



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES, ACATLAN.

"COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS DEL
VALLE DE MEXICO EN RELACION CON
LAS OBRAS DE INGENIERIA"

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A N
RICARDO GALLEGOS MARTAGON
RAUL LUNA ARRIAGA
MIGUEL ANGEL SOTO RUISEÑOR

M-0028608



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

ENEP ACATLÁN
COORDINACION DEL PROGRAMA
DE INGENIERIA Y ACTUARIA

CAI-C-0309-78

Señores
Ricardo Gallegos Martagón
Raúl Luna Arriaga
Miguel Angel Soto Ruiseñor
Alumnos de la Carrera
de Ingeniería Civil
P r e s e n t e

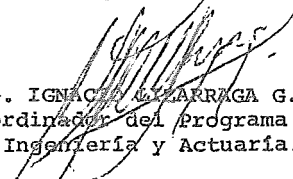
De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 28 de octubre de 1977, me complace notificarles que esta Coordinación tuvo a bien asignarles el siguiente tema de tesis: "Comportamiento de los suelos del Valle de México en relación con las obras de Ingeniería", el cual se desarrollará como sigue:

- I. Introducción.
- II. Descripción Gral. de la Geología del Valle de México.
- III. Zonificación del Valle de México
- IV. Estadigrafía y características de los depósitos en - cada zona.
- V. Comportamiento de las estructuras en cada zona.
- VI. Conclusiones.

Asimismo fue designado como Director de Tesis el señor Ing. Gabriel Moreno Pecero.

Ruego a ustedes tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberán prestar --- servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses co --- así como de la disposición de la Dirección General de Ser --- vicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Sta. Cruz Acatlán, Edo. de México a 9 de noviembre de 1977


ING. IGNACIO L. ARRAGA G.,
Coordinador del Programa
de Ingeniería y Actuaría.

I N D I C E

	Página
AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	II
CAPITULO I	
INTRODUCCION	1
CAPITULO II	
GEOLOGIA	
Introducción	5
Tectonismo y Desarrollo	
Geologico	8
CAPITULO III	
ZONIFICACION	
Introducción	18
"El Subsuelo de la Ciudad de Mé-	
xico" (R. J. Marsal y M. Mazari)	20
"V Reunión Nacional de Mecánica-	
de Suelos" (SMMS)	25
Simposio: "Cimentaciones en las	
Zonas Minadas de la Ciudad de Mé-	
xico" (SMMS Y DDF)	29
CAPITULO IV	
ESTRATIGRAFIA	
Introducción	36
Región Norte	42
Región Oeste	45
Región Centro	48
Región Este	53
Región Sur	58

CAPITULO V

COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS EN CADA ZONA

Introducción	65
Zona de Lago	67
Zona de Transición	92
Zona de Lomas	98

APENDICE

IMPORTANCIA DE SISMOS EN RELACION CON LAS OBRAS DE INGENIERIA	110
---	-----

CONCLUSIONES	117
------------------------	-----

AGRADECIMIENTO

Los autores hacen patente su más profundo agradecimiento y gratitud al Maestro en Ingeniería GABRIEL MORENO PECERO por sus invaluables sugerencias y orientaciones recibidas, así como a la SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS, por la colaboración prestada en la elaboración del presente trabajo.

LOS AUTORES

A MIS PADRES:

Dr. Jose Gallegos G. y Beatriz Martagón C., por el gran esfuerzo llevado a cabo durante años para ver culminada mi carrera.

A MIS HERMANOS:

Romulo, José y Samuel.

Con Cariño .

A la Dra. Carolina Lozano D., por ser una compañera infatigable en el desarrollo de mi vida.

A los Ingenieros, que en alguna forma vieron por mi superación.

Ricardo Gallegos Martagón.

A MIS PADRES:

GABRIEL Y RAQUEL.

Con el más profundo agradecimiento y cariño.

A MIS HERMANOS:

PATRICIA, GABRIEL, MARISELA Y MA. TERESA.

Con cariño.

A MIS TIOS Y A TODOS
LOS QUE TUVIERON FE
Y PALABRAS DE ALIENTO
HACIA UN SERVIDOR.

RAUL LUNA ARRIAGA.

A todas aquellas personas que con su apoyo y con fianza, me infundieron ánimos en mi lucha por alcanzar mi meta más preciada.

Y con especial agradecimiento, cariño, admira- -
ción y afecto a mis padres MIGUEL Y ESPERANZA, a mis herma-
nos: MARTHA, MARIO, ARTURO Y GUSTAVO; a CARMEN Y JORGE, --
quienes fueron siempre la base de mis propósitos y la cul-
minación de mis metas.

A todos ellos MUCHAS GRACIAS
MIGUEL ANGEL SOTO RUISEÑOR



LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO VISTA
DESDE EL SATELITE
"L A N Z A T"

CAPITULO I

INTRODUCCION

El suelo, es uno de los materiales más antiguos de construcción y de los más complejos, debido a que sus características y propiedades cambian tanto en dirección y distancia, como con el tiempo, por lo que son difíciles de entender y medir. Hasta antes del siglo XX sólo se hicieron intentos aislados por estudiarlo; fue hasta 1913 que en los Estados Unidos de Norteamérica y en Suecia se realizaron por primera vez estudios para el tratamiento de los suelos, más tarde en 1925 el profesor Karl Von Terzaghi publicó su EADBAUMECHANIK (Mecánica de Suelos), que se le ha considerado como el principio de un estudio de los suelos

ya en forma sistemática. Desde entonces ha habido una gran evolución dentro de la Mecánica de Suelos, que ha hecho posible predecir el comportamiento de los suelos que sirven de apoyo a las estructuras, así como hacer a éstas cada día más seguras y económicas.

La Ciudad de México en los últimos años ha experimentado un crecimiento acelerado lo que ha ocasionado que actualmente sea una de las ciudades más grandes del mundo, así como una de las más densamente pobladas. Estos asentamientos humanos dentro de la ciudad y sus alrededores han provocado que el hombre tenga la necesidad de alterar las condiciones naturales de los suelos de la Cuenca del Valle de México, mediante la explotación de agua de los mantos acuíferos, la imposición de sobrecargas y la explotación de materiales para la construcción, lo que a su vez ha influido en el comportamiento de las estructuras.

Los problemas que presentan las estructuras localizadas dentro de la llamada zona Metropolitana de la Ciudad de México, debidos al comportamiento que guarda el suelo, por los tres factores antes mencionados, y a la naturaleza del mismo, como son la baja resistencia y su alta deformabilidad, se han generado desde el tiempo de los Aztecas.

Dada la gran variedad que tienen los suelos de la Cuenca del Valle de México, en cuanto a características y propiedades, así como a su naturaleza se le ha llamado -

el paraíso de la mecánica de suelos, lo que ha implicado - que ingenieros mexicanos sobresalgan en el estudio de esta disciplina, como lo han sido Roberto Gayol, José A. Cuevas, Nabor Carrillo, y en los últimos años Raúl J. Marsal y Leonardo Zeevaert, que han realizado numerosos estudios acerca de los suelos de la Ciudad de México, así como impulsando el desarrollo de la misma dentro de la Ingeniería Civil.

Es por eso que los autores de este trabajo, tratan por medio del presente de dar a conocer la última información que se tiene sobre el subsuelo de la Cuenca del Valle de México, expuesta en el Simposio " El Subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el área urbana del Valle de México " realizado por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, en Marzo de 1978, así como también algunas experiencias que se han tenido en el comportamiento de las estructuras en la Ciudad de México.

Para poder comprender mejor la situación actual que prevalece en la Cuenca del Valle de México, desde el punto de vista de mecánica de suelos, es necesario tener algunos antecedentes sobre el origen de la cuenca, por lo que resulta adecuado conocer la historia geológica, así como la geología actual que sirve de base para poder clasificar la estratigrafía del suelo existente, de acuerdo a los estudios realizados por R. J. Marsal y M. Mazari. Así mismo es necesario conocer los problemas que ha ocasionado el hombre al alterar las condiciones naturales de los suelos.

Lo antes comentado constituye en forma general - la temática que se utilizó como base para desarrollar el - presente trabajo y así poder visualizar aunque en forma -- muy general la importancia que tiene el conocer las caracte- rísticas y propiedades de los suelos en relación con las obras de Ingeniería, para el buen comportamiento de las -- mismas.

CAPITULO II

G E O L O G I A

INTRODUCCION

La Cuenca del Valle de México, se localiza dentro de la faja volcánica transmexicana (Fig.1), situada en el borde Sur de la Mesa Central, entre las latitudes Norte $19^{\circ}03'53''$ y $20^{\circ}11'09''$ y las longitudes $98^{\circ}11'53''$ y $99^{\circ}30'24''$ al Oeste Greenwich (1). Está rodeada por una gran variedad de formaciones volcánicas como pocos lugares en el mundo; al Norte las Sierras de Tezontlalpan y Pachuca, al Noreste la Sierra de Tepozan, al Este las Sierras Nevada, de Río Frío y de Calpulalpan, al Sur la Sierra de Chichi--

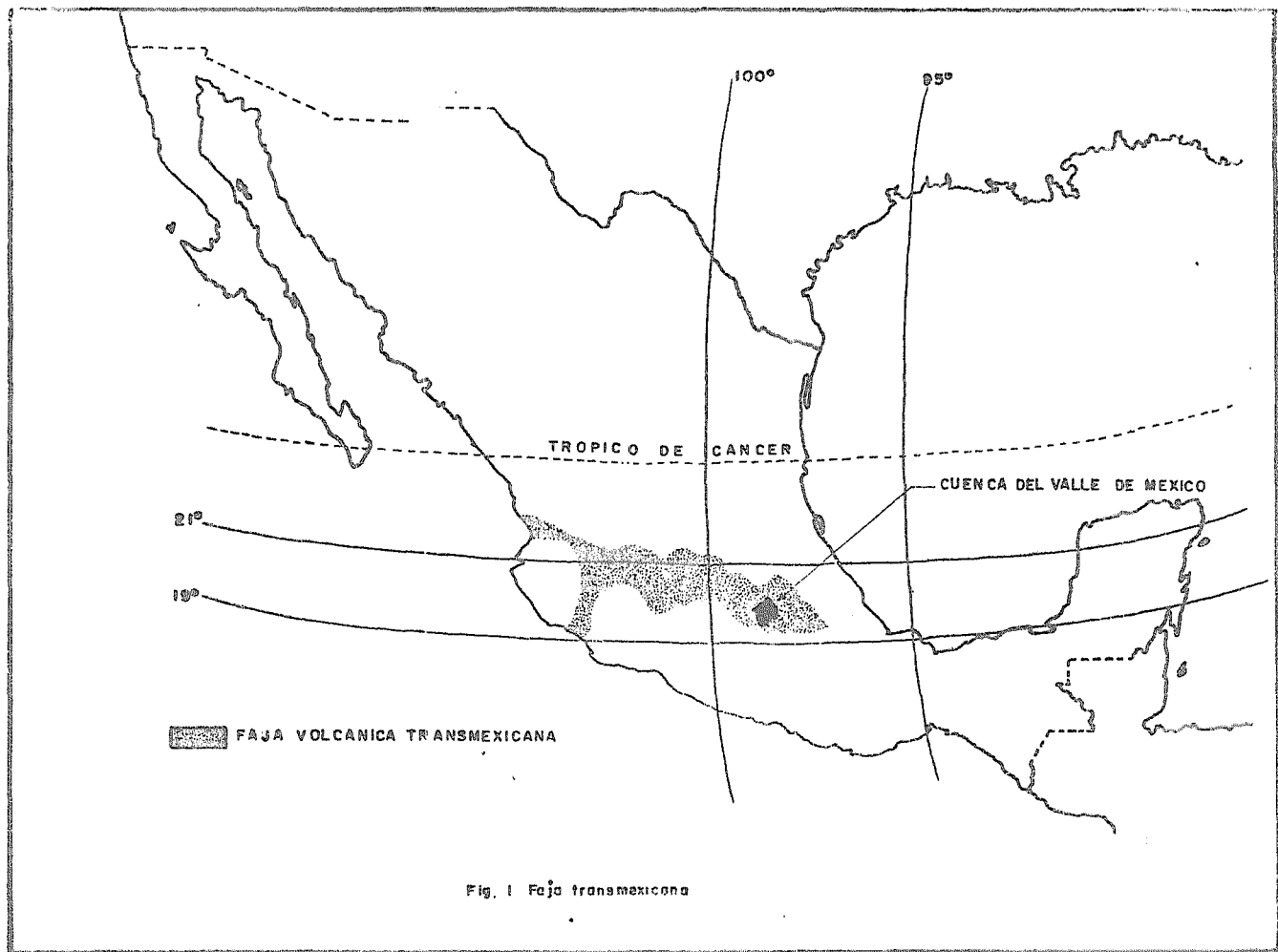


Fig. 1 Faja transmexicana

nautzin, al Suroeste las Sierras de las Cruces y Monte Alto, al Oeste la Sierra de Monte Bajo, al Noroeste la Sierra de Tepotzotlan (Fig.2), cuyas erupciones en diferentes fases formaron acumulaciones de lavas, tobas y brechas, alcanzando en algunos lugares espesores del orden de 2 Km. - aproximadamente. La cuenca tiene una forma irregular, alargada de Norte a Sur, con prolongación al Noreste; en su eje mayor tiene una longitud de 110 Km. y 80 Km. en su eje menor, cubre aproximadamente una área de 9,600 Km²., abarcando las siguientes entidades federativas. (2) (Fig.2).

Estado de México	4,800 Km ² .
Estado de Hidalgo	2,540 Km ² .
Estado de Tlaxcala	840 Km ² .
Estado de Puebla	100 Km ² .
Distrito Federal	1,300 Km ² .

Su altitud con relación al nivel medio del mar es de 2,240 mtrs. en el Sur y 2,390 mtrs. en el Norte.

Al cerrarse la Cuenca del Valle de México, con la formación de la Sierra de Chichinautzin, se generaron varios lagos, de los que destacan, el de Texcoco, por ser el mayor y el que tiene un nivel más bajo en relación con los demás, siguiendo la Laguna de Zumpango, y los Lagos de Chalco y Xochimilco, estos dos últimos actualmente existentes sólo como canales.

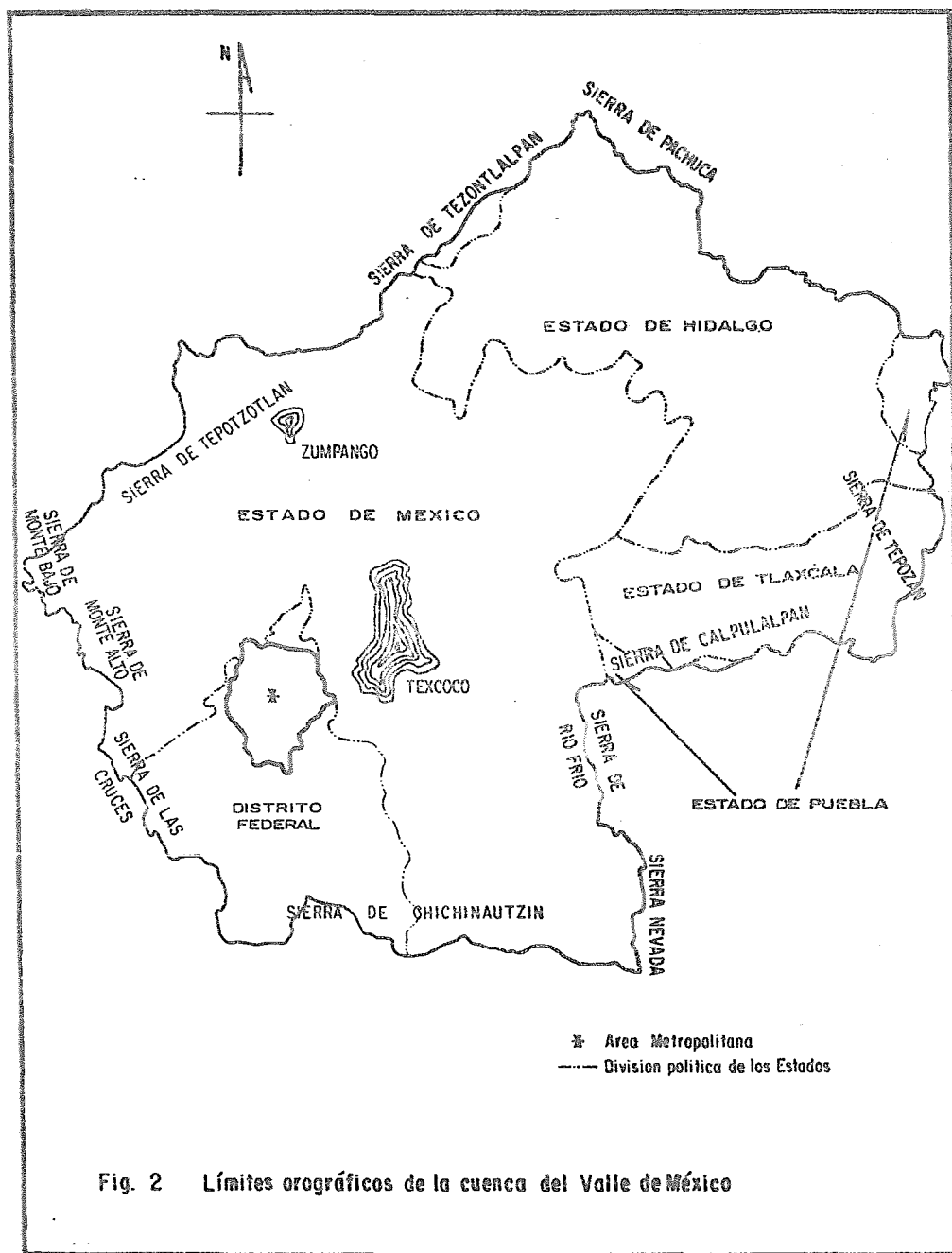


Fig. 2 Límites orográficos de la cuenca del Valle de México

LISTA DE NIVELES EN RELACION CON EL LAGO DE TEXCOCO (1)

Lago de Texcoco	0,000	mtrs.
Ciudad de México	1,594	mtrs.
Lago de Chalco	2,576	mtrs.
Lago de Xochimilco	2,607	mtrs.
Lago de Xaltocan	2,904	mtrs.
Lago de San Cristóbal	3,006	mtrs.

La Cuenca del Valle de México, se puede dividir fisiográficamente en tres zonas, (1) que son: (Fig.3)

a) ZONA MERIDIONAL.

Limitada al Este por las Sierras Nevada y de Río Frío, al Oeste por la Sierra de las Cruces, al Sur por la Sierra de Chichinautzin y al Norte, aunque no en su totalidad por la Sierra de Guadalupe, el Cerro de Chiconautla y la Sierra de Platachique. Encontrándose en esta zona meridional las mayores y menores elevaciones de la cuenca. En la planicie central se localizan varias elevaciones aisladas y una cadena volcánica joven llamada Sierra de Santa Catarina.

b) ZONA SEPTENTRIONAL.

Está limitada al Oeste y Noroeste por las Sierras de Monte Alto y Tezontlalpan, al Sureste por la Sierra de Chichucuatla y al Este por múltiples cerros aislados.

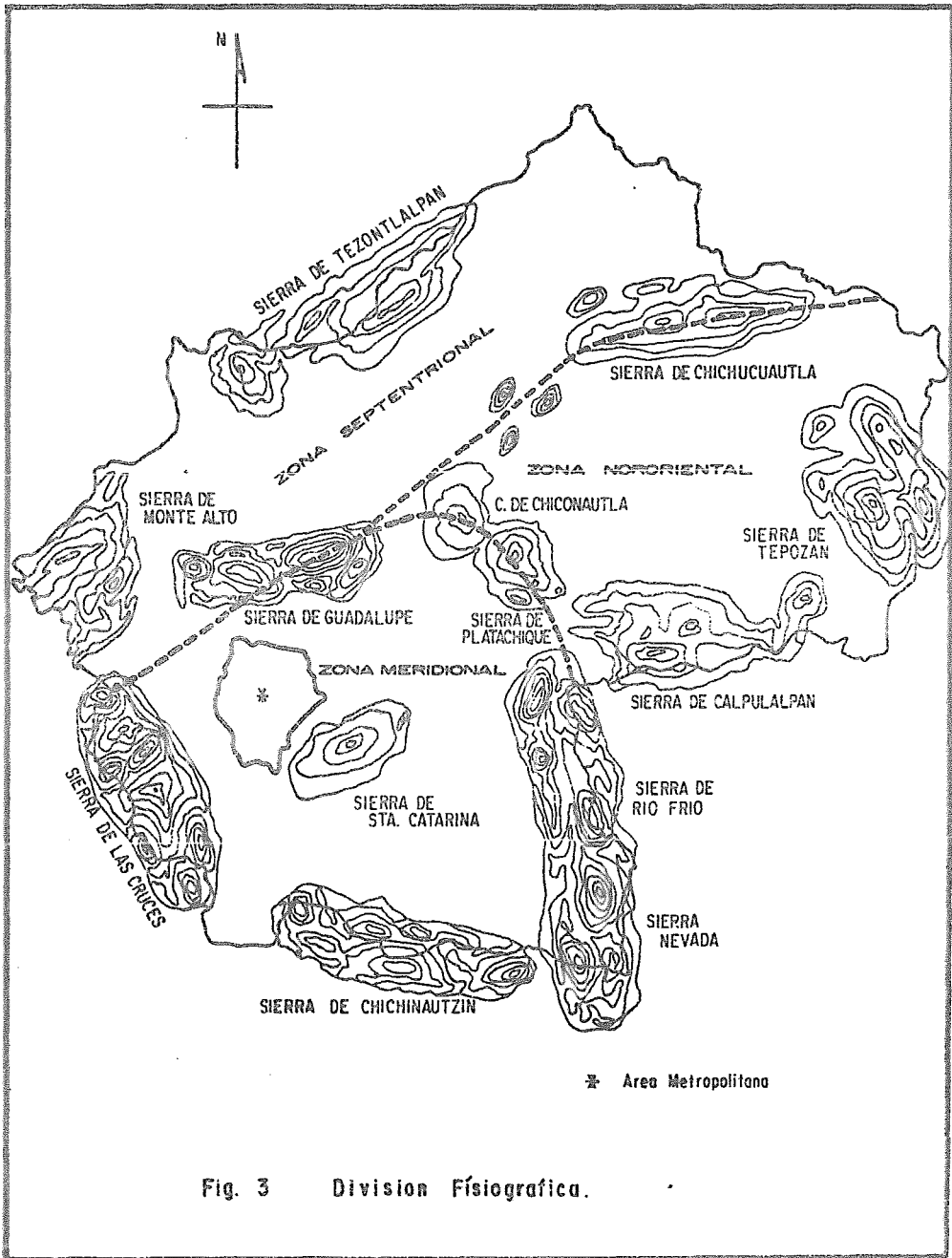


Fig. 3 Division Fisiografica.

c) ZONA NORORIENTAL.

Comprende una franja ancha que se extiende hacia el Este, ocupando un espacio llano y extenso entre las cum bres de las Sierras de Pachuca y de Río Frío, está limita- da al Este por la Sierra de Tepozan, al Sur por la Sierra de Calpulalpan, al Oeste por la Sierra de Platachique y al Norte por la Sierra de Chichucuautila.

TECTONISMO Y DESARROLLO GEOLOGICO

La historia geológica está ligada al tectonismo, los volcanes que aparecen en la Cuenca del Valle de México son debidos a la ascensión del magma por las grietas y -- fracturas. Estas grietas y fracturas son producto de los - esfuerzos a que es sometida la corteza terrestre.

Se ha intentado por medio de la Teoría de la Tec tónica de Placas explicar el desarrollo geológico de la -- cuenca, dividiendo el proceso volcánico (Vulcanismo) en 7 fases que dieron origen a las formaciones actuales. Estas fases se explican a continuación:

PRIMERA FASE.

Se supone que el vulcanismo se inició hace apro- ximadamente 42 millones de años (Fines del Eoceno), des- -- pués del plegamiento y emersión de las formaciones mari- --

nas, constituida por calizas de cantos rodados, depósitos de yeso y algunas tobas volcánicas a menudo alteradas. -- Siendo los primeros indicios de la formación de la Cuenca del Valle de México, no afloran en la Cuenca, pero se conoce su existencia gracias a los sondeos realizados para el Proyecto Texcoco, y más concretamente el Pozo Texcoco No. 1, que se llevó a una profundidad de 2,065 mtrs. (Fig.4)

SEGUNDA FASE.

Las rocas más antiguas de esta fase, afloran al Noroeste de la cuenca (Sierra de Tezontlalpan) están compuestas de lavas intermedias y ácidas con abundantes tobas soldadas, además de depósitos fluviales que representan -- complejos intensamente fracturados, como en el Norte de Te^upotzotlan, al pie de la Sierra del mismo nombre, extendiéndose hasta Huehuetoca (Fig.5), formaciones que tienen una antigüedad aproximada de 32 millones de años (Oligoceno Medio).

TERCERA FASE.

La tercera fase del vulcanismo se desarrolló hace aproximadamente 20 a 30 millones de años (Oligoceno Superior y Mioceno). Las rocas que se presentan en la cuenca debidas a esta fase son en su mayoría dasitas, que consti-

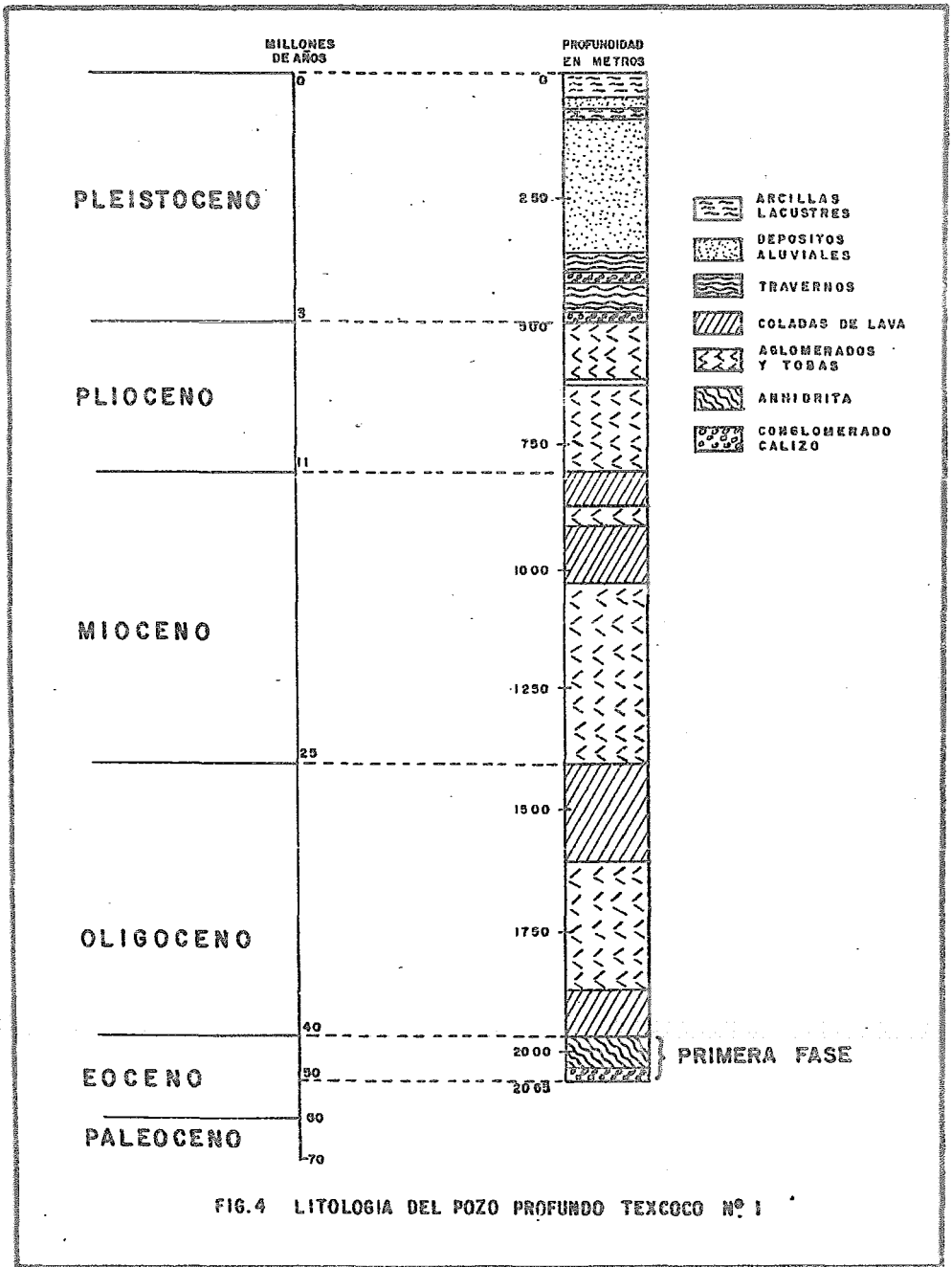
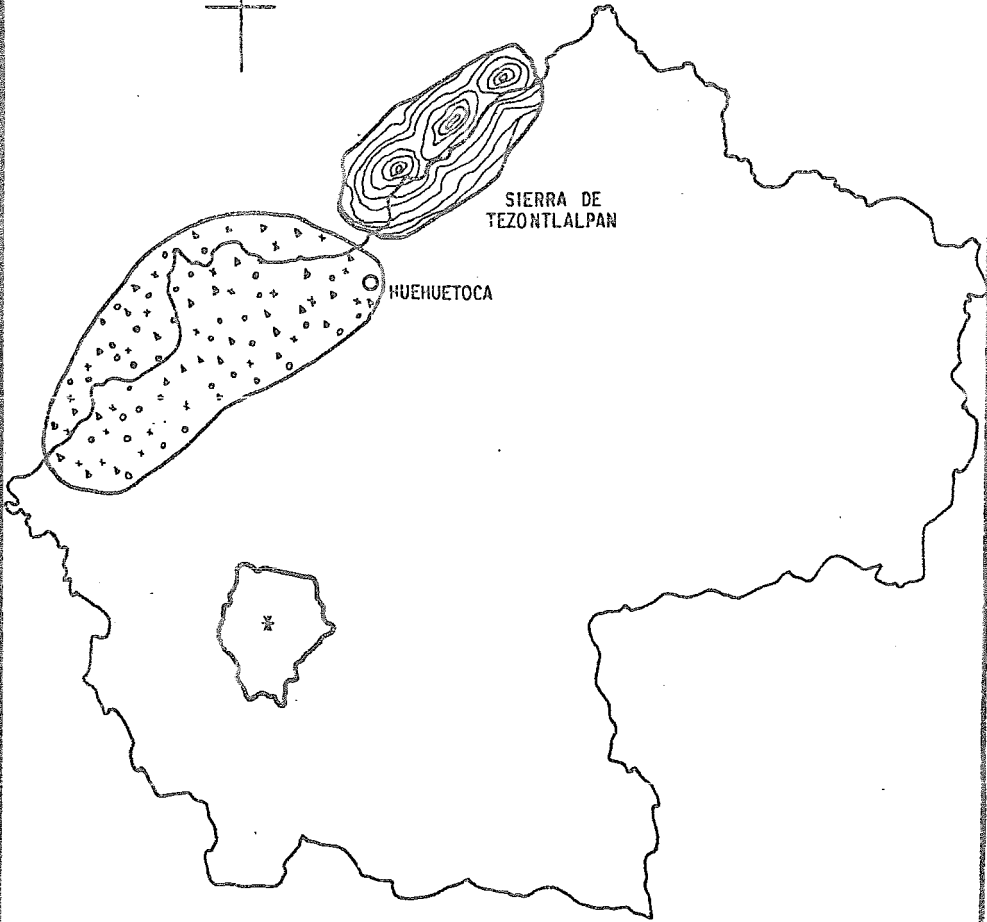


FIG.4 LITOLOGIA DEL POZO PROFUNDO TEXCOCO N° 1

SEGUNDA FASE



HUETOCA

SIERRA DE
TEZONTLALPAN

★ Area Metropolitana

Formaciones de lavas intermedias ácidas, tobos, ignimbritas depósitos aluviales.

Fig. 5 Formaciones más antiguas

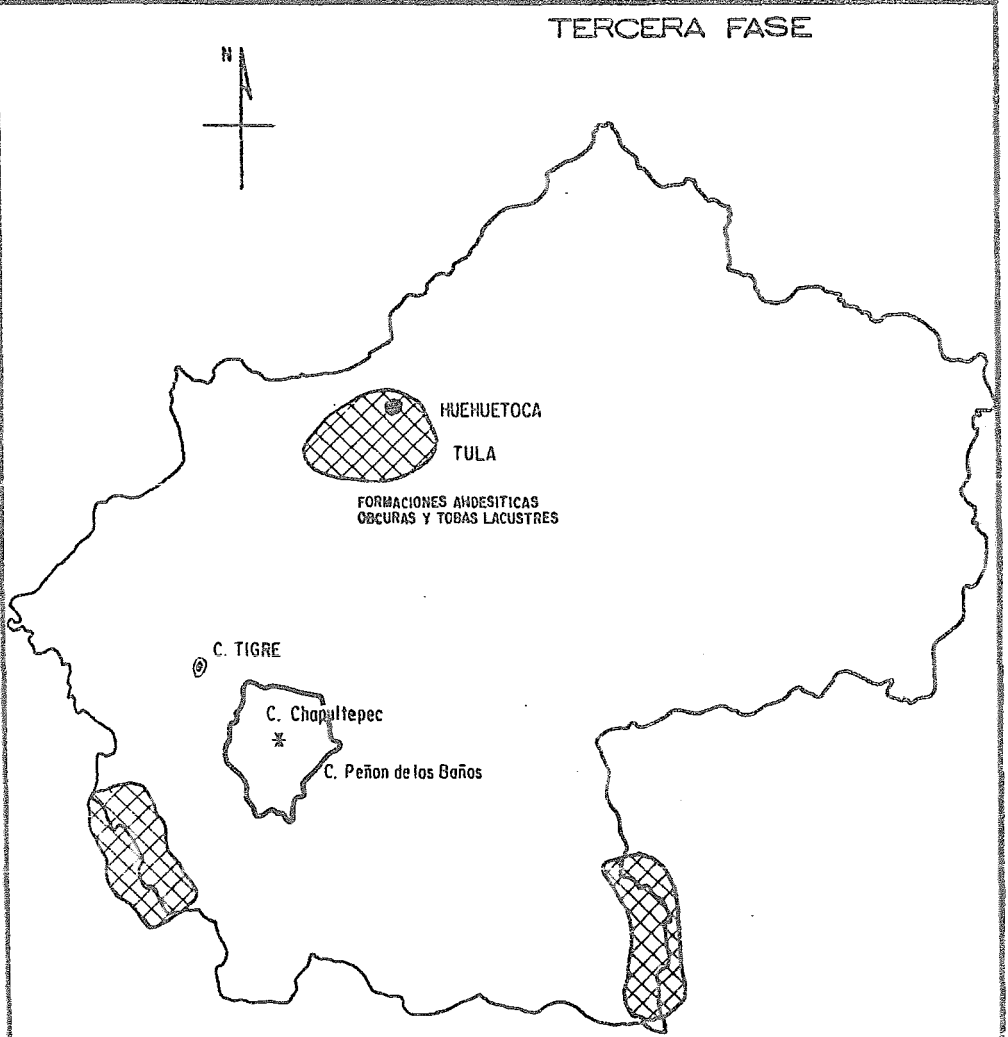
tuyen la base de las Sierras Mayores al Este y Oeste de la cuenca, se encuentran en avanzado estado de erosión y con gran fracturamiento, se deben también a esta fase las elevaciones andesíticas del Peñón de los Baños, el Cerro de Chapultepec, el Cerro del Tigre (Fig.6). Finalmente se localizan al Noroeste de la cuenca, formaciones andesíticas oscuras y tobas lacustres que aparecen también entre Huehuetoca y Tula.

Se deben a esta fase, un extenso y poderoso conjunto de depósitos aún poco diferenciados. Se desarrollaron en esta fase, fosas tectónicas dirigidas al Noreste, formándose así la estructura básica profunda de la cuenca, también se generó una fosa mayor con escalonamiento hacia el centro, entre las fallas profundas de Tlaloc-Apan y Nevado-Pachuca. Los desplazamientos en los distintos escalonamientos forman un hundimiento total de más de un kilómetro para la fosa central (Fig.6).

CUARTA FASE.

En esta fase se formaron las Sierras de Tepotzotlan, las Pitallas, de Platachique, Tepozan y la de Pachuca, caracterizadas por la formación de grandes domos dasíticos. A estas Sierras se les da el nombre de Sierras Menores. (Fig.7).

TERCERA FASE



★ Area Metropolitana

▣ Base de las Sierras Mayores

Fig. 6 Formaciones y elevaciones andesíticas

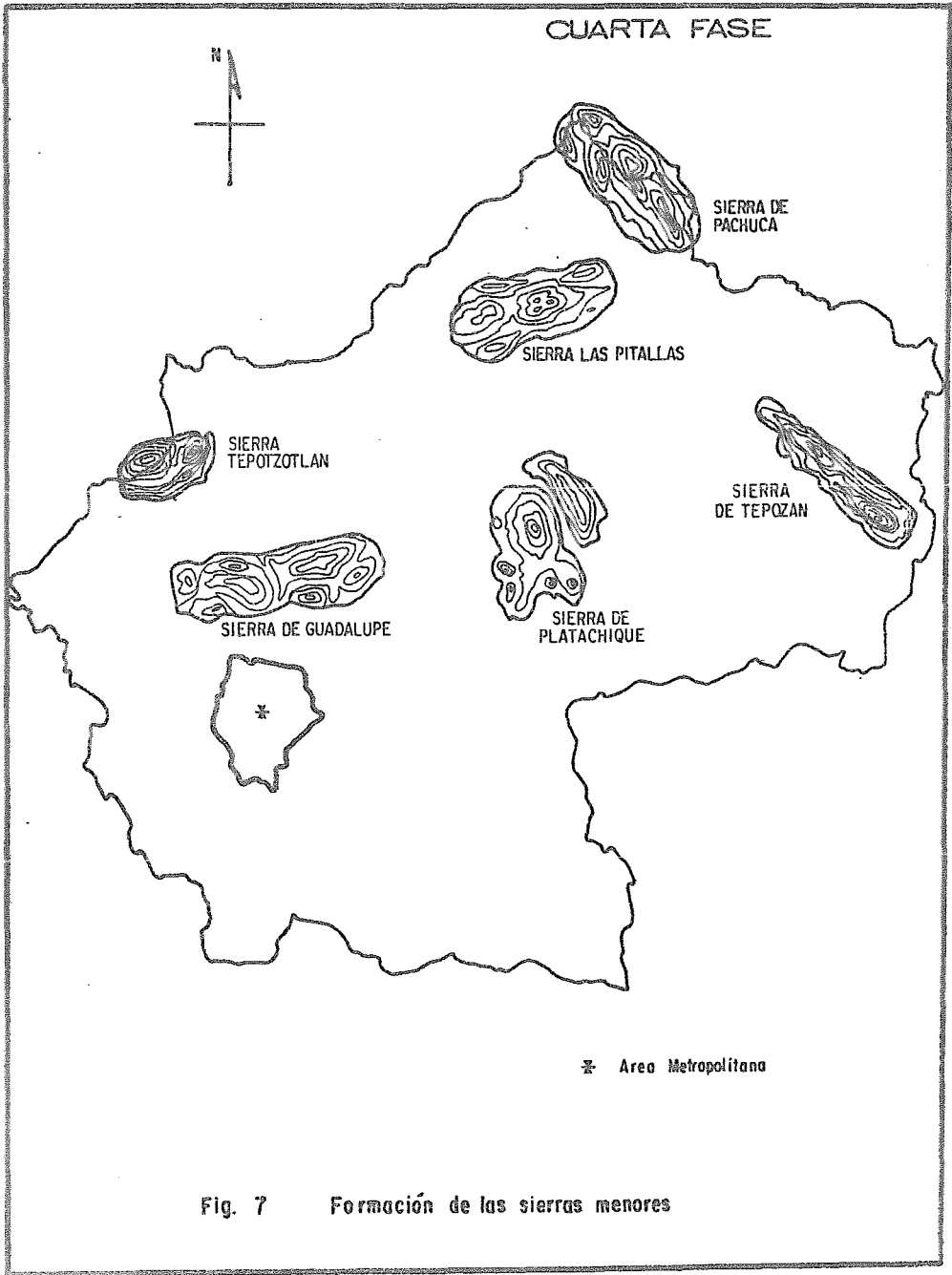


Fig. 7 Formación de las sierras menores

También se deben a esta fase la Sierra de Guadalupe, caracterizada por lavas intermedias y ácidas.

Las Sierras Menores surgieron sobre el conjunto de escalonamientos aparecidos en la fase anterior, obstruyendo el drenaje de la cuenca al Noroeste y Suroeste.

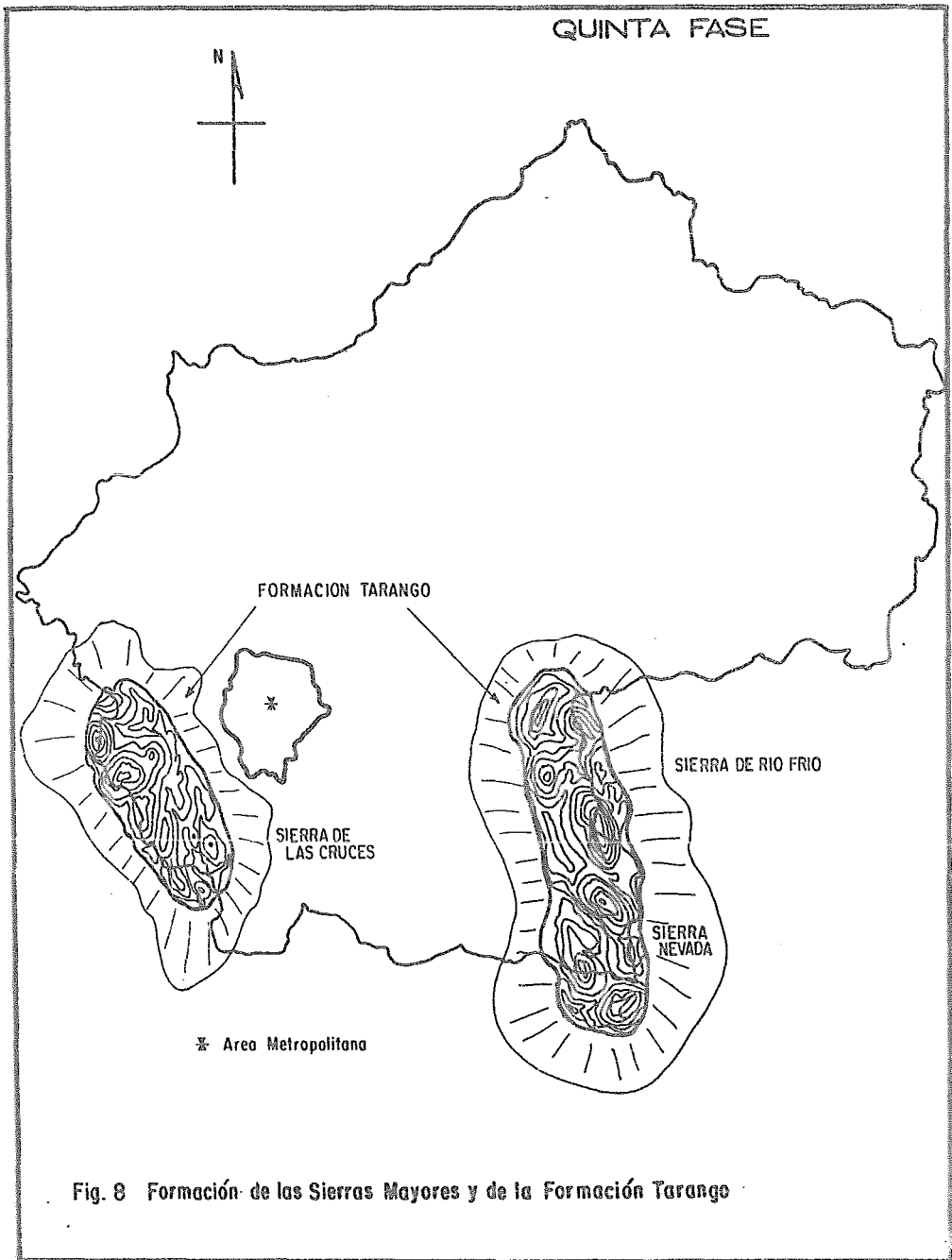
QUINTA FASE.

Marca la formación de las Sierras Mayores, que fijaron los límites Oeste y Este de la Cuenca del Valle de México; Sierras de las Cruces, de Río Frío y Nevada, con puestas de efusiones andesíticas y dasíticas que crearon extensos abanicos que dieron como consecuencia la formación Tarango, ésta última tiene una estratificación indefinida y en forma lenticular, alcanzando espesores de aproximadamente 400 mtrs. y está estructurada por la superposición de varios abanicos. (Fig.8).

La formación Tarango se compone de los siguientes elementos litológicos:

a) Horizontes de cenizas volcánicas de muy distintas granulometrías, producto de la actividad volcánica que entre otras cosas formaron cenizas y piedra pomez, que con ayuda de la lluvia se fueron depositando en capas de espesores uniformes.

b) Lahares, son producto de la acumulación caótica de los materiales piroclásticos arrastrados por corrientes de



agua, estas acumulaciones por lo general rellenan las barrancas erosionadas de los abanicos volcánicos, formando depósitos de arena y grava. Existen también otros tipos de lahares, los impulsados y lubricados por gases calientes, que se originaron en las últimas erupciones de gran intensidad, formando depósitos de piedra cantera, un ejemplo de estos depósitos está en el Santuario de los Remedios. (5)

c) Depósitos fluviales, se formaron en los primeros indicios de las glaciaciones y están relacionados con la formación clástica aluvial, que aparece en el relleno de la Cuenca del Valle de México.

En esta fase los fracturamientos de los grandes volcanes están dirigidos de Oeste a Este, generando desplazamientos verticales del orden de 100 a 300 mtrs. que pueden ser apreciados en las afueras de la Cuenca del Valle de México, desde el Valle de Puebla.

SEXTA FASE.

A esta fase se le atribuyen las formaciones de andesitas basálticas de los Cerros de Chimalhuacan, la Estrella, los Pinos, el Peñón del Marquez y el Ajusco en el Sur, y en el Norte los Cerros de Chiconautla y Gordo (Fig. 9). Además en esta fase se producen las erupciones fenobasálticas y andesíticas que se encuentran entre Tizayuca y Apan.

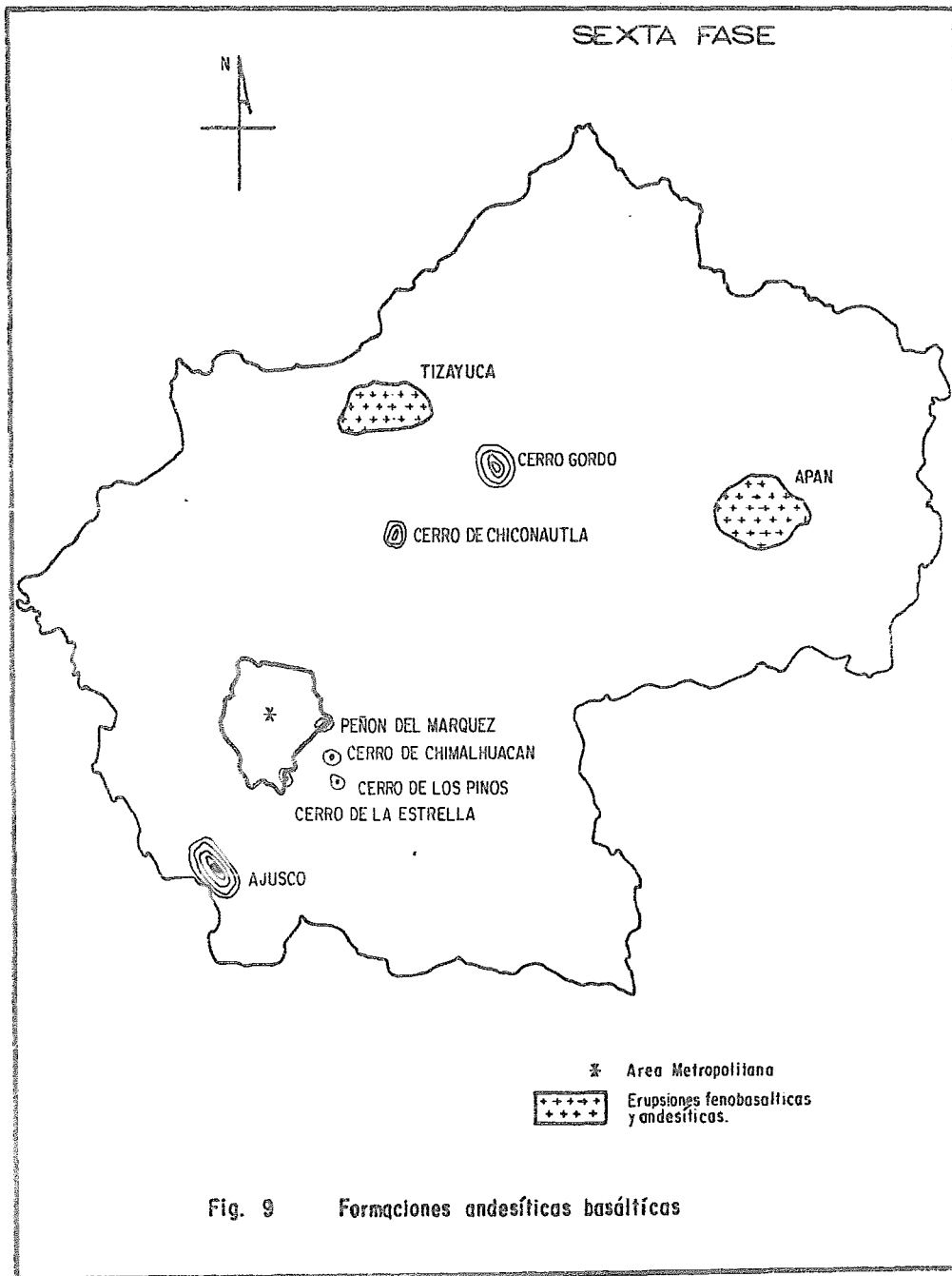


Fig. 9

Formaciones andesíticas basálticas

Como parte de las erupciones tardías de las Sierras Mayores, de una manera general coinciden con el desarrollo de los hundimientos que dieron lugar a los primeros volcanes del Sur de la cuenca. (Primeros indicios del cierre de la cuenca y del drenaje al Sur de la cuenca).

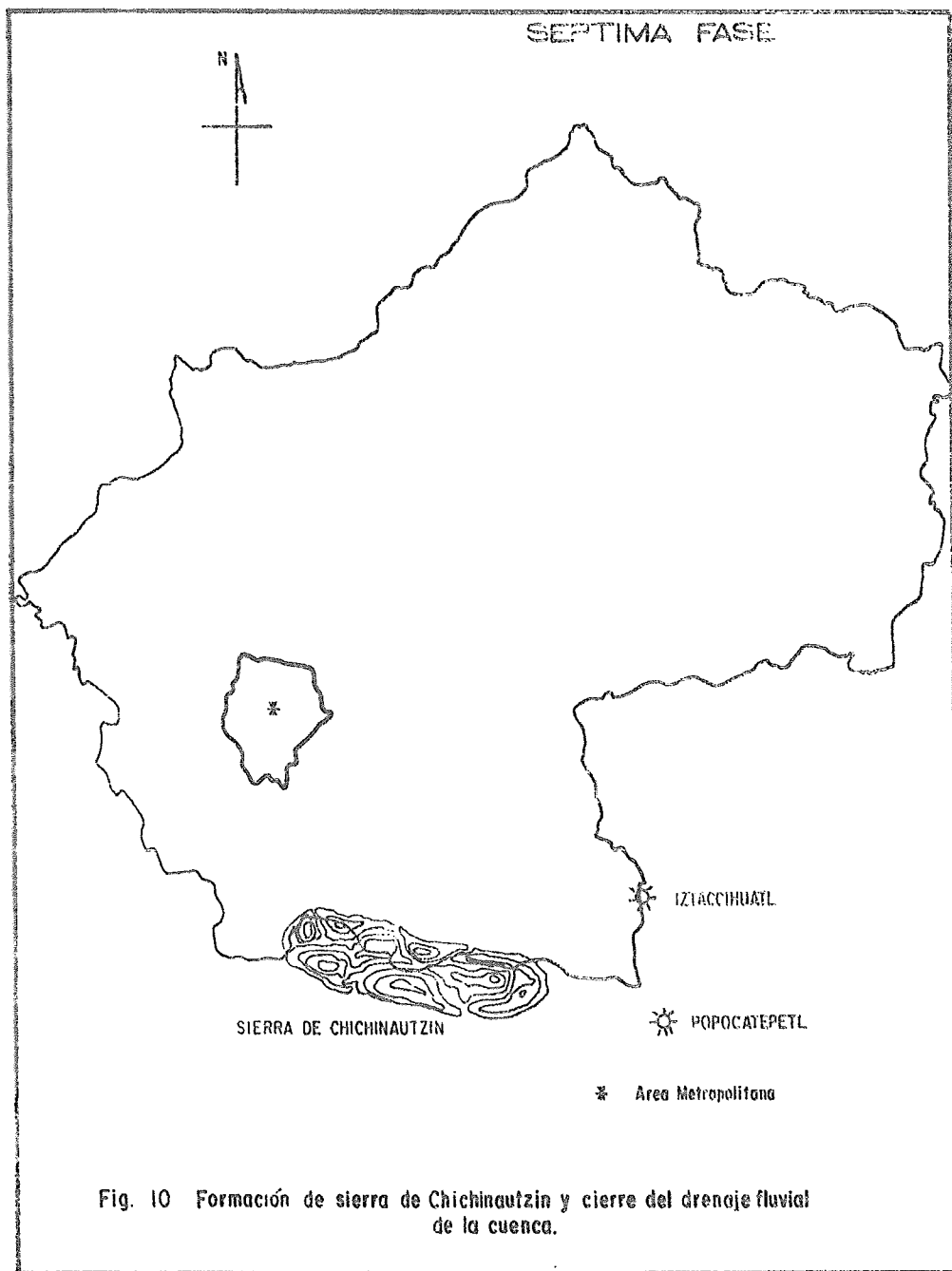
SEPTIMA FASE.

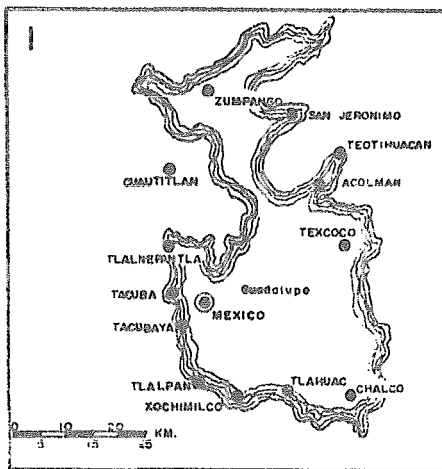
Ultima fase del vulcanismo, culmina con la formación de la Sierra de Chichinautzin (Fig.10), que fue la que dió origen a lo que hoy llamamos " Cuenca del Valle de México " debido a que fue obstruyendo o cerró el drenaje fluvial de la Cuenca hacia el Sur. Además se desarrollaron y formaron los domos y conos de Iztlacihuatl y Popocatepetl. Al Norte y Noroeste de la cuenca aparecen fenobasaltos, andesitas y riolitas en los domos y conos volcánicos.

En esta fase se desarrolla un moderno sistema de bloques con fosas que se fué desintegrando en escalones hacia el centro.

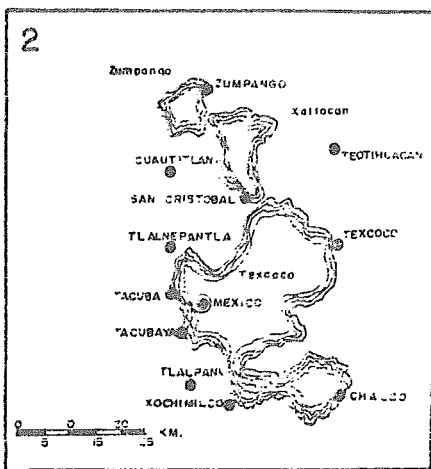
Al cierre de la cuenca el agua no tuvo salida originando que se fuera formando un lago de gran extensión y de poca profundidad. A través del tiempo, dicho lago se fué secando y formó lagos separados más pequeños. (Fig.11)

Las cenizas, producto de la actividad volcánica se fueron depositando en el fondo de los lagos, sedimentándose lentamente en forma floculenta, constituyendo así un

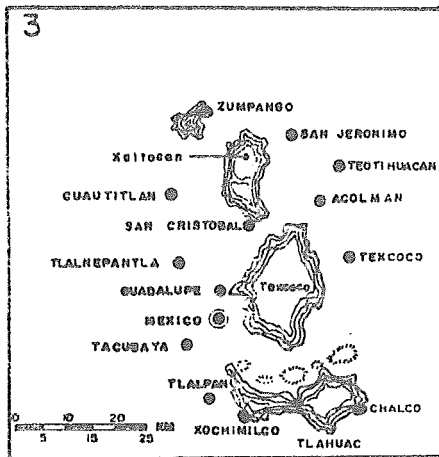




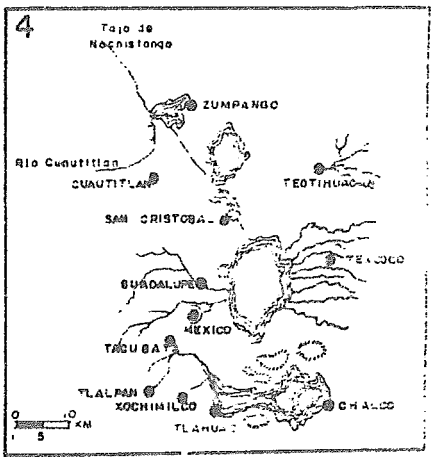
1.- Los límites aproximados durante la época diluvial



2.- A comienzos del siglo XVI.



3.- A comienzos del siglo XIX.



4.- En el año de 1889

Fig II DESECCION DE LAGOS

suelo arcilloso de poca resistencia y alta compresibilidad.

A este primer período de sedimentación de cenizas volcánicas en la Cuenca del Valle de México, según Bryan (3), se le llamó formación Tacubaya, seguida de otra llamada Morales, siendo característica de ésta los suelos cementados con caliche, posteriormente viene la formación Becerra constituida por estratos de aluvión y polvo volcánico, con alto contenido de fósiles, y finalmente la formación Totolsingo integrada por tierra de color café y negro que contiene materia orgánica en cantidades apreciables.

A estas formaciones se les da el nombre de "Arcillas del Valle de México" que se supone se empezaron a formar hace aproximadamente unos 10 millones de años.

Sobre este suelo se construyó gran parte de lo que hoy es el área Metropolitana de la Ciudad de México, constituyendo un reto para el Ingeniero Civil, al erigir las estructuras.

Las últimas manifestaciones del vulcanismo de la zona de la Cuenca del Valle de México fueron; la del Xitle, al pie del Ajusco que apareció hace aproximadamente 2,400 años y la última reactivación del Popocatepetl en el año de 1920. (6).

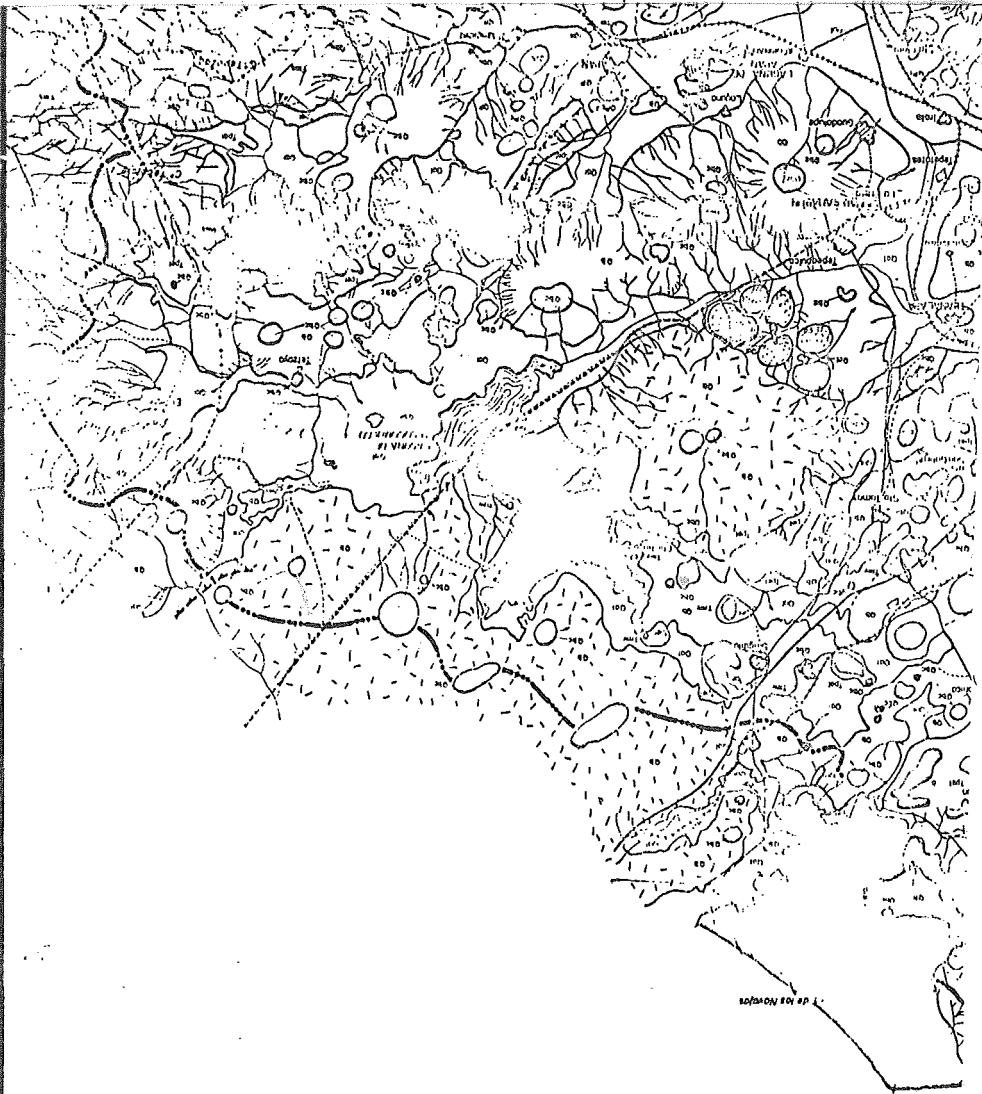
Las fracturas tectónicas que aparecen en la Cuenca del Valle de México, están ligadas al fracturamiento de la faja volcánica transmexicana, este último es un fractu-

ramiento básicamente ortogonal; se trata de fracturas dirigidas de Sureste a Noroeste y de Suroeste a Noreste, a este fracturamiento se le da el nombre de fracturamiento Principal, sobre éste se desarrolló un fracturamiento secundario que empieza en la zona Tarasca y se extiende hasta la zona de Acambay, que se localiza al Noroeste de la Cuenca del Valle de México. (4) (Fig.12). Este fracturamiento secundario tiene una prolongación hasta la cuenca, existiendo como dos sistemas de fracturas tectónicas, que están orientadas de Sur-Suroeste a Nor-Noreste y de Oeste-Noroeste a Este-Sureste que fueron detectadas gracias a los levantamientos geofísicos.

La historia geológica de la Cuenca del Valle de México se desarrolló como un proceso volcánico que se extiende a través de 50 millones de años. La primera etapa que duró aproximadamente 45 millones de años, formó, las estructuras dirigidas de Suroeste a Noreste y la segunda etapa que duró aproximadamente 5 millones de años y generó las estructuras orientadas de Oeste a Este.

Actualmente la geología superficial de la Cuenca del Valle de México, está dada en el plano geológico elaborado por Federico Mooser y editado por la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, en 1974 (Plano No. 1).



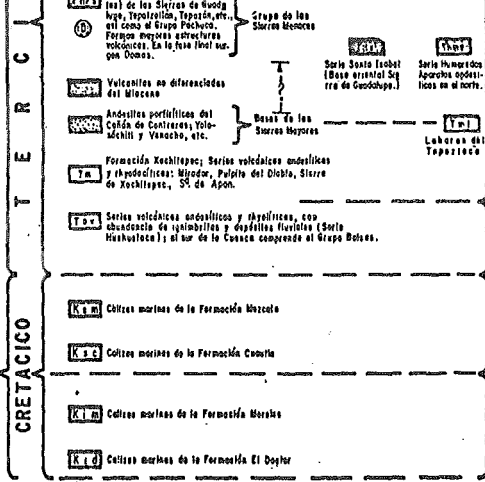


de los Andes

ENCA

E. 75

MESOZOICO
CRETACICO



MIOCENO

S-30

S-4

S-6



ESCALA EN KILOMETROS

Se realizó por Federico Moscoso por encargo de la Dirección General de Obras Hidráulicas del INER, siendo el autor investigador del Instituto de Geología (1954 a 1960) y del INER (1970) de la U.N.A.M.

Los datos de la Serie Chichimeculina fue determinado por A. Astrin paleomagnéticamente. Una carta geográfica fue hecha por J.W. Nagendorn. La geología al sur del parícutos del INER, se basó en gran parte en estudios de C. Prión Jr. (1960). La geología entre Tula y Pacheco-Atlixco, de Segarra (1966), aunque sus levantamientos fueron modificados para esta edición.

Los mapas 1: 250 000 de la Secretaría de la Defensa Nacional. Las elevaciones provienen de la Secretaría de la Defensa Nacional. La red hidrográfica fue tomada por D. Guerrero de fotografías aéreas verticales, tomadas por la Cía. Mexicana de Aereofoto, S.A.

Los datos de la variedad de elementos que constituyen las complejas Sierras Mayores (S. Prión y Nevada). Localmente se han coloreado para definir una secuencia, aunque no es posible en distancias.



U.N.A.M.
E.N.E.P.
ACATLAN



TESIS PROFESIONAL

RAUL LUNA ARRIAGA

MIGUEL A. SOTO RUISEÑOR

RICARDO GALLEGOS MARTAGON

PLANO NO. I

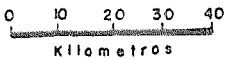
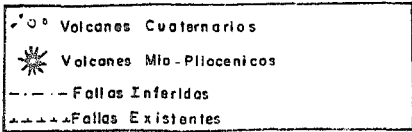
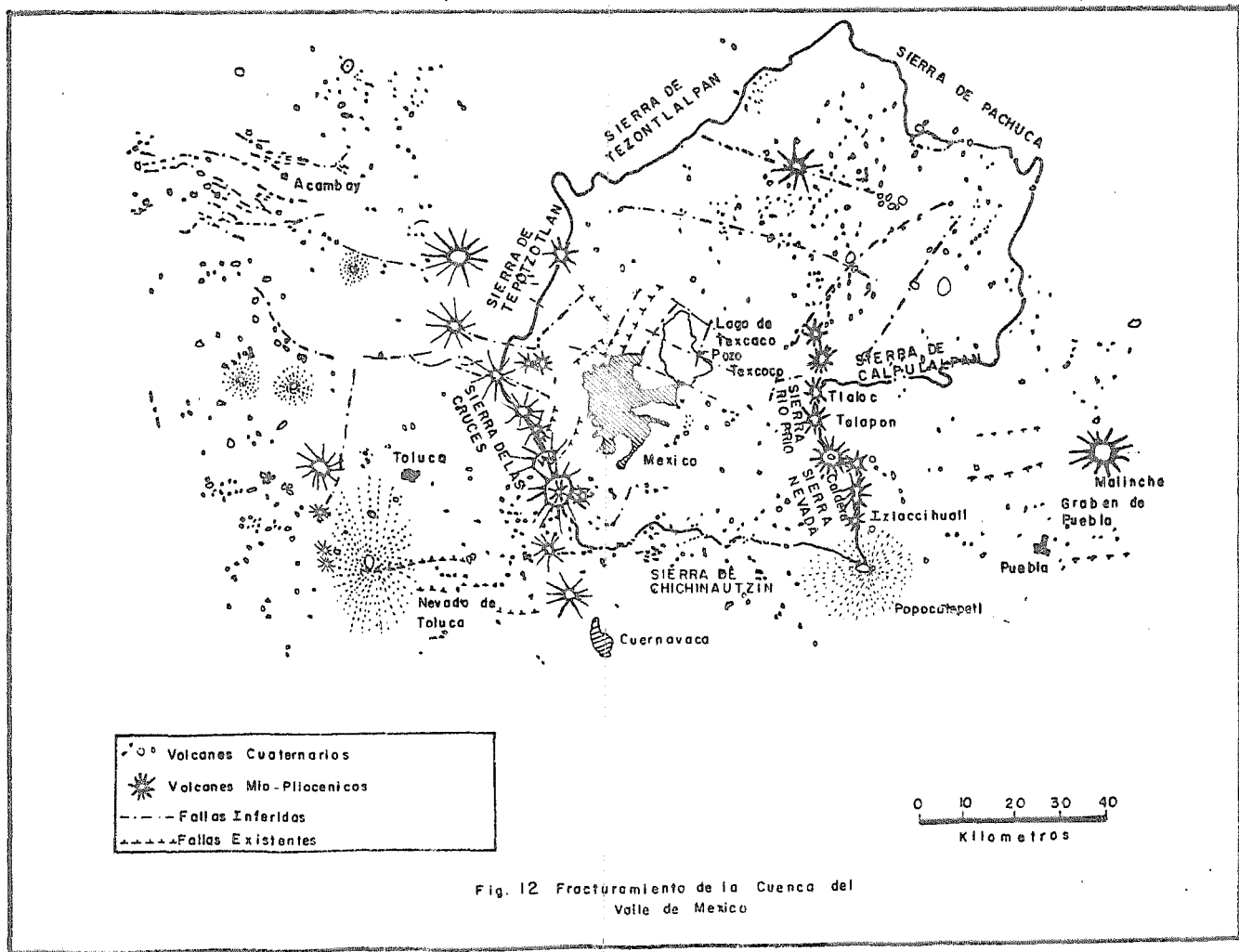


Fig. 12 Fracturamiento de la Cuenca del Valle de México

REFERENCIAS

- (1) Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo
Tomos I, II, III y IV.
- (2) Lineamientos Generales del Plan Hidráulico para la --
Cuenca del Valle de México (Alternativa 1960-1990).
Comisión Hidrológica del Valle de México. S.R.H.(19).
- (3) El Subsuelo de la Ciudad de México. 1a. Edición.
Raúl J. Marsal y Mazari. (1959).
- (4) V. Reunión Anual de Mecánica de Suelos. México 1970 -
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
- (5) Cimentaciones en zonas minadas de la Ciudad de México
Simposium Marzo de 1976 Soc.Mex. de Mec. de Suelos.
- (6) Comunicación directa con Raúl J. Marsal.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo
Tomos I, II, III y IV. D.D.F. México 1975.
- 2.- El Subsuelo de la Ciudad de México. 1a. Edición
Raúl J. Marsal y Mazari.
- 3.- V. Reunión Anual de Mecánica de Suelos. México 1970
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
- 4.- Cimentaciones en Zonas Minadas en la Ciudad de México
Symposium. Marzo de 1976 Soc.Mex. de Mec. de Suelos.
- 5.- Interceptor Profundo y Emisor Central
D.D.F. Revista México 1969.

CAPITULO III

Z O N I F I C A C I O N

INTRODUCCION

Como se comentó en el capítulo I de este trabajo, la Cuenca del Valle de México, cuenta con una gran variedad de formaciones, lo que representa un reto al Ingeniero Civil para resolver los problemas que presenta el suelo al eregir estructuras.

Motivados por dicha situación los Ingenieros especialistas en el área de Geotécnia se han dedicado a investigar y estudiar las características estratigráficas y propiedades mecánicas del suelo de la Cuenca del Valle de

México, y muy especialmente las del área metropolitana de la Ciudad de México.

El primer estudio de las características estratigráficas y propiedades mecánicas (Resistencia y Compresibilidad) del suelo se debe a Raúl J. Marsal y Marcos Mazari, en su libro titulado "El Subsuelo de la Ciudad de México", publicado en el año de 1959, donde se muestran los estudios realizados y resultados obtenidos, desde 1940.

En este primer estudio los autores llegan a la conclusión, de que el área metropolitana de la Ciudad de México, puede dividirse en tres zonas: Zona del Lago, Lomas y de Transición; atendiendo a las características estratigráficas y propiedades mecánicas de las formaciones que en ellas existen.

Un segundo estudio del suelo de la Ciudad de México se debe a la "V Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, organizada por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, donde se trató el tema, "Cimentaciones en Zonas Urbanas"; en la memoria aparecieron publicados datos complementarios sobre el suelo de la Ciudad de México, especialmente de la zona del lago propuesta por Marsal y Mazari.

Un tercer estudio realizado en la Ciudad de México, es producto del Simposio efectuado por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, en marzo de 1976, cuyo tema fue, " Las Cimentaciones sobre las Zonas Minadas de la Ciu

dad de México ", en él se trataron los problemas que se le presentan al Ingeniero Civil en la zona llamada de las lomas.

Con lo antes comentado se puede decir que el área metropolitana se encuentra zonificada atendiendo a las propiedades mecánicas de los suelos, pero hasta hoy, no se ha hecho el intento de zonificar la Cuenca del Valle de México, en este trabajo se tratará en el capítulo siguiente de hacer un intento de zonificar la cuenca atendiendo a las propiedades mecánicas del suelo.

A continuación se resumirá cada uno de los estudios citados anteriormente.

EL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO.

Raúl J. Marsal y Marcos Mazari.

Gracias a las exploraciones efectuadas al estudiar las cimentaciones dentro del área metropolitana de la Ciudad de México, se obtuvo la información necesaria y precisa de las características estratigráficas y mecánicas que presenta el suelo.

Con los datos obtenidos y atendiendo principalmente a las propiedades de los materiales constitutivos del suelo, se logró dividir la Ciudad de México en tres zonas. (Fig.1)

a) ZONA DE LAS LOMAS.

Se localiza en las faldas y serranías de la Sierra de las Cruces, está formada por terrenos compactos, arenolimosos con alto contenido de grava, también pertenecen a esta zona los derrames basálticos localizados al Sur de la ciudad denominados El Pedregal, al Norte se pueden encontrar depósitos eolíticos de arena muy fina y uniforme en la Sierra de Guadalupe, que pueden provocar asentamientos diferenciales erráticos e importantes en las estructuras.

La Zona de las Lomas casi no presenta problemas para cimentar las estructuras debido a que la capacidad de carga del terreno es elevada y no existen capas de arcilla compresible que puedan dar origen a asentamientos diferenciales de gran magnitud, sin embargo, debido a la explotación de minas de arena y grava, muchos predios están afectados por túneles o galerías a diferentes profundidades, las cuales suelen tener un desarrollo caprichoso. Evidentemente dicha situación ocasiona problemas a las estructuras.

Los límites de la zona de las lomas aparecen indicados en la Fig.1.

b) ZONA DE TRANSICION.

Entre las serranías del Este y el Lago de Texcoco se presenta esta zona, cuyas características y propiedades del suelo varían en forma considerable de un punto a otro.

En general se tienen depósitos superficiales arcillosos o limosos orgánicos de la formación Becerra, cubriendo estratos de arcilla volcánica muy compresible y de espesor variable, intercalados con estratos de arena limosa compacta o arena limpia, descansando estos últimos sobre un manto predominante de grava y arena.

Los problemas que presenta esta zona, son causados por la baja capacidad de carga y su alta compresibilidad que suelen ser muy críticos especialmente en zonas industriales, como lo es Azcapotzalco, Vallejo y Guadalupe-Insurgentes, localizadas en la zona de transición.

Las propiedades del suelo deben estudiarse e investigarse con todo detalle para diseñar correctamente las cimentaciones y superestructuras debido a la diversidad de su estratigrafía.

c) ZONA DEL LAGO.

Localizada en la parte Centro y Oeste de la Ciudad de México, sobre el antiguo lago de Texcoco.

En esta zona se tiene una estratigrafía general como se muestra a continuación:

1° Formación.- Depósitos areno-arcillosos o limosos con abundantes restos arqueológicos, o bien rellenos artificiales, que en algunos lugares llegan a tener espesores del orden de 10 mtrs.

2° Formación.- Arcillas volcánicas extraordinariamente compresibles de varios colores y consistencias,-

comprendidas entre la blanca y media, con un espesor aproximado que varía entre 15 y 32 mtrs. intercalada con pequeñas capas o lentes de arena.

3° Formación.- Primera capa dura, de aproximadamente 3 mtrs. de espesor, constituida por suelos arcillosos o limo-arenosos compactos y rígidos, que se localizan a una profundidad de aproximadamente 33 mtrs.

4° Formación.- Arcillas volcánicas de características semejantes a las de la formación que la sobreyace, aunque se encuentra más comprimida y más resistente, con un espesor entre 4 y 14 mtrs.

5° Formación.- Depósitos de arena con grava, separados por estratos de limo o arcillo arenosos. En algunos lugares de esta zona se ha encontrado una tercera formación compresible, intercalada por arcillas volcánicas a una profundidad de 65 mtrs., aproximadamente.

El corte estratigráfico antes presentado es característico del área urbana, que se encuentra dentro de la zona del lago, pero puede sufrir variaciones importantes debido a la historia de las cargas aplicadas en la superficie del terreno, particularmente en la zona que fue ocupada por las construcciones aztecas y de la colonia.

Las exploraciones de los pozos Pc 106 y Pc 143 (Fig.2) presentan la estratigrafía de las regiones poco sobrecargadas de la Ciudad de México, mientras que los pozos Pc 28 y Pc 128-1 son representativos de las zonas sobrecar

gadas (parte céntrica de la ciudad).

Atendiendo a lo antes mencionado la zona del lago se ha dividido en dos regiones (Fig.1).

a) ZONA POCO SOBRECARGADA.

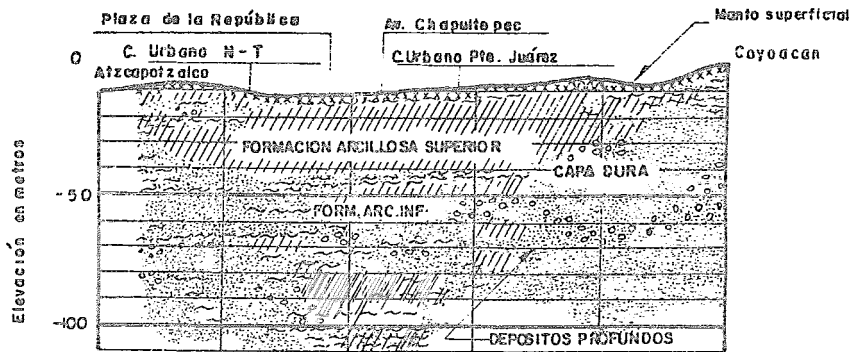
Es aquella zona que no ha experimentado cambios apreciables en el suelo, debido a que las cargas actuantes en la superficie han sido pequeñas o nulas.

b) ZONA SOBRECARGADA.

Abarca la antigua traza de la ciudad; en esta zona las propiedades mecánicas medias de los estratos arcillosos pueden variar apreciablemente, aún dentro de un mismo predio.

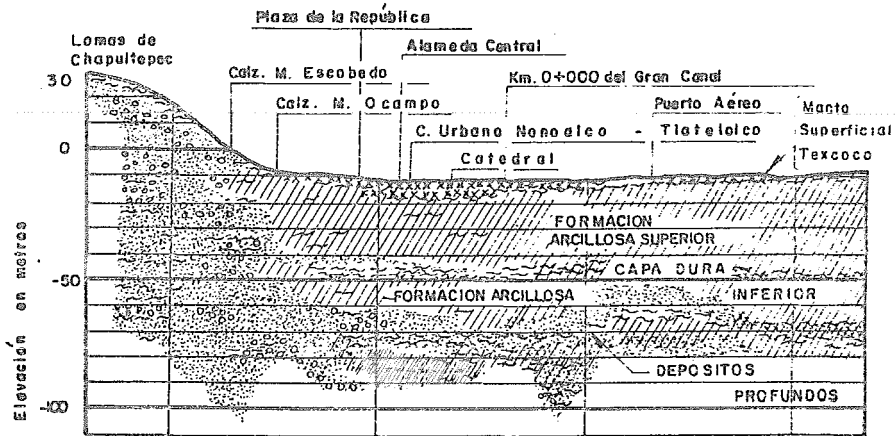
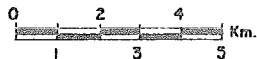
Haciendo dos cortes estratigráficos normales bajo el área urbanizada de la Ciudad de México, con direcciones Norte-Sur y Este-Oeste, cruzándose en el monumento a Cristóbal Colón, se tiene una idea aproximada de la disposición de los estratos ya descritos anteriormente (Fig.3).

Al Oeste afloran los depósitos clásticos aluviales de la formación Tarango, que con una pronunciada pendiente penetra profundamente hacia el centro de la ciudad. Los restos de los abanicos aluviales están cubiertos por gravas y arenas, y estratos compresibles constituidos por cenizas volcánicas sedimentadas en el fondo del lago, cuyo espesor aumenta hacia el Este de la Cuenca del Valle de México.



CORTE N-S (Por el Monumento a Colón)

ESCALA



CORTE W-E (Por el Monumento a Colón)

SIGNOS CONVENCIONALES



Fig. 3 CORTES ESTRATIGRAFICOS

V REUNION NACIONAL DE MECANICA DE SUELOS

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

En el año de 1970 se llevó a cabo la V Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, organizada por la S.M.M.S. donde se informó sobre los últimos estudios realizados del suelo de la zona de la Ciudad de México, principalmente de la zona llamada del lago, por ser donde se presentan los mayores problemas de hundimientos del suelo, provocados por las sobrecargas impuestas por el crecimiento urbano y la explotación de mantos acuíferos.

Aunque anteriormente ya se tenía un análisis detallado del suelo, realizado por Marsal y Mazari, sobre la zona del Lago, en su libro " El Subsuelo de la Ciudad de México " era necesario seguir estudiando el suelo de esta zona. En los últimos 10 años (1960-1970) se realizaron un gran número de sondeos para diseñar las cimentaciones de las estructuras en esta zona, de los cuales se escojieron 412, por ser los mas completos, localizados casi en su totalidad en la zona del lago, encontrándose que el suelo es tá formado por arcillas lacustres de origen volcánico muy compresibles, de baja resistencia al corte y de un conteni do de agua muy alto.

Con el análisis de los sondeos realizados en esta zona se llegó a la conclusión de que las características estratigráficas y propiedades mecánicas del suelo, son

iguales a las propuestas por Marsal y Mazari en su libro.

(1) Por lo que a continuación se mencionaran las principales características encontradas en cada estrato.

ZONA DE LAGO

MANTO SUPERFICIAL O PRIMERA FORMACION

Tiene un espesor que va desde unos cuantos centímetros en el vaso de Texcoco, hasta unos 10 mtrs. en la zona céntrica de la ciudad, con una resistencia mayor y una compresibilidad menor que la formación arcillosa superior.

FORMACION ARCILLOSA SUPERIOR O SEGUNDA FORMACION

Su espesor aumenta de Oeste a Este, o sea, aumenta hacia el vaso de Texcoco. Se encontraron grandes espesores que se les denomina mantos compresibles, causados por la ausencia de la capa dura entre la formación arcillosa superior e inferior, tiene un contenido medio general de agua de 270 %, que puede aumentar o disminuir con el espesor de la formación, por ejemplo: para espesores menores de 20 mtrs. se tiene un contenido de agua menor de 270 %, y en cambio para un 60 % de los sondeos el contenido de agua es menor que el valor medio general. Se observó también que en 4 sondeos realizados cerca de la zona de transición el contenido medio general de agua es de 150 %, y para 4 sondeos realizados en formaciones de gran espesor -

localizadas en las zonas vírgenes poco o nada afectadas - por sobrecargas y bombeos intensos de agua, se encontró un contenido medio de agua de 400 %.

CAPA DURA O TERCERA FORMACION

De los 412 sondeos analizados, en 329 se encontraron varios estratos delgados de suelo diferente entre sí, que se dividieron en grupos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), estos grupos son: SM, SC, ML que son los que predominan, los GP, GW, SW y SP, se encuentran con menor frecuencia localizados generalmente donde se confunde la zona del lago con la de transición, y finalmente se encuentran los MH, CL y CH, ocasionalmente.

Se observó que esta capa es de forma cóncava y - que aumenta su profundidad al ir avanzando hacia el vaso - de Texcoco, su espesor medio es de aproximadamente dos metros; en un 90 % de los sondeos se encontró un contenido - de agua medio de 50 % y una resistencia alta, es decir, -- que los suelos granulares se encuentran en estado compacto y los suelos finos tienen una consistencia dura.

FORMACION ARCILLOSA INFERIOR O CUARTA FORMACION

Constituída por arcillas volcánicas altamente -- compresibles, que en ocasiones se encuentran con lentes de vidrio volcánico compacto y suelo limoso interestratifica-

do con arcilla, su contenido de agua varía de 100 % a 200 %; en un 86% de los sondeos se obtuvo un promedio general de 170% en su contenido de agua.

DEPOSITOS PROFUNDOS O QUINTA FORMACION*

Formada principalmente por suelos arenosos finos en estado muy compacto, con lentes delgadas de arcilla. En estos depósitos se localizan acuíferos de alta permeabilidad que han sido explotados para abastecer de agua a la Ciudad de México.

ZONA DE LOMAS

Localizada en las faldas de las serranías y lomeríos del Oeste y Suroeste de la Cuenca del Valle de México, está la zona de lomas formada por abanicos y corrientes lávicas producto de la actividad volcánica.

Con los sondeos realizados en esta zona se logró determinar la existencia de una capa superficial compacta o dura con grado de cementación variable, que yace sobre suelos no cementados y de compacidad muy baja. También se encontraron cavernas y minas producto de la explotación hecha por el hombre de los depósitos de origen volcánico como son las arenas y los materiales pumíticos.

ZONA DE TRANSICION

La zona de transición se encuentra localizada entre las dos mencionadas anteriormente, está constituida principalmente por estratos de suelo arcilloso del mismo

origen que el suelo de la zona del lago, pero de menor espesor y sin tener un orden estratigráfico bien definido, - intercalados con depósitos casi siempre lenticulares de -- suelos aluviales.

* (Nombre que se le dá en el libro de Marsal y Mazari, "El Subsuelo de la Ciudad de México").

SIMPOSIO SOBRE CIMENTACIONES EN LAS ZONAS MINADAS DE LA CIUDAD DE MEXICO.

(S. M. M. S. - D. D. F.)

En marzo de 1976 se efectuó en la Ciudad de México un " Simposio sobre Cimentaciones en Zonas Minadas de - la Ciudad de México ", cuyo objetivo principal fue el de - completar y estudiar más a fondo la Zona denominada de las Lomas propuesta por Marsal y Mazari. Este estudio se realizó por conducto de la Sociedad Mexicana de Mécanica de Suelos y fue patrocinado por el Departamento del Distrito Federal, debido a la preocupación de las autoridades por la seguridad de los habitantes de esta zona, amenazada con la existencia de minas y barrancas hechas por el hombre, para la extracción de materiales para la construcción.

La zona de las Lomas se localiza en ambos lados de la planicie de la Cuenca del Valle de México, con una - orientación Nor-Noroeste a Sur-Sureste, formada por una serie de lomeríos de materiales pumfíticos, que fueron acumu-

lándose a los pies de las Sierras de las Cruces, Nevada y Río Frío.

Esta zona es la mejor de las tres mencionadas en los anteriores resúmenes por ser la que tiene una mayor resistencia al corte, y no presentar efectos de hundimiento, debido a que cuenta con una muy baja compresibilidad.

La estratigrafía general que conforma la zona de las Lomas es errática, debido a que su secuencia no es -- constante pero se puede tomar una estratigrafía general -- como sigue:

La primera capa está compuesta por suelos orgánicos Totolsingo, con un espesor que varía de 1 a 2 mtrs.; a continuación se presentan los suelos Becerra y Tacubaya, -- estratificados con vetas de caliche en la parte superior, -- le subyacen boleos y gravas de forma redondeada a sub-re-- dondeada, embebidos en una matriz arenosa generalmente llamada Serie Clástica Fluvial y Aluvial; por último aparecen Tobas.

La estratigrafía anterior, de ninguna manera debe tomarse como la existente en toda la zona, ya que los -- agentes climatológicos y el tiempo, han hecho que se ero-- sionen e inclusive desaparezcan algunas formaciones, gene-- ralmente las ubicadas cerca de la superficie, además se -- puede encontrar en ocasiones una abrupta topografía, que -- puede dar origen a falsas interpretaciones estratigráficas.

En la zona de las Lomas se encuentra una gran --

cantidad de cavernas, minas y barrancas, producto de la intervención de la naturaleza o del hombre, que representan un gran peligro para las 300,000 personas que habitan esta zona.

Muchas de estas cavernas, minas y barrancas, son consecuencia de la explotación rudimentaria e irracional hecha por el hombre para la extracción de materiales para la construcción.

Tomando en cuenta el peligro que representan estas minas, se han hecho estudios estratigráficos y de propiedades del suelo, en base a la clasificación de las formaciones respecto a su factibilidad de constituir fuentes naturales de agregados pétreos.

El estudio estratigráfico queda entonces enfocado a clasificar e identificar los depósitos granulares susceptibles de explotación, toda vez que las minas y cavidades están restringidas a tales depósitos. Así los depósitos granulares han sido clasificados como sigue:

HORIZONTE GRANULAR SUPERIOR.

Compuesto de gravas y boleos de la serie Clástica Fluvial y Aluvial, que en algunos lugares se detecta con espesor de 3 a 5 mtrs.

HORIZONTE GRANULAR INTERMEDIO.

Compuesto por materiales pumíticos que aparecen en estratos de pequeño espesor, en general no mayor de 2 - mtrs. que en número de hasta tres, se intercalan con notable continuidad en tobas volcánicas.

HORIZONTE GRANULAR INFERIOR.

Compuesto de gravas y arenas andesíticas rojizas y azules, dispuestas en depósitos de gran espesor y continuidad que comunmente afloran en el fondo de las barrancas.

Dada la importancia de los Horizontes Granulares es deseable que sus fronteras queden bien referidas a bancos de nivel visibles para su correcta localización, para así poder proponer el tipo de cimentación más adecuado para una edificación por construirse en un predio o área; la detección se haría con estudios más concretos y específicos. Estos estudios generalmente son realizados por medio de métodos geofísicos, como son el de Resistividad Eléctrica (Geoeléctrico), el Sísmico, el Magnético y el Gravimétrico.

El estudio de las propiedades del suelo está basado en el conocimiento de la Resistencia a la Compresión Simple que varía en los estudios realizados entre 10 y 100 ton/m². el Coeficiente de Compresibilidad Volumétrica que

varía entre 1 y $10 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{ton}$.

Especial atención se debe tener a la intemperización de los materiales, ya que sus propiedades son susceptibles de cambio con el tiempo, como resultado de los cambios climáticos y sobre todo por el efecto que causa el agua al circular a través de imperfecciones en ellos.

En esta zona también se encuentran rellenos, unos formados por desperdicios de construcción, otros depositados para apoyar estructuras sobre ellos; en el primer caso se debe evitar que se apoyen en ellos las cimentaciones, pues en general este tipo de rellenos se encuentran en estado suelto y son sumamente heterogéneos; en el segundo caso, es conveniente conocer el espesor del relleno y su distribución en el área, así como su grado de compactación para poder decidir la factibilidad de que sirva de apoyo a las cimentaciones.

Algunas soluciones recomendadas para cimentar sobre cavidades o minas y que comunmente se usan son; emplear Concreto Ciclópeo para rellenar; derrumbar completamente la cavidad para posteriormente rellenar con suelo fino, con una compactación al 95 %; llevar pilotes o pilas hasta el lecho inferior de la cavidad o mina, siempre y cuando se asegure que éste es un buen apoyo para los pilotes; también existe la posibilidad de aprovechar las propiedades puzolánicas de los materiales naturales para emplearlos en

la fabricación de rellenos de cavidades.

Las mezclas deberán cumplir con los requerimientos mínimos de fluidez y de contracción para poder ser utilizadas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- El Subsuelo de la Ciudad de México. 1a. Edición 1959.
Raúl J. Marsal y Marcos Mazari.

- 2.- V Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. México 1970
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

- 3.- Cimentaciones en Zonas Minadas de la Ciudad de México
Simposio, Marzo de 1976, Sociedad Mexicana de Mecánica.
ca.

CAPITULO IV

E S T R A T I G R A F I A

INTRODUCCION

Desde los estudios realizados por Marsal y Mazarri (1) y la recopilación hecha por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, para la " V Reunión Nacional de Mecánica de Suelos " (2), no se habían hecho nuevas aportaciones sobre las características estratigráficas y propiedades mecánicas de los suelos de la Ciudad de México, motivados -- por dicha situación, la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos organizó un Simposio para actualizar esa información. El Simposio fue titulado " EL SUBSUELO Y LA INGENIE-

ses más firmes y recientes sobre las características estratigráficas y propiedades mecánicas de los suelos que forman la Cuenca del Valle de México. Principalmente de las áreas que han experimentado en los últimos años un crecimiento urbano y demográfico muy elevado, y que la zonificación propuesta por Marsal y Mazari (1) no toma en cuenta.

Se pretende entonces, proponer por medio de este trabajo una nueva zonificación que abarque las áreas antes mencionadas previéndose una futura ampliación de éstas, basándose en la información proporcionada por los 490 sondeos.

Para analizar con mayor detalle la información obtenida, los autores de este trabajo proponen una regionalización arbitraria de la Cuenca del Valle de México, dividiéndola en cinco regiones (Plano No. 1), que son:

Región	Norte
Región	Oeste
Región	Centro
Región	Este
Región	Sur

El criterio utilizado por los autores de este trabajo para zonificar la Cuenca del Valle de México, se basa en el aplicado por Marsal y Mazari (1), para deter---

minar las tres zonas; lago, transición y lomas. También se decidió obtener el rango de variación de los espesores y propiedades que caracterizan a cada formación.

ZONA DEL LAGO.

El nivel de aguas freáticas en esta zona se puede encontrar superficialmente o hasta una profundidad de 3.6 mtrs.

Formación Superficial.- Constituída por suelos finos, gruesos y materiales de relleno, generalmente de alta resistencia y poco compresibles, con espesores que oscilan entre 0.00 y 7.00 mtrs. y un contenido de agua natural que varía de 7 % a 275 %.

Formación Arcillosa Superior.- Constituída por suelos arcillosos del tipo CH, de baja resistencia y muy compresibles, con espesores que varían entre 2.5 mtrs. y 49.0 mtrs., un contenido de agua natural que oscila entre 108 % y 300 %.

Primera Capa Dura.- Formada generalmente por suelos limo-arenosos, muy resistentes y poco compresibles, con espesores que van de 0.3 mtrs. a 3.5 mtrs., con un contenido de agua natural que varía entre 10 % y 196 %.

Formación Arcillosa Inferior.- Constituída por suelos arcillosos de alta plasticidad, muy compresibles y poco resistentes, con un espesor que varía de 0.3 a 29.0-

mtrs., y un contenido de agua natural que oscila entre --
120 % y 325 %.

Depósitos Profundos.- Formados por suelos limo--
arenosos principalmente, y limos de baja plasticidad, poco
compresibles y muy resistentes, con espesores que van de -
0.3 mtrs. a 17.4 mtrs., y un contenido de agua natural que
varía del 8 % al 78 %.

ZONA DE TRANSICION.

Se considera que los suelos que forman esta zona,
son finos de alta y baja plasticidad, y suelos gruesos bi
en y mal graduados, en capas interestratificadas, con con-
tenidos de agua natural altos y bajos, espesores variados,
y un nivel de aguas freáticas muy errático; como su nombre
lo indica, tiene características y propiedades muy varia--
bles.

ZONA DE LOMAS.

Se considera que los suelos finos y gruesos que
forman esta zona son de alta y baja plasticidad, así como
bien y mal graduados, con contenidos de agua muy bajos, en
capas interestratificadas, con espesores variados, muy re-
sistentes y poco compresibles, y un nivel de aguas freáti-
cas que se localiza a más de 10.0 mtrs. de profundidad.

Se ha decidido que para tener una información -- más detallada de las características y propiedades de los suelos de cada zona, se analicen de la siguiente forma:

En la zona del lago por formaciones y en las zonas de transición y de lomas en suelos finos y gruesos.

Se hace también notar que los sondeos llevados a menos de 10.0 mtrs. de profundidad, no se tomaron en cuenta, para obtener los valores de las características y propiedades de los suelos que representan, por considerar que éstos no son representativos.

A continuación se resumirán las características y propiedades de cada una de las zonas (Lago, Transición y Lomas) que integran cada una de las regiones mencionadas anteriormente.

REGION NORTE.

Localizada en la parte Norte de la Cuenca del -- Valle de México, ocupa parte de los Estados de México e -- Hidalgo. Limitada al Norte por las Sierras de Tezontlalpan y Pachuca; al Este por la Sierra de Tepozan; al Oeste por la Sierra de Tepozotlan; y al Sur por la carretera Santa -- María Cahuacan - Villa Nicolás Romero - Tlanepantla - Va-- lle Ceylán - Santa Clara - Vía Morelos - Santa María Chi-- conautla - Chinconcuac - Calpulalpan - Hacienda de Zoquia-- pan. (Plano No. 1).

La topografía general es del tipo de lomeríos -- muy suaves y grandes extensiones planas, principalmente -- hacia la parte Este de la región.

Los sondeos recopilados de esta región pertene-- cen a los municipios cercanos a la Ciudad de México, por -- ser las zonas que en los últimos años han experimentado un gran crecimiento urbano e industrial. Estos se concentran-- en la parte Sur y Sur-Oeste de la región.

Se analizaron 22 sondeos (Representativos de 210 (4) que se muestran en la figura No. 1. Estos se llevaron a una profundidad media de 13.0 m. ; con una profundidad -- máxima y mínima de 25.0 y 2.0 m. respectivamente.

Esta región presenta dos zonas: de Transición y-- de lomas, que a continuación se analizarán de acuerdo a -- los datos de los sondeos de la tabla No. I.

ZONA DE TRANSICION.

Localizada en la parte Este de la región, siguiendo el contorno de las faldas de las Sierras de Tezontlalpan, Pachuca, Tepozan y Tepozotlan, los suelos constitutivos de esta zona son del tipo CH, MH, CL, ML, SC y SM que se encuentran en capas interestratificados, con espesores variados.

Los suelos del tipo CH, MH, CL y ML o materiales finos tienen en promedio un contenido de agua natural de 64 %, un límite líquido de 95 %, un límite plástico de 39 %, un número de golpes en la prueba de penetración estándar de 36, y un espesor promedio de 4.0 m.

El nivel de aguas freáticas en esta zona se localiza en promedio a 5.0 m. de profundidad con respecto al nivel del terreno natural, variando desde 1.75 a 8.5 m.

ZONA DE LOMAS.

Se localiza en la parte Oeste de la región, los suelos que constituyen esta zona se encuentran en capas interestratificados y son del tipo CL, ML, SC, SM y SP, con espesores variados.

Los suelos CL y ML llamados también suelos finos tienen en promedio un contenido de agua natural de 23 %, un límite líquido de 38 %, un límite plástico de 23 %, y -

un número de golpes en la prueba de penetración estándar - de 36.

Los suelos SC, y SM o materiales gruesos, tienen en promedio un contenido de agua natural de 22 %, un límite líquido de 41 %, un límite plástico de 23 % y un número de golpes en la prueba de penetración estándar de 38; en ocasiones se encontraron suelos del tipo SP.

El nivel de aguas freáticas en esta zona se localiza en promedio a 12,0 m. de profundidad con respecto - al nivel del terreno natural, variando desde 6.0 a 18.5 m.

REGION OESTE

Localizada en el Estado de México, se encuentra limitada al Norte por la Carretera Valle Ceylán - Tlalnepantla - Villa Nicolás Romero - Santa María Cahuacán; al Sur y al Este por los límites del Estado de México con el Distrito Federal; y al Oeste por la Sierra de las Cruces. (Plano No. 1).

La topografía que prevalece en esta región es del tipo de lomeríos suaves y partes planas.

Los sondeos que se recopilieron fueron en su mayoría de los municipios colindantes o cercanos al Distrito Federal, es decir que se concentran en la parte Este de la región.

Se recopilieron para esta región 60 sondeos, que se muestran en la figura No. 2, los cuales se llevaron a una profundidad media de 15.0 m.; con profundidades máxima y mínima de 30.0 y 2.5 m. respectivamente. No se consideraron para este promedio las exploraciones del subsuelo que se realizaron por métodos geosísmicos y geoelectricos, que proporcionaron información del subsuelo hasta una profundidad de 350 m. efectuadas en la zona de Lechería.

En esta región se presentan dos zonas; de Transición y de Lomas, que a continuación se analizarán de acuerdo a los datos de los sondeos de la Tabla No. II

ZONA DE TRANSICION.

Localizada en la parte Este y Sur-Este de la región, siguiendo aproximadamente el contorno de la Sierra de las Cruces, los suelos constitutivos de esta zona son del tipo CH, MH, CL, ML, OH, OL, SC, SM y GP, que se encuentran en capas interestratificados con espesores variados.

Los suelos CH, MH, CL y ML o materiales finos, tienen en promedio un contenido de agua natural de 53%, un límite líquido de 71%, un límite plástico de 33, y un número de golpes en la prueba de penetración estándar de 17.

Los suelos del tipo OH y OL o materiales con alto contenido de materia orgánica, tienen en promedio, un contenido de agua natural de 73%, un límite líquido de 74% y un límite plástico de 24%.

Los suelos del tipo SC, y SM o materiales gruesos tienen en promedio un contenido de agua natural de 23%, un límite líquido de 66%, un límite plástico de 36%, y un número de golpes en la prueba de penetración estándar de 34. En ocasiones se encontraron suelos del tipo GP.

El nivel de aguas freáticas medio se localiza a 6.5 m. de profundidad con respecto al nivel del terreno natural, variando desde 3.0 hasta 9.0 m.

ZONA DE LOMAS.

Se localiza en la parte Oeste de la región, los suelos constitutivos de esta zona son del tipo CL, ML, SC, SM, SP y GP. Aparecen también fragmentos de roca, con espesores variados que van desde 1.5 hasta 8.5 mtrs.

Los limos de baja plasticidad (ML), pueden considerarse representativos de los materiales finos, tienen en promedio un contenido de agua natural de 29 %, un límite líquido de 32 % y un límite plástico de 23 %.

Las arenas limosas (SM) son representativas de los materiales gruesos, tienen en promedio un contenido de agua natural de 22 %, un límite líquido de 28 % y un límite plástico de 22 %.

El nivel de agua freática medio en esta zona se localiza a 9.5 mtrs. de profundidad con respecto al nivel del terreno natural, variando desde 8.0 hasta 10.2 mtrs.

REGION CENTRO.

Localizada en el centro de la Cuenca del Valle - de México, ocupando el D.F. y sus cercanías, esta limitada al Norte por las poblaciones de Ixtacala, Valle de Ceylan, Lucas Patoni y por la Avenida Vía Morelos; al Oeste por -- los límites del Estado de México con el Distrito Federal;-- al Este por la carretera México - Pachuca, Avenida Ferroca rril Hidalgo, Avenida Río Consulado, Boulevard Puerto Ae- reo y la Calzada Ignacio Zaragoza; y al Sur por los pobla- dos de Cuajimalpa, San Mateo Tlaltenango, San Bartolo Ame- yalco, Tlalpan, San Lorenzo Tezonco, Santa Cruz Meyahualco y Acahualtepec. También se encuentra limitada en su parte central por las Avenidas Reforma, Hidalgo, 5 de Mayo, Se- minario, Pino Suárez, San Antonio Abad, Boulevard Miguel - Alemán e Insurgentes Sur, que circundan la zona centrica - de la Ciudad de México y a la fecha ha sido sumamente estu- diada, por lo tanto, se ha considerado conveniente no ser analizada en este trabajo. (Plano No. 1)

Tiene una topografía semejante a una planicie, - con una ligera pendiente que va de Oeste a Este.

Para analizar la región se cuenta con datos de - los sondeos de la tabla Núm. III.

ZONA DE LAGO.

Se localiza principalmente al Este de la región como se muestra en la figura No. 3.

En esta zona se encontró el nivel medio de aguas freáticas a una profundidad de 2.60 mtrs.

Manto Superficial.- Formado por suelos del tipo ML, CL, MH, CH, OH, SM y materiales de relleno, que tienen en promedio general los siguientes valores: contenido de agua natural de 63 %, número de golpes en la prueba de penetración estándar de 11, límite líquido de 89 %, límite plástico de 41 % y un espesor de 4.80 mtrs.

Formación Arcillosa Superior.- Constituida por arcillas de alta plasticidad de origen volcánico, que tienen en promedio un contenido de agua natural de 245 %, un número de golpes en la prueba de penetración estándar de 7, un peso volúmetrico natural de 1.27 Ton/m^3 , un límite líquido de 273 %, un límite plástico de 84 %, una relación de vacíos de 5 y un espesor de 20.80 mtrs.

Capa Dura.- Formada por limos arenosos, limos de baja plasticidad, y en algunas ocasiones por limos de alta plasticidad, que tienen las siguientes características: para los limos arenosos se tiene un contenido medio de agua natural del 40 %, un número de golpes promedio en la prueba de penetración estándar de 32 y un espesor medio de 4.10 mtrs. En los limos de alta y baja plasticidad se tie-

ne un contenido medio de agua natural del 51 %, un número de golpes promedio en la prueba de penetración estándar de 29 y un espesor medio de 4.90 mtrs.

Formación Arcillosa Inferior.- Constituida por arcillas de alta plasticidad, con un contenido medio de agua natural del 184 %, un número de golpes promedio en la prueba de penetración estándar de 16 y un espesor medio de 7.60 mtrs.

Depósitos Profundos.- Constituidos por limos arenosos y limos de baja plasticidad con las siguientes características: Para los limos arenosos, se tiene un contenido medio de agua natural del 28 %, un número de golpes promedio en la prueba de penetración estándar de 50 y un espesor medio de 2.40 mtrs. En los limos de baja plasticidad se encontró un contenido medio de agua natural del 45 %, un número de golpes promedio en la prueba de penetración estándar de 50 y un espesor medio de 7.5 mtrs.

ZONA DE TRANSICION.

Localizada en la parte centro y Sur de la región como se indica en la figura No. 3. Los suelos que constituyen esta zona son del tipo CH, MH, CL, ML, SC, SM y GP, -- que se encuentran interestratificados con espesores variados.

Los suelos CH, MH, CL y ML o materiales finos --

tienen un contenido medio de agua natural del 107 %, un número promedio en la prueba de penetración estándar de 15 y un espesor medio de 8.50 mtrs.

Los suelos del tipo SC y SM o materiales gruesos tienen en promedio, un contenido de agua natural de 37 %, un número de golpes en la prueba de penetración estándar de 35 y un espesor de 8.10 mtrs. Ocasionalmente se encontraron suelos del tipo GP.

El nivel medio de aguas freáticas se localizan a 3.40 mtrs. de profundidad con respecto al nivel del terreno natural, variando desde 1.00 mtrs. hasta 12.30 mtrs.

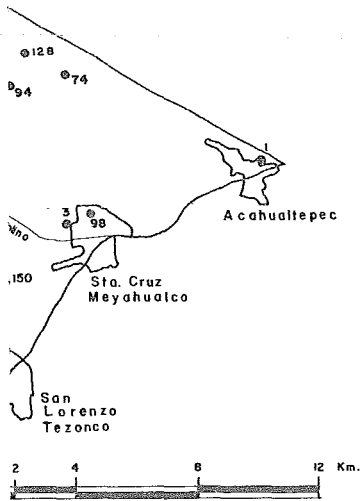
ZONA DE LOMAS.

Localizada en la parte Oeste de la región, constituida por suelos del tipo CL, ML, SC, SM, SP y GP; aparecen en ocasiones fragmentos de roca con espesores variados y capas de suelos de alta plasticidad.

Los suelos del tipo CL y ML o materiales finos tienen en promedio un contenido de agua natural del 68 %, un número de golpes en la prueba de penetración estándar de 21, y un espesor de 7.4 mtrs.

Los suelos SC, SM y SP o materiales gruesos tienen un contenido medio de agua natural del 26 %, un número de golpes promedio en la prueba de penetración estándar de 38 y un espesor medio de 8.20 mtrs.

El nivel de aguas freáticas en esta zona no se -
logró detectar.



NAM ENEP-ACATLAN INGENIERIA CIVIL 	
G I O N C E N T R O	
PROFESIONAL miento de los el Valle de n relación oras de Ing.	GALLEGOS MARTAGON R. LUNA ARRIAGA RAUL SOTO RUISEÑOR MIGUEL
ENERO - 1979	FIGURA No. 3

REGION ESTE.

Se localiza al Este de la Ciudad de México y está limitada al Sur por la Calzada Ignacio Zaragoza y la carretera Los Reyes-Ixtapaluca-Llano Grande; Al Norte por la carretera Santa María Chiconautla-Chinconcuac-Calpulalpan-Hacienda de Zoquiapan; Al Este por la Sierra de Río Frío; Al Oeste por el Boulevard Puerto Aéreo, Av. Río Consulado, Ferrocarril Hidalgo y Autopista México-Pachuca. (Plano No. 1).

Tiene una topografía muy uniforme, semejante a una planicie, originada por la formación del Antiguo Lago de Texcoco, que en la actualidad tiene una área muy reducida debido a la desecación a que ha sido sometido. Se encuentran también en esta región algunos lomeríos; como el del Peñón del Marqués, el Peñón y el Cerro de Chimalhuacán.

Para analizar esta región se cuenta con los datos de 151 sondeos, de los cuales 91 fueron realizados para el Proyecto del Plan de Texcoco. La mayoría de los sondeos se encuentran concentrados alrededor del camino Peñón Texcoco y de la Vía Morelos. (Fig. No. 4)

Los sondeos mencionados tienen una profundidad media de 35 m.; con profundidad máxima y mínima de 150 m. y 3 m. respectivamente.

Desde el punto de vista estratigráfico se puede-

encontrar; la Zona de Lago, Transición, que a continuación se analizarán de acuerdo a los datos de los sondeos de la tabla No. IV.

ZONA DEL LAGO.

Debido a la dificultad que representa la delimitación de esta zona por medio de calles, se hará referencia a la (Fig.4), donde se pueden ver los límites de esta zona.

En esta zona se encontró el nivel de aguas freáticas, medio a una profundidad de 1.00 m. y dos estratos que se suman a las formaciones básicas propuestas por Marsal y Mazari (1); la tercera formación arcillosa y depósitos profundos inferiores, que se comentarán posteriormente.

Manto Superficial.- Formando principalmente por limos arenosos arcillas consolidadas por desecación, con un espesor y profundidad media general de 1.60 m. que aumenta en dirección a la Sierra de Guadalupe hasta 6.0 m. (3), su contenido medio general de agua natural es de 71 %.

Formación Arcillosa Superior.- Constituida por arcilla de alta plasticidad de origen volcánico, con un espesor promedio de 28.0 m., éste tiende a aumentar de Norte a Sur de 17.0 a 40.0 m. respectivamente, tiene un contenido medio de agua natural de 312 %, una resistencia

media a la compresión simple de 0.14 kg/cm^2 , con una penetración estándar igual al peso de la herramienta y una relación de vacíos promedio de 7.

Capa Dura.- Formada principalmente por suelos limoarenosos, con un espesor promedio de 2.20 mtrs., un contenido medio de agua natural es de 65 %, con una resistencia a la penetración estándar de 50 golpes.

Formación Arcillosa Inferior.- Constituida por - arcilla de alta plasticidad de menor contenido de agua de menor compresibilidad que la formación Arcillosa Superior, tiene un espesor de 20.0 mtrs. en el centro del lago y decrece hacia la periferia, tendiendo a desaparecer hacia la Sierra de Guadalupe, con un espesor promedio del orden de 12.0 mtrs., con un contenido medio de agua natural del - - 256 %, con una resistencia media a la compresión simple de 0.24 Kg/cm^2 , y una resistencia a la penetración estándar - igual al peso de la herramienta, teniendo una relación de vacíos media de 6.

Depósitos Profundos Superiores o Segunda Capa Dura.- Formada principalmente por arenas limosas, con un espesor medio de 5.60 mtrs., su contenido medio de agua natural del 150 % y una resistencia a la penetración estándar mayor de 50 golpes. En ocasiones se encuentran intercala-- dos arenas finas y limos muy compactos en estos depósitos.

Tercera Formación Arcillosa.- Constituida por arcilla del mismo origen que la formación Arcillosa Super-

rior, con espesores entre los 6.0 y 14.0 mtrs., encontrándose en ocasiones a profundidades de 46.0 mtrs., con un contenido medio de agua natural del 146 %, teniendo valores máximos del orden de 280 %. (3).

Depósitos Profundos Inferiores.- Formados por estratos arenosos y limoarenosos, con un contenido medio general de agua natural del 37 %. Se encontrarán en ocasiones arcillas. (3).

ZONA DE TRANSICION.

Se localiza principalmente en las faldas de la Sierra de Guadalupe, del Cerro de Chimalhuacan y en la carretera de Santa María Chimalhuacan - Chapingo, como se indica en la figura No. 4.

El nivel de aguas freáticas se localiza a una profundidad promedio de 4.90 mtrs., con respecto al nivel del terreno natural. Se hace notar que este nivel varía de 1.90 mtrs. a 10.40 mtrs. de profundidad.

Los suelos que constituyen esta zona son del tipo CH, MH, ML, que se encuentran con mayor frecuencia los SM, SP, SW, en menor y las CL escasamente. Los espesores de los suelos mencionados anteriormente al igual que su frecuencia y propiedades son muy erráticas, debido a esta situación se comentaran sus características en la forma siguiente: Los suelos del tipo CH, MH, ML y CL o materiales

finos tienen en promedio un contenido de agua natural de - 133 %, con un espesor medio de 5.5. mtrs. que varía entre 0.4 mtrs. y 22.00 mtrs. En los suelos gruesos o SM, SP y - SW se obtuvo un contenido de agua natural medio de 39 %, - con un espesor medio de 5.0 mtrs. que varía de 0.3 mtrs. a 8.0 mtrs.

REGION SUR.

Localizada al Sur de la Cuenca del Valle de México, ocupa parte del Estado de México y Distrito Federal, limitado al Norte por los límites del Distrito Federal, con el Estado de México, los poblados de Cuajimalpa, San Mateo Tlaltemango, San Bartolo Ameyalco, Tlalpan, San Bernabe Ocotepec, San Lorenzo Tezonco, Santa Cruz Meyahualco, Santa Martha Acatitla y la carretera Federal México - Puebla; al Este por la Sierra Nevada y al Oeste y Sur por la Sierra de Chichinautzin (Ver plano No. 1).

La región se caracteriza por tener una superficie muy plana en el centro y lomeríos en su periferia los sondeos recopilados pertenecen en su mayoría a la parte Norte de la Región.

Se analizaron 83 sondeos, que se muestran en la figura No. 5. Estos se llevaron a una profundidad media de 21.50 mtrs.; con profundidad máxima y mínima de 195.5 y 2.5 mtrs. respectivamente.

En esta región se presentan las tres zonas que son: de Lago, Transición y Lomas, que a continuación se analizarán de acuerdo a los datos de los sondeos de la tabla No. V.

ZONA DE LAGO

Se localiza en varios puntos de la región, principalmente en Los Reyes, Rinconada del Sur, Xochimilco y sus cercanías; para facilitar su localización se puede recurrir a la fig. No. 5. A continuación se comentarán las principales características encontradas.

El nivel medio de aguas freáticas en esta zona se localiza a una profundidad de 1.80 m. con respecto al nivel del terreno natural.

Formación Superficial.- Constituida por arenas limosas de baja plasticidad y materiales de relleno, con un contenido medio de agua natural del 49.60 %, y un espesor medio de 3.30 m.

Formación Arcillosa Superior.- Constituida por arcillas de alta plasticidad con un contenido medio de agua natural del 184 %, y un espesor medio de 14.50 m.

Capa Dura.- Formada por limos arenosos y limos de baja plasticidad, con las siguientes características; Para los limos Arenosos (SM) se tiene un contenido medio de agua natural del 58 % con una resistencia media a la penetración estándar de 27 golpes y un espesor medio de 3.4 m. En los Limos de Baja plasticidad, se encontró un contenido medio de agua natural del 43 %, con un espesor del 1.90 m.

Formación Arcillosa Inferior.- Constituida por

arcilla de alta plasticidad, con un contenido medio de agua natural del 172 %, y un espesor promedio de 13.70 m.

Depósitos Profundos.- Formados por arenas limosas y limos de baja plasticidad, con las siguientes características; Para los Limos Arenosos (SM), se tiene un contenido medio de agua natural del 20 %, con un espesor promedio de 3.60 m. En los limos de Baja Plasticidad, se encontró un contenido medio de agua natural del 56 %, con un espesor promedio de 5.30 m.

Dentro de la Zona de Lago se localiza una porción que comprende el Deportivo de Xochimilco y sus inmediaciones, en la que no se logró determinar la Capa Dura, encontrándose únicamente suelos de Alta Plasticidad, con las siguientes características: Tiene un nivel medio de agua freáticas de 6.50 m. de profundidad que varía entre 1.50 m. a 8.90 m.

Primera Formación.- Compuesta por arenas limosas que tienen un contenido medio de agua natural del 20%, con intervalos del 7 % al 25 %, su resistencia media a la penetración estándar de 7 golpes y espesor medio de 1.50m. que varía de 0.50 m. a 2.50 m.

Segunda Formación.- Constituida por limos de alta plasticidad, con un contenido medio de agua natural del 108 %, con intervalos del 60 % al 200 %, su resistencia media a la penetración estándar es de 13 golpes y su espesor medio de 7.20 m. que varía de 1.50 m. a 28.80 m.

Tercera Formación.- Constituída por suelos finos de alta plasticidad, con un contenido medio de agua natural de 169 %, que varía entre 104 % y 260 %, su resistencia media a la penetración estándar es de 3 golpes y un espesor medio de 11.60 mtrs. con intervalos de 3.50 mtrs. y 17.20 mtrs.

Cuarta Formación.- Constituída por limos de alta plasticidad, con un contenido medio de agua natural del 70 %, con intervalos que van 116 % al 50 %, su resistencia media a la penetración estándar es de 17 golpes, y un espesor medio de 2.70 mtrs. que varía de 1.00 mtrs. a 5.50 mtrs.

Quinta Formación.- Constituída por arcillas de alta plasticidad con un contenido medio de agua natural del 141 %, con intervalos que varían entre 122 % y 155 %, su espesor medio es de 7.20 mtrs., que varía de 1.00 mtrs. a 12.20 mtrs.

ZONA DE TRANSICION.

Se localiza en las faldas de las Sierras de Chichinautzin y Nevada, y al Nor-Oeste de la región, es decir, en la parte Sur de la Ciudad de México. (Fig.5). Los suelos constitutivos de esta región son de tipo CH, CL, MH, ML, SC y SP, que se encuentran interestratificados con espesores variados.

Los suelos del tipo CH, CL, MH y ML o materiales

finos, tienen en promedio un contenido de agua natural de 100 %, un número de golpes en la prueba de penetración estándar de 13, y un espesor de 5.00 m.

Los suelos SM, SC y SP o materiales gruesos, tienen en promedio un contenido de agua natural de 30 %, un número de golpes en la prueba de penetración estándar de 23, y un espesor de 3.90 m.

El nivel de agua freática en esta zona se localiza a una profundidad promedio de 3.50 m. con respecto al nivel del terreno natural, variando de 2.20 m. a 6.00 m.

ZONA DE LOMAS.

Localizada en la parte Sur y Este de la región, es decir sobre las Sierras de Chichinautzin y Nevada los suelos que constituyen esta zona son del tipo CL, ML, SM, SC, SP y GP, abarcan también en algunos sondeos colados de basalto, roca y escoria volcánica; se presentan con espesores variados, en capas interestratificados.

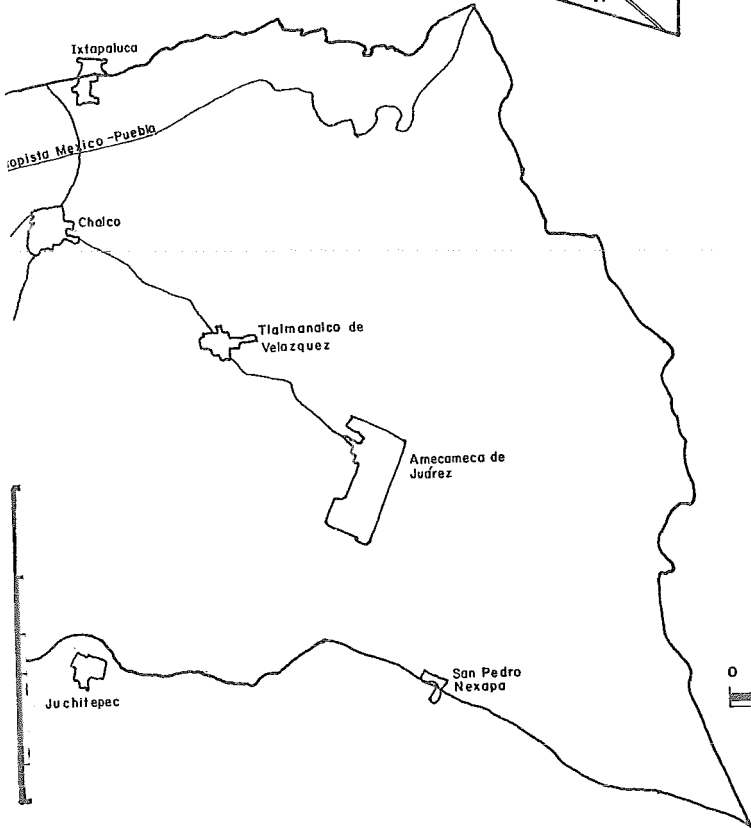
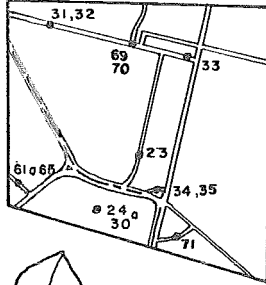
Los suelos CL y ML o materiales finos, tienen en promedio un contenido de agua natural de 40 %, un número de golpes en la prueba de penetración estándar de 29 y un espesor de 3.50 m. que varía de 1.00 m. a 11.0 m.

Los suelos SM y SC, o materiales gruesos, tienen en promedio un contenido de agua natural de 14 % un número de golpes en la prueba de penetración estándar de 37, y un

espesor de 7.60 m. que varía de 2.00 m. a 15.00 m. En ocasiones se encontraron suelos del tipo SP y GP.

Los materiales de Roca, Escoria Volcánica y las Coladas de Basalto, se localizaron en algunos sondeos su--
perficiales y en otros a una profundidad de 40.00 m.

El nivel de aguas freáticas en esta zona se loca
liza en promedio a 8.50 m. de profundidad, con respecto al
nivel del terreno natural variado desde 3.25 m. a 12.20 m.



REFERENCIAS

- (1) El Subsuelo de la Ciudad de México. 1a. Edición
Raúl J. Marsal y Mazari

- (2) V Reunión Anual de Mecánica de Suelos. México 1970
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

- (3) El Subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el Area
Urbana de la Ciudad de México.
Simposio. Marzo de 1978.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- El Subsuelo de la Ciudad de México. 1a. Edición
Raúl J. Marsal y Mazari.

- 2.- V Reunión Anual de Mecánica de Suelos. México 1970
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

- 3.- El Subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el Area
Urbana de la Ciudad de México.
Simposio. Marzo de 1978.

CAPITULO V

COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS EN CADA Z O N A

INTRODUCCION.

La Cuenca del Valle de México, está constituida por una gran variedad de suelos con diferentes características y propiedades analizadas en el Capítulo anterior, -- que provocan problemas típicos a las estructuras, de acuerdo a la zona en donde se localizan.

Teniendo en cuenta los graves problemas que representan los hundimientos del tipo regional, diferencial y total, a las estructuras, los autores de este trabajo -- consideran pertinente dividir en dos las causas que los --

originan, facilitando así su estudio.

En primer término se tienen los hundimientos de origen artificial, causados por el hombre, cuando altera las condiciones naturales de los suelos que sirven de apoyo a las estructuras, por ejemplo se podrían citar como las principales causas que los originan las siguientes:

a) La explotación de los mantos acuíferos, que provocan un abatimiento en los niveles piezométricos y un aumento en la presión efectiva.

b) La imposición de sobrecargas al suelo, acelerando el fenómeno de deformación.

c) Explotación de los materiales pumíticos.

De las tres causas mencionadas, la de mayor importancia, por el peligro que representa al hombre y a las estructuras, es la debida a la explotación de materiales pumíticos, que al ser extraídos van dejando cavidades o minas, sin ningún refuerzo o recubrimiento que las proteja de sismos o agentes del intemperismo, provocando con el tiempo derrumbes parciales o totales, que van a ocasionar hundimientos diferenciales o totales en las estructuras cimentadas sobre éstas.

En segundo lugar, se tiene a los hundimientos de origen natural, donde no interviene la mano del hombre, un ejemplo lo tenemos en la deformación de los estratos compresibles, ocasionada por peso propio y la sobrecarga impuesta por los suelos que la sobreyacen.

Tomando en cuenta la clasificación que se hizo -- sobre los hundimientos se puede considerar que estos pue-- den aparecer generalmente combinados, como en la zona del lago y transición, o bien por separado como en la zona de lomas donde frecuentemente se tienen de origen artificial.

Con lo comentado anteriormente se puede apreciar la importancia que guarda el conocer los principa-- les problemas que afectan a las estructuras que se localizan en -- la zona del lago, transición o lomas, por lo que en este -- Capítulo se comentarán en forma general y junto con ello -- algunos ejemplos de estructuras con problemas de cimenta-- ción.

ZONA DE LAGO:

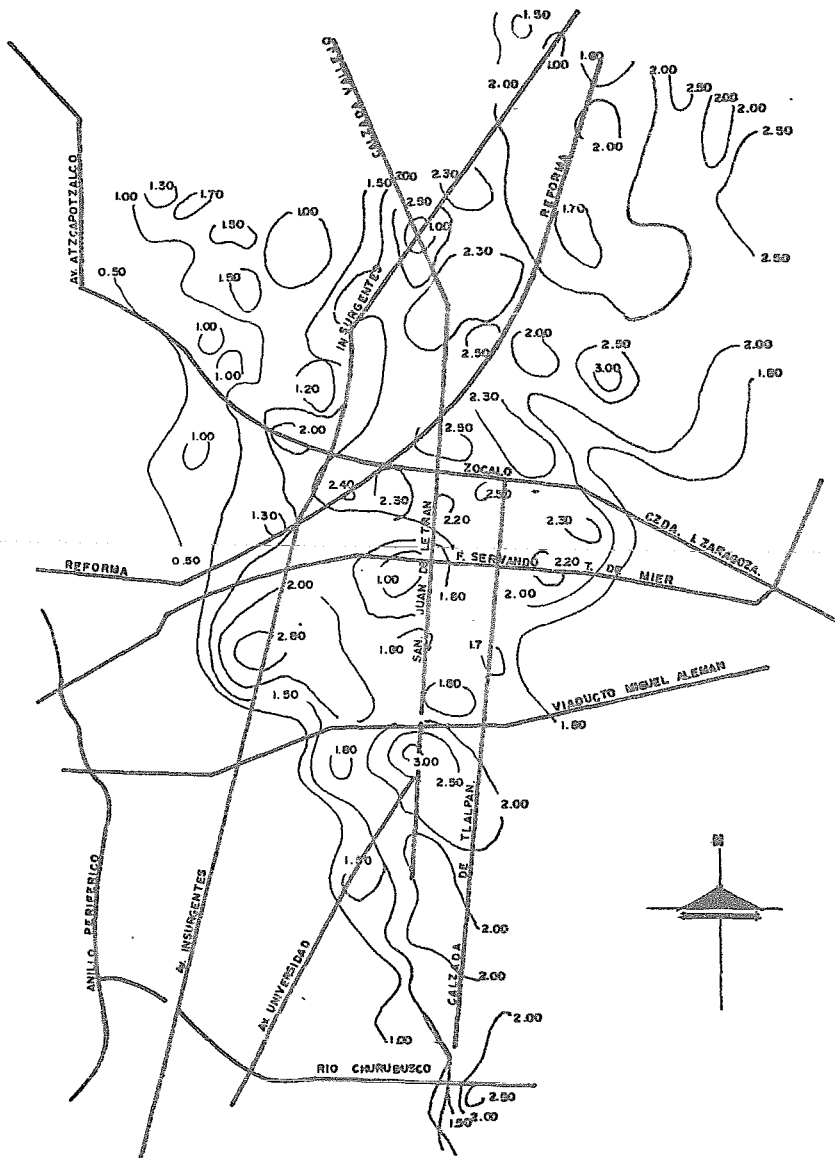
En esta zona existen un gran número de estructu-- ras con problemas de cimentación, provocados por los sue-- los que la subyacen, principalmente arcillas de alta plas-- ticidad de gran espesor, que al consolidarse provocan hun-- dimientos regionales y diferenciales, que dependen del es-- pesor del estrato compresible de la historia de cargas, de la explotación de los mantos acuíferos y de las caracterís-- ticas geométricas del área de apoyo de la estructura, la -- variación de estos cuatro factores son los directamente -- responsables de que el hundimiento no sea uniforme, es de-- cir que su magnitud varía de un punto a otro, como se pue--

de apreciar en la fig. No. 1, donde se muestran curvas de igual hundimiento de la Ciudad de México. Para poder analizar la forma en que han ido variando las magnitudes de los hundimientos es necesario apoyarse en las primeras nivelaciones realizadas en la Ciudad, que datan del siglo pasado como se muestra en la tabla No. 1, en donde se puede apreciar que únicamente se presentan datos referentes a las nivelaciones efectuadas en la Ciudad de México, ésto se debe a que se carece de una historia de nivelaciones en otros puntos dentro de la Cuenca del Valle de México.

TABLA I.- CORRELACION DE BANCOS DE NIVELACION. (1)

Fecha	Referencia	TICA* cota en mtrs.	MSNM** elevación en mtrs.
1803	A. Humboldt. El nivel medio de las aguas en el lago de Texcoco, 1.20 mtrs. abajo de la esquina sur del palacio.		2,237.6
1862	Monumento a Enrico Martínez. - El fondo del lago, 2.80 mtrs.- debajo del piso de la plaza.		2,236.0
1876	Ing. Velázquez y Aldasoro. Plano de referencia de la ciudad, 10 mtrs. abajo tangente inferior del Calendario Azteca(TICA). *	+ 10.00	2,240.4
	Nivel de aguas máximas en el lago.	+ 7.10	2,237.5
	Nivel del fondo del lago.	+ 5.57	2,235.9
1891	Ing. Roberto Gayol. Banqueta - junto a la torre oeste de Catedral.	+ 8.35	2,238.8
	Alameda	+ 8.60	2,239.0
	Atzacualco	+ 12.35	2,242.75

** Según nivelación traída de Veracruz, en 1913.



CURVAS DE IGUAL HUNDIMIENTO JULIO 1932-MARZO 1970

FIGURA N. 1

Profundizando más en el tema de los hundimientos regionales que afectan a las estructuras de la Ciudad de México, se tiene que éste se inició desde el siglo pasado y se tuvo conocimiento de su existencia hasta el año de 1923, cuando el Ing. Roberto Gayol revisaba por medio de una nueva nivelación, las capacidades de los escurrimientos del drenaje, que se había construido años antes, encontrando que en varios sitios a lo largo de los colectores, los datos de las nivelaciones obtenidas eran muy distintas a las originales, creando con esto una polémica, que posteriormente resolvería al llegar a la conclusión de que la Ciudad de México, estaba sometida a un hundimiento general, demostrando esto ante la Asociación de Ingenieros y Arquitectos de México, con la ayuda de dos nivelaciones realizadas en años distintos, 1877, 1924, del banco de nivelación localizado en el monumento a Enrico Martínez, en la Plaza del Seminario de la Catedral Metropolitana. Es necesario mencionar que el Ingeniero Gayol fue el primero en demostrar el hundimiento general a que estaba sujeta la Ciudad, pero no pudo explicar correctamente la causa que lo provocaba, ya que él creía que se debía a los efectos de las obras de drenaje recientes,⁽¹⁾ cayendo en un error, debido a que la causa principal que lo producía se debía al abatimiento de los niveles piezométricos, como se pudo comprobar, con la investigación hecha por los Ingenieros José A. Cuevas y Nabor Carrillo, después de 23 años, en donde tra-

taron de hallarle una explicación al hundimiento general - de la Ciudad con base a la teoría de consolidación de Terzaghi llegando a la conclusión de que los mantos arcillosos comprendidos entre los 20 mtrs. y 50 mtrs. de profundidad eran los principales causantes de consolidación y disminución de volúmen, ya que al extraer agua por bombeo de los mantos acuíferos, se producía un hundimiento inducido por el abatimiento en los niveles piezométricos profundos, que en ocasiones llegaban a valores superiores a los 20 -- mtrs. Como prueba de ello, a continuación se presenta la -- tabla No. II, en donde se puede apreciar, que el hundimiento aumenta a medida que se extrae más agua por medio de -- bombeo, esta ocurre hasta el año de 1950, cuando alcanzó -- su máxima magnitud, provocando con ello un hundimiento regional en un área aproximada de 200 Km^2 , con un valor medio de 50 cm. posteriormente para el año de 1970, se tiene un mismo gasto y un menor hundimiento, ésta se puede deber a que en el año de 1950, los mantos arcillosos aportaron el 30 % del agua extraída por bombeo y para 1970 únicamente el 3.5 %. (2)

TABLA II

Período en años.	Velocidad de Hundimiento (3) cm/año	Gasto de (2) agua en m ³ /seg.
1891 _ 1938	0.043	1.5
1938 _ 1948	0.076	6.0
1948 _ 1950	0.440	-
1950 _ 1951	0.500	9.0
1951 _ 1952	0.150	-
1952 _ 1953	0.260	-
1953 _ 1957	0.170	-
1957 _ 1959	0.120	-
1959 _ 1963	0.050	9.0
1963 _ 1966	0.700	-
1966 _ 1970	0.070	9.0

En esta Tabla se pueden apreciar los valores medios de las velocidades con que han ocurrido los hundimientos, desde el año de 1891 hasta 1970, sin embargo, es necesario que el Ingeniero conozca la variedad de magnitudes - que se pueden presentar en un mismo o de un lugar a otro - de la Ciudad, por ejemplo podríamos citar los alrededores de la intersección que forman las calles de San Juan de Letran y República del Salvador, que en el período de 1963-

1966 tuvo una velocidad de 17 cm/año y de 1966 - 1970 de 5 cm/año, con la característica de que la velocidad del hundimiento disminuyó con el tiempo y no aumentó, lo contrario ocurre en el caso del cruce de Calz. de Tlalpan y Municipio Libre, donde se observó que la velocidad en el período de 1963 - 1966 era de 3 cm/año y de 1966 - 1970 de 7 cm/año, así se podrían mencionar un gran número de ejemplos, entre ellos tenemos el monumento de Carlos IV, ubicado en la intersección de las calles de Bucareli y Av. Juárez, en donde se localiza el máximo hundimiento con 8.5 mtrs., la Av. Reforma con un hundimiento que oscila de 5 a 7 mtrs.⁽⁴⁾ también sobre esta Avenida se localiza el monumento a la Independencia que sobresale del nivel del suelo en 2.87 mtrs., al igual ocurre con el ademe de un pozo localizado en uno de los extremos del monumento a la Revolución, que sobresale 5 mtrs.

Para estos ejemplos se tomó como base de nivelación, el banco de Atzacualco, ubicado en la parte Noreste del D.F., en la colonia del mismo nombre, es necesario mencionar que este es el único banco fijo que existe en la zona metropolitana, también se considera fijo al banco de Niños Héroes, pero al moverse fue desechado como tal. Existe también el banco TICA* que sirvió como base de nivelación para determinar el hundimiento del Lago de Texcoco, - La Catedral Metropolitana y la Alameda Central, hasta el año de 1966 (tabla No. III) considerando que este banco no se

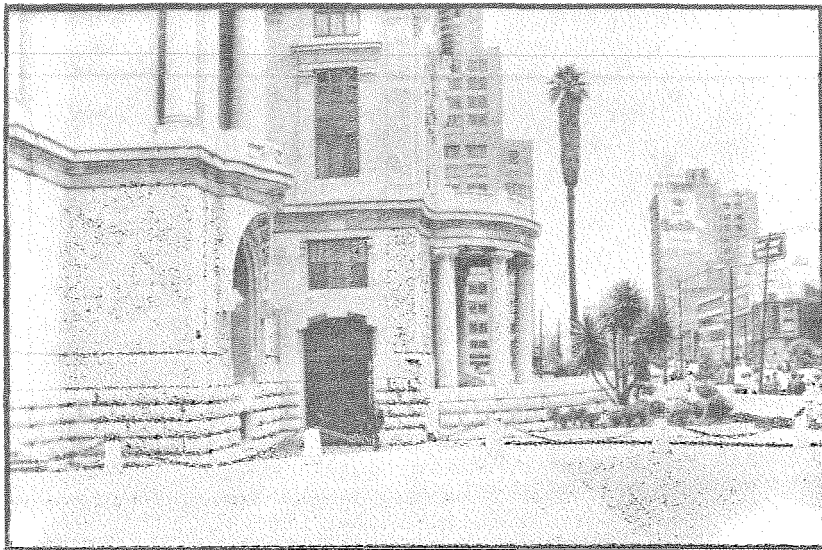
había asentado considerablemente en el período de 1803 a -
1891.

*Tangente inferior del llamado Calendario Azteca
ubicado en la Catedral Metropolitana. (1)

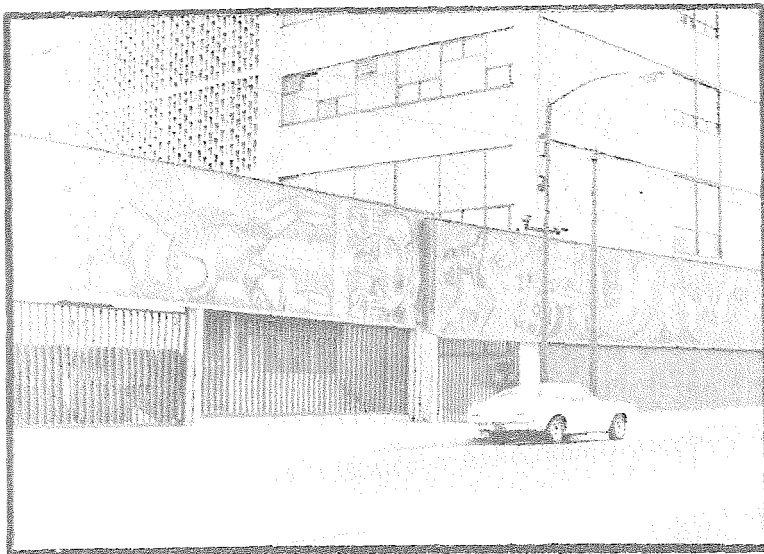
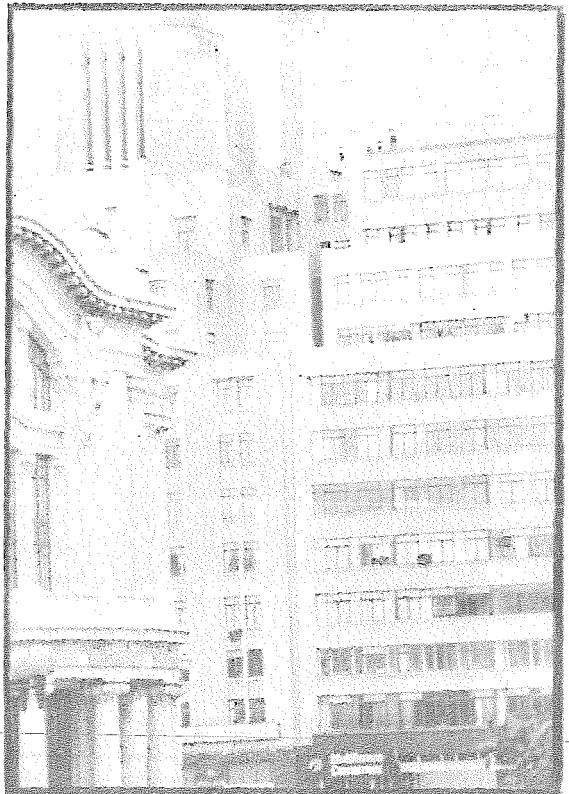
TABLA III

LOCALIZACION (1)	Período (años)	Hundimiento (mtrs.)
Lago de Texcoco	1876 - 1966	0.70
Catedral Metropolitana	1891 - 1966	7.00
Alameda Central	1891 - 1966	6.00

Estos son algunos ejemplos que muestran el hundimiento de la ciudad, pero en ningún momento se han mencionado los graves problemas que ocasionan a las estructuras, al sufrir agrietamientos, dislocaciones, rupturas, asentamientos diferenciales, movimientos relativos con relación al nivel del suelo, etc., que afectan tanto a las estructuras superficiales como a las subterráneas, de aquí la importancia que tiene el conocer, el subsuelo en donde se instalan o construirán estructuras, debido a esta situación a continuación se presentaran algunos ejemplos de estructuras con problemas con su respectivo análisis y solución.



EDIFICIOS CON PROBLEMAS DE HUNDIMIENTO DE TIPO
DIFERENCIAL Y TOTAL.



EDIFICIOS CON PROBLEMAS DE HUNDIMIENTO DIFERENCIAL.

COMPORTAMIENTO DE UNA CIMENTACION SOBRECENSADA (5)

El objetivo de comentar el problema de los pasos a desnivel localizados a lo largo de Calzada de Tlalpan y San Antonio Abad, es el de ver el comportamiento de una cimentación sobrecensada, en suelos poco resistentes y --- muy compresibles que además experimentan un hundimiento regional.

Una cimentación que se encuentra sobrecensada en suelos arcillosos como es el caso de la Ciudad de México, tiende a emerger progresivamente a causa de la expan---sión que experimenta el suelo, provocada por la disminu---ción de los esfuerzos a que es sometida la masa de suelo, esta disminución se debe principalmente a tres factores:

a) Magnitud de la descarga, que depende directamente de las características y necesidades del proyecto, es de---cir que depende de las características geométricas de la estructura, así como de las propiedades de los suelos que se van a excavar.

b) Magnitud y profundidad de los abatimientos piezométricos, que se deben principalmente a la extracción de agua de los mantos acuíferos, para abastecer a la creciente población ($9.0 \text{ m}^3/\text{Seg.}$):

c) Deformabilidad volumétrica del suelo, que depende de la capacidad que tiene el suelo donde se desplanta la estructura para comprimirse o expanderse, es decir que de---

pende en forma directa de las características y propiedades del suelo.

Los tres factores provocan que la masa de suelo experimente una consolidación del tipo regional, que es más pronunciada cuando existe un gran abatimiento de los niveles piezométricos (Caso de la zona de lago de la Ciudad de México).

Para ejemplificar una cimentación sobrecompensada se eligieron varios de los pasos a desnivel que se encuentran en la Calzada de Tlalpan y San Antonio Abad (Fig. 2) todos ellos localizados dentro de la zona de Lago. Construidos en el año de 1959 y considerando que fueron diseñados con una sobrecompensación de 6.0 Ton/m^2 (5) mucho mayor que cualquier edificio que se encuentre en condiciones de sobrecompensación. Además si se considera que los pasos a desnivel estudiados tienen construcciones ligeras a sus alrededores, se puede hacer la observación de que ello constituye que prácticamente no se tengan influencias de cargas vecinas en el fenómeno.

Los pasos a desnivel estudiados se localizan en el cruce de Calzada de Tlalpan con:

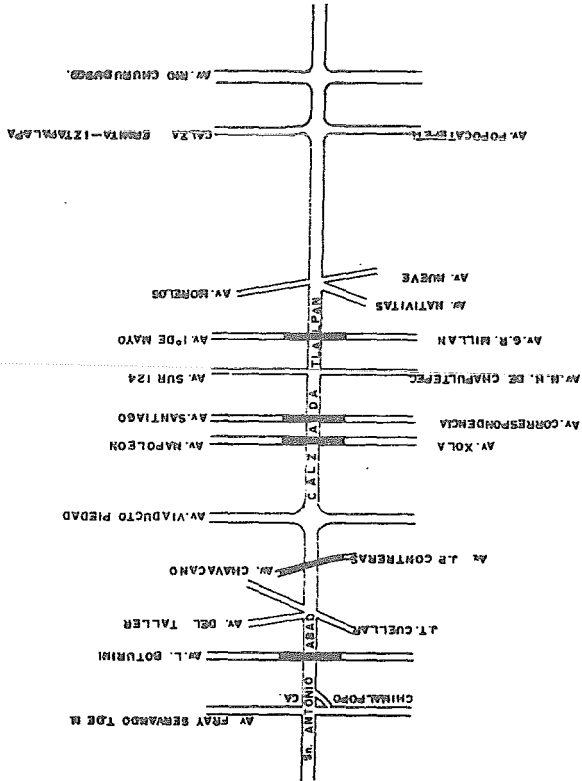
Avenida Gabriel Ramos Millan - Avenida 1° de Mayo.

Avenida Correspondencia - Avenida Santiago.

Avenida Xola - Avenida Napoleón.

Y en las intersecciones de San Antonio Abad y ;

Avenida J. Peón Contreras - Avenida Chabacano.



LOCALIZACION DE PASOS A DESNIVEL.

PASO A DESNIVEL ESTUDIADO.

ACOTACION Km.
ESCALA 1"=2500

FIGURA N.º 2

Avenida Lorenzo Boturini.

Todos los pasos a desnivel antes mencionados consisten en estructuras de concreto armado, que comprenden dos zonas bien definidas que son: Túnel y rampas (Fig.3).

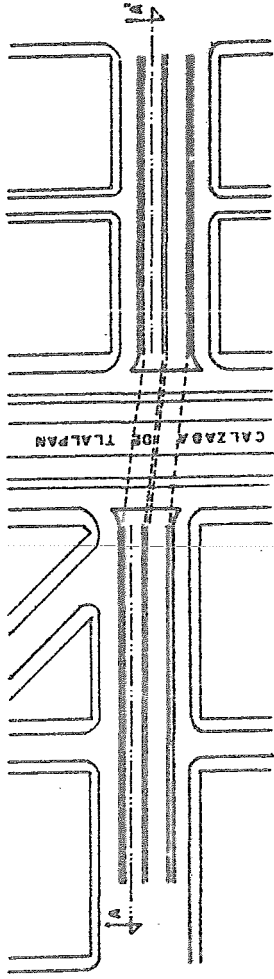
Algunos son de dos carriles y otros son de un solo carril; para el primer caso se tiene una estructura formada por un doble cajón cuyo ancho total medio es de 17.15 mtrs. y altura de 5.75 mtrs. cada carril tiene un ancho libre de 8.0 mtrs. y una altura libre de 4.6 mtrs. En el segundo caso se tiene que está formada por un cajón de ancho medio de 8.9 mtrs. y una altura de 5.95 mtrs. (Fig.4).

El cajón o doble cajón se desarrolla a todo lo ancho de la Calzada de Tlalpan o San Antonio Abad; casi todos se encuentran en sentido perpendicular menos uno que se encuentra esviado.

Las zonas de rampas están estructuradas desde la salida del túnel, hasta una distancia de 85 mtrs. aproximadamente a cada lado, con muros de retención de concreto armado, cimentados en zapatas corridas de dimensiones variables, con una pendiente del 6 %.

El problema que se presenta en estos pasos a desnivel es el de haber experimentado una emersión muy notoria, debida principalmente al fenómeno de consolidación regional al que está sometida la zona, por la combinación de los tres factores antes mencionados, es decir a la sobrecompensación en exceso (6.0 Ton/m^2), al gran abatimiento -

PASO A DESNIVEL. ZONA DE TUNEL Y RAMPA.



PLANTA

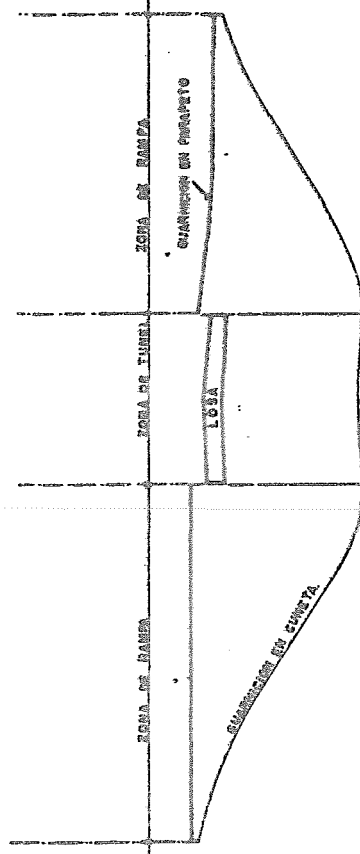
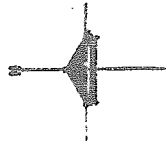
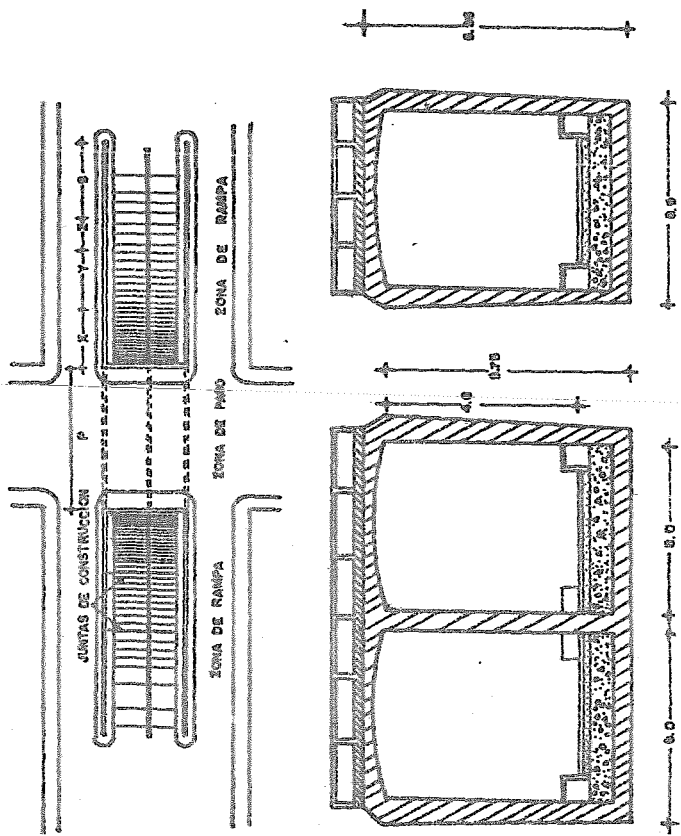


FIGURA N.º 3

CORTE A-A'



SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS PASOS A DESNIVELES

piezométrico al que está sometido el suelo de la zona, que empieza a manifestarse entre los 15.0 y 20.0 mtrs. de profundidad, y a la compresibilidad del suelo de la zona que depende directamente de las características y propiedades de la primera formación arcillosa (Zona de Lago).

Las nivelaciones realizadas en el transcurso de la vida de las estructuras, tomando como referencia que --terminada su construcción estaba en la cota 0.0 mtrs. de--muestran que han emergido como se muestra en la tabla IV --hasta el año de 1977.

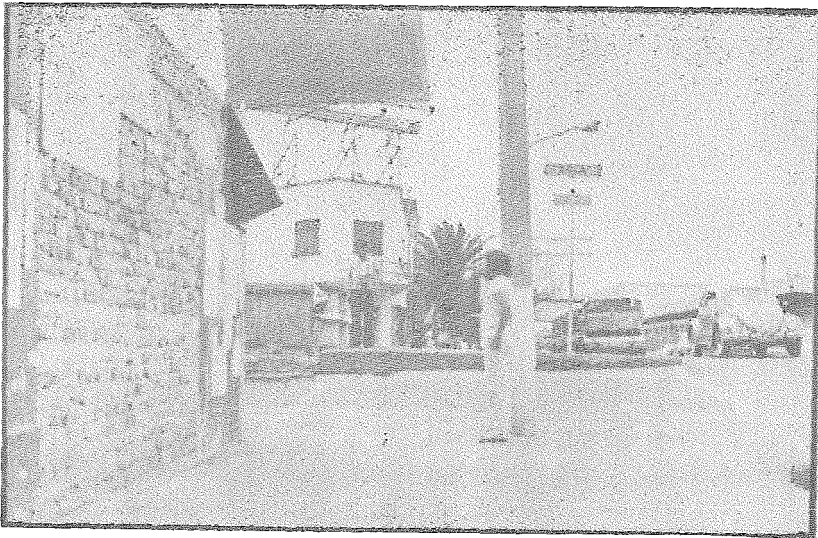
Como se puede observar la emersión de las estructuras estudiadas van en aumento a medida que se acercan hacia la zona céntrica de la ciudad.

Este fenómeno se cree que se puede deber principalmente a que los abatimientos piezométricos también van en aumento hacia el centro de la ciudad (Ver Boletín de Mecánica de Suelos de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México 1970 -1974).

Por otro lado es bueno comentar que una cimentación con las mismas características que las estudiadas, pero localizadas en suelos que no experimentan hundimientos del tipo regional, la emersión puede ser un 45 % menor que las experimentadas en las zonas con hundimiento regional.--
(5).

T A B L A I V

PASO A DESNIVEL	E X P A N S I O N E S			
	Lado Este		Lado Oeste	
	Muro Norte (m)	Muro Sur (m)	Muro Norte (m)	Muro Sur (m)
R. Millan - 1° de Mayo	0.60	0.60	----	0.60
Correspondencia-Santiago	0.00	0.03	0.51	0.42
Xola - Napoleón	0.66	0.70	0.54	0.48
J.P.Contreras-Chabacano	0.73	0.83	0.70	0.65
Lorenzo Boturini.	0.40	0.35	1.13	0.91



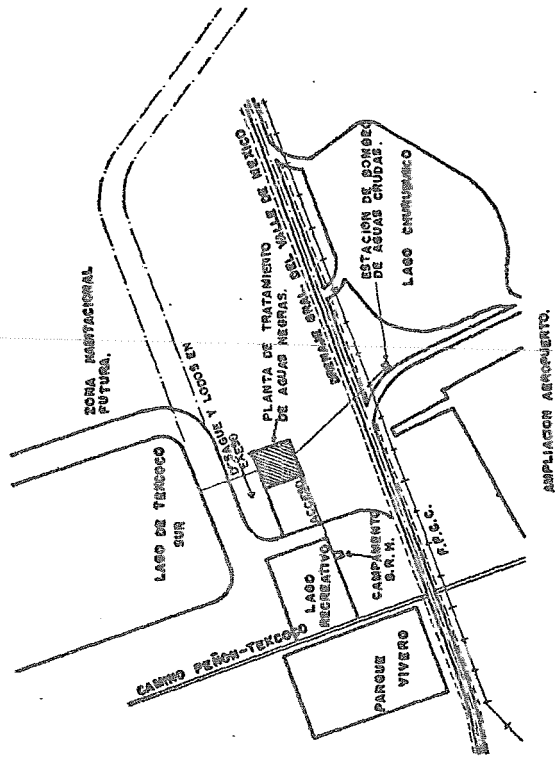
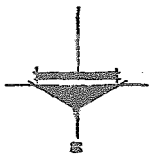
EMERSION DE UNO DE LOS PASOS A DESNIVEL SOBRE LA CALZADA DE TLALPAN.

CIMENTACION EMPLEANDO EL METODO DE LA PRECARGA. (6)

Una de las obras más importantes que contempló - la primera etapa del Plan Lago de Texcoco, fue la construcción de la planta de tratamiento de aguas negras, que tiene por objeto el tratamiento de las aguas provenientes del Río Churubusco, para su reuso en riego, su capacidad es de $1.0 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y se encuentra localizada en el antiguo Lago - de Texcoco, como se muestra en la fig. 5.

Un aspecto fundamental en el caso particular de la planta, para su correcto funcionamiento es el referente a la conservación de las cargas hidráulicas entre los tanques, ya que la circulación del agua través de todo el proceso es por gravedad; ésta situación y las condiciones tan desfavorables que presentaban los suelos de esta zona, fueron determinantes para el diseño de la cimentación, la -- cual debería tener un comportamiento adecuado, es decir -- que se mantuvieran los hundimientos dentro de rangos que -- no afectaran el funcionamiento de la planta.

Para ello se hizo un estudio de mecánica de suelos, para así poder determinar cual sería el tipo de cimentación más adecuada; se estudiaron varias alternativas las cuales se analizaron en cuanto a la economía y seguridad, -- llegándose a la conclusión que para estar dentro de lo admisible, los tanques serían cimentados superficialmente, pe -- ro además se haría un tratamiento al suelo para mejorar --



PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS
PLAN TEXCOCO

FIGURA N.º 5

sus propiedades mecánicas. Dentro de los métodos que existen para mejorar las propiedades de los suelos en cuanto a hundimientos está el llamado de la precarga.

El método de la precarga consta en imponer sobre la superficie donde se ha de desplantar la estructura una carga tal que en un tiempo muy corto se produzcan los asentamientos esperados a lo largo de la vida útil de la estructura. Al colocar la sobrecarga se provoca una consolidación acelerada, produciéndose una mayor resistencia de los suelos.

En el proyecto de los tanques de la planta de tratamiento de aguas negras se empleó una precarga que transmitiera al suelo una presión de 2.5 Ton/m^2 , durante un período de 18 meses que era el tiempo que se podía tener la sobrecarga dado el programa de obra que se había elaborado, y que provocaría un asentamiento igual al que generaría una carga igual a la que transmitiría el tanque al estar en funcionamiento.

Para el caso particular de los tanques de aereación se colocó sobre una superficie de 69.3 mtrs. de largo por 43.8 mtrs. de ancho, una precarga de 2.3 mtrs. de altura, constituida por un material de peso volumétrico de 1.1 Ton/m^3 que puede transmitir al suelo una presión de 2.53 Ton/m^2 .

De acuerdo al proyecto, las paredes periféricas de los tanques están formadas por bordos que fueron coloca

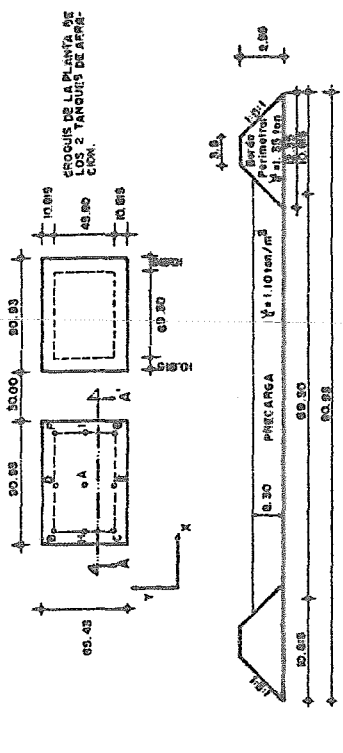
dos al mismo tiempo que la precarga, pero con una altura adicional tal que al generarse los hundimientos quede dentro de lo proyectado. Este bordo tiene un ancho de corona de 3.5 mtrs. y taludes 1.5 : 1; teniéndose así una precarga de 2.53 Ton/m^2 , que actúa en un área de 90.93×65.43 mtrs. como se muestra en la figura 6.

Es importante mencionar que dadas las características de impermeabilidad del bordo perimetral, y los periodos de lluvias tenidos durante la precarga, se tuvo una variación en las condiciones de ésta, ya que el material se saturó hasta una altura de 1.0 mtrs. a partir del terreno natural, por lo que la precarga disminuyó en magnitud a 1.53 Ton/m^2 .

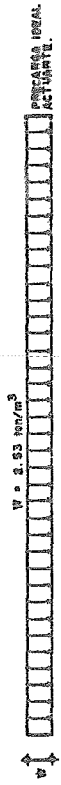
Los cálculos realizados para valuar los hundimientos sin considerar la precarga, daban un hundimiento de 0.93 mtrs. considerando una presión aplicada por los tanques de 1.26 Ton/m^2 .

Se valuaron los asentamientos que se tuvieron bajo una presión de 1.53 Ton/m^2 . y se obtuvo un hundimiento de 1.04 mtrs.

En conclusión se tiene que el caso estudiado los asentamientos estimados por la teoría de Consolidación Unidimensional de Terzaghi, presentaron diferencias importantes con relación a los medidos. La formación arcillosa superior sufrió un hundimiento menor que el calculado, en cambio la formación arcillosa inferior registró deformacio



CROQUIS DE LA PLANTA DE
LOS 2 TANQUES DE AERACION.



ACORDONES DE ACERO.
CROQUIS FUERA DE ESCALA.

CORTE LONGITUDINAL A-A' PRECARGA
TANQUES AERACION PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS NEGRAS.

FIGURA N.º 6

nes reales mayores que las teóricas, estas diferencias, se pueden atribuir a que dado que la formación arcillosa superior es más homogénea que la formación arcillosa inferior que tiene varias lentes de arena la hace que sea más permeable que la superior, por lo que los asentamientos se presentan en un menor tiempo en el material más permeable, pero a largo plazo los asentamientos son muy parecidos a los teóricos.

El hundimiento total requerido para la construcción de los tanques de aereación, fue prácticamente alcanzado en un tiempo mayor al previsto, atribuido en parte al decremento que sufrió la precarga, al quedar parcialmente sumergida.

Por lo antes comentado en el ejemplo, se recomienda cuidar las condiciones de drenaje superficial cuando se use el método de la precarga, mediante un diseño adecuado, que garantice la magnitud de la misma, por el tiempo estimado.

EDIFICIOS CON PROBLEMAS DE HUNDIMIENTO.

CASO I.- EDIFICIO DE 10 NIVELES.
(Hospital de Traumatología) (7)

Este edificio se encuentra dentro de la Zona de Lago y presenta el problema típico de la zona (hundimiento) es una estructura construida a base de marcos rígidos de acero, con sistema de losa plana de concreto reforzado en entrepisos.

Fue construido aproximadamente en el año 1946, para el I.M.S.S. con el objeto de formar parte del Centro Médico de esta institución.

El problema que presentó esta estructura fue un hundimiento de mayor magnitud en sus extremos en relación con el hundimiento sufrido al centro de la misma, la diferencia entre los puntos mencionados alcanzó el valor de 80 cm., dando una apariencia de catenaria invertida, similar al hundimiento teórico de las arenas. La causa probable del problema se debió al hundimiento regional a que se encuentra sometida toda la zona de lago.

La cimentación original de la estructura consistía en una retícula de contratraveses de concreto, sin losa, de 3 mtrs., de peralte por 50 cm., de ancho, apoyándose directamente sobre pilotes fijos de madera. Al apoyarse la estructura sobre pilotes fijos y producirse el hundimiento regional se genera una adhesión del terreno a los pilotes

obligándolos a introducirse más en el estrato que le sirve de apoyo. Esta adhesión llamada fricción negativa actúa sobre todos los pilotes, incrementándose en los pilotes perimetrales debido a que estos tienen mayor área tributaria - de terreno adherido, lo que explica que la estructura se - haya hundido más en sus extremos, aunque también en el centro se tuvieran hundimientos.

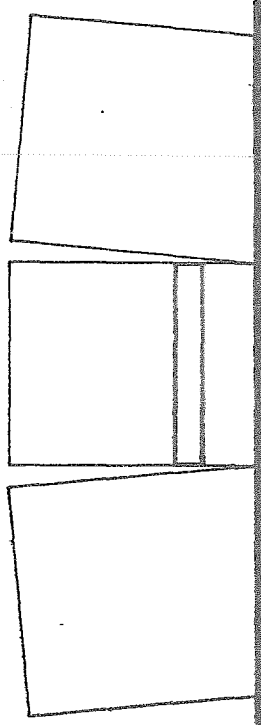
Para resolver este problema se colocaron pilotes de concreto con dispositivo de control en los extremos - - asentados, dejando los pilotes fijos de madera del centro de la estructura sin modificación. Los pilotes de concreto se colocaron sustituyendo a los pilotes de madera, siendo necesario para el correcto funcionamiento de la estructura colocar 80 pilotes en el lado Poniente y 50 pilotes en el lado Oriente que soportaron sin asentarse el peso de la estrutura hasta que los pilotes centrales siguiendo el hundimiento regional tuvieran el mismo nivel que ellos, a partir de ese momento se hizo funcionar el dispositivo de control de manera que la estructura sufra un asentamiento similar en todos sus puntos, siguiendo también el asentamiento Regional.

CASO II.- EDIFICIO ADMINISTRATIVO DEL I.M.S.S. (7)

Se localiza dentro de la Zona del Lago, en el -- predio marcado con el número 476 de la Av. Reforma, es una estructura rígida construída a base de marcos rígidos de - concreto, formada por tres cuerpos que en conjunto ocupan un área de 130 mtrs. de largo por 25 mtrs. de ancho, tiene dos juntas de construcción y los tres cuerpos tienen un pe so aproximado de 26 000 toneladas, fue edificado para al-- bergar las oficinas administrativas del Instituto Mexicano del Seguro Social.

El problema que presentó esta estructura fue que el cuerpo intermedio tuvo un desplazamiento hacia el fren- te (Hacia la Av. Reforma) y los cuerpos laterales se des plazaron hacia las calles adyacentes, como se muestra en - la Fig.No.7. La causa principal de este problema es el - - asentamiento regional que afecta a toda la Zona del Lago.

VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

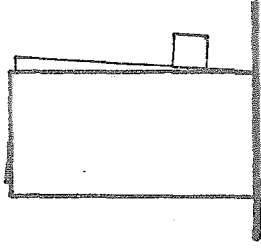


Fig. 7 Desplazamientos Ocurridos en el Edificio
Administrativo del IMSS

La cimentación de la estructura consistía en una sustitución parcial y pilotes de madera colocados en buena cantidad, estos últimos trabajando por punta apoyándose en un estrato resistente situado a 26 mtrs., de profundidad - con respecto al nivel del terreno, restringiendo la libertad de la estructura, de asentarse con la libertad con que lo hace el suelo de la Ciudad de México. De la estructura presentándose un empujamiento de ésta, al mismo tiempo y - en consecuencia de la fricción negativa producida por el - asentamiento del suelo, que como se sabe se incrementa más en los pilotes de las orillas de las estructuras se presentaron los desplazamientos antes mencionados, quedando claro una vez más que cuando se cimenta con pilotes se debe tener muy en cuenta la fricción negativa que pudiera actuar sobre ellos, ya sea, por consolidación del suelo circundante o por asentamientos diferenciales del estrato de apoyo .

Para resolver este problema se instalaron 630 pilotes de concreto con dispositivo de control, extrayendo algunos pilotes de madera, sustituyendo aproximadamente 3 de ellos por 1 de concreto, rellenándose con lodo los huecos dejados por los pilotes substituidos para no colocar un material que ayudará a la resistencia del terreno, de esta manera se procedió a bajar los extremos que estaban emergiendo hasta nivelarlos con los extremos hundidos de la estructura, una vez hecho lo anterior se ha seguido bajando la estructura, al mismo ritmo de como lo hace el - -

asentamiento regional de la Ciudad de México, aprovechando los dispositivos de control colocados en los pilotes.

CASO III.- CONJUNTO DE EDIFICIOS EN AV. CUAUHTEMOC

(Entre Dr. Navarro y Dr. Liceaga) (8)

En un conjunto de estructuras, que se encuentran limitadas por las calles de Dr. Carmona y Valle, Dr. Navarro, Dr. Liceaga y la Av. Cuauhtemoc, se localiza una estructura de 10 niveles constituida, por tres módulos que transmiten su carga al suelo mediante una cimentación compensada del tipo de cascarón cilíndrico (Fig. 8), que a pesar de ser compensado tuvo problemas de asentamientos diferenciales los que se presentaron años después de su construcción, esto se pudo apreciar mediante las nivelaciones mensuales llevadas a cabo desde Septiembre de 1960 a Diciembre de 1965, sobre dos ejes, el primero al Poniente (Av. Cuauhtemoc) en donde sus puntos estan prácticamente en equilibrio, el 2do. se encuentra al Oriente (pasaje) que es donde se localizan los máximos asentamientos, principalmente en los puntos 27, 28, 29 y 30 del módulo uno en donde el proceso de consolidación no había terminado acusando ya un asentamiento diferencial de Oriente a Poniente del orden de 60 cms. registrándose estos máximos en los puntos 27 y 28. Para el módulo dos se tiene un igual asentamiento pero de magnitud 41 cms; en el cuerpo tres, tiene el mismo proceso de asentamientos que el módulo uno, al ver las magnitudes de los asentamientos hubo la necesidad de hacer varios estudios, entre ellos, la realización de varios sondeos de mecánica de suelos en donde se pudo cons

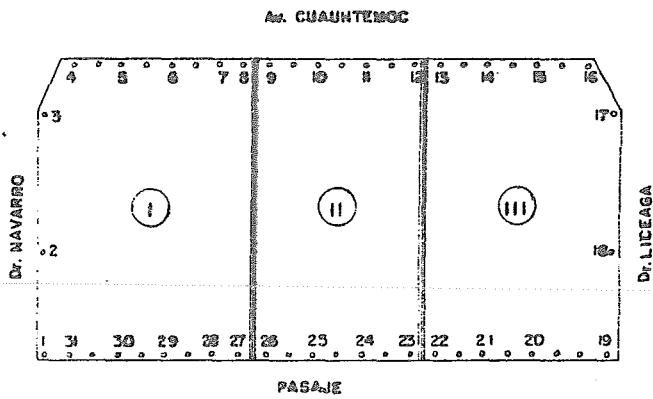
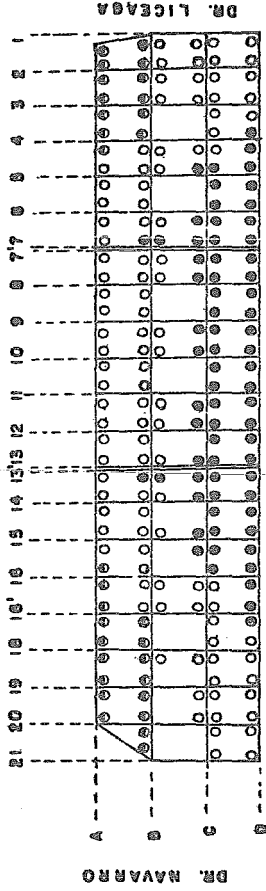


Fig. 8 Módulos del Conjunto de Edificios.

tatar que el suelo de cimentación pertenecía a la zona del lago, encontrándose la 2da. capa dura a una profundidad de 40 mtrs. y otro en donde se investigó si el diseño de la cimentación había sido el adecuado, para lo cual fue necesario rehacer el cálculo original incluyendo el incremento de cargas ocasionadas por las necesidades propias de trabajo, entre estas se pueden considerar la variación en estructura original. Principalmente la adaptación de cuatro nuevos elevadores, bibliotecas, salas de archivo, que van a originar o incrementar la excentricidad de los módulos que sumado a la sobrecarga provocan un inminente desplome del edificio en la tabla uno se muestra el incremento de cargas que sufrió la estructura, al ser ocupada para oficinas, en donde se tiene 3,168.4 toneladas de incremento que se encuentra sin compensar y que debe ser transmitida al suelo sin provocar un aumento en la magnitud de los asentamientos y de la excentricidad.

Teniendo en cuenta estas causas que provocaban el desplome del edificio fue necesario utilizar una recimentación que pudiera cumplir con estos requisitos y que además sirviera para nivelar el edificio, llegando a la conclusión de que la mejor recimentación se lograría utilizando 202 pilotes electrometálicos de 2" de diámetro nominal (Fig. 9) apoyados por punta a una profundidad de 40 mtrs. tratados con un proceso electrosmótico de 0.2 Vlt/cm. durante 4 horas los que servirían para recibir la sobrecar

AV. CUAUTEMOC



PASAJE

- I. ● Pilotes 1a. ETAPA
- II ○ Pilotes 2a. ETAPA
- III ⊖ Pilotes 3a. ETAPA

Fig. 9 Localización de los Pilotes Electrometódicos

ga mencionada y anular o minimizar la excentricidad de la estructura, para lo que fue necesario dividir en tres las etapas de nivelación:

PRIMERA.- Los pilotes para esa etapa se mantendrán fijos o sujetos mediante dados que van ligados a la infraestructura como se muestra en la Fig. 10

SEGUNDA Y TERCERA ETAPA.- En donde los pilotes se mantendrán libres hasta llegar a la nivelación deseada sujetándolos en ese momento. Como se aprecia en la Fig. 11

Hubo la necesidad de acelerar la renivelación de la estructura utilizando para esto agua que funcionaría como lastre.

Esto no es necesario si se cuenta con el tiempo suficiente para esperar el hundimiento regional a que ésta sometida la Ciudad de México.

CARGAS TRASMITIDAS

C O N S E P T O	<u>ORIGINAL</u>	<u>ACTUAL</u>
Peso de la estructura	19,749.4 Ton.	20,868.4 Ton.
Peso compensado	17,700.0 "	17,700.0 "
Carga sin compensar	2,049.4 "	3,168.4 "
Area de estructura	2,496.5 m ² .	2,496.5 m ² .
Sobrecarga a calcular	0.82 T/m.	1.3 T/m.

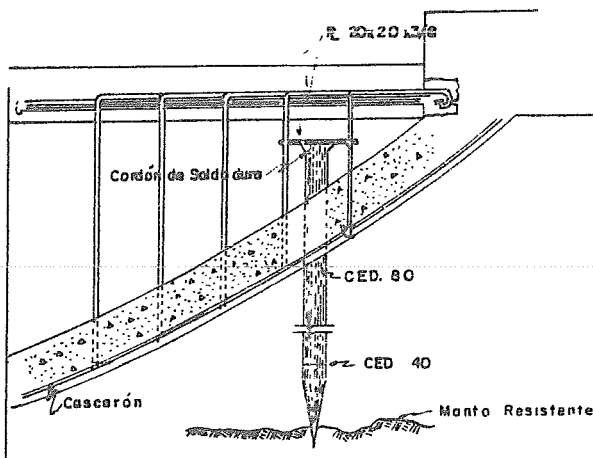


Fig. 10 DETALLE DE SUJECION PILOTES
1ª ETAPA

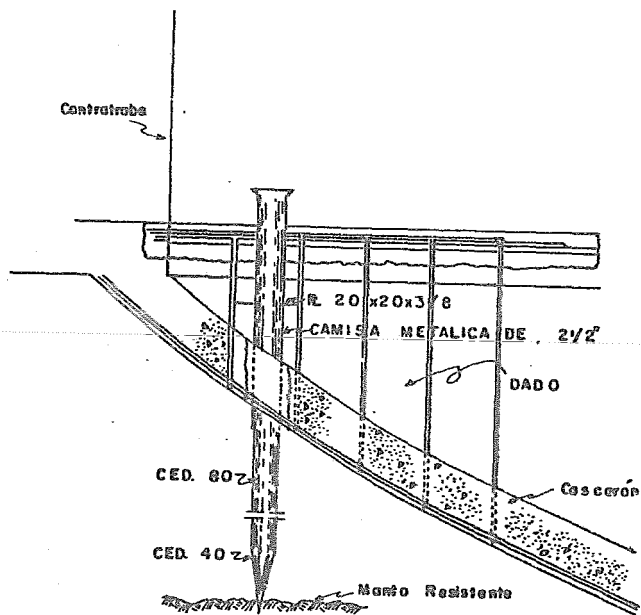


Fig. 11 Detalle de Sujecion Pilotes 2^a y 3^a Etapa

ZONA DE TRANSICION.

Antecedentes.

Como ya se ha visto en el capítulo anterior los suelos que forman esta zona son capas interestratificadas de suelos finos y gruesos con espesores muy variados y que en sentido horizontal son muy erraticos aún dentro de un mismo predio, por lo que se recomienda hacer estudios más detallados de Mecánica de Suelos cuando se quiera construir alguna estructura especialmente si se trata de una estructura de dimensiones y cargas considerables.

Los problemas que se presentan en esta zona son basicamente debidos a las características tan erraticas -- que tienen los suelos, las que provocan que se tengan hundimientos del tipo diferencial. Actualmente estos problemas son menos frecuentes gracias a la información con que se cuenta y a un análisis más detallado del tipo de cimentación que requieren las estructuras de gran magnitud -- en esta zona.

En el pasado el tipo de cimentación para las estructuras localizadas dentro de esta zona era del tipo superficial es decir en base a zapatas, actualmente se recurren a las cimentaciones del tipo profundo para las estructuras de grandes cargas las cuales han presentado una alternativa de buen comportamiento.

A continuación se presenta el problema que pre--

sentó una estructura del siglo XVII localizada dentro de la zona de transición y su solución.

RECIMENTACION DE LA IGLESIA DE LAS CAPUCHINAS (9)

Un problema característico de la Zona de transición, se presentó en la Iglesia de las Capuchinas, en la Basílica de Guadalupe, y consistió en un hundimiento -- que se desarrolló en dos direcciones produciendo una inclinación de la estructura en dirección Noroeste a Sureste en 3.25 mtrs. de altura; esta Iglesia tiene una estructura de tipo flexible, ya que se encuentra construída a base de -- mampostería de piedra, debido a esto se puede comprender -- que tiene como todas las estructuras de su tipo una estructura sumamente pesada, aproximadamente 13,000 toneladas de peso, siendo por su comportamiento flexible y su considerable peso, susceptible a asentamientos diferenciales.

La estructura ocupa una área de 50 mtrs. de largo por 12 mtrs. de ancho, se apoya al igual que la antigua Basílica de Guadalupe, en las faldas del cerro del Tepeyac y en el suelo compresible existente en el lugar. (Fig.12).

Las causas probables que provocaron el hundimiento en la estructura se debieron a lo siguiente:

a) El cerro del Tepeyac forma un parteaguas entre la -- antigua Basílica de Guadalupe y la Iglesia de las Capuchinas, estando ambas estructuras apoyadas parcialmente en --

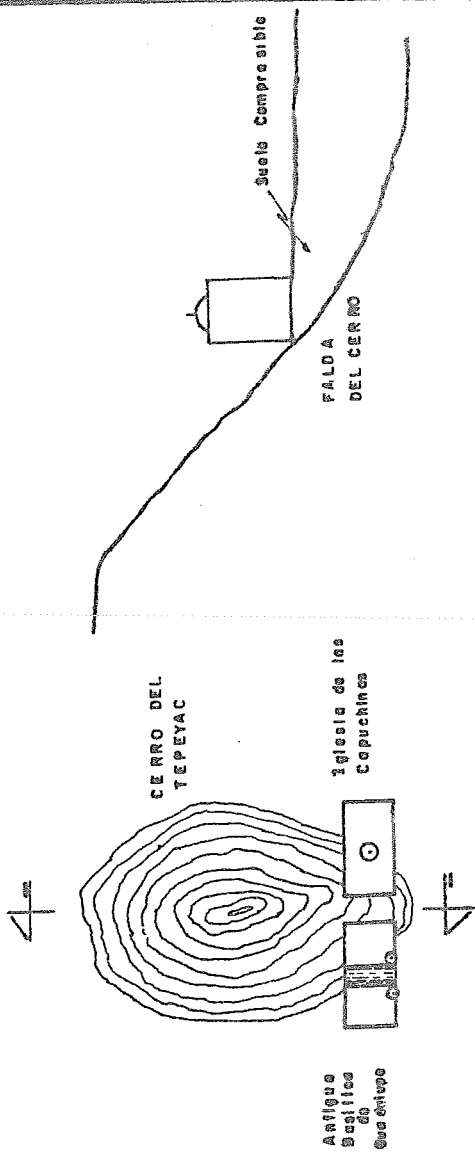


FIG. 12 Apoyo en el Suelo de la Iglesia de las Capuchinas

las faldas de cerro, al presentarse el hundimiento regional, que sufre la ciudad de México y la consolidación del suelo compresible por causas artificiales, se originó un deslizamiento de las dos estructuras hacia sus extremos opuestos quedando en una posición de V, como se muestra en la (Fig. 13)

b) La consolidación del suelo compresible se debe probablemente a la suma de efectos de la extracción de agua existente en la zona y la sobrecarga impuesta por el considerable peso que transmite la estructura. (Fig.13).

Ante este problema se encargo a técnicos mexicanos el estudio de una posible recimentación de la estructura, dando por resultado, después del análisis de los sondeos mostrados en la (Fig. 14) el empleo de pilotes de concreto con dispositivos de control, logrando en un primer paso enderezar la estructura, corrigiendo el desplome de 0.55 mtrs. que tenía en la dirección Norte-Sur y posteriormente levantar la estructura en la dirección Oriente-Occidente 2.95 mtrs. de Altura (Fig.15).

Para nivelar la estructura se procedió a levantar el extremo hundido debido a que la nivelación de la Plaza General de la actual Basílica se hizo tomando como punto de origen, a la esquina Noreste de la Antigua Basílica de Guadalupe, también inclinada, logrando de esta manera que la Iglesia tenga el mismo nivel general, en el caso contrario si se hubiera procedido a bajar el nivel del extremo

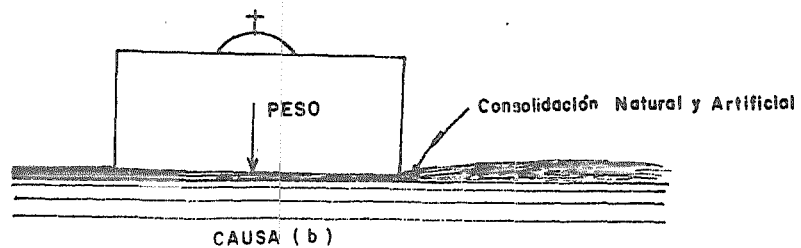
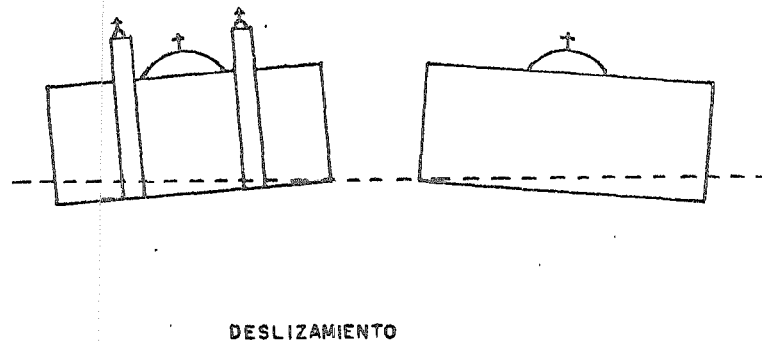
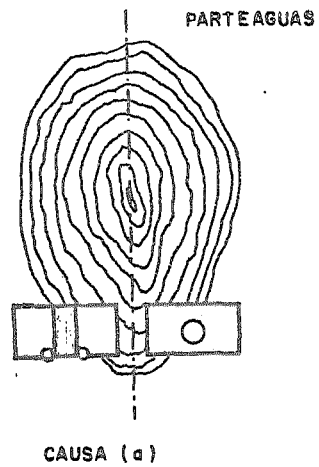


Fig. 13 Causas del Asentamiento y Deslizamiento de las Estructuras

Mexico, D.F. 1979

EL SUBSUELO DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO EN RELACION CON LAS OBRAS DE INGENIERIA.

Realizo.- R. GALLEGOS MARTEGON
R. LUNA ARRIAGA
M.A. SOTO RUISEÑOR

SE-1

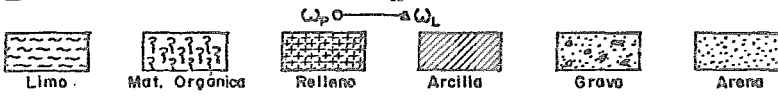
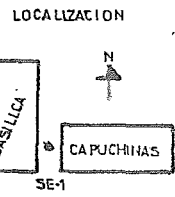
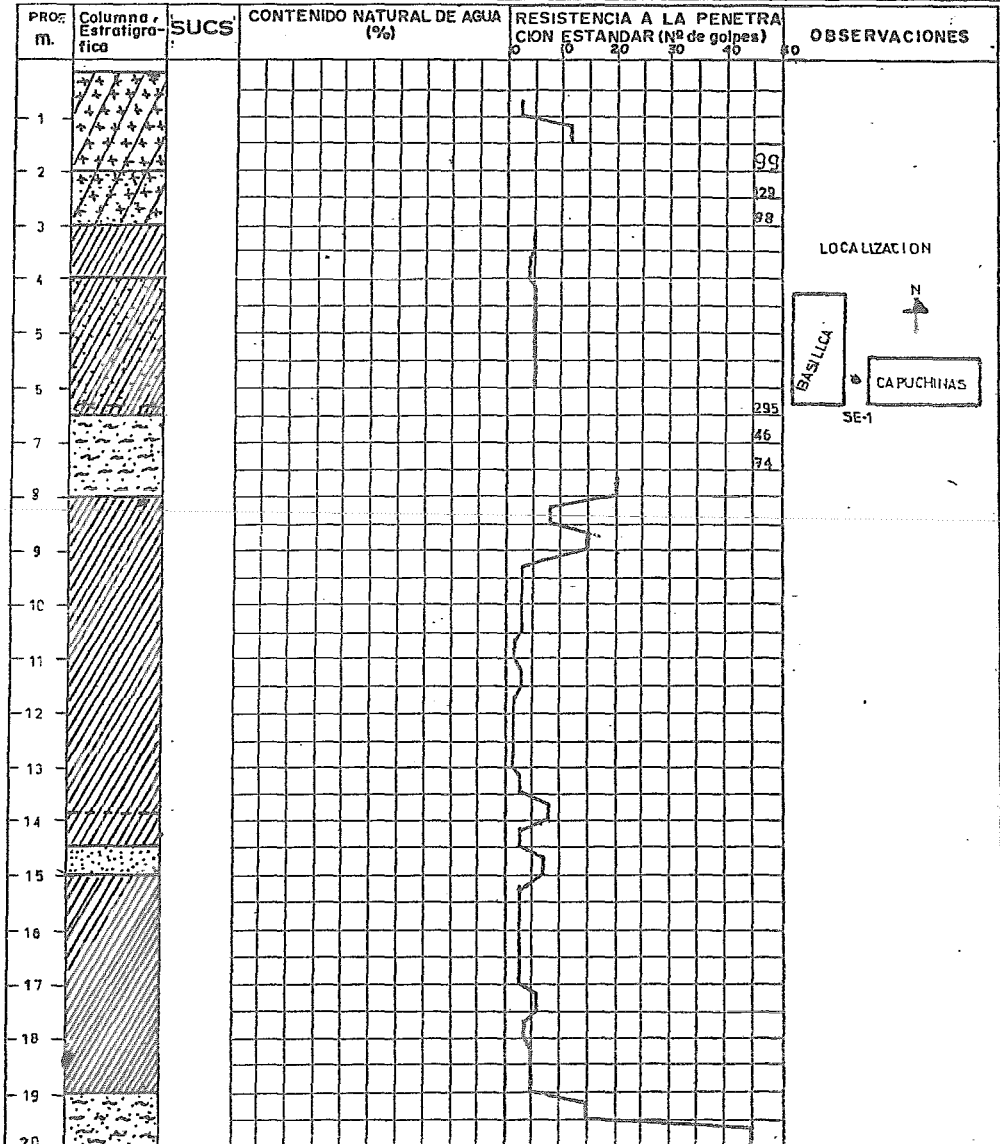


FIGURA No. 14

Mexico, D. F. 1979

EL SUBSUELO DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO EN RELACION CON LAS OBRAS DE INGENIERIA.

Realizado por:
 R. GALLEGOS MARTEGON
 R. LUNA ARRIAGA
 M.A. SOTO RUISEÑOR

SE-2

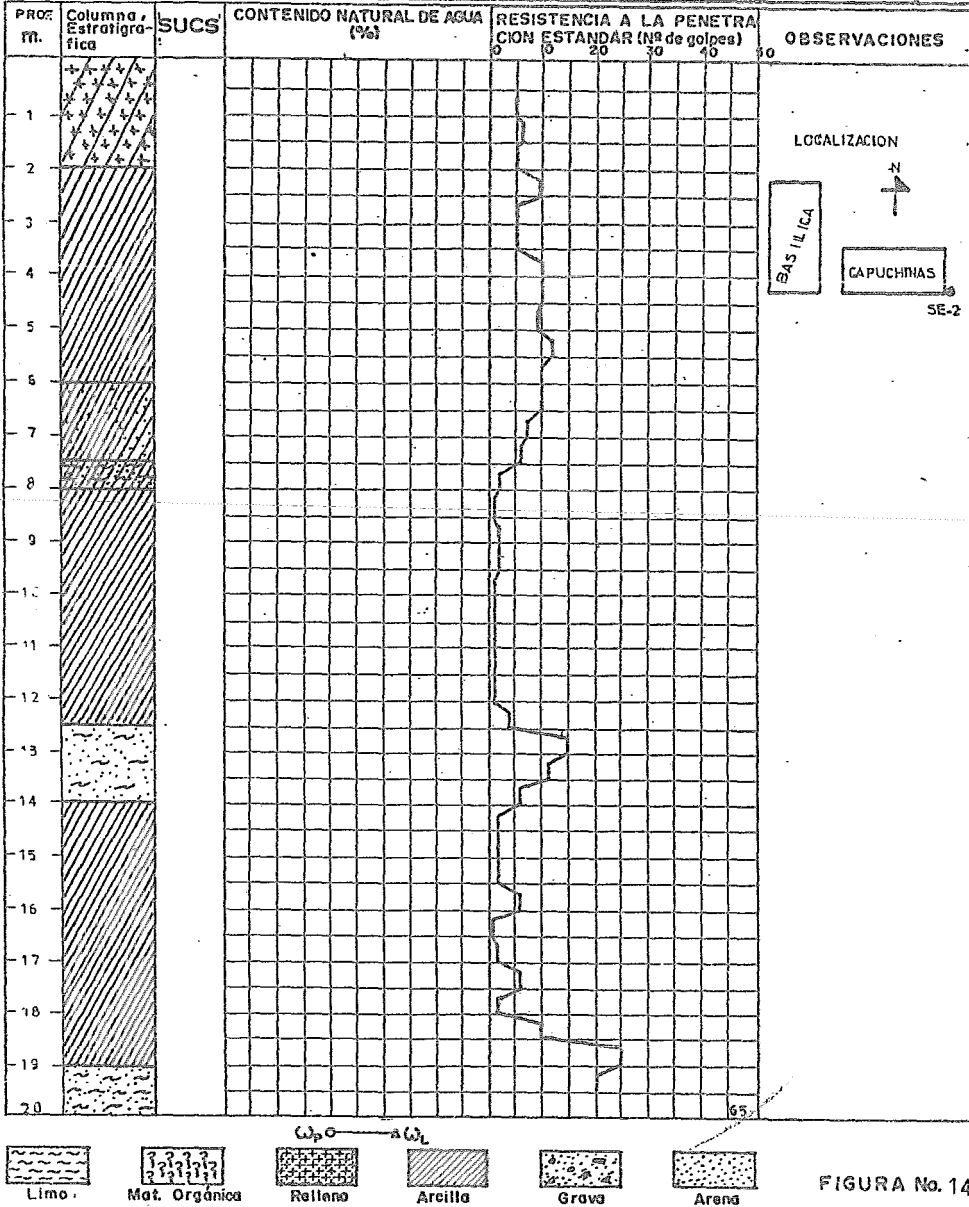


FIGURA No. 14

Mexico, D.F. 1979

EL SUBSUELO DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO EN RELACION CON LAS OBRAS DE INGENIERIA.

Realizo- R. GALLEGOS MARTEGON
R. LUNA ARRIAGA
M.A. SOTO RUISEÑOR

SE-2

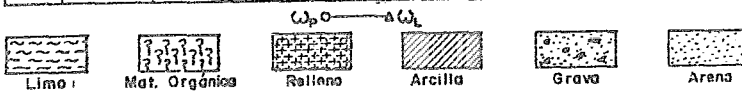
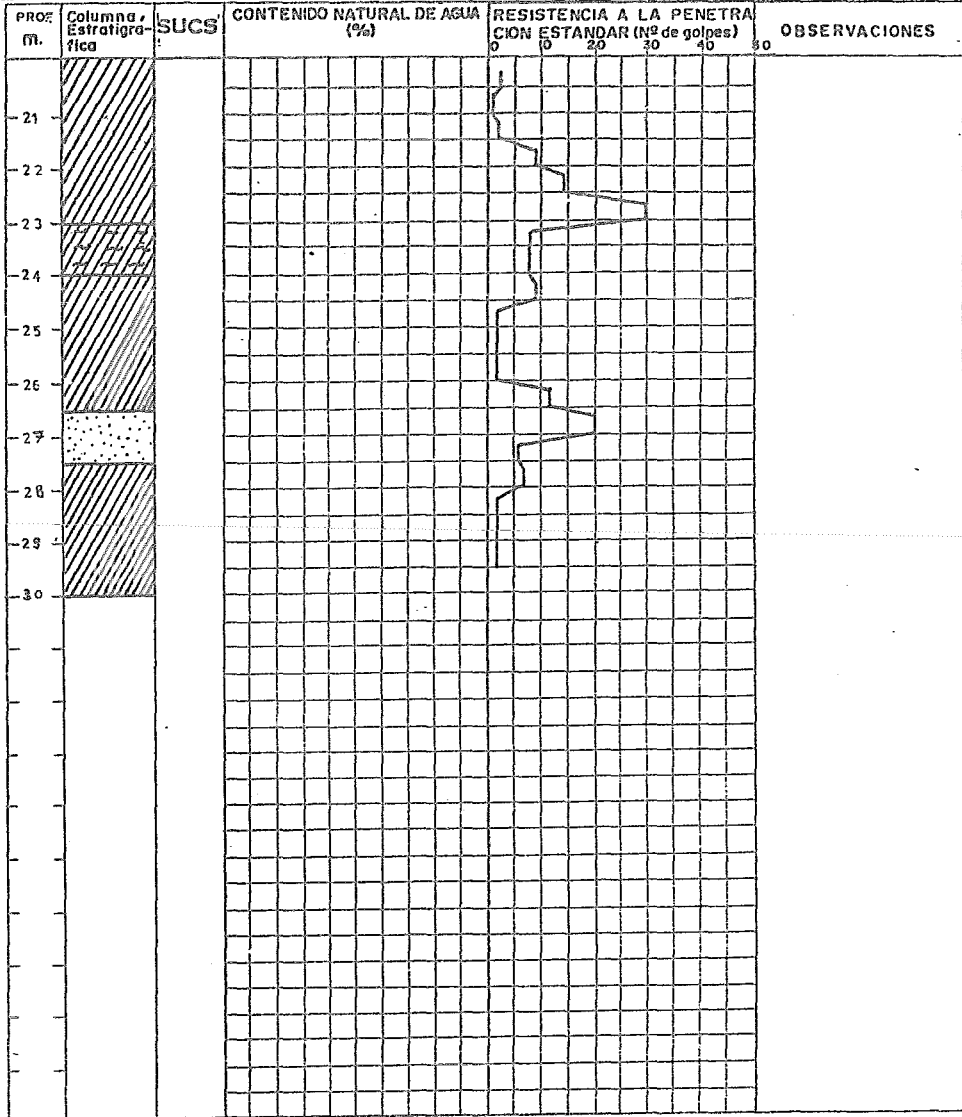
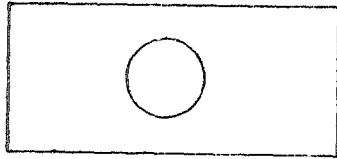
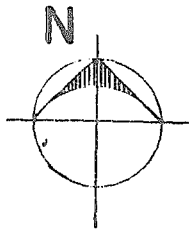
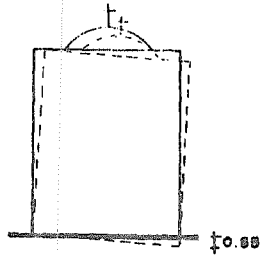


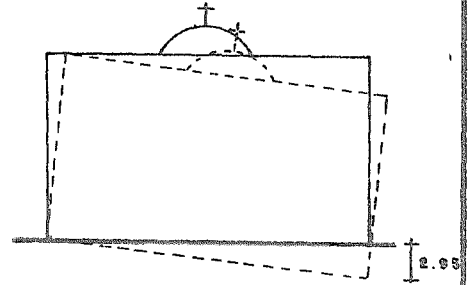
FIGURA No. 14



PLANTA



ASENTAMIENTO DIRECCION
NORTE - SUR



ASENTAMIENTO DIRECCION
ORIENTE - PONIENTE

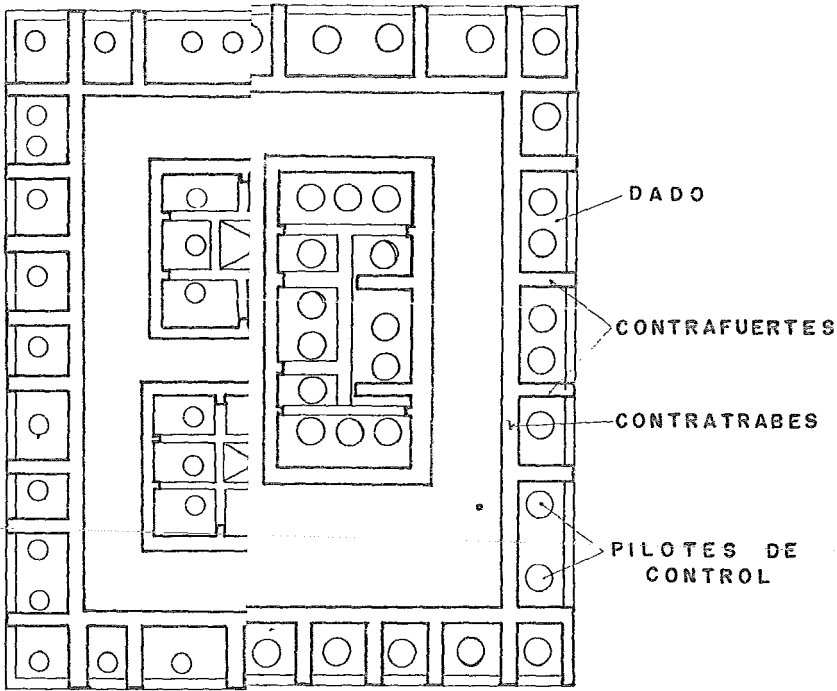
Fig. 15 Fases de Levantamiento

apoyado en la falda del cerro la estructura hubiese quedado 3.25 mtrs. abajo del nivel general de la Plaza Actual.

Así mismo los técnicos decidieron rigidizar la superestructura con elementos a tensión (tensores) con el Objeto de nulificar los efectos de esfuerzos diferenciales que muy remotamente pudieran presentarse en los elementos estructurales, durante el procedimiento de levantamiento de la estructura.

La cimentación original que tenía la estructura era a base de contratraveses de mampostería de anchos variables y un peralte constante de 3 mtrs., apoyadas sobre una plantilla de 10 a 15 cm., de espesor de estacas colocadas horizontalmente, para solucionar el problema se colocó una estructura continua de concreto reforzado, consistente en contratraveses adosadas a ambos lados de la cimentación de mampostería, con dados trabajando en voladizo y rigidizadas con contrafuertes (Plano 1 y foto 1), además, en toda su longitud se unieron las contratraveses con unas ligas de concreto que en la parte superior del cimiento se encuentran separados a cada 6 mtrs. y en la parte inferior a cada 3 mtrs., al mismo tiempo se previó el paso de 159 pilotes de concreto dotados con dispositivo de control, para posteriormente hacerlos trabajar a compresión en el levantamiento de la estructura (Fig. 16).

Los pilotes se apoyan por punta en un estrato resistente encontrado entre 15 y 35 mtrs. de profundidad, se



 UNAM ENEP-ACATLAN INGENIERIA CIVIL 	
IGLESIA de las CAPUCHINAS, D.F.	
TESIS PROFESIONAL	GALLEGOS MARTAGON R. LUNA ARRIAGA RAUL. SOTO RUISEÑOR M. A.
Comportamiento de los Suelos del Valle de Mexico en relacion con las Obras de Ing.	
FECHA. ENERO-1979.	PLANO No. I

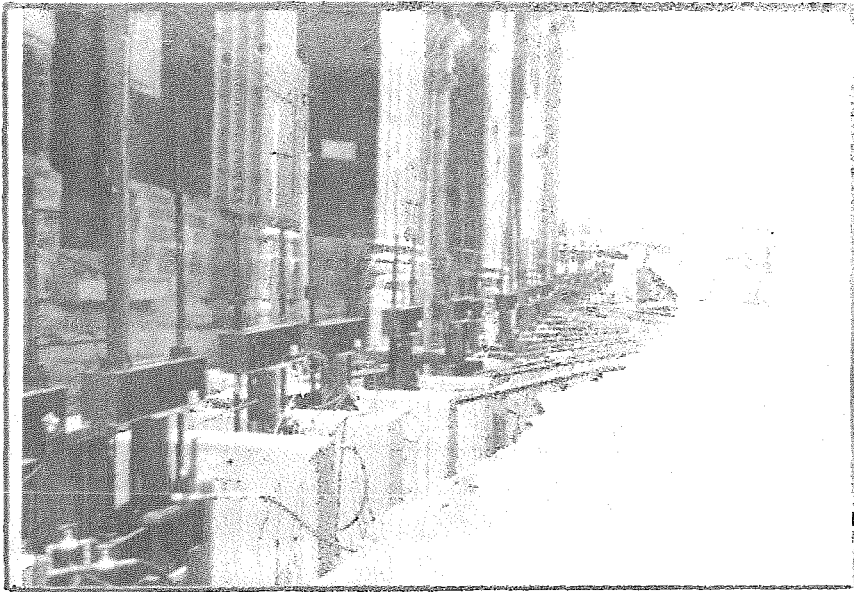
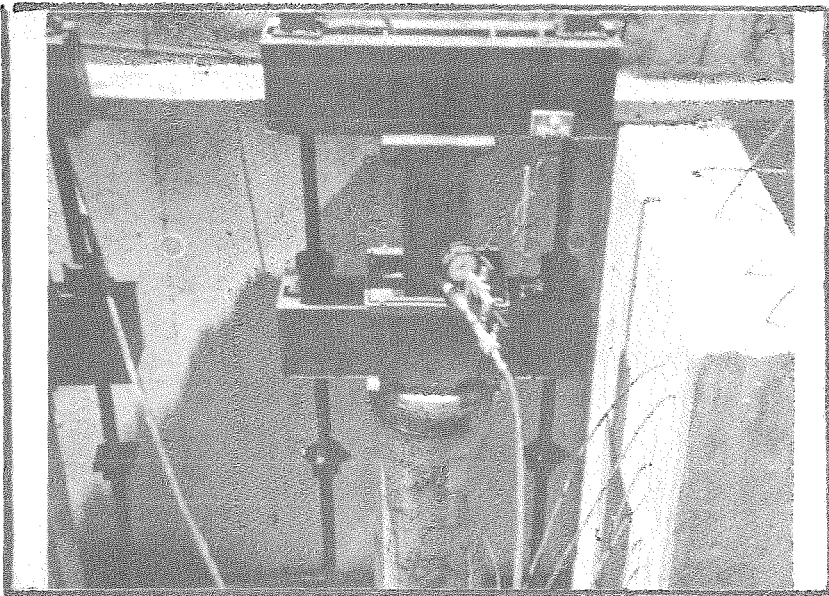
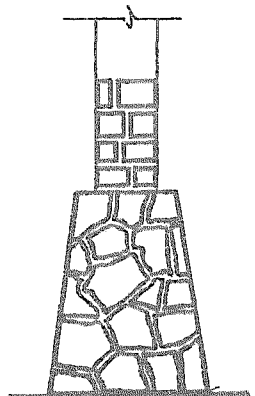


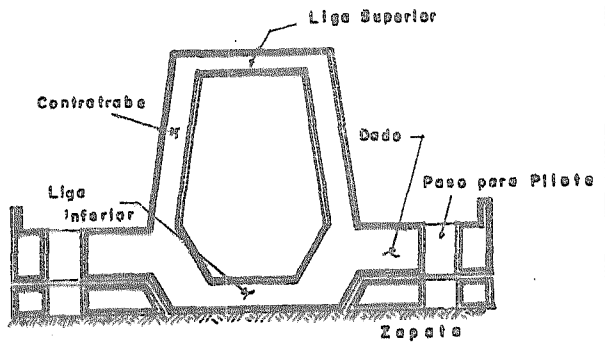
FOTO No. 1. VISTA PARCIAL DEL DISPOSITIVO GENERAL DEL LEVANTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.



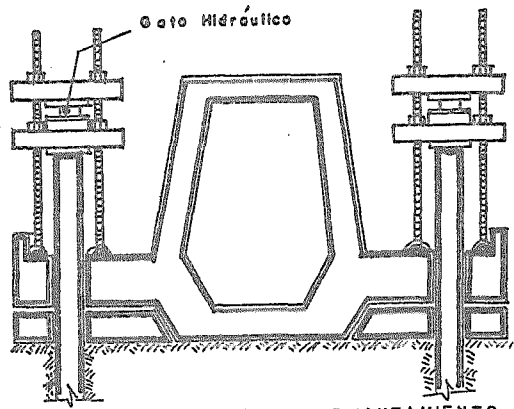
DISPOSITIVO DEL PILOTE DE CONTROL.



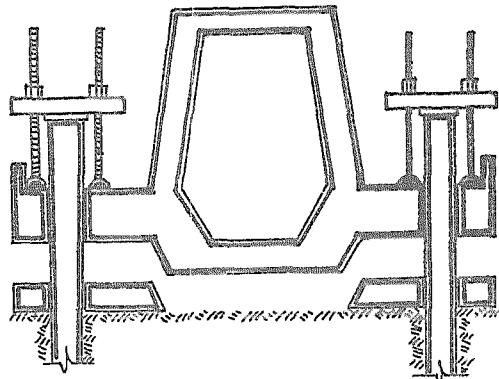
CIMENTACION ORIGINAL



RECIMENTACION



DISPOSITIVO DE LEVANTAMIENTO

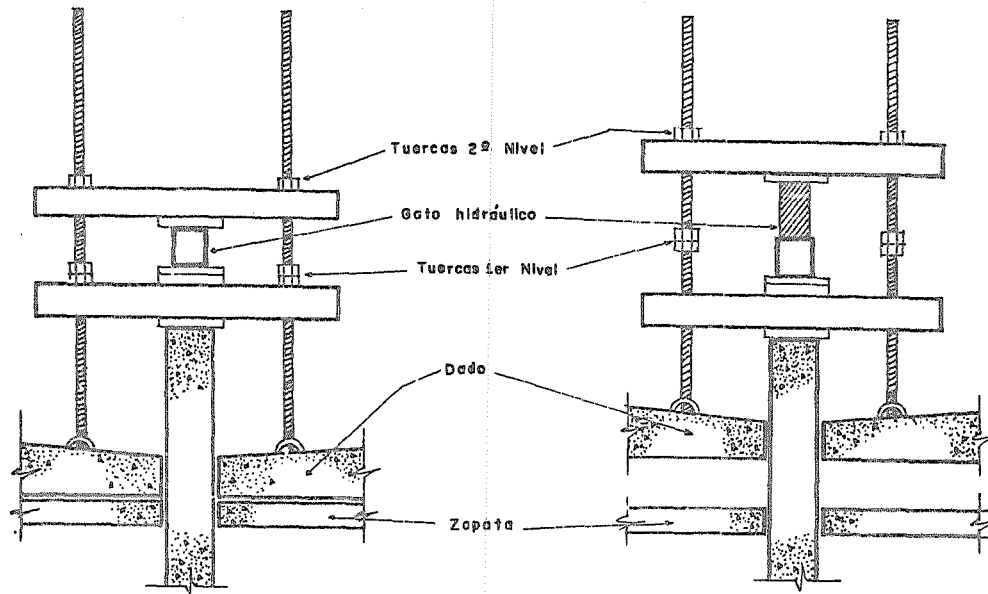


DISPOSITIVO DE CONTROL YA LEVANTADA LA ESTRUCTURA

Fig. 16 CORTES TRANSVERSALES

hincaron siguiendo el sistema de perforación gufa, introduciendo cilindros de sección circular 45 cm. y 90 cm. de longitud a presión hidráulica. Una vez hincados se colocaron dos puentes y un gato hidráulico en cada uno de los pilotes, es decir, se colocó un puente sobre la cabeza del pilote, que es el dispositivo de control definitivo, apoyándose sobre él un gato hidráulico que a su vez soportaba un segundo puente, cuya función conjuntamente con el gato hidráulico es formar los elementos principales del proceso de levantamiento de la estructura.

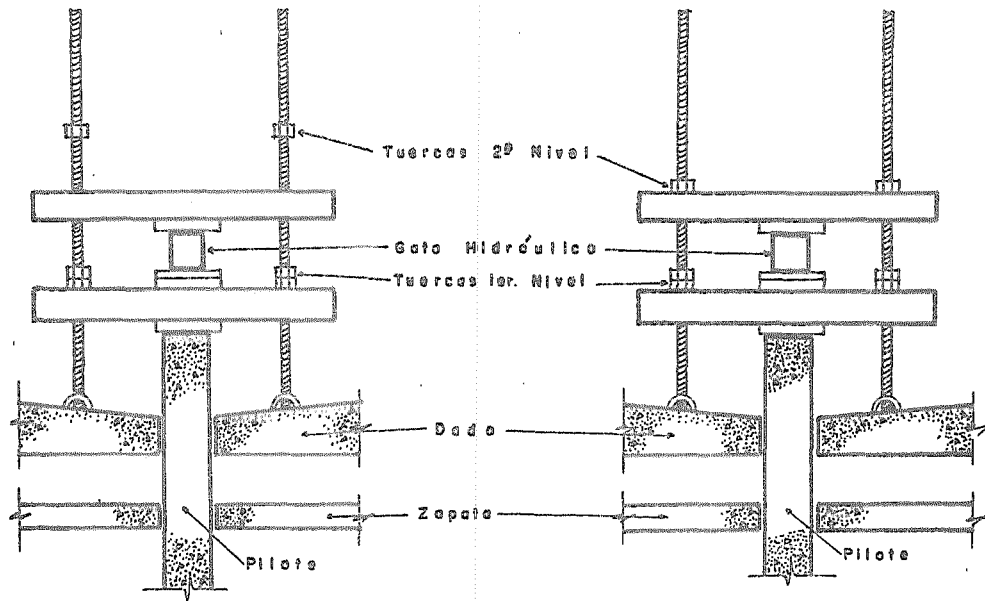
La estructura fue levantada a una velocidad promedio 5 cm./día, aunque hubo días en que se levantó 23 cm. empleándose 75 días para totalizar el levantamiento de la estructura, siguiéndose un proceso cíclico de inyección de aceite a presión al gato hidráulico que levanta el puente superior con los tornillos de anclaje y consecuentemente a la estructura, en este momento la carga de la estructura es soportada por la presión hidráulica apoyada en el pilote, subsecuentemente y para transmitir el peso de la estructura a los pilotes se procede a apretar las tuercas del puente inferior que permanece siempre fijo en su lugar durante el levantamiento de la estructura, una vez realizado este último paso se suelta la presión hidráulica y se baja al puente superior con el gato hidráulico para posteriormente volver a inyectar presión y proseguir con el levantamiento de la estructura. (Fig. 17).



POSICION I : Inicio.

POSICION II : Se inyecta presión y se inicia el proceso de levantamiento.

Fig. 17 Ciclo de Levantamiento.



POSICION III: Se atornillan las tuercas 1er. Nivel y se quita la presión.

POSICION IV-1: Se atornillan las tuercas 2º Nivel y se continúa el proceso.

Fig. 17 Ciclo de Levantamiento.

Para rellenar el hueco dejado por el levantamiento de la estructura se ha pensado colocar un muro perimetral dejando hueco el interior, esta solución es al parecer la más conveniente debido a que el hecho de rellenar el hueco con algún material como cascajo, concreto, ciclópeo, material de desecho, etc., podría ser perjudicial al comportamiento de la estructura pues ayudaría a la resistencia del terreno; o bien al rellenar con unicel, materia orgánica, etc., podría tener consecuencias no favorables, como asentamientos diferenciales en el contacto relleno-estructura.

Por ser la primera estructura en el mundo, en que para resolver sus problemas de asentamientos se procedió a su levantamiento, se considera de interés saber de su existencia y la metodología del procedimiento. Estando en poder de los realizadores de esta Obra los datos técnicos, cálculos y estudios que se llevaron a cabo y que no son mencionados en este trabajo. (9)

ZONA DE LOMAS.

Antecedentes.

Como ya se ha analizado anteriormente, la zona de lomas está constituida por suelos gruesos muy compactos y suelos finos de baja plasticidad, es decir que son suelos muy resistentes y poco compresibles, por lo que casi no se presentan el problema de hundimientos regionales y diferenciales, así como tampoco el problema de capacidad de carga. No obstante se han presentado casos de hundimientos regionales y diferenciales considerables, sin contar los hundimientos totales repentinos que han sufrido las estructuras por efecto de la presencia de minas o cavidades y de grietas, estos son los problemas que en los últimos tiempos han provocado la falla total o parcial de algunas estructuras.

Los hundimientos diferenciales regionales que como ya se ha comentado, casi no se presentan pero han tenido sus excepciones como lo es el caso del cruce del Anillo Periférico y Calzada del Conscripto, donde se han llegado a medir hundimientos del orden de 10 cm. por año.

La explotación realizada a fines del siglo pasado de los materiales útiles para la construcción, fue la causa que provocó la existencia de minas o cavidades. Estas se realizaban en forma de túneles o barrancas, que en el tiempo de su explotación no representaban ningún peli-

gro debido a que se encontraban alejadas de la ciudad, pero hoy en día estas son altamente peligrosas debido a la alteración que han sufrido a través del tiempo tanto por la imposición de sobrecargas como por los agentes del intemperismo.

En cuanto a las grietas encontradas en la zona se cree que se pueden deber a los abatimientos piezométricos, que provocan un aumento de los esfuerzos a los que están sujetas las formaciones.

MINAS O CAVIDADES.

Las zonas minadas estudiadas hasta la fecha comprenden aproximadamente 100 km²., localizándose principalmente en la parte Oeste de la Ciudad de México y los lomeríos del Estado de México, abarcando las delegaciones Alvaro Obregón, Miguel Hidalgo, y Contreras en el Distrito Federal y los poblados de Tecamachalco, La Herradura, Champa, Cuartos, La Verdolaga, Boulevares, Lomas Verdes y San Mateo, en el Estado de México. Estos estudios se deben a la comisión de Zonas Minadas del Departamento del Distrito Federal. (10)

Las cavernas o cavidades encontradas en la zona en su totalidad son de origen artificial, es decir fueron excavadas por el hombre, por lo que sus dimensiones permiten su acceso, usualmente las entradas se encuentran en barrancas o cortes donde a simple vista se podía reconocer

los mantos o lentes de materiales útiles para la construcción tales como grava, arena y pómez, cuyas características hacían factible su explotación, por no necesitar de ningún tratamiento o procedimiento de selección, La explotación de estos materiales se efectuaba a través de túneles o galerías cuyo desarrollo variaba desde un sólo túnel, hasta un verdadero enjambre, tanto en un sólo nivel como en dos y hasta tres niveles.

Con el tiempo los materiales constitutivos de las bóvedas y apoyos de las cavidades suelen alterarse tanto por los agentes del intemperismo (Infiltración de agua produciendo el arrastre de partículas sólidas, humedad ambiental, etc.) como por la imposición de sobrecargas, que más tarde pueden traducirse en derrumbes o colapsos. De estos últimos la Comisión de Zonas Minadas tuvo conocimiento de 25 derrumbes durante el período de 1974 a 1975, producidos por la ruptura total o parcial de las bóvedas y los deslizamientos de cortes, ocasionando no sólo daños materiales sino también pérdidas humanas. Debido a esto se concluye la gran importancia que tiene la investigación de las cavidades o cavernas, si se considera que una vez que se localizan y definen, se puede optar por la solución más adecuada para desplantar una estructura sobre terrenos afectados, de acuerdo a las características particulares de cada caso. Cuando estas pasan inadvertidas ya sea por falta o deficiencia en los estudios, las estructuras con

M. 0028606

el tiempo experimentarán daños que pueden ser desde simples agrietamientos hasta la falla total de la estructura.

Para resolver este problema primeramente se debe conocer o investigar su existencia, para poder definir la cimentación más adecuada. Actualmente se emplean tres métodos para determinar la presencia de cavidades, estos son:

- a) Métodos Directos.
- b) Métodos Semi-indirectos.
- c) Métodos Indirectos.

Los tres tipos de investigación tienen sus ventajas y desventajas para cada caso de que se trate. Estos no son tema de este trabajo por lo que para mayor información se recomienda consultar la referencia (10).

Una vez detectada la cavidad o cavidades donde se ha de desplantar la estructura se analiza cual será el procedimiento o criterio a emplear. Actualmente se emplean cuatro procedimientos, de los cuales se puede escoger uno o la combinación de dos o más; éstos son:

- 1.- Relleno de cavidades e inyección.
- 2.- Excavación y relleno compacto.
- 3.- Refuerzo de techos y protección contra intemperismo.
- 4.- Cimentaciones profundas.

RELLENO DE CAVIDADES E INYECCION.

Consiste en rellenar ordenadamente las cavidades empleando el material más económico disponible en el lugar, pero que cumpla con los requisitos de resistencia especificados. El objetivo de la operación es el de reponer a la masa de suelo la continuidad y resistencia que tenía antes de excavar las galerías.

El procedimiento de rellenar no es suficiente para soportar las bóvedas, ya que es común que el material de relleno se contraiga, por lo que es necesario complementar el procedimiento con la inyección de una lechada a presión.

En el procedimiento de rellenar e inyectar lechada a las cavidades se siguen cuatro etapas que son:

- 1a. Limpieza del área por rellenar.
- 2a. Colocación de la mayor cantidad de material posible acomodado en bloques que permitan el paso de un relleno fluido compuesto de agregados finos y de baja viscosidad.
- 3a. Verter desde el exterior el relleno fluido (Entre los materiales que pueden mezclarse con agua en diferentes proporciones para fabricar el relleno fluido son:
cemento, cal, puzolana, mortero, grava, arena, tepetate, suelo del lugar, bentonita, aditivos fluidos).

dizantes, etc.) que al fraguar adquiriera la resistencia especificada generalmente de 100 a 150 kg./cm². Se debe cuidar que se rellene primeramente las partes bajas.

4a. Inyección a presión de lechada de cemento, con aditivos expansores, para sellar los huecos pequeños y el contacto entre el relleno anterior y la clave de la bóveda. - Un ejemplo de aplicación de este procedimiento fue el caso del Conjunto Urbano Mixcoac, donde se efectuó la secuela anterior. La proporción de mezcla que con mayor frecuencia se utilizó en este trabajo fue la siguiente:

Cemento	120	kg.
Arena	530	kg.
Agua	670	kg.
Bentonita	30	kg..

La localización del predio y la ubicación de las cavidades se muestra en la figura No.18 .

EXCAVACION Y RELLENO COMPACTADO.

Este procedimiento consiste en derrumbar los techos de las cavidades y rellenar estos espacios que existen entre el piso de ella y la superficie del terreno, empleando material de relleno y compactándolo.

El procedimiento consiste de 5 etapas o fases -- que son:

a.- Localización topográfica de las cavidades en plan-

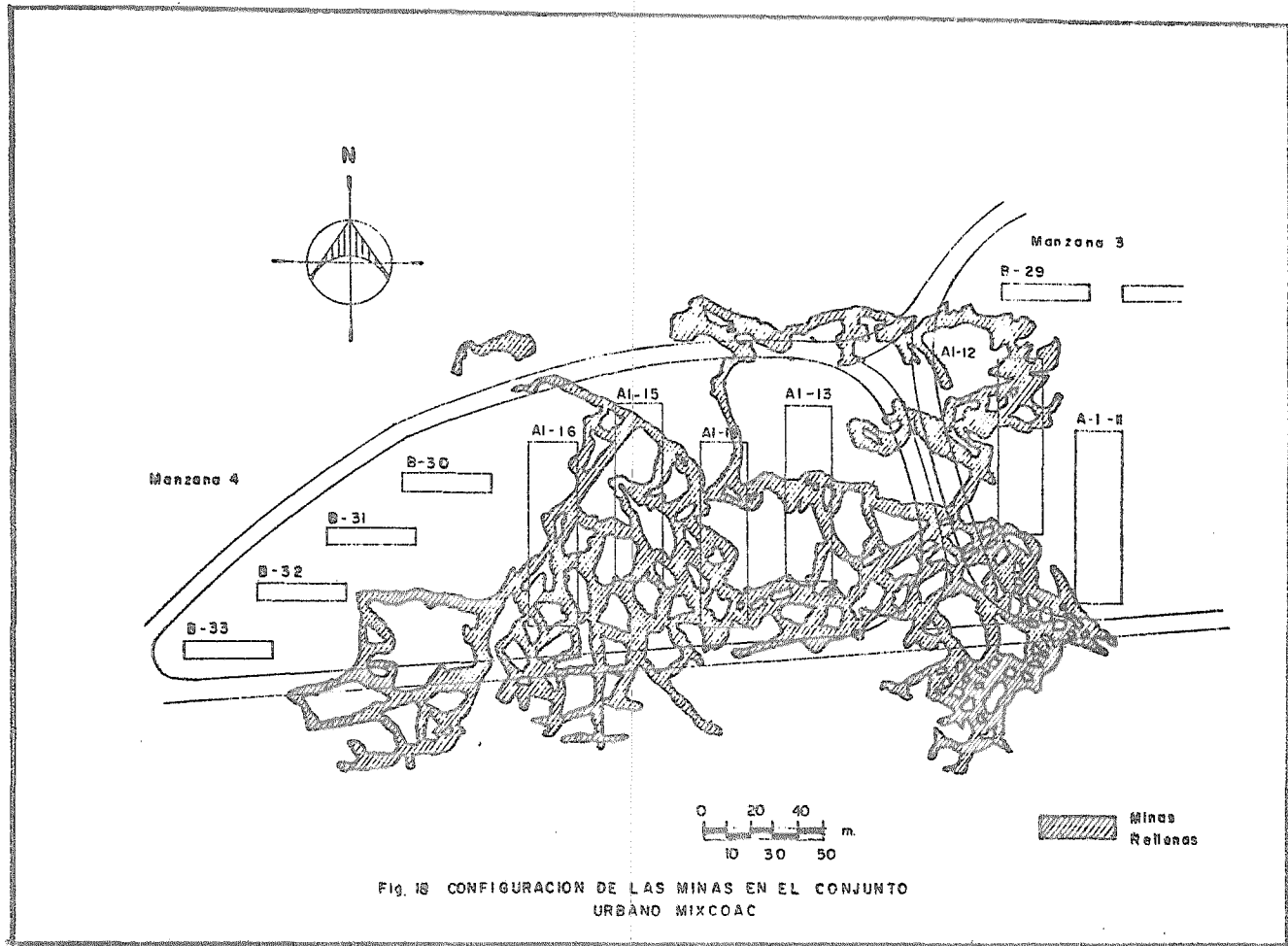


Fig. 18 CONFIGURACION DE LAS MINAS EN EL CONJUNTO URBANO MIXCOAC

ta y perfil.

b.- Despalme del terreno o predio.

c.- Trazo en la superficie del contorno de las cavidades.

d.- Excavación o derrumbe del techo de la cavidad, ya sea con tractor o con explosivos, colocando en el primer caso el material al lado del área de la cavidad y en el segundo desalojando el material.

e.- Colocación y compactación del material de relleno en capas, a partir del piso limpio de la cavidad. En general el material producto del derrumbe del techo es de buena calidad en la zona, por lo que se puede emplear, no obstante, deberá investigarse su calidad mediante pruebas de laboratorio. El grado mínimo de compactación que se acepta es cuando se alcanza el peso volumétrico seco máximo determinado en el laboratorio.

Los problemas que suelen presentarse en estructuras desplantadas sobre rellenos, son los debidos a los hundimientos diferenciales, producidos por una mala compactación del material. En términos generales entre mayor sea el grado de compactación, menores serán los asentamientos.

Un ejemplo de aplicación del método antes descrito fue el de un fraccionamiento residencial en el Estado de México, donde al efectuar la urbanización del mismo se encontraron cavidades, las cuales fueron derrumbadas y rellenadas con materiales del mismo derrumbe.

En 1967 en el fraccionamiento antes mencionado se presentaron varios casos de estructuras que sufrieron asentamientos diferenciales repentinos de hasta 10 cm. por lo que se realizó un estudio para determinar las causas que habían provocado dichos asentamientos.

Una vez realizado el estudio se demostró que las casas afectadas se encontraban en su totalidad sobre los rellenos que se hicieron, y que los asentamientos ocurrieron al incrementarse el grado de saturación de los materiales, por el agua infiltrada, que además provocó el arrastre de partículas finas.

El caso anterior ilustra los errores en que se incurrieron al efectuar un mal estudio desde un principio y la realización de obras de ingeniería de mala calidad, al colocar rellenos mal compactados.

REFUERZO DE BOVEDAS Y PROTECCION CONTRA EL INTEMPERISMO.

Algunas veces se acostumbra por las necesidades del caso reforzar los muros y bóvedas de las cavidades con el objeto de rigidizar y reforzar la cavidad. Para este procedimiento actualmente existen tres formas que son:

a.- Muros de Mampostería.- Estos se desplantan en terreno firme, bajo el piso de la cavidad, el objetivo es el de reducir los claros y aumentar la capacidad de carga. En este procedimiento se debe cuidar que el contacto entre la

bóveda y la parte superior del muro sea bueno.

La solución anterior fue empleada en la construcción de las estructuras del Instituto Nacional de Protección a la Infancia (Hoy Dirección de Integración Familiar) localizado en la colonia Olivar del Conde.

b.- Arcos o bóvedas de concreto.- Este consiste en colocar arcos o bóvedas en la clave del techo de la cavidad, apoyados en muros, el objetivo es el de aumentar la capacidad de carga del techo de la cavidad.

c.- Recubrimiento con concreto lanzado.- Este método puede ser utilizado cuando la cavidad se localiza a una profundidad tal que no afecte la estabilidad de la estructura. El procedimiento consiste en recubrir techo y muro de cavidades con concreto lanzado, con el objeto de proteger el material de la cavidad contra la acción del intemperismo. La práctica ha permitido definir espesores de concreto lanzado entre 5 y 10 cm.

CIMENTACIONES PROFUNDAS.

La aplicación de esta solución, sólo es recomendable cuando las descargas de la estructura son muy altas y el costo total de la obra justifique el empleo de una cimentación de este tipo.

Los cuatro procedimientos de solución de cimentaciones en esta zona pueden sufrir variaciones de acuerdo a

cada caso de que se trate.

GRIETAS. (11)

Estas se han presentado en los últimos años en la zona de lomas, se cree que se pueden deber principalmente a los esfuerzos a que son sometidas las formaciones ocasionados por los abatimientos piezométricos.

Actualmente se tiene conocimiento de dos grietas, que se localizan en el municipio de Naucalpan de Juárez en el Estado de México, estas son las llamadas " La Florida " y "Echegaray" . Las dos han provocado problemas de hundimientos diferenciales en casas, calles, carreteras y un puente.

Fué hacia el año de 1967 cuando se tuvo el primer conocimiento del problema y fué después de que una casa del fraccionamiento La Florida se empezó a agrietar y lo más extraño del caso era que las casas vecinas que además de ser semejantes y haberse construído simultáneamente no presentaban ningún deterioro por lo que intrigó a los fraccionadores y autoridades a que se debía el fenómeno.

Así se realizó un estudio y reconocimiento del lugar en el cual se encontraron con un escalón en sentido perpendicular a la calle y banquetas, cruzando al centro del predio, dicho escalón parte de la colindancia del Parque Metropolitano, cruza la Autopista México - Querétaro,

pasa por el fraccionamiento la Florida y llega hasta el Vaso del Cristo. Después de estudiar el fenómeno se llegó a la conclusión que el escalón se debe a una grieta que se desliza o se mueve diferencialmente y que se le ha denominado grieta "La Florida". Fig. No. 19.

La otra grieta de que se tiene conocimiento, a-- parece a unos 750 mtrs. hacia el sur de la anterior, en -- forma casi paralela, ésta parte del Río de los Remedios, - cruza la autopista y llega hasta la avenida Circunvalación, se conoció después de haber construído el puente de Lomas Verdes, el cual se encuentra afectado por ella, a ésta se le denominó grieta "Echegaray".Fig. 19

Las dos grietas forman una franja con dirección Oeste-Este, que desciende, mientras que sus fronteras al - Norte y al Sur definidas por las trazas de las mismas apa- rentemente permanecen en un nivel constante. En la figura No. 20 se muestra un corte esquemático en la dirección Norte-Sur donde se presentan los escalones.



FIG. No. 20

Las dos grietas como ya se ha mencionado han ---

afectado a toda clase de construcciones, muchas de las cuales han tenido que demolerse, pero el caso más crítico es el del Puente de Lomas Verdes, donde su apoyo Oeste está cortado por la grieta "Echegaray" y donde no es imaginable su demolición por causas de tipo social, político, y económico, motivo por el cual se encargó a una compañía particular hacer un estudio para evitar o controlar los asentamientos diferenciales que tiene cada día el puente. En este se llegó a la conclusión de recomendar que fueran calafateadas las grietas en los apoyos del puente y recarsar este para evitar los asentamientos diferenciales que se notan en la carpeta asfáltica del puente, así mismo se recomendando hacer esta operación periódicamente, para mantener el puente en buenas condiciones.

*****REFERENCIAS*****

- (1) El hundimiento de la Ciudad de México, Proyecto Texcoco. Colección Nabor Carrillo, México 1969.
- (2) Boletín de la Comisión de Aguas del Valle de México. S.A.R.H Año II Numero 4.
- (3) Memoria de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Departamento del Distrito Federal. Tomo I, México, D. F. 1975.
- (4) The Lacustrine Clays of the Valley of Mexico, R. J. Marsal, Instituto de Ingeniería de U. N. A. M. July of 1975.
- (5) Comportamiento de las Cimentaciones Sobrecompensadas en Suelos con Hundimiento Regional, Tesis de Maestria del Ingeniero J. Luis Díaz Cobo, México 1977.
- (6) Cimentacion empleando el método de la precarga, Tesis Profesional.
- (7) Comunicación personal con el Ingeniero Marcos Aguilar P. I. C. O. S. A. (1978)
- (8) Estudio de recimentacion S.T.A.G. S.A.
- (9) Estudio de recimentación y comunicación personal con los Ingenieros Manuel González Flores y Marcos Aguilar, P.I.C!O. S.A. (1978)

- (10) Cimentaciones en Zonas Minadas de la Ciudad de México, Simposio Marzo de 1976, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
- (11) El Subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el Area Urbana de la Ciudad de México, Marzo de 1978, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

APENDICE

IMPORTANCIA DE SISMOS EN RELACION CON LAS OBRAS DE I N G E N I E R I A

Para finalizar el capítulo, los autores de este trabajo consideran pertinente comentar el comportamiento de las estructuras de la Ciudad de México, bajo los efectos de un sismo, dado que el efecto sísmico está fuera de cualquier patrón conocido en cualquier parte del mundo, debido a las características particulares de los suelos que forman la Cuenca del Valle de México.

Para poder comentar en forma general los efectos producidos por las fuerzas sísmicas a las estructuras es necesario saber que el hombre ha identificado a los sismos

como movimientos del suelo que producen en él factores psicológicos de miedo y pánico y en algunas ocasiones muertes, en tanto que las estructuras pueden sufrir daños desde muy leves, hasta la destrucción total. Es por eso que una de las preocupaciones del Ingeniero Civil es y ha sido el estudio de los efectos que provocan los movimientos sísmicos en las estructuras. Esto ha dado lugar, desde el siglo pasado, a un desarrollo notable en las disciplinas para el análisis de estructuras, que habrán de soportar los efectos sísmicos. En el área de estructuras, se cuenta hoy en día con métodos de análisis que relativamente han comprobado su efectividad a través de la observación hecha a las estructuras diseñadas bajo los criterios y especificaciones existentes. Si embargo, queda por definir los métodos de análisis de los efectos sísmicos en la masa del suelo en donde se apoyan las estructuras.

El único conocimiento que se tiene de los efectos de un sismo en la masa de suelo se debe a la observación del fenómeno después de su ocurrencia. Se hacen esfuerzos para obtener el llamado riesgo sísmico en localidades determinadas, haciendo uso del conocimiento de las características geológicas, topográficas y estratigráficas en el sitio, así como de los sismos ocurridos en la proximidad, utilizando las armas que da la probabilidad y estadística (1); uno de los resultados de este planteamiento es el sistema propuesto por el Instituto de Ingeniería de

la U. N. A. M. (2). La importancia de las características de los suelos locales, para la determinación del riesgo sísmico fue estudiada por primera vez después de la ocurrencia del sismo de Lisboa en 1785, posteriormente en el año de 1906 con motivo del sismo ocurrido en San Francisco (E.U.A.), se generaron estudios en que se tomó en cuenta el efecto de los suelos, en la acción sísmica. En 1923, en el sismo Canto, en Tokio, Japón se realizaron estudios donde se hace resaltar la importancia de las características de los suelos, desde entonces han aparecido numerosos estudios sobre la influencia de las características de los suelos en el riesgo sísmico (2). En el caso antes mencionado se ha observado que el daño ocasionado a algunas estructuras es más pronunciado en unas que en otras que aparentemente fueron diseñadas como las primeras, el motivo de la notable diferencia, se puede sintetizar en que se debe principalmente a las características intrínsecas del sismo, a las del suelo, y al tipo de estructuras que se encuentran constituidas en el sitio.

Los primeros investigadores que dieron cuenta de que el comportamiento del suelo bajo la acción sísmica, dependía directamente de las propiedades y características del suelo, así como del tipo de estructura, fueron Milne, Sieberg y Reid (3), los cuales concluyeron que las vibraciones producidas por un sismo son mucho más severas en duración en suelos blandos que en suelos duros.

La conclusión anterior es válida hoy en día. Además se ha investigado y comprobado que los suelos sufren cambios importantes en sus propiedades mecánicas por efecto de la vibración producida por las ondas sísmicas, estos cambios son:

a) Pequeña reducción en la resistencia a la compresión, que provoca una reducción en la rigidez del material, especialmente si se trata de materiales arcillosos, y el consiguiente cambio en el período de vibración del suelo que puede ser muy peligroso, si se tiene una tendencia de éste hacia el período fundamental de las ondas sísmicas, en este caso se presenta el fenómeno de resonancia, que no es deseable, porque junto con él, se incrementarían las sollicitaciones de las estructuras.

b) Pequeña reducción en la resistencia al esfuerzo cortante, que provoca en la masa del suelo, un efecto de deformación plástica, que ha sido observado en algunos lugares de la Ciudad de México (4), después de la ocurrencia de un sismo.

Entre los efectos que produce la acción de un sismo en la masa de suelo está por ejemplo la compactación que sufren principalmente las arenas al provocarse un acomodo de sus granos, que podría hacer pensar en un aumento de la resistencia al esfuerzo cortante, cosa que no es cierta debido a que este aumento es mucho menor que la reducción que provoca el efecto de la deformación plástica.

Por otro lado la compactación del suelo puede dar lugar a hundimientos totales y diferenciales que ocasionan daños - considerables (5).

Un ejemplo del comportamiento de la masa de suelo bajo los efectos de las ondas sísmicas, fue el caso del sismo ocurrido el 28 de Julio de 1957 en la Ciudad de México, donde como se vió en el capítulo anterior, debido a -- las propiedades y características de los suelos pueden distinguirse tres zonas, que son: Lago, Transición y Lomas.

Después de la ocurrencia del sismo se reportaron aproximadamente 1500 casos de daños ocasionados, si se considera que el 50% de éstos fueron leves o despreciables, y suponiendo que un 20% no se reportaron, se puede entonces decir que fueron 900 los casos de daños, los cuales estuvieron localizados como sigue: (6)

	LAGO	TRANSICION	LOMAS
CONSTRUCCIONES DAÑADAS	657	144	99
% CONSTS. DAÑADAS	73	16	11

Como se puede observar, el mayor número de casos de daños se presentó en la zona de Lago, y además se observó, que las estructuras que sufrieron daños considerables estaban localizadas en la misma zona. Sin embargo no se desecha la posibilidad de que un sismo que presente períodos

cortos de oscilación, provoquen daños mayores a estructuras localizadas en la zona de Transición, o aún en la zona de Lomas, especialmente si se trata de estructuras rígidas.

En conclusión se puede decir que el comportamiento de las estructuras bajo la acción sísmica depende directamente de las características de la estructura, de las propiedades y características de los suelos, así como de las intrínsecas del sismo.

REFERENCIAS

- (1) Influencia de las condiciones locales de los suelos - en el riesgo sísmico. Gabriel Moreno P. IX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, 1978.
- (2) Effic of local conditions upon earthquake ground motions, by Robert V. Whitman.
- (3) Elementary Seismology, by Charles F. Richter, W. H. Freeman and Company, 1958.
- (4) Comunicación personal con el Dr. Leonardo Zeevaert.
- (5) El estudio de las propiedades dinámicas del subsuelo en Ingeniería Sísmica, con aplicación especial al -- subsuelo de la Ciudad de México, Tesis, Arturo Bello M. 1965.
- (6) The earthquake of 28 de July 1957 in México City, by - Emilio Rosenblueth, proceedings of the II W.C.E.E. Japan, 1960, Vol. I

C O N C L U S I O N E S

Conociendo que el comportamiento de los suelos - en relación con las obras de Ingeniería depende de sus características y propiedades, los autores de este trabajo - al buscar un tema de tesis que cumpliera con el objetivo - de aportar un conocimiento más amplio de las características y propiedades del suelo de la Cuenca del Valle de México, se dieron a la tarea de reunir toda la información que sobre el particular fuese útil, así como de ampliarla y actualizarla en la medida de sus posibilidades.

Aprovechando que la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos preparaba un Simposio, en donde se presentarían las características y propiedades del suelo del área urbana del Valle de México, y en el que los autores de este trabajo tuvieron la oportunidad de participar activamente, se obtuvo la información necesaria para la realización de esta tesis, esta información fue a su vez reunida gracias a la colaboración de los Organismos Gubernamentales y las Compañías Privadas especializadas en realizar Estudios de Mecánica de Suelos.

La organización del trabajo se encuentra estructurada por una secuencia de conocimientos básicos y elementales hasta llegar a la aplicación de los resultados de los estudios y análisis presentados.

Primeramente se muestra la historia geológica de la Cuenca del Valle de México y su geología actual que sirven de base para lograr un conocimiento concreto de la formación del subsuelo desde sus orígenes. En el plano Geológico de la Comisión de Aguas del Valle de México se muestra resumida esta información (Plano Núm.1, Cap. II), muy completa, sin embargo, se hace notar que muestra la geología de una manera muy general, por lo que se propone se particularice más en el área Metropolitana de la Ciudad de México. Una vez conocida la geología del lugar se creyó --

conveniente presentar, los que sin duda son los antecedentes estratigráficos de la Cuenca del Valle de México y que resultan ser los estudios realizados por Raúl J. Marsal y Marcos Mazarí (1959) y por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (1970), que nos muestran las características y propiedades del suelo de la Ciudad de México, pero que actualmente se pueden considerar insuficientes e incompletos.

La zonificación de la Cd. de México a la que se llegó como resultado de los estudios antes mencionados se puede considerar que es bastante apropiada, pero muy limitada, por lo que se creyó necesario proponer una zonificación que tomase en cuenta las zonas que actualmente se encuentran habitadas, así como una futura ampliación de éstas, y que no son consideradas por la zonificación de R.J. Marsal y M. Mazarí dejando abiertas las fronteras de dicha zonificación, debido a que actualmente la información disponible, aunque amplia, no es suficiente para el completo estudio de la Cuenca. (Plano Núm.1 Cap. IV).

Se propone que la recopilación de los datos sobre las características y propiedades del suelo de la Cuenca del Valle de México sea periódicamente revisada y actualizada, para lo cuál debe exigirse que se realicen Estudios de Mecánica de Suelos para toda edificación que se --

construya en la Cuenca, y que este trabajo se considere como la iniciación de estas revisiones. La zonificación propuesta en este trabajo fue el resultado del estudio y análisis de cada uno de los sondeos proporcionados y que se muestran en las tablas I, II, III, IV y V del Capítulo IV.

Seguidamente se presentan algunas experiencias sobre el comportamiento de los suelos en relación con las obras de Ingeniería a través de varios ejemplos mostrados en el Capítulo V y que pretenden comentar la manera en que han sido resueltos los problemas más representativos que presenta la interacción estructura-suelo y las causas probables a que se deben estos problemas. Finalmente debido a la importancia que tiene actualmente el riesgo sísmico en las estructuras, se presenta un breve comentario sobre el comportamiento y la respuesta del suelo a la acción sísmica.

Concluyendo que los autores de este trabajo consideran, que el suelo de la Cuenca del Valle de México, dista mucho de estar bien estudiado, debido a la gran diversidad de sus características y propiedades, ya que como se mencionó éstas cambian al alterar las condiciones naturales que están ligadas al tiempo, por lo que los autores recomiendan tomar con ciertas reservas los datos incluidos en este trabajo, ya que se debe tomar en cuenta la historia geológica de los suelos y la experiencia obtenida a --

través del tiempo, como lo menciona Ralph B. Peck. (1).

Tomando en cuenta la gran importancia que guarda este trabajo en su contenido, debido al gran número de sondeos que se presentan, es necesario agradecer a la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos y a las diversas Compañías especialistas en mecánica de suelos su amable cooperación para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente se presenta un resumen de las características estratigráficas y propiedades mecánicas de los suelos en cada una de las zonas.

Z O N A D E L A G O

FORMACION SUPERFICIAL.

Clasificación SUCS.	CL,ML,CH,MH,OH,SM.
Contenido de agua.	61 %
Límite líquido.	89 %
Límite plástico.	41 %
Número de golpes.	11
Espesor medio.	3.2 m.

FORMACION ARCILLOSA SUPERIOR.

Clasificación SUCS.	CH.
Contenido de agua.	247 %
Límite líquido.	273 %
Límite plástico.	84 %
Número de golpes.	4
Espesor medio.	21.2 m.

PRIMERA CAPA DURA.

Clasificación SUCS.	SM,ML,CL.
Contenido de agua.	54 %
Número de golpes.	36
Espesor medio.	3.2 m.

SEGUNDA FORMACION ARCILLOSA.

Clasificación SUCS.	CH.
Contenido de agua.	204 %

Número de Golpes.	8
Espesor Medio.	11.10 m.

DEPOSITOS PROFUNDOS

Clasificación SUCS.	SM, ML.
Número de Golpes.	Mayor de 50
Espesor Medio.	3.9 m.

TERCERA FORMACION ARCILLOSA.*

* De la Tercera Formación Arcillosa no se tienen datos que puedan considerarse representativos.

ZONA DE TRANSICION

SUELOS FINOS

Clasificación SUCS.	CH, MH, CL, ML, OH, OL.
Contenido de Agua.	88%
Límite Líquido.	90%
Límite Plástico.	32%
Número de Golpes.	20
Espesor Medio.	6.0 m.

SUELOS GRUESOS

Clasificación SUCS.	SC, SM, SP, SW.
Contenido de Agua.	32%
Número de Golpes.	31
Espesor Medio.	6.0 m.

ZONA DE LOMAS

SUELOS FINOS

Clasificación SUCS.	CL, ML.
Contenido de Agua.	40%
Número de Golpes.	26
Espesor Medio.	6.0 m.

SUELOS GRUESOS

Clasificación SUCS.	SC, SM, SP.
Contenido de Agua.	23%

Límite Líquido.	30%
Límite Plástico.	20%
Número de Golpes.	38
Espesor Medio.	8.0 m.

REFERENCIAS

- (1) II Conferencia Nabor Carrillo
" Selección de los Parametros del Suelo para el Dise-
ño de Cimentaciones "
- Ralph B. Peck . México, 1974.