

7
29



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**ANALISIS DE UNA CIMENTACION SUJETA
A HUNDIMIENTOS REGIONALES**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :

ALFREDO ANTONIO ALBERDI GONZALEZ

México, D. F.

1991

**TESIS CON
PALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE.

CAPITULOS.	PAGS.
I INTRODUCCION.	1
I.1 APENDICE 1. OBJETIVOS DEL PROYECTO TEXCOCO.	3
II ANTECEDENTES.	
II.1 GEOLOGIA DE LA CUENCA DE MEXICO.	5
II.2 PROYECTO TEXCOCO.	
II.2.1 IMPORTANCIA DEL PROYECTO.	7
II.2.2 UBICACION.	9
II.2.3 ESTRATIGRAFIA.	9
II.2.4 CIMENTACIONES EN LA ZONA.	10
II.3 LAGO NABOR CARRILLO.	12
III HUNDIMIENTOS REGIONALES.	
III.1 HUNDIMIENTOS DE LA CIUDAD DE MEXICO.	24
III.2 HUNDIMIENTO DEL EX-LAGO DE TEXCOCO.	
III.2.1 HUNDIMIENTO DE LA ZONA FEDERAL DEL EXLAGO DE TEXCOCO.	28
III.2.2 HUNDIMIENTO DEL DREN GENERAL DEL VALLE DE MEXICO.	30

IV CIMENTACION DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL DEL LAGO NABOR CARRILLO.

IV.1 ANALISIS DE LA CIMENTACION.

IV.1.1. ANTECEDENTES.	38
IV.1.2. ANALISIS DE CARGAS	40
IV.1.3. PERFIL Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO.	41
IV.1.4. CAPACIDAD DE CARGA.	
IV.1.4.1. CAPACIDAD DE CARGA DE LA LOSA.	42
IV.1.4.2. CAPACIDAD DE CARGA DE LOS PILOTES.	43
IV.1.5. ANALISIS DE ASENTAMIENTOS.	
IV.1.5.1. ANALISIS DEL BORDO.	45
IV.1.5.2. ANALISIS DE LA LOSA DE CIMENTACION.	46
IV.1.5.3. ANALISIS DE LOS PILOTES.	47

V DISCUSION DE RESULTADOS.	48
-----------------------------------	-----------

VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	51
---	-----------

VII BIBLIOGRAFIA.	54
--------------------------	-----------

I. INTRODUCCION

La idea de presentar este tema es conocer la problemática que presentan las estructuras sujetas a "Hundimientos Regionales" de la Ciudad de México, tomando como ejemplo la cimentación de la estructura "puente compuerta" del Lago Nabor Carrillo, localizado en la zona del federal del Exlago de Texcoco, donde la resistencia de los suelos es baja, la sismicidad es alta, el nivel freático es casi superficial y el hundimiento regional es importante.

El Exlago de Texcoco se encuentra ubicado al poniente de la Sierra de Guadalupe, al sur de la Sierra de Santa Catarina y al oriente la Sierra de Río Frío.

En el Capítulo Segundo se plantea, en primera instancia, un resumen de la Geología de la Ciudad de México. A continuación se describen los objetivos básicos del Proyecto Texcoco, tales como el erradicar las tolvaneras o tormentas de polvo, disminuyendo así la contaminación ambiental, aprovechamiento de los recursos naturales, tales como el agua y el suelo. Al final de este trabajo, se describen las características del Lago Nabor Carrillo así como el proceso constructivo y estudios realizados durante el diseño y construcción del lago.

Para el logro de estos objetivos se creó, en el año de 1974, la "Comisión Ejecutiva del Lago de Texcoco" (CLT), siendo esta una dependencia de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Actualmente es el Proyecto Lago de Texcoco (PLT), dependiente de la Comisión Nacional del Agua (CNA) (Apéndice 1).

En el Capítulo Tercero se presenta el tema correspondiente a "Hundimientos Regionales", el cual abarcará en primera instancia a la Ciudad de México, destacando básicamente el porqué de éste fenómeno y de que manera se miden los hundimientos. También se presentan las etapas de evolución de los asentamientos y la magnitud de los mismos. Una vez estudiado el fenómeno referido a la Ciudad de México se continúa con el estudio de los Hundimientos Regionales del Exlago de Texcoco, enfocándolos en particular a dos líneas, el hundimiento de la zona federal del Exlago de Texcoco y el Dren General del Valle de México que corre en dirección sur-norte, observando los graves problemas que ha ocasionado este fenómeno, tales como la necesidad de recimentar la estructura de control del Lago Nabor Carrillo, la operación deficiente del Dren General, el continuo hundimiento del bordo norte del Lago Nabor Carrillo y la efectación de las zonas IV y V de Ecatepec.

En el Capítulo Cuarto, se plantea un análisis de la estructura y del terreno; en primera instancia se describe el análisis de cargas, perfil y propiedades del subsuelo, capacidad de carga, y se concluye con el análisis de asentamientos, tanto de la losa de cimentación como de los pilotes en interacción con el bordo perimetral.

Este capítulo tiene la finalidad de conocer los problemas de hundimientos, tanto regionales como locales, a los que está sujeta la estructura de control del lago.

Para finalizar este trabajo se cuenta con los Capítulos VI y VII que corresponden a Discusión de Resultados, Conclusiones y Recomendaciones y Bibliografía. Estos temas tienen el fin de dar soluciones a un problema que hoy en día en la Ciudad de México es de vital importancia.

I.1 Apéndice 1.

Proyecto Texcoco.

El "Proyecto Texcoco" es, como su nombre lo indica, un proyecto muy ambicioso, sobre todo por la crisis económica que sufre el país desde 1982, sin embargo, responde a los propósitos señalados en el Plan Nacional de Desarrollo de racionalizar el uso y aprovechamiento del agua, desarrollar la infraestructura hidráulica para su control y uso eficiente, y abatir y controlar la contaminación del agua en todas sus manifestaciones. Asimismo, por la pluralidad de sus programas, contribuye al desarrollo rural integral de las comunidades de la región.

Dentro de este contexto, la estructura de sus programas, en el período 1983-1988, incluye: Continuar la construcción de la infraestructura hidráulica para mejorar el sistema de drenaje en el Exlago de Texcoco y reducir el riesgo de inundaciones en el área metropolitana de la Ciudad de México; incrementar la capacidad instalada de tratamiento de aguas residuales para propiciar su reuso e intercambio, así como la experimentación de técnicas avanzadas para la recarga artificial de acuíferos; intensificar la recuperación de suelos salino-sódicos del área para su aprovechamiento agropecuario; continuar las obras de conservación del suelo y agua en la cuenca para mejorar el funcionamiento hidrológico, recargar acuíferos y controlar la erosión; y utilizar plenamente la infraestructura construida en actividades deportivas y de recreación.

Los principales problemas que enfrenta el desarrollo del Plan Lago de Texcoco, se derivan de las reducidas asignaciones presupuestales, que en el mejor de los casos, no han rebasado el 50% de los programas de mediano plazo, de ahí que las metas programadas han venido difiriéndose, sobre todo a lo que se refiere a la construcción de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, la construcción de nuevo lagos de regulación y almacenamiento, el mejoramiento del sistema de drenaje y la recuperación de suelos.

Se enfrentan también, problemas sociopolíticos para implantar el programa de intercambio de aguas tratadas por aguas blancas, que actualmente se utilizan en el riego agrícola, derivados de la confusión entre los usuarios, por la perforación de nuevos pozos, en retraso de las obras de suministro, tarifas inadecuadas en la energía eléctrica que alimentan la operación de pozos para riego y la falta de conciencia de las autoridades municipales de la problemática del uso de los recursos hidráulicos en el Valle de México.

Asimismo, persiste una presión sobre la zona federal, principalmente demográfica, que pone en riesgo su carácter estratégico, generándose invasiones que hasta ahora ha sido posible controlar.

Los logros obtenidos han sido de gran importancia, encontrándose entre los más importantes el encauzamiento de ríos, construcción del Dren General del Valle de México, construcción del bordo poniente el cual tiene una extensión de 9 Km para proteger contra inundaciones las zonas habitacionales de Ecatepec, construcción de lagos artificiales para la recuperación del ciclo hidrológico de la cuenca, construcción de Plantas de Tratamiento, entre otros.

Dentro de la construcción de lagos artificiales se cuenta con los siguientes lagos:

- 1). Lago Nabor Carrillo.
- 2). Lago Churubusco.
- 3). Lago de Regulación Horaria.
- 4). Lago Recreativo.
- 5). Lago Norte.

además de las lagunas Facultativas y de Xalapango.

II. ANTECEDENTES

II.1 Geología de la cuenca de México. (Murillo, 1991).

En el Terciario Superior existió un amplio valle en lo que hoy se conoce como Cuenca del Valle de México, en que destacaban la presencia de dos grandes ríos que lo surcaban de norte a sur (Moser, 1970). Al desarrollarse en el sur de la Sierra Chichinautzin durante el Cuaternario Superior, el valle se convirtió en la cuenca endorreica, con amplias superficies cubiertas por agua y acumuló depósitos aluviales y lacustres intercalados con materiales volcánicos.

La estratigrafía de la cuenca corresponde a un lecho basal de origen calizo y depósitos marinos, plegados y fallados a profundidades del orden de 2000 m, sobreyacen a éstos, a profundidades de 2000 a 850 m, depósitos producto de la intensa actividad volcánica durante el Terciario, que forman el contenedor impermeable. De 850 a 80 metros de profundidad se encuentran formaciones limo-arenosas intercaladas con mantos lacustres y piroclásticos; en esta formación, se distinguen la Serie Estratificada -Tepozteco, que se interpreta como un relleno clástico aluvial antiguo fuertemente consolidado, con paleovalles rellenos, que se extienden bajo las sierras que rodean la cuenca al este, sur, oeste y bajo las sierras interiores de Guadalupe y Santa Catarina. Los 80 m. superiores corresponden a lo suelos lacustres, conformados por cenizas volcánicas hidratadas, intercaladas por estratos piroclásticos.

Alrededor del antiguo Lago de Texcoco se ubican al poniente la Sierra de Guadalupe y el Exlago de México, al sur la Sierra de Santa Catarina y hacia el oriente la Sierra de Río Frío. Sobresalen algunos cuerpos ígneos en el interior de la región, como los peñones de los Baños y del Marqués y el Cerro de Chimalhuacán, parcialmente sepultados por los depósitos profundos.

En la figura 1 se muestra la localización y zonificación del Exlago de Texcoco.

II.2 Proyecto Texcoco.

II.2.1 Importancia del Proyecto Texcoco.

En el año de 1971, el Gobierno Federal, creó la Comisión de Estudios del Lago de Texcoco "CELT" y para 1974 se constituye la Comisión Ejecutiva del Lago de Texcoco (CLT), dependiente de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos; esta Comisión en su proyecto propuso los siguientes objetivos:

- Evitar inundaciones en el sistema hidrológico del suroeste del Valle de México, reteniendo y regulando los excedentes de aguas pluviales y residuales provenientes de la Ciudad de México.

- Promover el uso de las aguas tratadas en la agricultura, industria y usos municipales, preservando la calidad del agua potable, que antes se destinaba para estos usos.

- Recuperar los suelos salino-sódicos del exlago para su aprovechamiento con fines agropecuarios.

- Rescatar y conservar los suelos y el agua en las laderas erosionadas de la cuenca, mejorando el sistema hidrológico, propiciando la recarga de los acuíferos y el desarrollo rural integral de las comunidades comprendidas en esta región.

- Recargar los acuíferos, inyectando agua con el tratamiento avanzado necesario, para su posterior aprovechamiento, en los usos que requieran de esta calidad.

- Propiciar el desarrollo intensivo de la ganadería, floricultura, acuicultura.

- Erradicar las tolvaneras de la zona y mejorar la ecología regional.

En la zona federal descargan las corrientes más importantes del sistema hidrológico que drena la parte suroriental del Valle de México, entre ellas el Río Churubusco y el Río de la Compañía, cuyas aguas residuales, por falta de cauce, se extendían en una amplia zona del exlago formando zonas pantanosas e insalubres. Para realizar el saneamiento del área y conducir en forma adecuada estos escurrimientos, se construyó el Dren General del Valle con una longitud de 18.5 km, que es la conducción básica para recibir las aportaciones del sureste del valle y el sistema de

drenaje en toda el área del exlago. Así mismo, se realizó el encauzamiento del Río Churubusco en dos brazos, con una longitud de 10 km, que conducen las descargas de la Planta de Bombeo Churubusco-lago, a cargo del Departamento del Distrito Federal, hacia el Dren General del Valle. Dadas las condiciones de inundación predominantes en el área, la construcción de estas obras se realizó con draga de succión.

En la zona federal se reciben las aportaciones del sistema de drenaje urbano de Cd. Nezahualcoyótl y Chimalhuacán, por la cual se construyeron respectivamente, el Dren Xochiaca de cada 4 km y los Drenes Chimalhuacán I y II, con una longitud total de 17 km, que conducen estas aportaciones al Dren General. Para delimitar la zona federal y proteger contra inundaciones las zonas habitacionales de Ecatepec, se construyó el Bordo Poniente, con una longitud de 9 km.

Para almacenar y regular las crecientes del sistema hidrológico de la cuenca y los afluentes de las Plantas de Tratamiento, se proyectó la construcción de lagos artificiales para usos múltiples: control de avenidas y usos agrícolas, industriales, servicios y recreación. Se estudiaron y experimentaron diversos métodos para la formación de los lagos, entre otros por consolidación de las arcillas del subsuelo mediante la extracción de agua con pozos someros, utilizando draga de succión y la licuación de las arcillas con explosivos. De los métodos ensayados, el más económico resultó el de la extracción de agua con pozos someros; el dragado, por su parte, se hace necesario en la construcción de canales y excavaciones especiales.

Con el propósito de mejorar la calidad de agua en el área de estudio y para que los campesinos de la zona no siguieran extrayendo agua potable de los acuíferos, se construyó la primera Planta de Tratamiento con una capacidad de 1 metro cúbico por segundo, para utilizar las aguas provenientes del Río Churubusco. Esta planta fue diseñada con el proceso convencional de lodos activados con aireación mecánica superficial.

A continuación se construyó una segunda planta, la cual continúa en funcionamiento, con capacidad de 0.5 m³/s, en base al proceso de Lagunas Facultatvas con recirculación, en una superficie de 64 ha. La tercera Planta con que cuenta la zona federal, tiene el sistema de aireación a Contracorriente, la cual se considera que es una de las tecnologías más avanzadas en materia de tratamiento de aguas residuales a nivel secundario con una capacidad de 1 m³/s, utilizando el proceso de

lodos activados de baja carga y aireación.

Para el año de 1989 se contaba con los Lagos Nabor Carrillo y Churubusco, construídos por el método de extracción de agua del subsuelo, induciendo con ello la consolidación de las arcillas existentes en la zona. El Lago Nabor Carrillo, se ocupa para el almacenamiento de aguas pluviales y aguas tratadas provenientes de las plantas de tratamiento de lodos activados y lagunas facultativas.

II.2.2 Ubicación.

El Exlago de Texcoco se encuentra ubicado al noreste de la Cd. de México, a 19 grados con 26 minutos, latitud norte y 99 grados con 8 minutos longitud oeste Greenwich, siendo esta una localización buena para la eliminación de aguas pluviales excedentes y aguas residuales, ya que por lo menos una tercera parte de las aguas convergen al vaso del Exlago de Texcoco, por haber sido la parte más baja del Valle de México. En el antiguo Lago de Texcoco y zonas aledañas; la topografía de la región es prácticamente plana, con algunos promontorios aislados en el Cerro del Peñón, Peñón del Marqués y Cerro de Chimalhuacán. Hacia el este se levantan la Sierra de Calpulalpan y Río Frio y hacia el oeste la Sierra de Guadalupe. La transición entre estas zonas es gradual hacia el oriente y abrupta hacia la Sierra de Guadalupe y el Cerro de Chimalhuacán. La vegetación se encuentra compuesta, en el exvaso, por pastizales halófitos inducidos y naturales. Grandes áreas sin cobertura vegetal, con algunas zonas de inundaciones permanentes y otras de régimen estacional de mayor magnitud completan el paisaje. Las formaciones del subsuelo del Exvaso de Texcoco son similares en su origen y propiedades a las que se localizan bajo la Ciudad de México, siendo aquellas un poco más desfavorables que las de la Ciudad de México.

II.2.3 Estratigrafía.

Para determinar la estratigrafía dentro del Proyecto Texcoco fue necesario hacer numerosos sondeos en la zona del lago, en forma particular tres pozos profundos, denominados BNP1, BNP2 y BNP3. Con el objeto de verificar la estratigrafía en el área de bombeo, se llevó a cabo una exploración de penetración estándar hasta una profundidad de 60 m. La estratigrafía mostró las siguientes formaciones en la zona de prueba: (fig 2).

a) Costra Superficial de espesor de 1.5 m. Se trata de arcillas consolidadas por secado, a cuya profundidad se registra el nivel freático medio. Dichos materiales están surcados por grietas infiltradas.

b) Formación arcillosa Superior. Está compuesta por arcillas blandas, altamente plásticas, que tienen contenidos de agua comprendidos entre 200 y 400 %, según el sondeo de penetración estándar localizado en la zona de prueba, su espesor es de 33.5 m en la zona de prueba, 18 m en el Caracol y 39.6 en el Bordo de Xochiaca.

c) Capa Dura. Integrada por materiales limo-arenosos, compactados en forma ligera y con una medida aproximada de 3 m de espesor en la zona de prueba.

d) Formación Arcillosa Inferior. Compuesta por arcillas de alta plasticidad; su contenido de agua en promedio es de 220% y su espesor medio de 15 metros.

e) Depósitos Profundos. Son formaciones de materiales muy heterogéneos, por lo general arcillas, limos y arenas muy finas; de acuerdo con los resultados del sondeo BNP1, los depósitos en sus primeros metros están constituidos por materiales permeables; a partir de los 67 metros de profundidad y hasta casi los 80 metros, son arcillosos.

II.2.4 Cimentaciones en la zona.

Por lo regular, las construcciones existentes alrededor del Lago de Texcoco son casa-habitación de uno o dos niveles. Hacia el oriente predominan las construcciones antiguas de adobe y auto-construcciones recientes, ambas estructuradas mediante muros de carga y con cimentaciones a base de zapatas corridas de mampostería y así, en la zona sur, se presentan por lo general auto-construcciones con características similares, a base de cimientos construidos por zapatas corridas o por contratapes de concreto reforzado; hacia el poniente, se encuentra la zona industrial, en donde el tipo de construcciones es muy variado, predominando las construcciones de tipo frágil con muros de mampostería rigidizados con columnas con contravientos de concreto. Sobre ellos se apoya el sistema de techo, que por lo general consiste en armaduras metálicas que lo soportan, resolviendo la cimentación, en la mayoría de los casos, mediante zapatas corridas de mampostería o de concreto; mientras que en el poblado de Santa Clara la cimentación se resuelve como en el caso anterior por zapatas corridas de mampostería.

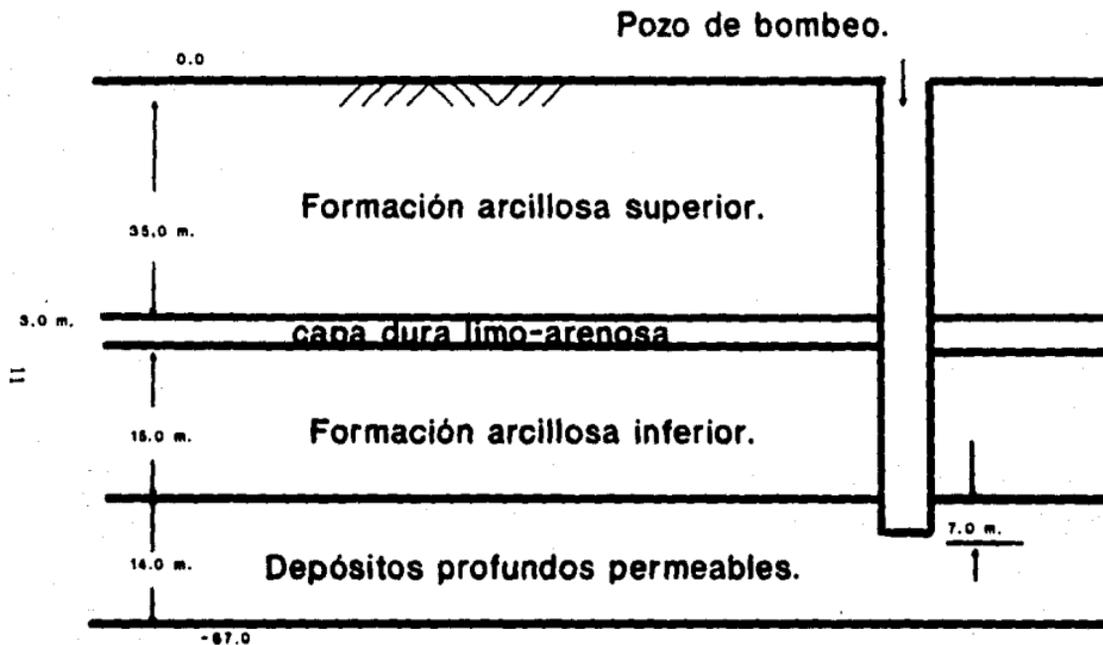


FIG 2. ESTRATIGRAFIA EN LA ZONA DEL DREN DE PRUEBA DEL PROYECTO TEXCOCO.

II.3 LAGO NABOR CARRILLO

La Comisión de Lago de Texcoco, contempló dentro de sus planes la construcción de cinco lagos profundos (Apéndice 1), siendo el más importante el Lago Nabor Carrillo, contemplando dos etapas para su construcción.

La primera etapa, fue ejecutada por el método de consolidación de arcillas por bombeo, hasta obtener una capacidad de 11.9 millones de metros cúbicos y como última etapa se procedió a la construcción del bordo perimetral, con el objeto de alcanzar la capacidad de diseño de 36 millones de metros cúbicos. La importancia de la obra radica en que con la operación del lago, se puede evitar que los agricultores de la zona de Texcoco continúen extrayendo agua del subsuelo del Valle de México; otro factor importante es la magnitud de la obra ya que las dimensiones son de 4.2 kilómetros de longitud por 2.2 kilómetros de ancho, con una superficie aproximada de 917 ha.

A continuación se describe la construcción y comportamiento del Bordo del Lago Nabor Carrillo. Dicha construcción se inició el 30 de agosto de 1979 de acuerdo a las características de diseño siguientes: base de 15.20 m, altura promedio de 2.70, corona de 4.0 m, talud inferior 2:1, talud exterior 1.5:1, la longitud del bordo perimetral es de 11,778 metros. Debido a la importancia de esta obra y a las características del subsuelo, se decidió observar su comportamiento, procediendo a instalar cinco estaciones instrumentadas, conteniendo cada una de ellas cinco celdas hidráulicas de asentamientos y 37 testigos superficiales, además en las estaciones I y II se instalaron tres piezómetros neumáticos, cuatro bancos de nivel profundos, dos inclinómetros y un piezómetro abierto. Durante el avance de la obra la maquinaria empleada destruyó la mayoría de los instrumentos de estas secciones, sin que fuera posible su recuperación.

Con el fin de poder calcular la estabilidad de taludes y los asentamientos del bordo perimetral, se hizo un estudio del subsuelo de la zona, consistente en un sondeo continuo inalterado y cuatro de penetración estándar, con el fin de obtener información detallada de la estratigrafía y de las propiedades índice de la masa del suelo. La profundidad de los sondeos de penetración estándar varió de la superficie a 80 o 150 m. Durante la ejecución de los sondeos se obtuvieron muestras con penetrometro estándar de 60 cm de longitud, 5 cm de

diámetro exterior y 3.5 cm de diámetro interior, hincado dinámicamente con un martinete de 63.5 kg de peso.

En el laboratorio, a todas las muestras extraídas, se les clasificó manual y visualmente, de acuerdo al SUCS y se les determinó el contenido de agua. A muestras típicas, se les determinó sus límites de consistencia, líquido y plástico, composición granulométrica por mallas, porcentaje de partículas finas (menores que la malla 200) y densidad de sólidos. En algunas muestra se determinaron los límites de consistencia de las partículas que pasaron la malla 200 y la densidad de sólidos. La estratigrafía reportada pertenece al sondeo inalterado y las características encontradas por capa se registran en la tabla I y en la tabla II, se tiene un resumen de las características de compresibilidad del mismo sondeo.

TABLA I

Valores medios de las propiedades índice y mecánicas encontradas en el sondeo inalterado.

CAPA	PROFUNDIDAD (m)		W %	Ss	e	(M) T/m ³
	DE	A				
MS	0.00	0.40	123.9	-	-	-
FAS	0.40	31.70	360.2	2.41	8.05	1.18
CD	31.70	32.80	73.6	2.44	1.72	1.53
FAI	32.80	48.80	302.9	2.39	6.48	1.20
DP	48.80	-	49.9	-	-	-

MS. Manto superficial.

FAS. Formación arcillosa superior.

CD. Capa dura.

FAI. Formación arcillosa inferior.

DP. Depósitos profundos.

TABLA II

Características de compresibilidad

PROF. (m)	Ss %	ei	Wi	Coef. de Compresibi- lidad	Presión av máxima.
3.33	2.39	10.25	423.8	3.4	.34
8.28	2.26	10.14	453.8	7.0	.51
12.78	2.24	10.45	467.5	7.4	.64
19.69	2.42	10.30	423.7	4.2	.60
25.13	2.30	10.00	442.2	4.0	.65
29.63	2.41	10.06	413.0	2.9	.93
34.78	2.27	11.18	499.2	3.4	1.27
38.83	2.29	6.20	268.9	1.2	1.90
42.88	2.36	10.10	431.1	2.4	1.35
46.98	2.34	5.01	215.2	0.8	2.50

Para el análisis de asentamientos se revisaron cinco secciones a todo lo largo del bordo, reportando únicamente la más desfavorable. A los estratos de arcillas, en la zona de construcción del bordo perimetral, se les realizaron pruebas de consolidación unidimensional en especímenes representativos del suelo. Con estos resultados se calculó la magnitud de los asentamientos teóricos del bordo.

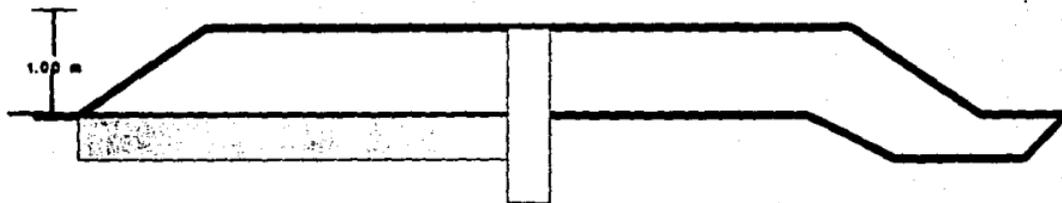
Del análisis de consolidación efectuado para un estrato de 32 metros, drenado por ambos lados y con las características del bordo de diseño, se obtuvo que $t_{50}=49$ años y $t_{90}=210$ años, valores que distan de los observados en la zona, donde t_{50} es el tiempo de consolidación al 50 % y t_{90} es el tiempo de consolidación al 90% de la formación arcillosa inferior (FAI). Entre los estratos de cuatro y veintiocho metros, se encuentra la formación arcillosa superior (FAS), con un asentamiento de 50 cm para un tiempo de cinco años, lo que también resulta menor que los asentamientos registrados a la fecha.

Para garantizar la seguridad contra deslizamiento y contra la falla de translación fue necesaria la realización de un análisis de estabilidad. Debido a que el bordo está desplantado sobre arcillas blandas saturadas; la condición más desfavorable es al terminar la construcción del bordo, esto es por que se presenta el mayor esfuerzo cortante en la masa del suelo de cimentación, en tanto que la resistencia a lo largo de la superficie de falla se mantiene constante o disminuye al aumentar los esfuerzos intersticiales, debido a que no se ha producido una consolidación apreciable.

Haciendo un análisis a corto plazo del factor de seguridad (F.S), mínimo es de 1.30 para taludes de la estructura 2:1 y 1.5:1 interior y exterior respectivamente. Por otro lado tenemos el proceso constructivo, el cuál se proyectó básicamente para dos etapas.

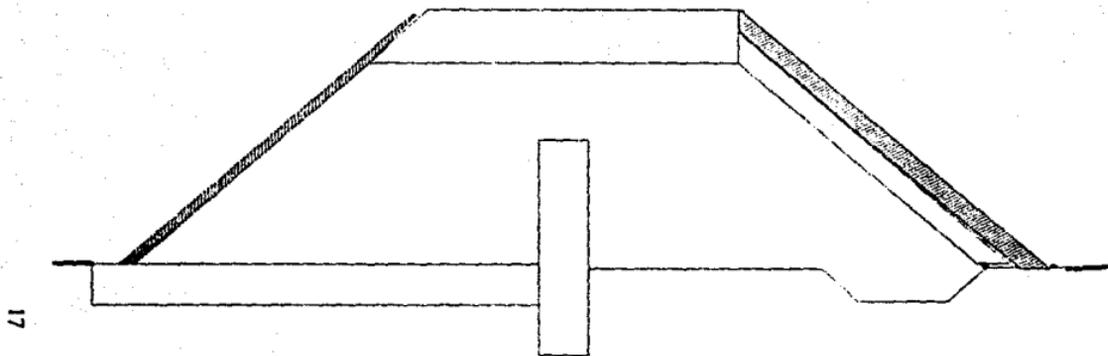
Primera etapa: Las actividades que se realizaron son las siguientes; limpieza de la superficie de desplante, excavación, colocación y compactación al 90% de su compacidad relativa de filtros horizontales, construcción del bordo hasta una altura de un metro compactado al 95% de la Prueba Proctor S.A.R.H, con un contenido de agua igual al óptimo +2%, con objeto de que el bordo se comporte en forma dúctil, el espesor de las capas en estado suelto fue menor de 30 cm. Posteriormente se efectuó una excavación en el bordo para continuar con el filtro vertical. El material producto de la excavación se utilizó en la siguiente fase.

Segunda etapa: Esta segunda etapa se inició con una escarificación de la parte superior del bordo, con el fin de asegurar la liga de los materiales impermeables que se colocaron hasta la altura de diseño, posteriormente se precedió a excavar en la parte central del mismo, contruyendo así la segunda etapa del filtro vertical, siguiendo con la colocación del material impermeable en la corona y dejándole una pendiente de 2% hacia aguas adentro, concluyéndose con la colocación de un geotextil de polipropileno Typar, con permeabilidad similar a la de una arena media. Sobre este geotextil se colocó un filtro de grava bien graduada compactándola al 90% de su compacidad relativa, sobre el cuál se colocó el enrocamiento en el talud inferior, mientras que en el talud exterior, se pastizó con el fin de evitar su erosión (fig 3).



PRIMERA ETAPA

FIG 3.A PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO: PRIMERA ETAPA.



SEGUNDA ETAPA

FIG 3.B PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO: SEGUNDA ETAPA.

La Red de flujo del Lago Nabor Carrillo está dada de la siguiente manera: (fig 4).

El filtro vertical (arena), que se encuentra conectado a un sistema de filtros horizontales (grava) alojados en la cimentación, con una separación de 20 m, formado por grava bien graduada con menos del 5% de finos ($D_{85} = 31.75$ mm, D_{15} menor de 5 mm y mayor de 0.5 mm) los cuales son envueltos con malla filtrante de fibra sintética para evitar su contaminación con el material fino. Con este sistema de filtros verticales se interceptará el agua que circule a través de los drenes horizontales, disminuyendo al máximo el problema de posible tubificación en la estructura, al mismo tiempo que la mitad del bordo se mantiene seca por la forma que se presenta la red de flujo. El análisis de flujo de agua a través del bordo, se realizó empleando el método de Casagrande, con el fin de conocer el gasto por filtración, la influencia que el agua ejerce en la estabilidad de la estructura y la posibilidad de que el agua produjera el arrastre de sólidos.

El gasto obtenido en este análisis fue de $Q = 0.064$ m³/día; asimismo el factor de seguridad contra tubificación, en la estructura, considerando que la descarga libre fué de 1.5, el factor de seguridad recomendado con descarga libre fue F.S.=5, tomando en cuenta que en este caso la descarga es sobre el filtro vertical, lo que impide el arrastre de las partículas del suelo y además la malla Typar que cubre el talud interior, evitando que el material impermeable sea arrastrado al invertirse el flujo durante el vaciado.

El material impermeable que se usó en la construcción del bordo, fue extraído de los bancos de préstamo que se localizan alrededor de la zona del Exlago de Texcoco. En el laboratorio de control del Calidad del Proyecto Lago de Texcoco, C.N.A., se determinó el banco más adecuado, vigilando muy de cerca las especificaciones que debía cumplir el material. En la Tabla III se pueden apreciar cinco de los bancos empleados y las características del material impermeable, que en este caso es el Tepetate (limo-arenoso), con el cual se construyó la estructura.

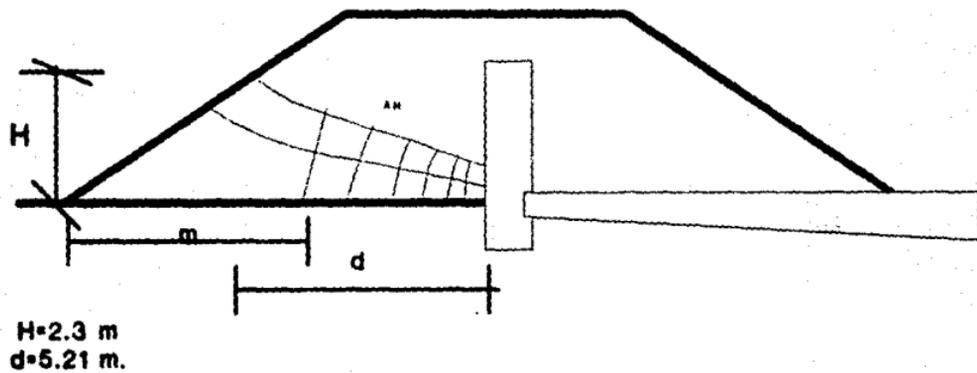


FIG 4. RED DE FLUJO.

TABLA III

Resultados del material que se uso en la construcción del Bordo perimetral del Lago Nabor Carrillo.

Tipo de material.	Banco	Arena %	Finos %	Wl %	Wp %	SUCS	Wnat %
Tepetate	Chimalhua cán 1	49.44 47.77	50.56 52.21	32.20 31.20	11.80 11.20	CL	6.70
Tepetate	La Magdalena 2	35.70 25.00	64.20 75.00	33.30 33.70	10.90 12.10	CL	17.00
Tepetate	La Magdalena sup.3	34.60 44.80	65.30 55.20	32.20 32.80	6.40 6.50	ML	12.40
Tepetata	La Magdalena inf.4	40.20 13.60	59.70 86.40	39.30 39.20	12.8 10.5	ML	18.70
Tepetate	Chicolopan 4	28.52 32.72	71.84 67.26	64.00 64.00	19.6 21.8	MH	34.20
Tepetate	Huexotla 5	55.20 52.20	44.70 44.70	32.50 32.40	9.5 10.5	ML-CL CL	8.3

donde:

Wl es el Límite líquido.

Wp es el Límite plástico.

Con objeto de medir los movimientos que se presentarán durante la vida útil del bordo perimetral al Lago Nabor Carrillo, y al mismo tiempo, poder prevenir fallas en la estructura, fueron instaladas cinco secciones instrumentadas. De acuerdo a las lecturas realizadas periódicamente de cada una de ellas, se presentan resultados obtenidos desde la instalación de los instrumentos a la fecha. Durante el período de construcción del bordo, el equipo de compactación destruyó varios de los instrumentos, por lo que se presentan resultado de testigos superficiales (bancos de nivel) y de celdas hidráulicas de asentamientos. Los primeros fueron colocados en grupos de 36, en tres líneas paralelas de 12 testigos cada una y con una separación de cinco metros aguas adentro y afuera del bordo, quedando tres sobre la corona, y otros al centro y pié de cada talud.

Conviene mencionar que en el año 1982, Sosa Texcoco, abrió un nuevo campo de pozos, cerca del lado norte del lago, lo que influyó en los asentamientos de la zona federal, ya que el nivel del terreno natural ha descendido.

Para el año de 1975 el Lago Texcoco Sur, conocido en la actualidad como el Lago Nabor Carrillo y el Lago de Regulación Horaria estaban el proceso de formación mientras que en el Lago Churubusco ya se habían perforado los pozos pero no se había iniciado el bombeo. En Los Lagos Texcoco Norte y Desviación Combinada no se habían iniciado las obras.

Para la formación del Lago Nabor Carrillo se instaló un sistema constructivo consistente de 180 pozos a 60 metros de profundidad provistos de bombas capaces de extraer 6.5 lits/seg trabajando con una carga hidráulica de cincuenta metros.

La Instrumentación fue planeada para evaluar la magnitud y evolución de los siguientes factores:

- a) Presión de Poro.
- b) Hundimientos superficiales.
- c) Enjuntamiento de las Formaciones Arcillosas Compresibles.
- d) Desplazamientos Horizontales.

Mediciones de Presión de Poro.- Con estas mediciones se determinó la influencia del bombeo en el estado de presiones de la masa del subsuelo, a fin de conocer la evolución de éstas y su relación con los hundimientos generados. El número de estaciones piezométricas instaladas dentro de Lago Nabor Carrillo fue de nueve.

Hundimientos Superficiales.- La determinación de la magnitud y la evolución de los hundimientos superficiales permitió conocer el volumen hundido y el rendimiento de bombeo así como el incremento de la capacidad de almacenamiento del lago en ciernes.

Enjuntamiento de las Formaciones Compresibles.- Es de interés conocer la magnitud y evolución de la deformación por consolidación de los dos estratos arcillosos compresibles, situados entre la superficie y el horizonte superior de los Depósitos Profundos, con el fin de establecer su contribución en los hundimientos totales.

La instrumentación consistió en la instalación de tres estaciones de bancos profundos. Cada banco consiste en un tubo rígido que se instala desde la superficie hasta la capa resistente. Mediante algunas nivelaciones de su extremo superior es posible conocer el hundimiento del punto de apoyo. Cada estación estuvo formada por dos bancos, uno apoyado en la Capa Dura y otro en los Depósitos Profundos. Para calcular el enjuntamiento total y parcial de cada una de las formaciones, se instalaron junto a cada estación un banco superficial.

Desplazamientos Horizontales.- Para la determinación de los desplazamientos horizontales producidos alrededor del área de hundimiento, se instalaron dos estaciones de inclinómetros, constituida cada una por tres aparatos llevados hasta los Depósitos Profundos, (60m).

El volumen de agua bombeado fue superior al proyectado ya que la eficiencia de bombeo, estimada como relación del volumen bombeado y el que debía extraerse, según especificaciones del equipo, fue del 33%.

Esta baja eficiencia se debió a los siguientes factores:

1) Los motores eléctricos de las bombas de los pozos trabajaron a 50 c.p.s en lugar de 60 , de Enero de 1973 a Febrero de 1976 en que se efectuó el cambio de frecuencia en la región, es decir que en vez de girar a 1760 r.p.m., trabajaron a 1460 r.p.m.

2) Fallas mecánicas en los equipos de bombeo e interrupciones en la operación, ocasionadas por la pérdida de verticalidad en los pozos a consecuencia de la consolidación del subsuelo.

Los principales problemas constructivos que se presentaron durante la formación del lago fueron la verticalidad de los pozos, provocada por los movimientos del subsuelo, ya que las bombas de turbina requieren ejes verticales para trabajar en óptimas condiciones y al presentarse deformaciones en los ademes producen contactos entre estos y la bomba del pozo, generándose desgastes excesivos en las bombas que obligan a su paro, desmontaje y reparación. Este fue uno de los problemas más importantes que obligó a tener un mantenimiento constante e intensivo.

Otro problema adicional es que la salinidad del agua que se estaba extrayendo resultó de una calidad tal que, por una parte no es potable y por la otra no tiene la concentración salina adecuada para su uso en la Industria de Sosa Texcoco, por lo que no se pudo utilizar en esa industria, como se había pensado.

El uso que se le dio al agua que se extrajo fue para riego y lavado de suelos de salinidad alta en la zona del Exvaso de Texcoco (uso agrícola). Con relación a las soluciones adoptadas destacan por su interés las siguientes:

Los efectos de pérdida de verticalidad se lograron reducir mediante el diseño de una junta universal que permite cierta flexión a la flecha rígida de la bomba, al colocarse en puntos en que de acuerdo con las mediciones de verticalidad del ademe de los pozos, se presenta la máxima deformación.

Los pozos que se repusieron por haberse colapsado, se construyeron con ademe telescópico que permite al ademe del pozo seguir los movimientos del subsuelo.

Con objeto de aumentar la magnitud y velocidad de los hundimientos, se proyectó lastrar con agua el vaso de almacenamiento logrado, para provocar con esto un hundimiento que a largo plazo produciría una capacidad adicional de 9 millones de metros cúbicos. Hasta la fecha, 1991, se siguen presentando hundimientos en lecho del lago, debido a la sobrecarga de agua.

El área de bombeo cubrió una superficie rectangular de 3 kilómetros de longitud y 1.2 kilómetros de ancho. En ella se creó una red de 180 pozos, formando una malla cuadrangular de 150 *150 m.

El ademe de los pozos estuvo formado por una tubería metálica de 8" de diámetro y de 3/8" de espesor, ranurada. Los pozos, en el espacio entre el ademe y perforación, se rellenaron con material de filtro (arena y grava bien graduados). Se aseguró que la extremidad inferior de la tubería estuviera bien cerrada y para ello se colocó un tapón de concreto. Se desplantó dentro del acuífero, arenas-limosas compactas, en una profundidad mínima de 3 m.

III. HUNDIMIENTOS REGIONALES.

III.1 Hundimientos de la Ciudad de México. (Ref. 2).

Gran parte de la ciudad está desplantada sobre el fondo del Exlago de Texcoco, en particular al oriente y al norte. Según el Reglamento de Construcciones del D.D.F el área urbana se subdivide en tres grandes zonas que son: Lago, Transición y Lomas. Esta clasificación se basa en información de más de 300 sondeos y observaciones geológicas (Apéndice 2).

El hundimiento de la Ciudad de México ha pasado por tres etapas en el presente siglo, la primer, de 1898 a 1937, cumplió con una ley aproximadamente lineal a una velocidad de asentamiento que varió de 3.1 a 5.6 cm/año.

La segunda fase del proceso, de 1937 a 1947, resultó también lineal y ocurrió a razón de 14 cm/año. A partir de 1947 se desarrolla la tercera etapa, en que después de registrarse velocidades muy altas de hundimiento del orden de 40 cm/año, el fenómeno tiende a disminuir progresivamente hasta llegar a valores de 10 cm/año.

Es interesante destacar que hay lugares, dentro de la Ciudad de México, donde se encuentran hundimientos diferenciales debidos a la distinta estratigrafía del Valle y por la historia de cargas.

Las condiciones hidrológicas del Valle de México son: aportación por precipitación de 698 mm anuales para un área de 9600 Km² que equivale a un gasto medio anual de 212.5 m³/s. La evapotranspiración potencial media es de 1600 mm anuales, que conforme a su efecto estacional y distribución representa un 81.5 % del volumen anual de lluvias. La recarga del acuífero por infiltración es de 25 m³/s y se importaba de fuentes externas 11.5 m³/s (S.A.R.H. 1981).

El aspecto de las mediciones piezométricas, basado en la observación de los hundimientos, ha merecido una atención preferente, no solo por la importancia en la interpretación del fenómeno, sino también por las implicaciones que tuvo la veda impuesta en 1953, sobre la explotación de aguas subterráneas en el Valle de México.

Debido a dificultades tales como incrementos de cargas en el suelo de la Ciudad de México y agrietamientos debidos a hundimientos diferenciales, entre otros, los ingenieros tendían a construir edificaciones bajas ya que en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, 1957-1985, se establecía que la capacidad de carga no debía exceder de cinco Toneladas por metro cuadrado. De ahí que en la ciudad se hayan usado cimentaciones piloteadas (Monumento a la Independencia) y compensadas (Banco de Londres y México), desde principios del presente siglo, en edificios pesados.

La interpretación del Hundimiento de la Ciudad de México se dificulta por tres circunstancias:

- 1) La estratigrafía del subsuelo cambia apreciablemente dentro del área urbana.
- 2) Las propiedades mecánicas de los suelos involucrados son extraordinariamente variables.
- 3) La condición piezométrica creada por el bombeo y la alimentación de agua en los estratos permeables, varía según la zona que se considere.

El análisis del proceso del hundimiento se hace mediante la teoría de la consolidación. La solución viable y útil en este caso, dado que los datos más confiables son los de las nivelaciones, es la que se basa en la velocidad del hundimiento registrada en las diferentes etapas del mismo, antes mencionadas.

La comparación de los resultados teóricos y los datos de mediciones demuestran que la causa principal del hundimiento que padece la ciudad, es la sobreexplotación del agua subterránea en el área urbana.

A continuación se presentarán los efectos de los hundimientos regionales en construcciones, así como algunos problemas que ha planteado este fenómeno.

Puede afirmarse que en la primera fase del fenómeno (1900-1938), con una velocidad de hundimiento del orden de 5 cm/año, no era apreciable la ocurrencia del mismo a no ser por la nivelaciones entre el fondo del Lago de Texcoco y la ciudad, que señaló R. Gayol en 1925. En la segunda fase los hundimientos se triplicaron, siendo del orden de 14 cm/año. En la tercera fase, el asentamiento alcanzó valores de 30 a 80 cm/año, hecho realmente alarmante.

Las obras más afectadas por el hundimiento son los conductos de desagüe del agua residual. El sistema por gravedad se ha convertido en otro operado totalmente por bombeo, mediante estaciones localizadas a lo largo del Gran Canal.

Algunos de los problemas de gran trascendencia reflejados por el fenómeno del Hundimiento Regional.

1. El drenaje de la ciudad, en ciertas zonas, está perdiendo eficiencia progresivamente.

2. Los edificios en pilotes, cuyo peso está resistido por mantos duros, (bajo las cuales se encuentra nuevamente la arcilla suave), a 50 m de profundidad se asienta mucho menos que en la superficie del suelo, por consiguiente, estos edificios tienen un movimiento relativo hacia arriba.

También los pilotes (hechos generalmente en secciones de unos siete metros de longitud), están sujetos a cargas progresivamente mayores a las supuestas y su acción irregular está produciendo una inclinación y agrietamiento de los edificios. Además los edificios sin pilotes construidos junto a edificios con pilotes se agrietan debido a la deflexión relativa, local, hacia arriba, inducida en el terreno.

3. La irregularidad de los grandes asentamientos de la ciudad han producido flexión en la corteza y por consiguiente agrietamientos en edificios, tuberías de agua, drenaje y la misma capa superficial del suelo. Hasta ruinas pre-hispanicas han sufrido daños debido a este fenómeno.

III.2 Hundimiento del Exlago de Texcoco.

III.2.1 Hundimiento de la zona federal del Exlago de Texcoco.

Desde el año de 1972, con el inicio de los trabajos ejecutivos en el Exlago de Texcoco, se estableció la necesidad de registrar, referidos al nivel fijo, los hundimientos que pudieran presentarse en la región. Para ello, se estableció un eje de nivelación a lo largo del camino Peñón-Texcoco, partiendo de un banco instalado en el Cerro del Peñón de los Baños. (Fig. 5).

Los asentamientos se midieron por medio de bancos de nivel superficiales y profundos, los cuales mostraron la contribución de distintas capas en los asentamientos.

El hundimiento regional en el periodo de 1972-1983 fue de 3.10 metros y el mínimo de 1.47 metros hacia el oriente del lago, por lo que existieron hundimientos diferenciales del orden de 1.60 m en ese periodo. Estos Hundimientos Regionales se han incrementando como se muestra a continuación:

- En el periodo de 1968 a 1984 el promedio anual de asentamientos sobrepasó los 0.93 metros con respecto al nivel estático de 6.8 metros y de 56 a 95 metros de profundidad el asentamiento es del orden de 1.38 m/año.

- Finalmente en el periodo de 1984 a 1990 se registró un abatimiento piezométrico de 1.1 m/año a una profundidad de 200 m. (Ref. Murillo, 1984; 1990).

El abatimiento del nivel piezométrico registrado en el periodo de 1973 a 1984 fue de 0.4 m/año, incrementándose para los siguientes cinco años a 0.63 m/año (Murillo, 1984; 1990).

Es necesario mencionar que los espesores de las formaciones arcillosas se reducen gradualmente hacia Texcoco, a partir del banco de nivel BNL, (Fig. 5) además de que las velocidades de asentamientos son variables, sin tomar en cuenta que estas velocidades de hundimientos se han incrementado a partir de 1978 en las referencias cercanas de la Ciudad de México, y a partir de 1981 en otras áreas.

En las áreas sometidas a abatimientos piezométricos por bombeo, sin existir cargas superficiales, se ha determinado que la contribución en por ciento de los asentamientos superficiales, es la siguiente:

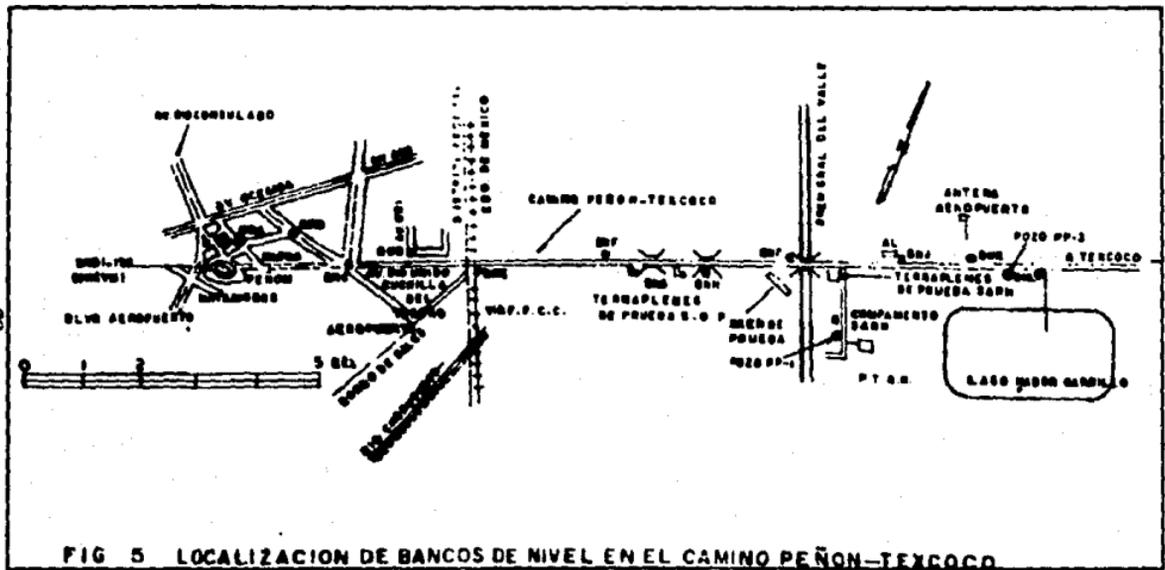


FIG 5 LOCALIZACION DE BANCOS DE NIVEL EN EL CAMINO PEÑON-TEXCOCO

CAPA	‡	cm.
Formación Arcillosa Superior (FAS).	18.0	49.0
Formación Arcillosa Inferior (FAI).	68.0	164.0
Depósitos Profundos (DP).	14.0	37.0

Observación.- Los asentamientos en el área no fueron uniformes; se expresan en promedio por facilidad.

Como era se esperarse la Formación Arcillosa Inferior es la que más contribuye al asentamiento total en virtud de estar drenada en sus dos fronteras, la Capa Dura y los Depósitos Profundos permeables, en cambio, la Formación Arcillosa Superior está drenada por su frontera inferior (Capa Dura).

III.2.2 Hundimiento del Dren General del Valle de México.

Los pozos e instalaciones de la Compañía Sosa Texcoco, S.A, que se encuentran dentro de la zona federal del Exlago de Texcoco, están limitados al poniente por el Dren General del Valle de México; al sur con el camino Peñón- Texcoco, al oriente con el camino a Tepelcingo, y al norte se encuentra el Caracol.

Para el año de 1985, la operación de los campos de pozos IX, X y Lago, de Sosa de Texcoco, se realizaban con 442 pozos, según información registrada en la Dirección de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, S.A.R.H.

En los años de 1986 y 1987, Sosa Texcoco operó aproximadamente 390 pozos, debido a que se empezaron a construir unidades habitacionales en las áreas IX y X, zonas IV y V de Ecatepec, por lo que, esa Compañía comenzó a perforar en la zona del Lago y fue incrementando su número de pozos hasta 430 pero a una profundidad que varió entre 30 y 60 metros así como también se incrementó el volumen de extracción de agua, con nuevas bombas, que duplicaron el gasto de uno a dos litros por segundo.

Después se rehabilitaron a la operación cien pozos en los campos IX y X, aumentando así a un total de 530 en un área de 2750 ha (tabla 1).

En esa misma tabla se presenta un cálculo anual aproximado del agua extraída por Sosa Texcoco desde 1985 hasta 1990 y en las gráficas de las figuras 6 y 7 se presentan las variaciones de los niveles estáticos y dinámicos en la zona explotada.

El hundimiento incontrolado dentro de esta zona de explotación calculado entre los años de 1966 y 1987, asciende a 4.55 m., lo que produce un asentamiento promedio de 16.5 cm/año, mismo que debe adicionarse a los asentamientos regionales, que en la zona promedian a 27 cm/año, dando un total de 43.5 cm/año.

Esto ha desquiciado el funcionamiento del Dren General del Valle de México, obligando al Proyecto Texcoco a dragar anualmente para mantener las pendientes hidráulicas adecuadas. De la misma manera, y a la velocidad que se presenten los hundimientos, se hará necesaria, en un tiempo corto, la construcción de una estación de rebombeo.

Como se mencionó, debido al intenso bombeo existente en la zona, el Dren General del Valle de México ha descendido en sus niveles originales a lo largo de los años, y en algunas estructuras, tales como son la del Río de la Compañía, el Puente del Peñón de Texcoco, y la compuerta de la Draga, que cimentadas sobre pilotes, han emergido.

A lo largo del Dren General y dentro del terreno de la zona de explotación, se observa una ligera pendiente hacia el norte, misma que a partir del cruce con el camino Peñón- Texcoco se incrementa bruscamente formando una depresión hasta la estructura de la Draga, la cual causa remanzos y ha invertido la pendiente del Dren en un tramo, por lo que se ha tenido que dragar con costo al Proyecto Lago de Texcoco.

COMISION NACIONAL DEL AGUA
 GERENCIA DEL PROYECTO LAGO DE TENOCO
 SUBGERENCIA DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA
 JEFAATURA DE PROYECTO DE GEOTECNIA

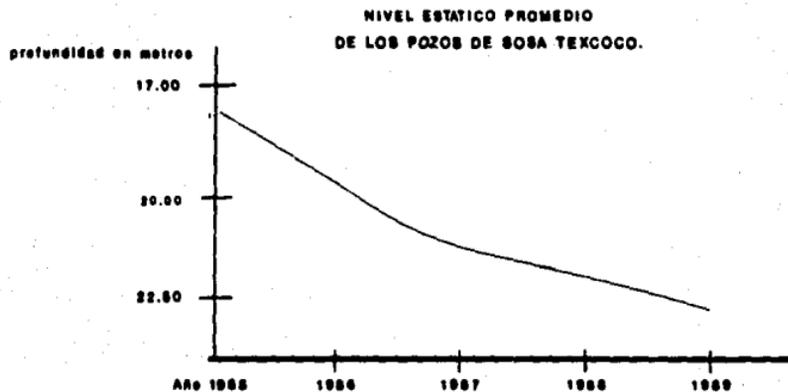
VOLUMEN APROXIMADO DE AGUA EXTRAIDA POR LOS POZOS DE SOSA TENOCO, S.A.

Año	NUMERO DE POZOS		POR CAMPO		GASTO PROMEDIO POR POZO L/S	VOLUMEN TOTAL EX- TRAIDO POR DIA (M3)	VOLUMEN TOTAL EX- TRAIDO POR MES. (M3)	VOLUMEN TOTAL EX- TRAIDO POR AÑO. (M3)	VOLUMEN TOTAL CO- REGISTRO* EXTRAIDO POR AÑO (M3)
	IX	X	CAMPO LAGO	TOTAL					
1985	20	96	326	442	1.50	57283	1718 490	20'621 880	16'497 344
1986	10	54	326	390	1.50	50544	1516 320	18'195 840	14'556 672
1987	0	20	370	390	2.00	67392	2021 760	24'261 120	19'408 896
1988	0	0	400	430	2.00	69120	2073 600	24'883 200	19'906 560
1989	0	0	430	430	2.00	74304	2'229 120	26'749 440	21'399 552
1990	45	55	430	530	2.00	91584	2'747 520	32'970 240	26'376 192

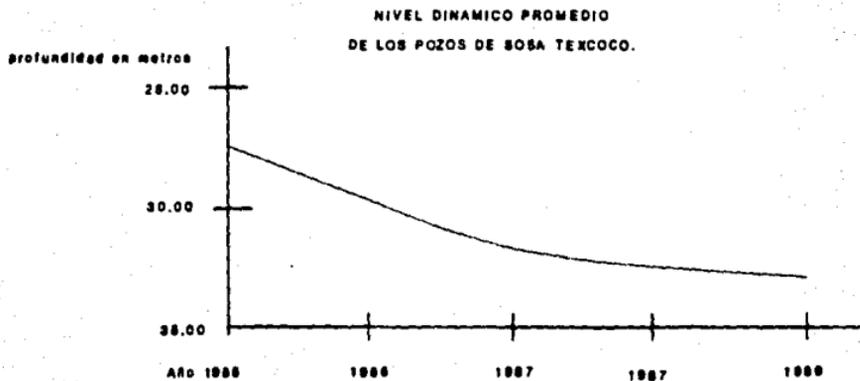
* Considerando una eficiencia del 80%

14-Nov-90.

TABLA I

**FIGURA 6****COMISION NACIONAL DEL AGUA****GERENCIA PROYECTO LAGO DE TEXCOCO
SUBGERENCIA DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA**

COMITE DE FOMENTO DE OPERARIAS

**FIGURA 7****COMISION NACIONAL DEL AGUA.****GERENCIA PROYECTO LAGO DE TEXCOCO
SUBGERENCIA DE OBRA DE INFRAESTRUCTURA**

ANEXO DE PROYECTO DE OBRAS

Este hundimiento no solo afecta al Proyecto Texcoco, sino en una buena parte a las zonas IV y V de Ecatepec, en donde se han presentado agrietamientos indiscriminados en el suelo, pavimentos y construcciones en general, así como problemas en estructuras que emergen, desplomes de algunas otras y hundimientos de muchas más.

La zona en cuestión se encuentra enmarcada por un triángulo que forman el Canal de Sales, el Río de los Remedios y la Avenida Central, aunque la parte más deprimida se encuentra al sur de la Plaza de Aragón, en las colonias: Lázaro Cárdenas, Polígonos, Michoacana, Jardines de Aragón, Nueva Aragón y Florida.

De los problemas más importantes son: desplomes en Edificios (Periódico el Día: 7 de Junio de 1991), asentamientos diferenciales, agrietamientos y una permanente inundación en época de lluvias ya que el agua no tiene hacia adonde dirigirse pues esta zona es la más baja del Valle de México.

En la actualidad, C.E.A.S. construye un colector pluvial de 2.10 metros de diámetro que desembocará al Canal de Sales paralelo al Dren General del Valle de México, pero igualmente hundido que el anterior por lo que el problema, se considera, que no podrá ser resuelto.

II.3 Apéndice 2.

Zonificación e Historia de la Ciudad de México.

Las zonas del Lago y Lomas están bien definadas, aún cuando en la última pueden encontrarse formaciones tan diversas como lavas y abanicos aluviales. En cambio la zona de Transición ha sido limitada en forma un tanto arbitraria, teniendo en cuenta la composición estratigráfica. La característica esencial de la zona de Transición es que está intercalada con estratos arenosos o limosos de origen aluvial, la capa es de espesores muy variables de de arcilla lacustre. En esta zona no es posible destacar los mantos compresibles superior e inferior, separados por la capa dura, que es típica en la parte ocupada antiguamente por el Exlago de Texcoco.

Las arcillas del subsuelo son cenizas volcánicas depositadas en agua fresca o salada, durante el pleistoceno. La característica más conspicua de las arcillas es la extraordinaria variación de propiedades, no sólo a lo largo de la vertical de un lugar, si no entre los elementos de una misma muestra cúbica extraída con cuidado para evitar su alteración.

Con base a varias citas históricas y en particular el levantamiento topográfico de R. Gayol a fines del siglo pasado, ha sido posible reconstruir la historia del hundimiento de la Ciudad de México y establecer ciertos datos sobre el Exlago de Texcoco.

La cita más antigua que se conoce de levantamientos topográficos es la de A. Von Humboldt, de 1803, que al describir el Valle de México, indica que el nivel de aguas medias en el Exlago de Texcoco estaba 1.20 metro a abajo de la esquina sur del Palacio, además señala que por orden creciente de altitud, la Ciudad de México le seguía al fondo del citado lago, pero resultaba más bajo que el Lago Xaltocán.

Los Ingenieros Velázquez y Aldasoro, en 1876 establecen como plano general de referencia, para la Ciudad de México, el que pasaba 10.0 metros por debajo de la tangente del Calendario Azteca (Comisión de Fomento). Este banco de nivel se designó con la abreviatura TICA y le corresponde la acotación +10.00. Se instalaron placas en edificios y monumentos con esta inscripción o con la cota +10.00. De acuerdo con las nivelaciones de los citados ingenieros, la cota de aguas máxima en el lago era de +7.10 y en el fondo del mismo quedaba con la cota +5.57.

En 1891, Roberto Gayol nivela la ciudad refiriendo sus mediciones al banco TICA. Además se apoya en dos puntos fijos, el banco de Atzacalco (ATZ) con acotación +12.35 y en el de los Niños Héroes de Chapultepec (NH), con cota de +16.08 (Comisión Hidrográfica). El levantamiento de Veracruz a México, en 1913, permite referir los bancos ATZ, NH y TICA al nivel medio del mar, obteniéndose una diferencia menor de 10 cm., se logra de este modo encontrar que al monumento de Atzacalco (cota +12.35), le corresponde la elevación 2242.75 metros y por tanto, las cotas de otras referencias claves para el estudio del Hundimiento Regional.

La Dirección de Geografía realizó, de 1937 a 1950, nivelaciones en la Ciudad, y a partir de 1953, la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México (SRH), toma a su cargo la observación periódica, tanto en lo que se refiere a Topografía, como a Piezometría del Valle de México.

Suponiendo que el banco TICA no se hubiera asentado apreciablemente durante el periodo de 1803-1891, se puede concluir que:

1.- La elevación respecto a aguas medias en el Exlago de Texcoco era 2237.6 en el año de 1803. Con base en los datos de 1876, el tirante máximo de aguas resulta de 1.60 metros.

2.- El fondo del Exlago Texcoco (Cruz de Centro) tenía, en 1876, la elevación de 2236.0. Según la nivelación para referir el hundimiento en la zona del exlago es de 0.70 metros.

3.-El banco TICA, ubicado en la Torre de la Catedral, ha sufrido un asentamiento de 6.0 metros, de 1891-1966. En este mismo periodo la Alameda registra un asentamiento de 0.70 metros, aproximadamente.

IV. CIMENTACION DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL DEL LAGO NABOR CARRILLO.

IV.1 Análisis de la Cimentación.

IV.1.1 Antecedentes.

La compuerta del Lago Nabor Carrillo tiene dos funciones básicamente; la entrada de agua al lago que es captada por el Canal Colector de los ríos de oriente, tales como el Río de Texcoco, Río de San Bernardino, Río de Coatepec, entre otros, siendo uno de los alimentadores más importantes, y por otro lado se tiene la salida de agua del Lago Nabor Carrillo cuyo destino es regar el suelo, lo que se traduce en el aprovechamiento de los suelos del Exlago de Texcoco.

En la figura 8 se localizan los Ríos de Oriente, así como el área sombreada la cual muestra la zona que se aprovecha para riego.

La cimentación original de la estructura era superficial, a base de una losa de cimentación con un área de 49 metros cuadrados, la cuál no fue suficiente ya que la estructura comenzó a mostrar hundimientos que al cabo de acumularse con el tiempo terminaron por ser intolerables, tomándose la decisión de recimentar. La elección de la nueva cimentación obedeció a la disponibilidad de pilotes ya construidos que existían en una zona vecina.

Para el hincacado de los pilotes fue necesario la destrucción parcial de la losa de cimentación. Se hincaron pilotes cuadrados de 15 m de longitud y de 40 cm de lado; para esto fue necesaria la destrucción del último metro para poder ligarlo estructuralmente con la losa de cimentación. Todo lo anterior se realizó en el verano de 1986.

Casi a los dos años de terminada la nueva cimentación y después del sismo de 1988, comenzaron a observarse fugas através del bordo perimetral, en su unión con la



FIG. 8 RIOS DE ORIENTE

estructura. Para evitar estas fugas se procedió a realizar una zanja de 0.80 m de ancho, llevada hasta el terreno natural, aproximadamente a 3.60 m de profundidad. Esta zanja fue construida en el bordo, en dirección paralela al mismo y rellena de bentonita colocada con una humedad adecuada para permitir los trabajos de compactación, por amasado. Otra zanja se abrió en el lado sur, en dirección transversal al bordo, en el contacto bordo-estructura, en ese lugar el flujo de agua era tan alto que se procedió a rellenarlo con costales rellenos de arcilla local mezclada con bentonita.

Para disminuir el flujo de agua hacia la nueva zanja se tiraron costales a volteo, del lado del lago, al igual de bentonita en polvo, buscando que los sacos taparan las grietas mayores y la bentonita se incrustara en las fisuras menores.

El flujo se redujo de manera considerable y de esta manera sí se pudo colocar adecuadamente la bentonita en la zanja adyacente a la estructura.

Después de varios meses, a principios de 1989, se volvieron a observar agrietamientos generados por nuevos asentamientos diferenciales presentados entre la estructura y el bordo.

IV.1.2 Análisis de Cargas.

Para entender el movimiento que empezaba a gestarse, entre bordo-suelo-estructura, se hizo un análisis de cargas en la cimentación de la estructura del lago. El primer paso fue el cálculo de los pesos que la estructura transmite hacia el suelo.

Se analizaron cada uno de los elementos, considerando un concreto con peso volumétrico de 2.4 toneladas por metro cúbico y se obtuvo:

Elemento No.	Volumen. (m3)	No. Piezas.	Peso. (Ton).
1	4.31	2	20.73
2	19.44	1	46.65
3	19.44	1	46.65
4	4.72	3	33.98
5	0.36	4	3.46
6	4.37	1	10.48
7	0.54	2	2.59
equipo (5t)			8.00
mampostería	8.64	2	41.47
agua	37.37	2	74.74
TOTAL			289.0 Ton.

por lo que, para el cálculo posterior de la cimentación se utilizarán:

- 1) Peso estructura vacía = 214 Ton.
Peso del agua = 75 Ton.
- 2) Peso estructura llena = 289 Ton.

las cuales son las dos condiciones extremas para la vida útil de la estructura.

$$\sigma = P/A$$

- 1) Esfuerzo estructura vacía $\sigma = 214/49 = 4.4 \text{ T/m}^2$
- 2) Esfuerzo estructura llena $\sigma = 289/49 = 5.9 \text{ T/m}^2$

IV.1.3 Perfil y Propiedades del Subsuelo.

Los datos que se tomaron para la realización de este estudio se obtuvieron del sondeo continuo SM-1, realizado en el bordo perimetral en el año de 1986, el cual se describe a continuación:

Este sondeo fue realizado a una profundidad de 26.0 m, tomando como nivel inicial la cota del bordo; de este nivel hasta 4.0 metros, se detectó el tepetate que conforma el terraplén del bordo.

De este nivel hasta 21.0 m se encuentra una arcilla inorgánica, de color café rojiza del tipo (CH), con límite líquido de 250 % a 450 %, y con un límite plástico de 100 % a 150 %, el contenido de agua medio fue de 340 % y una densidad de sólidos de 2.35.

De 21.0 a 22.0 m se encuentra estrato de vidrio volcánico con un contenido de agua menor que en el estrato anterior.

De 22.0 a 26.0 m de profundidad, se encuentra un estrato arcilloso similar al primero, con contenidos de agua mayores, que van de 300% a 450% y el límite líquido de 400 % a 450 %, también de tipo (CH).

Los pesos volumétricos naturales promediaron 1.2 T/m³, la resistencia al corte en pruebas de compresión simple se mantienen aproximadamente constante con la profundidad, entre 1.0 y 2.8 T/m².

IV.1.4 Capacidad de Carga

La capacidad de carga de un suelo se puede obtener por diferentes métodos. Para este estudio se utilizó el de Skempton para la losa de cimentación con la que contaba en su origen, y para la nueva cimentación con que cuenta en la actualidad (pilotes) se calcularon por fricción.

IV.1.4.1 Capacidad de carga de la losa.

La capacidad de carga última de la losa depende esencialmente de la cohesión (c) del material y de la presión efectiva valuada al nivel de desplante de la estructura.

Para este tipo de suelo (arcilloso), la teoría más aceptable es la de Skempton, que se expresa mediante la siguiente expresión:

$$q_d = cN_c + \frac{1}{2} \gamma D_f$$

donde:

q_d = Capacidad de Carga.

N_c = depende de la relación que existe entre la profundidad de desplante y el ancho del cimientó.

D_f = presión efectiva.

Para el cálculo de la capacidad de carga de la losa se tomaron los siguientes datos :

$$B = 4.5 \text{ m.}$$

$$D_f = 2.26 \text{ m.}$$

$$D_f/B = 2.26/4.5 = 0.50$$

de las tablas de Tomlinson se tiene que:

$$N_c = 5.9$$

$$c = 1.0$$

Por lo tanto:

$$q_d = 1 * 5.9 + 1.45 = 7.35 \text{ T/m}^2$$

Obteniendo el factor de seguridad (F.S.).

$$F.S. = q_d / \sigma$$

$$1) F.S. = 7.35/4.4 = 1.7$$

Factor de seguridad estructura vacía.

$$2) F.S. = 7.35/5.9 = 1.3$$

Factor de seguridad estructura llena

IV.1.4.2 Capacidad de carga de los pilotes.

La cimentación con que cuenta en la actualidad esta estructura es de pilotes de sección cuadrada de 0.40 por 0.40 m, con una longitud de 14.0 m los cuales trabajan únicamente a fricción, ya que para que trabajaran de punta se deberían desplantar hasta la capa dura que se localiza a una profundidad de de 35.0 m aproximadamente.

Simbología:

wp.- Peso propio del pilote.

P .- Peso sobre el pilote.

fs.- Fricción lateral.

As.- Area lateral del pilote.

Fh.- Presión lateral del suelo.

Af.- Area transversal del pilote.

Qp.- En este caso la capacidad en la punta del pilote vale cero, ya que solo trabajan por fricción.

Equilibrio que debe cumplir:

$$P + Wp = fsAs + Qp$$

donde fsAs corresponden a la capacidad de carga por fricción lateral del pilote y se denota como:

$$Qs = fsAs$$

los valores del coeficiente de fricción lateral (fs) para un suelo arcilloso depende directamente de la cohesión. Para efectos del cálculo se utilizarán las tablas de Tomlinson, en que relaciona la cohesión con el factor de adherencia.

Material del pilote	Consist. de arcilla	Cohesión (c) T/m ²	Adherencia (fa) T/m ²
concreto y madera	blanda	0 - 4	0 - 3.5
	firme	4 - 8	3.5 - 4.5
	dura	8 - 15	4.5 - 7.0
acero	blanda	0 - 4	0 - 3
	firme	4 - 8	3 - 4
	dura	8 - 15	-

Para el análisis de los pilotes por fricción se consideró, de acuerdo a la recomendación de Peck, aplicar la carga de la estructura en el tercio inferior de la longitud de los pilotes y el área horizontal sobre la cual está aplicada la carga W, se incrementa con la profundidad a razón de 30 grados de inclinación a lo largo del fuste del grupo de pilotes.

Por lo tanto la capacidad de carga lateral de cada pilote se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q_s = f_a A_s$$

donde:

f_a = factor de adherencia

Por lo tanto

$$Q_s = 3.5 * 24 = 84 \text{ T/m}^2 \text{ Capacidad admisible del pilote.}$$

Para determinar el número de pilotes se determinó mediante la expresión:

$$N_o = p_t / p_a$$

donde:

p_t = peso descargado por la estructura

p_a = capacidad admisible

$$\text{No pilotes} = \frac{289 \text{ Ton}}{84 \text{ Ton}} = 3.44 \text{ pilotes (Peso de la estructura llena).}$$

$$\text{No pilotes} = \frac{214 \text{ Ton}}{84 \text{ Ton}} = 2.55 \text{ pilotes (Peso de la estructura vacía).}$$

IV.1.5 Análisis de Asentamientos

Para entender mejor el comportamiento de la estructura de control del Lago Nabor Carrillo, se procederá a describir de una manera aislada los asentamientos con cada cimentación, original y nueva, ambas en interacción con el bordo perimetral.

IV.1.5.1 Análisis del bordo.

Para el análisis de asentamientos, se revisaron cinco secciones a todo lo largo del bordo. Los puntos analizados fueron bajo el pie, hombro de ambos taludes y bajo el centro de la corona.

Las características de la consolidación de los estratos de arcilla, se obtuvieron realizando pruebas de consolidación unidimensional de espécimen representativos del suelo. Con estos resultados, se calculó la magnitud de los asentamientos teóricos del bordo. A continuación se presenta un resumen de los asentamientos en el centro del bordo hasta una profundidad de 27.90 metros.

Prof de la muestra (m).	H (cm).
3.33	55.48
8.28	37.76
12.78	20.60
19.69	14.70
25.13	18.65

donde:

H es el asentamiento

Separando el estrato de 4 a 28 metros se obtuvo, para la Formación Arcillosa Superior (FAS), un asentamiento de 50 cm en un tiempo de cinco años.

Según estudios realizados en 1988, el asentamiento promedio presentado en el Bordo del Lago Nabor Carrillo, fueron de 0.51 metros anuales, resultando menores que la estructura del Puente Alcantarilla "Canal Colector- Lago Nabor Carrillo". Estos asentamientos se presentaron con la cimentación con que contaba originalmente, una losa de 49.0 m², a una profundidad de desplante de 2.26 m.

IV.1.5.2 Análisis de la Losa de Cimentación.

Para determinar el asentamiento de la estructura con la cimentación original de la losa con 49.0 m^2 , se utilizó el criterio de Boussinesq y las gráficas de Fadum para un área rectangular uniformemente cargada, así como las curvas de compresibilidad del sondeo SM-2. De esta forma se obtuvieron los asentamientos tanto en centro de la cimentación como en los extremos de la misma, antes descritos. En el centro fueron de 0.83 metros y en los extremos de 0.85 metros; por lo que se presentan asentamientos diferenciales mínimos de 0.02 metros, pero mayores en 35 cm, que los asentamientos promedios del bordo.

Por lo que se tomó la decisión de cambiar la cimentación, de superficial a profunda, colocando cuatro pilotes que trabajan a fricción.

IV.1.5.3 Análisis de los pilotes.

Para analizar la cimentación profunda que sustituyó la losa original, se utilizó el método de Peck. Donde Peck recomienda considerar la carga W de la estructura aplicada en el tercio inferior de la longitud total de los pilotes, y el área horizontal sobre la cual esta la carga W , se incrementa con la profundidad a razón de 30 grados de inclinación a lo largo del fuste del grupo de pilotes.

Mediante cálculos realizados se pudo determinar, que esta última cimentación con pilotes, resultó ser inecesaria, ya que el peso de la estructura llena, es de 289 Ton, produce una descarga al terreno de 5.89 T/m^2 por lo que resulta inferior a la capacidad de descarga que dió como resultado de los cuatro pilotes colocados.

V. DISCUSION DE RESULTADOS

Se considera que la posición del Exlago de Texcoco es buena para almacenar aguas pluviales excedentes y aguas residuales ya que por lo menos una tercera parte de estas aguas convergen al vaso del Exlago de Texcoco, por haber sido la parte más baja del Valle de México.

Roberto Gayol, en el año de 1925, fue el primero que empezó a darse cuenta de los hundimientos generales en el Valle de México tomando como nivel de referencia la Catedral Metropolitana.

En la Ciudad de México entre los años de 1905-1911 se registró un hundimiento que varió de 3.1 a 5.6 cm/año, de 1937-1947 del orden 14 cm/año y a partir del año de 1947 el hundimiento en los primeros años fue muy alto registrándose 40 cm/año, posteriormente se reduce hasta llegar a valores cercanos a los 10 cm/año y en esta última década se vuelven a incrementar a razón de valores que oscilan entre los 30 y los 80 cm/año, excepto en la zona centro de la ciudad; los valores extremos del hundimiento regional del Valle de México son:

a). En la zona centro, se registran los mínimos hundimientos regionales de la ciudad, siendo esto del orden de los 5 centímetros anuales, como consecuencia de la veda impuesta en 1953 sobre la explotación de agua subterránea en el Valle de México.

b). En la zona sur, se registran los máximos hundimientos regionales rebasando los 70 centímetros anuales en la zona de transición.

El hundimiento inducido por la Compañía Sosa Texcoco fue de 16.5 cm/año, lo que produjo un máximo de depresión acumulada de 4.55 metros, en el periodo de 1966-1987, a los cuales es necesario adicionar 27 cm/año de asentamientos regionales, lo cual da un total de 43.5 cm/año de hundimiento en la zona de explotación del Exlago de Texcoco.

En cuanto a los hundimientos diferenciales, estos son:

1.- De 10 cm/año en el Valle de México y la zona del Exlago de Texcoco.

2.- De 40 cm/año en la zona centro de la ciudad y la zona del Exlago de Texcoco.

3.- El máximo hundimiento se registra entre la zona sur y la zona centro del Valle de México, obteniendo un valor superior a los 60 cm/año, siendo un hecho realmente alarmante.

A continuación se presenta una relación de obras con respecto al tiempo:

Relación de obras.	Año.
- Construcción del Lago Nabor Carrillo.	1975
- Construcción del Bordo Perimetral.	1979
- Nuevo campo de pozos de Sosa Texcoco.	1982
- Construcción de la cimentación de la compuerta original del lago.	1982
- Construcción de la nueva cimentación del lago.	1986
- Se registran agrietamientos debidos a los hundimientos diferenciales entre la estructura y el bordo perimetral. El mecanismo detonador fue el sismo del 8 de febrero de 1988.	1988

Los hundimientos registrados durante la operación del Lago Nabor Carrillo son:

Bordo perimetral	0.51 cm/año.
Estructura original (centro)	0.83 cm/año.
(extremo)	0.85 cm/año.
Estructura nueva	0.07 cm/año.

Los hundimientos de la estructura de control del Lago Nabor Carrillo son causados por la sobre-explotación de agua subterránea.

Para el calculo de los asentamientos en el centro de la estructura se utilizó la expresión de Boussinesq y las graficas Fadum. Para la capacidad de carga de la cimentación profunda se utilizó la Teoría de Skempton la, cual propone la siguiente expresión, siendo ésta análoga a la de Terzaghi, según la cual:

$$q_c = cN_c + \gamma D_f$$

Con la diferencia de que ahora N_c ya no vale siempre 5.7, sino que varía con la relación de D/B en donde D es la profundidad del cimiento en el suelo resistente y B es el ancho del mismo elemento.

La capacidad de Carga Admisible o de trabajo, es con la que se diseñó el cimiento original. Esta capacidad admisible deberá ser siempre menor que la de falla, para que de esta manera se den siempre márgenes de seguridad adecuados.

En este caso se obtuvieron para la estructura original un factor de seguridad de la estructura llena de 1.3 y para la estructura vacía de 1.7, con lo que podemos concluir que estos factores de seguridad son un poco bajos ya que se recomienda un factor de seguridad mínimo de $F.S.=3$ para cargas actuantes, ahora para cargas permanentes y cargas vivas eventuales el valor anterior se puede reducir a 2.0 o 2.5 y si se toman efectos de sismo los valores pueden llegar a 1.5.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La ejecución de obras importantes para el abastecimiento de agua potable a la población y para actividades agrícolas e industriales han ocasionado la sobre-explotación del acuífero del Valle de México, llegando a valores del 130 ‰, en algunas zonas de la ciudad, siendo está la principal causa del hundimiento regional.

Este fenómeno del hundimiento regional se acentúa con la presencia de otros factores de menor trascendencia tales como:

- 1). La nula infiltración del agua producida por la evaporación del recurso que en algunas zonas, dependiendo de la estación climatológica, puede ser de relevante importancia.
- 2). La creciente urbanización en el Valle de México, que lejos de disminuir aumenta día a día, teniendo como efectos, entre otros, la mínima recarga del acuífero.
- 3). El incremento de cargas en el suelo que hasta hace unos pocos años era muy alta, afectando a la zona de transición y la zona del lago por ser altamente compresibles.

Con estos factores, entre otros, se tiene que el abatimiento piezométrico en la zona del lago, en estos últimos años es de 0.45 metros anuales en promedio. De estos asentamientos el 70% corresponden a deformaciones de la Formación Arcillosa Inferior (FAI), en áreas sin sobrecarga superficial.

En el Valle de México, el abatimiento piezométrico ha pasado por diferentes etapas. A partir de 1947 el asentamiento aumentó, llegando a valores de 40 cm/año; después decrece, y a partir de 1974 vuelve a aumentar, alcanzando los valores más altos registrados en el Valle de México, los cuales oscilan entre los 30 y los 80 cm/año, excepto en la zona centro y la zona sur de la ciudad.

Para disminuir este fenómeno se recomienda:

- a). Instalación de Plantas de Tratamiento en industrias y negocios, para su posterior reuso e intercambio en

industrias que descargen desechos contaminantes importantes al subsuelo, lagos, lagunas, ríos, etc. La dependencia correspondiente deberá cerciorarse del desempeño óptimo de las plantas para evitar la contaminación de los mismos.

b). Crear conciencia en los habitantes de la ciudad en la importancia del recurso, disminuyendo así la sobre-explotación del agua, lo que se traduce en una reducción de la velocidad de los hundimientos.

c). En zonas de riego de gran magnitud, usar agua tratada de la calidad que se requiera.

d). Imposición de vedas de explotación de agua en zonas estratégicas, las cuales competen a la S.A.R.H, artículo 17 de la Ley Federal de Aguas.

e). Recarga de acuíferos mediante métodos adecuados para evitar la contaminación del mismo y la intrusión salina.

Aún con estas recomendaciones, entre otras, el acuífero del Valle de México seguirá sobre-explotado, ya que actualmente no es posible reducir en alto grado las extracciones para uso municipal, doméstico y de la industria de alcalí que corresponden al 65% de los volúmenes extraídos.

En tanto, en el área del Exlago de Texcoco se tiene:

1.- El bombeo continuo de 530 pozos durante 46 años, ha causado hundimientos incontrolados, lo que ha provocado que la pendiente y capacidad del Dren General del Valle de México, se haya reducido, afectando al proyecto original, lo que obliga al Proyecto Texcoco, a dragar periódicamente para tratar de mantener la mayor capacidad de conducción posible.

2.- Por esta razón y debido a la velocidad con que se presentan los hundimientos que en el período 1966-1987 alcanzaron hasta 4.55 m, será necesario que en un futuro próximo, se proyecte y construya una planta de rebombeo para poder desalojar con la celeridad necesaria los excedentes de las aguas provenientes de la zona sur del Valle de México.

3.- Otro de los daños observados, es el del bordo norte del Lago Nabor Carrillo, el cual tiene un asentamiento superior al regional y ha obligado a frecuentes renivelaciones del mismo, para mantener el nivel operativo del Proyecto.

4.- Además se han originado agrietamientos que podrían provocar que los lixiviados generados por el relleno sanitario del Departamento del Distrito Federal, se infiltraran y contaminaran los acuíferos.

5.- Asimismo, en la Carretera Peñón- Texcoco, han aparecido agrietamientos perpendiculares y a lo largo de la misma.

Por la anterior, es de vital importancia iniciar los trámites para cancelar la Concesión a Sosa Texcoco, S.A., para estabilizar la situación actual y evitar que los daños sean irreversibles y constituyan una verdadera amenaza por frecuente inundaciones que se producirían en el sur de la Capital y en el Estado de México.

Refiriéndose ahora al análisis realizado al Lago Nabor Carrillo en el Capítulo Cuarto, se observó:

I. En el puente estructura de control del lago, la colocación de los cuatro pilotes cuadrados de 40 cm de lado y 15 metros de longitud, como cimentación, resulta sobrada en cuanto a capacidad de carga.

II. Los asentamientos diferenciales entre el bordo perimetral y la estructura son del orden de los 0.44 metros anuales en promedio, los cuales han originado fisuras en los muros de mampostería de los aleros del puente y en el revestimiento del Canal Colector, provocando fugas, las cuales se han tenido que sellar para evitar posibles daños en la estabilidad de los taludes del bordo.

Una solución a este problema podría ser el igualar los hundimientos, para lo cual se mencionan algunas soluciones:

- 1.- Lastrar la estructura.
- 2.- Renivelar continuamente los bordos.
- 3.- Creación de "aletas" ; este método tiene la función de hacer descender la estructura del Lago.

4.- Además se han originado agrietamientos que podrían provocar que los lixiviados generados por el relleno sanitario del Departamento del Distrito Federal, se infiltraran y contaminaran los acuíferos.

5.- Asimismo, en la Carretera Peñón-Tezcoco, han aparecido agrietamientos perpendiculares y a lo largo de la misma.

Por la anterior, es de vital importancia iniciar los trámites para cancelar la Concesión a Sosa Texcoco, S.A., para estabilizar la situación actual y evitar que los daños sean irreversibles y constituyan una verdadera amenaza por frecuente inundaciones que se producirían en el sur de la Capital y en el Estado de México.

Refiriéndose ahora al análisis realizado al Lago Nabor Carrillo en el Capítulo Cuarto, se observó:

I. En el puente estructura de control del lago, la colocación de los cuatro pilotes cuadrados de 40 cm de lado y 15 metros de longitud, como cimentación, resulta sobrada en cuanto a capacidad de carga.

II. Los asentamientos diferenciales entre el bordo perimetral y la estructura son del orden de los 0.44 metros anuales en promedio, los cuales han originado fisuras en los muros de mampostería de los aleros del puente y en el revestimiento del Canal Colector, provocando fugas, las cuales se han tenido que sellar para evitar posibles daños en la estabilidad de los taludes del bordo.

Una solución a este problema podría ser el igualar los hundimientos, para lo cual se mencionan algunas soluciones:

- 1.- Lastrar la estructura.
- 2.- Renivelar continuamente los bordos.
- 3.- Creación de "aletas" ; este método tiene la función de hacer descender la estructura del Lago.

VII. BIBLIOGRAFIA

- 1.- Análisis de asentamientos y optimización del Sistema de Bombeo para la construcción de los lagos del Proyecto Texcoco, México.
Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
Noviembre 1972.
- 2.- S.H.C.P. Y N.F. (Editores).
Proyecto Texcoco.
México 1969.
- 3.- Murillo, R (1984)
Construcción y comportamiento del Lago Nabor Carrillo.
Mesa Redonda Obras recientes en el Lago de Texcoco.
S.M.M.S. México.
- 4.- Murillo, R. y García, G. (1978).
Exlago de Texcoco. La Estratigrafía del valle de México y sus Implicaciones en la Ingeniería de Cimentaciones, S.M.M.S., México.
- 5.- Murillo, R. (1990).
Sobreexplotación del acuífero de la cuenca del valle de México: efectos y alternativas.
El Subsuelo del valle de México y su relación con la Ingeniería de Cimentaciones a cinco años del Sismo. S.M.M.S., México.
- 6.- Hiriart, F. y Marsal, R.
El Hundimiento de la Ciudad de México.
Volumen Nabor Carrillo.
S.H.C.P. y N.F (editores).
México 1969.

- 7.- Gerencia Proyecto Lago de Texcoco.
Afectaciones a las Obras y hundimientos del terreno
provocados por la explotación de los pozos de aguas
salinas, que realiza la Compañía Sosa Texcoco, S.A.
en la zona federal del Exlago de Texcoco.
S.A.R.H.
Comisión Nacional del Agua.
Noviembre 1990.

- 8 .- Hernández, A.
Obras recientes del Exlago de Texcoco.
Sociedad Mexicanan de Mecánica de Suelso. S.M.M.S.

- 9.- Juárez E. y Rico A.
Mecánica de Suelos.
Segunda Edición. Tomo II.
Editorial Limusa.

- 10.- Lambe, W. y Whitman, R.
Mecánica de Suelos.
Editorial Limusa.
México 1984.

- 11.- Marsal, R. y Mazari, M.
Subsuelo de Mecánica de Suelos.
Facultad de Ingeniería.

- 12.- Marsal, R. Hiriart, F. y Sandoval, R.
Hundimiento de la Ciudad de México.
Observaciones y Estudios Análíticos.
Ediciones ICA.

- 13.- Marsal, R. y Mazari, M.
El Subsuelo de las Ciudad de México.
Instituto de Ingeniería, U.N.A.M ; 1959

- 14.- Marsal, R. y Grave, R.
El subsuelo del Lago Texcoco.
Volumen Nabor Carrillo; 1969.

- 15.- Morales, R. y Murillo, R.
El Subsuelo del Exlago de Texcoco.
Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos.
Viña del Mar, Chile. 1990.

- 16.- Morales, R. Murillo, R. y Hernández, A.
Fourth International Symposium on Land Subsidence,
IAHS.
Subsidence of the former Texcoco Lake.
Houston Texas, USA 12-18 May 1991.

- 17.- Murillo, R. y Morales, R.
Reflexiones sobre un relleno sanitario en el Exlago
de Texcoco.
Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e
Ingeniería de Fundaciones.
El Subsuelo del Exlago de Texcoco.
Viña del Mar, Chile, 1991.

- 18.- Morales, R. y Murillo, R.
Comportamiento de los suelos blandos en el Exlago
de Texcoco.
Semana de Geotecnia. E.S.I.A. y I.P.N.
S.M.M.S. Julio 1991.

- 19.- Murillo, R. Morales, R. y Hernández, A.
Agrietamiento lacustre al oriente de la Ciudad de
México.
Simposio sobre Agrietamientos del Subsuelo.
S.M.M.S. Agosto 1991.