

15  
29



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ACATLAN"**

**CONSTRUCCION Y CONSIDERACIONES DEL  
PROYECTO DEL CARCAMO CIRCULAR  
CENTRAL DE ABASTO II.**

**T E S I S**

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

EDO. MEX.

1988

**TESIS CON  
FALLA 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.

## I N D I C E

		Página
<b>I N T R O D U C C I O N</b>		1
<b>CAPITULO</b>	<b>I. GENERALIDADES</b>	
	I.1. Drenaje de la ciudad y de la zona	4
	I.1.1. Antecedentes	4
	I.1.2. Sistema de Desagüe de la Cuenca de México	9
	I.1.3. Drenaje de la zona sur-oriente	11
	I.2. Hundimiento de la ciudad de México	14
	I.2.1. Subsuelo	14
	I.2.2. Causas del hundimiento	14
	I.2.3. Efectos del hundimiento	17
<b>CAPITULO</b>	<b>II. TIPOS DE CARCAMOS</b>	
	II.1. Tipos y objetivos	20
	II.2. Consideraciones generales de diseño	22
	II.2.1. Disposición recomendable de los equipos de bombeo	22
	II.2.2. Recomendaciones de Diseño	25
	II.3. Estructuración	32
	II.3.1. Solicitaciones	34
	II.4. Cimentaciones	37
	II.4.1. Solicitaciones	38
	II.5. Elementos complementarios	39

	Página
I.5.1. Equipo de bombeo	39
II.5.2. Tubería y Válvulas	46
II.5.3. Descarga	48
<b>CAPITULO III. CONSIDERACIONES DEL PROYECTO</b>	
III.1. Consideraciones en la planeación	50
III.1.1. Problemática	50
III.1.2. Descripción de la nueva planta de bombeo	55
III.2. Consideraciones generales para el análisis y diseño de lumbreras de flotación	62
III.3. Análisis de mecánica de suelos del comportamiento de las lumbreras	76
III.3.1. Estratigrafía	76
III.3.2. Factor de seguridad contra volteo	77
III.3.3. Factor de seguridad contra deslizamiento	79
III.3.4. Estabilidad de las paredes	79
III.4. Consideraciones constructivas para la unión de las lumbreras	86
III.4.1. Estabilidad de las paredes	86
III.4.2. Estabilidad del frente	87
III.4.3. Presión vertical y horizontal	88.
III.4.4. Estabilidad de taludes	90
III.4.5. Procedimiento constructivo del hincado del tubo	91
III.5. Consideraciones para el diseño del equipo de bombeo	93
III.5.1. Condiciones generales de diseño	93
III.5.2. Condiciones de servicio	95

		Página
<b>CAPITULO</b>	<b>IV.</b>	<b>PROCESO CONSTRUCTIVO</b>
	IV.1.	Análisis del procedimiento de construcción 99
	IV.2.	Proceso constructivo 102
	IV.3.	Obras complementarias 127
	IV.4.	Volúmenes de obra 133
<b>CONCLUSIONES</b>		138
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		139

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

1

La ciudad de México, a través de su historia, ha afrontado numerosos problemas relacionados con inundaciones provocadas por lluvias torrenciales; por esta razón, sus habitantes se han preocupado por construir grandes obras hidráulicas para controlar los escurrimientos de las precipitaciones.

En las últimas décadas, debido a los problemas de hundimiento del suelo por la extracción del agua de los acuíferos, se han propiciado la construcción del drenaje profundo en el subsuelo de la ciudad y la construcción de plantas de bombeo en zonas donde el hundimiento es bastante notable.

Al mismo tiempo, se han desarrollado técnicas para la construcción de lumbreras en suelos suaves, que permiten la introducción de maquinaria y el desalojo de materiales producto de la excavación de túneles para el drenaje profundo.

Aprovechando estas técnicas de construcción de lumbreras en suelos arcillosos, se sugirió construir un cárcamo circular para la planta de bombeo Central de Abasto II.

Para tal efecto, se realizaron en laboratorio simulaciones experimentales del funcionamiento hidráulico de los cárcamos circulares y, en base a los resultados obtenidos se elaboran plantamientos para poder seguir utilizando las lumbreras-cárcamos en futuras plantas de bombeo.

En este trabajo se exponen la construcción y consideraciones del proyecto del cárcamo circular Central de Abasto II. La presentación es la siguiente:

En el Capítulo 1 se enuncian a manera de reseña histórica las causas que originan la existencia de plantas de bombeo; así como, el drenaje de la cuenca de México y de la zona en estudio.

En el Capítulo 2 se describen los objetivos de los cárcamos como elementos componentes de una planta de bombeo, mencionando las características principales de los mismos.

En el Capítulo 3 se hace referencia a la obra en estudio, describiendo las consideraciones tomadas para la planeación y construcción del cárcamo de bombeo.

En el Capítulo 4 se presenta el proceso constructivo del cárcamo de bombeo, haciendo mención a las obras realizadas que complementan el funcionamiento hidráulico del mismo.

## I. - GENERALIDADES

## I.1. - DRENAJE DE LA CIUDAD Y DE LA ZONA

### I.1.1. - Antecedentes

Los problemas de drenaje en la cuenca de México se remontan a la época prehispánica, ya que la ciudad carecía de un sistema para desalojar -- las aguas que aprovechaban los habitantes en sus actividades; las casas -- carecían de drenaje pero utilizaban varias acequias que conducían sus caudales hasta el lago de Texcoco, que en aquella época estaba a un nivel inferior al de la ciudad; lo cual facilitaba la conducción, que era por gravedad.

Los habitantes de la ciudad siempre se han preocupado por construir obras para desalojar con eficiencia las aguas residuales que producen, ante la problemática de los grandes escurrimientos que se generan por las -- condiciones climatológicas y fisiográficas de la cuenca, escurrimientos -- que debido al crecimiento anárquico de la mancha urbana aumentan día con día.

De esta manera se han presentado una serie de inundaciones totales o parciales en la ciudad de México y se han dado soluciones importantes para su control; entre las obras construidas destacan por su importancia y tamaño: el Albarradón de Nezahualcóyotl en 1459, hecho con madera y piedras; con el cual se dividió el lago en dos partes, al oriente el mayor, -- lago salado de Texcoco, y al poniente el lago de México de agua dulce -- (véase la tabla I.1).

Epoca	Año	Inundación		Obra
		Causa	Consecuencia	
Prehispánica	1450	Insuficiencia del Lago de Texcoco	Inundación de toda la ciudad	Albarradon de Neza-hualcoyotl
	1499	Rotura del acueducto de Coyocacán.	Inundación de toda la ciudad	
Colonial	1555	Falta de Acequias y Canales	Inundación de toda la ciudad	Albarradon de San Lázaro.
	1580	Falta de diques e insuficiencia lago	Inundación de toda la ciudad	
	1607	Insuficiencia del Lago de México	Inundación de toda la ciudad	Socavón de Nochistongo Tojo de Nochistongo
	1629	Insuficiencia de Albarradon de San Lázaro y presa Acolman.	Inundación de toda la ciudad	
	1707	Falta de capacidad del lago de Texcoco	Se inunda la zona norte	
	1714	Un temblor hace fallar la estructura del Lago de México	Se inunda la zona norte	
Independiente	1866	Insuficiencia de infraestructura de drenaje	Inundación de varias zonas de la ciudad	Tunel de Tequixquiac y Gran Canal del Desagüe Primer Drenaje General
	1895			
	1900			
Moderna	1940	El sistema de drenaje se torna insuficiente	Inundación de las zonas bajas de la ciudad.	Ampliación de la infra-estructura de drenaje general.
	1941	Surgen desbordamientos en los ríos del pte.	Inundación de la ciudad con poca altura de agua.	
	1950	Debido al aumento de población se torna insuficiente el sistema de drenaje.	Se inundan las dos terceras partes de la ciudad	
	1960 1968 1975 1980 1981	Insuficiencia del sistema de drenaje	Encharcamientos en varios puntos de la ciudad	Interceptor del puente Ampliación y rehab. del Gran Canal Drenaje Profundo Drenaje General.

Tabla 1.1 Cronología de inundaciones y obras de drenaje.

En 1955, el valle se cubrió de tanta agua que sólo era posible transitar en canoa. El virrey Velasco decidió hacer un dique más próximo a la ciudad y, antes de la mitad del año siguiente, se construyó el célebre albarradón de San Lázaro.

En 1607 se presentaron lluvias de gran intensidad, las cuales llenaron la laguna hasta un nivel nunca visto y los ríos salieron de su cauce, llenando las acequias y vertiendo sobre la ciudad sus aguas, sin que se pudiese remediar tan grave daño, ni lo pudiesen impedir ni resistir las albarradas, calzadas y otras reparaciones que se habían hecho. La participación de Enrico Martínez, en la construcción del desagüe de la ciudad de México, fue de gran relevancia durante el primer tercio del siglo XVII. Su principal obra, conocida como Tajo de Nochistongo, destaca por ser la primera salida artificial de las aguas del Valle de México; su tiempo de construcción fue muy corto, ya que la obra se realizó en menos de un año (1607-1608).

De 1856 a 1900 se construyeron obras importantes de drenaje en la ciudad de México; entre ellas el primer túnel de Tequixquiac y el Gran Canal de Desagüe, que conformaron la segunda salida artificial de las aguas del valle.

El aumento inusitado de la población en las décadas de los 30 y 40 - tuvo como consecuencia la insuficiencia del sistema de drenaje y empezó a aparecer inundaciones. En 1950 los aguaceros extraordinarios, provocaron la mayor inundación por diversos rumbos de la ciudad.

El grave deterioro del drenaje y la disminución de su capacidad para desalojar las aguas del Valle de México, estaban relacionadas con el hundimiento de la ciudad, lo que condujo, entre las múltiples soluciones, a la ampliación del Gran Canal y la construcción del segundo túnel de Tequixquiac.

En 1954, la Dirección General de Obras Hidráulicas del Departamento del Distrito Federal, creada un año antes, formuló un plan para resolver los problemas de hundimientos, inundaciones y abastecimiento de agua potable. En lo que se refiere al drenaje el plan contempló los siguientes puntos:

- 1). - Ampliación de la cantidad de presas, aguas arriba de la ciudad, para acentuar el retardo del escurrimiento de las montañas.
- 2). - Reforestación de los terrenos altos para conservar los suelos.
- 3). - Desviación de los cauces fuera del área construída por medio de conductores de todos los tipos.
- 4). - Rectificación y entubamiento de todos los ríos que cruzan la ciudad, y
- 5). - Terminar la red de colectores principales de grandes diámetros.

Todas las obras, incluyendo el Gran Canal del Desagüe, se proyectaron para funcionar por gravedad y de esta manera trabajaron originalmente; sin embargo, la perforación de pozos para abastecer con agua potable a la ciudad aceleró el hundimiento del suelo, debido a la consolidación de las arcillas; así, en las descargas al Gran Canal aparecieron columnas y contrapendientes que produjeron, en la época de lluvias, serias inundaciones; lo que obligó a las autoridades, de 1952 a 1956, a instalar 29 estaciones de bombeo en diversas zonas de la ciudad (con un notable incremento en los costos de operación y mantenimiento); así como sobreelevar los bordos del Gran Canal para conservar su capacidad de conducción, construir tanques de tormenta, y ampliar la red de colectores y atarjeas.

Al entubar los canales de aguas residuales que cruzaban la ciudad, se logró el saneamiento de amplias zonas urbanas, ya que el desalojo de esas aguas mediante conductos cerrados mejoró el funcionamiento hidráulico; así mismo, se construyeron amplias avenidas en su exterior las que formaron parte de un nuevo sistema vial del Distrito Federal. Así, los ríos y canales como Churubusco, Magdalena, San Angel, La Piedad, Tacubaya, Consulado, Miramontes y San Joaquín, al quedar entubados total o parcialmente incrementaron la longitud de nuevas avenidas.

El incremento de los escurrimientos superficiales, debido al desmedido crecimiento de la mancha urbana, aunado al hundimiento de la ciudad ponían al Distrito Federal en peligro de una inundación catastrófica en caso de que el Gran Canal fallara en sus primeros 9 km, ante esa problemática, se elaboró el Plan del Sistema de Drenaje Profundo, que incluyó nume-

rosos análisis y estudios sobre las características peculiares de los suelos del Valle de México; dicho plan se aprobó en 1967.

Su construcción requirió de varios estudios hidrológicos, con base en los resultados obtenidos, se elaboraron análisis particulares mediante modelos y exploraciones hasta llegar al trazo definitivo e iniciar la ejecución de las obras el 17 de marzo de 1967. En primer lugar se fijaron los sitios donde se construirían las lumbreras en puntos estratégicos, las que tuvieron profundidades variables de 25 a 225 m y de 1 a 4 km de distancia entre cada una.

La primera etapa de ese plan, terminado en 1975, está integrada por el Interceptor Central, Interceptor Oriente y Emisor Central, con longitud total de 68 km. Constituye la cuarta salida artificial de las aguas del Valle de México y elimina el riesgo de una inundación catastrófica.

#### I.1.2. - Sistema de Desagüe de la Cuenca de México

Actualmente, el desagüe de la cuenca del Valle de México es un sistema que se caracteriza por contar con cauces de conducción superficial, a través de canales y ríos, y conducción profunda mediante colectores e interceptores (véase figura I.1). Estas estructuras hidráulicas del sistema de drenaje que desalojan el agua fuera de la cuenca son:

- 1). - Los dos túneles de Tequixquiac, que descargan en el río Salado las aguas que conduce el Gran Canal del Desagüe, el cual-

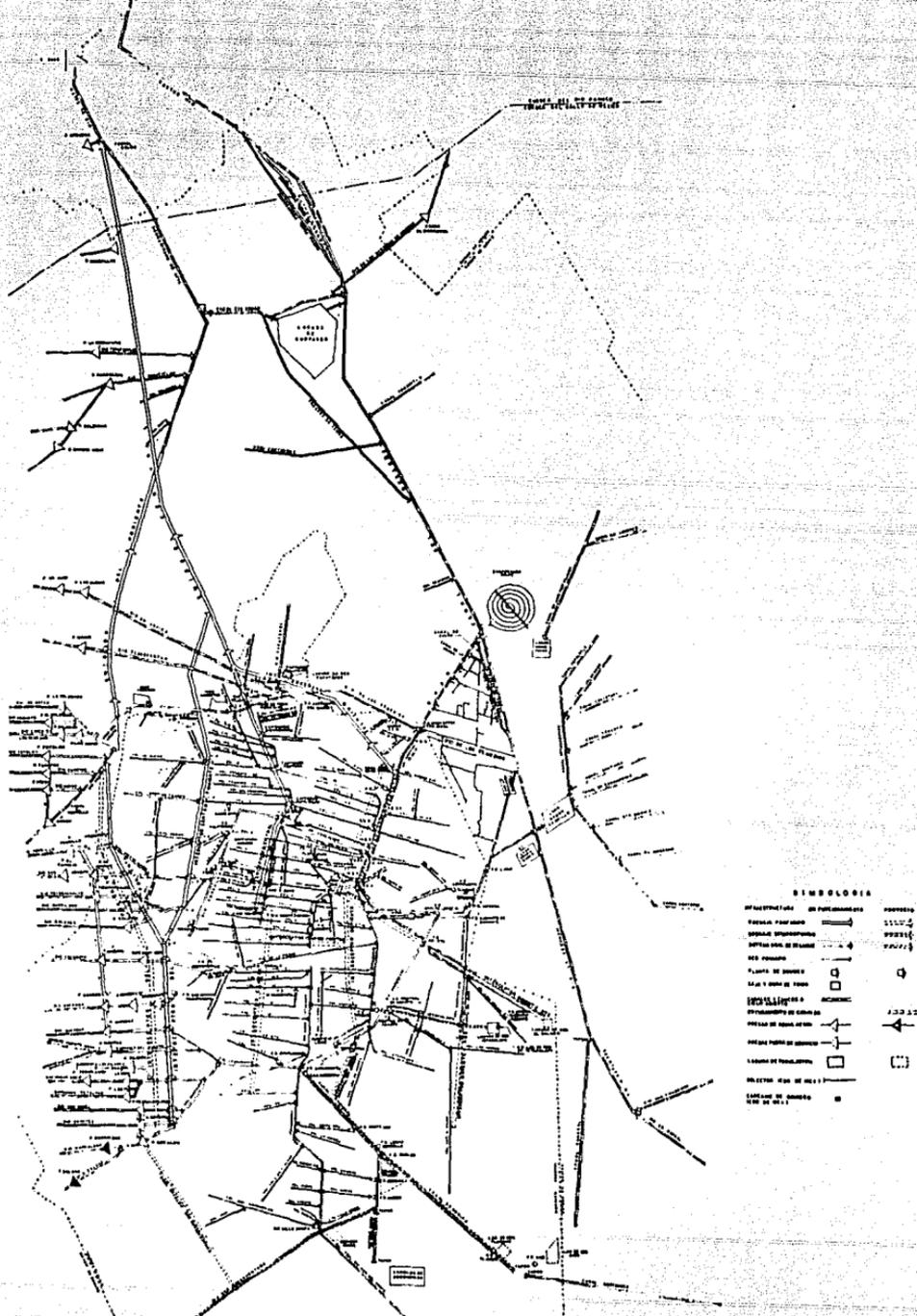


Figura 1.1. SISTEMA GENERAL DE DESAGUE DE LA CUENCA DE MEXICO

drena la mayor parte del área del Distrito Federal.

- II). - El Tajo de Nochistongo, que descarga en el río El Salto las aguas del Emisor del Poniente, que es continuación del Interceptor del mismo nombre, el cual recibe parte del agua que - escurre de la zona montañosa del poniente.
- III). - Río Churubusco, conducto que drena la zona sur y poniente -- del D. F. y conduce sus aguas al vaso de Texcoco, donde son regulados para conducirlos al Gran Canal del Desagüe.
- IV). - Río de la Piedad, conduce las aguas provenientes del poniente y de la zona centro del D. F. para descargarlas en el -- Gran Canal del Desagüe.
- V). - En la zona sur existe un conjunto de conductos que drenan hacia el río Churubusco; estos son: Canal de Miramontes, Río San Buenaventura, Canal Nacional y Canal de Chalco.
- VI). - En la zona norte, también existen otros como son: el río de los Remedios, San Javier y Tlalnepantla.
- VII). - En la zona centro existe el Río del Consulado que descarga - al Gran Canal del Desagüe.
- VIII). - En la zona poniente, como parte del sistema de desagüe, existe un sistema interconectado de presas, las cuales tienen co

no función regular los escurrimientos que se generan en las partes altas, a fin de que posteriormente ingresen al sistema de colectores.

IX). - Parte muy importante del sistema de desagüe es el Sistema de Drenaje Profundo, ya que con su construcción se puso a salvo a la ciudad de México de una inundación catastrófica, en caso de que presentara una falla el Gran Canal del Desagüe. Actualmente, la primera etapa ya construida y en operación, - consiste en 68 km de conducción, de los cuales 50 corresponden al Emisor Central y 18 a los interceptores Central y -- Oriente. También se encuentra funcionando parte de la segunda etapa, que está en construcción, contempla aproximadamente 22 km adicionales de conducción.

### I.1.3. - Drenaje de la Zona Sur-Oriente

El drenaje de la zona sur-oriente de la Ciudad de México, constituye uno de los problemas más graves del Distrito Federal. Esta zona se extiende por las delegaciones de Coyoacán, Milpa Alta, Xochimilco, Tláhuac, Tlalpan e Iztapalapa y corresponde a la zona con el nivel de servicio más bajo dentro del Distrito Federal. Anteriormente la zona se drenaba mediante ríos y canales; ahora la urbanización, el crecimiento de la población y el hundimiento de la ciudad han modificado las condiciones naturales de drenaje, por lo que se producen encharcamientos en épocas de lluvia.

La superficie afectada representa una tercera parte del área urbana-

del D. F. Y es susceptible de inundaciones en presencia de tormentas importantes, ya que no se ha desarrollado la infraestructura necesaria para desalojar estas aguas pluviales, como son los colectores y los cárcamos - de bombeo.

La Delegación de Iztapalapa es la zona que representa mayores problemas con respecto al sistema de desagüe, debido a sus características topográficas como es la de tener un terreno plano, algunas depresiones y una cuenca con área de gran magnitud; además, la mancha urbana ha ocasionado la saturación de los subsistemas de drenaje.

Los hundimientos del terreno en esta zona han provocado distorsiones en la red de colectores, formando contrapendientes y originando una disminución en la capacidad de conducción del drenaje existente, restringiéndolo a trabajar deficientemente aún en épocas de estiaje.

Para disminuir los efectos antes mencionados se construyó en esta zona una laguna de regulación y un túnel semiprofundo, que conducirá los escurrimientos generados hacia la planta de bombeo "Central de Abasto II" - donde ésta, a su vez, descargará al río Churubusco.

Además se tiene contemplado dentro de los programas de obra a largo-plazo, la continuación del drenaje profundo mediante la construcción de los interceptores Oriente-Oriente, Oriente y Oriente-Sur, (véase figura - I.2), donde este último permitirá captar por gravedad las aguas provenientes del túnel semiprofundo conservándose la planta de bombeo "Central de Abasto II" como una alternativa de operación.

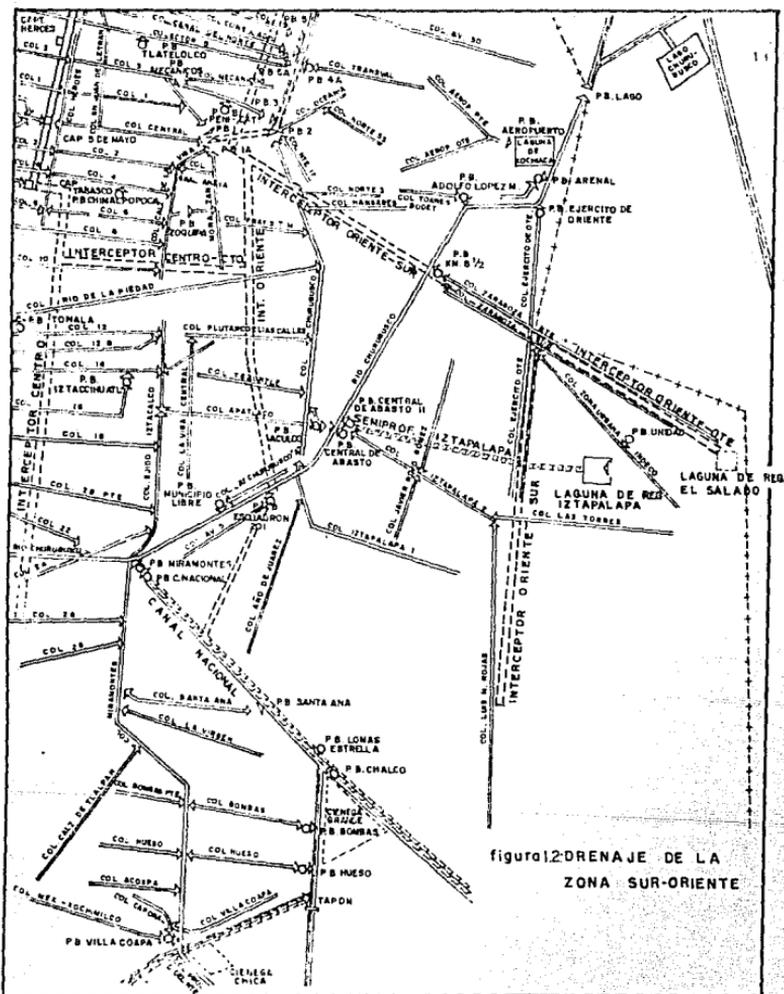


figura 12 DRENAJE DE LA ZONA SUR-ORIENTE

## I. 2. - HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO

### I.2.1. - Subsuelo

Gran parte de la ciudad está desplantada sobre el fondo del Lago de Texcoco, particularmente al oriente y al norte. Por otro lado, la zona poniente se desarrolla sobre las estribaciones de la Sierra de las Cruces; y al sur, varias colonias están asentadas sobre las lavas emitidas hace aproximadamente 2500 años por el Xitle. Esta descripción somera permite imaginar los diversos problemas de cimentación que pueden plantearse en la capital azteca. Para jerarquizar dichos problemas, el área urbana se ha subdividido en tres grandes zonas (lago, transición y lomas, véase figura 1.3). La zona del lago y de lomas están bien definidas, 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; su característica esencial es que, intercalada con estratos arenosos o limosos de origen aluvial tiene capas de espesor muy variable, 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 Lago de Texcoco. Además de las diferencias anotadas entre las zonas de transición y del lago, en esta última es posible distinguir áreas atendiendo a la historia de cargas, ya sean por construcciones en la superficie, o bien, por alteraciones de la presión en los acuíferos inducidos con bombeo.

### I.2.2. - Causas del Hundimiento



En 1925, el Ing. Roberto Gayol hablaba del hundimiento, mientras --- otros ingenieros sostenían que el Lago de Texcoco se estaba azolvando. -- Comprobadas las mediciones de Gayol, empezó a lucubrarse sobre el secado del Lago como factor determinante del asentamiento de la ciudad, y se sugirió la conveniencia de mantener cubierta con agua la parte más baja del Valle. Fue Nabor Carrillo quien llamó la atención en 1947 sobre la verdadera causa del proceso, al analizar la influencia de los pozos de bombeo en el Hundimiento. Las mediciones anteriores confirman esta última explicación del fenómeno.

Otro de los factores que se han señalado como principal agente del hundimiento; es el aumento de las cargas en la superficie debidas a construcciones y rellenos. En primer lugar, debe tenerse en cuenta que los edificios más pesados y la nivelación de calles en la zona céntrica de la ciudad, datan de la colonización hispana. Es indudable que hubo un gran número de fallas y la ocurrencia de asentamientos diferenciales importantes en los inmuebles y monumentos de esa época, atestiguados por cambios fundamentales en las construcciones y por citas históricas. Los efectos de estas cargas al terminar el siglo pasado debían ser pequeños, a juzgar por las nivelaciones de la Catedral, el Palacio Nacional y el fondo del Lago de Texcoco. Debido a estas dificultades, los ingenieros tendían a construir edificios bajos y, hasta hace 3 décadas, las disposiciones reglamentarias establecían que la capacidad de carga no debía exceder de 5 ton/m<sup>2</sup>. De ahí que en la ciudad se hayan usado cimentaciones piloteadas (monumento a la independencia), y compensadas (Banco de Londres y México).

Con base en las ideas del Dr. Nabor Carrillo se investigó la historia del bombeo de aguas subterráneas en la Ciudad de México. Los datos de perforistas que trabajaron a principios del siglo, indican que a 50 mts. de profundidad los estratos permeables eran artesianos, en zonas circundantes a la antigua área urbana; esta condición es posible que prevaleciera aún en esta parte de la ciudad, durante la época colonial. En 1948 sólo se observa artesianismo en las estaciones piezométricas que se instalaron adyacentes al Lago de Texcoco. Se sabe que por deficiencia en el servicio de agua potable, los propietarios perforaban pozos de aproximadamente 100-mts. de profundidad; esta actividad se hizo más intensa a partir de 1930, pero no hay registro del número y menos aún de los caudales que se extraían excepto algunos casos particulares.

A raíz de retrasos en el acueducto de Lerma, el Departamento del Distrito Federal puso en explotación 50 pozos. No se conoce el caudal de agua extraída; sin embargo el gasto medio en 47 pozos que operaban en 1954, fluctuó de 47 a 54 lts/seg. por pozo y sumaban aproximadamente de 7 - 8 m<sup>3</sup>/seg. Actualmente se extrae por pozos un caudal de 16 m<sup>3</sup>/seg. cifra que es difícil abatir debido a la demanda de agua potable que requiere la población de la ciudad.

La correlación entre el bombeo de agua subterránea y las nivelaciones y mediciones piezométricas, permite concluir que esta explotación es la causa principal del hundimiento.

### 1.2.3. - Efectos del Hundimiento

Se puede afirmar que en la primera fase del fenómeno (1900-1938), -- con una velocidad de hundimiento del orden de 5 cm/año, no era apreciable su ocurrencia. Los efectos fueron alarmantes en la tercera fase, durante la cual el asentamiento anual alcanzó valores de 30 a 80 cm. La velocidad en el presente es menos de 10 cm/año, esto ha hecho nuevamente tolerable la acción del proceso.

Las obras más afectadas por el hundimiento son los conductos de desagüe de aguas residuales. El sistema por gravedad se ha transformado en -- operado totalmente por bombeo, mediante plantas localizadas a lo largo -- de los ríos y canales que atraviesan la ciudad.

Debido al hundimiento, los edificios cimentados sobre pilotes hincados hasta la capa dura, acusan asentamientos diferenciales inducidos por la fricción negativa más intensa en los pilotes de la periferia que en -- los del centro. Además, construcciones contiguas soportadas por zapatas -- o por cimentaciones compensadas, sufren daños y desplomes considerables. -- De ahí el uso actual de pilotes que operan por fricción o los que operan -- con dispositivos de control.

En varias zonas de la ciudad se observa agrietamiento de la superficie; las causas no son conocidas, pero se les atribuye al proceso del hundimiento.

## II. - TIPOS DE CARCAMOS

## II.1. - TIPOS Y OBJETIVO

### Definición:

(1). - Los cárcamos son recipientes destinados a almacenar agua potable, agua residual o cualquier otro fluido, para ser bombeado a un nivel más alto.

(2). - El cárcamo o pozo de succión es la estructura vertical donde se descargan los ductos o albañales y se instalan las bombas para elevar el agua.

Se pueden distinguir dos tipos de cárcamo, de acuerdo con la posición de los equipos de bombeo respecto del nivel del agua por bombear:

**Cárcamo seco.** - Los equipos de bombeo se instalan fuera del agua utilizando una tubería de succión o conductos de succión. Los equipos pueden quedar abajo del nivel del agua del cárcamo, o bien arriba de dicho nivel, en cuyo caso se requiere de dispositivos adicionales para el funcionamiento de los equipos, como puede ser un sistema de cebado.

**Cárcamo húmedo.** - Los equipos de bombeo se instalan dentro del agua, utilizando generalmente equipos de bombeo verticales y motores por arriba, generalmente sobre el piso de operación de la planta de bombeo.

**Ventajas y desventajas de los cárcamos secos:**

- Mayor facilidad de reparación, mantenimiento e inspección de carcasas e impulsores.
- Instalación rígida con menores problemas de vibración y facilidad de atraque de bombas y tubos.
- Las filtraciones y la humedad en el cárcamo seco pueden representar un problema ambiental y requerir de equipo de achique o de tratamiento de fisuras y pasos de agua.
- Generalmente requieren de una superficie horizontal mayor que el cárcamo húmedo, y el costo de la obra civil resulta mayor. Normalmente requieren de techumbre y grúas viajeras.

#### Ventajas y desventajas de los cárcamos húmedos:

- Se pueden operar con mayor amplitud de gastos y cargas.
- Es posible utilizar equipo a intemperie y eliminar grúas viajeras, techumbre y equipo de achique.
- La obra civil es relativamente económica, sobre todo si se recurre a cárcamos circulares, éstos especialmente recomendables en cárcamos profundos y terrenos suaves.
- Generalmente ocupan menor área y el costo total es menor que en el caso de cárcamos secos.

## II.2. - CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

### II.2.1. - Disposición recomendable de los equipos\*.

La disposición de los equipos de bombeo generalmente se realiza en función de la dirección del flujo de agua, siendo recomendable que el eje común de los equipos sea perpendicular a la dirección del flujo, distribuyéndolos en forma uniforme, de modo que el escurrimiento no tenga cambios de dirección (véase figura II.1).

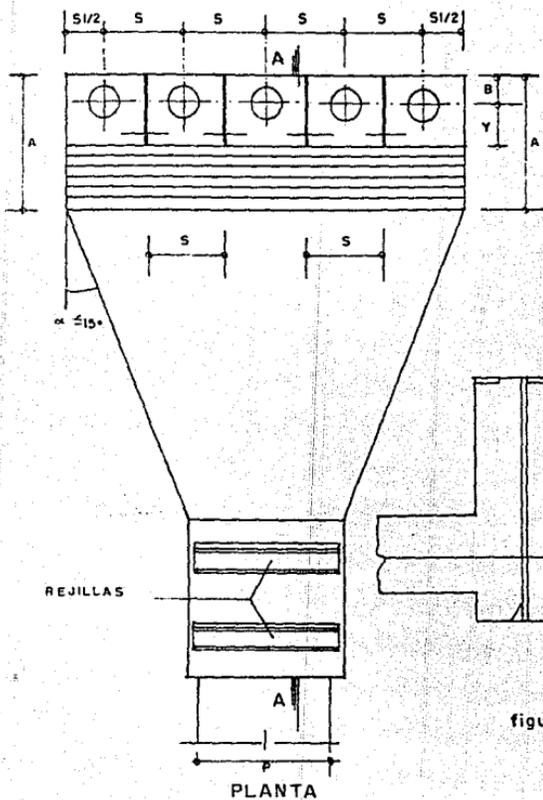
En un cárcamo de planta circular, los equipos de bombeo se colocan sobre el semiperímetro opuesto al de llegada del conducto de alimentación (véase figura II.2). El semiperímetro del lado de llegada sirve de transición.

El flujo de agua deberá tener velocidad igual o menor a la recomendada, ya que no llega al mismo tiempo a todos los equipos. El diseño geométrico del cárcamo consiste principalmente en determinar su diámetro interior.

Cuando se utilizan cárcamos circulares y se quieren instalar más de cinco equipos, los extremos de las tuberías de descarga no podrán tener una trayectoria paralela al flujo, debiéndose diseñar deflexiones para evitar interferencias con los equipos siguientes.

---

\* Recomendaciones del Instituto de Hidráulica de los Estados Unidos -- (H.I.S.)



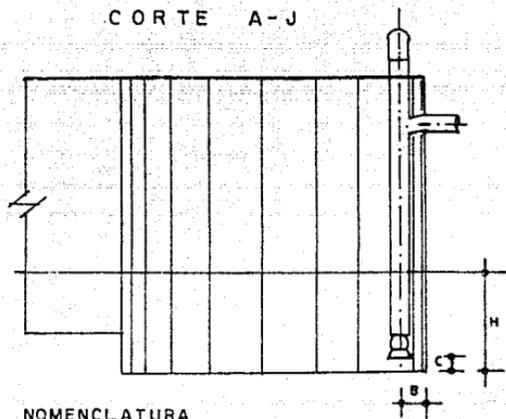
### NOMENCLATURA

- D= DIAMETRO DE LA CAMPANA DE SUCCION
- S= 1.5D o 2.0D
- Y= PUEDE SER TAN GRANDE COMO SE DESEE
- A= " " " " " " " " " "
- B= 0.75D
- C= 0.50D
- H= SUMERGENCIA, (DEPENDE DE EQUIPO DE BOMBEO)
- P= DIAMETRO DE LA ENTRADA

### CORTE A-A

figura III.- ARREGLO CON RECOMENDACIONES DE LAS NORMAS H.I.S.





**NOMENCLATURA**

D= DIAMETRO DE LA CAMPANA DE SUCCION

S= 1.5 D a 2.0 D

B= 0.75 D

C= 0.50 D

H= SUMERGENCIA (DEPENDE DEL EQUIPO DE BOMBEO)

r= S / P

R= r + B

P= 1.33 R

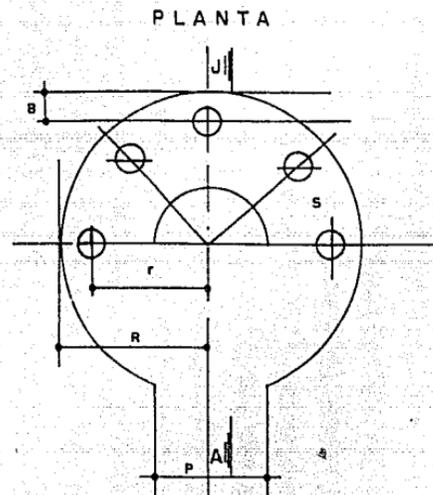


figura 11.2.- ARREGLO DE CARCAMO CIRCULAR DE ACUERDO A LAS RECOMENDACIONES DEL H.I.S.

## II.2. - Recomendaciones de diseño

Los equipos de bombeo trabajan frecuentemente de manera alternada, -- por lo que el conjunto cárcamo-sistema de alcantarillado deberá contar -- con un volumen almacenado de agua a fin de que los equipos trabajen con -- frecuencia menor a la recomendada por los fabricantes.

Las formas en plantas más comunes en los cárcamos son la rectangular, la circular o una combinación de éstas. Para ello es necesario considerar el aspecto constructivo, que depende en gran parte de las construcciones-aledañas y del tipo de suelo.

La forma y dimensiones en planta del cárcamo dependen de la forma y tamaño del terreno donde se ubicará, del número de equipos de bombeo a -- instalar y de su capacidad, por lo que, antes de dimensionarlo, se deberá hacer una selección preliminar del equipo de bombeo a instalar.

La geometría del cárcamo debe ser tal, que el flujo de agua a través de la estructura sea uniforme y distribuido hasta las campanas de succión de los equipos. Deben evitarse distribuciones desiguales del flujo, corrientes locales fuertes, y formación de vórtices y remolinos, ya que originan un funcionamiento deficiente de los equipos.

La velocidad del flujo de agua en el cárcamo debe limitarse a valores de 0.6 m/s.

La forma de un cárcamo debe seleccionarse conjugando dos factores de

primordial importancia: el funcionamiento hidráulico y el procedimiento constructivo. Para el funcionamiento hidráulico se toman las recomendaciones del Instituto de Hidráulica de los Estados Unidos de Norteamérica, que busca que los equipos de bombeo trabajen a su máxima eficiencia. Por lo que respecta al procedimiento constructivo, se tratará en este subcapítulo lo referente a los diferentes procesos constructivos utilizados para la construcción de cárcamos de bombeo.

En virtud de que los cárcamos son estructuras que quedan debajo del nivel del piso de bombas; su profundidad, características del terreno y posición del nivel de aguas freáticas determinan las dificultades constructivas, y éstas, suelen ser definitivas en la búsqueda de la mejor solución.

Para sostener las excavaciones se pueden utilizar medios provisionales o definitivos, de acuerdo con las siguientes razones:

- a). - Los suelos friccionantes no compactos pueden tener un ángulo de fricción interno muy pequeño, y la excavación implicaría remover un volumen muy grande material, así como realizar rellenos grandes después de la construcción.
- b). - Los suelos cohesivos se pueden mantener temporalmente con taludes casi verticales, pero es necesario protegerlos para evitar un desprendimiento repentino.
- c). - El hundimiento del terreno adyacente puede provocar daños a

estructuras cercanas al lugar.

d). -- Cuando la excavación se realiza debajo del nivel de aguas -- freáticas, es más fácil abatir el nivel del agua con una estructura- protectora, lo que reduce considerablemente el área en que debe abatirse el nivel de aguas freáticas.

De acuerdo a lo anterior, se pueden utilizar los diferentes procedimientos de construcción que a continuación se describen:

1. - Excavación a cielo abierto sin protección alguna. Para poder realizar con éxito una excavación por este procedimiento, se deben - cumplir ciertas condiciones, algunas de las cuales se mencionan a -- continuación:

- Las características del suelo deben permitir seguridad con taludes casi verticales, para no incrementar el volumen de excava--- ción.
- La posibilidad de falla de fondo no debe existir y, para ello, - la resistencia al corte del suelo debe ser grande o los taludes- tener suficiente inclinación para evitarla.
- El área del terreno disponible deber ser suficientemente grande- para permitir que la excavación se extienda de acuerdo con la -- magnitud de los taludes.

- La posibilidad de daños a estructuras vecinas debe eliminarse,-- por lo cual los taludes de la excavación no deberán quedar cerca de estructuras existentes para evitar que los movimientos del te rreno puedan dañarlas.
- El terreno deberá soportar las cargas que transmita la losa de - cimentación, evitando asentamientos de gran magnitud o bufiamien- to durante el período de excavación.

Los factores más importantes a considerar en una evaluación económi- ca y en la determinación de las bondades de un procedimiento respecto a - otro, son:

- Volumen adicional de excavación. Como resultado de la inclina- ción natural del terreno.
- Volumen para rellenar. Correspondiente al volumen adicional exca- vado.
- Sistema de abatimiento de agua. Cuando el nivel freático se en- cuentre cerca del piso del terreno y el área de filtración sea - mayor por influencia de los taludes.

2. - Excavación con ademe. Este procedimiento permite reducir el- área por excavar mediante la colocación de ademes que mantengan ver- ticales a las paredes de la excavación, lo que reduce o elimina el - volumen de excavación innecesaria y, con ello, el relleno posterior-

- Costo del ademe y su troquelamiento.
- Incremento del costo de excavación por el uso de los troqueles, los que obligan a trabajar con mayor cuidado y reducir el rendimiento de la maquinaria.

3. - Excavación con tablaestacas provisionales. A diferencia del ademe, en este procedimiento las tablaestacas se hincan antes de iniciar la excavación, troquelando conforme baja según lo indique el proyecto. La profundidad de hincado depende de las características del terreno, pudiendo quedar al mismo nivel de la excavación o a niveles inferiores para evitar la falla de fondo.

El costo de la tablaestaca depende primordialmente a la sección requerida, del número de apuntalamientos necesarios, del material con que se construye, de los troqueles y de los puntales.

Las tablaestacas son comúnmente de madera, acero y concreto.

4. - Excavación con tablaestaca de concreto definitiva. La tablaestaca de concreto pasa a ser parte integrante de la estructura, quedando adosada a los muros colados por procedimientos convencionales. Su función principal es hacer impermeable a la estructura del cárcamo para evitar la contaminación por filtraciones. Esto se logra mediante un buen diseño de la tablaestaca de concreto y un hincado bien ejecutado, para lo cual se integra una mezcla impermeable de cemento-agua o bentonita-cemento-agua, que se coloca en los espacios -

dejados en las uniones entre elementos.

5. - Excavación con muros colados en sitio. Este procedimiento consiste en una excavación en zanja realizada con almeja mecánica, hasta la profundidad requerida y en todo el contorno de la excavación. Esta se estabiliza mediante una mezcla bentonita-agua de mayor densidad que el agua. Al término de la excavación se procede a lavar la bentonita (principalmente cuando se trata de terrenos arenosos), después se colocan las jaulas de refuerzo y se cuela el concreto mediante una trompa de elefante.

Los muros colados en sitio pueden, por sí solos, constituir la estructura del cárcamo o formar parte de ella.

6. - Excavación a base de cajones. Los cajones estructurales de concreto, que se utilizan como protección y ayuda para realizar excavaciones profundas, quedan formando parte de la estructura permanente. Su sección puede ser cuadrada, rectangular, circular o de cualquier forma.

Los cajones se construyen en el lugar simultáneamente con la excavación, por dentro y debajo de la misma. La excavación puede realizarse en presencia de agua o abatiendo el nivel freático, según las condiciones locales, de manera que el cajón se va hundiendo hasta quedar en su lugar.

Cuando se utiliza este procedimiento, el movimiento del terreno se -

reduce a un mínimo, a veces cero, garantizando así que las estructuras cercanas queden protegidas contra posibles movimientos del terreno de desplante.

7. - Excavación a base de congelación. Este procedimiento consiste en instalar un sistema de refrigeración, hincando grandes tuberías alrededor del área por excavar e insertando unas más pequeñas dentro de las grandes. Estas se conectan a un circuito cerrado en el que circula agua salobre fría, hacia abajo por las tuberías pequeñas; y hacia arriba por las grandes. Esto origina que el terreno, alrededor de los tubos, se congele.

En el capítulo IV, se hace referencia a la excavación de cárcamos -- utilizando el método de flotación en suelos arcillosos.

### II.3 ESTRUCTURACION

La estructura de los cárcamos se puede dividir en piso de operación, muros y losa de fondo, los que a continuación se describen:

#### Piso de operación

Esta parte constituye la cubierta superior del cárcamo, de la misma manera que la sección elegida para el último. La cubierta puede estructurarse a base de losa plana, losa nervurada y hasta losas plegadas y las tradas, cuando el peso del material excavado sea mayor que el de la estructura.

La principal función del piso de operación es soportar a los equipos de bombeo, al quedar suspendidos de la estructura del piso de operación.

Los equipos de bombeo verticales para cárcamo húmedo vienen suministrados de fábrica con una placa base perforada que permite su sujeción mediante tornillos a la losa de apoyo y facilita su desmontaje en caso de reparación. Cuando los equipos son de descarga bajo superficie, se utiliza un brocal para el apoyo de la placa base, el cual se dimensiona de manera que el codo de descarga pase con holgura. Cuando los equipos de bombeo son de descarga sobre la superficie, el brocal puede ser circular con el diámetro suficiente para que pasen todas las secciones de la bomba (comúnmente mayor que el de la campana de succión, por ser la parte de mayores dimensiones).

Para apoyar un equipo de bombeo se puede también utilizar un marco formado por elementos estructurales de acero; generalmente viguetas o canales, que deberá maquinarse para recibir la placa de apoyo de la bomba.

Sobre la superficie de la losa del piso de operación, se deberán localizar adecuadamente aberturas de ventilación, a fin de permitir la salida de los gases que se desprenden del agua residual. Estas aberturas deberán quedar cubiertas con rejillas del tipo Irving o similares para prevenir accidentes.

#### Muros

Su función es transmitir las cargas resultantes del piso de operación y resistir los empujes del terreno y agua freática. Los muros que trabajan de manera más eficiente son los que se utilizan en cárcamos circulares. En los rectangulares generalmente se tienen dos muros largos y dos cortos.

La estructuración que se elija en los muros deberá tomar en cuenta las cargas enviadas a la cimentación, a fin de aligerar dichos elementos o incrementar en forma razonable el peso de los mismos.

#### **Losa de fondo**

La losa de fondo o de cimentación del cárcamo transmite al terreno las cargas de toda la estructura, tiene la forma de su sección transversal, y es horizontal en toda su extensión o con desniveles en la zona de equipos de bombeo.

La losa de fondo deberá formar una estructura continua con los muros y ser estanca, con objeto de que las aguas negras no se infiltren en el terreno, o que las aguas freáticas penetren al interior del cárcamo.

### **II.3.1. - Solicitaciones**

#### **Piso de operación**

Las cargas a que se verá sometida la estructura del piso de operación son: carga muerta, cargas vivas de diseño y cargas transitorias du-

rante el montaje de los equipos de bombeo, como serían el peso de los --- vehículos o equipo y el peso de almacenamiento de materiales.

Las cargas vivas para el piso de operación deberán ser, como mínimo, de  $350 \text{ kg/m}^2$ . Las cargas transitorias durante el montaje, se deberán al almacenamiento de los motores eléctricos para los equipos de bombeo y su peso dependerá de su capacidad.

### Muros

La principal función de los muros es detener el suelo, y transmitir las descargas del piso de operación a la losa de fondo.

El terreno situado detrás de los muros provoca presiones laterales - que dependen de la profundidad del muro, del peso volumétrico del suelo y del tipo de terreno. Esto se traduce en el valor del coeficiente de presión lateral, de acuerdo al ángulo de fricción interna cuando son suelos granulares o de la cohesión, cuando son cohesivos.

Además de la presión del terreno, existe la posibilidad de que actúe la presión hidrostática del agua.

Las sobrecargas sobre el terreno deberán considerar el almacenamiento de materiales para construcción, el equipo de construcción, las sobrecargas de estructuras vecinas, etc., que podrán actuar sólo durante la -- construcción o durante la vida útil de la estructura.

El cálculo de la presión activa sobre los muros se puede obtener con la expresión siguiente:

$$p_{ai} = \gamma' s \quad H_i \quad K_{ai} - 2 \quad C_i \quad (k_{ai})^{\frac{1}{2}}$$

donde:

$p_{ai}$  = Presión activa en  $i$ , en  $\text{ton/m}^2$

$\gamma' s$  = Peso volumétrico del suelo, en  $\text{ton/m}^3$

$H_i$  = Profundidad, en m

$K_{ai}$  = Coeficiente de empuje en  $i$ , adimensional

$C_i$  = Cohesión en el estrato  $i$ , en  $\text{ton/m}^2$

La ecuación anterior permite tomar en cuenta si el terreno se encuentra sumergido y a la sobrecarga, cuando la haya.

Con la expresión anterior se pueden calcular las presiones activas en cualquier punto de la altura del muro.

#### **Losa de fondo**

La losa de fondo puede tener varias condiciones de carga, según la magnitud de las que envíe la estructura al suelo, la variación del nivel del agua en el interior del cárcamo, la necesidad de soportar o no toda la subpresión cuando el cárcamo se mantenga seco (generalmente durante el periodo de construcción).

Cuando se utilizan cárcamos cilindricos, con la losa de fondo parcial o totalmente bajo el agua, y con o sin acero de refuerzo, se recomienda - analizarla como losa simplemente apoyada y su espesor se puede calcular - con alguna de las siguientes expresiones:

$$t = \left[ \frac{6 q R_c^2}{8 f c} \right]^{1/2}$$

Cuando el extremo está empotrado.

$$t = \left[ \frac{3 q R_c^2 (3 + u)}{8 f c} \right]^{1/2}$$

Cuando el extremo está simplemente apoyado.

donde:

- q = Presión de contacto del suelo e hidrostrática, en  $\text{kg/m}^2$
- t = Espesor de la losa, en m
- fc = Esfuerzo permisible del concreto, en  $\text{kg/cm}^2$
- u = Relación de Poisson, sin dimensiones
- Rc = Radio del cajón circular, en m.

#### II.4. - CIMENTACIONES

La cimentación de los cajones puede adoptar diferentes tipos, de -- acuerdo a la carga transmitida neta al terreno, como sigue:

- a). - Cimentación totalmente compensada. La carga neta transmitida al subsuelo es igual a cero, ya que se excava un volumen de terreno con peso igual al de la estructura.

b). - Cimentación parcialmente compensada. La carga neta transmitida al subsuelo es una fracción del peso de la estructura, y los asentamientos se deberán calcular con dicha carga para compararlos con los permisibles.

c). - Cimentación sobrecompensada. El peso del terreno excavado es mayor que el de la estructura, y las presiones efectivas del terreno sufren decrementos.

Cuando no se tenga capacidad de terreno suficiente o cuando los asentamientos esperados sean mayores a los permisibles, se puede optar por aumentar la dimensión de la losa, profundizar el cárcamo o utilizar una cimentación mediante pilotes de fricción o de punta, de acuerdo a la zona donde se localice el cárcamo.

En el tipo de cimentación sobrecompensada deberán calcularse las expansiones inmediatas y posteriores, que se presentan por efecto del decremento de los esfuerzos efectivos del subsuelo. para ello será necesario contar con las curvas de compresibilidad de los estratos del subsuelo.

#### II.4.1. - Solicitaciones

Las más importantes en la cimentación de los cárcamos son:

##### Descargas

Son las solicitaciones que transmite el piso de operación y están --

compuestas por la carga viva y los pesos de la losa, de los equipos, de los muros de contención y de la losa de fondo.

### **Subpresión**

Es la fuerza producida por la presión de las aguas freáticas que trata de levantar la estructura. En su cálculo se deberá tomar en cuenta el nivel de aguas freáticas y de las aguas negras en el interior del cárcamo. Durante un periodo corto de tiempo, es posible que el cárcamo deba mantenerse seco, actuando la subpresión plenamente durante ese lapso. Esto puede llegar a ser una condición crítica cuando la subpresión sea grande y la cimentación sobrecompensada.

### **Sismo**

Su acción es principalmente sobre los muros de contención y se traduce en un incremento de los empujes del terreno sobre los mismos.

## **II.5. - ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS**

### **II.5.1. - Equipo de bombeo**

Las bombas generalmente usadas para manejar aguas negras se describen a continuación, así como sus características de construcción y operación:

Se clasifican en tres grupos principales que son:

- a). - Bombas centrífugas
- b). - Bombas de desplazamiento positivo y
- c). - Bombas especiales.

Las bombas centrífugas a su vez se subdividen en:

1). - Bombas de flujo radial, en las que la carga es desarrollada por la acción de la fuerza centrífuga. Las bombas de este tipo se pueden obtener de succión simple o doble. El flujo deja el impulsor radialmente y normal al eje de la flecha. La mayoría de todas las bombas instaladas son de este tipo, y se pueden obtener en casi cualquier rango de carga y capacidad. Las bombas centrífugas se caracterizan por su velocidad específica relativamente baja, usualmente bajo 4200 r.p.m. para las de succión simple y bajo 6000 r.p.m. para las de doble succión.

Las bombas usadas normalmente para manejar aguas negras son del tipo voluta de succión simple, provistas de impulsores inatascables. Generalmente las bombas para aguas negras se pueden desarmar con facilidad para su limpieza.

Las bombas inatascables tienen amplios pasajes abiertos y un número mínimo de vanos que no exceden de 2, en las pequeñas, y 3 ó a lo más 4, - en las grandes.

Una bomba para servicio de aguas negras, con diámetro de la abertura

de descarga de 10 cm. (4 pulgadas), normalmente debe ser capaz de pasar una esfera de 7.5 cm (3 pulgadas) de diámetro, una bomba de 20 cm (8 pulgadas) pasa esferas de 10 cm (4 pulgadas), y hasta 20 cm o más, dependiendo del diseño. Las bombas inatascables de menos de 10 cm (4 pulgadas) de diámetro no deben ser usadas en plantas de bombeo municipales que manejan aguas negras en bruto.

2). - Bombas de flujo mixto. - En estas bombas la carga se desarrolla, parte por la fuerza centrífuga y parte por la elevación del líquido, por los vanos del impulsor. Este tipo de bombas tiene una sola entrada al impulsor, entrando el flujo axialmente y descargando en direcciones axial y radial usualmente en un tazón de tipo voluta. Estas unidades se aplican para cargas medias de 7.6 a 15 m (25 a 50 pies) y para capacidades de medianas a grandes.

Las bombas de flujo mixto caen en el rango medio de velocidades específicas, usualmente entre 4200 y 9000 r.p.m. Generalmente requieren sujeción positiva; sin embargo, seleccionando apropiadamente la velocidad de rotación, se pueden usar para aplicaciones con elevación de succión limitada.

Conforme la velocidad específica de estas bombas se incrementa, sus características se hacen similares a las de las bombas de flujo axial. Los impulsores de flujo mixto pueden ser instalados tanto en tazones de tipo voluta en cuyo caso se designan como bombas de voluta de flujo mixto, como en tazones de tipo difusor similares a las bombas de propela en cuyo caso se designan como bombas de propela de flujo mixto.

Las bombas de voluta de flujo mixto son adecuadas para bombear agua-negra bruta, especialmente en el rango de velocidades específicas entre 4000 y 6000 r.p.m. Se obtienen en tamaños desde 20 cm (8 pulgadas) y para cargas hasta de 15 a 18 m (50 a 60 pies). Operan a mayores velocidades que las bombas inatascales, y son de construcción ligera y donde se pueden aplicar cuestan menos que las correspondientes bombas inatascales.

El tamaño de la esfera que una bomba de voluta de flujo mixto pueda pasar es mucho menor que la que puede manejar una inatascale del mismo tamaño, pero la de 20 cm (8 pulgadas) puede pasar una esfera de 7.5 cm (3 pulgadas) de diámetro. Los impulsores pueden ser del tipo abierto o cerrado, pero se prefiere el tipo cerrado.

3). - Bombas de flujo axial. Las bombas de flujo axial o de hélice desarrollan la mayoría de la carga por la acción de impulsión o elevación de los vanos del impulsor sobre el líquido. Se caracterizan por un impulsor de entrada simple con el flujo entrando axialmente y saliendo casi axial en un tazón con guías. Se usan para grandes instalaciones de baja carga y capacidades grandes de 630 l/seg (10000 g.p.m.) y cargas de menos de 9 m (30 pies). Tienen velocidades específicas de 8000 y 16000 r.p.m. Deben tener sumergencia positiva.

b). - Bombas de desplazamiento positivo.

Las bombas de fuerza de tipo recíprocante de émbolo o pistón se usan comúnmente para transferir lodos de los sedimentadores primarios a los tanques de digestión y de un digestor a otro en plantas de tratamiento de

aguas negras. Bombas rotatorias de cavidad progresiva se han usado para manejar lodos concentrados particularmente pesados.

Las bombas rotatorias del tipo de engranes se usan en sistemas de lubricación de equipos de las plantas de aguas negras, tales como motores y ventiladores.

c). - Bombas especiales

Las bombas especiales que tienen varias aplicaciones incluyen:

- 1). - Eyectores neumáticos
- 2). - Bombas de flujo por impulsión rotatoria
- 3). - Bombas de Tornillo
- 4). - Elevadores neumáticos de aire y bombas jet.

1). - Un eyector neumático consiste esencialmente de un tanque cerrado al que fluye el agua negra por gravedad hasta alcanzar un cierto nivel, en el que se inyecta aire a presión para descargar el líquido del tanque.

En la entrada y salida tiene válvulas check, para asegurar que el flujo solo vaya en un sentido. En instalaciones municipales deben ser unidades dobles para asegurar la continuidad del servicio.

Los eyectores neumáticos son económicos para flujos hasta de 18.93 l/seg. (300 g.p.m.). Para gastos mayores es recomendable usar bombas centrifugas inatascables para aguas negras.

Las ventajas de los eyectores neumáticos son:

- a). - El agua queda totalmente encerrada y por lo tanto no escapan gases nocivos.
- b). - Operan automáticamente y sólo cuando se necesita.
- c). - Las relativamente pocas partes móviles en contacto con el agua negra, requieren poca atención o lubricación.
- d). - No se atascan fácilmente. Su desventaja más importante es que sólo tiene una eficiencia del 15%.

2). - Las bombas de flujo por impulsión rotatoria o vórtice fueron desarrolladas para el manejo de materia sólida, tienen un impulsor semi-- cerrado de una sola cubierta, en la cual están deprimidas las aspas completamente fuera de la corriente del flujo, haciendo a la unidad única en su género inatascable. Donde se han instalado estas bombas, prácticamente no se han atascado; mientras que las bombas inatascables ordinarias se -- atascan repentinamente.

3). - Bombas de tornillo de Arquímedes. La elevación de agua por medio de espirales rotatorias ha sido atribuido a Arquímedes. Refinamientos de la tecnología moderna de diseño mecánico y construcción, han avanzado este concepto original de un simple medio de elevar el agua, a una bomba altamente sofisticada.

La bomba de tornillo es eficiente y de gran capacidad, que se puede usar para gran número de aplicaciones como:

- Plantas de bombeo de aguas negras crudas.
- Retorno de lodos activados en plantas de tratamiento de aguas -- negras.
- Bombeo de agua de lluvia.
- Bombeo de objetos flotantes como pedazos de madera o plástico.

Sus ventajas sobre otras bombas son:

- No requieren rejillas a la entrada.
- Bombea cantidades variables a velocidad constante. Es decir puede bombear las cantidades de líquido recibido automáticamente -- sin cambiar la velocidad ni el almacenamiento.
- Opera a baja velocidad. La velocidad de rotación puede variar -- de 20 a 75 r.p.m. dependiendo de la capacidad y del diámetro. -- Las bajas velocidades aumentan la vida de los rodamientos.
- Son inatascables. El líquido pasa por grandes aberturas entre -- el eje y la aleta. No tienen espas, flechas, impulsores, válvulas o tubos en curva donde puedan alojarse sólidos que obstruyan

su flujo.

- Bajo costo de instalación: En cárcamos, tubería, válvulas en entrada y descarga, y equipo eléctrico de control.
- Libre de mantenimiento: Sólo necesita lubricación en el rodamiento inferior.
- Eficiencia de más de 75% a plena capacidad.

4).- Los elevadores neumáticos son usados algunas veces en plantas de tratamiento de aguas negras para recirculación de lodos, en el proceso de lodos activados. Las bombas jet se usan ocasionalmente para cebar bombas centrífugas.

#### 11.5.2. - Tubería y válvulas

Los tubos de succión, descarga y colectores de la planta deben tener el tamaño suficiente para manejar el gasto adecuadamente.

El tamaño más apropiado es generalmente el más económico. Ordinariamente el tamaño del tubo es tal que la velocidad en la línea de succión no exceda 1.5 m/seg. (5 pies/seg.), y en el tubo de descarga 2.4 m/seg (8 pies/seg.)

Se deben poner válvulas en la succión y en la descarga de cada bomba para poderle dar mantenimiento, a menos que la descarga sea muy corta, --

en cuyo caso se podrían suprimir una o las dos válvulas.

Las válvulas check se deben instalar de tal manera que sean accesibles para la limpieza sin quitarlas y deben instalarse en tramos horizontales. Estas válvulas deben ser del tipo de brazo externo, resorte o con trapeso, y de preferencia de cierre lento, amortiguado, para eliminar el golpe de ariete.

Las reducciones o ampliaciones del lado de la succión deben ser excéntricos e instalarse con el lado recto hacia arriba para evitar que quede atrapado aire en el lado de la succión.

Las válvulas de compuerta deben ser de cuña sólida y vástago móvil.

Cada bomba debe tener su propio tubo de succión del cárcamo y colocado de tal modo que puede ser desarmado rápida y fácilmente para su limpieza. La flexibilidad es esencial en tubería bridada, lo cual se obtiene mediante juntas de campana, coples flexibles u otro tipo de juntas que absorben desviaciones.

Las piezas especiales y tubería bridada no se deben ahogar en concreto, ni en pisos y paredes.

Se deben poner ganchos y soportes para la tubería y proporcionar los atraques necesarios principalmente donde haya juntas flexibles.

En las partes bajas de las tuberías se deben poner válvulas de drenaje.

je y, en los puntos altos, válvulas expulsoras de aire.

En grandes plantas elevadoras o en plantas de tratamiento de aguas-- negras, donde la elevación de la superficie del agua en la descarga no es muy grande, se les puede poner a las bombas tuberías individuales de descarga, sin válvulas o sifones con válvulas rompedoras de vacío, para evitar flujo inverso.

### II.5.3. - Descarga

La descarga de una planta de bombeo de aguas negras, puede ser un -- colector de gravedad, un canal, una planta de tratamiento de aguas negras o a una tubería de presión, y, en este caso, la descarga puede ser directa (usando válvulas) o por medio de una torre para dar la carga necesaria, en cuyo caso podrían eliminar las válvulas de la descarga de las bombas.

### **CAPITULO III. - CONSIDERACIONES DEL PROYECTO**

## III.1. - CONSIDERACIONES EN LA PLANEACION

## III.1.1. - Problemática

Dentro de la ciudad de México existe una zona especialmente conflictiva, en el aspecto de drenaje, que corresponde al área de Iztapalapa, -- ubicada al oriente de la ciudad.

Esta zona está delimitada: al norte por la calzada Ignacio Zaragoza, al sur por los canales Nacional y Chalco, al este por las colonias Santa María Astahuacan y Xalpa y al oeste por el Río Churubusco.

Gran parte de la zona de Iztapalapa tiene pendientes de terreno muy-bajas y la única estructura para su drenaje es el Río Churubusco, el cual se encuentra alejado del área urbana de Iztapalapa. Esta situación ha -- propiciado continuos problemas de insuficiencia en los colectores existentes en esa zona.

Para solucionar estos problemas, el Departamento del Distrito Federal (D.D.F.), propuso en primera instancia, la construcción de un colector semiprofundo por las avenidas canal de Tezontle y FF. CC. de Río Frío, que captaría a los colectores Indeco, Canal de San Juan y Ejército de -- Oriente, con lo cual se aliviarían los sistemas de drenaje Indeco e Iztapalapa 2, localizadas al oriente de la ciudad.

El túnel semiprofundo tendría un recorrido, de oriente a poniente, -- desde la Av. Canal de San Juan hasta la unidad deportiva Magdalena Mixhu-

ca, en donde se ubicaría una planta de bombeo para captar el agua del colector y descargarla hacia el Río Churubusco (véase figura III.1).

Por razones diversas, el D.D.F., propuso cambiar el trazo del colector semiprofundo por las avenidas Marcelino Buendía y Eje Vial 5 Sur, con un recorrido de oriente a poniente, desde canal de San Juan hasta la planta de bombeo Central de Abasto, localizada en la confluencia del Río Churubusco y el Eje Vial 4.

En este sitio se ubicaría una planta de bombeo que evacuaría las aguas negras y pluviales del colector semiprofundo al Río Churubusco (véase figura III.2).

La nueva localización del colector semiprofundo tendría la ventaja de poder utilizarse para drenar las instalaciones de la nueva Central de Abasto.

El funcionamiento de este colector sería similar al propuesto inicialmente, ya que aliviaría también los sistemas Indeco e Iztapalapa 2, a través de la captación de los colectores Ejército de Oriente y Canal de San Juan.

Debido a restricciones presupuestales, y con objeto de tener el máximo beneficio desde el punto de vista hidráulico, se pensó dividir la construcción del semiprofundo en tres etapas:

Primera etapa. - Comprende la construcción de la planta de bombeo "Central de Abasto II" y 500 m de túnel semiprofundo. Durante esta eta-

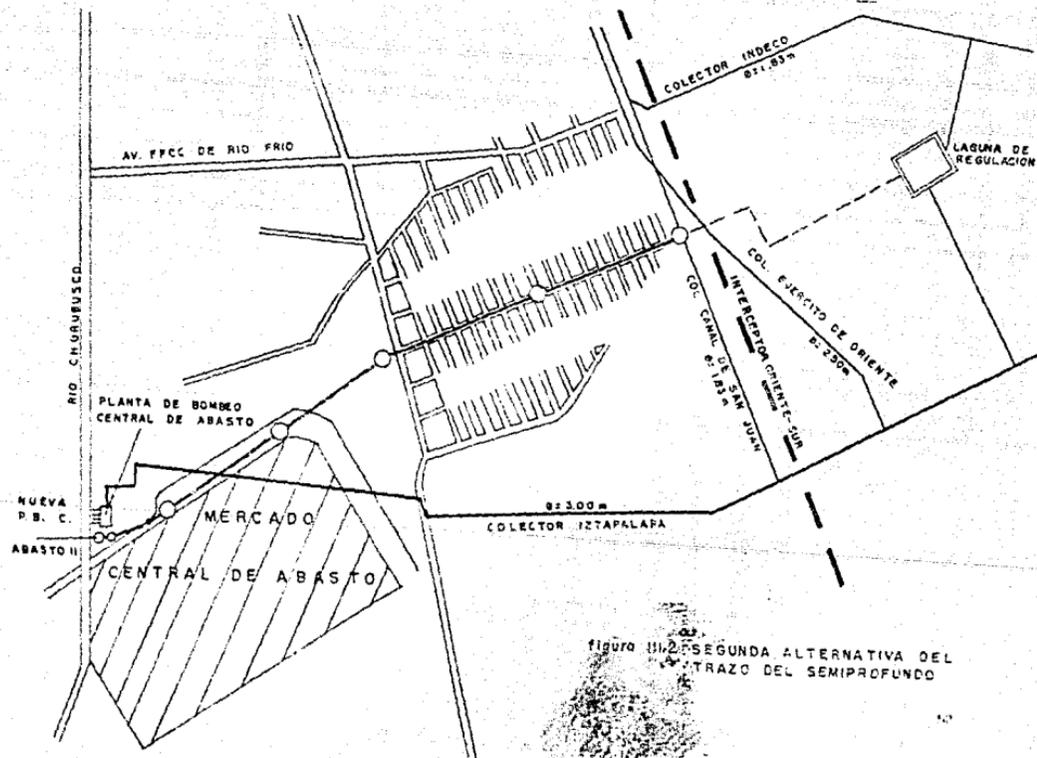


figura 11.2 SEGUNDA ALTERNATIVA DEL  
 TRAZO DEL SEMIPROFUNDO

Se puede afirmar que en la primera fase del fenómeno (1900-1938), -- con una velocidad de hundimiento del orden de 5 cm/año, no era apreciable su ocurrencia. Los efectos fueron alarmantes en la tercera fase, durante la cual el asentamiento anual alcanzó valores de 30 a 80 cm. La velocidad en el presente es menos de 10 cm/año, esto ha hecho nuevamente tolerable la acción del proceso.

Las obras más afectadas por el hundimiento son los conductos de desagüe de aguas residuales. El sistema por gravedad se ha transformado en -- operado totalmente por bombeo, mediante plantas localizadas a lo largo -- de los ríos y canales que atraviesan la ciudad.

Debido al hundimiento, los edificios cimentados sobre pilotes hincados hasta la capa dura, acusan asentamientos diferenciales inducidos por la fricción negativa más intensa en los pilotes de la periferia que en -- los del centro. Además, construcciones contiguas soportadas por zapatas -- o por cimentaciones compensadas, sufren daños y desplomes considerables. -- De ahí el uso actual de pilotes que operan por fricción o los que operan -- con dispositivos de control.

En varias zonas de la ciudad se observa agrietamiento de la superficie; las causas no son conocidas, pero se les atribuye al proceso del hundimiento.

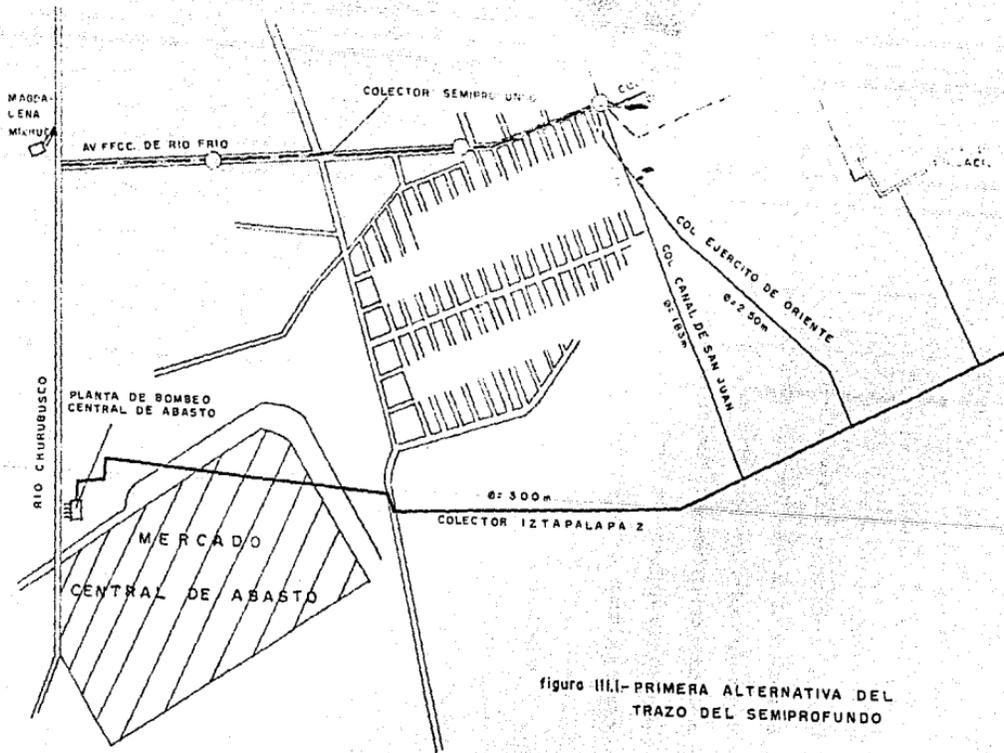


figura III.1.- PRIMERA ALTERNATIVA DEL TRAZO DEL SEMIPROFUNDO

Con base en las ideas del Dr. Nabor Carrillo se investigó la historia del bombeo de aguas subterráneas en la Ciudad de México. Los datos de perforistas que trabajaron a principios del siglo, indican que a 50 mts. de profundidad los estratos permeables eran artesianos, en zonas circundantes a la antigua área urbana; esta condición es posible que prevaleciera aún en esta parte de la ciudad, durante la época colonial. En 1948 sólo se observa artesianismo en las estaciones piezométricas que se instalaron adyacentes al Lago de Texcoco. Se sabe que por deficiencia en el servicio de agua potable, los propietarios perforaban pozos de aproximadamente 100- mts. de profundidad; esta actividad se hizo más intensa a partir de 1930, pero no hay registro del número y menos aún de los caudales que se extraían excepto algunos casos particulares.

A raíz de retrasos en el acueducto de Lerma, el Departamento del Distrito Federal puso en explotación 50 pozos. No se conoce el caudal de agua extraída; sin embargo el gasto medio en 47 pozos que operaban en 1954, fluctuó de 47 a 54 lts/seg. por pozo y sumaban aproximadamente de 7 - 8 m<sup>3</sup>/seg. Actualmente se extrae por pozos un caudal de 16 m<sup>3</sup>/seg. cifra que es difícil abatir debido a la demanda de agua potable que requiere la población de la ciudad.

La correlación entre el bombeo de agua subterránea y las nivelaciones y mediciones piezométricas, permite concluir que esta explotación es la causa principal del hundimiento.

### 1.2.3. - Efectos del Hundimiento

pa, la planta de bombeo drenaría únicamente una parte del área total de las instalaciones de la nueva Central de Abastos (donde se generarían aproximadamente  $2 \text{ m}^3/\text{seg}$ ). La parte complementaria de la superficie de la Central de Abasto, que generaría un gasto aproximado de  $1.8 \text{ m}^3/\text{seg}$ , se aliviaría a través del colector existente Iztapalapa 2.

**Segunda etapa.** - Consiste en prolongar el túnel semiprofundo a una distancia aproximada de 3 km hasta la avenida Canal de San Juan, en donde se captarían los colectores existentes, Canal de San Juan y Ejército de Oriente, y en consecuencia se aliviaría el sistema de Iztapalapa 2.

**Tercera etapa.** - En esta etapa se prolongaría aún más hacia el oriente, el colector semiprofundo, hasta la laguna de regulación existente en el área de los tiraderos localizados en Santa Cruz Meyehualco; esto permitirá desaguar dicha laguna de regulación y aliviar al sistema Iztapalapa 2 en otro punto.

Se considera que posiblemente, cuando se inicie la tercera etapa, ya se contará con el interceptor Oriente-Sur del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, el cual se localizaría por la Av. Canal de San Juan. Bajo estas circunstancias, el colector semiprofundo Central de Abasto podría ser aliviado mediante una estructura de control a través del mencionado interceptor, lo cual traería como consecuencia una mayor flexibilidad en la operación del drenaje de la zona y, por lo tanto, un incremento en la capacidad de manejo de aguas pluviales con las estructu-

ras existentes en esa etapa. En efecto, la nueva planta de bombeo podría seguir manejando las aguas provenientes de los colectores Canal de San Juan y Ejército de Oriente; mientras que los volúmenes de aguas negras y pluviales que se generen en el extremo oriente del sistema de drenaje Iztapalapa 2, incluyendo la zona de Santa Cruz Meyehualco y las descargas de la Laguna de regulación existentes, podrían derivarse hacia el Drenaje Profundo, a través del Interceptor Oriente-Sur.

### III.1.2. - Descripción de la Nueva Planta de Bombeo.

Como resultado del análisis se obtuvieron las profundidades requeridas y los gastos máximos que podría conducir el túnel semiprofundo hacia la nueva planta de bombeo. Adicionalmente se propusieron diferentes alternativas para la concepción de la planta de bombeo; estudiándose, en cada caso, sus problemas constructivos. Como resultado de esto, se determinó que la planta de bombeo debía tener una capacidad de  $20 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

Se consideró que el funcionamiento de las dos plantas de bombeo de la Central de Abasto, la existente y la nueva, sea independiente, es decir, no existirá conexión entre los cárcamos de bombeo. Lo anterior tiene por objeto utilizar hasta donde sea posible la infraestructura actual para drenar la zona oriente de la ciudad. La planta existente Central de Abasto cuenta con una capacidad instalada de  $13 \text{ m}^3/\text{seg}$ ; sin embargo, en época de lluvias se maneja un gasto del orden de 6 a  $8 \text{ m}^3/\text{seg}$ , debido a la pérdida de capacidad que ha sufrido el colector Iztapalapa 2, por los hundimientos regionales. Esto último ha motivado la disminución de la --

pendiente del conducto, obligándolo a que trabaje por gradiente hidráulico y bajo carga permanente, aún en época de estiaje.

Con las dos plantas en operación se dispondría de una capacidad instalada del orden de 26 a 28 m<sup>3</sup>/seg; la planta existente se utilizaría para drenar el área cercana a la misma y la nueva se dejaría para drenar las áreas más alejadas de la parte oriente del sistema de drenaje Iztapalapa 2.

Por otra parte, debido al tipo de subsuelo que se tiene en toda la zona oriente de la ciudad de México, fue necesario estudiar diferentes alternativas de construcción para la nueva planta de bombeo Central de Abasco II.

Se llegó a la conclusión de que la mejor manera de realizarla era a base de lumbreras. Partiendo de esto se analizaron cuatro alternativas que se describen a continuación:

Primera. - El sistema consta de cinco lumbreras cárcamo, de 12.50 m de diámetro cada una, las cuales estarían conectadas entre sí por túneles de 3 m de diámetro y 6.25 m de longitud. La capacidad instalada es de 20 m<sup>3</sup>/seg.

La vista en planta de esta alternativa es semejante a un pentágono y por la circulación del flujo se observa que las bombas ubicadas en las lumbreras más cercanas a la llegada del túnel, trabajarán más que las que están en las dos lumbreras más alejadas a la llegada (véase figura III.3 a).

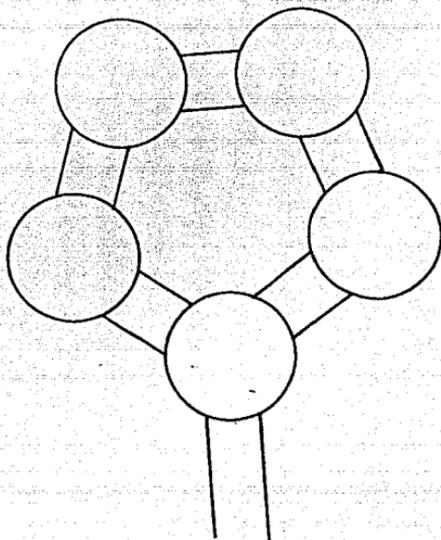


figura III.3 (a)

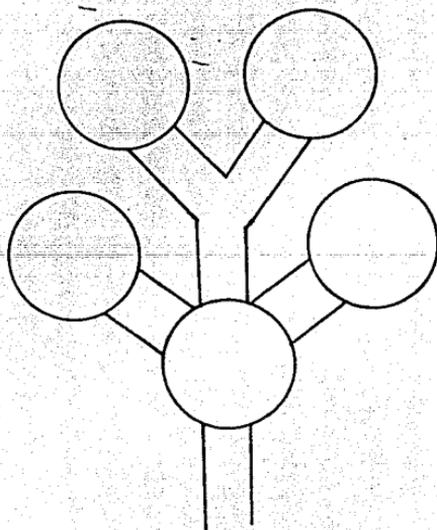


figura III.(b)

Si bien es cierto que en una primera etapa la planta no estará trabajando a toda su capacidad y el problema anterior será mínimo, cuando se tenga la operación con la capacidad total, el trabajo que desarrollarán unas bombas será mayor que otras.

Segunda alternativa. - Esta consiste en la interconexión de las lumbreras cárcamo (véase figura III.3 b); sin embargo, estas dos alternativas anteriores se desecharon por problemas de espacio, ya que faltaría ubicar un tanque de traspaleo y la casa de máquinas.

Tercera alternativa. - Se consideraron diferentes diámetros de las lumbreras tomando en cuenta el espacio mínimo requerido para la capacidad instalada de bombeo, consiste en lo siguiente:

- Una lumbrera de 12.50 m de diámetro, para alojar dos pares de rejillas y captar el colector proveniente del mercado Central de Abasto.
- Una lumbrera cárcamo de 18 m de diámetro; en esta se instalarían 12 bombas con una capacidad de  $2 \text{ m}^3/\text{seg}$  cada una (véase figura III.4).

Esta alternativa se descartó, ya que el diámetro máximo con el que puede construirse una lumbrera sin problemas es de 15 m; por otra parte, se observó que el gasto más desfavorable (en época de lluvias) que podrán aportar los colectores Canal de San Juan y Ejército de Oriente, aliviados por el colector semiprofundo, sería de  $20 \text{ m}^3/\text{seg}$ , razón por la cual se --

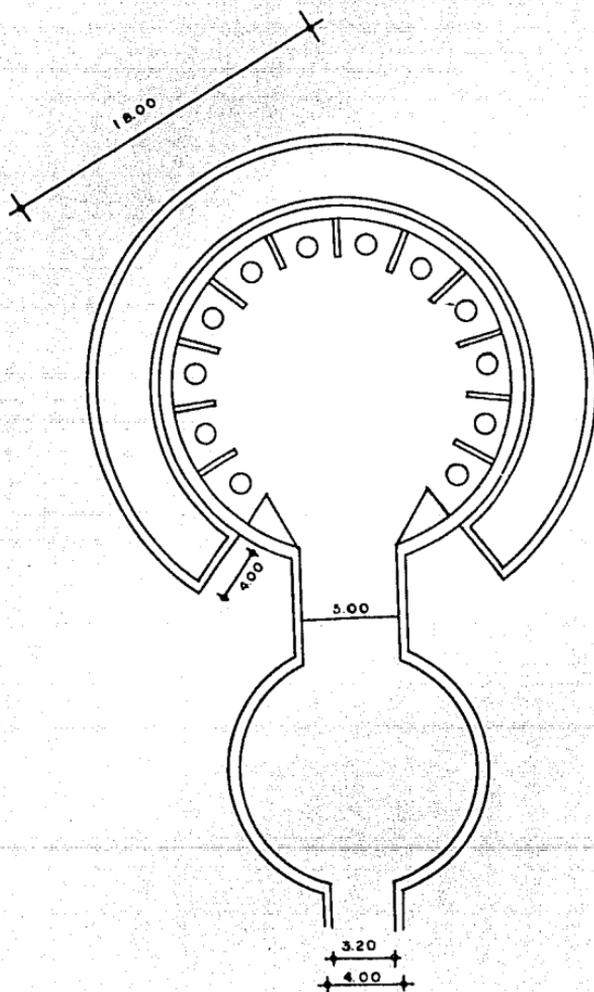


figura III.4

decidió variar la capacidad instalada de la planta a este valor.

Cuarta alternativa. - Tomando en cuenta lo anterior se llegó a esta alternativa final, que se describe a continuación:

Básicamente consta de dos lumbreras, conectadas por un túnel de 4 m de longitud y 4.60 m de diámetro, y un cárcamo de traspaleo semicircular.

La primera lumbrera tiene una profundidad de 13.50 m aproximadamente y un diámetro interior de 12.50 m. El diámetro de esta lumbrera obedece fundamentalmente a lo siguiente:

A partir de la lumbrera, se inicia la construcción del colector semiprofundo Central de Abasto en sus primeros 500 m de acuerdo a lo contemplado en la primera etapa constructiva, por lo cual era necesario tener el espacio suficiente para bajar el escudo sin problemas.

El objetivo posterior de esta lumbrera es el de alojar dos pares de rejillas para detener la basura de las aguas provenientes del colector semiprofundo; estas rejillas son de 3 m de largo por 4.60 de alto.

La separación entre barras es de 0.05 m (2.5") y están ubicadas perpendicularmente al sentido del flujo.

Esta lumbrera servirá también para captar un colector de 2.44 m de diámetro, proveniente del mercado Central de Abasto, el cual lleva consigo las aguas drenadas ( $2 \text{ m}^3/\text{seg}$ ) de una parte del mercado.

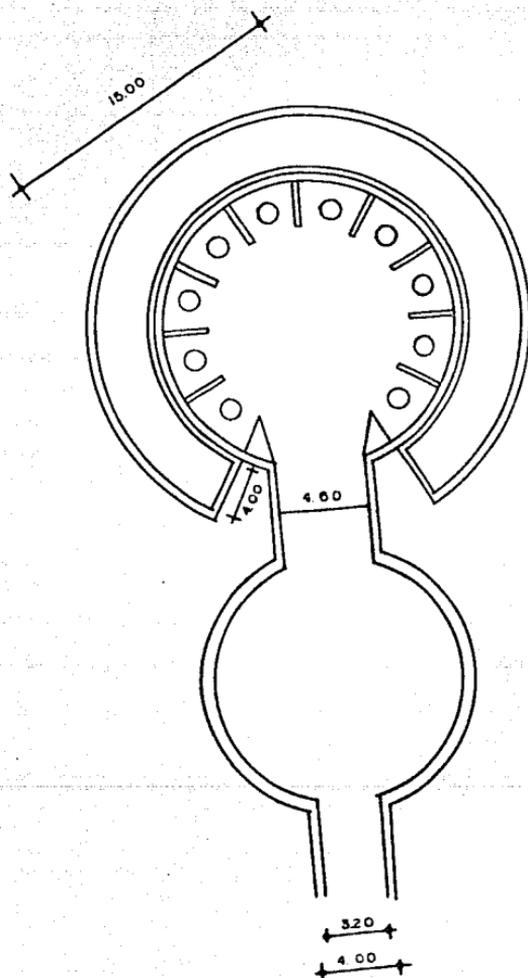


figura III.5

La segunda lumbrera, se utilizará como cárcamo de bombeo y tendrá una profundidad de 18 m y un diámetro interior de 15 m.

Este cárcamo alojará diez bombas de  $2 \text{ m}^3/\text{seg}$  alrededor de su circunferencia y estas elevarán el agua hasta el tanque de traspaleo, para después descargar el agua por gravedad hacia el Río Churubusco (véase figura III.5).

### III.2. - CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL ANALISIS Y DISEÑO DE LUMBRERAS DE FLOTACION

Análisis y diseño de la lumbrera y conexiones de cualquier tipo con estructuras rígidas, cuya operación (colectores y túneles) pueda ser afectada por los asentamientos diferenciales.

#### (1). - Planteamiento de las hipótesis de análisis:

- a). Del punto de vista del procedimiento de construcción.
- b). Comportamiento del suelo: relación de esfuerzos-deformaciones-tiempo.
- c). Condiciones hidráulicas del subsuelo durante la construcción y operación.
- d). Comportamiento sísmico del suelo.

- e). Consideraciones respecto a las distribuciones de los esfuerzos a través de la masa de suelo.
- f). Interacción estructura-suelo:
  - f.1) Modelo que simula el comportamiento estructura-suelo en el rango de esfuerzos del estado de equilibrio elástico.
  - f.2) Modelo que simula el comportamiento estructura-suelo en el rango de esfuerzos del estado de equilibrio plástico.
- g) Condiciones de carga en el subsuelo y las estructuras durante la construcción y operación:
  - g.1) Período de la construcción.
  - g.2) Período de servicio:
    - Condición hidrostática
    - Hundimiento regional
    - Sismo
- h). Combinaciones de cargas para las estructuras.
- i). Envoltentes de las condiciones y combinaciones de carga.
- j). Estabilidad de las paredes de la excavación, soportadas por los empujes hidráulicos del lodo bentonítico.

- k). Hundimiento regional:
- k.1) Velocidades de los desplazamientos con la profundidad, a través del tiempo de vida útil (años).
  - k.2) Desplazamientos con la profundidad, a través del tiempo de vida útil.
- l). Magnitudes de las acciones sísmicas.
- m). Rigideces de los elementos estructurales en contacto con el suelo.
- n). Factores de seguridad contra la falla.
- (2). - Análisis preliminar.
- a). Flotación
- (3). - Cargas del suelo para la condición hidrostática:

Las presiones horizontales del suelo sobre la lumbrera se obtienen con la expresión.

$$P_h = K_o \sigma_v + u \quad (1)$$

$K_o$  = coeficiente de reposo

- $u$  = presión hidrostática  
 $P_v$  = presión vertical total  
 $\sigma_v$  = presión vertical efectiva  
 $\sigma_v = P_v - u$   
 $P_h$  = presiones totales horizontales.

- (4).- Análisis de desplazamientos verticales de la superficie -- del suelo por la descarga en la excavación (fig. III.6, -- puntos a, d, c y d): peso del suelo sustituido por el peso de las suspensiones bentoníticas.

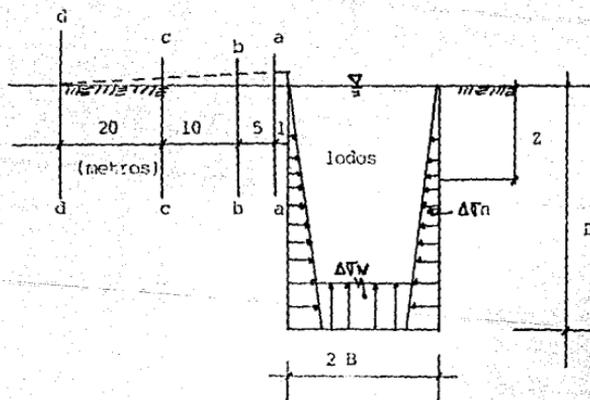


Figura III.6.- Alivio de esfuerzos efectivos en las paredes y fondo de la excavación con suspensiones bentoníticas.

$$\Delta \sigma_h = K_0 \sigma_v - (P_h - \gamma_e z) \quad (2)$$

$\Delta \sigma_h$  = alivio de los esfuerzos efectivos horizontales en la profundidad, en las paredes de la excavación.

$\gamma_e$  = Peso volumétrico de las suspensiones bentoníticas (lodos bentoníticos).

$\Delta \sigma_v$  = Alivio de esfuerzos efectivos verticales en el fondo de la excavación terminada.

$$\Delta \sigma_v = \Delta \sigma_{vE} - (P_{vE} - \gamma_e D) \quad (2a)$$

$\sigma_{vE}, P_{vE}$  = Presiones verticales totales y efectivas respectivamente en el fondo de la excavación (antes de la construcción).

El cálculo de las expansiones de la superficie en los puntos a, b, c, d (figura III.6); consiste en la obtención de los cambios de los esfuerzos verticales provocados por  $\Delta \sigma_h, \Delta \sigma_v$ , a lo largo de las verticales a-a, b-b, c-c, d-d (figura III.7), de la superficie hasta los depósitos profundos (56 m aprox.), mediante la expresión:

$$\text{donde:} \quad \delta e = \sum_{i=1}^n \Delta \sigma_i m_{ei} \quad (3)$$

$\delta e$  = expansión de la superficie

$n$  = número de los estratos ( $i=1, \dots, n$ )

$m_{ei}$  = módulo de la expansión volumétrica del estrato i. Puede obtenerse de la rama de descarga de -

Las curvas de compresibilidad de las pruebas  
de consolidación

$d_i$  = Espesor del estrato  $i$

- (5).- Análisis de la extracción del lastre de agua del interior de la -  
lumbra (después de la construcción) en los puntos a,b,c,d.

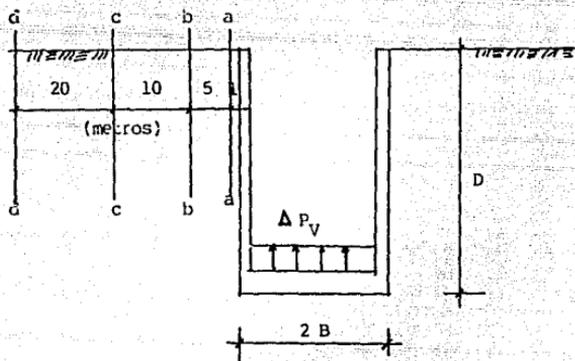


Figura III.7. - Alivio de esfuerzos verticales en -  
el fondo de la lumbra, al extraer  
el lastre de agua.

$\Delta P_v$  = Alivio de las presiones en el fondo de la -  
lumbra, se obtiene con la expresión:

$$\Delta p_v = p_{vf} - \frac{w_e}{A_e} - \Delta \sigma_e \quad (4)$$

$w_e$  = peso de la lumbrera con todas las estructuras interiores.

$A_e$  = Area del fondo de la lumbrera

$\Delta p_v$  = Alivio de los esfuerzos verticales en el fondo de la lumbrera.

Los desplazamientos de los puntos a, b, c y d se obtienen con el análisis indicado en el inciso (4).

(6). - Revisión del sistema Lumbrera-colectores-túneles por los efectos de hundimiento regional.

- A). Estimación de los desplazamientos del subsuelo durante la vida útil de la lumbrera, de la superficie hasta el fondo de la lumbrera.
- B). Determinación de la rigidez de la lumbrera, colectores y túneles que están conectadas a la misma; y definición estructural de las condiciones (figura III.8).
- C). Determinación del modelo de interacción estructura-suelo, para el conjunto de la figura III.9.

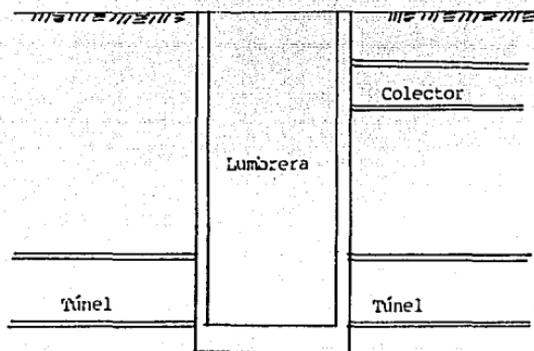


Figura III.8.- Esquema del sistema estructural --  
a analizar por hundimiento regio--  
nal

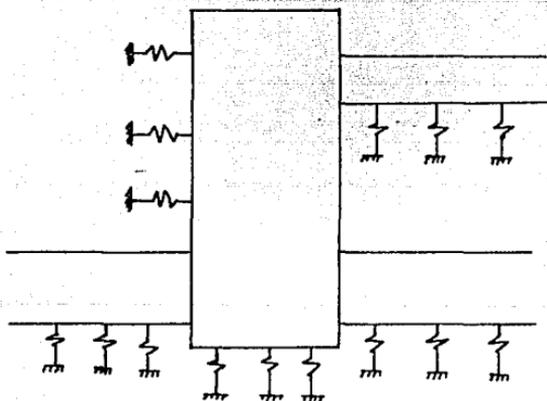


Figura III.9. - Modelo de análisis estructural --  
lumbrera colectores-túneles-suelo  
para los efectos del hundimiento-  
regional.

- D).- Determinación del estado de deformaciones y esfuerzos iniciales en la masa de suelo para el efecto de hundimiento regional en el sistema lumbrera-suelo.
- a).- Análisis de las fuerzas y esfuerzos en el fuste y fondo de la lumbrera.

El análisis se puede realizar de acuerdo con la figura III.10.

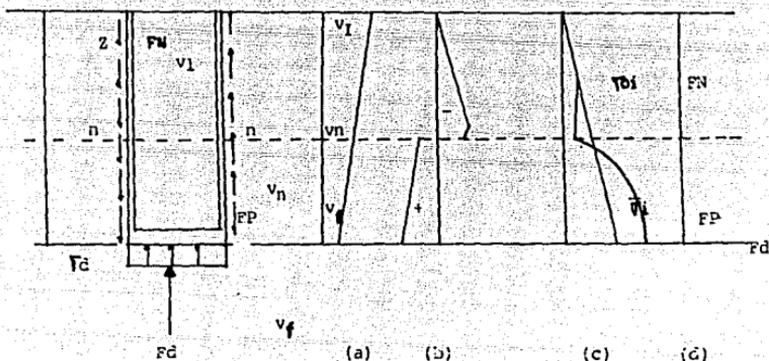


Figura III.10.- Esquema del análisis de las fuerzas iniciales por hundimiento regional.

FN = Fricción negativa

FP = Fricción positiva

n - n = eje neutro

$\sigma_{di} \quad F_d = A_f \sigma_d$  = esfuerzos en el fondo de la lumbrera por --  
hundimientos.

$v_i$  = Velocidad del hundimiento de la superficie.

$v_d$  = Velocidad del hundimiento del suelo en el--  
nivel del fondo de la lumbrera.

$v_n$  = Velocidad de hundimiento de la lumbrera.

- Diagrama de velocidades de los hundimientos con la profundidad.
- Diagrama de la variación de la resistencia al esfuerzo cortante con -  
la profundidad.
- Diagrama de los esfuerzos efectivos verticales sin lumbrera ( $\sigma_{oi}$ ) y  
con lumbrera, alterados por la presencia de FN y FP ( $\bar{\sigma}_i$ ).
- Diagrama de los valores de FN y FP en el fuste de la lumbrera, con la  
reacción del suelo en el fondo de la misma. ( $\sigma_d$ ).

Análisis de los desplazamientos relativos entre la lumbrera y la masa  
del suelo circundante como condición inicial de deformaciones para el  
análisis de interacción, con el modelo de la figura III.9.

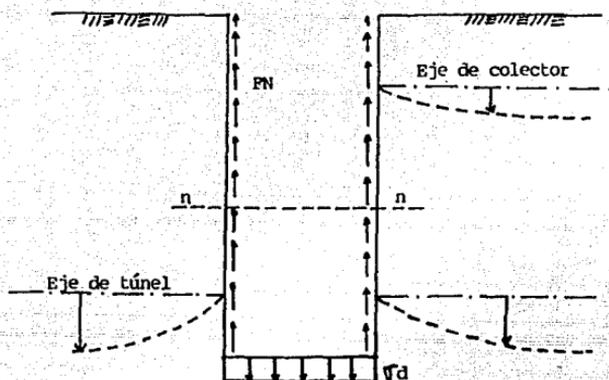


Figura III.II. - Esquema de las fuerzas en la masa de suelo que provocan desplazamientos relativos entre lumbrera-colectores-túneles.

Los desplazamientos relativos se obtienen integrando los cambios de los esfuerzos verticales en la masa de suelo, provocados por FN, FP y  $\Delta\sigma$  a lo largo de las verticales correspondientes desde el fondo de depósitos compresibles (aprox. 55 mts.) hasta el nivel de los ejes de las estructuras; túnel, colectores, etc., con la expresión:

$$\delta = \sum_{i=1}^n \Delta \sigma_i \cdot m_{vi} \cdot d_i \quad (5)$$

E). - Análisis de la interacción estructura-suelo del sistema lum-

brera-túnel-colector.

- a). Obtención de la matriz de los desplazamientos del suelo:

$$\left[ \bar{d}_{ij} \right]$$

- b). Obtención de la matriz de rigidez del sistema de la figura -- III.9.

$$\left[ k_{ij} \right] = \text{matriz de rigideces de la estructura (figura -- III.9) sin resortes.}$$

$$\left[ k_j \right]_D = \text{matriz diagonal de los resortes de la conexión-suelo-estructura para la primera aproximación:}$$

- Paso 1: Suponer desplazamientos del túnel y colector, calculados-- en el inciso (b)

$$\left| d_j \right| = \text{vector de desplazamientos relativos de túnel y lumbrera (1.ª aproximación).}$$

$$\left| F_d \right| = \text{Fuerzas en los resortes provocados por los } \left| d_j \right| \text{ (primera aproximación):}$$

$$\left| F_j \right| = \left[ d_{ij} \right]^{-1} \left| d_j \right| \quad (6)$$

- Paso 2: Cálculo de la matriz diagonal de los resortes; (primera - aproximación).

$$[K_j]_D = [F'j]_D [d'j]_D \quad (7)$$

c). - Análisis de la estructura-resortes con la ecuación matricial:

$$[Kij] + [Kj]_D [dj] = [Fj] \quad (8)$$

$[Fj]$  = Vector de fuerzas nodales que actúan sobre la estructura.

$[dj]$  = Vector de desplazamiento estructura-resortes.

d). - Repetir el cálculo de aproximaciones sucesivas, sustituyendo en las ecuaciones (6) y (7) los valores de la última aproximación. Los ciclos de cálculo se pueden -- suspender en el momento en que los valores de  $[dj]$  y  $[Fj]$  de dos aproximaciones sucesivas no cambian en los primeros -- tres números significativos.

De esta manera se pueden obtener los elementos mecánicos (M,T,V) en la lumbrera, túnel y colectores, así como los desplazamientos y deformaciones.

En el cálculo de la matriz  $[dij]$  de desplazamientos unitarios del -- suelo, los  $m_v$  de los estratos se calculan de acuerdo con los niveles de -- cambios de los esfuerzos dentro de la masa del suelo y registros de las -- pruebas de consolidación obtenidas en el laboratorio. En la curva de los parámetros de consolidación ( $C_v$ ,  $C_{vt}$ ,  $m_{ep}$ ,  $m_e$  y  $m_t$ ),

entrar con el nivel de esfuerzos igual a:

$$\bar{\sigma}_i = \sigma_{oi} + \frac{\Delta \sigma_i}{2}$$

El tiempo para determinar los parámetros de consolidación y compresibilidad será el de la vida útil, o de servicio de la lumbrera-túnel-colectores.

**(7). - Revisión de la lumbrera y sus conexiones (colectores y túneles) para los efectos sísmicos.**

- a). Análisis modal de los desplazamientos o respuesta del suelo para los primeros 3 períodos naturales en la localización de los ejes de la lumbrera, túneles y colectores.
- b). Análisis sísmico de las estructuras enterradas con el método -- explicado en el inciso (6).

Los parámetros de deformabilidad del suelo se tomarán de acuerdo a los resultados de la pruebas dinámicas de mecánica de suelos.

**(8). - Efecto de las filtraciones casuales en el sistema túnel lumbrera-colector.**

- a). De los análisis anteriores, predecir los puntos críticos del -- sistema donde se puedan presentar agrietamientos o fracturamientos y provocar filtraciones del agua subterránea hacia el interior de las estructuras.

- b). Evaluación aproximada de los efectos de las filtraciones en la masa del suelo, estructuras y la superficie del suelo.
  - c). Medidas para el control y reparaciones necesarias en el caso -- de ocurrir filtraciones.
- (9). - Obtención de las combinaciones de carga y envolventes de --- M, V, T, para el diseño estructural de los diferentes elemen-  
tos.
- (10). - Obtención de los desplazamientos de la superficie del suelo, durante la construcción y vida útil de las estructuras: lum-  
brera, túnel, colectores.

### III.3. - ANALISIS DE MECANICA DE SUELOS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS LUMBRERAS

#### III.3.1. - Estratigrafía

La planta de bombeo se localiza en la denominada zona de lago, la que se caracteriza por la presencia de grandes espesores de suelos compresibles.

La costra superficial tiene un espesor entre 0.5 y 8.0 m, constituida por limos de alta plasticidad, con intercalaciones de arena limosa y len-  
tes de arcilla; el contenido de agua medio es de 80% y la resistencia al -  
esfuerzo cortante varía de 0.18 a 0.20  $\text{kg/cm}^2$ , con valor medio de 0.19 --  
 $\text{kg/cm}^2$ .

A continuación se encuentra la formación arcillosa superior hasta una profundidad mayor de 40.0 m, caracterizada por la presencia de arcilla de muy alta plasticidad, intercalada por lentes pequeños de arena, fósiles y cenizas volcánicas, el contenido de agua varía de 10 a 500%, con valores medios de 300%, correspondiendo los valores menores a las lentes arenosas.

La resistencia al esfuerzo cortante, varía entre 0.18 a 0.6  $\text{kg/cm}^2$ , con valor medio de 0.3  $\text{kg/cm}^2$ ; subyaciendo a la formación anterior, a una profundidad entre 62 y 72 m aparece la capa dura, caracterizada por la presencia de limo arenoso con intercalaciones de cenizas volcánicas y lentes de arcilla; su contenido natural de agua varía entre 20 y 100% con valor medio de 50%.

La resistencia al esfuerzo cortante, varía entre 1.0 y 1.6  $\text{kg/cm}^2$ , con valor medio de 1.3  $\text{kg/cm}^2$ .

El nivel de aguas freáticas se encuentra a una profundidad de 2.50 m aproximadamente.

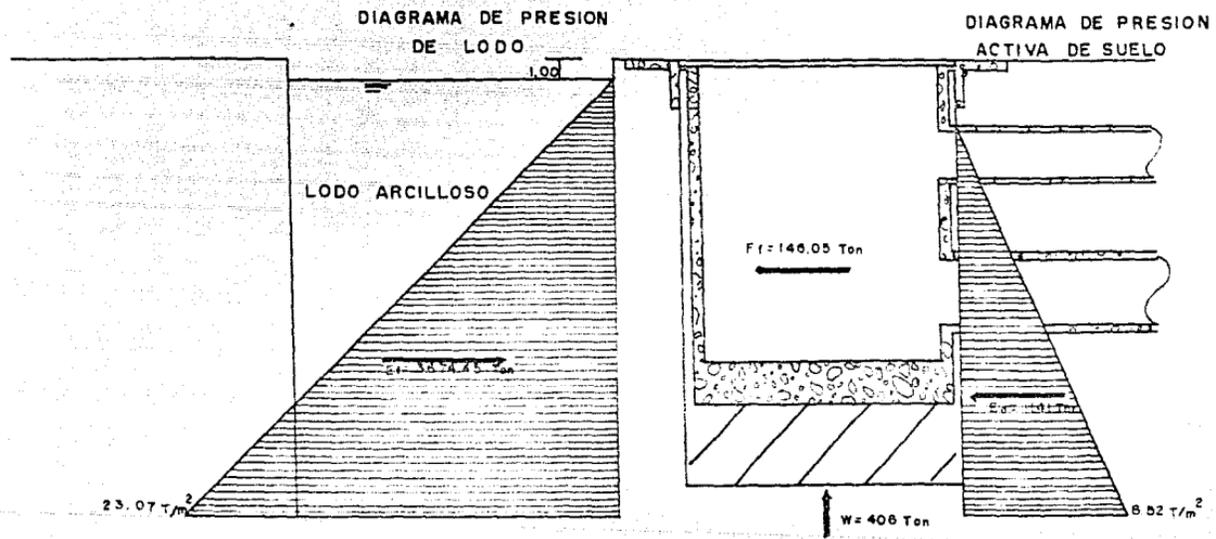
### III.3.2. - Factor de seguridad contra volteo.

Durante la excavación para la construcción del cárcamo de bombeo, se estabilizarán las paredes con lodos arcillosos de acuerdo al procedimiento constructivo de lumbrera flotada.

Para determinar las afectaciones que se producirán a la estructura de la lumbrera de rejillas, se determinó el factor de seguridad contra volteo,

F.S. = 2.78

0



NOMENCLATURA

- Ef: EMPUJE DEL LODO ARCILLOSO
- Ff: FUERZA DE FRICCIÓN LATERAL
- Ea: EMPUJE ACTIVO DEL SUELO
- W = SOBRECENSACION

figura IIIU2.- ANALISIS DE VOLTEO

resultando de 2.78 por suma de momentos respecto a un punto "A" de giro -- como se muestra en la figura III.12.

Los empujes son totales porque se presume actuando en un ancho de --- 14.50 m (diámetro excavado de la lumbrera de rejillas). Se infirió que -- una zona de la pared de la lumbrera de rejillas proporciona una adherencia con el terreno circundante aportando una fuerza de fricción que se opone a -- que la estructura gire. Se utilizó una fuerza de adherencia igual a 0.3 -- de la cohesión promedio ( $2 \text{ ton/m}^2$ ).

### III.3.3. - Factor de seguridad contra deslizamiento.

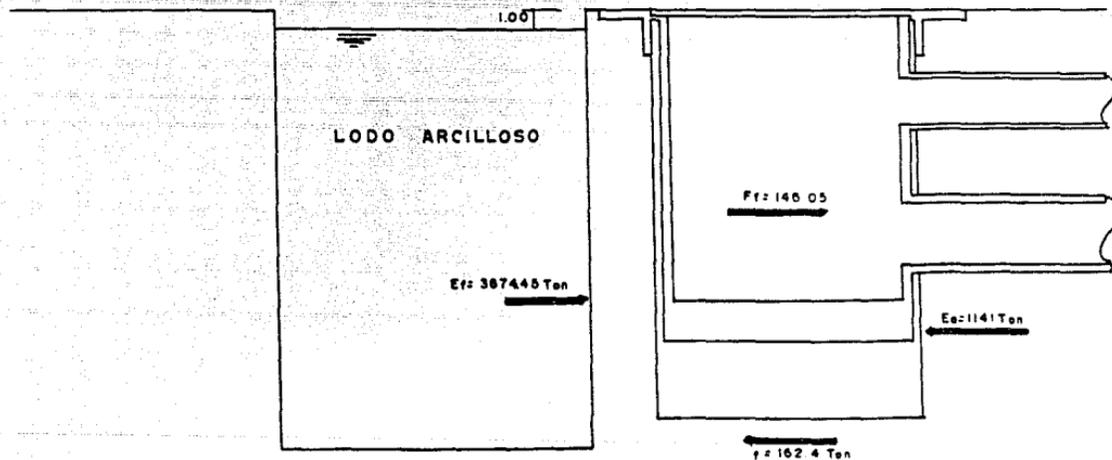
Con la suma de fuerzas horizontales actuando sobre la estructura de - la lumbrera de rejillas (figura III.13); se calculó el factor de seguridad contra deslizamientos, siendo de 3.5, en este análisis se tomó en cuenta - la fuerza de fricción que actúa en la base de la lumbrera, para el efecto -- se usó un coeficiente de rozamiento de 0.45 afectando la fuerza normal a - las superficies en contacto, además se hizo la misma consideración de adhe -- rencia de las paredes con el terreno que en el punto anterior.

### III.3. - Estabilidad de las paredes

Cuando las diferentes etapas de excavación del cárcamo de bombeo se -- lleven a cabo, se producirán estados variables de equilibrio entre las pre -- siones producidas por el terreno y las producidas por el lodo arcilloso -- que ocuparán la excavación. Para investigar si las paredes de la misma -- permanecerán estables, se supuso un mecanismo de falla como el que se mues

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

F.S. = 3.5



**NOMENCLATURA**

$E_f$  = EMPUJE DEL LODO ARCILLOSO

FUERZA DE FRICCIÓN LATERAL

$E_a$  = EMPUJE ACTIVO DEL SUELO

$r$  = FUERZA DE FRICCIÓN EN LA BASE

figura III.13.-ANÁLISIS DE DESLIZAMIENTO

tra en la fig. III.14, y se determinó el número de estabilidad  $N$ , con la siguiente expresión:

$$N = \frac{\gamma D}{C_u} = \frac{A}{(B^2 - 1)C} - \frac{P}{C_u \times C}$$

donde:

$$C = \left( 1 - \frac{H}{2D} \right) - \frac{\gamma_f}{\gamma} \frac{H}{D} \left( \frac{Q}{H} - \frac{1}{2} \right)$$

$$A = 2 B^2 \ln B - (B^2 - 1) + (B^2 - 1) \frac{r_o}{H} + \frac{4}{3} (1 + 2 \alpha + 2 \alpha^2) \frac{(B^3 - 1)}{(B^2 - 1)} \frac{H + 2B}{r_o}$$

$$\left( \frac{1 - H/D}{D} \right) \frac{D}{r_o}$$

$\gamma$  = Peso volumétrico del suelo

$\gamma_f$  = Peso volumétrico del lodo arcilloso

$C_u$  = Resistencia al corte no drenada

$D$  = Profundidad de la excavación

$r_o$  = Radio de la excavación

$\alpha$  y  $B$  = Parámetros geométricos

$P$  = Sobrecarga

El factor de seguridad contra falla de la pared resultó de 2.0 para un peso volumétrico del lodo arcilloso de 1.05 ton/m y con su nivel --



de 1.0 m, abajo del brocal.

Dentro del comportamiento de las lumbreras, se considera que el procedimiento constructivo pudiera suspenderse, por lo que se realizaron -- los siguientes análisis:

1). - En caso de que únicamente se construyera el cárcamo de Bombeo y quedaran pendientes el tanque de traspaleo y el túnel de interconexión entre lumbreras, se induciría una sobrecompensación de 9.64 -- ton/m<sup>2</sup> en el cárcamo y de 2.46 ton/m<sup>2</sup> en la lumbrera de rejillas, a fin de evitar la subpresión en el fondo de las lumbreras.

2). - Si el proceso se suspende cuando el tanque de traspaleo se -- haya terminado, la sobrecompensación en el cárcamo disminuirá a 3.43 ton/m<sup>2</sup> con las estructuras igualmente vacías y con el túnel de interconexión sin construir. La sobrecompensación de la lumbrera de rejillas será como en el caso anterior.

3). - Por otra parte se atendió a la consideración de que las lumbreras queden totalmente terminadas, con sus respectivas estructuras internas instaladas y sin carga hidráulica, lo que respresentaría -- una sobrecompensación de 1.53 ton/m<sup>2</sup> en el cárcamo y una compensa-- ción de 2.14 ton/m<sup>2</sup> en la lumbrera de rejillas.

El comportamiento de las lumbreras involucra las políticas de operación a las que estarán sujetas una vez funcionando la planta de bombeo. - Por esta razón se llevó a cabo el análisis el comportamiento de las lum--

breras de acuerdo a las etapas operativas mostradas en la tabla III.1.

TABLA III. 1. -- POLITICAS DE OPERACION

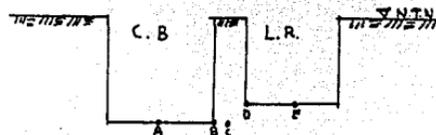
ETAPA OPERATIVA	CARGA	HIDRAULICA		SOBRECARGA	
	TRANQUE DE TRASPALCO (m)	CARCAMO DE BOMBO (m)	LUMBRERA DE REJILLAS (m)	CARCAMO DE BOMBO (TON/m <sup>2</sup> )	LUMBRERA DE REJILLAS (TON/m <sup>2</sup> )
1/2 HORA CA DA 5 AÑOS	4	6.92	4.60	7.60	5.56
2 HORAS TRES VECES AL AÑO	4	3.97	1.65	5.30	3.37
4 HORAS TRES VECES AL AÑO	2	3.37	1.05	2.97	2.92
TODO EL AÑO	2	3.12	0.80	2.77	2.74
MAXIMA CALIDAD NO RECOMENDABLE	0	14.40	11.60	9.68	10.77

A manera de resumen se presenta la tabla III.2, donde se muestran -- los posibles hundimientos a largo plazo, que pueden presentar las lumbreras de acuerdo a las políticas de operación analizadas y a las consideraciones constructivas.

Con estos resultados se concluye:

TABLA III.2. - HUNDIMIENTOS A LARGO PLAZO

ETAPA OPERATIVA	SOBRECARGA EN TON/M <sup>2</sup>		HUNDIMIENTOS POR CONSOLIDACION (CM)				
	CARCAMO DE BOMBEO	LUMBRERA DE REJILLAS	PUNTO A	PUNTO B	PUNTO C	PUNTO D	PUNTO F
½ HORA CADA 5 AÑOS	7.60	5.56	1.83	1.21	0.94	1.02	1.29
2 HORAS, 3 VECES AL AÑO	5.30	3.37	1.20	0.82	0.62	0.66	0.79
4 HORAS, 3 VECES AL AÑO	2.97	2.92	0.73	0.51	0.42	0.48	0.66
TODO EL AÑO	2.77	2.74	0.48	0.18	0.16	0.44	0.21
MAXIMA CAPACIDAD	9.68	10.77	2.31	1.71	1.44	1.71	2.30
LUMBRERAS TERMINADAS CON EQUIPO	-1.53	2.14	-0.34	-0.10	0.03	0.16	0.42
ETAPA SUSPENDIDA SIN TANQUE DE TRASPALO	-9.64	-2.46	-2.5	-0.96	-0.38	-0.42	-0.20
LUMBRERAS TERMINADAS SIN EQUIPO	-3.43	-2.46	-0.059	-0.032	-0.25	-0.40	-0.20



- a) El comportamiento de las lumbreras durante la excavación del cárcamo de bombeo es satisfactorio ya que no presenta problemas de volteo ni deslizamiento.
- b) La política de operación, donde se encuentran funcionando los cárcamos todo el año, es la más recomendable.
- c) La política operando a la máxima capacidad no es admisible y no deberá durar más de 72 horas.

#### III.4. - CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS PARA LA UNIÓN DE LAS LUMBRERAS

De acuerdo a las características del suelo donde se ubican las lumbreras, se determina un procedimiento constructivo para su unión y se definen los parámetros de diseño para el revestimiento de la unión. A continuación se presentan los análisis efectuados:

##### III.4.1. - Estabilidad de las paredes

Las paredes del túnel están sujetas a esfuerzos de compresión provocados por el peso propio del suelo, de acuerdo a la teoría de elasticidad\*, llegando a valores de  $2\gamma H$  en la pared del túnel y disminuyendo a medida

---

\* Szechy, K. "The Art of Tunnelling", Budapest, 1966.

que se aleja.

Cuando  $\gamma H$  es mayor que la cohesión del suelo, se producen en las paredes del túnel deformaciones plásticas, ocasionando hundimientos superficiales excesivos. El análisis efectuado para la unión de lumbreras dio por resultado que  $\bar{\gamma} H = 13.06 \text{ ton/m}^2$ ; como se ve, este valor es mayor que la cohesión promedio de  $2.10 \text{ ton/m}^2$ , por lo que la plastificación o falla de las paredes, justifica el hincado de un tubo rigidizado que evite este problema.

Cabe señalar que H es la profundidad desde el nivel de terreno natural hasta la clave del túnel (10.45 m), y en ésta fueron determinados para el análisis los promedios de peso volumétrico y cohesión.

#### III.4.2. - Estabilidad del frente.

Tomando en cuenta, que la excavación del túnel que unirá la lumbrera de rejillas con el cárcamo de bombeo, se realizará por medio de un tubo hincado que hará las veces de un escudo de frente abierto, se calculó el factor de seguridad contra la falla de frente utilizando la siguiente expresión\*.

$$F. S. = \frac{\bar{c}}{\gamma H} \frac{Nc}{H}$$

\* Ing. Enrique Tamez González "Trabajo de Ingreso a la Academia Mexicana de Ingeniería", Julio de 1984.

donde:

F. S. = Factor de seguridad

$\bar{c}$  = Cohesión promedio

$\bar{\gamma}$  = Peso volumétrico promedio

H = Profundidad a la clave del túnel

$N_c$  = Factor de carga

Considerando que el túnel tendrá 5 m, de diámetro excavado y estará localizado a 9.45 m de profundidad al nivel de la clave, el factor de carga  $N_c$ , resultó con un valor de 7.54; por lo tanto, el factor de seguridad contra falla de frente para una cohesión promedio de 2.1 ton/m<sup>2</sup> y un peso volumétrico promedio de 1.25 ton/m<sup>3</sup>, es de 1.34.

Es necesario que se proporcione un soporte al material del frente para evitar su posible falla (F.S. 1.5); este soporte puede ser a base de una retícula formada por placas metálicas colocadas en el frente del tubo hincado.

#### III.4.3. - Presión vertical y horizontal

El cálculo de las presiones verticales y horizontales, se realizó con las siguientes expresiones, cuyos resultados en la práctica se han apegado a la realidad para túneles en suelos, donde el techo del túnel es menor de cinco diámetros de excavación\*.

$$P_v = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i + \sum_{t=1}^n \gamma'_t h_t + \gamma_w h_t$$

$$P_h = 0.5 \left[ \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i + \sum_{t=1}^n \gamma'_t h_t \right] + \gamma_w h_t$$

donde:

$P_v$  = Presión vertical

$P_h$  = Presión horizontal

$\gamma_i$  = Peso volumétrico de cada estrato

$\gamma'_i$  = Peso volumétrico sumergido a cada estrato

$\gamma_w$  = Peso del agua

$h_i$  = Espesor de cada estrato

$n$  = Número de estratos arriba del nivel freático

$t$  = Número de estratos entre el nivel freático y el centro del túnel.

De acuerdo a las características de los materiales existentes en la zona de unión de las lumbreras; se obtuvieron los siguientes valores:

Presión vertical en la clave del túnel = 12.35 ton/m<sup>2</sup>

Presión horizontal en el centro del túnel = 12.33 ton/m<sup>2</sup>

\* H. Wagner "Theory and Practice of Mined Underground Structures in Soils" Conferencia Internacional de Mecánica de Suelos. Págs. 313-325- (México, 1982).

### III.4.4. - Estabilidad de taludes

La lumbrera de rejillas y el cárcamo de bombeo se unirán en la parte superior con un diafragma (losa de liga); para construir esta estructura, se efectuará una excavación a cielo abierto entre taludes cuyas inclinación se definió por medio del Método Sueco\* para lo cual se consideró un factor de seguridad mínimo de 2 ocupando la siguiente expresión:

$$F. S. = \frac{M_r}{M_m} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \quad AL_i}{\sum_{i=1}^n |T_i|}$$

donde:

$M_r$  = Momento resistente

$M_m$  = Momento motor

$S_i$  = Resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de la superficie de falla supuesta.

$AL_i$  = Línea secante formada por la intersección de la superficie de falla supuesta, con el ancho considerando para cada dovela.

$n$  = Número de dovelas consideradas.

$|T_i|$  = Valor absoluto de la componente tangencial a la superficie de falla del peso de cada dovela.

\* E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez "Mecánica de Suelos" Tomo II, - pág. 274, Edit. Limusa, México 1979.

Para este análisis se supusieron siete superficies de falla, obteniendo el Factor de Seguridad mínimo de 2.5. El análisis efectuado nos indica que la excavación puede hacerse entre paredes verticales para la profundidad considerada de 3 m.

#### III.4.5. - Procedimiento constructivo del hincado del tubo.

a). - Una vez localizado el sitio donde se hincará el tubo metálico, se procederá a demoler el muro de concreto de la lumbrera de rejillas.

b). - A continuación se construirá una estructura de apoyo para hincar un tubo de 5 m de diámetro y 5 de longitud, por medio de gatos hidráulicos; esta estructura será capaz de soportar el peso del escudo en el piso de la lumbrera y el empuje lateral de los gatos al hincar el tubo.

El tubo deberá estar rigidizado interiormente y contará con una retícula en el frente, formada por placas metálicas, la que servirá para controlar la entrada del material al hincar el tubo.

c). - El hincado del tubo metálico se realizará en avances de 30 cm de longitud, como máximo, intercalando cada avance con la excavación del frente y el retiro del material que penetre en el tubo; en caso de que el material tienda a fluir sin hincar el tubo, se colocará un ademe a base de tabloncillos de madera, sujetos a la retícula para controlar dicho flujo.

d). - Cuando el tubo alcance la zona de inyección de contacto del cárcamo de bombeo, se procederá a demoler el muro en la zona donde se recibirá el tubo hincado.

e). - Una vez que el tubo haya sido colocado en su posición definitiva, se podrán dismantelar la estructura de apoyo, la retícula metálica y los elementos rigidizantes del interior del tubo, dejando las preparaciones para que puedan sujetar el armado correspondiente.

f). - Se armará, cimbrará y colará el revestimiento de concreto armado definitivo en el interior del tubo, dando un diámetro terminado de 4.60 m, uniéndolo estructuralmente con los muros de ambas lumbreras.

#### DIAFRAGMA SUPERIOR (Losa de Liga)

a). - Para construir el diafragma superior, se efectuará una excavación a cielo abierto entre paredes verticales hasta una profundidad no mayor a 3 m.

b). - A continuación se armará, cimbrará y colocará el diafragma, uniéndolo estructuralmente con los muros de ambas lumbreras.

c). - Una vez que el concreto alcance su resistencia de proyecto, se retirará la cimbra y se rellenará el espacio comprendido entre los taludes de la excavación y el patto del diafragma, con un material limo-arenoso (Tepetate) en capas de 20 cm, compactándolo al 90% de -

su peso volumétrico seco máximo.

### III.5. - CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL EQUIPO DE BOMBEO

#### III.5.1. - Condiciones generales de diseño.

- \* El equipo de bombeo deberá manejar confiablemente aguas negras - domésticas sin tratar y aguas combinadas.
- \* El diseño del equipo se ajustará a los ordenamientos y limitaciones estipuladas por Hydraulic Institute Standars (H.I.S.).
- \* El diseño y las características de los equipos tomarán en cuenta las dimensiones y diseño del cárcamo de bombeo donde se instalarán.-
- \* El conjunto de la bomba será soportado desde la placa base que se montará al nivel del piso de operación.
- \* La selección del equipo de bombeo deberá garantizar que el rango de operación normal quede comprendido en la zona óptima, evitando -- recirculación excesiva, baja eficiencia, o cualquier situación no recomendable.
- \* El rango normal de operación de los equipos corresponderá a - - C.D.T. (carga dinámica de trabajo), entre 13.41 y 20.20 m.c.a.

En adición deberán contemplarse condiciones transitorias y poco fre-

cuentes, en las cuales la bomba requiere trabajar con una C.D.T. máximo de 21.34 m.c.a. El requerimiento de potencia del conjunto moto-bomba en ningún caso excederá la capacidad de un motor eléctrico de 600 H.P. con -- factor de servicio de 1.15, disposición vertical y 585 R.P.M.

\* La bomba con accionamiento de velocidad constante, será capaz de aumentar su carga en 10% con respecto a las condiciones de diseño, -- instalando un nuevo impulsor de diámetro mayor.

\* El NPSH requerido deberá ser como máximo, 0.61 m (2 pies) menor -- que el NPSH disponible al nivel de operación.

\* Las bombas se diseñarán para una operación continua de 24 horas -- por día. El equipo podrá operar desde el punto de diseño hasta la -- máxima capacidad del impulsor suministrado con la bomba.

\* Los equipos tendrán una vida útil mínima de 15 años considerando -- operación continua. Así mismo la curva-gasto ascenderá continuamente hasta llegar a flujo cero.

\* La selección del equipo de bombeo deberá garantizar que el punto -- de diseño esté a la izquierda del punto de mayor eficiencia en la -- curva característica de la bomba.

\* Todos los elementos rotatorios de la bomba estarán balanceados -- estática y dinámicamente.

El límite de amplitud de la vibración máxima permisible (pico a pico) estará de acuerdo a "Centrifugal Pumps Applications" del H.I.S., en todo el rango funcional de equipo de bombeo.

\* Las fuentes motrices se dimensionarán para prevenir sobrecargas-- en cualquier punto de la curva carga-gasto del impulsor seleccionado. La potencia del motor deberá ser, por lo menos, el 10% mayor que la potencia al freno requerida para las condiciones de diseño.

\* El diseño del equipo evitará la presencia de vibraciones provocadas por condiciones dinámicas del fluido.

\* El diseño será tal que no se produzca daño al equipo al presentarse flujo inverso a través de la bomba.

### III.5.2. - Condiciones de servicio

a). - Fluido a manejar	Aguas negras crudas a temperatura ambiente.
b). - Tratamiento preliminar	Rejillas manuales, con aberturas de 5 cm.
c). - Instalación	En cárcamo húmedo
d). - Cárcamo de bombeo	Circular (diámetro interior 15.00 m).
e). - Número de equipos en cárcamo.	10
f). - Descarga	Individual a tanque de carga.
g). - Nivel piso de operación	34.00 m

h).	- Nivel fondo de cárcamo	16.98 m
i).	- Carga dinámica total de diseño.	17.94 m.c.a.
j).	- Gasto de diseño	2 m <sup>3</sup> /seg.
k).	- Desnivel estático de diseño	15.70 m
l).	- Nivel de agua de diseño	24.35 m
m).	- Nivel mínimo de operación normal en el cárcamo	21.50 m
n).	- Desenivel estático a nivel mínimo.	18.55 m
o).	- C.D.T. máxima	20.55 m
p).	- Gasto aproximado a C.D.T. máxima	1690 L.P.S.
q).	- Nivel máxima de agua en operación normal en el cárcamo	30.00 m
r).	- Desenivel estático a nivel máximo de agua.	10.05 m
s).	- C.D.T. mínima	13.41 m
t).	- Gasto aproximado a C.D.T. mínima	2.40 - 2.50 m <sup>3</sup> /seg.
u).	- Nivel mínimo mínimum de agua en el cárcamo (condi- ción transitoria).	20.00 m.
v).	- C.D.T. máxima maximum	21.34 m.c.a.
w).	- Gasto aproximado a C.D.T. máxima maximum	1450 L.P.S.

- x). - Carga mínima del punto inferior de la curva característica carga-gasto. 9.15 m.c.a. (30.0 pies)
- y). - NPSA disponible al
- Nivel de diseño (24.35) 9.82 m.c.a.
  - Nivel mínimo (21.50) 7.43 m.c.a.
  - Nivel mínimo minimorum (20.00) 6.10 m.c.a.
  - Nivel máximo de agua (30.00) 15.13 m.c.a.

#### IV. - PROCESO CONSTRUCTIVO

#### IV. 1. - ANALISIS DEL PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION

El análisis desarrollado supone la utilización del sistema de flotación; a continuación se mencionan los pasos a seguir:

(1). - Diseño de la suspensión bentonítica (lodos bentoníticos):

a). - Estabilidad de fondo de la excavación para encontrar el mínimo peso volumétrico de la suspensión.

b). - Estabilidad de paredes de la excavación para encontrar el mínimo peso volumétrico de la suspensión bentonítica.

c). - Preparación de suspensión.

d). - Especificación para la suspensión bentonítica y tolerancias.

(2). - Diseño del material de relleno del espacio anular entre lumbrera y suelo.

a). - Análisis de estabilidad de las paredes verticales de la excavación para determinar su mínimo peso volumétrico.

b). - Determinación de la mínima resistencia al esfuerzo cortante.

c). - Preparación del material.

d). - Especificación para el material, su colocación y tolerancias.

(3). - Diseño del proceso de la inmersión de la lumbrera.

a). - Volumen y presión del aire del tanque de flotación, necesario desde el inicio hasta el fin del proceso de inmersión de la lumbrera.

b). - Geometría del tanque de flotación.

c). - Análisis y diseño del tanque de flotación.

d). - Sistema de control de la verticalidad y posición horizontal del tanque de flotación.

e). - Instalaciones superficiales de guía.

(4). - Lastre de agua en el interior de la lumbrera.

a). - Mínimo y máximo nivel del lastre de agua durante la inmersión.

b). - Suspensiones bentoníticas.

(5). - Especificaciones para la construcción, supervisión y control de calidad para:

a). - Preparación del sitio de la obra.

b). - Suspensiones bentoníticas.

c). - Material de relleno de espacio anular entre lumbrera y suelo.

d). - Llenado y retiro del lastre de agua del interior de la lumbrera.

e). - Construcción de todas las instalaciones y estructuras internas.

f). - Restauración de las instalaciones subterráneas afectadas por la construcción.

g). - Restauración de vialidades.

h). - Restauración de las estructuras vecinas, dañadas por la construcción.

i). - Restauración del área de la superficie de la lumbrera.

(6). - Especificación de instrumentación y mediciones durante la construcción y operación de la obra; por razones de seguridad, mantenimiento y reparaciones:

a). - Desplazamientos de la superficie del suelo en los puntos que en el análisis se considere necesario.

- b). - Condiciones hidráulicas del subsuelo alrededor de la lumbrera para detectar filtraciones casuales.
- c). - Desplazamientos del subsuelo para determinar los movimientos relativos entre la lumbrera y las instalaciones que se unen a ella.

#### IV.2. - PROCESO CONSTRUCTIVO

Descripción del proceso constructivo del cárcamo de bombeo por el método de lumbrera de flotación.

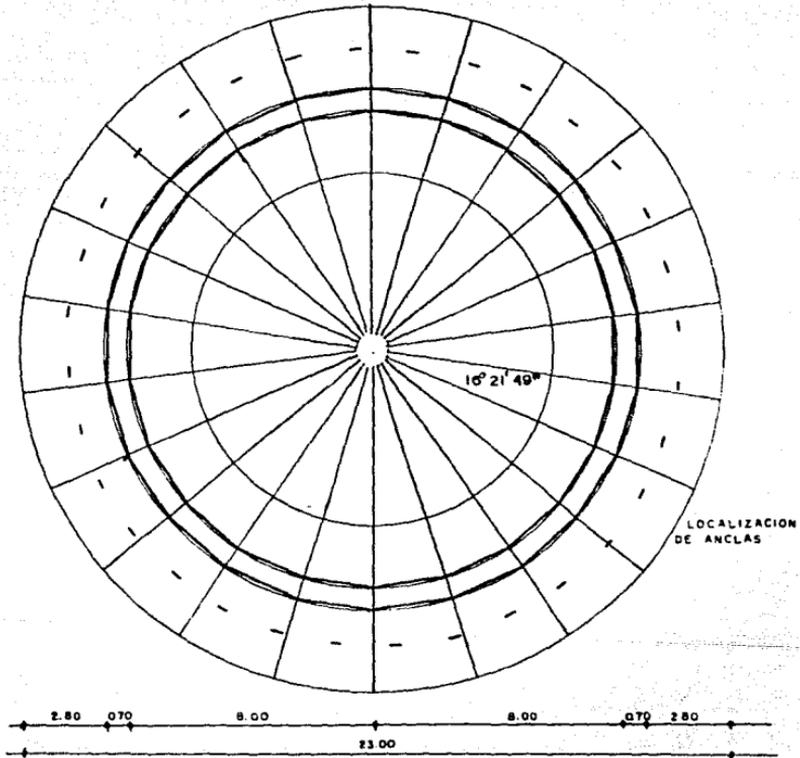
##### I. - TRAZO Y NIVELACION

La nivelación del terreno partirá de un nivel patrón referido a 2200 msnm, y de un punto que será el centro del cárcamo de bombeo.

Para el trazo de la excavación, se toma como base una circunferencia de 23.00 y otra de 17.40 m de diámetro respectivamente, las cuales limitarán al brocal exterior; a continuación se traza otra circunferencia de -- 16.00 m de diámetro, para limitar al brocal interior, por lo que la separación entre brocales será de 0.70 m.

Posteriormente se radia desde el centro de la lumbrera con ángulos de  $16^{\circ} 21' 49''$ , formando 22 lados de 2.13 m de longitud cada uno de ellos, de manera semejante, se radia con ángulos interiores de  $11^{\circ} 15''$  para la localización de 32 anclas de sujeción enclavadas en el brocal exterior a una distancia de 10.05 m del centro del cárcamo (véase figura IV.1).

figura IV.1.-TRAZO DE LA EXCAVACION



## II. - CONSTRUCCION DE BROCALES

### a). - Brocal exterior

La excavación de la zanja perimetral para alojar los brocales se hará manualmente hasta alcanzar los niveles proyectados, respetando el trazo de 22 lados del polígono y la separación entre brocales de 0.70 m.

Concluida la excavación se coloca una plantilla de concreto de 2.80 m de ancho en el alero del brocal para alojar el armado de acero de refuerzo. En el brocal se alojarán las 32 anclas formadas de varilla del No. 8- y viga I.P.S. de 4" X 2 5/8", para que sean colocadas las vigas de sujeción reforzadas tipo I de 12", como se aprecia en la figura IV.2.

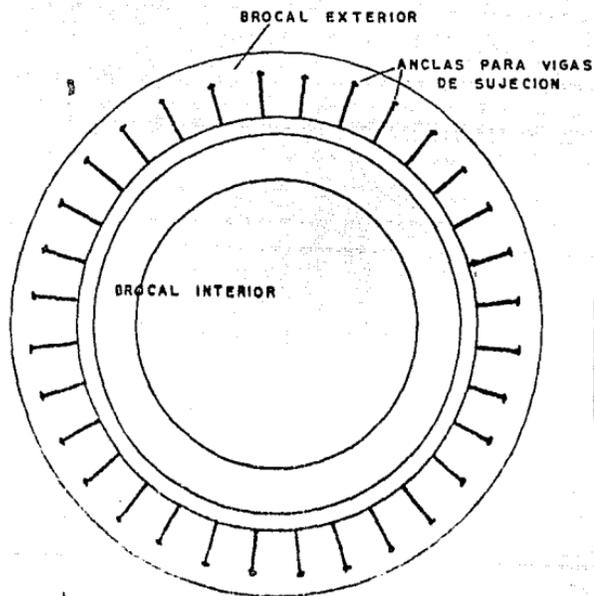
Al finalizar el armado del brocal exterior se procede a colocar la cimbra de modo tal, que se marquen perfectamente los 22 vértices del polígono.

Cuando se ha terminado de colocar la cimbra, se hace el colado en dos etapas, se cuela primero una mitad del brocal y después la otra mitad.

### b). - Brocal interior

La construcción del brocal interior de 2.00 m de ancho, se va realizando conforme va avanzando la construcción del brocal exterior, haciendo coincidir los vértices de cada uno de ellos.

La finalidad del brocal interior es la de guiar a la almeja durante -



PLANTA

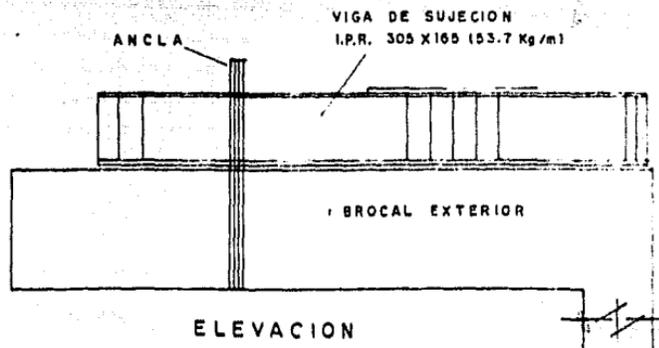


figura 1V.2.- LOCALIZACION DE ANCLAS DE SUJECION EN BROCAL EXTERIOR

la excavación de la zanja perimetral, y una vez terminada esta, se procederá a demolerlo. Para facilitar la demolición se forman zonas débiles con poliuretano en el centro de cada lado del polígono.

Las zonas débiles formadas con el poliuretano, se demolerán y se retirarán cuando dé inicio la primera fase de la excavación del núcleo de la lumbrera-cárcamo.

Una vez terminada la construcción de los dos brocales, se procederá a colocar una plantilla de concreto de baja resistencia en toda el área donde se realizará la excavación, esto con fines de limpieza.

### III. - PERFORACIONES SECANTES

El siguiente paso será llenar con lodo bentonítico la zanja formada entre los brocales; a continuación se enumerarán los vértices del polígono para identificar las perforaciones guías de 0.60 m  $\phi$  (24"  $\beta$ ) que se llevarán a cabo hasta la profundidad de 23.50 m (proyecto), en cada uno de los vértices que se forman en el polígono, como se muestra en la figura IV.3. Se realizan primero las perforaciones de los vértices impares; después se continua con los vértices pares, adernando las paredes de las perforaciones con lodo bentonítico sano.

Las perforaciones secantes se realizan con el fin de debilitar el terreno en varios puntos, para una mejor excavación de la zanja perimetral de 0.70 m de ancho.

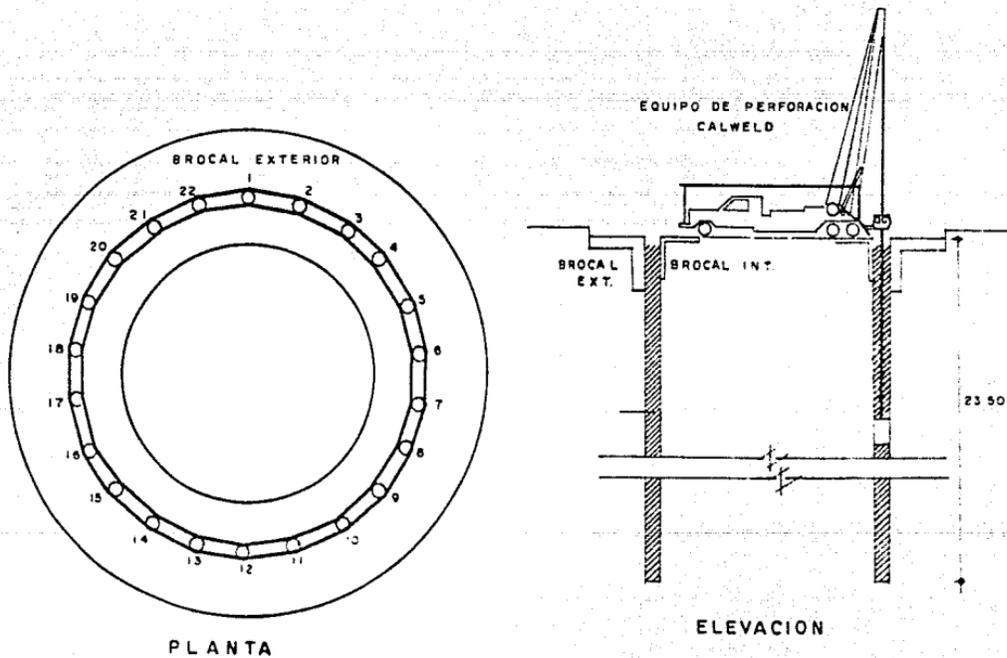


figura IV.3.- PERFORACIONES SECANTES

#### IV. - EXCAVACION DE TRINCHERA (excavación de zanja perimetral)

Al terminar las perforaciones secantes, se procede a hacer la excavación de la zanja perimetral, utilizando una almeja de dimensiones 2.13 m de abertura y 0.60 m de ancho (medidas standar), hasta la profundidad de 23.50 m (proyecto).

La secuencia para la excavación de los 22 tableros formados, se hará tomando primero los tableros nones y después los pares (véase figura -- IV.4).

Conforme se vaya excavando la zanja perimetral de la lumbrera, se irá ademandando con lodo bentonítico; cuando el material extraído sea de buena calidad (arcilla de alta plasticidad, CH), se seleccionará para mezclarlo con la bentonita y ahorrar su consumo.

La función esencial de la trinchera, es la de aislar al núcleo del cárcamo lumbrera, de las paredes del terreno natural por medio del lodo bentonítico, y de esta manera facilitar la extracción del mismo.

#### V. - EXCAVACION DEL NUCLEO

Cuando se ha terminado de hacer la excavación de la zanja perimetral a 23.50 m de profundidad, se empieza a demoler el brocal interior haciendo ranuras en las zonas donde se colocó el poliuretano; a continuación se procede a cortar el acero de refuerzo aislando las secciones formadas para su retiro por medio de una grúa, hasta completar el total del brocal-

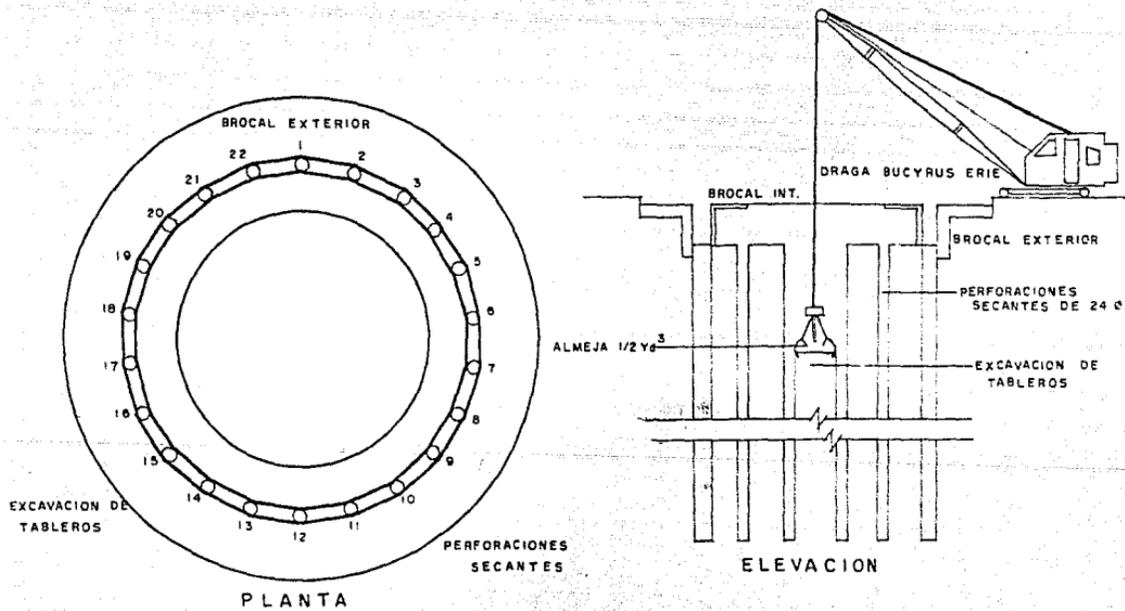


figura IV.4.-EXCAVACION DE TRINCHERA

(véase figura IV.5).

Posteriormente se despalma el núcleo hasta una profundidad de 4.00 m, adhiriendo con lodo bentonítico hasta 0.50 m por abajo del brocal exterior.

Para el suministro del lodo, se tiene un depósito para almacenar la bentonita y hacer el bombeo cuando se requiera a la excavación de la lumbrera. Para la extracción del material, se hace la instalación de tolvas a un costado de la lumbrera, donde no se interponga el libre desplazamiento de la almeja, esto con el fin de seleccionar la arcilla que se deberá mezclar para después verterla en la excavación donde se mezcla con el lodo bentonítico de la planta.

La excavación del núcleo se realizará con almeja de  $3.00 \text{ m}^3$  ( $2 \frac{1}{2} \text{ yd}^3$ ) de capacidad, hasta la profundidad de 24.00 m (proyecto), como se aprecia en la figura IV.6.

Durante la ejecución de esta actividad, se debe tomar en cuenta que el lodo bentonítico en el interior de la lumbrera, debe ser recirculado cada 24 hrs para evitar su sedimentación.

Para verificar la profundidad de la excavación, se realizarán sondeos semanales en forma de cuadrícula a cada metro.

## VI. CONSTRUCCION DEL TANQUE DE FLOTACION

La construcción de tanque de flotación se realiza mientras la excava

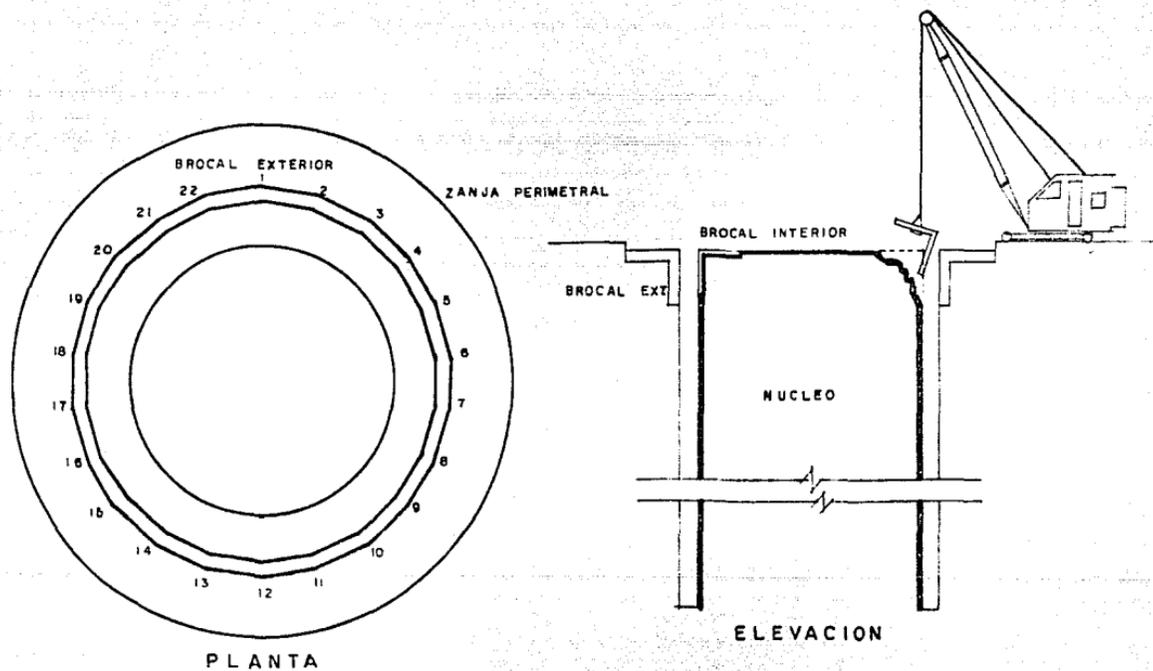
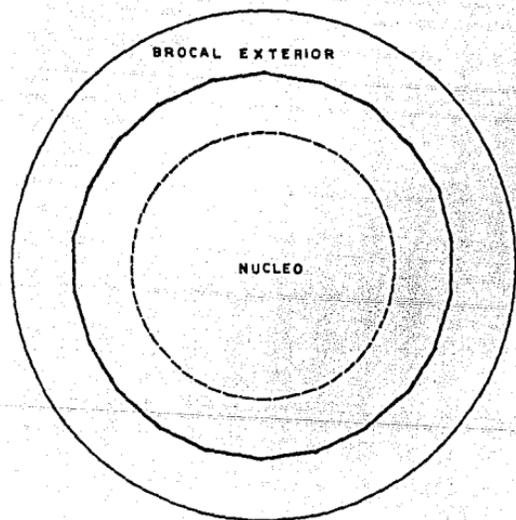
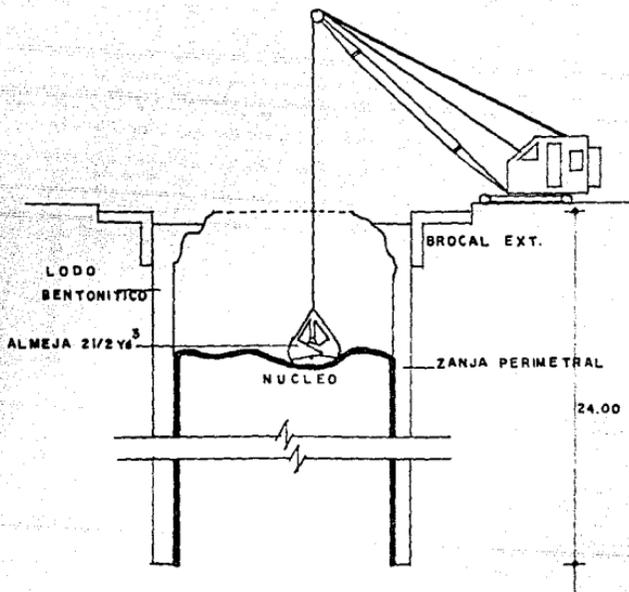


figura IV.5.-DEMOLICION DE BROCAL INTERIOR



PLANTA



ELEVACION

figura IV.6.-EXCAVACION DEL NUCLEO

ción del Cárcamo se está llevando a cabo.

La construcción se realiza sobre una superficie libre (losa de concreto de 17.40 m de diámetro), el material requerido para la fabricación del tanque es: placa 3/8" y ángulos de 2" x 1/2" y 4" x 1/2".

Sobre la losa de concreto (17.40 m Ø), se traza una circunferencia de 16.70 m de diámetro, quedando perfectamente marcada, para usarla como guía para dar forma y diámetro requerido al tanque, se procede a colocar en una posición vertical las placas roladas y cortadas (3/8") sobre la circunferencia trazada, las placas se van punteando con soldadura para formar el tanque circular de 3.175 m de altura.

Inmediatamente después se hincan varillas de 1" de diámetro alrededor de la losa, así como varillas radiales soldadas al tanque, como se observa en la figura IV.7; en la parte inferior se sueldan al tanque unas orejas que servirán para que por medio de un tirfor, se dé la forma circular al tanque; a continuación se sueldan las varillas radiales a las hincadas para dejar al tanque anclado, de tal forma que cuando se suelden completamente todas las uniones de placa, el tanque no tienda a deformarse.

A continuación se procede a colocar dos cinturones de ángulo en la parte interior de 4" x 1/2", uno en la parte inferior y otro en la parte superior, como se observa en la figura IV.8.

Con los cinturones soldados se procede a localizar tanto en la parte inferior como superior los vértices de un hexágono para soldar ángulos de

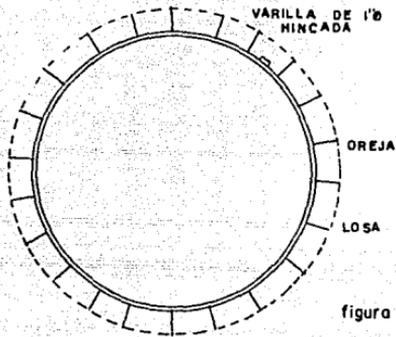
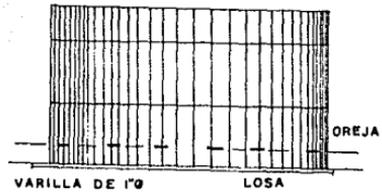


figura IV.7



TANQUE FLOTADOR

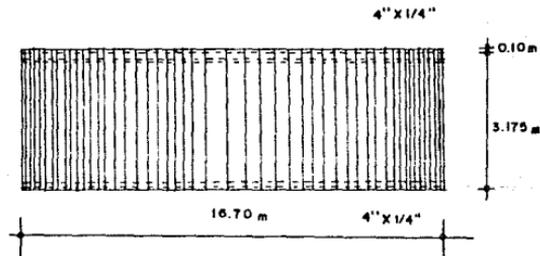


figura IV.8

$2\frac{1}{2}$ " X  $\frac{1}{4}$ ", vértice a vértice, como se aprecia en la figura IV.9.

Terminando la forma hexágonal, se escogen dos vértices opuestos para soldar la "T" en cada extremo, que previamente fue formada por dos ángulos de  $2\frac{1}{4}$ " en los vértices opuestos restantes, se sueldan ángulos sencillos de  $2\frac{1}{4}$ " X  $\frac{1}{4}$ ". El armado final en la parte inferior queda como se aprecia en la figura IV.10).

Los vértices de los hexágonos superior e inferior se ligan con ángulos verticales de  $4$ " X  $\frac{1}{4}$ ", el hexágono formado en la parte superior se compone de ángulos de  $4$ " X  $\frac{1}{4}$ " y en dos de sus vértices opuestos irán soldados perfiles en forma de "T", que previamente fueron soldados con ángulos de  $4$ " X  $\frac{1}{4}$ ", cuando se han terminado de formar los hexágonos junto con los ángulos que se unen con el vértice opuesto, se localizan 3 vértices en el hexágono inferior y superior que formarán un triángulo equilátero. Se procede a soldar los ángulos vértice a vértice, con las dimensiones antes mencionadas; en los cruces con los triángulos, se soldarán verticalmente ángulos de  $2\frac{1}{2}$ " X  $\frac{1}{4}$ ", llevando únicamente en dos de las cruces ángulos de  $4$ " X  $\frac{1}{4}$ "; en el centro de los hexágonos se soldarán verticalmente dos ángulos de  $4$ " X  $\frac{1}{4}$ " quedando una sección cuadrada; finalmente el armado interior del tanque queda como se aprecia en la figura IV.11.

Cuando se terminan de soldar los ángulos, se procede a colocar la tapa del tanque con placa de  $\frac{3}{8}$ ", sobre la cual se sueldan dos vigas  $\#6$ " X  $6$ " y sobre estas vigas se sueldan 4 placas de  $1$ " de espesor de  $20$  X  $10$  cm con orificio de  $1$ " de diámetro; mismos que servirán para levantar el tanque y colocarlo sobre la excavación que previamente fue realizada y que -

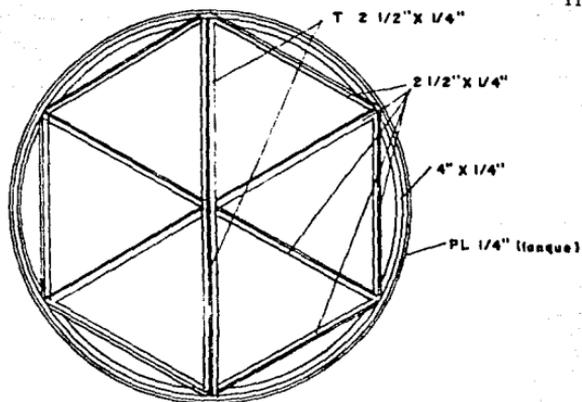


figura IV.9

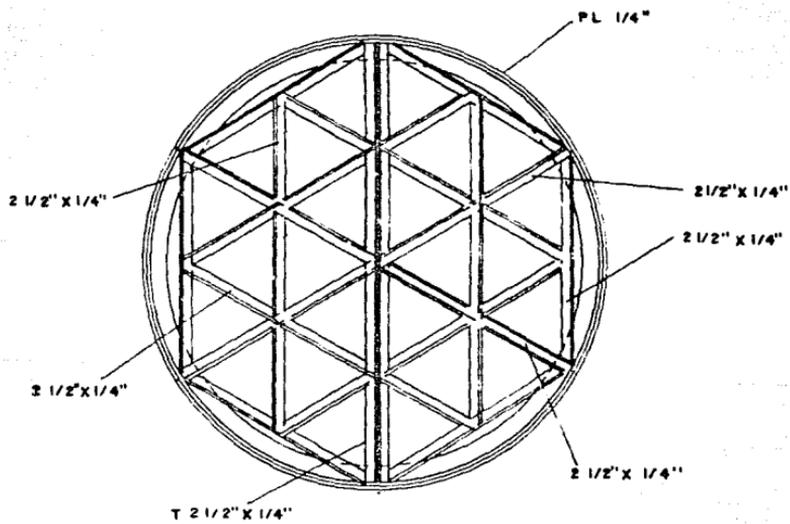


figura IV.10

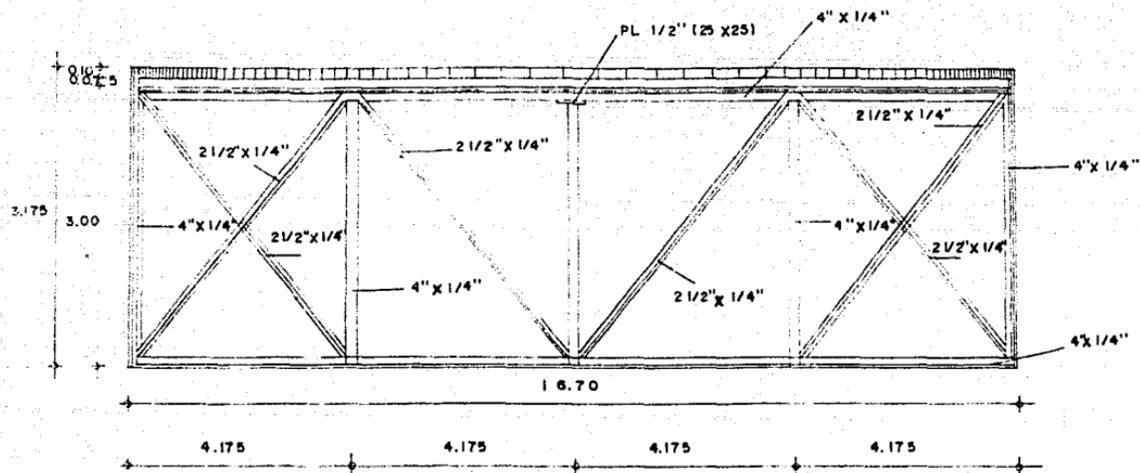


figura IV.11: CORTE DE ARMADO FINAL  
 DEL TANQUE

se mantiene adernada con lodo bentonítico. En el perímetro exterior del tanque, se sueldan 4 tubos de 2" de diámetro en 4 vértices; a los cuales se irán uniendo tramos de tubería del mismo diámetro, conforme se vaya bajando el tanque al fondo de la lumbrera, éstos que servirán para hacer la inyección de mortero y para llenar la oquedad que queda entre el terreno y las paredes de la lumbrera.

Al tanque se le instalan 4 tubos de 2" de diámetro en 4 vértices, mismos que servirán para la inyección de aire comprimido cuando se requiera. En el centro del tanque se hace la instalación de otros 3 tubos de 2½ de diámetro, a los cuales en la parte superior se instalan 3 válvulas, marcándose para saber cual tubo será el más profundo y cual el más corto; estos tubos tendrán como principal función el desalojo rápido del lodo bentonítico; así como del aire que se encuentra dentro del tanque.

En la parte superior del tanque, a la altura donde se encuentra soldado el cinturón de 4" X ¼", en la parte exterior se sueldan 32 placas de apoyo con 3 atezadores, cada una de las placas de 7/8".

#### VII. - COLOCACION DEL TANQUE FLOTADOR Y PREPARACIONES AUXILIARES.

Las preparaciones auxiliares son las siguientes:

- 1). - Construcción de 12 muertos de concreto armado para sujetar 6 plumas provistas de malacates, que sirven para sostener y guiar a la estructura durante su descenso.

- 2). - Colocación de las 32 vigas de sujeción para la sustentación del tanque durante su descenso.
- 3). - Colocación del puente de colados, donde se realizará la distribución del concreto durante el colado de los muros.
- 4). - Colocación de las 6 plumas.

Para trasladar el tanque flotador del lugar donde fue construido, se utilizan 2 grúas de 60 toneladas de capacidad, teniendo mucho cuidado con las tuberías instaladas en el tanque.

Cuando el tanque está por entrar en contacto con el lodo bentonítico de la lumbrera, se abren las válvulas para dejar escapar el aire y el tanque descienda poco a poco hasta que las 32 preparaciones que tiene, en tren en contacto con las 32 vigas radiales, en la figura IV.12 se aprecia la colocación del tanque flotador.

#### VIII. - COLADO DE LOSA DE FONDO Y MURO (1ª a 3ª etapa).

El colado de la losa de fondo se hará en tres etapas, en la primera se colará 0.60 m de peralte y el primer tramo de muro de lumbrera (1.30 m), en el muro se deja una preparación de poliuretano para empotrar la losa - que tendrá un peralte total de 1.90 m (véase figura IV.13). En la segunda etapa, después de la inmersión de la primera, se colarán 0.70 m más de losa y 2.40 m de muro de lumbrera. Durante la tercera etapa, se efectuará la inmersión de la segunda y se colará otro tramo de 2.40 m de muro y -

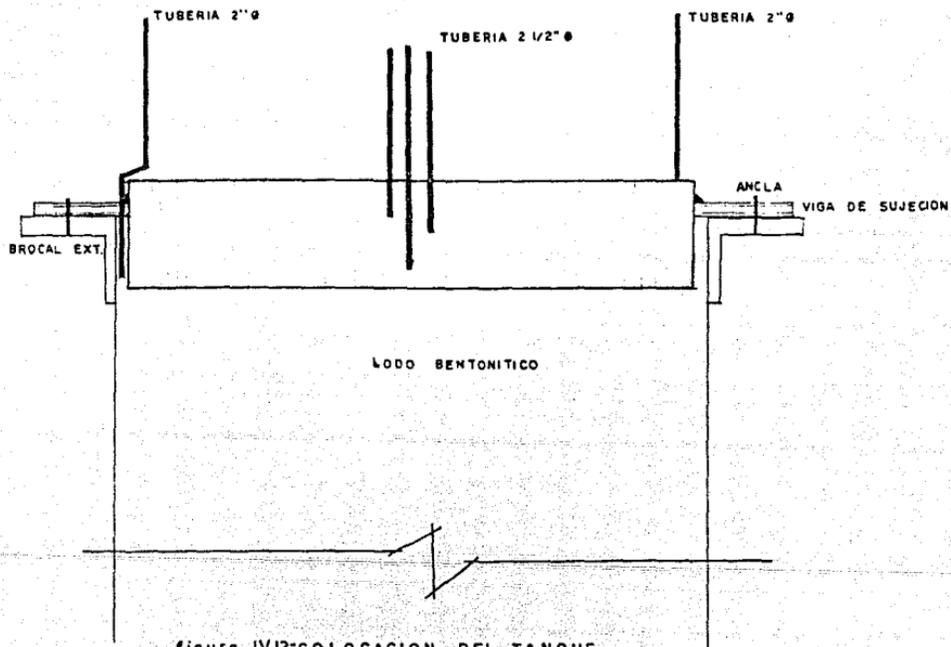


figura IV.12: COLOCACION DEL TANQUE  
FLOTADOR



0.60 m de peralte de losa, con lo cual queda terminada la losa de fondo - con peralte total de 1.90 m.

#### IX. - BAJADA DE LOSA Y MURO (4ª a 7ª etapa).

Conforme se vayan realizando los trabajos de armado, cimbrado y colado del muro de la lumbrera cárcamo, ésta, se va bajando auxiliándose de - las plumas y de las vigas de sujeción que se van empotrando en las preparaciones hechas en el muro en cada etapa del colado.

El proceso de descenso es el siguiente:

A los tubos de 2"  $\varnothing$  instalados en el tanque flotador y ahogados en - los muros de la lumbrera, se les inyecta aire a presión conforme el tanque lo requiera, y a la tubería de 2½"  $\varnothing$  instalada en el centro del tanque, se le dejan abiertas las válvulas para dejar escapar el aire, al mismo - tiempo que se acciona la bomba de succión para el desalojo del lodo bentónico de la lumbrera, para que el conjunto (losa de fondo y parte de los muros ya colados), vaya descendiendo paulatinamente hasta el sitio donde se localizan las vigas de sujeción que serán introducidas en las preparaciones previas en los muros.

La secuencia es iterativa hasta llegar a la profundidad de proyecto. En este proceso se toma en cuenta que, cuando la estructura no descienda por ser mayor la fuerza de flotación que el peso de la estructura, se deberá lastrar con agua para lograr dicho descenso, como se aprecia en la - figura IV.14.

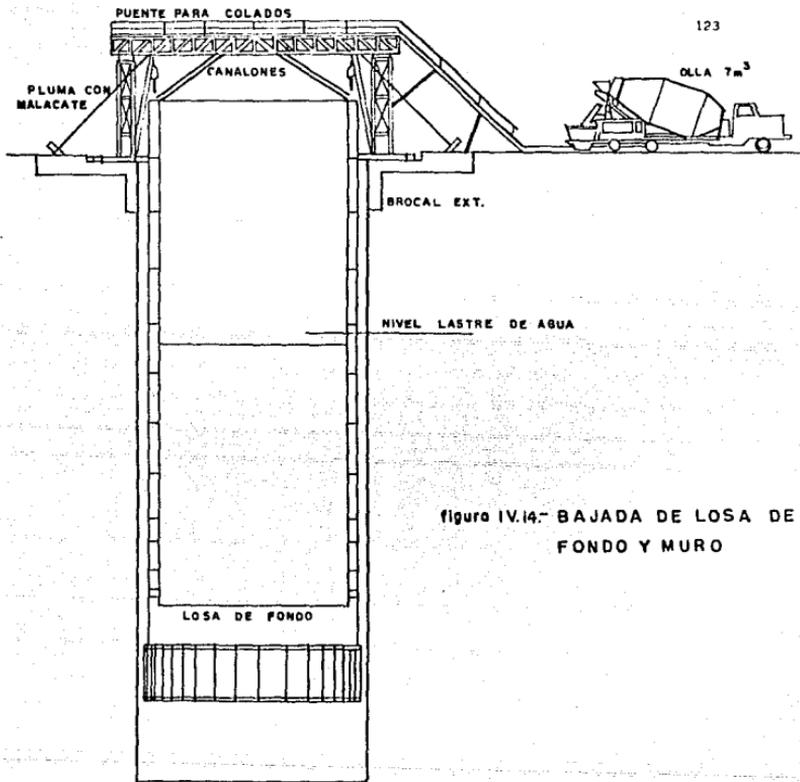


figura IV.14.- BAJADA DE LOSA DE FONDO Y MURO

#### X. - TRABES DE LIGA.

Una vez terminado el descenso de la lumbrera cárcamo, se efectuará la unión de ésta con el brocal exterior, mediante 8 trabes de liga localizadas a 45° de separación cada una de ellas sobre el perímetro de la estructura. (véase figura IV.15). Estas trabes son definitivas y ayudan a controlar movimientos verticales y horizontales que se pudieran presentar -- una vez terminada la construcción de la obra.

#### XI. - INYECCION DEL TANQUE Y TRINCHERA

Al terminar de sujetar completamente la lumbrera con las 8 trabes de liga, se procede de inmediato a hacer los preparativos para la inyección de contacto (tanque flotador y terreno). La dosificación por bacha para el inyectado del tanque, es la siguiente:

400 lts. de agua  
 500 kg de cemento  
 300 kg de arena sílica

Vol. aproximado 0.688 m<sup>3</sup>

La inyección en el tanque se efectúa en la siguiente forma:

En la tubería que se encuentra instalada en el centro del tanque flotador de 2½ a 2.50 m 1.00 m y 0.50 m de profundidad, y que sobresalen al lastre de agua de la lumbrera, se hace una primera inyección al tubo más-

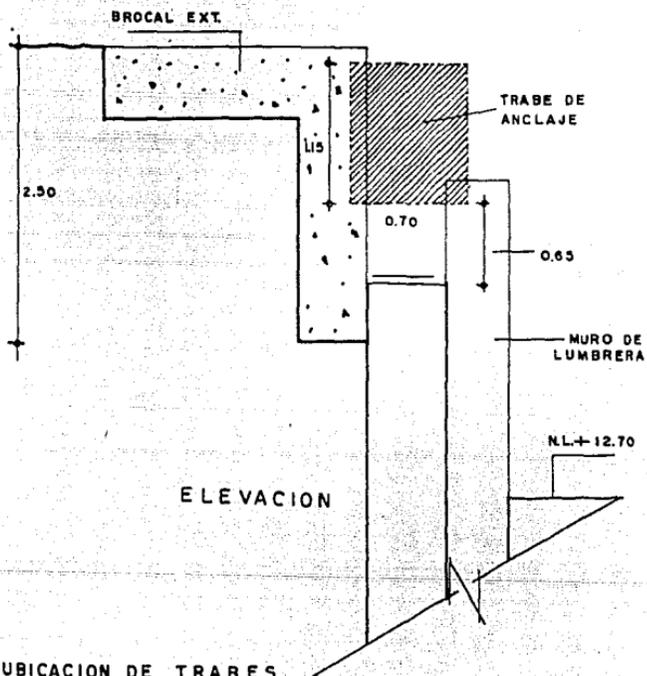
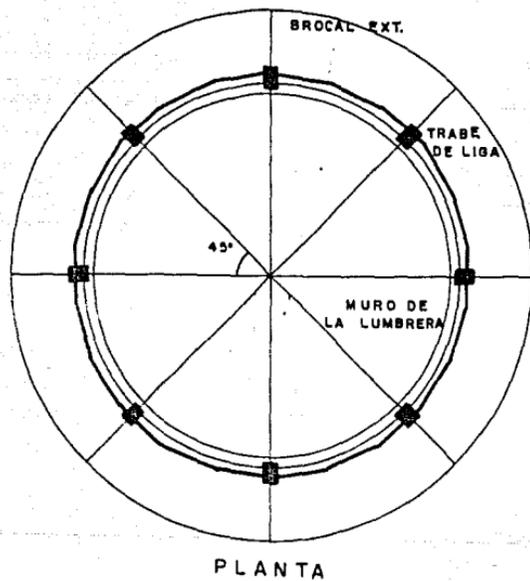


figura IV.15.- UBICACION DE TRABES DE LIGA

profundo para luego continuar con los otros dos de mayor a menor profundidad, la presión de inyectado es de  $1.00 \text{ kg/cm}^2$ .

Para saber cuando se ha terminado la inyección en el tanque, se instala una tubería de retorno al tubo inyectado, que al estar saturado el tanque, la fuga de inyección aparece por el tubo de retorno, el cual señala con esto, que el tanque ha quedado saturado, con lo cual se da por terminada la inyección en el tanque.

Para ejecutar la inyección en la trinchera (muro de la lumbrera y terreno), se utiliza el lodo bentonítico, que se encuentra en ella, en la siguiente forma:

- a). - Se tiene lodo bentonítico en el tanque de almacenamiento, el cual será enviado a una licuadora para mezclarlo con el cemento.
- b). - El lodo bentonítico que se encuentra en la trinchera será bombeado al tanque de almacenamiento del lodo bentonítico para luego enviarlo a la licuadora y hacer la mezcla con el cemento para ser inyectado a la trinchera.

La inyección de la trinchera se lleva a efecto en la siguiente forma:

Se hace la conexión de la manguera de inyección a uno de los 4 tubos de 2" que fueron instalados a  $90^\circ$ , uno con respecto del otro, fuera del tanque, y que posteriormente fueron ahogados en los muros de la lumbrera y llevados a la superficie, por donde se inyecta a la trinchera cemento-

lodo bentonítico.

Al hacer el bombeo en la trinchera del lodo bentonítico al tanque -- de almacenamiento, en igual forma, se inyecta para llenar el espacio bombeado; es decir, cuando se está bombeando, se está inyectando lodo bentonítico con cemento, en esa forma se hace la inyección de la tubería hasta alcanzar la superficie del brocal exterior, en la figura IV.16, se observa la inyección del tanque y trinchera.

## XII. - LIMPIEZA.

Se efectúa limpieza general en muros y losa de fondo.

En la tabla IV.1, se muestra el programa de obra para la construcción del cárcamo de bombeo.

## IV.3. - OBRAS COMPLEMENTARIAS

Se entiende por obras complementarias, a todas aquellas obras realizadas para que el cárcamo de bombeo sea funcional hidráulica y estructuralmente, y cumpla con el objetivo por el cual se construye. A continuación se describen las características principales de cada una de estas -- obras.

### 1. - COLECTOR CENTRAL DE ABASTO.

El colector Central de Abasto se une en un registro existente al co-

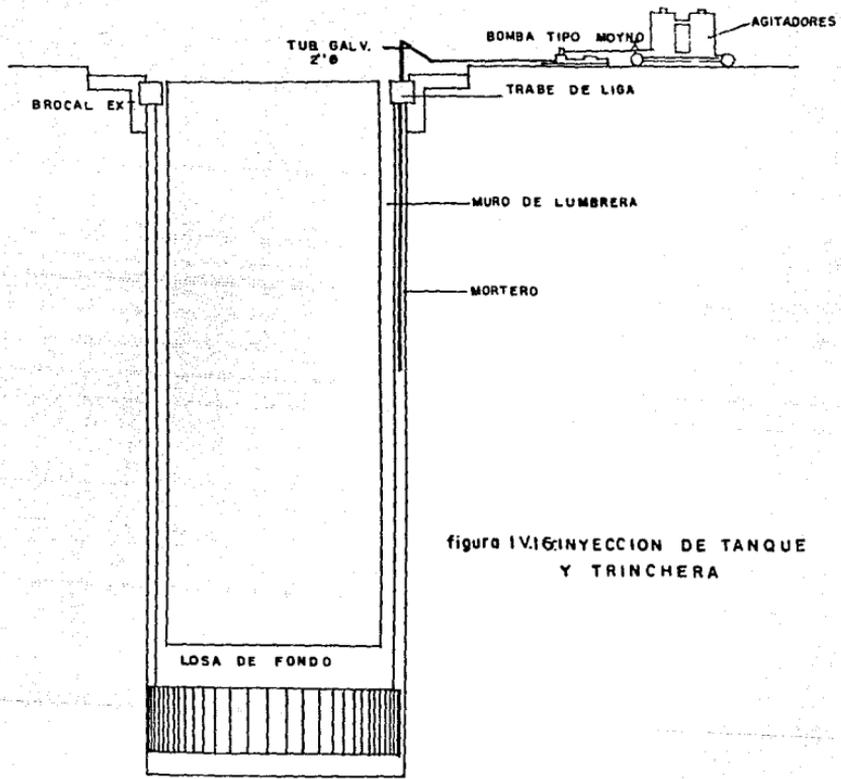


figura IV.16: INYECCION DE TANQUE Y TRINCHERA

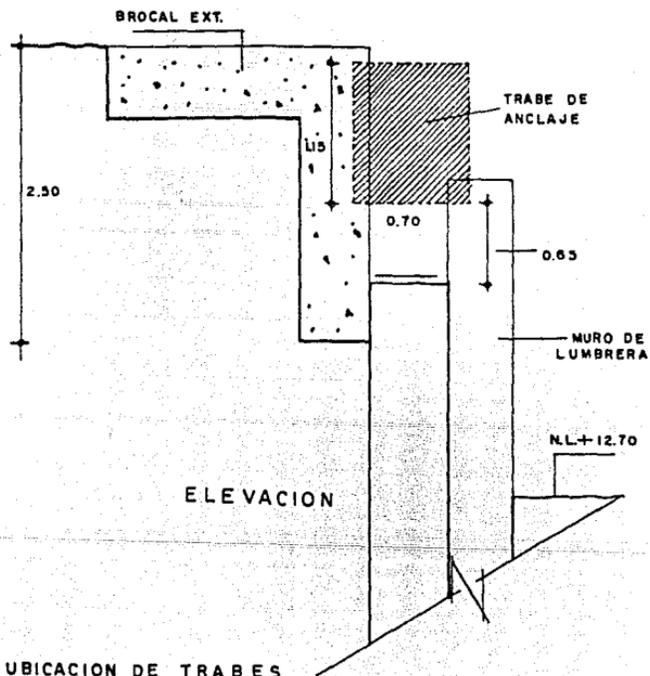
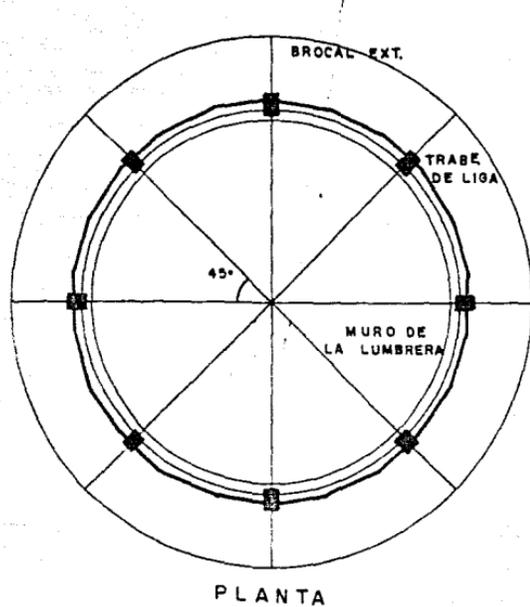


figura IV.15.- UBICACION DE TRABES DE LIGA

profundo para luego continuar con los otros dos de mayor a menor profundidad, la presión de inyectado es de  $1.00 \text{ kg/cm}^2$ .

Para saber cuando se ha terminado la inyección en el tanque, se instala una tubería de retorno al tubo inyectado, que al estar saturado el tanque, la fuga de inyección aparece por el tubo de retorno, el cual señala con esto, que el tanque ha quedado saturado, con lo cual se da por terminada la inyección en el tanque.

Para ejecutar la inyección en la trinchera (muro de la lumbrera y terreno), se utiliza el lodo bentonítico, que se encuentra en ella, en la siguiente forma:

- a). - Se tiene lodo bentonítico en el tanque de almacenamiento, el cual será enviado a una licuadora para mezclarlo con el cemento.
- b). - El lodo bentonítico que se encuentra en la trinchera será bombeado al tanque de almacenamiento del lodo bentonítico para luego enviarlo a la licuadora y hacer la mezcla con el cemento para ser inyectado a la trinchera.

La inyección de la trinchera se lleva a efecto en la siguiente forma:

Se hace la conexión de la manguera de inyección a uno de los 4 tubos de 2" que fueron instalados a  $90^\circ$ , uno con respecto del otro, fuera del tanque, y que posteriormente fueron ahogados en los muros de la lumbrera y llevados a la superficie, por donde se inyecta a la trinchera cemento--

lodo bentonítico.

Al hacer el bombeo en la trinchera del lodo bentonítico al tanque -- de almacenamiento, en igual forma, se inyecta para llenar el espacio bombeado; es decir, cuando se está bombeando, se está inyectando lodo bentonítico con cemento, en esa forma se hace la inyección de la tubería hasta alcanzar la superficie del brocal exterior, en la figura IV.16, se observa la inyección del tanque y trinchera.

## XII. - LIMPIEZA.

Se efectúa limpieza general en muros y losa de fondo.

En la tabla IV.1, se muestra el programa de obra para la construcción del cárcamo de bombeo.

## IV.3. - OBRAS COMPLEMENTARIAS

Se entiende por obras complementarias, a todas aquéllas obras realizadas para que el cárcamo de bombeo sea funcional hidráulica y estructuralmente, y cumpla con el objetivo por el cual se construyó. A continuación se describen las características principales de cada una de estas -- obras.

### 1. - COLECTOR CENTRAL DE ABASTO.

El colector Central de Abasto se une en un registro existente al co-

Tabla IV. 1 PROGRAMA DE OBRA

No.	CONCEPTO	1 9 8 5				1 9 8 6		
		AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO
1	TRAZO Y NIVELACION	■						
2	CONSTRUCCION DE BROCALES	■	■					
3	PERFORACIONES SECANTES		■					
4	EXCAVACION DE TRINCHERA			■				
5	EXCAVACION DEL NUCLEO				■			
6	CONSTRUCCION DEL TANQUE FLOTADOR		■					
7	COLOCACION DEL TANQUE FLOTADOR PREPARACIONES AUXILIARES					■		
8	COLADO DE LOSA Y MURO (1ra. a 3ra etapa)						■	
9	COLADO DE LOSA Y MUROS (4a a 7a etapa)						■	
10	TRABES DE LIGA						■	
11	INYECCION DEL TANQUE Y TRINCHERA						■	
12	LIMPIEZA							■

lector Iztapalapa 2, de 2.44 m de diámetro, que capta las aguas residuales generadas en el mercado de la Central ( $2 \text{ m}^3/\text{seg}$ ), y de las colonias adyacentes ( $4 \text{ m}^3/\text{seg}$  aprox.); para posteriormente, descargarlas en la lumbrera de rejillas.

El colector tiene un diámetro de 2.44 m y una longitud de 20.0 m, -- con una deflexión de  $70^\circ$  a los 12.50 m hacia el registro (ver figura IV.17).

## 2. - LUMBRERA DE REJILLAS

La lumbrera de rejillas, es la estructura que sirve como receptor del colector semiprofundo Iztapalapa de 3.20 m de diámetro interior, y del colector Central de Abasto de 2.44 m de diámetro.

En el interior de la lumbrera, se ubican dos pares de rejillas que sirven para la separación de sólidos de gran diámetro, que pudiesen afectar al equipo de bombeo durante su funcionamiento.

Sobre la estructura de la lumbrera de rejillas, se ubica el edificio de control de malacates para las rejillas, hasta los niveles 40.50 y 44.00 m, como se muestra en la figura IV.18.

## 3. - TUNEL DE UNION DE LUMBRERAS.

Esta estructura une a la lumbrera de rejillas con la lumbrera cárcamo, por medio de un tubo metálico rigidizado, hincado en el terreno y re-

vestido de concreto armado.

Las dimensiones del tubo de unión son de 5 m de diámetro y 5 m totales de longitud, con un recubrimiento de 0.20 m (véase figura IV.18).

#### 4. - LOSA DE LIGA

Esta estructura une en la parte superior a la lumbrera de rejillas y a la lumbrera cárcamo mediante un diafragma de concreto armado, con un espesor de 1.70 m (ver figuras IV.17 y IV.18).

#### 5. - PISO DE OPERACION DE BOMBAS

El piso de operación de bombas se localiza cubriendo al cárcamo de bombeo (véase figura IV.17), la función de esta estructura es la de soportar a los equipos de bombeo, suspendidos sobre el piso de operación, y servir de ventilación al cárcamo mediante la instalación de rejillas irving. Los esfuerzos a los que estará sometido, son las cargas muertas y carvas vivas debido a su propio peso y a la operación del equipo de bombeo.

Su estructuración es a base de trabes IPC 42 X 16" 252.6 kg/m, vigas IPR 16" X 7" X (53.6 kg/m) y una losa macisa de 0.30 m de espesor.

#### 6. - TANQUE DE TRASPALCO

Esta estructura se localiza en la parte superior de la lumbrera cár-

como y sirve como descarga del equipo de bombeo (10 bombas de  $2 \text{ m}^3 \text{ c/u}$ ); el objetivo del tanque de trasapeo es el de eliminar las fuerzas hidrodinámicas provocadas por las descargas y, posteriormente, por carga hidráulica, conducir las aguas negras hacia el cajón de conducción al río Churubusco. (ver figuras IV.17 y IV.18).

El tanque de trasapeo puede almacenar un volumen de  $850.00 \text{ m}^3$  -- -- aprox., el cual se puede ajustar a las políticas de operación, que van de acuerdo al funcionamiento hidráulico del río Churubusco.

#### 7. - CAJON DE CONDUCCION AL RIO CHURUBUSCO.

El cajón de conducción recibe las aguas negras provenientes del tanque de trasapeo y trabajando por carga hidráulica, las conduce hacia el río Churubusco, donde finalmente llegaran al vaso de Texcoco para su regulación y, posteriormente serán desalojadas por el Gran Canal del Desagüe.

Este cajón de conducción tiene dimensiones de  $2.50 \times 4.00 \text{ m}$  de sección transversal y  $20.0 \text{ m}$  de longitud aproximadamente, carece de pendiente en la plantilla y se une al cajón del río Churubusco que tiene una sección transversal de  $7.50 \times 5.50 \text{ m}$  (veáse figura IV.18).

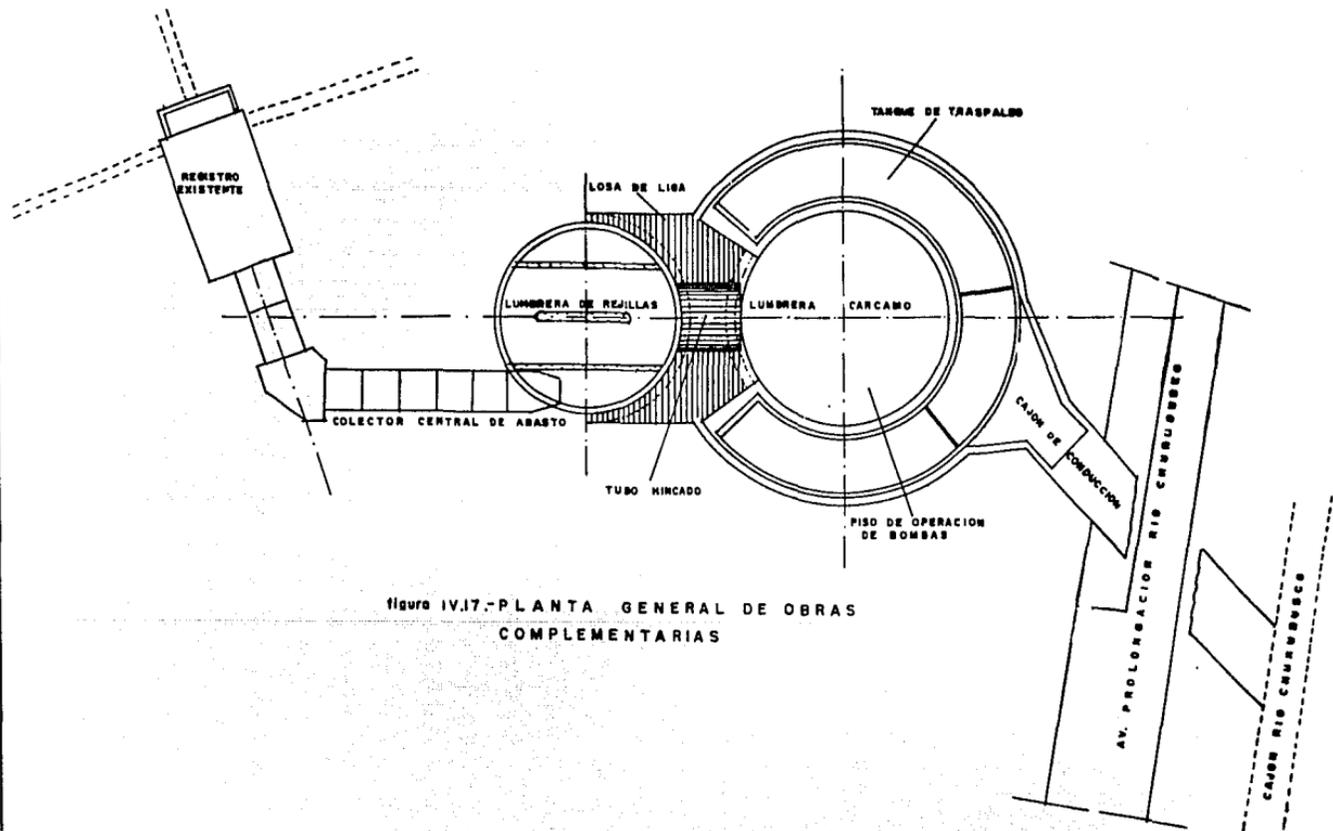
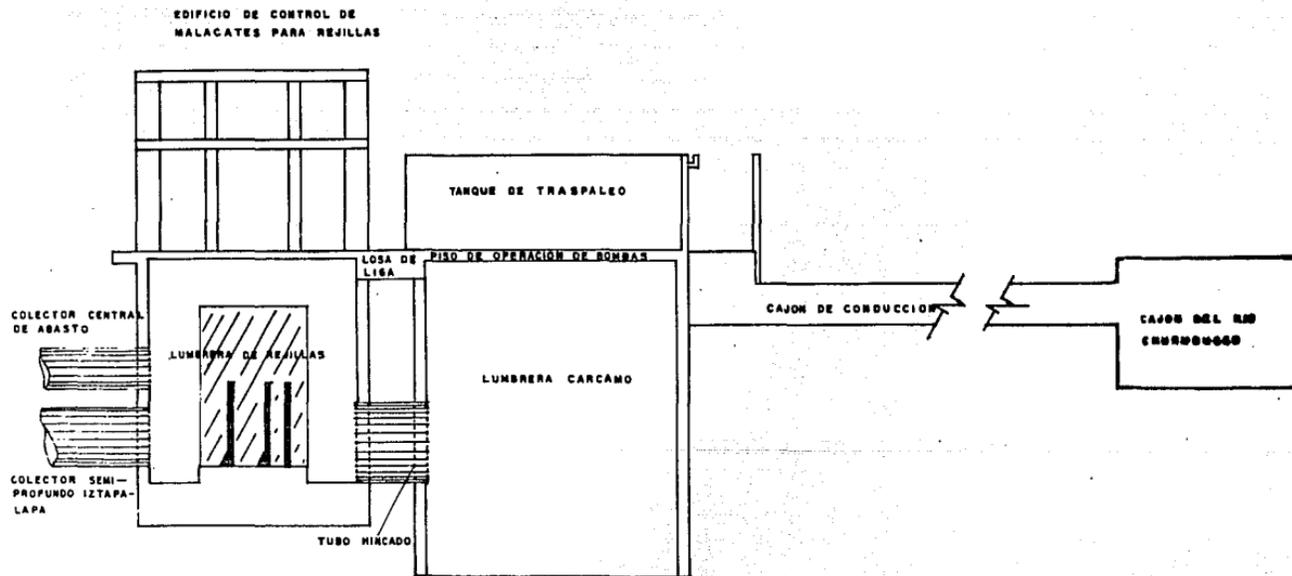


figura IV.17.-PLANTA GENERAL DE OBRAS  
 COMPLEMENTARIAS

figura IV.18.- CORTE GENERAL DEL CARCAMO DE BOMBEO  
Y OBRAS COMPLEMENTARIAS



## IV.4. - VOLUMENES DE OBRA

## CARCAMO DE BOMBEO

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1. - Acero de refuerzo	kg	59,082.00
2. - Cimbra de contacto	m <sup>2</sup>	1,154.44
3. - Concreto f'c= 250 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	787.76
4. - Excavación	m <sup>3</sup>	5,825.78
5. - Mortero	m <sup>3</sup>	1,135.20

## COLECTOR CENTRAL DE ABASTOS

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1. - No. Tubos 2.44 m Ø	Núm.	8.00
2. - Demolición de concreto	m <sup>3</sup>	39.18
3. - Excavación	m <sup>3</sup>	760.83
4. - Relleno de tepetate	m <sup>3</sup>	455.70
5. - Tezontle	m <sup>3</sup>	40.33

LUMBRERA DE REJILLAS (estructura interna, lo-  
sas nivel 34.00, 40.50 y-  
44.00)

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1. - Acero de refuerzo	kg	26,925.13
2. - Cimbra de contacto	m <sup>2</sup>	1,896.00
3. - Concreto f'c= 200 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	359.23
4. - Demolición de concreto	m <sup>3</sup>	37.09

TUNEL UNION DE LUMBRERAS (TUBO HINCADO)

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1. - Acero de refuerzo	kg	1,862.38
2. - Cimbra de contacto	m <sup>2</sup>	88.42
3. - Concreto f'c= 250 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	22.99
4. - Demolición de concreto	m <sup>3</sup>	18.29
5. - Excavación	m <sup>3</sup>	69.43

## LOSA DE LIGA

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1. - Acero de refuerzo	kg	6,320.38
2. - Cimbra de contacto	m <sup>2</sup>	104.86
3. - Concreto f'c= 250 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	144.17
4. - Demolición de concreto	m <sup>3</sup>	103.05
5. - Excavación	m <sup>3</sup>	288.00

## PISO DE OPERACION DE BOMBAS

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1. - Acero estructural	kg	23,337.10
2. - Acero de refuerzo	kg	5,090.11
3. - Cimbra de contacto	m <sup>2</sup>	357.00
4. - Concreto f'c= 250 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	105.00

**TANQUE DE TRASPALEO**

<b>CONCEPTO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
1. - Acero de refuerzo	kg	54,527.05
2. - Cimbra de contacto	m <sup>2</sup>	2,316.86
3. - Concreto f'c= 250 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	609.01

**CAJON DE CONDUCCION**

<b>CONCEPTO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
1. - Acero de refuerzo	kg	10,837.50
2. - Cimbra de contacto	m <sup>2</sup>	480.00
3. - Concreto f'c= 250 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	144.50
4. - Demolición de concreto	m <sup>3</sup>	10.45
5. - Excavación	m <sup>3</sup>	450.00

## RESUMEN DE VOLUMENES DE OBRA

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1. - Acero de refuerzo	kg	164,644.55
2. - Acero estructural	kg	23,337.10
3. - Cimbra de contacto	m <sup>2</sup>	6,397.58
4. - Concreto	m <sup>3</sup>	2,172.66
5. - Demolición de concreto	m <sup>3</sup>	208.06
6. - Excavación	m <sup>3</sup>	7,394.04
7. - Hortero	m <sup>3</sup>	1,135.20
8. - Relleno de Tepetate	m <sup>3</sup>	455.70
9. - Tezontle	m <sup>3</sup>	40.33

## CONCLUSIONES

La zona del lago de la ciudad de México, ofrece diversos problemas constructivos, debido a las características especiales de los suelos arcillosos que se encuentran en dicha zona. Por esta razón, es recomendable, no solo para cárcamos de bombeo, sino para todas las estructuras especiales o de gran tamaño, realizar estudios del comportamiento del subsuelo para dar mejores soluciones a la estructuración, y de esta forma, prevenir las fallas posteriores, como son principalmente los hundimientos diferenciales característicos en suelos compresibles.

Por lo que respecta a la utilización de cárcamos circulares, se concluye lo siguiente: Estas estructuras deberán tener un análisis de similitud de su funcionamiento hidráulico, y dependiendo de éste, realizar las modificaciones o adaptaciones necesarias para que el sistema en conjunto (colectores - cárcamo - equipo de bombeo - descargas), cumplan con el fin para el que fue construido.

Por otra parte, el procedimiento constructivo a base de lumbreras de flotación, es un método eficaz en los suelos arcillosos, ya que proporciona un rango de seguridad bastante aceptable contra la falla de fondo.

Tomando en cuenta las experiencias obtenidas en la construcción del drenaje profundo y obras del Metro en suelos arcillosos, se considera que las lumbreras flotadas pueden utilizarse en profundidades mayores de 10.00 m; de lo contrario se pueden utilizar muros milán u otros procedimientos constructivos convencionales.

## B I B L I O G R A F I A

1. - Carrillo, Nabor. El Hundimiento de la Ciudad de México y Proyecto Texcoco; contribución del Proyecto Texcoco al VII Congreso Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. México, S.H.C.P., 1969.
2. - Departamento del Distrito Federal, DGOH. Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal, México, 1975. Vol. 2 y 3.
3. - Dirac, S. A. de C. V. Estudio de Mecánica de Suelos del Corportamiento de las Lumberas de la Planta de Bombeo Central de Abasto del Semiprofundo Iztapalapa. Informe Técnico. DGOH, México. 1985.
4. - Dirac, S. A. de C. V. Estudio de Mecánica de Suelos para la Unión de Lumberas de la Planta de Bombeo "Central de Abasto" del Colector Semiprofundo Iztapalapa. Informe Técnico, DGOH, México, 1986.
5. - Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. Manual de Operación del Sistema de Drenaje Profundo, DGOH, México, 1982. Vol. 2.
6. - Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Secretaría General de Obras, D.D.F. Análisis de Mecánica de suelos

los para el diseño de lumbreras y túneles del Drenaje Profundo. Criterios y recomendaciones para proyectos de aprovechamiento de agua y alcantarillado. México, D. F., 1986. Tomo - 11.

7. - Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Secretaría General de Obras, D.D.F. Plantas de bombeo de aguas-residuales primera parte: consideraciones generales y proyecto civil. Criterios y recomendaciones para proyectos de aprovisionamiento de agua y alcantarillado. México, D. F. 1986. Tomo 10.

8. - Ditec, S. A. de C. V. Especificaciones electromecánicas, estación de bombeo Central de Abasto II. Informe Técnico, DGOCH, México, 1986.