

8 2oj.



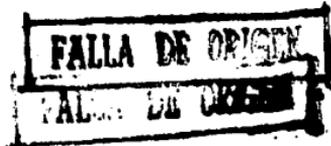
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIOS DEL SUBSUELO PARA LA CIMENTACION DE UN PUENTE COMPUERTA EN LA ZONA DEL EXLAGO DE TEXCOCO.

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

ADAN RANULFO ANTONIO LEON



México, D. F.

1990



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TEMA DE TESIS

=====

ESTUDIOS DEL SUBSUELO PARA LA CIMENTACION DE UN PUENTE
COMPUERTA EN LA ZONA DEL EX-LAGO DE TEXCOCO.

I INTRODUCCION

II TRABAJOS DE CAMPO

III ENSAYES DE LABORATORIO

IV ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO

V ANALISIS DE LA CIMENTACION

VI EMPUJE DE TIERRAS Y ESTABILIDAD DE LA EXCAVACION

VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

C O N T E N I D O :
=====

INTRODUCCION

I.

DESCRIPCION DEL LUGAR Y PROYECTO

II. TRABAJOS DE CAMPO

ENSAYES DE LABORATORIO

III.

MEDICIONES PIEZOMETRICAS

IV. ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES

IV.1 Manto Superficial

IV.2 Formación Arcillosa Superior

V. ANALISIS DE LAS CIMENTACIONES

V.1 Estructura Central

V.2 Losa de Aguas Abajo

V.3 Cimentación de los Bordos

EMPUJE DE TIERRAS, y

VI.

ESTABILIDAD DE LA EXCAVACION

CONCLUSIONES

VII

RECOMENDACIONES

VII.1 Recomendaciones para Diseño

VII.1.1 Estructura Central

VII.1.2 Losa de Aguas Abajo

VII.1.3 Bordos y Rellenos

VII.1.4 Recomendaciones para Construcción

I.- GENERALIDADES

Dentro de los trabajos que actualmente realiza la Comisión del Lago de Texcoco se tiene como prioritario, el encauzamiento de las aguas residuales que son drenadas por los ríos de La Compañía y Churubusco por medio del denominado Dren General del Valle, los ríos antes mencionados se unen al Dren General dentro de la zona del ex-Lago de Texcoco, sumándose un caudal de aproximadamente $45 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Con objeto de poder realizar el encauzamiento antes mencionado se tiene contemplado la construcción de un puente canal (del cual me ocuparé en esta Tesis), que permita el flujo de las aguas drenadas por el río de La Compañía hacia el Dren General del Valle; así como el acceso vehicular a través de él, permitiendo la comunicación entre las Plantas de Tratamiento de Aguas Negras, denominadas; Planta de Tratamiento a Contracorriente, Lagunas Facultativas de Recirculación y Planta de Tratamiento de Aguas Negras.

La estructura en cuestión, se encuentra localizada a la altura del Km 4 + 200 del Dren General del Valle muy pegada a la actual Obra de Toma de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras, como se puede observar en la fig. 1

Este trabajo está enfocado a los estudios del subsuelo en el sitio en que la Comisión del Lago de Texcoco planea construir la estructura de control denominada Río de la Compañía, así como el análisis de la cimentación de la misma, según proyecto de la superestructura realizado por la Dirección de Estudios y Proyectos de Obras de Infraestructura de esa Comisión, se

mencionará también los trabajos de campo, laboratorio, resultados de mediciones piezométricas, estratigrafía de la zona y propiedades del subsuelo.

Asimismo incluye aspectos de empuje de tierras y estabilidad de taludes, concluyéndose con las Recomendaciones y Conclusiones que a mi juicio deberán observarse para poder construir de la mejor manera la estructura que me ocupa.

1.1. Descripción del lugar y del proyecto

En la fig. 1, se puede observar el sitio de localización de la estructura que se denominará Río de la Compañía, la fig. 2 representa el detalle del actual proyecto y el lugar en que se realiza la exploración de campo de acuerdo a la localización proporcionada por el Departamento de Topografía de la Dirección de Estudios y Proyectos. La estructura se construirá sobre el antiguo cauce del Río de la Compañía el cual será dragado para su rectificación.

La estructura en estudio consiste en un cajón abierto de concreto armado, aguas abajo y arriba de la misma, se construirán muros laterales de contención unidos de lado a lado del cauce por una losa de concreto, dichos muros estarán unidos al cajón por juntas de construcción, la fig. 3 muestra las características y dimensiones del puente.

La estructura además de contener las compuertas, permitirá el paso de vehículos y contendrá la tubería de conducción de aguas negras que van a la Obra de Toma de la Planta de Tratamiento, tubería que en este trabajo no se va a tomar en consideración.

En esta misma figura se pueden observar las elevaciones a las que quedará desplantada la estructura.

En esta etapa de diseño no es recomendable considerar sobre elevaciones de la estructura, por lo tanto, en los análisis que se realizan se considera las elevaciones indicadas en la fig. 3, conforme a lo anterior, la profundidad de excavación teórica ne

cesaria para alojar la estructura es de aproximadamente 5.54 m, considerando una losa de piso de 50 cm de espesor.

El nivel máximo de embalse (NAME) será a la elevación 2 234.88 m.s.n.m. y el fondo tendrá la elevación 2 229.46 m.s.n.m., por lo que el tirante máximo de agua en el canal será de 5.42 m para facilitar la construcción de la estructura, habrá necesidad de abatir el nivel de aguas freáticas (NAF) de la zona por medio de pozos de abatimiento, para mantener el NAF 3.00 m abajo de la losa de cimentación durante el tiempo de construcción de la estructura, el objeto de abatir el NAF, es evitar empujes laterales en los taludes y hufamiento de la excavación.

El sistema de bombeo se comentará en el cuerpo de este trabajo.

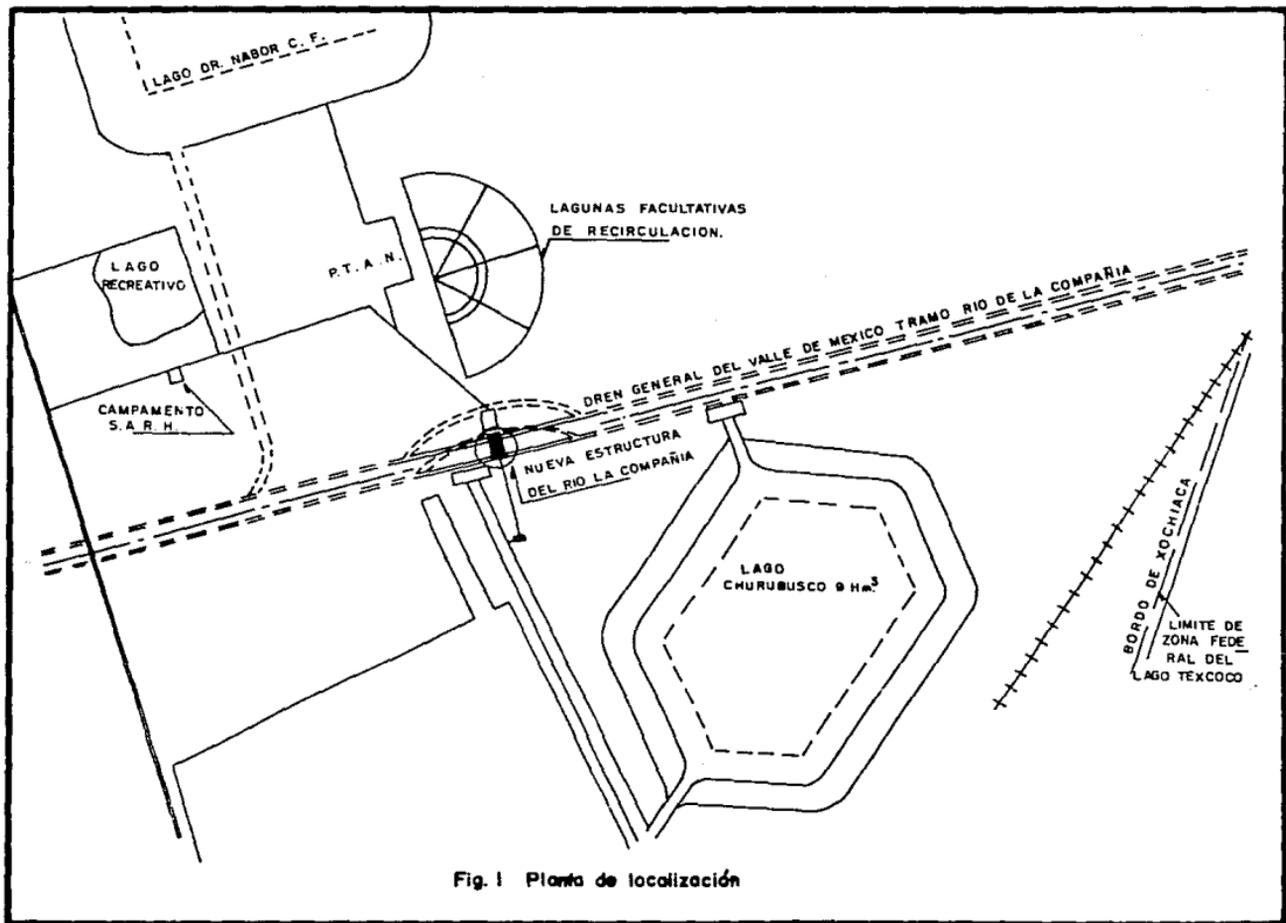


Fig. 1 Planta de localización

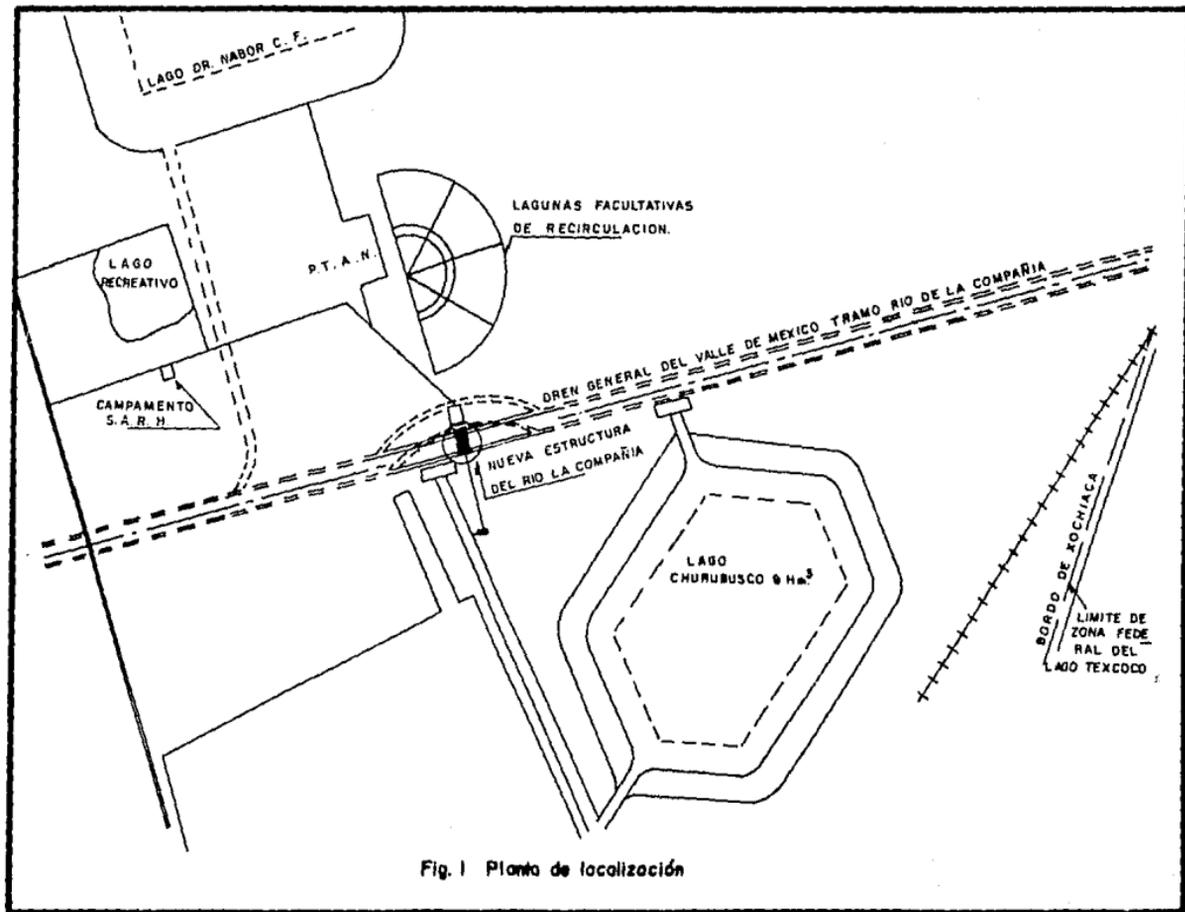


Fig. 1 Planta de localización

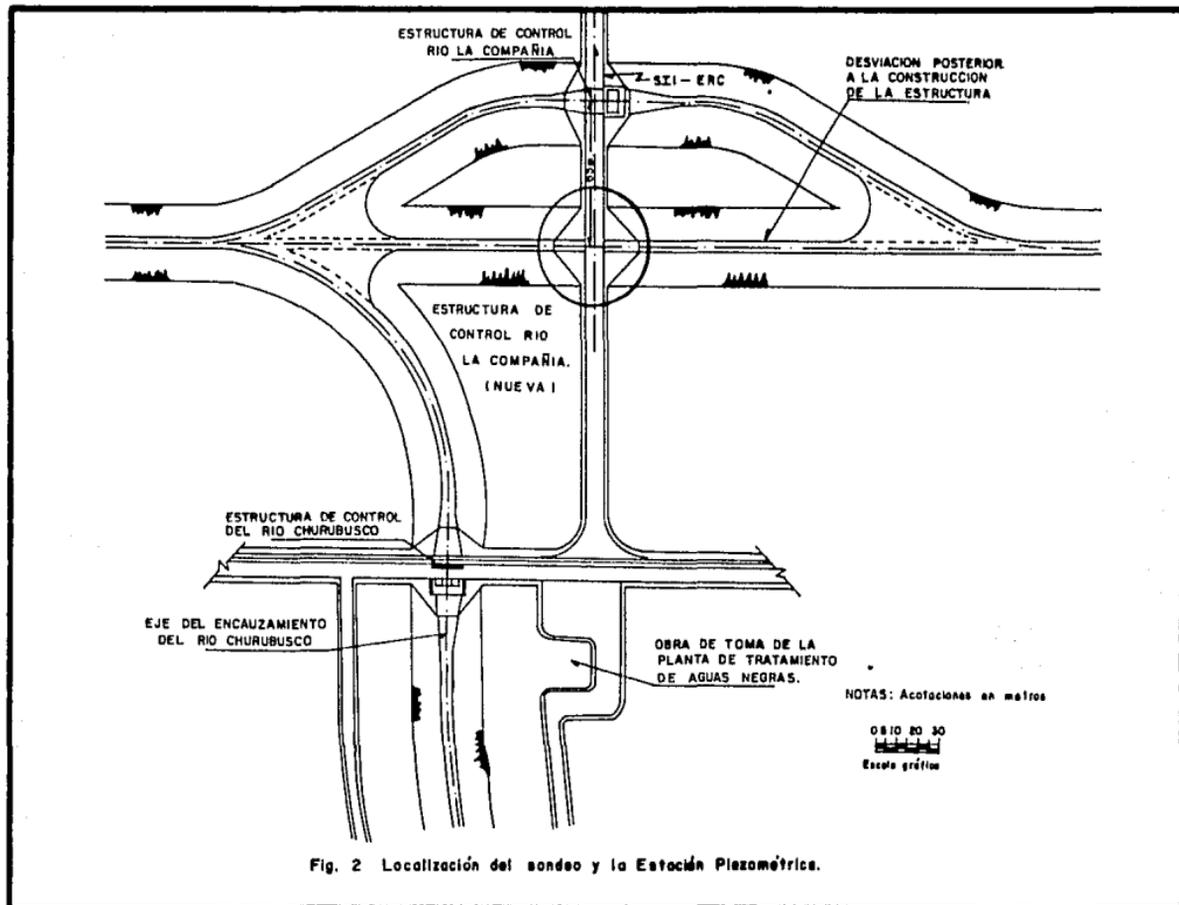


Fig. 2 Localización del sondeo y la Estación Piezométrica.

II.- TRABAJOS DE CAMPO

Se realizó un sondeo continuo inalterado denominado SII-ERC que va del terreno natural hasta 36.80 m, localizado según se muestra en la fig. 2; el mencionado sondeo se realizó a través de un terraplén de acceso de 50 cm de espesor, con objeto de sustentar el equipo de perforación. Las profundidades de los estratos detectados están referidos al nivel del terreno natural, y no a la altura del terraplén.

El sondeo quedó íntegramente alojado en la formación arcillosa-superior, de donde se obtuvieron muestras inalteradas con tubo de pared delgada (SHELBY) de 10 cm de diámetro, hincado bajo presión estática en los suelos blandos y muestras representativas con penetrómetros estándar, de los suelos de mediana a alta compacidad. Los resultados de las pruebas de penetración estándar, se muestran en la gráfica de la fig. 4 donde se puede observar el número de golpes-profundidad con que se extrajo la muestra de suelo.

Para determinar el estado de presiones en el subsuelo, se tomaron datos de la estación piezométrica constituida por 3 piezómetros tipo Casagrande, a las profundidades que se indican en la tabla 1.

La localización de la estación se puede ver en la fig. 2 que en el estudio interesan más las propiedades mecánicas de resistencia al corte y compresibilidad.

Las figuras 5 al 11, muestran las gráficas de relación de va --

cios, presión aplicada y coeficiente de compresibilidad-presión media aplicada, correspondientes a siete especímenes de arcilla ensayados en pruebas de consolidación unidimensional.

* Muestras representativas e inalteradas.

** Muestras inalteradas.

MEDICIONES PIEZOMETRICAS

La profundidad de las celdas y las alturas piezométricas determinadas a partir de varias mediciones, se reportan en la tabla 1, y su localización se puede ver en la fig. 1.

En la fig. 12 se presenta la gráfica de la evolución de la profundidad del nivel piezométrico en cada aparato, y el nivel - - freático medio durante la realización del sondeo.

Durante la realización de mediciones en los piezómetros, éstos fueron lavados en dos ocasiones.

En la fig. 13 están dibujadas las líneas que definen el estado de presiones totales, efectivas y de poro en la masa del subsuelo, considerando el efecto hidrodinámico según las mediciones piezométricas reportadas en la tabla 1.

T A B L A 1.

ALTURAS PIEZOMETRICAS EN LA ESTACION EPI-ERC

PIEZOMETRO	PROFUNDIDAD DE INSTALACION (m)	ALTURAS PIEZOMETRICAS (m)			
		15 IV 1988	20 IV 1988	14 V 1988	18 VI 1988
P1	6.80	5.70			5.88
P2	28.20		27.53	27.59	27.61
P3	36.65		36.35	35.67	35.75

La altura piezométrica es la distancia entre el centro de la celda de medición y el nivel del agua en el tubo.

III. ENSAYES DE LABORATORIO

Se realizó clasificación manual y visual en campo, basada en el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) y llevándose a cabo en el laboratorio, los siguientes trabajos:

- a) Contenido natural del agua*
- b) Límites líquido y plástico*
- c) Resistencia a la compresión simple en probetas de una misma elevación**
- d) Características de compresibilidad en pruebas de consolidación unidimensional**
- e) Densidad de sólidos, relación de vacíos, peso volumétrico y grado de saturación en las muestras utilizadas en las determinaciones indicadas en (c) y (d)**

Las características encontradas en los trabajos anteriormente mencionados se presentan en la fig. 4, así como el perfil estratigráfico obtenido a partir de la clasificación del SUCS (Sistema unificado de clasificación de suelos) y de observaciones durante la ejecución del sondeo.

Los valores que se reportan del contenido de agua (w) y densidad de sólidos (S_s), no están corregidos por el contenido de sales y álcalis disueltos en el agua freática de la zona, dado que en el estudio interesan más las propiedades mecánicas de resistencia al corte y compresibilidad.

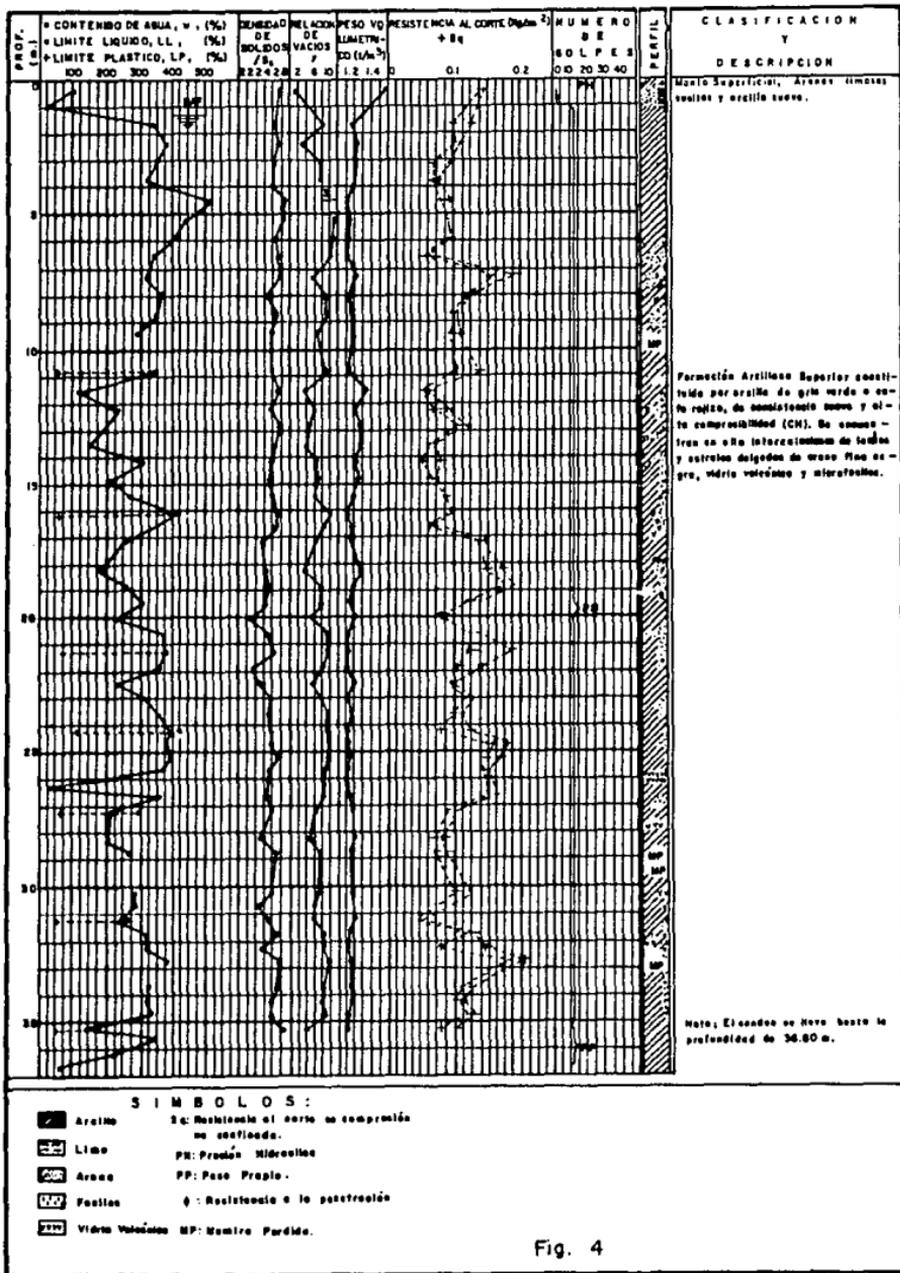


Fig. 4

SONDEO	PROF.(m)	S_u	W_l %	e_l	e_l %
SII-ERC	8.55	2.33	468	10.7	100

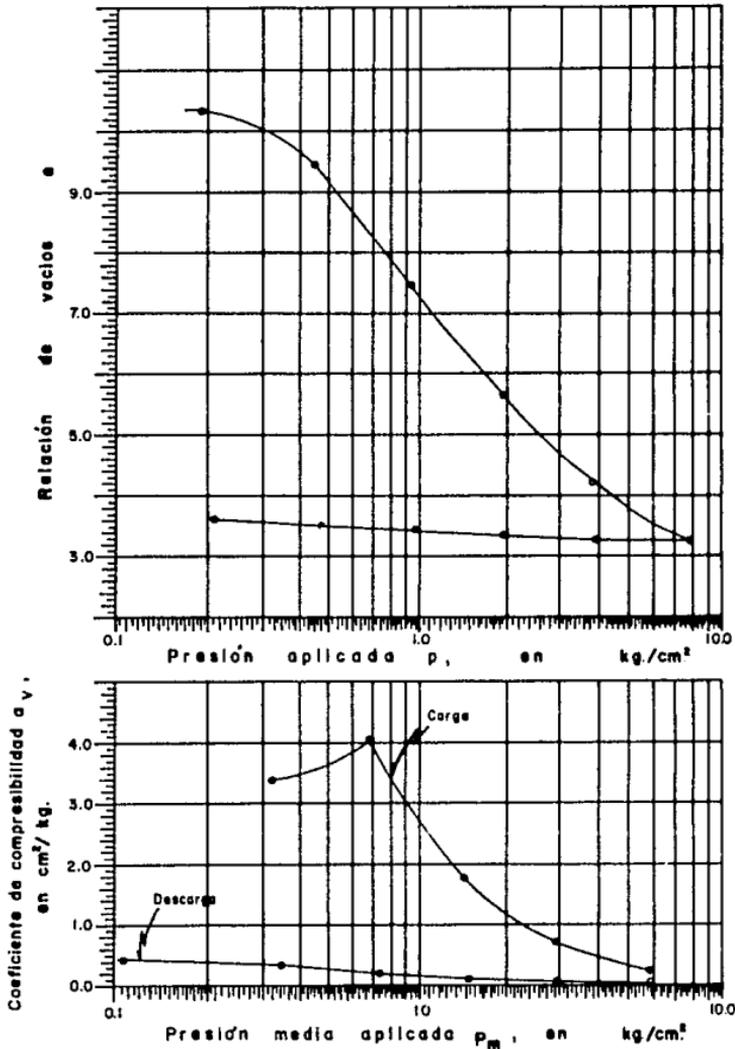


FIG. 5 CURVAS DE COMPRESIBILIDAD
ESTRUCTURA DE CONTROL RIO DE LA COMPAÑIA

SONDEO	PROF.(m.)	S_u	w_l %	e_l	G_l %
SII - ERC	12.05	2.35	30.4	7.0	100

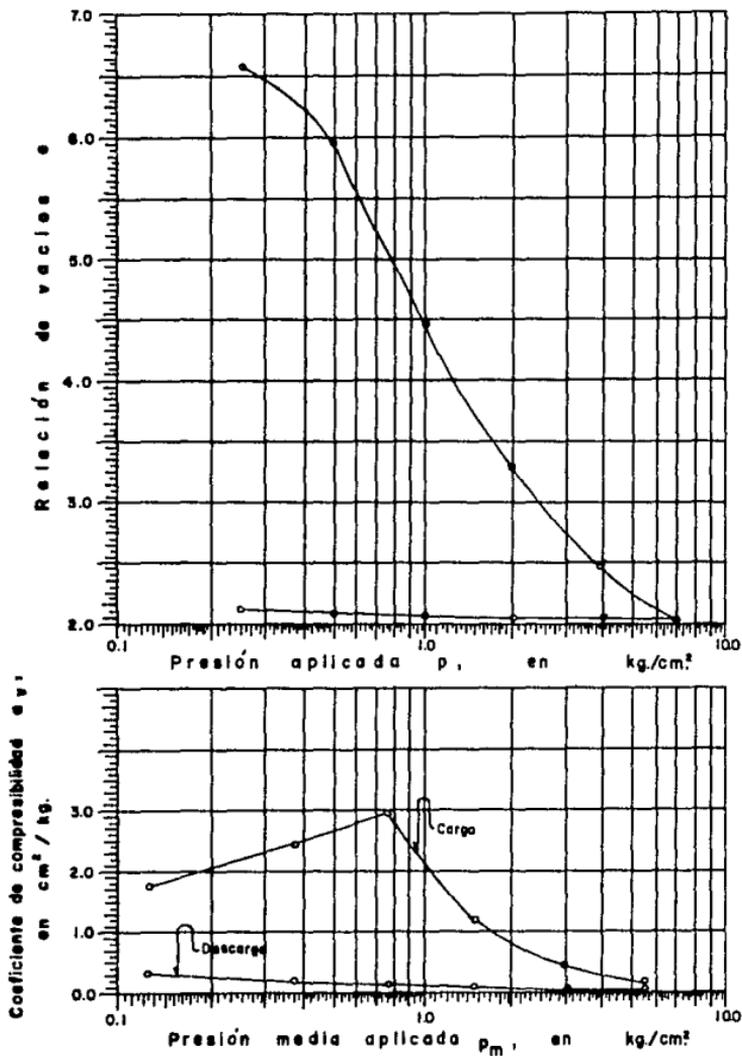


FIG. 6 CURVAS DE COMPRESIBILIDAD

ESTRUCTURA DE CONTROL. RIO DE LA COMPAÑIA

SONDEO	PROF. (m.)	S_u	W_L %	e_1	q_1 %
SII-ERC	15.95	2.43	495	12.3	98

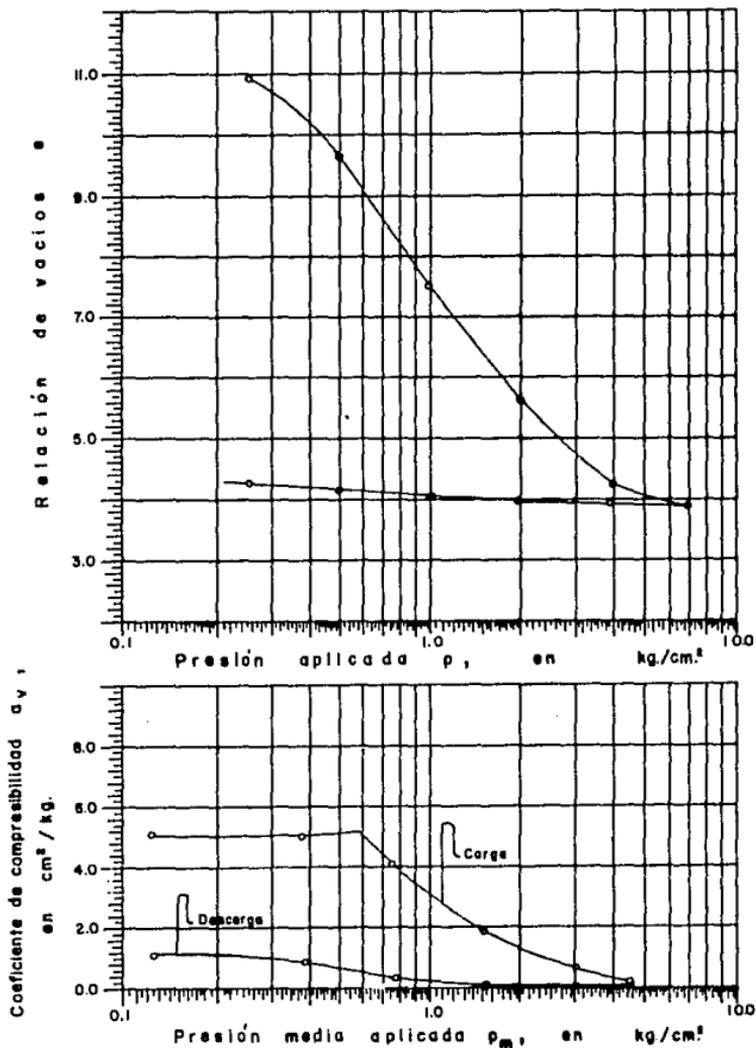


FIG. 7 CURVAS DE COMPRESIBILIDAD
ESTRUCTURA DE CONTROL. RIO DE LA COMPAÑIA

SONDEO	PROF. (m.)	S_u	W_L %	e_L	G_L %
SII-ERC	21.05	2.45	307	7.5	100

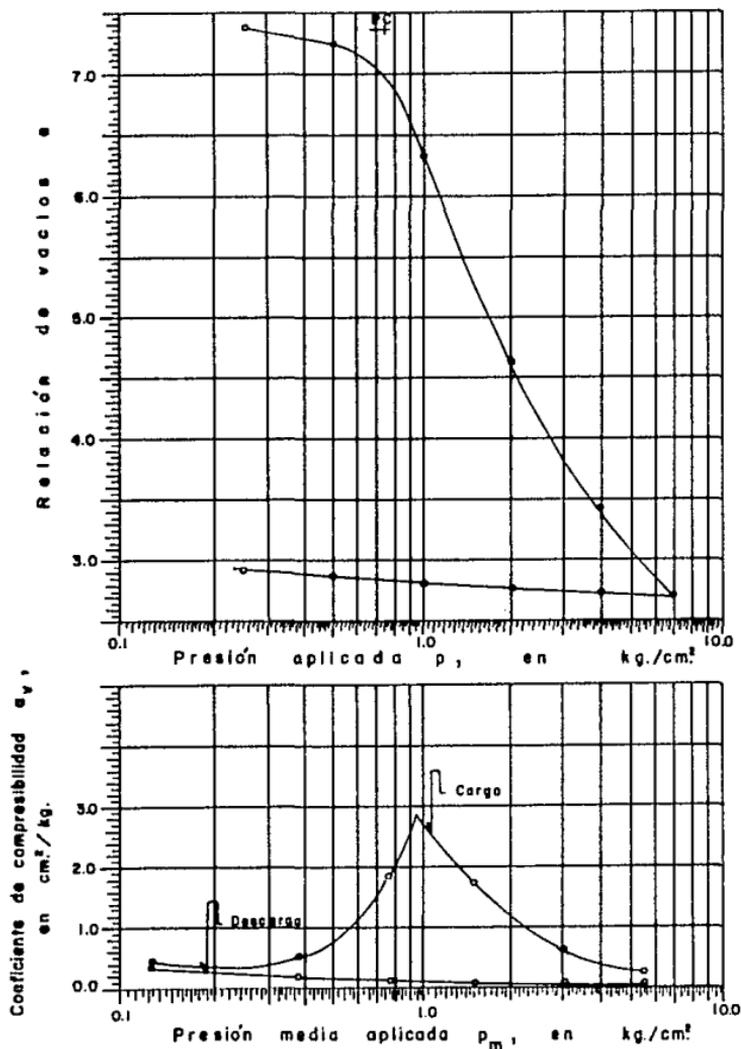


FIG. 8 CURVAS DE. COMPRESIBILIDAD
ESTRUCTURA DE CONTROL. RIO DE LA COMPAÑIA

SONDEO	PROF.(m)	s_s	w_l %	e_1	a_v %
SII-ERC	27.05	2.39	294	7.1	100.0

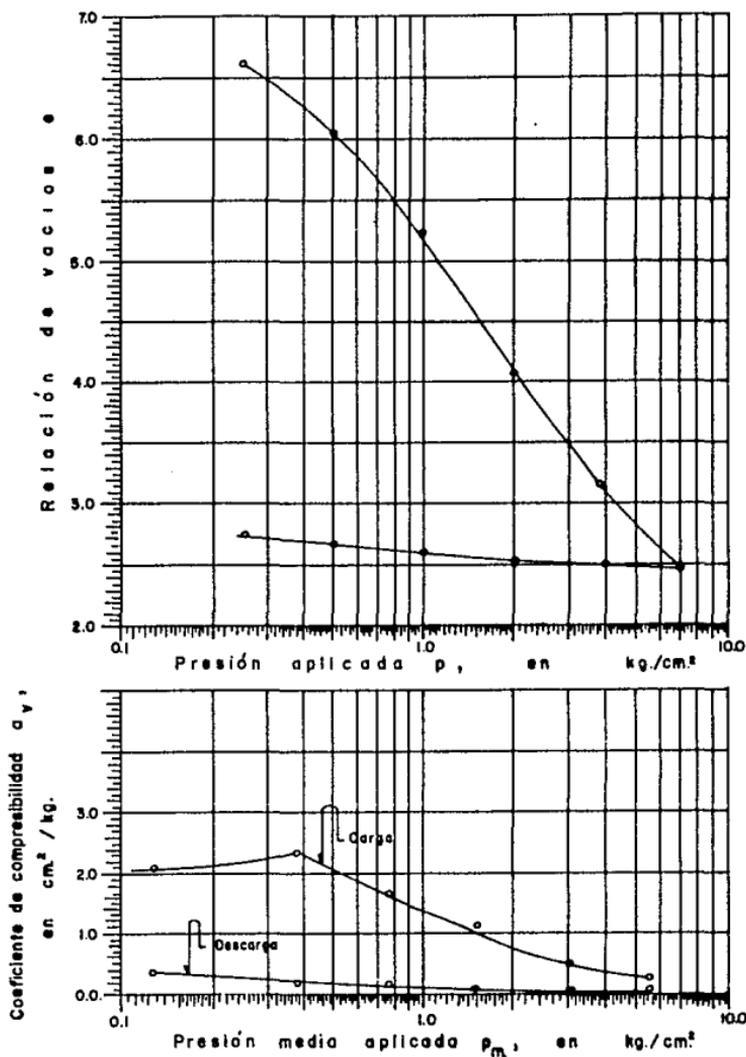


FIG. 9 CURVAS DE COMPRESIBILIDAD
ESTRUCTURA DE CONTROL. RIO DE LA COMPAÑIA

SONDEO	PROF. (m.)	S_v	W_i %	e_i	G_i %
SII-ERC	31.05	2.42	235	5.7	100

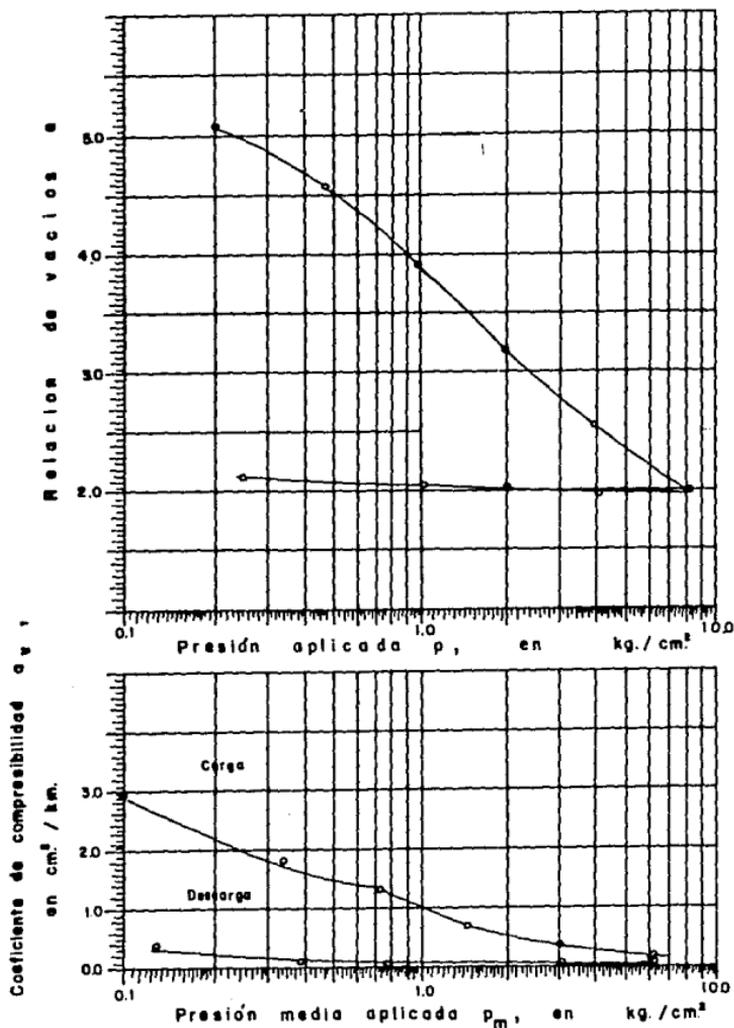


FIG. 10 CURVAS DE COMPRESIBILIDAD
ESTRUCTURA DE CONTROL. RIO DE LA COMPAÑIA

SONDEO	PROF. (m.)	S_r	w_l %	e_l	q_l %
SII-ERC	34.05	2.21	394	8.6	100

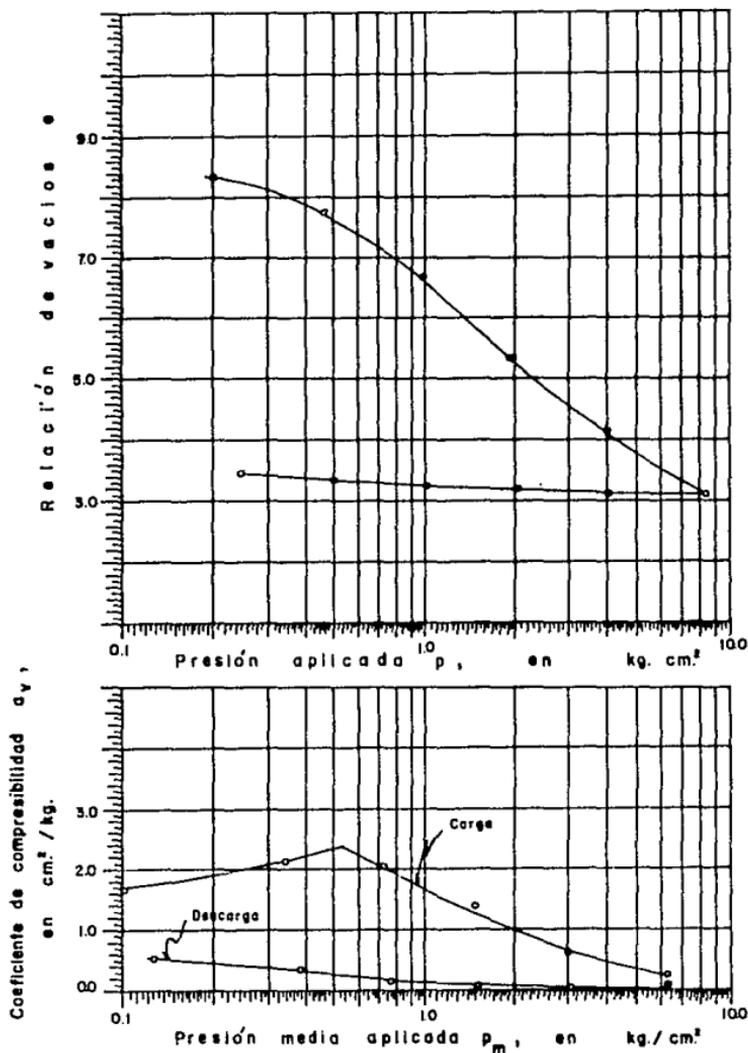


FIG. II CURVAS DE COMPRESIBILIDAD
ESTRUCTURA DE CONTROL. RIO DE LA COMPAÑIA

IV. ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO

El sondeo se localiza en terreno característico del Lago de Texcoco, con base en los resultados de campo y laboratorio, se integró el perfil estratigráfico que se muestra en la fig. 4, en el que se aprecian las siguientes funciones:

IV.1 Manto Superficial

De 0.0 a 1.00 m se detectó el manto superficial característico del Lago de Texcoco, constituido por limos arenosos de color café verde, su contenido de agua (w) medio fue de 65% (obtenido por capilaridad), su densidad de sólidos medio fue de $S_s = 2.59$, la relación de vacíos $e = 1.8$ y el peso volumétrico $\gamma_m = 1.58 \text{ t/m}^3$. La resistencia al corte determinada en prueba de compresión simple, resultó $S_{qu} = 0.14 \text{ kg/cm}^2$.

IV.2 Formación Arcillosa Superior

Desde 1.00 m y hasta la profundidad alcanzada por el sondeo, se detectó la formación arcillosa superior, constituida por arcillas compresibles de color gris verde a café rojizo de muy baja consistencia; se encuentran en ella microfósiles, lentes o estratos delgados de vidrio volcánico y arena fina. A la profundidad de 36.60 m, se detectó una capa de arena de compacidad alta a la cual se penetró 0.20 m.

Los valores medios de las propiedades determinadas por la formación, fueron las siguientes:

contenido de agua $W = 303\%$, con valor máximo de 520% ; relación de vacíos $e = 7.4$; densidad de sólidos $S_s = 2.49$; peso volumétrico $\gamma_m = 1.18 \text{ t/m}^3$ y resistencia a la compresión simple - - $S_{qu} = 0.11 \text{ t/m}^2$.

V. ANALISIS DE LA CIMENTACION

Dada la semejanza a las ya construidas a unos cuantos metros - del sitio donde se va a construir la actual y otras ya analiza das y construidas en el Lago, los criterios aplicados en el - análisis son los mismos ya expuestos para las estructuras men cionadas.

Con referencia a la estructura, interesa conocer las condicio nes mecánicas e hidráulicas del subsuelo para el diseño tanto de la estructura central como de las estructuras aguas abajo y arriba que estarán unidas por una losa y dos muros de conten ción laterales, unidos al cuerpo central por una junta elásti ca de construcción de 3 bulbos.

En el análisis, se parte del principio que considera que el es tado de presiones efectivas original, no sufre cambios durante la construcción de la estructura al aplicar procedimientos - - apropiados de abatimiento del nivel freático para evitar fa -- llas de fondo y talud de la excavación, las cuales se tratarán más adelante.

La presión efectiva calculada a 5.54 m de profundidad que es - la de excavación de proyecto, es igual a $U = 2.37 \text{ t/m}^2$ que vie ne a ser la descarga del subsuelo por efecto de excavación y - que se debe de compensar durante la construcción de la estruc tura.

El funcionamiento hidráulico del canal, durante su vida útil, - impone a las estructuras diversas condiciones de trabajo, sien

do los límites para fines de diseño los que se resumen en las tres siguientes:

Condición 1: Canal lleno hasta la cota de proyecto (elevación 2 234.45 m.s.n.m.), que corresponde a un tirante máximo de - 4.99 m.

Condición 2: Canal vacío

Condición 3: Compuertas cerradas con embalse aguas arriba (tirante máximo = 4.99 m) y aguas abajo vacío, condición poco probable, ya que el Dren General (río de La Compañía) debe de trabajar con un tirante mínimo de 2.00 para evitar una falla de talud; las tres condiciones antes mencionadas, se presentan gráficamente en la fig. 14.

Estas condiciones, además de imponer diferentes acciones directas a la estructura, implican diversas condiciones hidráulicas al subsuelo, interesando en la estabilidad de las cimentaciones los efectos de subpresión.

Tomando en cuenta lo anterior, a continuación se analiza la cimentación de la estructura central y la de la losa aguas abajo, tomando en cuenta las dimensiones, según plano propuesto por la Dirección de Estudios y Proyectos de la Comisión del Lago de Texcoco.

A continuación se describe el criterio general que se aplicó en este caso.

V.1 Estructura Central

Debido a la alta compresibilidad del subsuelo, el peso de la estructura y las fuerzas que actúan en ella, deberán transmitirse a cimientos profundos para evitar asentamientos por consolidación de las capas arcillosas superficiales, aprovechando el efecto de compensación por efecto de la excavación que requiere la obra. Conforme a esto, podrán compensarse 2.39 t/m^2 de la carga muerta de la estructura, y la fracción restante más las cargas vivas, accidentales, así como las impuestas por las condiciones 1 a 3, se transmitirán a pilotes de adherencias -- (fricción).

Este tipo de cimentación se elige debido a las condiciones de hundimiento regional (10 a 15 cm por año), más las inducidas por la estructura que se presentan en la zona. Admitiendo un colchón compresible mínimo de 4.00 m de espesor bajo la punta de los pilotes de 25.00 m de longitud, se determina que deberán quedar a 30.54 m de profundidad, bajo la superficie actual del terreno natural en el sitio.

La capacidad de carga de un pilote, se calculó tomando en cuenta la adherencia de los estratos arcillosos considerando como $q_u = 0.60$ (ref.1) en donde q_u es la resistencia en prueba no consolidada no drenada, aproximadamente igual a la resistencia en compresión simple, que en este caso tiene un valor medio de 2.5 t/m^2 .

La capacidad de carga admisible, utilizando un factor de seguridad de 2 es:

$$Q_a = 0.75 PL \quad (1)$$

en donde:

Q_a = Capacidad de carga admisible en toneladas

P = Perímetro del pilote en metros

L = Longitud del tramo del pilote comprendido entre el lecho inferior de la subestructura y la punta del pilote (su valor depende del proyecto estructural).

Los pilotes podrán ser de cualquier sección y dimensiones transversales, eligiéndose éstos, de acuerdo a las solicitaciones. - En caso de elegirse pilotes de sección H , deberá considerarse el perímetro del rectángulo que lo contiene para el cálculo de la capacidad de carga; la capacidad de carga para diferentes secciones transversales se incluyen en la tabla 2.

La condición más favorable de la cimentación, se presenta cuando el canal opere lleno (condición 1) ya que parte de la estructura estará sumergida, como se trata de una estructura abierta, no deberán tomarse en cuenta los efectos de subpresión, excepto si el espesor de la losa de fondo es "importante", y suponiendo que el concreto es impermeable, deberá tomarse en cuenta la diferencia de presiones entre la cara inferior y superior de la losa.

T A B L A 2

VALORES MEDIOS DE LAS PROPIEDADES INDICE Y MECANICAS PARA LAS-
DIFERENTES CAPAS PRESENTES EN EL SONDEO S11-ERC.

CAPA	PROFUNDIDAD		W (%)	Ss	E	γ_m TON/M ³	Squ (KG/CM ²)
	DE	(m)					
MS	0	1.00	63	2.59	1.8	1.58	0.14
FAS	1.00	36.60	303	2.49	7.4	1.18	0.11

T A B L A 3

CIRCULAR		CUADRADO		TRIANGULAR	
CM DIAMETRO	TON Qa	CM LADO	TON Qa	CM LADO	TON Qa
50	1.2L	45	1.3L	55	1.2L
45	1.1L	40	1.2L	50	1.1L
40	0.9L	35	1.1L	45	1.0L
35	0.8L	30	0.9L	40	0.9L

El peso total de la estructura está apoyado totalmente en la cimentación (subsuelo) cuando el canal está vacío y se haya establecido una condición de flujo a largo plazo (condición 2);- aunque esta condición es muy difícil que se presente, es conveniente que se diseñe para ella.

La condición más "crítica" para la estabilidad de la estructura será cuando las compuertas estén cerradas y el agua esté embalsada a su máxima altura tras ellas (aguas arriba) y el canal se encuentre vacío del lado de aguas abajo (condición 3).- En esta condición deberá tomarse en cuenta la acción del empuje horizontal del agua sobre las compuertas actuando a un tercio del tirante, a partir del fondo; así como la subpresión para la condición de flujo establecido bajo la losa de la estructura, de aguas arriba hacia aguas abajo.

Ambas fuerzas causan volteo de la estructura según se puede ver en la fig. 14. Los efectos provocados por el momento de volteo (tensión y compresión en la cimentación) se sumarán algebraicamente a las descargas estáticas. Deberá considerarse el peso del agua retenida tras las compuertas y que gravita sobre la losa que actúa contra el volteo.

Para la condición 3, deberá revisarse la estabilidad de la estructura contra deslizamiento, considerando que la falla ocurre según un plano horizontal en la arcilla, ligeramente abajo del contacto con el concreto, para una resistencia al corte igual a 0.9 t/m^2 , el factor de seguridad mínimo será de $F_s = 2.5$. En caso de que el factor de seguridad resulte menor, deberá tomarse en cuenta la contribución de los pilotes -

sujetos a fuerza lateral, o un dentellón monolítico a la estructura trabajando a empuje pasivo, o bien, la contribución de ambas, además de la primera.

La distribución de la subpresión bajo la estructura, para la condición 3, se calculó bajo un sistema simplificado, preparado bajo la losa de aguas abajo.

V.2 Losa de Aguas Abajo

La losa situada aguas abajo de la estructura central, junto con los muros de contención laterales, servirá como elemento de encauzamiento en la estructura de control, constituyendo una cimentación del tipo sobrecompensado, en la que interesando aspectos principales en su diseño y comportamiento: Expansiones a largo plazo y Acción de la subpresión.

Se considera que las Expansiones a corto plazo o elásticas ocurrirán durante la construcción. Las Expansiones a largo plazo serán más importantes a medida que la carga de sobrecompensación (presión efectiva de 2.37 t/m^2 menos el peso de la losa) sea mayor. Desde este punto de vista, es conveniente proyectar una "losa pesada" para reducir al máximo posible dicha carga.

Con este fin puede utilizarse además, el peso de los elementos estructurales, material de lastre como concreto ciclopeo, ha -

brá expansiones que difícilmente podrán evitarse debidas a la excavación del canal hacia ambos lados de la losa.

En cuanto al aspecto de expansiones, la condición más crítica será la condición 1, dado que será la que normalmente acontecerá en la vida útil de la estructura, ya que el peso de la losa se reduce por sumersión.

Conforme a ciertas experiencias en la zona, se puede decir que valores máximos de la carga de sobrecompensación de 1.5 t/m^2 - (ref. 1), causan expansiones tolerables a largo plazo.

Para la condición remota de canal vacío (condición 2) y para - flujo establecido después de un período largo de vaciado, la - subpresión puede considerarse nula. El caso de un vaciado muy rápido es aún más remoto y por tanto no es recomendable tomar - en cuenta el efecto de subpresión instantánea.

En la condición 3, la losa de aguas abajo para flujo bidimen - sional establecido longitudinalmente al canal bajo la estructura, presentará las condiciones más desfavorables en cuanto a - subpresión, por lo que deberá revisarse el equilibrio de la estrutura; comparando su peso contra la fuerza de subpresión. - Si esta última fuera mayor que la primera, por razones económicas, puede ser conveniente la utilización de una capa-dren para eliminar la subpresión bajo la losa de aguas abajo. Esta - capa-dren es la misma ya mencionada anteriormente.

V.3 Cimentación de los Bordos

Los bordos o terraplenes que complementan la obra de control, localizados a los lados de la estructura de concreto y sobre los taludes del canal, se diseñan y construyen como sección homogénea, empleando materiales ligeros, como "tezontle" con suficientes finos o el mismo material de excavación, para proporcionar baja permeabilidad, con objeto de lograr el equilibrio de la presión efectiva original del subsuelo, y por tanto, evitar la presencia de hundimientos que pudieran afectar a la estructura de control. Bajo este concepto se deben de construir los bordos.

VI. EMPUJE DE TIERRAS Y ESTABILIDAD DE LA EXCAVACION

La condición que provoca el empuje de tierras más crítica, está representada para canal vacío (condición 2), por lo que los muros deberán diseñarse para ella. La magnitud del empuje horizontal dependerá del tipo de material que constituya al borde, el cual, según se mencionó con anterioridad, será granular con finos.

A continuación se enuncian las expresiones para el cálculo del empuje, las cuales estarán sujetas a revisión en caso necesario.

a) para los muros en voladizo:

$$E = \frac{1}{2} K_a \gamma'_m H^2 \quad (2)$$

donde:

E = Empuje horizontal tras el muro, en ton/m.

Ka = Coeficiente de empuje activo; se recomienda un valor de 0.4.

γ'_m = Peso volumétrico del material en t/m³

H = Altura variable del muro en m.

- b) para los muros de la estructura central que forma un marco cerrado junto con las losas inferior y superior.

$$E = \frac{1}{2} K_o \gamma_m H^2 \quad (3)$$

donde:

K_o = Coeficiente de empuje en reposo, para material granular compactado es usual en valor de 0.8.

Estabilidad de la excavación

Para facilitar la construcción, la excavación será a cielo abierto, abarcando el área señalada en la fig. 15.

Previamente al inicio de la excavación, se abatirá el nivel freático hasta alcanzar una profundidad de 2.5 a 3.0 m bajo el fondo de la excavación, o sea 8.54 m bajo la superficie actual del terreno natural, utilizando pozos de bombeo que debieron de haberse construido con anterioridad a la construcción según fig. 16. Durante el proceso de abatimiento podrá-

efectuarse la excavación, pero observando mediante mediciones con sonda eléctrica, que no se altere el estado original de presiones efectivas. Las recomendaciones generales sobre el bombeo, se incluyen en el inciso VII.2

Es importante que los niveles piezométricos durante el bombeo se mantengan por debajo de las capas de arena que se encuentran en el sitio para evitar el levantamiento del fondo de la excavación.

El nivel freático se irá recuperando en forma proporcional al incremento en peso de la estructura en construcción, controlando esa recuperación con base en nivelaciones y mediciones piezométricas y el control de los pozos de bombeo.

Según la experiencia en excavaciones realizadas dentro de la zona, y los taludes que han mantenido al Dren General del Valle establece hasta la fecha, así como el estudio realizado en el experimento a escala natural denominado Dren de Prueba que realizó esta Comisión. Los taludes recomendables en este caso son 3:1 (3 horizontal por 1 vertical), ver anexo 1.

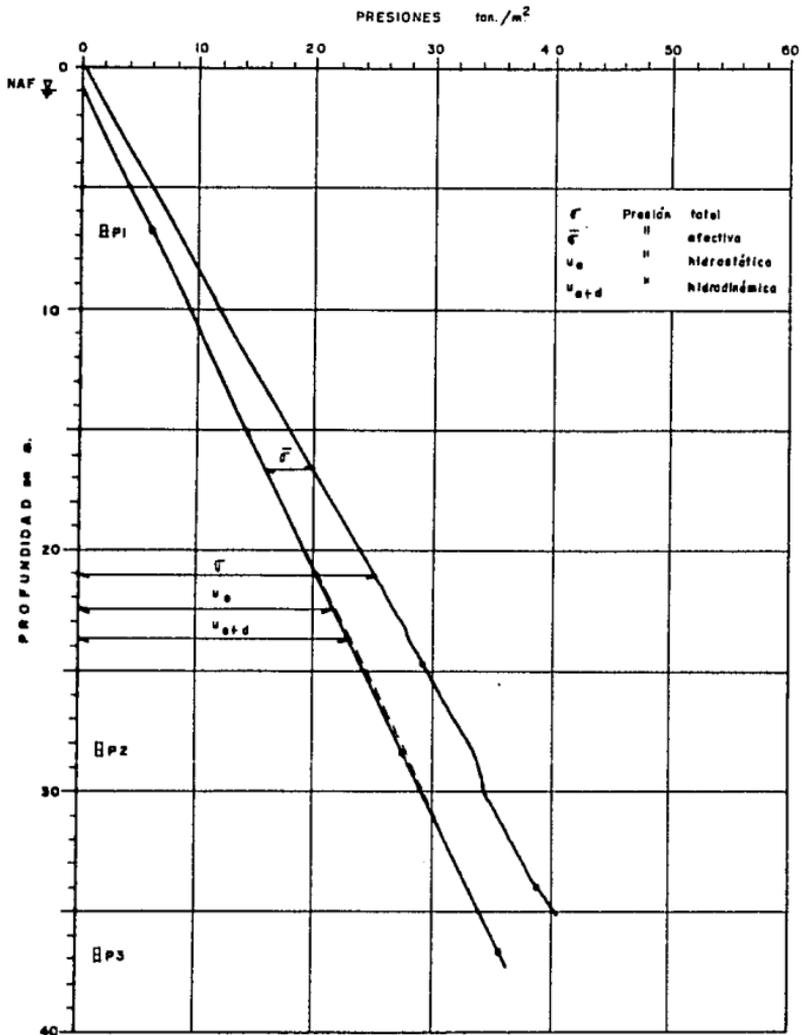
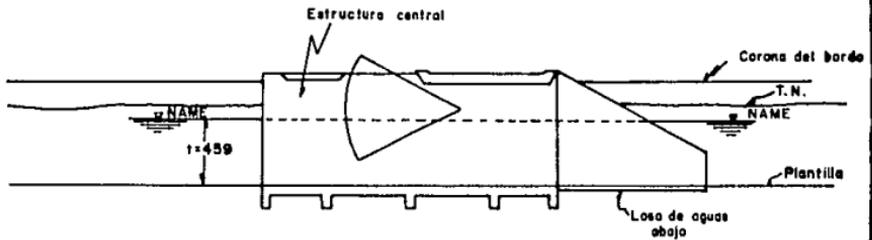
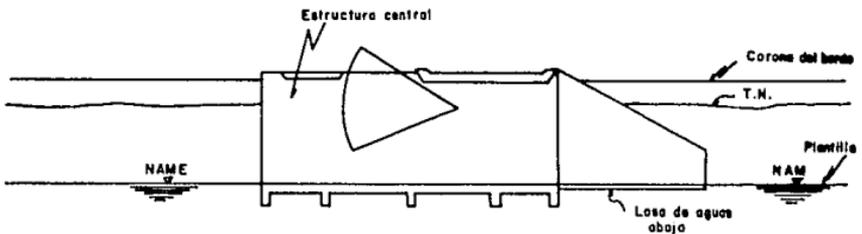


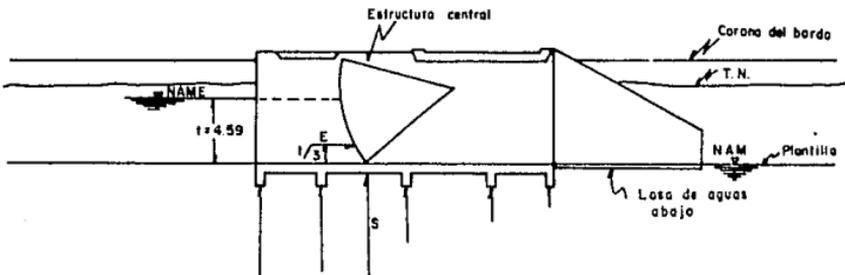
Fig. 13 Distribución de Presiones Totales, Efectivas y de Poro



(a) Condición 1: Canal lleno



(b) Condición 2: Canal vacío



Condición 3: Compuerta cerrada y embalse aguas arriba

Fig. 14 Condiciones límite por funcionamiento hidráulico del canal

N. T. N. 2234.45

55.49

40.00

20.00

20.00

22.55

22.00

20

2228.96

POZO

1.00

19.00

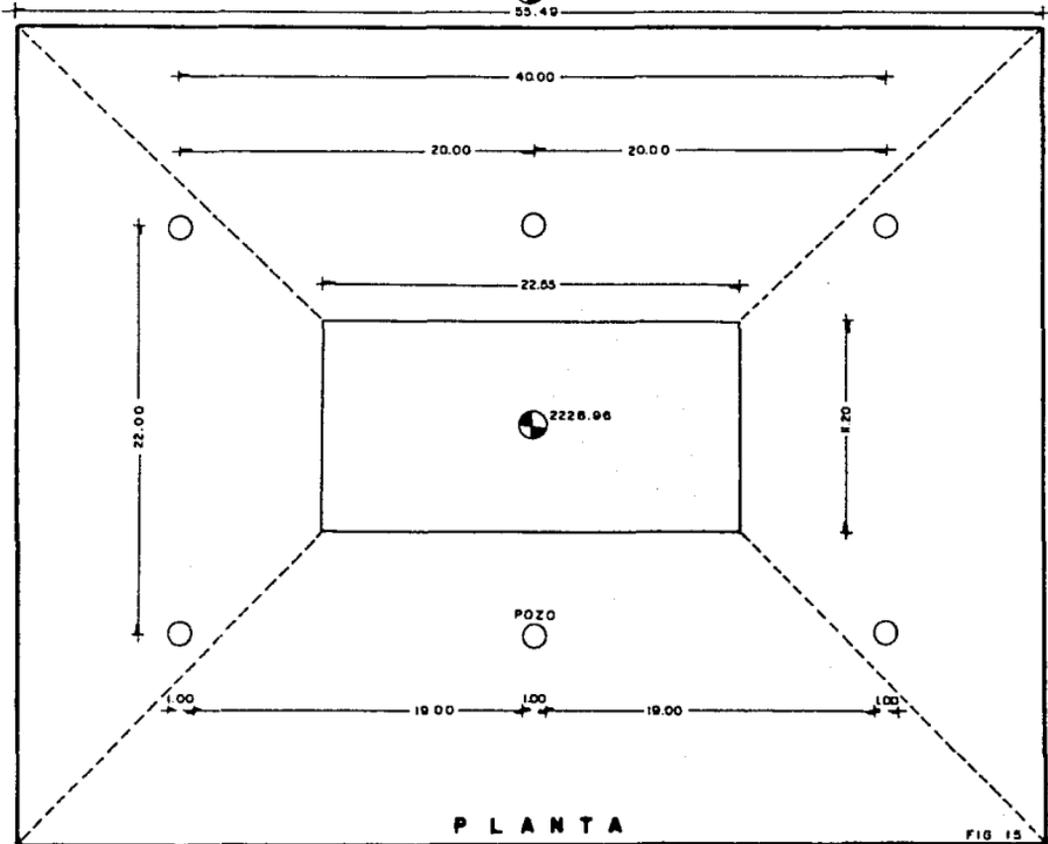
1.00

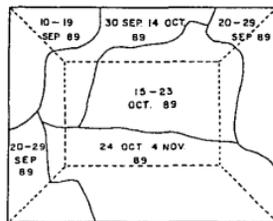
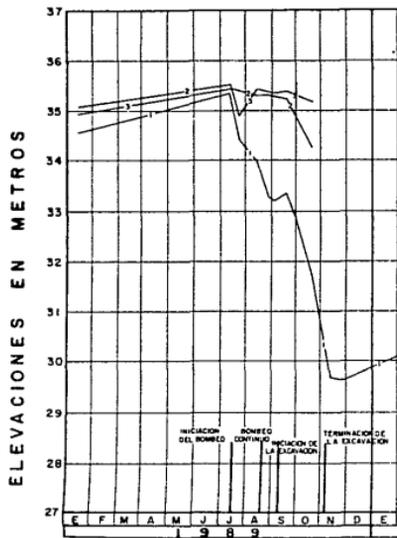
19.00

1.00

PLANTA

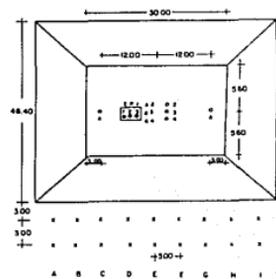
FIG 15





AVANCE EXCAVACION

PLANTA DE LOCALIZACION



NOTA FIGURA FUERA DE ESCALA
ADOTACIONES EN METROS



NOMENCLATURA

- o piezómetro neumático
- a banco de nivel profundo
- x testigo superficial

RIO DE LA COMPAÑIA
OBSERVACIONES PIEZOMETRICAS EP 1
FIG. 12

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII.1 CONCLUSIONES

El subsuelo en el área estudiada está constituido principalmente por arcilla, muy compresible y de baja resistencia al corte, características del Lago de Texcoco. En el área no se manifiestan abatimientos de presión de poro, sin embargo, se encuentra afectada por el hundimiento regional del Lago.

Por las condiciones del proyecto y del subsuelo, se concluye que la cimentación será del tipo superficial, aprovechando el estado original de presiones efectivas para evitar en lo posible movimientos verticales. La parte de la estructura que sostiene a las compuertas, transmitirá el exceso de carga no compensada a pilotes de adherencia que deberán soportar otras condiciones de carga impuestas por el funcionamiento hidráulico del canal, además de cargas vivas y accidentales producidas principalmente por "el tránsito de vehículos sobre ella" (paso de una draga u otro de mayor peso).

En general, para las diferentes partes de la estructura, es importante considerar en el diseño las condiciones más críticas impuestas por la subpresión y otros factores.

VII.2 RECOMENDACIONES

Sólo se proporciona valores numéricos por haberlos encontrado en los estudios del subsuelo y con los planos proporcionados por la Dirección de Estudios y Proyectos.

VII.2.1 Recomendaciones para Diseño

Estructura Central

- a) La cimentación de la estructura que aloja a las compuertas consistirá en una losa y pilotes de adherencia. La losa estará reforzada con traveses y formará un marco cerrado con los muros de contención y la losa del puente de maniobras, y la del camino vehicular.

- b) Por efecto de la excavación y aceptando un proceso constructivo apropiado, se compensará parte de la carga muerta de la estructura con un valor igual a la presión efectiva original, calculada en 2.4 t/m^2 para una profundidad de excavación de 5.54 m, según perfil estratigráfico. Este valor deberá corregirse para la profundidad definitiva, en caso de que el proyecto sea variado.

- c) La carga muerta no compensada, así como las cargas vivas accidentales y las impuestas por las condiciones críticas del funcionamiento hidráulico del canal y del tránsito de vehículos, se transmiten a los pilotes.

- d) Las puntas de los pilotes quedará a 30.54 m de profundidad respecto a la superficie actual del terreno. La capacidad de carga se calculará conforme a la expresión (1) del subinciso V.1, la cual adquiere las formas señaladas en la tabla 3 para diferentes dimensiones transversales de pilotes.

- e) Deberá agregarse a la longitud efectiva de los pilotes, un tramo adicional (1.00 a 1.50 m) que alojará a la subestructura después de demoler el concreto de dicho tramo.

- f) La separación mínima entre centros de pilotes será igual a tres veces el diámetro o lado mayor de la sección transversal.

- g) El empuje de tierras en los muros de contención, se determinará con la expresión (3) del inciso (VI). Deberá revisarse el valor del K_0 según las características de los materiales que constituyen los bordos del proyecto definitivo.

VII.2.2 Losa de Aguas Abajo

- a) La losa junto con los muros laterales, formará un elemento continuo de concreto en forma de U.

- b) La carga de sobrecompensación (presión efectiva original - menos peso de la losa), deberá reducirse al valor mínimo - posible, de preferencia que no sea mayor de 1.5 t/m^2 para la condición más crítica correspondiente al canal lleno - (condición 1) en la que la losa está sumergida, con este - fin es conveniente, en caso de requerirse, la utilización - de lastre como concreto ciclopeo.
- c) Deberá revisarse el equilibrio de la losa de aguas abajo, - comparando su peso contra la fuerza de subpresión para flu - jo bidimensional establecido bajo la estructura en la di - rección longitudinal del canal. Si la subpresión fuera ma - yor, se recomienda que se coloque una capa DREN bajo la lo - sa, aunque esta capa reduce la longitud de filtración bajo la estructura en conjunto, dadas las condiciones señaladas al final del subinciso VII.2.1., no representa riesgo.
- d) El empuje de tierras de los muros en voladizo, se calcula - rá conforme a la expresión (2), el valor de K_0 deberá revi - sarse para las características de los materiales del pro - yecto definitivo.

VII.2.3 Bordos Rellenos

- a) Estarán constituidos por materiales ligeros, como mezcla - de tezontle bien graduado con suficientes finos para dar - impermeabilidad o con material de la propia excavación. La - sección será homogénea, recubierta con una capa de protec -

ción de material petreo.

- b) Los taludes se diseñarán tomando en cuenta la resistencia al corte del terreno, así como las condiciones críticas - que pudieran ocurrir durante la construcción y vida útil - de la obra.

VII.2.4 Recomendaciones para la Construcción

- a) Instalación de pozos de bombeo, distribuidos según se indica en la fig. 15, cuya longitud será de 12 m para aprovechar la presencia de los estratos permeables de la estratigrafía en la zona, anexo 2.

Los pozos se instalarán según fig. 16.

La profundidad del nivel de agua en el pozo será mayor que la del nivel freático máximo abatido, controlándose con dispositivo automático (electroniveles), el equipo será del tipo sumergible.

- b) Hincado de pilotes hasta su posición definitiva, empleando seguidores.

El tiempo que se utilice para realizar la unión entre tramos de pilote, deberá de ser el mínimo necesario.

- e) La excavación se iniciará después de colocados los pilotes y con el bombeo en operación con 7 días de anticipación. - Este control es muy importante por las condiciones de estabilidad de los taludes y del fondo.

En la fig. 15, se señalan las dimensiones de la excavación con talud de 3:1 (3 horizontales a 1 vertical).

- d) Construcción de la estructura y a continuación los bordos-situados a los lados.

- e) Una vez terminada la obra, se llenará con agua el área de la excavación hasta alcanzar un tirante mínimo de 2 m, para cumplir con los requisitos de estabilidad de taludes, - procediendo en este momento a suspender el bombeo de los pozos de abatimiento del nivel freático.

- f) Excavación del canal a los lados de la estructura (aguas - abajo y arriba).

REFERENCIAS

Referencia 1, Resendiz D., Springall, G., Rodríguez, J.M. y -
Esquivel, R. "Información reciente sobre las características-
del subsuelo y la práctica de la ingeniería de cimentaciones-
en la Ciudad de México". V. Reunión Nacional de Mecánica de-
Suelos, México, D.F., 1970.

Referencia 2, Geotec, S.A. "Dren General del Valle de Méxi -
co, Plan Lago de Texcoco". Estudio de Mecánica de Suelos, - -
Agosto, 1972.