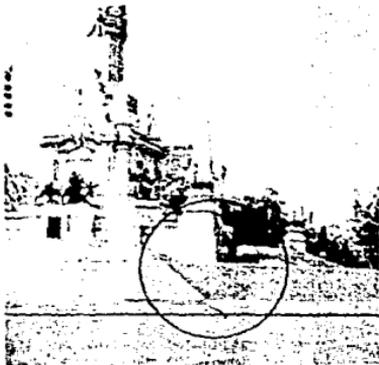
Para determinar la magnitud y perturbación que se produce en la superficie a consecuencia de una estructura cimentada con pilotes de punta, se han hecho nivelaciones alrededor de ésta, observándose en las gráficas la presencia de irregularidades en el pavimento el cual no sigue al parejo el hundimiento del terreno, pues existe una deformación muy brusca en la frontera del área piloteada, y que continúa hasta llegar a empalmar con la zona no afectada por la estructura piloteada, (Véase Figura 1.2.1-6).

La consolidación que existe en la Ciudad de México ha provocado que las construcciones cimentadas con pilotes de punta sufran una sobrecarga en la parte superior debido a un volumen de arcilla que se adhiere o se cuelga en sentido descendente alrededor del pilote.

A este fenómeno producido se le ha denominado "fricción negativa". Para poder evaluar la carga que produce la fricción negativa se debe tomar en cuenta la adherencia entre el suelo y el pilote, pues al ser multiplicada por el área del fuste de éste último, nos dará el valor de la carga por fricción negativa.



Nivel de banqueta en 1923



Nivel de banqueta en 1989

Figura 1.2.1-5  
Problemas en construcciones cimentadas con pilotes de punta  
a causa del hundimiento



Estructura cimentada con pilotes de punta

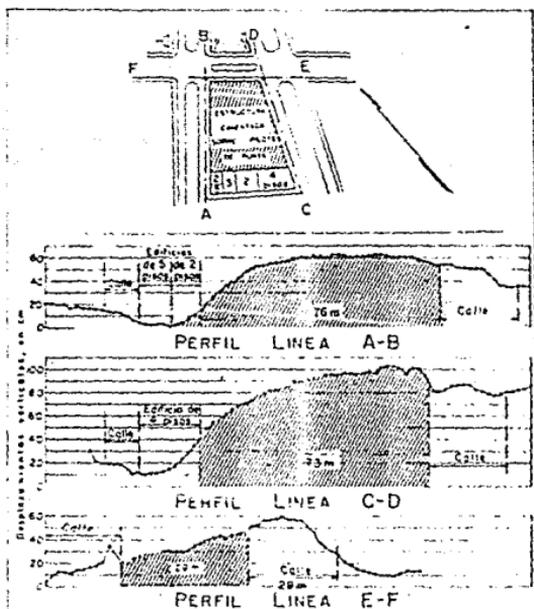


Figura 1.1.1-6  
 Perturbación que produce la estructura en el terreno,  
 a causa de su cimentación con pilotes de punta

La influencia de la fricción negativa varía de un pilote aislado a un conjunto de pilotes, y se debe a la separación - que existe entre ellos, pues será mayor mientras más separados estén o esté sólo, y mínima cuando estén juntos.

La fricción negativa se ha convertido en un problema para los pilotes de punta, ya que aparte de soportar el peso de - éste mismo, soporta el peso de la construcción, haciendo que - los pilotes se vayan sobrecargando constantemente. La Figura- 1.2.1-7 muestra éstas características.

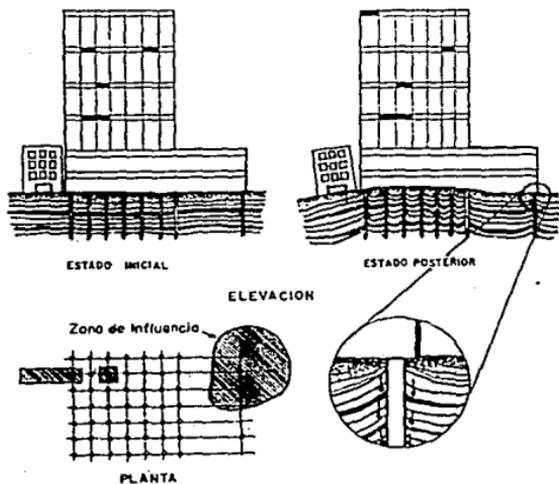


Figura 1.2.1-7  
Áreas de influencia de la fricción negativa en los pilotes  
y el comportamiento de un edificio colindante

Otro de los problemas que se origina por la fricción negativa, es la ocurrencia de una fuerza de tensión, principalmente en los pilotes de las esquinas y bordes. Esto se debe a que la cimentación tiene una rigidez y los pilotes están sólidamente unidos a ella en su parte inferior, donde el efecto diferencial de la fricción negativa en la cabeza de de los pilotes hace que en esa zona se provoque dicha fuerza.

El Ing. Leonardo Zeevaert<sup>7</sup> señala una consecuencia adicional que tiene la fricción negativa en el estrato resistente o capa dura; "Pues si ésta es de naturaleza friccionante la disminución de presión efectiva que tiene el estrato, con lleva a una disminución de la resistencia al esfuerzo cortante por aumento de carga que gravita en la zona de la punta del pilote y en consecuencia hace que se propicie la penetración del pilote en el estrato de apoyo.

Los problemas mencionados anteriormente, ocasionados por la cimentación a base de pilotes de punta, han hecho que en los últimos años sea cada vez menos usado, llevando al desarrollo de nuevos dispositivos para poder soportar y controlar las cargas que sufren los pilotes, permitiendo al mismo tiempo que la estructura pueda seguir sin restricciones la consolidación de la Ciudad de México.

---

<sup>7</sup> Zeevaert, L. Reducción de la capacidad de carga en los pilotes apoyados en punta, debido a la fricción negativa. Ier. Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Vol. I, México D.F., 1959.

# CAPITULO 2

## PILOTE DE CONTROL

### 2.1 Antecedentes

Como ya sabemos, el problema del hundimiento se encuentra ligado íntimamente a las cimentaciones y sobre todo a aquellas que están cimentadas con pilotes de punta, ya que hace que las construcciones sobresalgan de la superficie causando daños en banquetas, drenajes, ductos telefónicos, etc. y por lo tanto, -teniénndose que hacer reparaciones y reacondicionamientos de -nuevas entradas al edificio para que éste disimule el nivel -perdido. (Véase Figura 2.1-1).

Pero el problema es mayor cuando el edificio piloteado se en -cuentra junto a construcciones vecinas debido a que les ocasi -na daños en muros, losas y sobre todo a su cimentación, prov -cando con ésto la inutilización del inmueble y en consecuencia la indemnización a su propietario (Véase Figura 2.1-2).

El Ing. Manuel González Flores <sup>8</sup>, al observar los daños -que se mencionaron anteriormente, inventó un sistema denomina -do "Pilote de Control" el cual evita los problemas de la cimen -tación con pilotes de punta y los efectos de la fricción nega -tiva que provoca el hundimiento.

---

<sup>8</sup> Manuel González Flores. Ingeniero civil, mexicano; nació el 6 de junio de 1908 en la Hacienda de Tecajete, Edo. de Hidalgo y falleció el 20 de marzo de 1986 en México, D.F. Realizó sus estudios en la Facultad de Ingeniería, perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México. No sólo es el inventor del sistema Pilotes de Control, sino también del sistema Salvo a Bismos, el cual evita el peligro de los temblores en las construcciones. Y del sistema Desclimbrar-Climbrando, en el cual se construye con rapidez, limpieza y economía.



Figura 2.1-1  
Problemas en los edificios cimentados con  
pilotes de punta a causa del hundimiento



Figura 2.1-2  
Daños causados por un edificio cimentado con  
pilotes de punta a un edificio adyacente

El Sistema Pilote de Control se dió a conocer ante la - Sociedad de Ingenieros y Arquitectos en el año de 1947, y se aplicó por primera vez tres años más tarde en un edificio de 14 niveles, ubicado en la Av. Melchor Ocampo No. 481 de esta Ciudad, (Véase Figura 2.1-3).

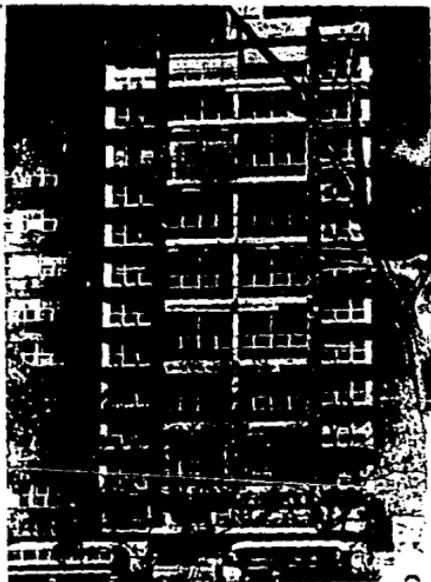
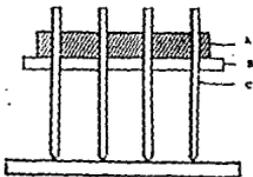


Figura 2.1-3  
Primer edificio cimentado con pilotes de control

A continuación se explica la hipótesis que le permitió - al Ing. Manuel González Flores desarrollar su invento, al po- der relacionar su modelo con los estratos de la Cd. de Méxi - co, el hundimiento que éste tiene y los efectos que se produ- cen a los pilotes de punta al ser hincados en la capa dura.

## HIPOTESIS

"Se supone en la Figura 2.1-4(a) un cuerpo A, homogéneo flexible (en este caso se utilizó jalea de membrillo), cuyo peso es de 1 kg. y se considera semejante a la arcilla, que descansa sobre una charola taladrada B, soportando 1 kg. del cuerpo A. El cuerpo A presenta una adherencia importante con las piezas verticales C, (las que pueden ser de madera u otro material) en donde éstas han atravesado libremente a los cuerpos A y B.



2.1-4(a)

Si ahora vemos la Figura 2.1-4(b) podemos observar que la charola B desciende una determinada distancia; entonces el cuerpo A empieza a colgarse de las piezas verticales C, debido a la adherencia que se presenta o existe entre los cuerpos A y C. De forma semejante sucede pero en mayor grado en las Figuras 2.1-4(c) y 2.1-4(d) en donde prácticamente el peso del cuerpo A, va siendo transmitido por adherencia a los cuerpos C.

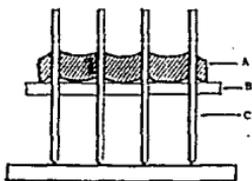
En la Figura 2.1-4(b) los cuerpos C soportan -  
0.3 kg. de peso del cuerpo A y 0.7 kg. soportan-  
la charola B.

En la Figura 2.1-4(c) los cuerpos C soportan -  
0.6 kg. de peso del cuerpo A y 0.4 kg. soportan-  
la charola B.

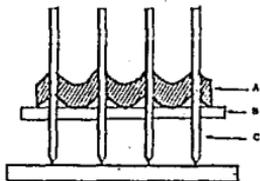
En la Figura 2.1-4(d) los cuerpos C soportan -  
0.8 kg. de peso del cuerpo A y 0.2 kg. soportan-  
la charola B.

Como se puede observar en la Figura 2.1-4(d), -  
los cuerpos C cargan el peso del cuerpo A cuan-  
do la charola B va descendiendo poco a poco (la  
charola simula la superficie del suelo).

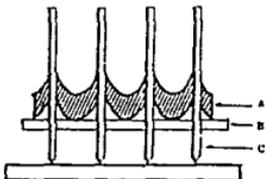
Pues en éste caso particular se han supuesto -  
que la adherencia máxima que puede desarrollarse  
en los cuerpos C es de 0.8 kg.



2.1-4(b)

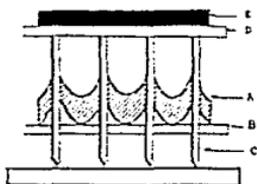


2.1-4(c)



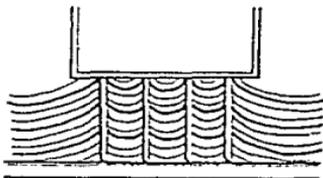
2.1-4(d)

En la Figura 2.1-4(e) se coloca una charola D - no taladrada (ésta simula la losa de cemento - ción), con un peso E (el cual simula la cons - trucción) colocado sobre las cabezas de los - cuerpos C. Entonces soportarán éstos el peso - de los cuerpos D y E más 0.8 kg. que transmite - el cuerpo A.



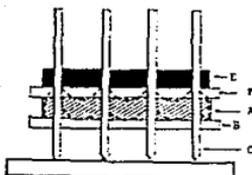
2.1-4(e)

Después de ver este fenómeno y relacionándolo - con el hundimiento de la Ciudad de México, se - puede observar fácilmente que se produce una so - bre carga de gran importancia en los pilotes, - (Véase Figura 2.1-4(f)).



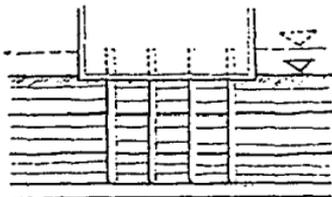
2.1-4(f)

Ahora en la Figura 2.1-4(c) colocamos una carga la F taladrada (que simula una losa de cimentación) y que soporta al mismo peso E; entonces se deslizará el cuerpo A entre los cuerpos F y E tomando como posición final a la Figura 2.1-4(a)."



2.1-4(c)

Teniendo en cuenta lo anterior, el Ing. Manuel González Flores hizo que su invento aprovechara la fuerza de adherencia convirtiéndola en fricción positiva, como se muestra en la Figura 2.1-4(h), donde el edificio se apoya directamente sobre el terreno, logrando que de ésta manera el edificio descienda horizontalmente conforme se vaya hundiendo el terreno, y así evitando que se adhiera o se cuelge al pilote - las capas de arcilla y no se produzca además un aumento de carga en los pilotes.



2.1-4(h)

## 2.2 Descripción

El Pilote de Control es un sistema que fue diseñado para que trabajen conjuntamente el pilote y la cimentación al mismo tiempo, repartiendo así el peso del edificio entre el terreno y los pilotes, haciendo que éstos atraviesen libremente la losa de cimentación, y colocando sobre su cabeza el dispositivo de control: pudiendo entonces controlar el descenso, y de esta manera poder seguir el hundimiento de la Ciudad de México, o bien poder elevar al inmueble mediante gatos hidráulicos colocados estratégicamente sobre los pilotes de control. Como es el caso de la "Iglesia de las Capuchinas", en la antigua Basílica de Guadalupe.

Las partes que componen al pilote de control son:

- I. Dispositivo de control
- II. Pilote

Su funcionamiento se genera al empezar el asentamiento en el terreno, originando que en el dispositivo de control las celdas de deformación sean deformadas conforme al hundimiento

La aplicación del pilote de control no se limita únicamente a la nivelación de edificios, sino va más allá de éstos, ya que se utiliza también para nivelar puentes, monumentos, tanques elevados, etc.

### 2.2.1 Dispositivo

En relación al dispositivo de control, este tuvo antes - que pasar por una serie de cambios para que en forma definitiva pudiera llegar al diseño actual, lo que es garantía de su buen funcionamiento. La Figura 2.2.1-1 muestra el dispositivo de control usado anteriormente.



Figura 2.2.1-1  
Principios del dispositivo de control

En la actualidad el dispositivo de control está formado esencialmente de cinco elementos.

1.- Anclas:

Consisten en una placa de acero de perfil "U" y de varillas de acero, las cuales van ahogadas en el dado de cimentación, de donde sobresalen lo necesario para sujetar a los tornillos (Véase Figura 2.2.1-2).

2.- Tornillos:

Estos son de acero y van con tuercas de ajuste en ambos extremos, siendo éstas de media caña y cuadradas, y sujetando entre sí al cabezal de carga y las anclas (Véase Figura 2.2.1-3).

3.- Cabezal de carga:

Consiste en un puente hecho de dos canales de acero colocados espalda con espalda, que los tornillos atraviesan. Este cabezal absorbe la carga del pilote uniformemente, repartiéndola a través de las anclas (Véase Figura 2.2.1-4).

4.- Estabilizador:

Este es de concreto reforzado y sirve para sostener el cabezal de carga, y dar estabilidad al dispositivo (Véase Figura 2.2.1-5).

5.- Celda de deformación:

Son cubos de madera (caoba o caobilla) de 5x5x5 cm. Cada cubo soporta un peso de 3 ton., comprimiéndose en sentido perpendicular a las fibras de la madera (Véase Figura 2.2.1-6).

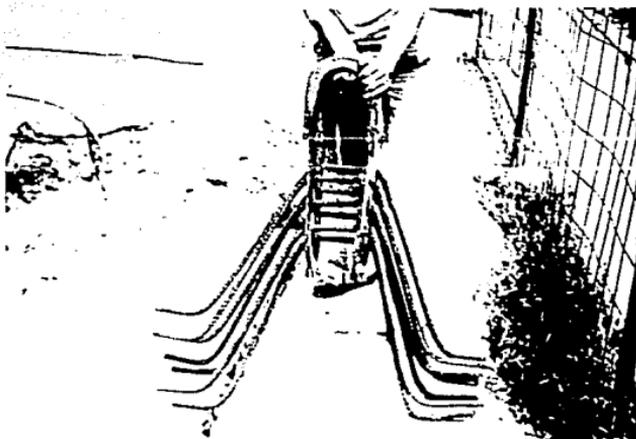


Figura 2.2.1-2  
Detalle del ancla



Figura 2.2.1-3  
Tuerca de media caña, cuadrada y tornillo

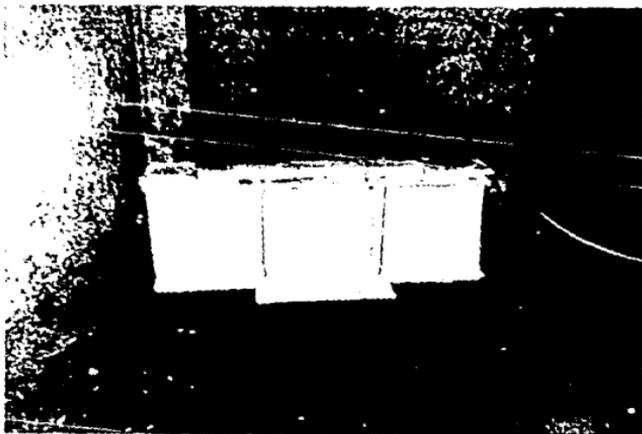


Figura 2.2.1-1  
Cabeçal de carga



Figura 2.2.1-2  
Estabilizador

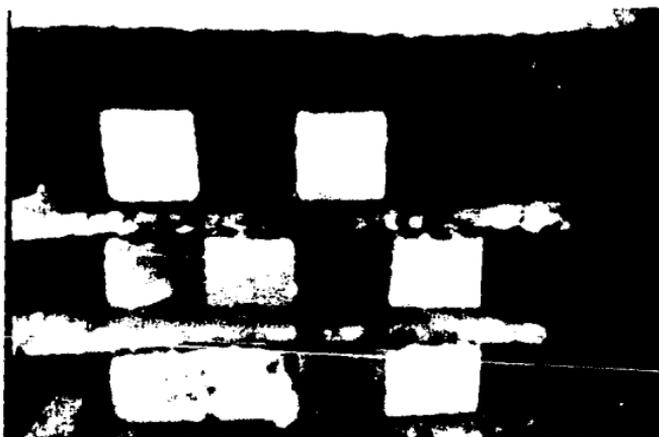
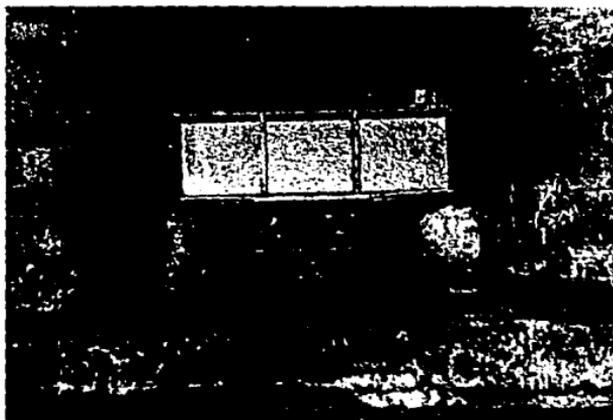
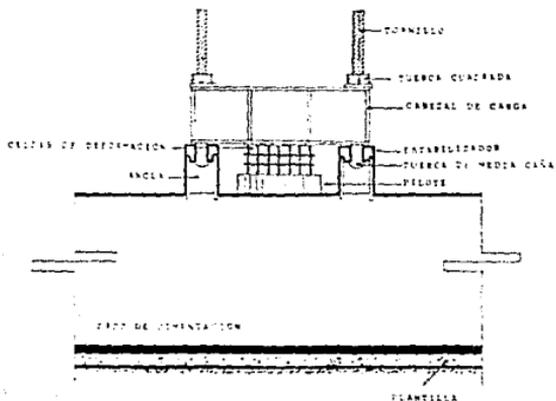


Figura 2.2.1-6  
Celdas de deformación

En la Figura 2.2.1-7 se muestra el arreglo de cada una de sus partes que componen en conjunto al dispositivo de control.



(a)



(b)

Figura 2.2.1-7  
Partes que componen al dispositivo de control

### 2.2.2 Pilote

Los pilotes utilizados en el sistema de Pilote de Control, son de dos diferentes tipos:

- a) Pilote precolado o prefabricado
- b) Pilote monolítico

a) Pilote precolado o prefabricado:

Este pilote se compone de tramos cilíndricos y su capacidad de carga varía de acuerdo a su diámetro, siendo para todos los casos de 0.90 m. de longitud, (Véase Figura 2.2.2-1). Los diámetros que se manejan van de acuerdo a la capacidad de carga de cada pilote, a saber:

Diámetro ( m )	Carga admisible ( ton./pilote )
0.40 - 0.45	100
0.50 - 0.55	125
0.60	150

La característica que tiene éste pilote, es que permite su hincado en espacios muy reducidos. Se puede hincar antes de la construcción del edificio, durante la construcción del mismo, - después de ya construido; o en el momento que se crea oportuno.

En el caso de poderlo hincar durante la construcción del edificio, se tiene como consecuencia un importante ahorro de tiempo en la ejecución de la obra, debido a que se pueden construir dos fases a la vez:

## 1a Hincado del pilote

## 2a Construcción del edificio

Es necesario tomar en cuenta que en la construcción se -  
deben tener por lo menos los dos primeros niveles construidos,  
ya que el peso de éstos ayudará al pilote a hacer parcialmente  
un contrapeso, pues de no existir éstos hará que el dispositi-  
vo de control colocado levante a la cimentación por no tener -  
el contrapeso suficiente debido a los primeros niveles cons -  
truidos.

Como se puede observar, la diferencia que existe entre el  
pilote de control y los pilotes comunes (generalmente hincados  
a percusión), es que estos últimos se necesitan hincar antes -  
de que se construya el edificio, haciendo que se pierdan de -  
uno a dos meses de tiempo al ejecutar esta parte de la obra, -  
cosa que no sucede con el pilote de control.



Figura 2.2.2-1.  
Tramos cilíndricos precolados o prefabricados

## b) Pilote monolítico:

El pilote monolítico se compone de tramos colados y con refuerzo continuo, para que una vez terminado quede de una sola pieza (Véase Figura 2.2.2-2).

Los tramos colados son de 2.00 m. y la carga admisible por pilote varía según su diámetro. Por ejemplo:

Diámetro (m)	Carga admisible (ton./pilote)
0.40	100
0.50	125

Los elementos de que consta el pilote monolítico son los siguientes:

- 1.- Punta precolada de concreto que lleva en su centro una tuerca derecha, en la cual se va a apoyar el peso total del pilote.
- 2.- Armado de fierro en forma de columna, anclado y sujeto a la punta precolada.
- 3.- Cimbra de cartón exterior al pilote, que se deja perdida con el mismo pilote.
- 4.- Barra de suspensión que tiene todas sus uniones o coples izquierdos con excepción de la punta que penetra en una tuerca derecha, en la cual se apoya el peso total del pilote y que va sujeta a la punta precolada.
- 5.- Para cubrir la barra de soporte, va un tubo de lámina (yarda) el cual evita que la barra soporte se pierda dentro del colado del pilote.

Las características que tiene éste pilote son las mismas que las del pilote precolado o prefabricado, sólo que el pilote monolítico es poco usado pero en algunos casos se utiliza todavía.

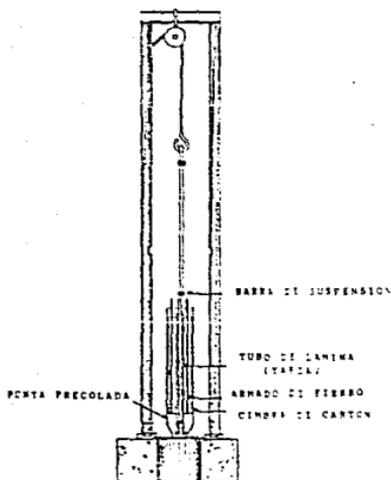


Figura 2.2.7-2  
Pilate monolítico

## 2.3 Funcionamiento

Quando en el terreno donde esté cimentada la construcción no exista por el momento un asentamiento debido al proceso del hundimiento que sufre la Ciudad, el dispositivo de control inicialmente no funciona, puesto que aún no soporta carga alguna; pero cuando empiezan a producirse asentamientos diferenciales en el edificio, el dispositivo de control empieza a funcionar, ya que origina una carga en el pilote, la cual es absorbida por las celdas de deformación y es así como el dispositivo de control impide parcialmente que la construcción se asiente repentinamente.

A medida que vaya aumentando la carga en el dispositivo de control, a causa del asentamiento paulatino del edificio, las celdas de deformación van disminuyendo su volumen, haciendo que a la vez el pilote vaya sobresaliendo respecto al nivel de la construcción, siendo este emergimiento de la misma magnitud que el asentamiento producido en el terreno (Véase Figura 2.3-1).

Pero, cuando se llega a producir una sobre carga excesiva en el dispositivo de control, ocasiona la deformación máxima permisible en las celdas de deformación, debido a que éstas llegan a su límite plástico las cuales sólo son funcionables hasta ese intervalo (Véase Figura 2.3-2).

Una vez que se ha alcanzado este límite, se debe hacer el cambio de las celdas de deformación, ya que de no hacerlo el comportamiento del pilote será semejante al de punta, por no haber elemento que se deforme bajo la carga que transmite el pilote, ya que las celdas llegaron a su máximo permitido.

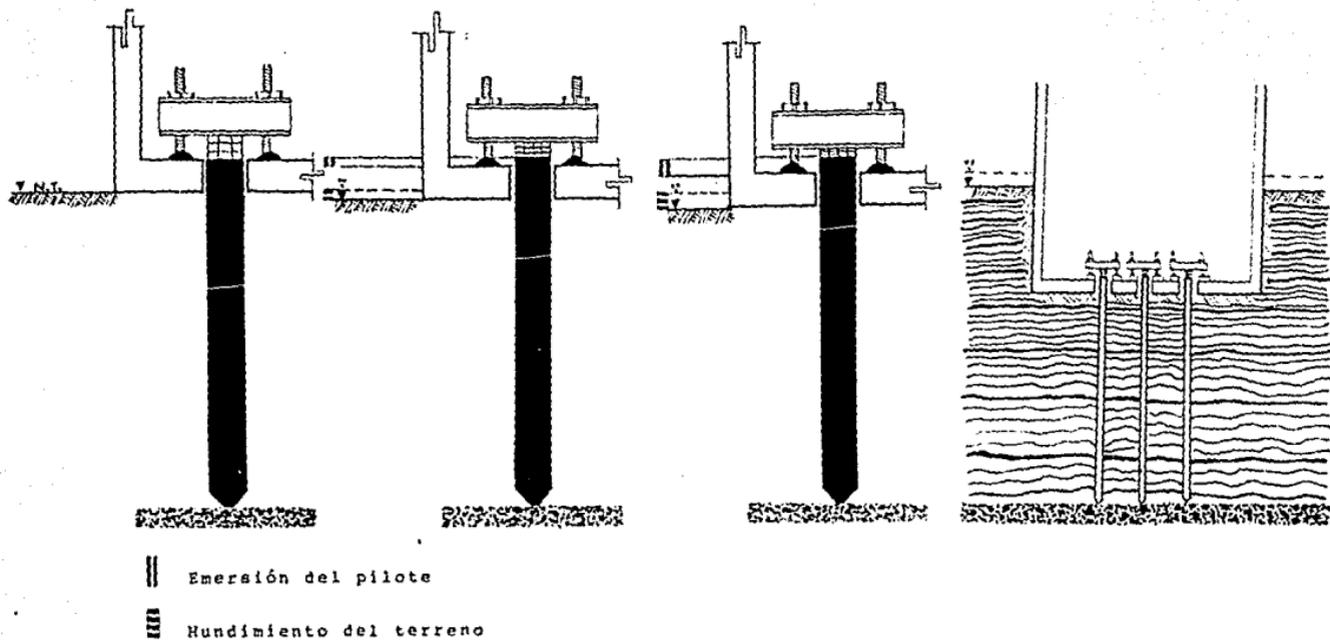


Figura 2.3-1  
Funcionamiento del pilote de control



Figura 2.3-2  
Celda de deformación deformada

Cuando funciona correctamente el pilote de control se consigue que:

- a) Las capas de arcilla atravesadas por los pilotes se vayan consolidando.
- b) El edificio vaya descendiendo junto con el terreno.
- c) El pilote vaya penetrando dentro del edificio, aplastando las celdas de deformación, sin modificar la carga que el pilote venía soportando, ya que las celdas de deformación están trabajando hasta la zona plástica, donde permite una gran deformación sin disminución de carga.

Por otra parte, el edificio al descender junto con el terreno, desplaza la arcilla que cuelga o se adhiere a los pilotes (fricción negativa); aprovechando esta adherencia en soportar al edificio sobre el terreno mismo, y así convirtiendo la fricción negativa en positiva.

Para determinar la capacidad de carga del pilote de control, se hace multiplicando el número de cubos de la capa por el número de capas y por las toneladas que soporta cada cubo.

Teniendo en cuenta el hundimiento de la Ciudad de México los pilotes de control se sujetan a diferentes tipos de cargas, debido a los asentamientos diferenciales que sufre el terreno sobre el edificio.

De esta manera para poder nivelar al edificio, se le debe dar al pilote de control un mantenimiento preventivo o correctivo, dependiendo del caso que se presente. Sobre este punto, se explicará con mayor detalle en el Capítulo 4.

En la Figura 2.3-3 se muestra la gráfica Carga vs. Deformación de una celda de deformación al ser comprimida por una carga, pudiéndose observar su comportamiento en tres diferentes etapas de deformación.

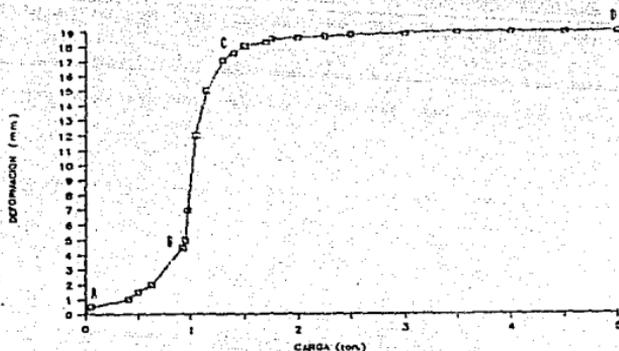


Figura 2.3-3  
Gráfica Carga vs. Deformación

De "A" a "B" el comportamiento es elástico,

De "B" a "C" el comportamiento es plástico - y permite la penetración del pilote sobre - la cimentación, sin variar en éste la carga del pilote.

De "C" a "D" el comportamiento permanece - constante, haciendo que en este intervalo - ya no exista deformación alguna en las cel - das de deformación.

Para poder desarrollar su invento, el Ing. Manuel González Flores, basa su descubrimiento en dos ideas fundamentales:

- 1) Al ver que los pilotes se colocaban por debajo de las columnas o trabes de cimentación y no poder hacer nada para evitar que éste siguiera ocasionando daños; optó por ponerlos a un lado dejando que los pilotes atravesen libremente la losa de cimentación.
- 2) Transmitir el peso de la construcción a la cabeza de los pilotes através de celdas (cubos de madera), que permiten la deformación en forma controlada.

# CAPITULO 3

## PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO (CIMENTACION Y RECIMENTACION)

### 3.1 Estudios preliminares

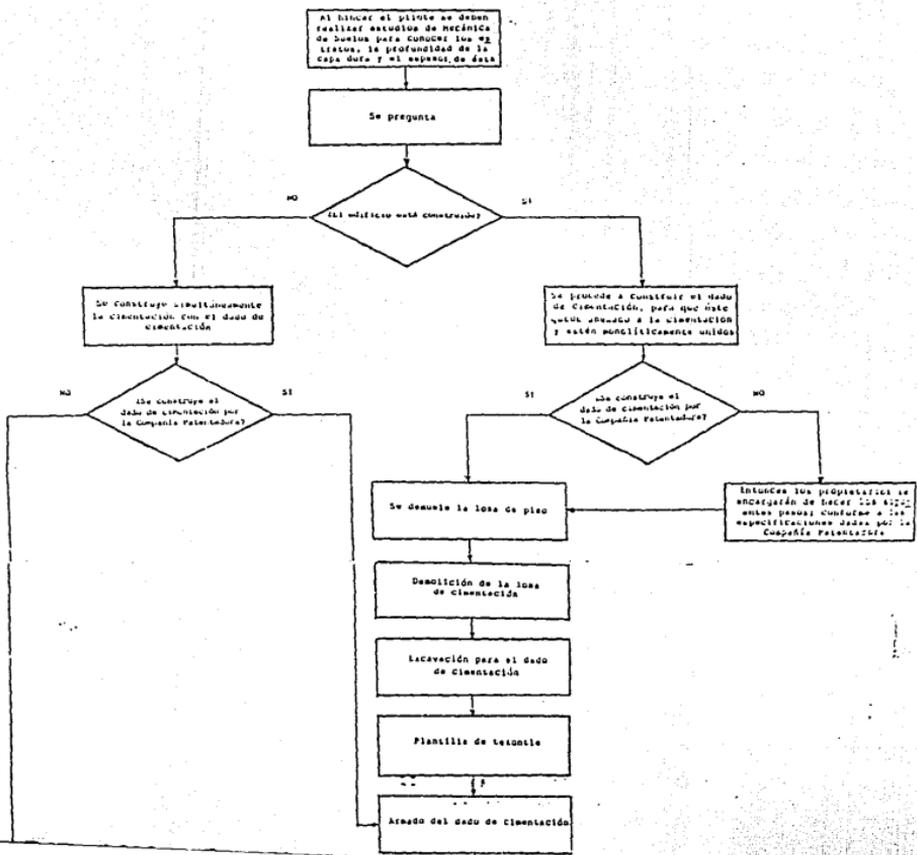
Antes de iniciar una cimentación o recimentación de un edificio con el "Sistema Pilote de Control", se deben realizar estudios previos de las condiciones en que se encuentra.

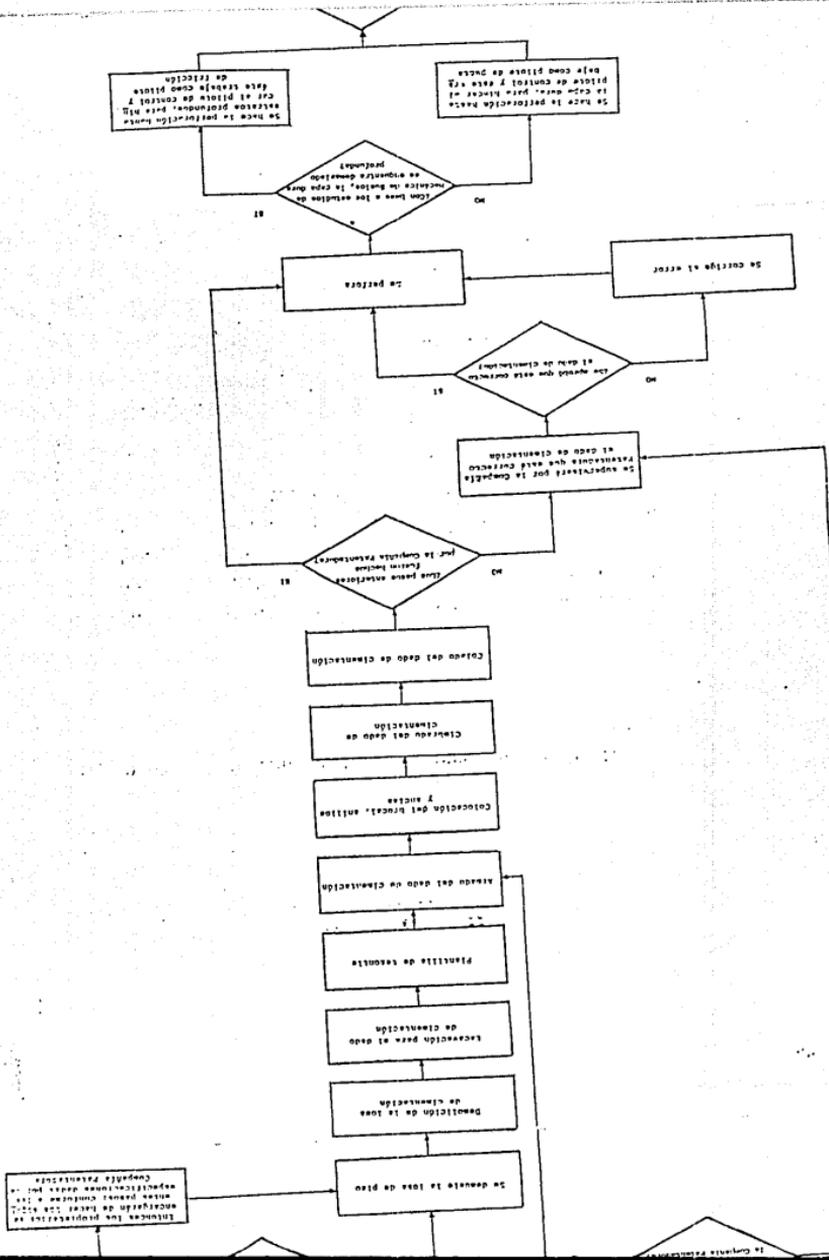
Entre éstos estudios se destacan principalmente los siguientes:

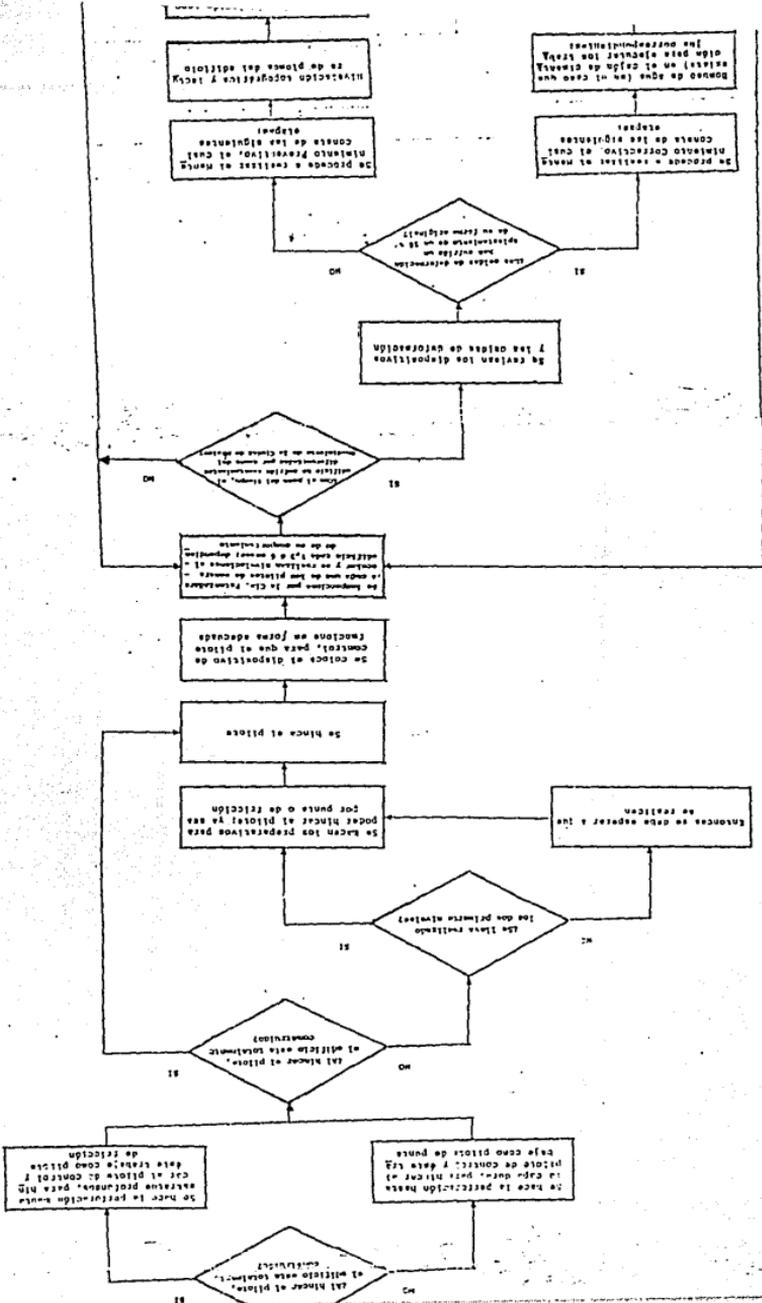
- a) Un estudio topográfico para poder observar las condiciones en que se encuentra el terreno por causas del hundimiento, y con ésto saber el grado que tiene el edificio al sobresar de la superficie o el desplome que ha tenido.
- b) Estudio de Mecánica de Suelos, para conocer la estratigrafía del terreno y determinar la profundidad de la capa resistente.
- c) Saber la carga tributaria que soporta cada columna sobre la cimentación del edificio, con el objeto de calcular y ubicar a los pilotes de control.

### 3.2 Diagrama general del "Sistema Pilote de Control"

El diagrama que se muestra a continuación, comprende - las actividades de manera general que la Cía. Patentadora - realiza durante las etapas de cimentación, recimentación y conservación, al instalar el Sistema Pilotes de Control en un edificio cimentado en la Cd. de México.







Se procede a verificar el nivel de aceite en el cárter de la cámara de los cilindros.

Se procede a verificar el nivel de aceite en el cárter de la cámara de los cilindros.

¿Hay aceite de lubricación en el cárter de la cámara de los cilindros?

Se verifica la disposición y las celdas de refrigeración.

Se procede a verificar el nivel de aceite en el cárter de la cámara de los cilindros.

Se procede a verificar el nivel de aceite en el cárter de la cámara de los cilindros.

¿Hay aceite en las celdas de refrigeración?

Se coloca el dispositivo de control para que el piloto pueda hacer el piloto y se hacen los preparativos para el arranque.

Se verifica la disposición y las celdas de refrigeración.

Se coloca el piloto.

¿Se hacen los preparativos para el arranque?

¿Las llaves están en posición?

¿El motor está funcionando?

¿El motor está funcionando?

Se hace la perforación hasta que el motor arranque y se hace la perforación hasta que el motor arranque y se hace la perforación hasta que el motor arranque.

Se hace la perforación hasta que el motor arranque y se hace la perforación hasta que el motor arranque y se hace la perforación hasta que el motor arranque.

¿El motor está funcionando?



### 3.3 Dado de cimentación

El dado de cimentación es una estructura de concreto reforzado cuya forma es semejante a la de un tetraedro, y constituye la parte complementaria del pilote de control puesto que en él van colocadas las anclas que ayudarán a sujetar el dispositivo de control.

Su objetivo es el de anclar el dispositivo de control a la estructura; es muy importante que su ubicación sea siempre a un lado de la columna, haciendo esquina con las contra-trabes de cimentación, (Véase Figura 3.3-1).

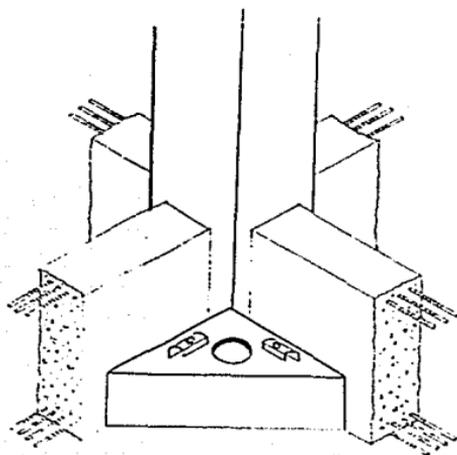


Figura 3.3-1  
Perspectiva del Dado de Cimentación

La estructura del dado de cimentación está compuesta por un brocal de lámina, cinco anillos y una trabe, la cual va reforzada y se hace monolítica con las contra-trabes de cimentación.

Cabe aclarar que el dado de cimentación expuesto en esta tesis es construido por la Compañía Patentadora cuando el edificio está construido, ya que la misma empresa se hace responsable de las diferentes etapas constructivas.

Cuando el edificio apenas se va a construir, el dado de cimentación puede ser realizado por los constructores del mismo edificio, sea quien sea con las especificaciones del armado, colocación del brocal y anclas que le son proporcionadas y supervisadas por la Compañía Patentadora, (Véase Figuras 3.3-2 y 3.3-3).



Figura 3.3-2  
Construcción del dado de cimentación por la Cía. Patentadora



La construcción del dado de cimentación es realizado en ocho diferentes etapas, las cuales requieren cada una de especificaciones adecuadas, personal calificado y materiales de óptima calidad.

Las etapas del proceso constructivo son:

- 1a. Demolición de la losa de piso
- 2a. Demolición de la losa de cimentación
- 3a. Excavación para el dado de cimentación
- 4a. Plantilla de tezontle
- 5a. Armado del dado de cimentación
- 6a. Colocación del brocal y las anclas
- 7a. Cimbrado del dado de cimentación
- 8a. Colado del dado de cimentación

El número y la colocación de los dados de cimentación dependen de la carga tributaria que soporta cada una de las columnas, originando con esto diferentes alternativas de construcción para el dado de cimentación. Una de las alternativas que más se utiliza es la de construirlo en forma corrida, ya que así evita que éste se traslape con otro. Esta alternativa se lleva a cabo en el caso de que se encuentren dos columnas con una carga de soporte demasiado alta y una distancia de separación relativamente corta, como se observa en la Figura 3.3-4

También se llega a tomar la alternativa de colocar el dado de cimentación a los costados de la contra-trabe de cimentación, debido a que ésta es excesivamente pesada y/o tenga una longitud demasiado grande.



Figura 3.3-4  
Dado de cimentación corrido

Al proyectar el dado de cimentación, éste debe tener siempre un espesor de 0.80 m. y sujetarse generalmente a las condiciones de diseño ya establecidas en la construcción, siempre y cuando no se violen las especificaciones en los peraltes dados por la Compañía Patentadora, los cuales son los siguientes:

- a) El nivel superior del dado de cimentación deberá estar cuando menos 10 cm. por encima del nivel superior de la losa de cimentación, ya que esto evitará que se llegue a inundar, debido al nivel que pueden tener las aguas freáticas.

- b) La altura entre el lecho bajo de la losa de piso y la parte superior del dado de cimentación debe ser de 1.20 m. como mínimo para que aquella no obstaculice las maniobras de trabajo en el mantenimiento del dispositivo de control.

En la Figura 3.3-5 se muestra el ejemplo de proyecto para el dado de cimentación con las especificaciones dadas por la - Compañía Patentadora y sujetándose a las condiciones de diseño del inmueble.

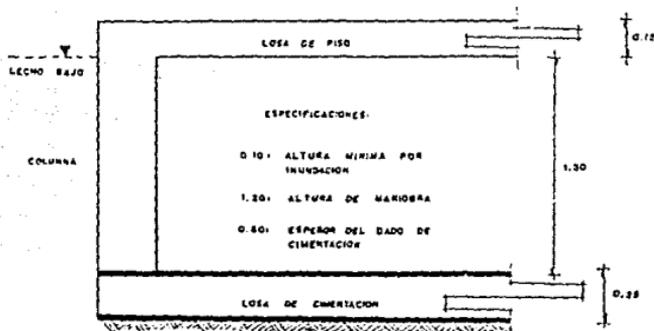


Figura 3.3-5  
Alturas especificadas por la Cía. Patentadora

- 1.- La elevación del nivel superior del dado de cimentación, debe ser mayor o igual que la elevación mínima por inundación. Para esto se le resta la altura de maniobra a la altura que existe entre el lecho bajo de la losa de piso y el nivel superior de la losa de cimentación, es decir:

$$1.50 \text{ m} - 1.20 \text{ m} = 0.30 \text{ m}$$

Por lo tanto será la altura de 0.30 m la que va a tener el dado de cimentación a partir del nivel de la losa de cimentación, debido a que cumple con los 0.10 m de altura por inundación, y por lo consiguiente con la altura por maniobra, siendo ésta:

$$1.50 \text{ m} - 0.30 \text{ m} = 1.20 \text{ m}$$

- 2.- Para conocer la profundidad de excavación parcial que va a necesitar el dado de cimentación a partir del nivel de la losa de cimentación, se le resta la suma de las alturas del dado de cimentación y de la losa de cimentación, al del espesor del dado de cimentación. Esto es:

$$0.60 \text{ m} - (0.30 \text{ m} + 0.25 \text{ m}) = 0.25 \text{ m}$$

- 3.- Finalmente, la profundidad de excavación total se obtiene sumando 0.05 m de profundidad de plantilla, a los 0.25 m de profundidad parcial.

$$0.25 \text{ m} + 0.05 \text{ m} = 0.30 \text{ m}$$

En la Figura 3.3-6 se muestran las alturas diseñadas para el dado de cimentación.

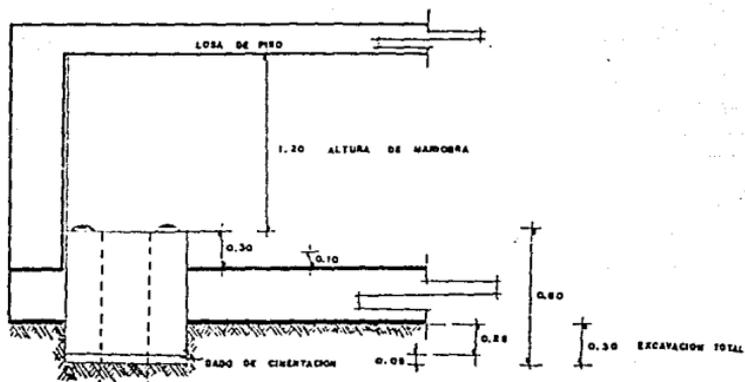


Figura 3.3-6  
Alturas diseñadas para el dado de cimentación

### 3.4 Hincado del pilote

Antes de proceder a hincar el pilote se requiere que el dado de cimentación esté terminado en su totalidad para que la máquina perforadora realice la perforación previa al hincado. Esta perforación se hace hasta la capa dura, debido a que el pilote de control se apoya sobre ésta, aunque puede hincarse también a fricción.

Debe tenerse especial cuidado en que haya un espacio aproximado de 2.5 ó 3.0 cm entre el perímetro del pilote y las paredes del orificio del dado de cimentación, para que permita el libre paso del pilote, ya que si no se cumple con este requisito se originarán modificaciones en las condiciones de asentamiento de la construcción, por la fricción entre el pilote y el dado de cimentación.

La máquina con que se realiza la perforación se puede adaptar de acuerdo a las necesidades de área y altura disponibles para las diferentes maniobras, ya que ésta se forma de una cabina de draga LS-1088 la cual tiene un motor eléctrico que aporta la fuerza de rotación necesaria para que la broca gire perforando el terreno, (Véase Figura 3.4-1). Durante la perforación a la máquina perforadora se le tiene que estar agregando agua a presión para que salga bombeado por otro conducto el lodo desalojado, y pueda así trabajar sin fatigas la broca de perforación.

Para el hincado del pilote precolado o prefabricado, se hace por medio de presión a través de gatos hidráulicos mediante tramos cilíndricos; los cuales anteriormente fueron mostrados en la Figura 2.2.2-1 del Capítulo 2.

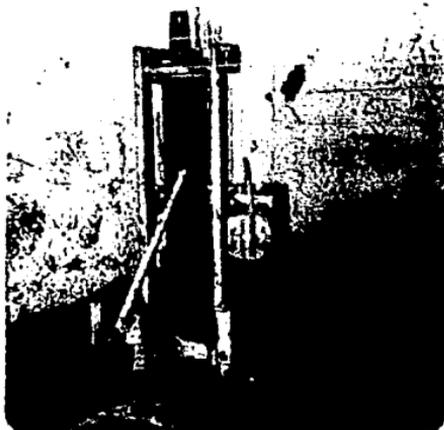


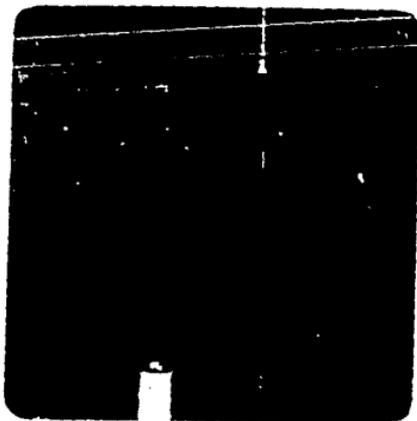
Figura 3.4-1  
Máquina perforadora

El pilote precolado o prefabricado queda de una sola pieza monolítica; ya que tiene una perforación central en toda su sección longitudinal, por donde se le introduce un armadure de varillas para, posteriormente ser llenado con concreto. Los tramos se unen por medio de juntas de concreto para garantizar mejor la unión del pilote.

El proceso de hincado es un ciclo repetitivo debido a - que lo limita el pistón del gato hidráulico, pues una vez que ha alcanzado su máximo recorrido éste tiene que retirarse jun to con un cabezal diseñado para este caso, posteriormente se coloca el siguiente tramo y el procedimiento continúa hasta - que se logre el tamaño requerido del pilote.

Este proceso se puede apreciar con mayor detalle en la Figura 3.4-2

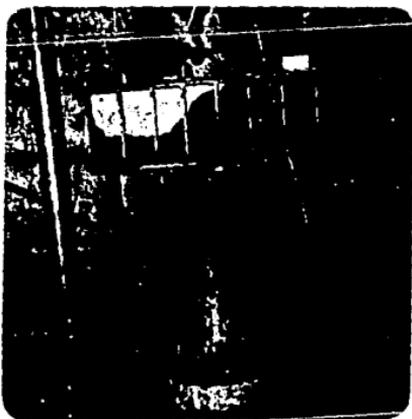
Al finalizar el hincado, si el último tramo del pilote - no queda a nivel del dado de cimentación tendrá por consi - guiente que recortarse o en su defecto se le adaptará un tra - mo cilíndrico colado o prefabricado más pequeño, denominado - por la Cía. Patentadora "galleta".



12 Ciclo  
Hincado del tramo del pilote



22 Ciclo:  
Recorrido del pistón del gato hidráulico



32 Ciclo  
Recorrido máximo del pistón en el gato hidráulico



42 Ciclo:  
Cambio del gato hidráulico y colocación  
del siguiente tramo del pilote

Figura 3.4-2  
Proceso de hincado del pilote precolado

NO DEBE  
SALIR DE LA  
BIBLIOTECA

En el hincado del pilote monolítico también se requiere que el dado de cimentación esté terminado, para que la máquina perforadora realice la perforación previa al hincado. Al término de esto se rellena de lodo bentonítico, para evitar el derrumbe en las paredes que ocasionó la perforación.

Para no hacer mención nuevamente a los elementos de que consta el pilote monolítico, éstos fueron dados a conocer con anterioridad en la Figura 2.2.2-2 del Capítulo 2.

El proceso constructivo e hincado del pilote se realizan simultáneamente, ya sea desde un 3º ó 4º nivel de un edificio construido o al estarse construyendo, con la condición de que éste último tenga realizado los tres primeros niveles.

Los pasos a seguir en éste proceso son los siguientes: sobre un gancho se cuelga una polea, la cual tiene sujeta la punta precolada y el primer tramo del pilote monolítico y se hace descender por medio de una barra de suspensión, hasta dejar un espacio igual a un nuevo tramo de pilote por agregar. En cada tramo de pilote monolítico se le coloca una barra de suspensión, un tubo de lámina (para proteger a la barra de suspensión de no ser colada junto con el pilote), un armado de acero y una cimbra de cartón, la cual se pierde al ser hincado el pilote. Posteriormente se continúa colando in situ el siguiente tramo del pilote y se vuelve a sujetar con la barra de suspensión para hacer descender nuevamente al pilote. (Véase Figura 3.4-3).

El pilote construido de ésta manera queda finalmente monolítico y los pasos del proceso constructivo e hincado se realizan cuantas veces sea necesario (Véase Figura 3.4-4).



Tramo de pilote monolítico colado in situ



Colocación del tramo de pilote monolítico

Figura 3.2-3  
Colocación y colado del pilote monolítico

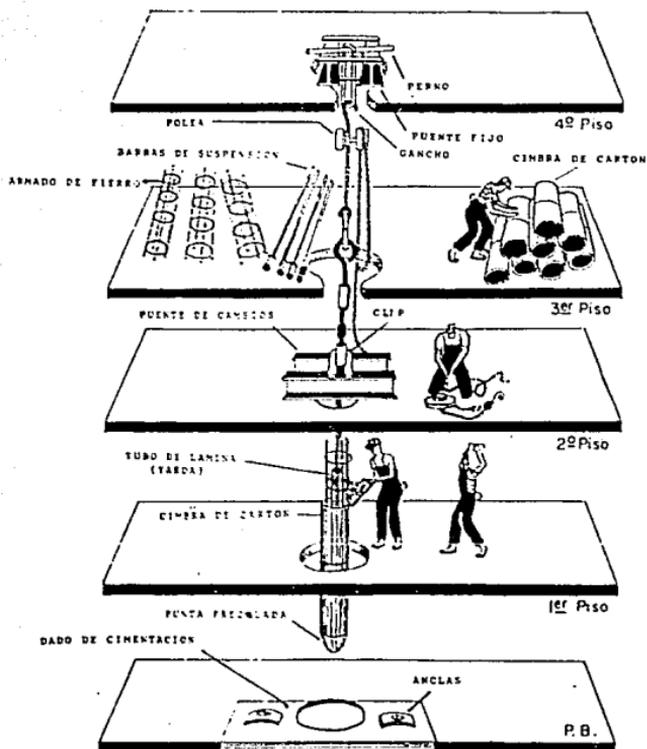


Figura 3.4-4  
Proceso constructivo e hincado del pilote monolítico

### 3.4.1 Sugerecias

Cuando una construcción no se requiera inicialmente de pilotes de control, la Cía. Patentadora da algunas sugerencias - al respecto.

- 1.- Recomienda colocar los pilotes a un lado de las columnas o traves de cimentación, debiendo tener con anterioridad la colocación de las anclas y sellado en la parte superior - del pilote un tapón de concreto, para poderse transformar - cuando se requiera en un pilote de control (Véase Figura - 3.4.1-1).

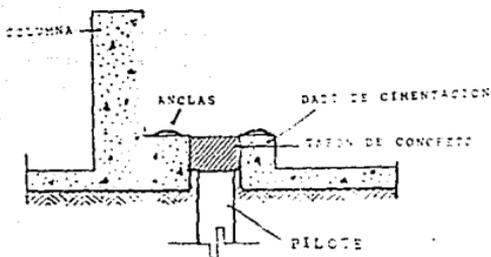


Figura 3.4.1-1  
Transformación de un pilote de control

- 2.- Siempre que exista la posibilidad de necesitarse más pilotes se debe dejar una preparación en la cimentación, el - cual consta de un dado de cimentación, anclás y un tubo - de lúmina; éste último se rellena con 10 cm. de arena lim - pia y se cubre con concreto 5 cm., y dejando como señalamiento una varilla. Para cuando se requiera colocar en - un futuro un pilote, basta con demoler los 5 cm. de con - creto y retirar la arena limpia.

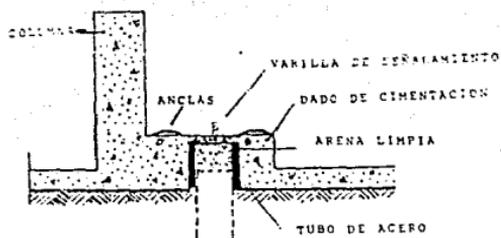


Figura 3.4.1-2  
Preparación para un futuro pilote de control

- 3.- El pilote de control necesita mantenimiento preventivo o correctivo; si el propietario del inmueble no piensa darle a través de la Cía. Patentadora ese mantenimiento, es mejor que no lo use. Ya que de no hacerle el mantenimiento se ocasiona graves daños al dispositivo de control, - (Véase Figura 3.4.1-3).



Figura 3.4.1-3  
Daños causados al dispositivo de control  
por falta de mantenimiento

# CAPITULO 4

## CONSERVACION EN EDIFICIOS

### 4.1 Mantenimiento

Una vez que se ha colocado en la cimentación del edificio el sistema "Pilote de Control", el propietario de éste deberá darle servicio de mantenimiento para que el sistema sea funcio  
nable.

El mantenimiento lo hará la Cía. Patentadora y lo realizará -  
por etapas, de acuerdo a la seguridad, garantías y especifica-  
ciones propias de ella misma.

El mantenimiento consta de dos etapas, y se le conoce -  
como "Conservación en edificios", siendo las cuales:

- 1a. Mantenimiento Preventivo
- 2a. Mantenimiento Correctivo

Los pasos a seguir en el Mantenimiento Preventivo son los  
siguientes:

- I. Tomar nivelaciones en campo, en cada uno de los  
puntos fijos para determinar su comportamiento.

- I.1 Graficar individualmente cada punto con los  
datos obtenidos.

- II. Gráfica de la nivelación, dibujan curvas de -  
igual asentamiento sobre el plano de la unidad -  
correspondiente.
  
- III. Efectuar el bombeo en caso de requerirse para -  
llevar a cabo la revisión y evaluación corres -  
pondiente.
  
- IV. Dos revisiones oculares por año a cada uno de -  
los dispositivos de control para verificar las -  
condiciones físicas en que se encuentran los di -  
ferentes elementos consistentes en:
  - IV.1 Verificar que las celdas de deformación no  
tengan deformaciones mayores que las permisi -  
bles.
  - IV.2 El buen estado del estopero (estopa alqui -  
tranada).
  - IV.3 Que el cabezal de carga no presente defor -  
maciones.
  - IV.4 Que no exista oxidación en los elementos.
  - IV.5 Que no existan fallas en la soldadura.

En el Mantenimiento Correctivo los pasos a seguir son los -  
siguientes:

- I. Bombeo en las celdas de cimentación para ejecutar los -  
trabajos correctivos.
  
- II. Descarga del pilote.

- III. Recorte y cabeceo de pilote.
- IV. Sellado con estopero.
- V. Suministro y colocación de las celdas de deformación.
- VI. Carga del pilote.
- VII. Limpieza y pintura de las partes metálicas.
- VIII. Limpieza del lugar de trabajo.

#### 4.1.1 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo tiene como objetivo observar el comportamiento que tiene el pilote de control a través del tiempo una vez que ha sido instalado.

Los pasos a seguir de ésta etapa, se describen a continuación:

##### I. Nivelación topográfica y lectura de plomos.

En esta actividad se toman nivelaciones en puntos establecidos alrededor del edificio, para determinar el comportamiento que sufre el terreno con relación al edificio. Una vez realizado esto, se grafica cada uno de los puntos obtenidos. Así también, si existe desplome en el edificio se realizan lecturas de plomos para conocer como avanza o disminuye con el tiempo (Véase Figura 4.1.1-1).

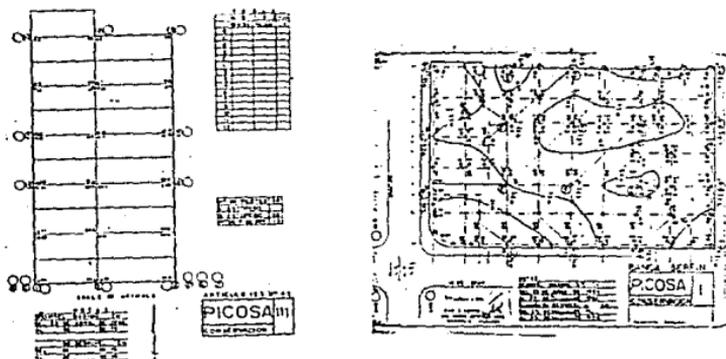


Figura 4.1.1-1  
Lectura de plomos

## II. Gráfica de nivelación.

Se realiza una nivelación dentro del propio edificio, y los datos obtenidos se vacían en una tabla tipo que contiene a la planta del edificio, con la localización de los pilotes de control y los puntos donde se realizaron las nivelaciones.

Posteriormente, sobre esta tabla se grafican las curvas de nivel o curvas de hundimiento (Véase Figura 4.1.1-2), que nos representa la parte del hundimiento que ha tenido el edificio y dar así mayor o menor carga al pilote de control en la parte en donde se requiera.



### III. Bombeo en las celdas de cimentación.

Una vez que se observó por medio de la tabla tipo, - el comportamiento de hundimiento que sufre el edificio; personal capacitado revisa de manera directa - el dispositivo de control.

Si éste se encuentra inundado por agua, debido al - nivel freático que se infiltra a través del pilote - de control, se efectúa el bombeo de agua si es que - lo requiere el caso.

### IV. Revisión del dispositivo de control.

La revisión que se realiza en el dispositivo de con - trol, será de dos veces al año y es para conocer el estado físico en que se encuentran sus elementos, - los cuales consisten en:

IV.1 Verificar que las celdas de deformación no ten - gan deformación mayor a 7 cm. (Véase Figura - 4.1.1-3).

IV.2 Verificar el buen estado del estopero, para - que no existan infiltraciones de agua entre el dado de cimentación y el pilote.

IV.3 Verificar que el cabezal de carga no presente - ningún giro respecto a su plano vertical, y no esté flexionado ni con pandeo lateral en su - conjunto o en alguna de las partes que lo for - men.

IV.4 Verificar que no exista oxidación en los ele - mentos del dispositivo.

IV.5 Verificar que no existan fallas en la soldadura ni deformaciones excesivas en las placas y anclas.



Figura 4.1.1-3  
Verificación de las celdas de deformación

#### 4.1.2 Mantenimiento correctivo

Este mantenimiento se aplica cuando las celdas de deformación tienen una deformación mayor del 50% de su forma original las cuales deben cambiarse, ya que de no hacerlo el pilote de control trabajaba de forma semejante a un pilote de punta, debido a que no hay capacidad de deformación en las celdas de deformación para que el pilote vaya sobresaliendo.

Los pasos a seguir de ésta etapa, son los siguientes:

- I. Bombeo en las celdas de cimentación para ejecutar los trabajos correctivos.

Este trabajo se realiza cuando exista agua infiltrada por el nivel freático a través del pilote de control y se acumule en dichas celdas.

- II. Descarga del pilote.

El pilote de control debe ser descargado para que éste no se comporte de manera semejante al pilote de punta, para lo cual debe realizarse la descarga de manera alternada, quitando las tuercas cuadradas del dispositivo de control en el pilote o en su caso cuando no se pueda hacer esto se golpea con martillo y cincel las celdas de deformación para eliminar la compresión que sufren éstas y se pueda fácilmente descargar el pilote (Véase Figura 4.1.2-1).



Figura 4.1.2-1  
Descarga del pilote

### III. Recorte y cabecear del pilote.

Cuando la construcción a través del tiempo se ha asentado una cierta magnitud, el extremo superior del pilote sobresale del dado, la altura que sobresale puede ser tal, que la longitud de los tornillos no sea suficiente para que funcione el dispositivo de control; aparentemente queda obsoleto dicho dispositivo. Lo que se hace en éstos casos es: Retirar el dispositivo de control del pilote por un intervalo de tiempo de 3 hrs. aproximadamente y en forma alternada para evitar asentamientos en la construcción; desmontado el dispositivo se procede a recortar el extremo superior del pilote la altura que ha sobresalido y una vez terminado esto, se procede a cabecear el pilote. El cabeceo consiste en darle la forma circular al pilote en el extremo superior, con un concreto de  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$  para

que éste soporte la carga de compresión nuevamente,  
(Véase Figura 4.1.2-2 y 4.1.2-3).



Figura 4.1.2-2  
Recorte del pilote



Figura 4.1.2-3  
Cabeceo del pilote

#### IV. Sellado con estopero.

El sellado con estopero impide que penetre el agua a la cimentación del edificio, debido al nivel freático que existe en la zona. Este sellado se realiza colocando capas de estopa alquitranada bien retacadas con martillo y cincel alrededor del pilote, (Véase Figura 4.1.2-4).



Figura 4.1.2-4  
Sellado con estopero

#### V. Suministro y colocación de las celdas de deformación.

Una vez terminado el cabeceo se procede a cambiar de nuevo las celdas de deformación, ya que en éstas la capacidad de deformación ha llegado a su límite elástico, por lo que hace inútil la utilización de dichas celdas.

Se debe tomar en cuenta, que antes de colocar las celdas de deformación, éstas deben ir puestas en sentido perpendicular a la fibra de la madera; para asegurarse de esto se le señala con pintura (Véase Figura 4.1.2-5).



Figura 4.1.2-5  
Colocación de las celdas de deformación

#### VI. Carga del piloto.

Cuando se han terminado de poner las celdas de deformación, se coloca el cabezal y se aprietan las tuercas, para que el pilote trabaje nuevamente a compresión; ya que esto hace que el pilote quede cargado nuevamente y vaya deformando una vez más las celdas de deformación con el paso del tiempo (Véase Figura 4.1.2-6).

Cuando se libera de las cargas que tienen algunos pilotes y se cargan a otros en zonas opuestas, se logra

que el edificio se asiente en la forma y magnitud que se requiera.



Figura 4.1.3-6  
Carga del pilote

VII. Limpieza y pintura de las partes metálicas.

Las partes que componen al pilote de control, tales como: tornillos, tuercas, anclas y cabezal de cargador limpiados, engrasados y pintados para mantenerlos siempre en buen estado.

VIII. Limpieza del lugar de trabajo.

Una vez concluidos los pasos anteriores, se procede a sacar el escombros que ocasionó la reparación del pilote, y se deja limpio el lugar donde se trabajó.

# CAPITULO 5

## EJEMPLOS DE APLICACION

### 5.1 Iglesia del "Convento de las Capuchinas"

La iglesia del Convento de las Capuchinas<sup>9</sup> está ubicada - en el costado oriente de la antigua Basílica de Guadalupe, y según datos ésta se terminó de construir en el año de 1787. El terreno en la cual se está cimentada presenta una estrati - grafía (Véase Figura 5.1-1) con depósitos arcillo-arenosos - o limosos, con capas de arcilla compresible a diferentes pro - fundidades, siendo en el lado oriente y sur de la iglesia - el espesor de la capa de arcilla superior a la de los lados - norte y poniente.

De acuerdo con una nivelación piezométrica hecha en el - año de 1952 el nivel freático se encontraba en aquel entonces - a 2.70 m. bajo la superficie; a la profundidad de 13 m. el aba - timiento de presión era de 0.4 kg/cm<sup>2</sup>, aumentaba a 0.5 kg/cm<sup>2</sup> - en la profundidad de 26 m., teniendo en los estratos más pro - fundos una depresión de 0.8 kg/cm<sup>2</sup>. Estas observaciones mues - tran que la causa del hundimiento de la iglesia, son las alte -

---

<sup>9</sup> Trabajo de Ingreso del Ing. Manuel González Flores. Curso Académico de Número de la Comisión de Ingeniería Civil. México, D.F., 21 de junio de 1979. Boletín Informativo, Vol. 11, Núm. 3. Academia Mexicana de Ingeniería.



raciones de las presiones neutrales provocadas por el excesivo bombeo del agua subterránea (Véase Figura 5.1-2).

El número de golpes necesarios para atravesar las capas - en el sondeo, es proporcional a su dureza y en forma aproximada inversamente proporcional a la deformación de las capas - atravesadas; de acuerdo con lo anterior se muestran en la Figura 5.1-3 los 4 sondeos cercanos a las cuatro esquinas, indicando los golpes necesarios para atravesar las capas de 4 a 21 m.- De las relaciones de número de golpes de los sondeos, en el estudio de mecánica de suelos, se observa la diferencia de deformación en el terreno; lo que produce las inclinaciones en la iglesia.

Se hicieron excavaciones a cielo abierto a los lados de - los muros de la iglesia, para conocer el material y dimensiones de sus cimientos, y se encontró que los cimientos de los - muros verticales, horizontales y transversales eran de diferente medida, variando entre 1.0 a 4.30 m. de ancho y el tipo de construcción de los cimientos era de mampostería, así también se encontró que los muros están hechos de cantera y mortero - con piedras colocadas irregularmente.

Los cimientos, muros, bóveda y cúpula presentaban agrietamiento los cuales, los de mayor importancia, se lavaron a presión y se les inyectó concreto con aditivo conservador de volumen. Se le pusieron refuerzos precautorios durante las maniobras de levantamiento, como por ejemplo: para evitar que el empuje de las bóvedas pudiera ser peligroso durante el movimiento, se colocaron por fuera de la fachada en la parte norte y sur dos pares de canales separados unos de otros y colocados horizontalmente, donde están sujetos por dos tirantes que van de muro a muro.

La cúpula se sujetó con cables de acero en su parte inferior y se puso un cinturón de concreto perimetral en la base, así tam



Figura 5.1-2  
Hundimiento de la Iglesia del "Convento de las Capuchinas"

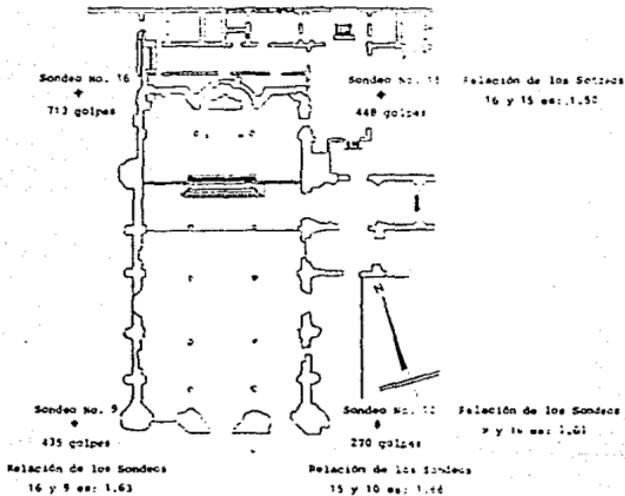


Figura 5.1-3  
Localización de los sondeos

bién a los muros del lado oriente y poniente se les pusieron canales de acero para reforzarlos. Por último, los dos arcos centrales que soportan la cúpula se troquelaron para poder soportar los movimientos que pudiera tener.

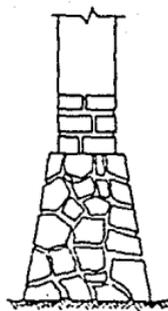
Para la colocación de los pilotes de control se estudiaron las bajadas de carga a los cimientos y se buscaron los centros de gravedad para cada uno de éstos, posteriormente se colocaron los pilotes para que coincidieran con dichos centros.

Para cualquier edificio que se necesite nivelar se le deben colocar pilotes de control para que soporte su peso en la zona a nivelar; después se quita el terreno del lado más alto para bajar dicha zona por medio del dispositivo de control, hasta que llegue al punto más bajo que tenía el edificio. Todo éste trabajo se hace sin el empleo de gatos hidráulicos; en el caso particular de la Iglesia del "Convento de las Capuchinas" no se podía hacer ésto; ya que bajarla 3.30 m. significaba desaparecer una parte muy importante de la iglesia. Por lo cual se decidió levantarla al nivel de la Antigua Basílica de Guadalupe.

Para el proyecto de levantamiento se decidió levantar al "Convento de las Capuchinas" junto con sus cimientos, debido que se presentaban las siguientes razones:

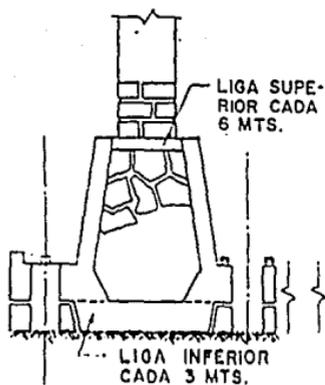
- a) La rigidez que los cimientos le dan a la iglesia.
- b) Los cimientos ya construidos, se reutilizarían nuevamente para el proceso de levantamiento.

Por lo consiguiente, ésta fue la manera más adecuada que al Ing. Manuel González Flores le pareció para levantar la iglesia del "Convento de las Capuchinas", ya que así pensó disminuir al mínimo los esfuerzos, (Véase Figura 5.1-4).



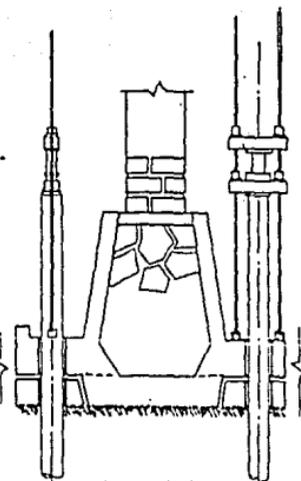
5.1-4(a)

CIMENTACION ORIGINAL DE MAMPOSTERIA



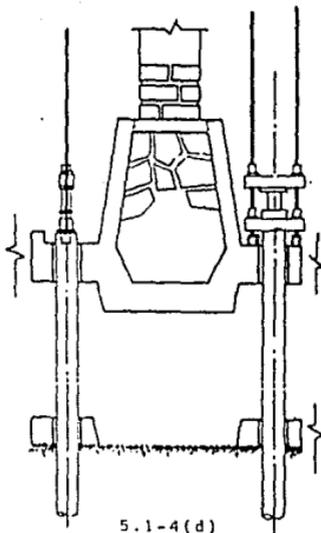
5.1-4(b)

CIMENTACION CON DOS TRABES AOSADAS CON - FINANDO LA CIMENTACION DE MAMPOSTERIA



5.1-4(c)

PILOTES DE CONTROL CON PUENTE Y GATO ADICIONAL PARA LEVANTAR CIMENTO Y EDIFICIO LA CANTIDAD QUE SE NECESITE



5.1-4(d)

PROCESO LEVANTAMIENTO

Figura 5.1-4  
Proceso de recimentación y levantamiento

En la Figura 5.1-4(a) se observa un cimiento de la iglesia horizontal o vertical, sin importar que éste sea más ancho que otros. En la Figura 5.1-4(b) se observa el mismo cimiento, en donde ya se le colocaron dos trabes en "L" abierta, anchos variables, según el cimiento, cubriéndole ambas caras para que la mampostería forme arcos y no pueda salirse o caerse; además el tramo horizontal llevará huecos con anclas a los lados para colocar a través de dichos huecos los futuros pilotes. Posteriormente, la iglesia quedará colgada de las anclas, los dos trabes laterales al cimiento tendrían a separarse, por lo que cada 3.0 m se colocaron tirantes de unión entre las dos trabes que cubrieran alrededor de la cimentación de mampostería; adicionalmente, a la misma distancia se colocaron unos muros con puerta de comunicación lateral, para que sirvieran de apoyo al tramo horizontal de las vigas.

En las trabes "L" abiertas la parte horizontal se coló encima de una pieza de concreto de 0.60 m. de peralte por 1.20 m. de ancho; pieza que quedó sobre el terreno y la cual sirvió para que los pilotes la atravesaran a través de huecos circulares dejados en ella, posteriormente se llenó con tierra compactada el espacio entre el pilote y el dado, para reducir la esbeltez de los pilotes, los cuales trabajarían como columnas al iniciarse el levantamiento del templo (Véase Figuras 5.1-4(c) y 5.1-4(d)).

Se le llamó cadena a la parte que formó las nuevas trabes de cimentación y quedó a 3.50 m. abajo de donde se encontraba la iglesia en su punto más hundido.

Se colocaron los pilotes; cada uno constó de dos partes, la baja se hizo con perforación previa y con secciones, los otros se hicieron con pilotes monolíticos de una pieza.

Para el equipo de levantamiento se colocó un gato de - 100 ton., con un manómetro sobre la cabeza en cada uno de los pilotes.

En la entrada de cada gato se puso un cuadro de conexiones - con un válvula de paso en la parte inferior, para que el aceite sólo pudiera entrar al gato sin poder salir; ya que al presentarse una falla los gatos se quedarían en su lugar con el émbolo fijo.

Para evitar daños a la iglesia por pequeñas diferencias en la carrera de los gatos, éstos se apoyaron en seis capas de - neopreno de 0.5 cm. de grueso cada uno, y al ser probados a - 100 ton. se tenía una deformación máxima de 1.5 cm. de tal - manera que las pequeñas diferencias que hubiera en la carrera del émbolo las absorbiera el neopreno.

La manera de levantar a la iglesia con los gatos hidráulicos se observa en la 5.1-5. Donde los pasos a seguir fueron los siguientes:

- a) Cuando se termina la carrera del gato hay que descargarlo; pero el edificio necesita seguir colgado de los pilotes, por ese motivo se - ideó el sistema de dos puentes con el gato intermedio (Véase Figura 5.1-5(a)).
- b) Al inyectar aceite varias veces al gato, el - émbolo sale, unos 22.5 cm., que es la carrera máxima que se usó; originando con esto que el cabezal superior subiera 22.5 cm. (Véase Figura 5.1-5(b)).
- c) Se levanta a la iglesia a través de las an - clas 22.5 cm.: y al llegar el émbolo a esa altura, se hace el cambio para enderezarlo.

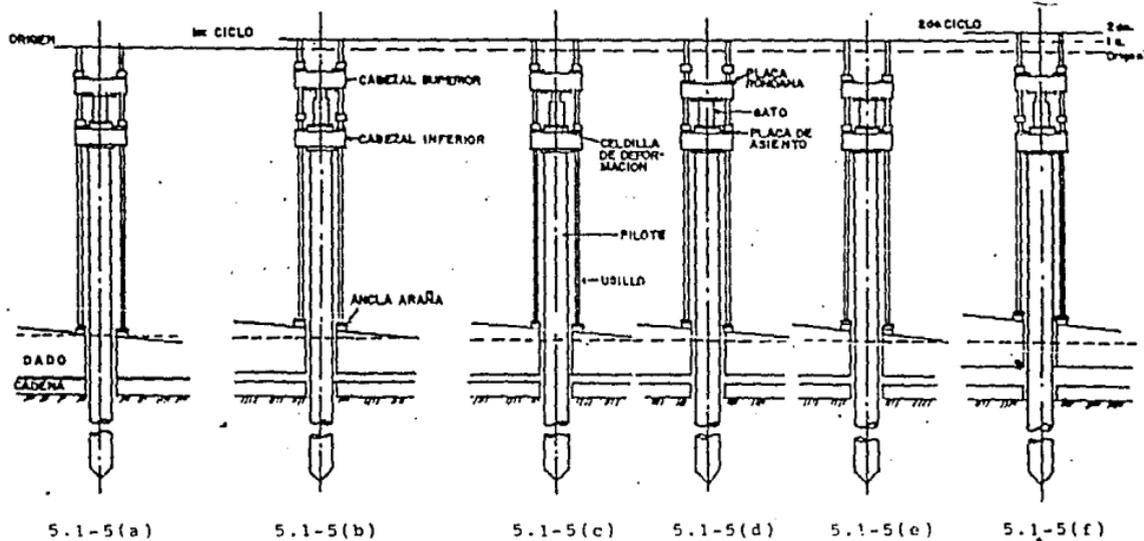


Figura 5.1-5  
Ciclo del proceso de levantamiento mediante gatos hidráulicos

- d) Se descienden las tuercas a mano para que vuelvan a descansar sobre el cabezal inferior con la idea de que sean ellas las que sopórt<sup>en</sup> a la iglesia, ya que se encuentra suspendida en el aire momentáneamente (Véase Figuras ( 5.1-5(c) y 5.1-5(d)).
- e) Asegurada la posición de la iglesia sobre el cabezal, se procede a quitar la presión en los gatos para que descienda el émbolo y el cabezal superior. En ese momento se bajan las tuercas superiores que se apoyaran otra vez en el cabezal superior (Véase Figura (5.1-5(e)), donde se inicia el segundo ciclo para levantar nuevamente la otra carrera del gato hidráulico (Véase Figura 5.1-5(f)).

Toda la operación se reduce a que con el cabezal superior se levanta a la iglesia, y con el cabezal inferior se soportamientras se hace el descenso del émbolo del gato hidráulico en los pilotes.

La precaución indispensable para levantar a la iglesia y controlar cualquier falla que pudiera dañar a ésta, durante el levantamiento, consiste en que simultáneamente a la elevación de la iglesia, se vayan bajando las tuercas sobre el cabezal inferior, es decir lo que el gato levantaba en cada inyección de 1 a 2 cm. y en ese momento el trabajador desciende las tuercas inmediatamente; de tal manera que aunque fallara el gato, la iglesia estaría soportado por el puente inferior.

Para levantar diferencialmente a la iglesia se proyectó que en la colocación de los pilotes quedaran hasta donde fuera posible en filas paralelas, tanto en la fachadas norte-sur como oriente-poniente, y se planeó que el levantamiento se

hiciera en dos etapas:

- 1a Levantamiento del lado sur hasta que cada punto de la fachada se encontrara a nivel de su correspondiente lado norte.
- 2a Una vez nivelado el lado sur se procedió a levantar el lado oriente hasta ponerlo a nivel.

Para levantar proporcionalmente a todos los émbolos de los gatos hidráulicos, se les inyectó aceite a dichos gatos para subir 1 cm. después se cerró la llave hidráulica y se volvió a inyectar a los restantes para subir 1 cm. posteriormente se cerró la llave y se inyectó a los otros restantes para subirlos; de igual manera se siguieron los mismos pasos hasta llegar a levantar a todos los émbolos. Se debe tomar en cuenta que para cada centímetro de inyección y levantamiento, las tuercas de cada cabezal inferior se bajaron rápidamente con la mano, hasta tocar nuevamente el cabezal inferior.

Después de subir todos los émbolos se realizaron las siguientes revisiones:

- a) Suma del tonelaje de los gatos de cada una de las 6 secciones en que se dividió a la iglesia.
- b) La suma de las cargas de cada sección, debía ser cercana al peso que se determinó que había en cada sección en el momento en que la iglesia se despegó del suelo y que deberían coincidir con las cargas calculadas.
- c) La gráfica de levantamiento de cada uno de los puntos, medida sobre los tornillos y gráfica de los niveles de manguera, ambas deberían estar -

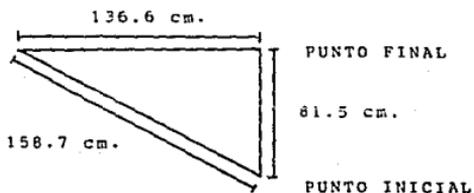
en línea recta.

- d) La variación de los plomos debería ser igual.
- e) El levantamiento de la iglesia con respecto a los pilotes debía ser proporcional a su distancia al eje de giro y semejante al movimiento de los tornillos de cada pilote.
- f) Revisión del acercamiento de los pilotes a las paredes de los brocales en los dados, por los cuales los pilotes atraviesan la cimentación.
- g) En relación con los movimientos que se pudieron producir fuera del templo, se llevaron las siguientes observaciones:
- 1.- Nivelación topográfica.
  - 2.- En cada esquina y en dos puntos centrales a nivel de piso se colocaron dos varillas con punta en sus extremos, siendo una continuación de la otra; las puntas se tocaban entre sí.
- Las varillas ancladas en la cimentación, se pintaron de color naranja y las anclas en el terreno de color azul. En estas varillas se pudieron apreciar los movimientos verticales y horizontales que fueron ocurriendo en la cimentación con respecto al terreno circundante.
- h) En la esquina oriente-sur, se colocó una viga horizontal amarilla y cortada a la mitad, fijado en su lado izquierdo en el extremo de la columna

oriente. y su lado derecho en la ménsula sobre el terreno. A la viga fija en la iglesia se le colgó un escala métrica de lámina marcada, para conocer visiblemente el movimiento del punto extremo. De igual manera se hizo en el extremo norte-oriente.

- i) Del centro de la linternilla sobre la cúpula, se bajó una plomada hasta el nivel de piso de la iglesia.

Se sacó el centro geométrico de la iglesia, y a partir de él se dibujó en ángulo recto. Las dos líneas que la punta de la plomada describió durante el levantamiento fue la siguiente:



Cuando se terminó de levantar el templo, se procedió a construir los cimientos y a colar las columnas que van de los cimientos que sirvieron para levantar a la iglesia a los nuevos cimientos que se construyeron.

Cuando las columnas se terminaron de construir, se les pudo recortar a los pilotes y se les colocaron sus dispositivos de control, con las cargas de proyecto que tenían que soportar.

De las nivelaciones que se vayan realizando con el tiempo se harán cambios necesarios para hacer que la iglesia -  
descienda con el hundimiento de la Ciudad al mismo tiempo.

## 5.2 Financiera Latina, S.A.

El problema a solucionar del edificio Financiera Latina, S.A. fue el desplome de 1.00 m. en 23.00 m. de alto que tiene y un desnivel de 0.84 m. Siendo éste de 7 niveles con cimentación por compensación.

Debido a esto el edificio iba a ser demolido, ya que además venía causando daños al edificio vecino del lado poniente, al cual se le recargaba y a su vez lo venía inclinando (Véase Figura 5.2-1).

El sistema general que se ha empleado en otras ocasiones para nivelar a un edificio, es el de colocarle pilotes de control y posteriormente con ellos disminuir la presión sobre el terreno en la zona hundida para parar el hundimiento de la zona o aún levantarla tanto cuanto la expansión del terreno lo permita, en cambio a la zona alta no se le ayuda con los pilotes y aún se le lastra si hace falta, dejando hundir dicha zona lo necesario para que el edificio quede a nivel.

En éste caso no era posible detener el lado hundido y esperar que la zona alta bajase, pues el extremo alto subía con respecto a las banquetas debido a su cercanía al edificio pilotado.

La solución que se tomó se aprecia en las Figuras 5.2-2 a 5.2-7 y consistió en colocar ocho pilotes de control en la zona alta y ya sujeto el edificio se remplieron las losas de cimentación y se fue quitando poco a poco por capas de 5 cm. el prisma de tierra que sobraba abajo de la cimentación para que ésta quedase a nivel (ya que el desnivel existía entre los puntos B y D).

En cada control se colocaron celdas de deformación para una carga de 1.30 veces mayor que la carga calculada. En estas condiciones se marcaron líneas a reventón para poder comprobar que estas no se deformasen, posteriormente se continuó la excavación para quitar el prisma de tierra y simultáneamente se aflojaron diariamente las tuercas medio centímetro por día en el extremo más elevado, hasta conseguir nivelar al edificio.

Cuando se hubo terminado el trabajo se repusieron las losas de cimentación y se aflojaron los controles. Sabiendo que con el tiempo éste fenómeno tendrá que repetirse nuevamente.



Figura 5.2-1  
Edificio "Financiera Latina, S.A."

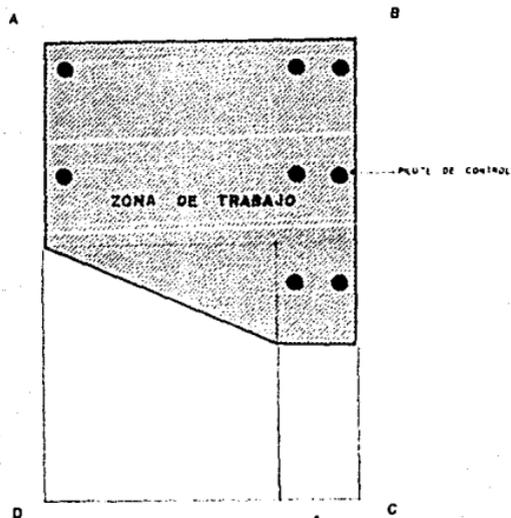
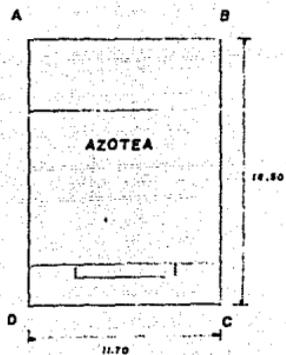
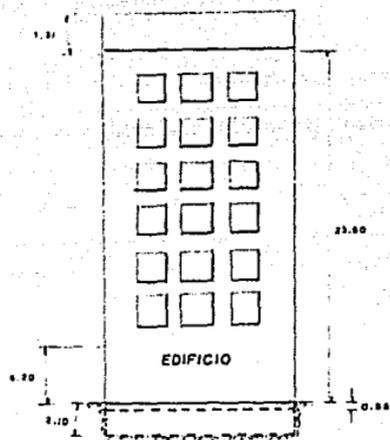


Figura 5.2-2  
Detalle del edificio

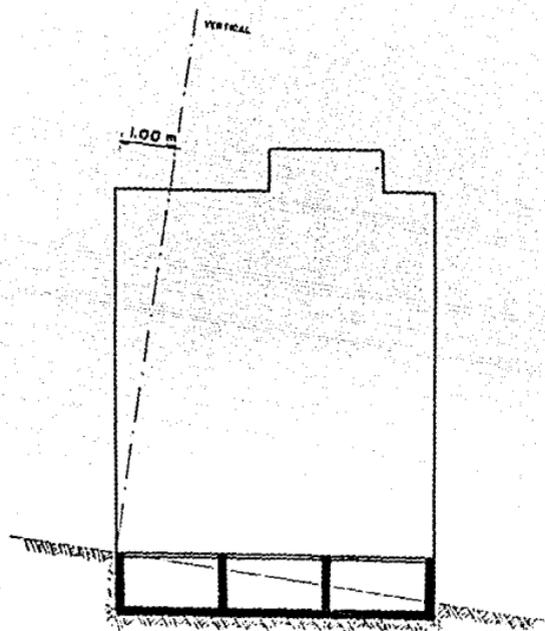


Figura 5.2-3  
Edificio antes de trabajar

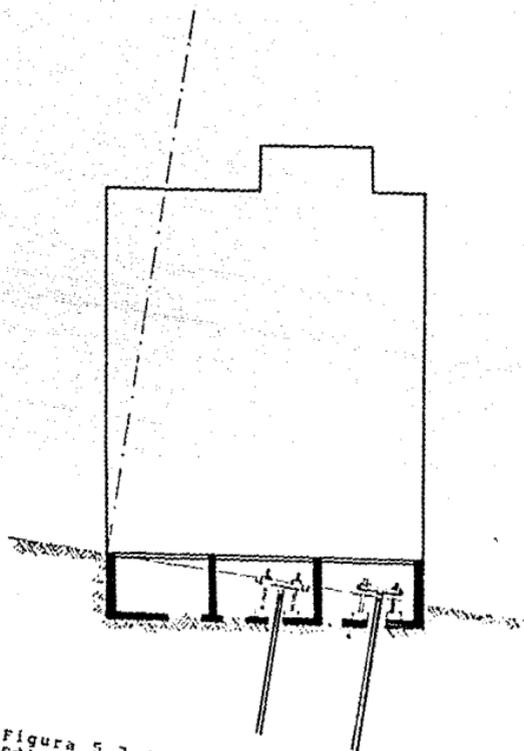


Figura 5.2-4  
Edificio con pilotes y controles  
colocados antes de efectuar

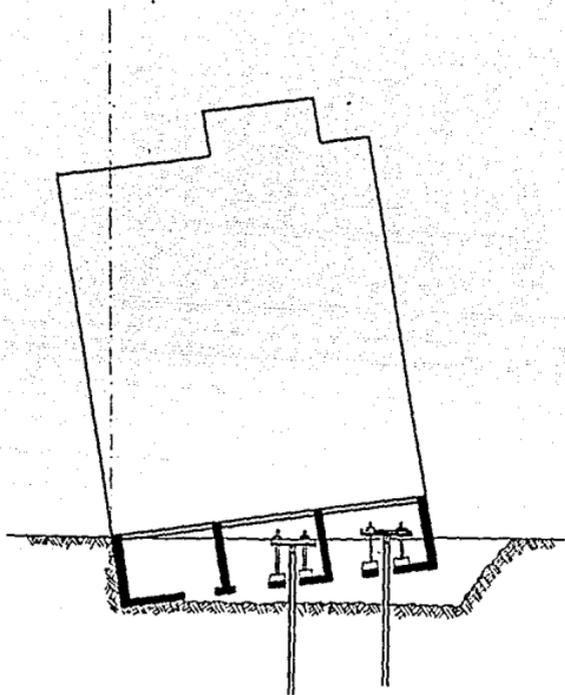


Figura 5.2-5  
Edificio apoyado sobre pilotes con la losa de cimentación rota y excavando bajo la es

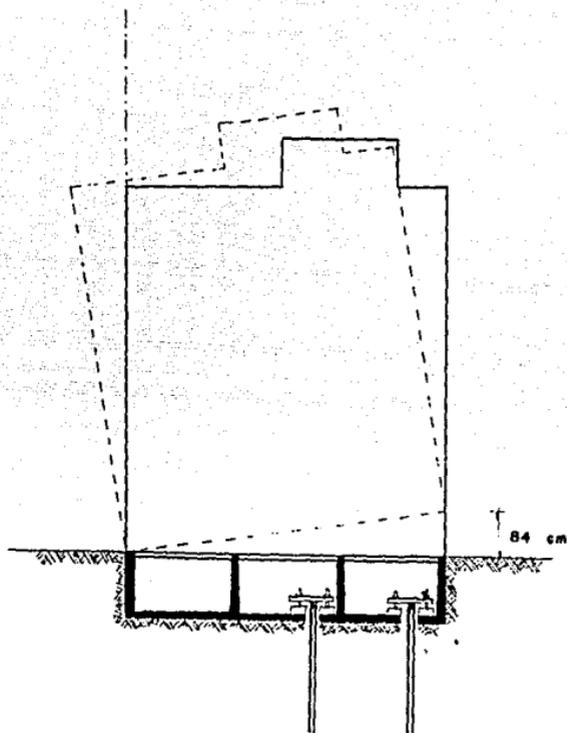


Figura 5.2-6  
Edificio ahora apoyado sobre el terreno y repuesta nuevamente la losa de cimentación



Figura 5.2-7  
La marca en el muro muestra el levantamiento  
total del edificio

### 5.3 Otros ejemplos

En los ejemplos mostrados en las Figuras 5.3-1 a 5.3-4 se puede apreciar la versatilidad del Pilote de Control, ya que no sólo se limita a la nivelación de edificios, sino que su aplicación va más allá de éstos. Dando así, un panorama cada vez más reconocido para la ingeniería mexicana.



Figura 5.3-1  
Nivelación del puente de Tlapacoya, Edo. de México



Figura 5.3-2  
Nivelación de un tanque elevado, Deptvo. "Los Galeana" D.F.



Figura 5.3-3  
Nivelación del Ber. Misterio, Calz. De los Misterios, D.F.



Figura 5.3-4  
Recimentación del Monumento a Cuauhtémoc  
Av. Paseo de la Reforma, D.F.

## CONCLUSIONES

El Sistema Pilotes de Control coadyuva a la investigación de la Mecánica de Suelos, debido a que con los sistemas empleados en la actualidad no es posible desarrollar las experiencias que con éste sistema pueden llevarse a cabo a tamaño natural.

Las conclusiones que se dan a continuación son en base a las experiencias observadas a través del desarrollo de ésta tesis.

- a) Bastará ver que el edificio puede quedar inicialmente apoyado en la forma total sobre el terreno y observar en la gráfica Tiempo-Deformación el asentamiento que el edificio experimenta al reducirse el tamaño original de los cubos de madera.
- b) La carga del edificio puede transportarse paulatinamente o bruscamente del terreno superficial a los pilotes, esto es apoyándose a 30.0 m. abajo, sobre la capa dura.
- c) Observando como sobresalen los pilotes se puede apreciar la deformación que va sufriendo el terreno y con ello conocer la influencia que va teniendo el edificio.
- d) Se puede cambiar o conservar la carga de cada pilote.

- e) Se puede conocer la concentración de carga que sufre una columna en el momento de un temblor de pequeña o gran intensidad, por el aumento de carga que puede registrarse en los pilotes a través de las celdas de deformación.
- f) La fricción positiva que el pilote de control provoca, ayuda a que los pilotes no sufran una sobrecarga por el peso del terreno adherido.
- g) Debido a que al pilote de control se le están dando diversas aplicaciones hoy en día, se hace necesario que éste sistema sea cada vez más reconocido y utilizado por la ingeniería mexicana.

Sabemos que el hundimiento de la Ciudad continuará en los próximos años y que los edificios sustentados por pilotes de punta estarán sometidos a la acción de la fricción negativa y a las incertidumbres que derivan de la heterogeneidad propia del subsuelo; por lo tanto, será necesario que el especialista en cimentaciones tome en cuenta esa realidad muy típica de la Ciudad de México.

## BIBLIOGRAFIA

BARBARA Zetina, Fernando.

Materiales y Procedimientos de Construcción.  
Sociedad de Arquitectos Mexicanos,  
Colegio Nacional de Arquitectos.  
México, D.F., Ed. Herrero. 543 p.

BENET, Mercedes.

"Construcción y Cimentación en México I y II".  
Uno más Uno. 15 de octubre de 1983, Secc. 2, Cols 2-4 p.10

CARRILLO Flores, Nabor.

The Subsidence of México City and Texcoco Project.  
México, D.F., Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. 328 p.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.

Manual de Diseño y Obras Civiles. Geotécnia B.2.4  
Cimentaciones en Suelos, México, D.F.,  
Instituto de Investigaciones Eléctricas.

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.

Dirección General de Obras Hidráulicas,  
Deep Intercepting Conduits and Central Outfall.  
México D.F., 56 p.

GONZALEZ Flores, Manuel.

Conservación del Plomo y Nivel de más de Diez Edificios de la Ciudad de México a Base de Celdas de Deformación.  
México D.F., P.I.C.O.S.A., 25 p.

GONZALEZ Flores, Manuel.

Nuevo Procedimiento Mexicano que Aumenta la Capacidad de Carga de Terreno como los de la Ciudad de México.  
México D.F., P.I.C.O.S.A., 14 p.

INSTITUTO DE INGENIERIA  
Diseño y Construcción de Cimentaciones No. 405  
 Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción  
 para el Distrito Federal.  
 México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México. 251 p.

JUAREZ Badillo, Eulalio,  
 RICO Rodríguez, Alfonso.  
Mecánica de Suelos. Tomos I, II y III.  
 México, D.F., Ed. LIMUSA. 1532 p.

MARSAL, J. Raúl,  
 MAZARI, Marcos.  
The Subsoil of Mexico City. Text I and II  
 México D.F., Universidad Nacional Autónoma de México.  
 Facultad de Ingeniería. 372 p.

PILOTES DE CONTROL S.A.  
Información para el Inversionista.  
 México, D.F., P.I.C.O.S.A., 15 p.

PILOTES DE CONTROL S.A.  
El Sistema Salvo a Sismos.  
 México, D.F., P.I.C.O.S.A., 18 p.

SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS.  
Manual de Diseño y Construcción de Pilas y Pilotes.  
 México, D.F., S.M.M.S., 237 p.

SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS.  
Primer Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y  
 Cimentaciones. Vol. II. México, D.F., S.M.M.S., 314 p.

SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS.  
Reunión Conjunta de Consultores y Constructores de Cimentaciones  
 Profundas. México, D.F., S.M.M.S., 90 p.

SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS.  
El Subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el Área Urbana del Valle de México. Simposio del 10 de mayo de 1978. México, D.F., S.M.M.S., 259 p.

SOWERS B. George.  
SOWERS F. George.  
Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones.  
México, D.F., Ed. LIMUSA. 677 p.

UNIVERSIDAD LA SALLE  
Materiales y Procedimientos de Construcción. Tomo I  
México, D.F., Escuela Mexicana de Arquitectura, 134 p.