

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL COLECTOR
SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

FELIPE DE JESUS HERNANDEZ ZEPEDA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

29
95

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-230



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZA DE
MEXICO

Señor FELIPE DE JESUS HERNANDEZ ZEPEDA,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor M. en I. Gabriel Moreno Pecero, para que lo desarrolle como TESIS para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO CIVIL.

"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL COLECTOR
SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA"

1. Introducción.
 2. Generalidades.
 3. Descripción de la obra.
 4. Estudios preliminares.
 5. Procedimiento de construcción.
 6. Conclusiones.
- Bibliografía.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 22 de agosto de 1985
EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ.

①
OARCH/RUCCH/sho.

P R E A M B U L O

El principal objetivo de este estudio es el de presentar ingenierilmente el procedimiento constructivo del colector semiprofundo Iztapalapa, actualmente en construcción y que forma parte del sistema de colectores semiprofundos para drenaje de la Ciudad de México para la zona oriente.

En este estudio, dentro de su simplificación, me he propuesto en el capítulo I, recordar o dar a conocer algunas de las características más importantes de las máquinas perforadoras de túneles (MPT) y las ventajas más comunes que presentan éstas a los métodos convencionales de excavación.

En el capítulo 2, sobre generalidades menciono algunos antecedentes sobre el retroceso de los lagos en el Valle de México; los problemas que presentaron las inundaciones y las obras de defensa más importantes que se construyeron en los años de 1449 a 1954. Anoto la necesidad que se tuvo para construir el drenaje profundo y los interceptores con que cuenta actualmente y los que están en proyecto y que servirán para desalojar las aguas negras y fluviales en el Valle de México. En este mismo capítulo se incluye la definición, finalidad y clasificación general de los túneles, pretendiendo también como finalidad primordial, fijar en la mente del lector la importancia o trascendencia de las obras subterráneas en el futuro del país, haciendo hincapié en los aspectos económicos de construcción, operación, mantenimiento y costos.

En el capítulo 3, describo en términos generales el colector, su localización y las características principales.

En el capítulo 4, se trata básicamente de los estudios de mecánica de suelos que preceden a todas y cada una de las obras de ingeniería de esta naturaleza, incluyendo en estos estudios un aspecto muy importante como lo es la interpretación de la información obtenida de exploraciones previas.

En el capítulo 5, hago mención del aspecto fundamental de que consta este estudio: La descripción del procedimiento constructivo empleado en el colector-semiprofundo Iztapalapa basado en una nueva tecnología en construcción tunelera para suelos muy blandos a base de un escudo cortador presurizado. En este mismo capítulo se incluye la clasificación, descripción y funcionamiento de las instalaciones y finalmente, algo que es muy importante, las normas de seguridad establecidas en la obra.

Por último en el capítulo 6, se anotan algunas conclusiones para llevar a cabo la construcción de esta obra y algunas medidas a considerar para el buen desarrollo de la misma.

INDICE

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA.

	PAGINA
CAPITULO 1 INTRODUCCION	1
CAPITULO 2 GENERALIDADES	
2.1 ANTECEDENTES	9
2.2 DEFINICION, FINALIDAD Y CLASIFICACION GENERAL DE TUNELES	22
2.3 TRASCENDENCIA DE LAS OBRAS SUBTERRANEAS EN EL DESARROLLO FUTURO DEL PAIS.	
2.3.1. CONVENIENCIA DE LAS OBRAS SUBTERRANEAS	24
2.3.2. ASPECTOS ECONOMICOS DE CONSTRUCCION, OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS SUBTERRANEAS	30
CAPITULO 3 DESCRIPCION DE LA OBRA	
3.1. LOCALIZACION Y DESCRIPCION GENERAL DE LA OBRA	39
3.2 CARACTERISTICAS DEL PROYECTO	50
CAPITULO 4 ESTUDIOS PRELIMINARES	
4.1 ANTECEDENTES	51
4.2 EXPLORACION Y MUESTREO	53
4.3 PRUEBAS DE LABORATORIO	68
4.4 EXTRATIGRAFIA	71
4.5 TUNEL SEMIPROFUNDO	90
4.5.1 ESTABILIDAD DEL FRENTE	91
4.5.2. ESTABILIDAD DE LAS PAREDES	92
4.5.3. PRESIONES VERTICALES Y HORIZONTALES	94
4.5.4. HUNDIMIENTOS	95

CAPITULO 5	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	
5.1	ANTECEDENTES	101
5.2	DESCRIPCION DEL SISTEMA DE EXCAVACION MEDIANTE EL ESCUDO PRESURIZADO DE LODOS	
5.2.1	FASES PRELIMINARES	
	CONSTRUCCION DE LAS LUMBRERAS	103
	TRATAMIENTO DEL SUELO CIRCUNDANTE A LA LUMBRERA	124
	INTRODUCCION DEL EQUIPO DE EXCAVACION	126
	INICIO DE LA EXCAVACION	126
5.2.2.	AVANCE DE LA EXCAVACION	
	ESCUDO DE LODO PRESURIZADO	127
	MECANISMO DE CORTE Y EXTRACCION DE LA REZAGA	131
	DESCRIPCION DEL SISTEMA DE LODOS	133
	REVESTIMIENTO PRIMARIO	136
	INYECCION ENTRE EL SUELO EXCAVADO Y LAS DOVELAS	137
	REVESTIMIENTO DEFINITIVO	139
5.3	DESCRIPCION DEL EQUIPO Y LAS INSTALACIONES AUXILIARES UTILIZADAS EN LA CONSTRUCCION DEL COLECTOR	
5.3.1.	EQUIPO	139
	CABINA DEL OPERADOR	139
	CABINA CENTRAL DE CONTROL	142
5.3.2.	INSTALACIONES AUXILIARES	
	SUBESTACION ELECTRICA	143
	INSTALACION DE ALUMBRADO	143
	INSTALACIONES NEUMATICAS	144

	PAGINA
INSTALACIONES EN LA PLANTA DE LODOS	145
PLANTA DE INYECCION	147
EQUIPO DE VENTILACION	148
EQUIPO PARA MANEJO DE MATERIALES Y ACCESORIOS	148
ALMACENES	151
TALLERES	151
SERVICIOS GENERALES	151
5.4 NORMAS DE SEGURIDAD ESTABLECIDAS EN LA OBRA	
CAPITULO 6 CONCLUSIONES	154
EVALUACION	157
BIBLIOGRAFIA	

CAPITULO 1

I. INTRODUCCION.

Numerosas son las obras subterráneas que existen actualmente en el Valle de México y que prestan un servicio seguro. Su realización, dentro de una geología volcánica muy compleja que abarca desde las rocas duras hasta las arcillas blandas, parece extraordinaria. En realidad ha respondido a una imperiosa necesidad de resolver problemas que en frecuentes ocasiones han alcanzado niveles de emergencia, y es resultado de la acumulación de una experiencia técnica bien asimilada, que proviene de la tradición constructora y minera de México en condiciones y terrenos difíciles, y que, en el presente, aprovecha los últimos adelantos de la Geotecnia, de la Ingeniería de Cimentaciones y de la "Ingeniería de Túneles".

La mayoría de estas obras subterráneas forman parte de proyectos llevados a cabo para aliviar necesidades que nunca han dejado de apremiar a los habitantes del Valle, como son el deshacerse del agua excedente y el aprovisionarse del agua potable.

La excavación de túneles se ha realizado desde hace muchas centurias, en varios países del mundo; ha sido pionera de esta técnica la minería para la explotación de yacimientos minerales y carboníferos. Por otra parte, obras de alcantarillado, conducción de agua, hidroeléctricas, la vialidad urbana, en carreteras, ferrocarriles y aún para propósitos militares han requerido de túneles de diferentes tamaños excavados en distintos terrenos en muy diversas circunstancias.

La tecnología en la excavación de túneles presenta actualmente adelantos muy importantes, tanto en rapidez como en seguridad, gracias al empleo de máquinas perforadoras de túneles (MPT), como por ejemplo los llamados usualmente escudos, utilizados en suelos sobre todo desde hace 50 años a la fecha.

Las ventajas que proporcionan estas máquinas en la excavación, protección y soporte de túneles son reconocidas cada vez en mayor grado considerando las desventajas de los métodos convencionales.

Con las máquinas perforadoras de túneles (MPR), los problemas se reducen al empleo adecuado de las mismas y a generar un sistema idóneo de rezaga, aunado a una mayor seguridad en la construcción del túnel, sobre todo si ésta se realiza en zonas urbanas.

El objetivo de un escudo es prevenir, en el momento del corte la deformación del terreno hacia el túnel mediante una coraza de metal, permitir una excavación segura y colocar el ademe - constituido por dovelas de concreto, a medida que avanza con sus propios dispositivos.

En esencia, el escudo en general consiste en un cilindro de metal, rígido, que puede dividirse en tres secciones: una parte delantera formada por una cuchilla, que va cortando el material, una estructura intermedia que sirve para rigidizar la coraza y alojar los sistemas hidráulicos que empujan al escudo, y una parte trasera que tiene una coraza cilíndrica o faldón en donde se coloca el mecanismo de instalación de las dovelas.

El escudo en sus tres partes debe ser capaz de resistir la fuerza del peso del terreno que actúa sobre él perimetralmente y la del empuje contra las dovelas para poderlas encajar en el terreno.

Actualmente la tecnología de la fabricación de escudos de ha desarrollado y avanzado extraordinariamente. Países como -- Japón, Inglaterra, Alemania Oeste, Estados Unidos y México, - construyen equipos en diámetros hasta de 10 m. para excavar - en todo tipo de suelos.

Las MPT se pueden clasificar en dos grandes grupos: escudos - para suelos suaves y relativamente firmes y escudos para suelos firmes y muy duros.

Para suelos blandos hay escudos con diferentes dispositivos y sistemas de excavación:

1. Escudos de frente abierto con diversos grados de mecanización tanto para la excavación como para el transporte, a través del escudo, del material excavado.

2. Escudos de frente cerrado, con diversos sistemas de estabilización en el frente que permite su agrupamiento en:

- a) Escudos de lodo bentónica
- b) Escudos con cámara de aire comprimido
- c) Escudos de presión de tierra balanceada.

Los escudos de frente abierto, además de los de plataformas - para la excavación manual, se fabrican con mecanismos cortadores tales como cucharones tipo draga o pala y con brazos cortadores giratorios, la disposición del material en el frente puede ser totalmente manual o con mecanismos de giro radial - (rotavator) o tornillos helicoidales que depositan el material en una banda transportadora que permite colocar el producto - en los medios de acarreo que se usan para llevar el material a lo largo del túnel.

Los escudos de frente cerrado tienen en el contacto con el terreno por cortar una cabeza que cubre toda el área de la sección y en ella se encuentran los elementos cortadores del terreno mediante el giro de la cabeza y el empuje de la máquina. El material excavado pasa, por ranuras, hacia atrás de la cabeza cortadora en donde se encuentra el sistema de estabilización del frente que es de diferente índole según el procedimiento aplicado.

En los escudos de frente cerrado, sin presión controlada de estabilización, se tiene detrás de la cabeza cortadora únicamente el sistema colector del producto excavado que lo lleva a los medios de transporte que se ubican en la parte posterior. Los colectores de la rezaga pueden ser cucharones rotatorios localizados en el perímetro del escudo mediante los cuales -- la depositan en una tolva para descargarla a bandas transportadoras o tornillos helicoidales.

Una variante de este tipo de máquinas son los escudos ciegos en suelos arcillo-limoso blando, en los cuales la excavación se logra obligando al material de frente a salir, por extrusión, a través de orificios abiertos en una mampara colocada a poca distancia del frente que cubre toda la superficie frontal del escudo.

En los escudos de frente cerrado de presión balanceada, detrás de la cabeza cortadora se forma un compartimiento aislado que puede someterse a presión; con longitud de 1 a 2 metros, mientras que el resto del escudo y todo el túnel se encuentran a la presión atmosférica. El compartimiento del frente puede someterse a presión utilizando el propio material producto de la excavación como transmisor de la presión ejercida por los gatos de avance que se apoyan en el ademe previamente colocado. Esta presión es la que mantiene en su lugar el terreno del frente, que se está excavando.

La presión se regula con los gatos de empuje; así el material excavado se extrae mediante tornillos helicoidales y su lugar es ocupado por nuevo material excavado, manteniéndose en esta forma la presión contra el frente.

Es importante señalar que en estos tipos de escudo es factible introducir agua o lodo de bentónita que permitan tener el material alojado en la cámara de presión en una consistencia -- más fluida o plástica para facilitar su remoción sin alterar la presión contra el frente. Esto es posible porque puede controlarse la presión con que se introduce el agua o el lodo. El material plástico extraído puede ser transportado con más facilidad en bandas o en los vehículos convencionales.

En los escudos de frente cerrado a base de bentónita el compartimiento que se forma entre la cabeza cortadora y la mampara dispuesta inmediatamente atrás de ella, se mantiene a presión mediante la introducción de lodos de bentónita a presión

controlada. El material cortado por la cabeza, que se introduce en la cámara, se mantiene en suspensión dentro de los lodos bentoníticos gracias a un agitador. El lodo que arrastra el material excavado se extrae de la cámara por bombeo. A la salida de la cámara se efectúa la separación de los materiales de tamaño grande como gravas y trozos aún mayores. El resto del material excavado, en suspensión, se bombea hacia el exterior en donde en una planta especial se realiza la separación del lodo bentonítico para la nueva utilización. Las gravas y trozos grandes inicialmente separados son transportados hacia el exterior por los medios convencionales o bien, se puede optar por triturarlos dentro del túnel para luego ser bombeados con los materiales en suspensión. Cuando el material es arcilloso la bentónita puede suprimirse y ser sustituida por agua para que se mezcle con el material excavado y forma un lodo semejante al bentonítico, que se sujete a los procesos de extracción antes descritos.

Los escudos con frente cerrado con presión a base de aire comprimido, son los que utilizan la cámara de presión para soportar el frente mediante este sistema.

Las principales ventajas que se tienen en la utilización de las MPT con respecto a los métodos convencionales son:

1. La utilización del recubrimiento llamado primario de dovelas, como definitivo.
2. Mayor seguridad en la construcción del túnel
3. Mayores rendimientos en la construcción del túnel, con el consiguiente menor gasto.
4. Mayor limpieza en la realización de los trabajos
5. Mayor control en la construcción del túnel por la sistematización y mecanización de las MPT
6. Mayor rapidez en la rezaga del material producto de la excavación.

Con base a la información que se ha recopilado con los fabricantes y a la captación de datos en los sitios donde han estado trabajando estos equipos en el mundo, se presume que se -- puede obtener un rendimiento de 10 m. promedio por día laborable. Este avance se entiende con el equipo trabajando nor--malmente y con la fábrica de dovelas produciéndolas conforme al programa constructivo.

Para poder lograr un rendimiento de 10 m. en promedio, es indispensable, sin embargo, tener resueltos los siguientes as--pectos:

1. Haber elegido convencionalmente el tipo de escudo para el suelo donde se vaya a construir el túnel.
2. Contar con personal técnico adecuado que conozca el equipo a utilizar.
3. Haber resuelto el problema, tanto técnico como económico, de la separación del material producto de la excavación, del material que se utilice en el frente como estabilizador y de la extracción de la rezaga.
4. Contar con un diseño adecuado de las dovelas que se utilicen como recubrimiento.
5. Implementar una adecuada fábrica de dovelas que tengan todas las características que exija el diseño.

Es importante que tanto los técnicos como los contratistas -- que vayan a intervenir en la construcción del túnel estén -- conscientes de todo lo anterior ya que si bien es cierto que en los últimos cincuenta años ha habido un gran adelanto en la construcción de túneles, gracias al desarrollo de las MPT y al empleo del revestimiento primario de dovelas como definitivo, también surgen graves problemas cuando erróneamente se piensa que el empleo de estos equipos se reduce al de una máquina universal que sólo requiere de moverle una palanca para que sea útil en excavar cualquier tipo de suelo, sea arcilla,

arena o roca.

Es importante hacer también mención, que aún cuando estos -- equipos han ayudado bastante a la construcción de túneles en diferentes tipos de suelos, los estudios de mejoras y nuevos diseños de las MPT no están del todo terminados encontrándose varios de ellos todavía en la etapa de desarrollo. Un caso concreto de estos, es el que se refiere a la excavación de -- suelos blandos, arcillosos, en donde el frente de excavación es inestable y en el que el empleo del aire comprimido, siguen siendo método confiable y prioritario.

En la ciudad de México, el Departamento del Distrito Federal, por medio de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, en combinación con la empresa SOLUM, S. A., han adquirido un escudo de 4.0 m. de diámetro exterior que se espera resuelva el problema de la construcción de túneles de ar cillas para los colectores de aguas negras de la ciudad, el - cual se utilizará en un futuro próximo, con efectos benéficos a muy largo plazo.

Espero que con lo escrito anteriormente, se haya logrado el - propósito de hacer notar que los medios con que cuenta la ingeniería subterránea, no sólo en México sino en el mundo ente ro, se ve muy prometedor, gracias a la implantación de nuevas técnicas y en la fabricación de estos nuevos equipos, que sin duda alguna representa un reto en la capacitación de los técnicos e ingenieros mexicanos, dada la compleja geología de es ta región. No obstante las dificultades se irán superando, al grado de que están ahora en proceso obras de gran magnitud que beneficiarán y enorgullecerán al pueblo mexicano.

CAPITULO 2

2. GENERALIDADES

2.1 ANTECEDENTES

La Ciudad de México se encuentra enclavada en la región Sureste de la Cuenca del Valle de México, la cual hasta antes de la erupción de los volcanes que forman la Sierra de Chichinautzin era un valle que drenaba libremente sus aguas hacia Cuernavaca por el sur (fig. 2.1).

Al represarse las aguas merced de la sierra se formó un gran lago (fig. 2.2), en él la única salida del agua fue por evaporación; a través del tiempo fue secándose y formando lagunas separadas, a la fecha sólo subsiste parte de la de Texcoco y los canales de la zona de Xochimilco - Chalco.

Por la morfología así constituida no es raro que las inundaciones hayan acaecido continuamente en el Valle de México desde que los primeros pobladores se establecieron en él; testigos mudos de las preocupaciones que despertaron estos fenómenos son las obras de defensa y de desagüe que se han construido en distintas épocas, en puntos estratégicos de la cuenca, algunas de las cuales existen todavía.

Las cenizas producto de erupciones volcánicas, depositadas en el seno del lago fueron sedimentándose lentamente en forma floculenta, constituyendo al través del tiempo un suelo arcilloso sumamente compresible al que ahora se le ha dado el nombre genérico de "arcilla del Valle de México".

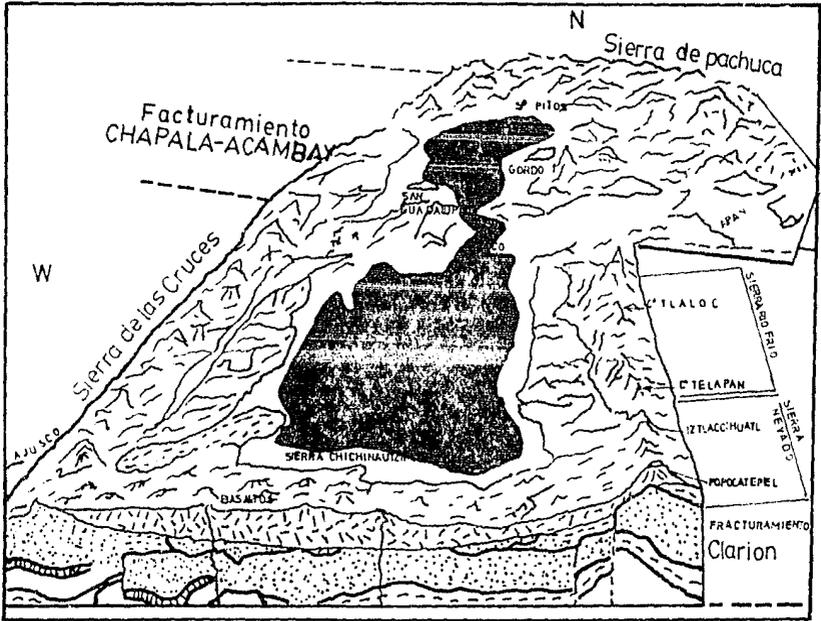


FIGURA 2.1. CUENA DEL VALLE DE MEXICO

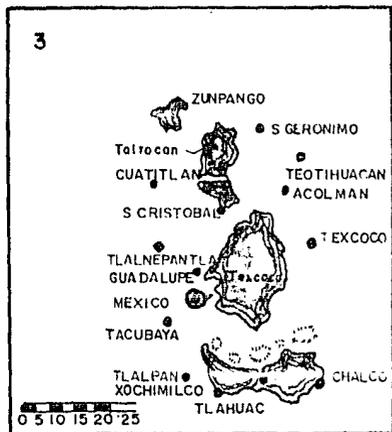
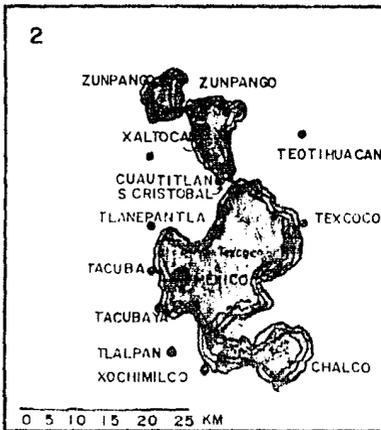
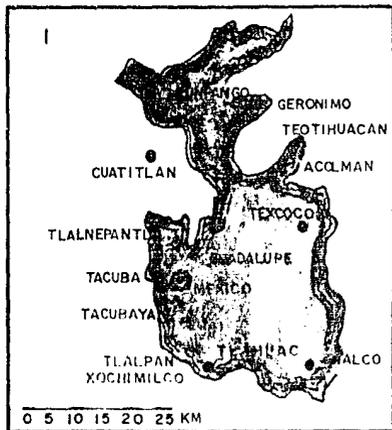


FIGURA. 2.2. EL RETROCESO DE LOS LAGOS EN EL VALLE DE MEXICO

El explosivo crecimiento demográfico de la actual capital de la República en el presente siglo, motivó que las fuentes de agua potable que la abastecían fueran agotándose y en su lugar se incorporaran nuevas fuentes de abastecimiento entre las cuales la más inmediata fue bombear los acuíferos profundos del subsuelo de la Ciudad. Al causarse desequilibrios en las presiones del agua del subsuelo debido al bombeo, el material arcilloso compresible inició así un proceso de consolidación que se tradujo en el llamado "hundimiento general del Valle de México", lo cual perjudicó notablemente la red de alcantarillado creando contrapendientes en las estructuras hidráulicas destinadas a alejar el agua negra y pluvial además de otros problemas.

A raíz de los problemas surgidos, las autoridades de la Ciudad en diferentes épocas han tomado medidas para solucionarlos. Es así como a principios de la segunda mitad del siglo veinte, la Dirección General de Obras Hidráulicas del Departamento del Distrito Federal, formuló el -- "Plan general para resolver los problemas del hundimiento, las inundaciones y el abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México". Tal plan comenta las deficiencias que tiene el actual sistema de drenaje y plantea la conveniencia de generar una nueva solución a base de interceptores profundos, como el llamado Central y el Oriente.

Para evitar que el hundimiento general del valle afectase el funcionamiento de los interceptores mencionados, se -- analizó alojarlos a conveniente profundidad, de manera de generar y facilitar la descarga de cualquiera de los colectores actualmente en uso y los que posteriormente se requerirían.

En 1959 después de haber estudiado varias alternativas para el alojamiento final del agua procedente de los interceptores, se decidió hacerlo mediante un emisor central que colectara el agua de los dos interceptores, Central y Oriente y las transfiriera al vaso de la presa -- Requena situada a 50 km. de la Ciudad de México y 130 m. más abajo que ésta. El sistema funcionará enteramente por gravedad, y se proporcionará un caudal extra para la región del Mezquital regada con agua de la presa Requena.

Con el plan originalmente propuesto, los nuevos conceptos generados en el año de 1959 y los lineamientos generales trazados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, para el uso del agua procedente del Valle de México, se resuelve definitivamente el problema de drenar, conducir y alejar el caudal de aguas negras y pluviales sobrantes de la Ciudad de México, evitando así el peligro de inundaciones, actualmente latente.

A) ORIGEN DEL PROBLEMA

La cuenca del Valle de México situada en el extremo sur del altiplano mexicano está limitada al norte por las Sierras Tepotzotlán, Tezontlalpan y Pachuca; al Este -- por los llanos de Apan y la Sierra Nevada; al sur por las Sierras Chichinautzin y del Ajusco y al Oeste por las Sierras de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo. -- Tiene 9,600 km² de superficie de la cual sólo el 30% es plana y situada a una altura sobre el nivel medio del mar de 2,250 m.

El Distrito Federal ocupa 1,480 km² y en él se encuentra la Ciudad de México con una área urbanizada mayor de 500 km² y un número de habitantes mayor a los 14.5 millones.

La precipitación media anual de acuerdo con datos recabados en un periodo mayor de 150 años, es de 700 mm.; ello representa un volumen medio llovido del orden de 6,500 - millones de m³ anuales.

El más envidiable clima y la profusión de lagos, ríos y manantiales en el Valle de México (Fig. 2.2), atrajeron desde épocas prehispánicas a numerosos grupos humanos -- que se asentaron en él y al hacerlo sufrieron serias calamidades en varias ocasiones cuando el líquido elemento sobrepasaba sus límites normales:

En 1449, el Rey de Texcoco, Netzahualcōyotl construyó la primera obra magna de defensa, un dique de 16 km. de longitud que se extendía desde el Cerro de la Estrella en Iztapalapa hasta Atzacualco, pasando por el Cerro del Peñón (figura 2.3), con esta obra se protegía a la población de las aguas procedentes del norte de la cuenca que eran las más caudalosas y que escurrían hacia el Lago de Texcoco en aquel entonces el lugar más bajo del Valle. Este dique además separaba la Laguna de México constituida en su totalidad por agua dulce, de las aguas salobres del Lago de Texcoco. Posteriormente se construyeron los diques de Tláhuac y Mexicaltzingo, que controlaban las aguas fluviales del Sur.

En época Virreynal se construyó el dique de San Cristóbal que cerró la garganta por la cual deramaban sus aguas - las lagunas de Zumpango, Xaltocan y San Cristóbal, al Lago de Texcoco.

En 1604 y 1607 grandes inundaciones de la Ciudad de México motivadas principalmente por los abundantes escurrimientos del Río Cuautitlán, impulsaron la búsqueda de -- una solución drástica para evitarlas, consistente en -- abrir la cuenca natural cerrada del Valle de México para dar salida a las aguas excedentes. El Cosmógrafo alemán Enrico Martínez fue el autor del proyecto del primer túnel de Nochistongo al Noreste de la cuenca (fig. 2.3) por el cual fueron desviadas las aguas del Río Cuautitlán dejando, por primera vez, de ser cuenca cerrada en el -- año de 1608. A los pocos meses de funcionar el túnel -- hubo derrumbes que lo inutilizaron y no fue hasta el año de 1789 en que la obra convertida en un tajo, a través -- de 160 años de trabajos, se terminó y dió salida permanente a las aguas del Río Cuautitlán.

En 1856 ante nuevos problemas de inundaciones se buscó -- dar una salida adicional a las aguas que hacían peligrar a la entonces floreciente Ciudad de México al subir los niveles del Lago de Texcoco. Fue así como se inició la construcción del Gran Canal de Desagüe y el túnel de -- Tequisquiac, terminándose en marzo de 1900, constituyendo una segunda salida de las aguas de la cuenca.

Entre 1940 y 1946 se construyó un nuevo túnel en Tequisquiac con lo cual la otrora cuenca cerrada del Valle de México se comunica por tres vías a partir de 1954 con la cuenca del Río Moctezuma, afluente al Río Pánuco que desagua en el Golfo de México a la altura del Puerto de -- Tampico.

Todas las obras de desagüe construídas en aquellas épocas incluyendo al Gran Canal y los túneles de Tequisquiac,

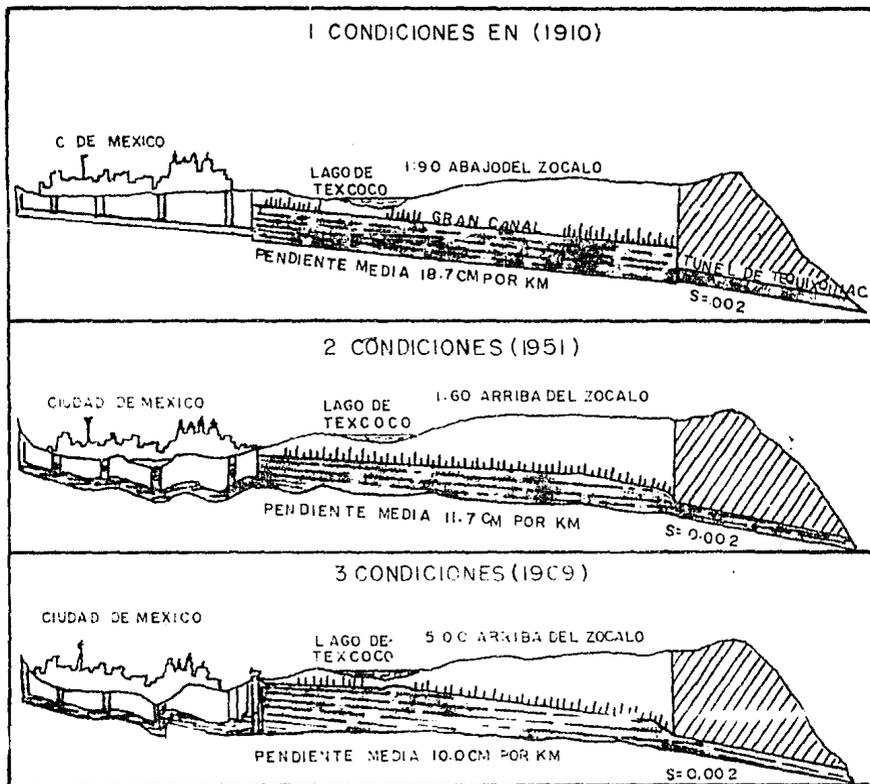
se proyectaron para trabajar por gravedad y así lo hicieron originalmente. Sin embargo, la perforación y explotación de numerosos pozos de agua urbanos, aceleró el hundimiento general del Valle, merced a los hundimientos diferenciales de las arcillas compresibles. En algunos puntos de la Ciudad como en el Caballito (Paseo de la Reforma y Av. Juárez), dicho hundimiento ha llegado a ser mayor de 8 metros. Con tales hundimientos -- era inminente el dislocamiento de la red de alcantarillado, provocándose columpios y contrapendientes en los colectores que desaguan al Gran Canal y también en este último (fig. 2.4).

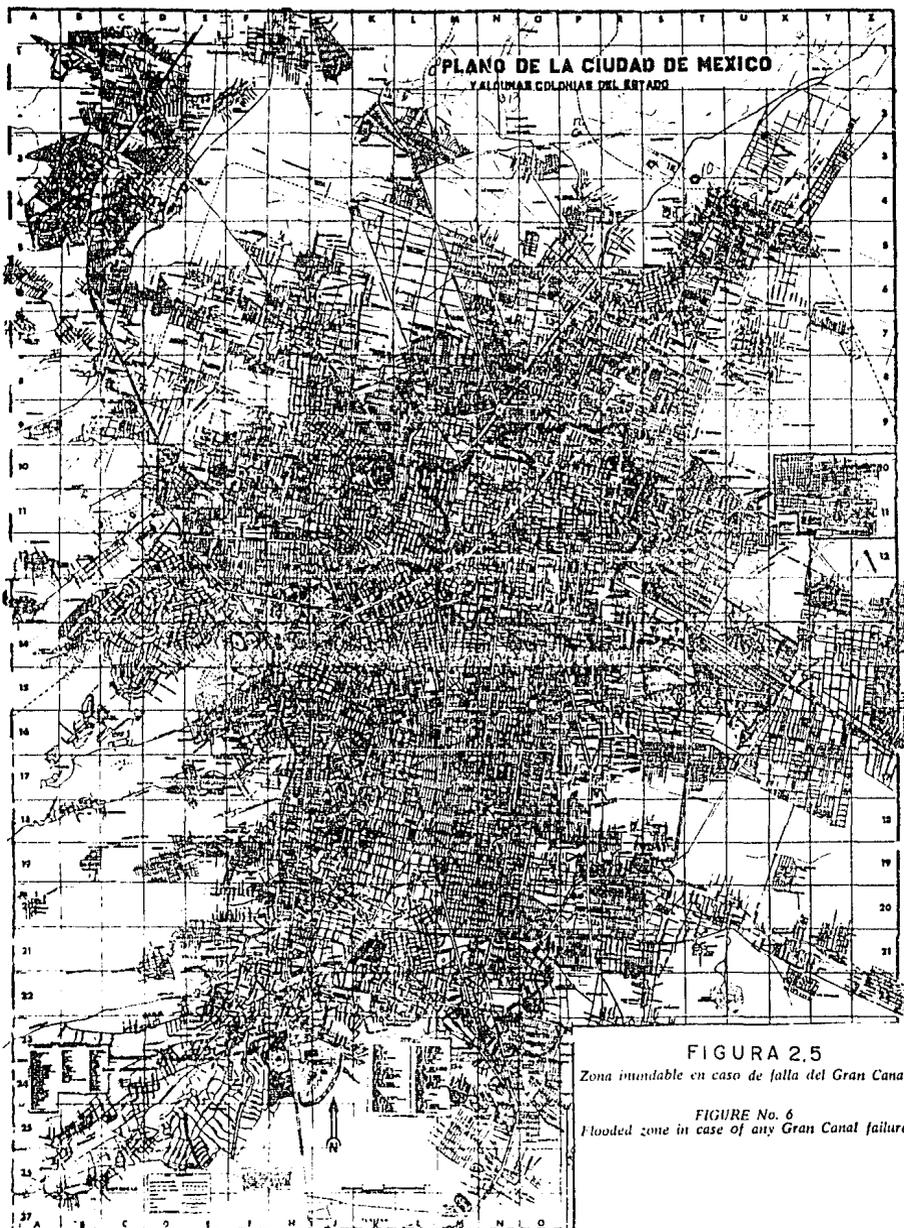
Esta situación de la red provocó serias inundaciones de la Ciudad que obligaron a las autoridades a operarla -- mediante estaciones de bombeo, con notable incremento -- de los costos de operación y mantenimiento del sistema.

B) CONDICIONES ACTUALES.

El hundimiento de la Ciudad de México ha colocado a ésta en condiciones tales que su zona central se encuentra -- ahora en el punto más bajo de la cuenca, situación que -- antiguamente pertenecía al Lago de Texcoco. Obviamente una falla del Gran Canal dentro de sus primeros 20 kilómetros o la de los bordos de protección, causaría en la Ciudad una inundación de consecuencias gravísimas (fig. 2.5).

**FIGURA: 2.4. VARIACIONES DE LAS CONDICIONES DEL
DESAGUE DE LA CIUDAD DE MEXICO**





El riesgo de una suspensión súbita del fluido eléctrico, durante el climax del bombeo de aguas del drenaje es tal que se justifica y así se ha hecho, la construcción de plantas eléctricas accionadas con motores diesel independientes del circuito urbano que garanticen la seguridad del servicio.

A la fecha para desalojar las aguas negras y pluviales se cuenta con:

1. El interceptor del poniente, recientemente construido que recibe y desaloja los escurrimientos de la zona alta del poniente de la cuenca, situada por encima de la elevación 2260 msnm, y las conducen al Lago de Zumpango o al Talo de Nochistongo.
2. El canal del desagüe, que drena por bombeo la zona baja de la Ciudad situada en terrenos del antiguo lago, en su origen (año de 1900), fue construído para un gasto de $5 \text{ m}^3/\text{seg.}$ en los primeros 20 km. y $17.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$ en los restantes y que ha trabajado en ocasiones con gastos máximos hasta de $130 \text{ m}^3/\text{seg.}$ mediante la construcción y sobreelevación de bordos marginales.
3. El Río Churubusco que funciona como estructura auxiliar drenando la parte sur de la Ciudad y conduciendo los escurrimientos al Lago de Texcoco, donde son regularizados y posteriormente encauzados al Gran Canal, aguas abajo en el Km. 17.

C) SOLUCIONES PROPUESTAS

Para completar el plan propuesto por las autoridades del Distrito Federal, se requieren:

1. El interceptor Central que desalojará los escurrimientos de la zona central de la Ciudad.
2. El interceptor del Oriente, que junto con el central conducirán por gravedad los escurrimientos de la zona Oriente de la población.
3. El emisor Central que recogerá las aguas de los dos interceptores profundos para enviarlas por gravedad hasta la Presa Requena.

A partir de 1976 se han continuado los trabajos para prolongar los servicios hacia el sur de la Ciudad y se excava un nuevo interceptor, el Centro Poniente, que descargará a la lumbrera 1 del emisor central.

2.2 DEFINICION, FINALIDAD Y CLASIFICACION GENERAL DE TUNELES.

DEFINICION.

Un túnel se puede definir como una estructura subterránea que normalmente tiene una de sus dimensiones bastante mayor a las otras dos, es construida por métodos especiales de manera de no alterar las condiciones de la superficie exterior que limita al medio en que se hace.

Un caso particular pero que es conveniente mencionarlo son los almacenamientos subterráneos que en tiempos recientes han tenido un gran auge.

FINALIDAD

La finalidad de los túneles es asegurar la transportación directa de pasajeros o bienes a través de ciertos obstáculos.

El obstáculo puede ser una montaña, un cuerpo de agua, zonas urbanas, zonas industriales, etc. Así los túneles pueden pasar bajo montañas, ríos, zonas urbanas, -- zonas industriales, edificios y carreteras.

Como consecuencia de lo anterior la finalidad de los túneles puede ser la construcción de líneas de ferrocarriles, carreteras, pasos de peatones; o para conducir -- agua potable, para riego, energía eléctrica, aguas negras, etc.

CLASIFICACION GENERAL

Además de la finalidad de los túneles, otro criterio importante para la clasificación son las características de los materiales a través de los cuales se construyen (suelos blandos, firmes e incluso en roca), ello lleva implícito el realizar una serie de estudios geotécnicos que proporcionan la información necesaria para interpretar y pronosticar la estratigrafía a lo largo del túnel y en base a ello decidir sobre el procedimiento constructivo a seguir.

Por otra parte, pueden existir otra serie de factores -- que influyen para la clasificación como son: la localización, su profundidad respecto al terreno natural, el trazo, el método de construcción, el diseño, las fuerzas -- actuantes, etc.

Así los túneles se pueden clasificar por su finalidad en:

CLASIFICACION GENERAL DE TUNELES

A) CONDUCCION:

Túneles de desagüe

Túneles para agua potable

Túneles para obras hidroeléctricas subterráneas

Túneles para riego

Túneles para conducción de servicios públicos

Túneles de transportación en plantas industriales

B) TRANSPORTACION:

Túneles ferroviarios

Túneles para carreteras

Túneles para peatones

2.3 TRASCENDENCIA DE LAS OBRAS SUBTERRANEAS EN EL -- DESARROLLO FUTURO DEL PAIS.

2.3.1 CONVENIENCIA DE LAS OBRAS SUBTERRANEAS

México, como país en pleno desarrollo, necesita construir nuevas vías de comunicación, tanto para el transporte eficiente de mercancías como para el traslado rápido de pasajeros entre sus diferentes centros de producción y de población. Este mismo desarrollo lleva implícito resolver numerosos problemas de abastecimiento de agua potable y desagüe para cada uno de los nuevos núcleos urbanos, así como para adecuar los ya existentes.

Estos requerimientos del desarrollo propician, en cierta medida, la utilización de obras subterráneas, ya que la accidentada orografía del país hace pensar en los -- túneles como solución para reducir pendientes y acortar distancias en carreteras, vías férreas, acueductos y -- obras de desagüe. Por otro lado, el transporte rápido de pasajeros dentro de las grandes ciudades como la -- nuestra, necesita de rutas directas imposibles de localizar en la congestionada superficie, pero disponibles en el "espacio" guardado en el subsuelo. De igual manera, otros servicios municipales como: teléfonos, gasoductos, drenajes pequeños, cables de luz, etc., pueden resolverse alojándolos bajo la superficie.

La rica herencia histórica que como país minero tiene - México, le permitió adquirir sus primeras experiencias tuneleras, casi todas ellas en rocas metamórficas intensamente fracturadas y mineralizadas. La construcción

de líneas férreas contribuyó también, en buena medida, al desarrollo de los túneles, ya que por sus restricciones de pendiente es frecuente usar la solución del túnel; por esta razón, se ha hecho común en países montañosos asociar ferrocarriles con "túneles"

Los grandes proyectos hidroeléctricos y de riego que se han realizado en el país han permitido acrecentar notablemente las experiencias tuneleras con obras de desvío, vertedores, conducciones a presión y cavernas subterráneas para alojar las grandes centrales. A partir de la década de los 60's se inició la construcción de túneles para sesagües profundos tanto en México, D. F., como en Guadalajara y otras ciudades; más recientemente se ha iniciado el desarrollo del sistema transporte colectivo subterráneo.

TUNELES CARRETEROS.

Es un hecho insólito que el túnel carretero sea prácticamente desconocido hasta ahora en México, a pesar de lo accidentado de la orografía nacional. quizá, esta demora en su utilización se ha debido a tres barreras que pudieran haberse justificado hace tiempo pero que ahora, con las nuevas condiciones, ya no debieran existir.

BARRERA TECNOLÓGICA. Ha quedado prácticamente derrumbada con los recientes logros de los tuneleros nacionales, quienes tienen ahora una rica y variada experiencia y un espíritu de investigación continua en busca de mejoras sobre el particular. También, en los congresos internacionales y en las revistas especializadas sobre el tema, México empieza a mostrar su capaci-

dad tunelera.

BARRERA ECONOMICA. Entendida a corto plazo o como inversión inicial, un túnel carretero difícilmente podrá compararse con ventaja a su favor con otras alternativas de solución en superficie; sin embargo, si se toman en cuenta todas las posibilidades de la economía a largo plazo, incluyendo ahorros en los consumos de combustible por reducción de distancias y pendientes y por reducción en el desgaste del vehículo, así como el acortamiento en tiempo para el transporte, el túnel carretero puede resultar ventajoso.

BARRERA DE OPERACION. Entre los sistemas auxiliares de operación de un túnel carretero, que son función de la longitud del túnel, se incluyen: ventilación, iluminación, señalización, sistema de seguridad, etc., así como la conservación y mantenimiento de los mismos; los costos de estos sistemas deben analizarse a largo plazo para su correcta comparación económica.

El túnel carretero acorta distancias, reduce pendientes y tiende a conservar la velocidad de operación del camino. Puede librar zonas de clima adverso, ubicar el trazo en zona firme del interior de las montañas evitando laderas inestables, conservar la ecología superficial de terreno sin alterar la existencia de bosques o tierras de cultivo.

TUNELES FERROVIARIOS

Son ampliamente conocidos en México, ya que es común su utilización para reducir pendientes y transportar grandes cargas, lo que hace posible desde el punto de vista económico el uso de los ferrocarriles.

En combinación con viaductos, ofrecen la mejor alternativa terrestre para comunicar grandes centros de población de manera eficiente y más o menos rápida.

Al igual que los túneles carreteros, el impacto ambiental de los túneles ferroviarios es menor, al permitir -- que en la superficie se continúe con el uso económico -- programado, sea bosque, tierra agrícola o urbana. Otra gran ventaja de los túneles ferroviarios es que durante su operación prácticamente no requieren ventilación o -- iluminación, aunque sí de una señalización sencilla.

TUNELES PARA CONDUCCION DE AGUA

Los túneles para conducción de agua son indispensables para conservar una pendiente uniforme a lo largo de un acueducto y permiten que la fuerza gravitacional se encargue de llevar el agua de un sitio a otro atravesando barrancas como puentes canal o con sifones invertidos.

Las experiencias aportadas por los interceptores profundos y el emisor central de la Ciudad de México han marcado un decisivo momento histórico en la experiencia nacional que amplió notablemente los horizontes tecnológicos

de la especialidad, creando a la vez numerosos ingenieros tuneleros para resolver los nuevos retos del futuro próximo.

Las conducciones de agua para riego también se han resuelto con túneles, intercomunicando tramos de canal a cielo abierto, conservando pendientes, ahorrando pérdidas de carga y evitando pérdidas por evaporación en zonas desérticas o semidesérticas.

PLANTAS HIDROELECTRICAS SUBTERRANEAS

Las casas de máquinas o centrales alojan las máquinas generadoras y las turbinas en túneles. En algunos casos, si éstas fueran construídas en la superficie, serían necesarias tuberías de carga superficiales de gran longitud para desarrollar la carga hidráulica que genere la potencia deseada, mientras que si son subterráneas, la carga hidráulica puede ser aprovechada con pozos casi verticales transfiriendo la descarga del agua a la casa de máquinas por los túneles a presión.

Otro ejemplo son los túneles de desvío que son necesarios para iniciar la construcción de una cortina.

Cuando el costo de la tubería de carga excede al costo adicional de la excavación la solución subterránea es la más económica. Las casas de máquinas subterráneas son construídas también con propósitos de seguridad. -- Cualquiera que sea la razón, el uso de las plantas subterráneas se está extendiendo cada vez más, y su construcción se está convirtiendo en la solución más común.

ALMACENAMIENTOS SUBTERRANEOS

En tiempos recientes han tenido un gran auge los almacenamientos subterráneos de muy diversos productos. Este auge se ha visto motivado por dos principales razones:

- El aprovechar los espacios subterráneos deja libre para otros usos la superficie del terreno en ciudades y áreas industriales donde el valor de la tierra se ha incrementado mucho.
- Las condiciones propias del almacenamiento subterráneo en cuanto a seguridad, aislamiento térmico, etc., le dan ventaja sobre los almacenamientos superficiales. A final de cuentas y como combinación de lo anterior, el uso de almacenes subterráneos se traduce en una mayor economía.

Debe tenerse presente que para poder construir un almacenamiento subterráneo se requiere disponer de una roca adecuada que permita ser excavada económicamente, según el propósito específico del almacenamiento.

Existen grandes ventajas en el uso de estos almacenes comparados con los superficiales convencionales:

- Se reducen los costos de construcción para grandes volúmenes.
- Se reducen los costos de mantenimiento; los tanques superficiales normalmente están localizados en ambientes corrosivos y requieren mantenimiento.

- Se reduce el tiempo de construcción; se puede trabajar simultáneamente en varias cavernas.
- Se minimizan los riesgos de incendio.
- Se reducen los costos de operación al poder centralizar la operación en grandes volúmenes almacenados.
- No se afecta la naturaleza en la superficie.

2.3.2 ASPECTOS ECONOMICOS DE CONSTRUCCION, OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS SUBTERRANEAS

Tomando como base el alto grado de avance tecnológico logrado en materia de obras subterráneas, puede afirmarse que éstas son ya totalmente programables en cuanto a su tiempo de ejecución y costo; es posible evaluar detalladamente cada uno de los diferentes aspectos de la construcción y ya no es admisible suponer simplemente costos sumamente elevados e incertidumbres en programas.

De hecho, las obras subterráneas son costosas, puesto que en su realización se conjugan técnicas ingenieriles diversas; sin embargo, esta manera de pensar puede cambiar a medida que se profundice en los aspectos económicos que intervienen dentro de la toma de decisiones en el proyecto de una obra subterránea como solución alternativa de un puente, un canal, etc., en otros casos puede resultar obvio que la construcción de una obra subterránea nos conduciría a un costo más elevado a corto plazo. Ante tales circunstancias conviene evaluar en la mejor medida --

posible los aspectos económicos a largo plazo, así como las ventajas que sean para bien y seguridad de la comunidad, cuya consideración puede influir definitivamente en la decisión final.

Los aspectos económicos a corto plazo se relacionan directamente con el costo de ejecución mientras que aquellos a largo plazo representan ventajas cuya importancia económica se deriva de los beneficios globales en bien de la comunidad.

A) ASPECTOS ECONOMICOS DE CONSTRUCCION

Dentro de los que se relacionan directamente con la realización del proyecto de una obra subterránea, pueden citarse los siguientes como los más importantes:

DIMENSIONES

El área de la sección excavada de un túnel, así como su longitud, influyen determinadamente en el costo; en condiciones normales a mayor área se obtiene menor costo por m^3 de material excavado y viceversa. La razón por la que el costo de excavación por m^3 varía con el área estriba fundamentalmente en la mano de obra, las instalaciones y el equipo que integran los cargos fijos comunes a cualquier túnel. Dichos cargos varían relativamente poco en túneles con diámetro similar aún cuando su sección transversal difiere en porcentajes mayores. De esta forma se explica que en túneles pequeños los costos de excavación por m^3 resultan más altos por el prorrateo de cargos fijos en función del área.

Por otra parte, comparando con excavaciones a cielo abierto el costo de excavación por m^3 de las obras subterráneas sigue la misma regla; a mayor área las diferencias de costo entre ambos procedimientos tiende a ser menor no toria. La longitud del túnel influye en forma similar al área excavada; a mayor longitud se obtiene menor costo por m^3 . De esto se deduce que los tuneles deben proyectarse considerando la mayor longitud posible entre puentes de ataque a fin de evitar la duplicidad de cargos fijos.

GEOLOGIA

Dependiendo de las formaciones geológicas por las que atraviesa el trazo de un túnel pueden incrementarse o reducirse los costos de construcción del mismo; cuando deben enfrentarse circunstancias poco comunes, tales como fallas geológicas, acuíferos subterráneos, arcillas sumamente blandas, arenas sueltas en presencia de agua, etc., los procedimientos constructivos, así como el revestimiento tienden a ser más refinados y complejos con el consecuente incremento en el costo. Aún más, en caso de ocurrir una falla los costos podrían incrementarse notablemente en función de las pérdidas y retrasos que se originen.

Para tener una mejor idea de la influencia económica de la geología podrá agregarse a las clasificaciones de túneles una columna en la que se evaluará en forma burda un parámetro de costo/m de túnel relacionado con la estrati-

grafia, el procedimiento constructivo y el soporte temporal del túnel.

Otros dos aspectos importantes que pueden derivarse de la geología y propiamente el procedimiento constructivo son los rendimientos promedio de longitud del túnel excavado/día hábil y la utilización de mano de obra barata; la construcción de un túnel resulta más barata si la estratigrafía del terreno facilita el ataque del mismo o si el procedimiento constructivo empleado es el más adecuado, garantizando un avance promedio previamente establecido. En cuanto a la utilización de mano de obra barata, podría resultar sumamente ventajoso emplear los procedimientos constructivos más simples siempre y cuando sean adecuados para la seguridad del túnel, evitando el empleo de maquinaria para el constructor y para la economía del proyecto.

En conclusión, es muy importante la geología ya que es la herramienta que contribuye en mayor medida a proporcionar la información que necesita el ingeniero de túneles para adelantarse a los hechos. En ella ha de basarse el procedimiento de construcción. La geología o la estratigrafía a lo largo de un túnel es la única verdadera variable independiente que interviene en el costo de la obra y es por tanto, la variable más importante. Desafortunadamente es también la más difícil de caracterizar o definir.

Al seleccionar el trazo y el perfil del túnel, automáticamente queda fija la geología del terreno que se va a excavar, y ésta, a su vez, determina el orden de magnitud del costo y por lo tanto la importancia de los estudios.

FINALIDAD

La finalidad de un túnel influye en buena medida en su costo, particularmente en lo que se refiere al revestimiento adecuado para su vida útil. Por ejemplo los túneles para conducción de agua potable y aguas negras requieren márgenes de seguridad adicionales para presiones originadas por el fluido y así como la abrasión y corrosión del revestimiento; en cambio los túneles carreteros y ferroviarios se proyectan con el revestimiento solo in dispensable para soportar cargas del subsuelo sin consideraciones adicionales.

VENTAJAS DIRECTAS

Las ventajas directas se refieren a los costos que se evitan al proyectar una obra subterránea como alternativa para un proyecto específico y se derivan esencialmente de las necesidades locales; por ejemplo, en áreas urbanas las excavaciones a cielo abierto obligan a ejecutar infinidad de trabajos para desviar o modificar las instalaciones existentes, llegando en casos extremos a expropiar y demoler construcciones, dando como resultado un incremento exagerado en el costo global del proyecto. Tal es el caso del metro de la Ciudad de México en donde paulatinamente, se han incorporado las obras subterráneas en lugar de la conocida solución del cajón tipo metro.

B) ASPECTOS ECONOMICOS A LARGO PLAZO

Los aspectos económicos a largo plazo son el resultado de una inversión realizada en el momento oportuno; entre ellos se mencionan los siguientes:

AHORRO DE ENERGIA

Generalmente las carreteras y vías férreas de superficie son proyectadas con pendientes que dependen de la configuración de la zona que atraviesan. No sucede así con los túneles, los cuales pueden proyectarse con pendientes suaves. Esto, añadido a la reducción de distancias que se logra con los túneles, se traduce en ahorros de combustibles, lubricantes y refacciones de vehículos y maquinaria.

REDUCCION DE LA CONTAMINACION AL MEDIO AMBIENTE

La creciente preocupación del hombre en la era moderna por preservar el medio ambiente hace que este aspecto sea uno de los más importantes. El transporte masivo subterráneo en las grandes ciudades puede ayudar a reducir considerablemente el nivel de contaminación, de tal forma que los fondos destinados a preservar el medio ambiente pueden destinarse a necesidades más apremiantes. Los túneles para drenaje y conducción de agua en sustitución de canales son también una buena medida para evitar y reducir la contaminación.

PROTECCION

Las obras superficiales de conducción constituyen un peligro latente en caso de presentarse condiciones poco comunes que afecten su seguridad. Al respecto conviene citar el caso del sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México cuya construcción nació de la seria amenaza que representaba una posible inundación.

C) ASPECTOS ECONOMICOS DE OPERACION

Los costos de operación de una obra subterránea se derivan fundamentalmente de la magnitud y finalidad para la que fue planeada; así:

- Los túneles de conducción prácticamente no tienen costos de operación, a excepción de los comunes al propio sistema al que están integrados.
- Los túneles ferroviarios y carreteros de corta longitud tienen bajos costos de operación.
- En los túneles ferroviarios y carreteros de gran longitud los costos de operación ocupan un renglón sumamente importante, especialmente en los carreteros, en los que se debe contar con diversos sistemas de acuerdo a la longitud del túnel y el número de vehículos considerados en el proyecto.

D) ASPECTOS ECONOMICOS DE MANTENIMIENTO

Al igual que los costos de operación, los costos de mantenimiento de una obra subterránea están en relación directa de su magnitud y finalidad;

- Los túneles ferroviarios y carreteros en teoría requieren menos mantenimiento que el común en otras obras civiles, puesto que las condiciones atmosféricas influyen en menor grado.

Los túneles de conducción pueden requerir de un mantenimiento programado especialmente en la superficie de contacto a fin de cumplir con las condiciones requeridas para la operación más eficiente del conducto.

Es perfectamente factible, contra lo que con frecuencia se cree, realizar un estudio económico que, considerando todos los factores, permita comparar una solución -- que incluya una obra subterránea con otras soluciones -- convencionales. En la actualidad se tiene suficiente información estadística para realizar una determinación adecuada del costo de la inversión de una obra subterránea.

En lo que se refiere al programa, que influye definitivamente en las condiciones económicas, se puede preveer el tiempo de realización de la obra subterránea, con la misma aproximación que para otras obras. En el caso -- de las obras hidroeléctricas, por ejemplo, es común la utilización de túneles, los cuales se programan con el mismo grado de certidumbre que las obras exteriores, -- los resultados obtenidos a lo largo del tiempo, a este respecto, pueden considerarse muy satisfactorias.

CAPITULO 3

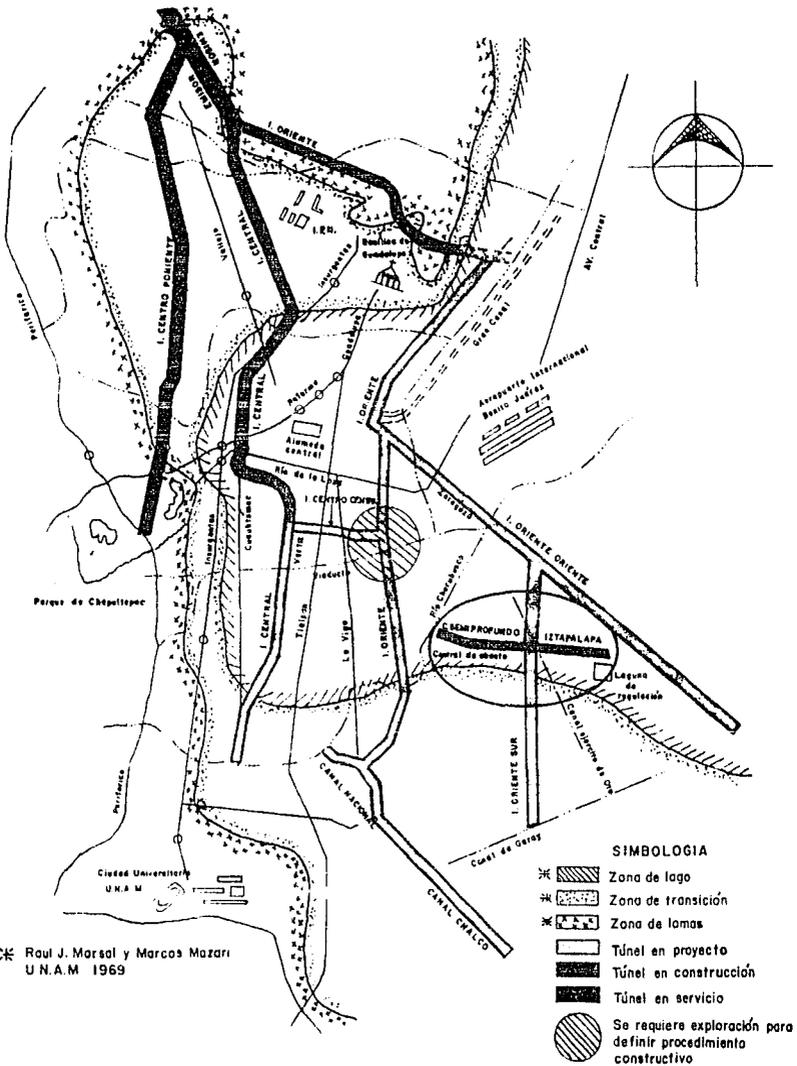
3. DESCRIPCION DE LA OBRA

3.1 LOCALIZACION Y DESCRIPCION GENERAL DE LA OBRA

La urgente necesidad detectada por las autoridades del Departamento del Distrito Federal, de desarrollar obras de drenaje para la zona oriente de la Ciudad de México, condujo a proyectar el "Colector Semiprofundo Iztapalapa" que dará salida a las aguas negras que se acumulan en la laguna de regulación de Iztapalapa ubicada al sur del Peñón del Marqués, estas serán desfogadas mediante bombeo al Río Churubusco y en un futuro captadas por -- gravedad por el interceptor oriente-sur del drenaje profundo, incorporando en su recorrido las aguas de los colectores: Indeco, Ejército de Oriente, Canal de San -- Juan y Central de Abastos (Fig. 3.1).

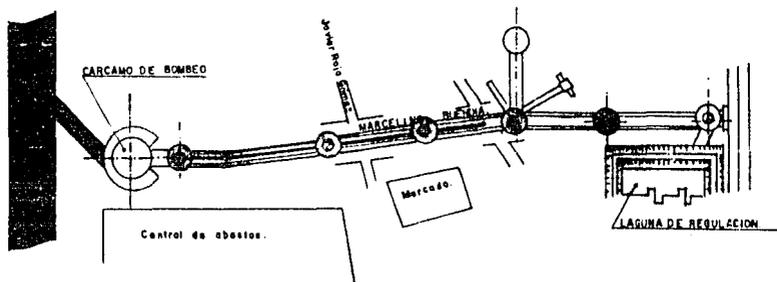
La obra proyectada contempla la excavación de un túnel de 6 Km. de longitud y 3.2 m. de diámetro interior terminado, cuyo eje longitudinal se ubicará a una profundidad de 12.0 m (Fig. 3.2).

Debido a su localización en la zona de arcillas blandas del Valle de México donde estos sitios alcanzan más del 300% de contenido natural de agua y resistencias al corte muy pequeñas del orden de 2 ton/m² (fig. 3.3), esta obra ofrece la oportunidad de poner en funcionamiento -- por primera vez en América Latina un escudo cortador de acción estabilizadora frontal, de 4.0 m. de diámetro -- exterior, 6.30 m. de longitud y 16 gatos de empuje, capaces de aplicar una presión máxima en conjunto de -- 1,600 ton. y con una presión de trabajo de 50 a 100 -- kg/cm², fabricado por OKUMURA CORPORATION, de Japón, siguiendo un diseño especial realizado conjuntamente con

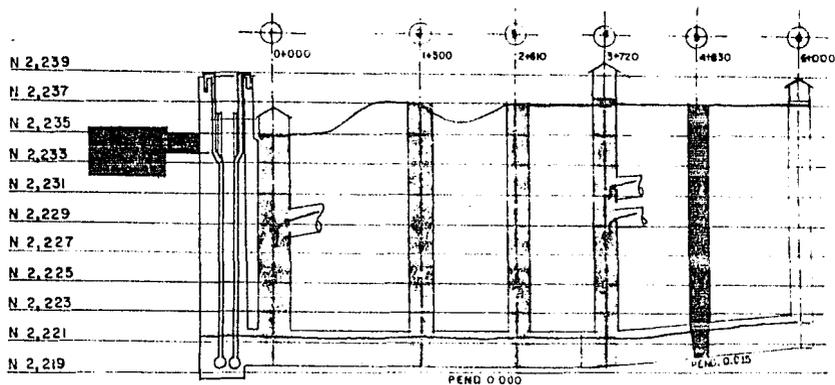


**PLAN MAESTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO
 DEL DISTRITO FEDERAL**

FIGURA 3.1



PLANTA.



SECCION LONGITUDINAL.

DATOS DE PROYECTO.

LONGITUD TOTAL DEL TUNEL	6,000 00 m
PEND. DEL TUNEL DE LUMB. 4 A LA 6	1.50,000
NUMERO DE LUMBRERAS	6
Ø EXT. DEL ESCUDO CORTADOR.	4.00 m
Ø INT. DEL REV. PRIMARIO	3.50 m
Ø INT. DEL TUNEL TERMINADO.	3.20 m

COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA.

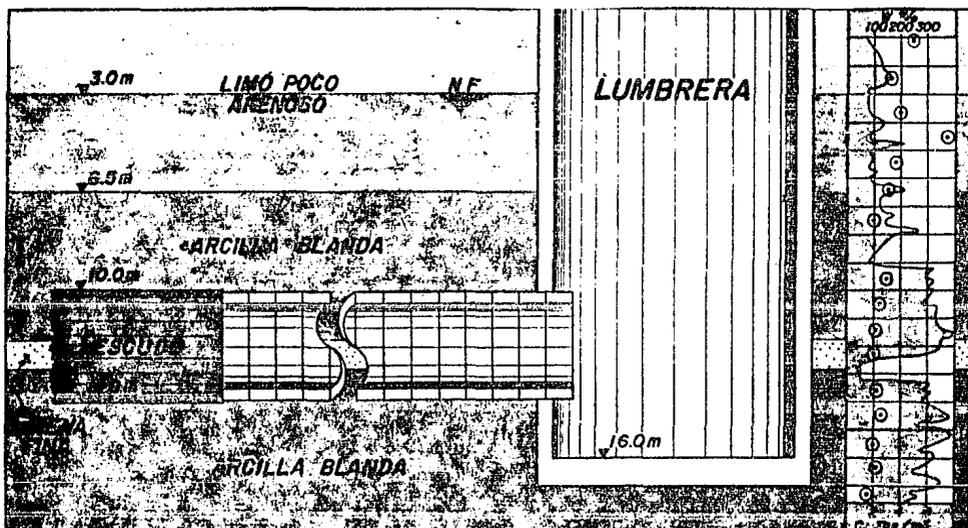


FIGURA 3.3. EL COLECTOR SEMIPROFUNDO ESTA SIENDO EXCAVADO EN TUNEL A TRAVES DE SUELOS MUY BLANDOS, PERTENECIENTES A LA FORMACION ARCILLOSA LA CUSTRE DEL VALLE DE MEXICO.

A.A. MATHEWS de Estados Unidos y SOLUM de México -
(fig. 3.4).

El escudo tiene un disco cortador frontal que gira dentro de un lodo fluido producto de la excavación de los suelos arcillosos blandos a presión, mediante el que se conserva la estabilidad del frente.

El manejo de la máquina se realiza desde la Cabina del Operador (fig. 3.5), situada en el interior del túnel y el control de todo el sistema incluyendo el manejo de los lodos, se efectúa desde la Cabina Central de Control ubicada en superficie (fig. 3.6).

El sistema permite presurizar sólo el frente, dejando al resto del túnel a la presión atmosférica normal.

La lumbrera 1, escogida para iniciar la construcción del túnel se ubica en el extremo poniente del proyecto, sus dimensiones: Diámetro interior de 12.5 m. y 16.0 m. de profundidad, son suficientes para dar cabida, durante la excavación de los primeros 50 m. a todos los equipos auxiliares, con ayuda de una grúa pórtico de 5 ton. de capacidad, el equipo mencionado hace posible el funcionamiento del escudo y que en tramos subsecuentes se colocan estos en el interior del túnel, para ser jalados por él mismo (fig. 3.7).

El mortero que se inyecta entre el revestimiento y el terreno natural se prepara en una planta montada en las paredes de la lumbrera.

El lodo extraído del frente durante el proceso de excavación, se deposita en grandes estanques que permiten la sedimentación de los sólidos gruesos, los cuales son posteriormente eliminados mediante una almeja de -

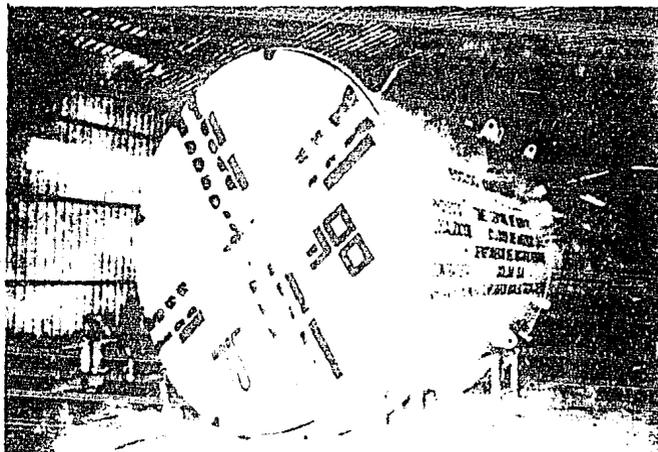


FIGURA 3.4 ESCUDO CORTADOR PRESURIZADO, FABRICADO POR OKUMURA CORPORATION, DE JAPON.

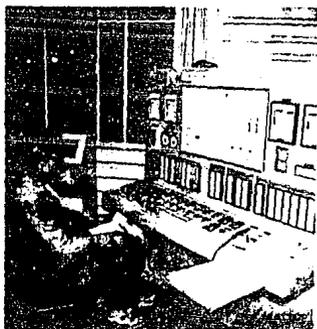


FIGURA 3.6 CABINA CENTRAL DE CONTROL UBICADA EN SUPERFICIE.

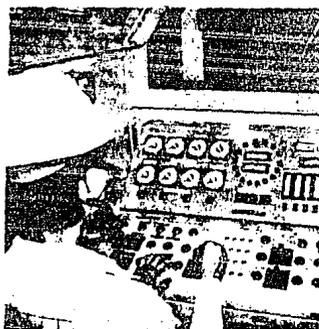


FIGURA 3.5 CABINA DE OPERADOR SITUADA EN EL INTERIOR DEL TUNEL.

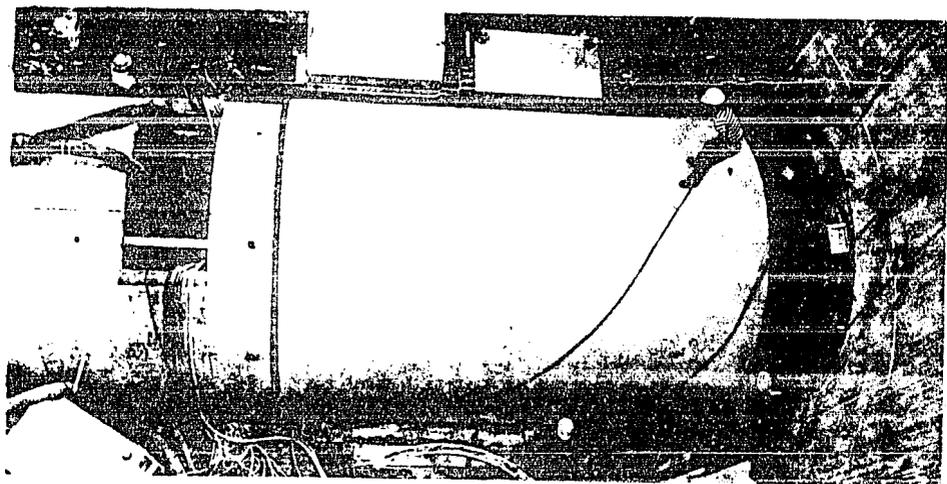


FIGURA 3.7 ESCUDO CORTADOR Y SUEQUIPO AUXILIAR AL FONDO DE LA LUMBRERA (1), POCO ANTES DE INICIAR LA EXCAVACION.

1 yd³ de capacidad y camiones de volteo de 5 m³ (fig. 3.8).

El lodo no sedimentable es tratado para cumplir con la densidad requerida en unos tanques de sedimentación -- (fig. 3.9), que se encuentran en superficie para posteriormente bombearlo al tiro designado.

El revestimiento primario del túnel se resolvió a base de anillos de 6 piezas de concreto prefabricado con f'c de 350 kg/cm², con 17.5 cm. de espesor y 100 cm. de ancho, se arman dentro del faldón del escudo al terminar la fase de excavación y se van colocando en forma coordinada con el avance del escudo, dejando un diámetro interior de 3.5 m. en el cual, al añadir posteriormente el revestimiento definitivo, lo dejará de 3.2 m (fig. 3.10).

En el perímetro de cada dovela se colocan sellos de hule duro espumoso, para mantener estanco al túnel.

Para la fabricación de las dovelas SOLUM diseñó y está en operación una planta de dovelas en las proximidades de la obra, en donde se utilizan moldes metálicos de alta precisión que garantizan la calidad del producto terminado. (fig. 3.11).

Los anillos de dovelas se almacenan y se les da el tratamiento de curado mientras alcanzan su resistencia de diseño y posteriormente se envían al túnel (fig. 3.12).

Al finalizar la excavación del túnel, se procede a colocar con cimbra telescópica el revestimiento definitivo de concreto reforzado, colado en el lugar.

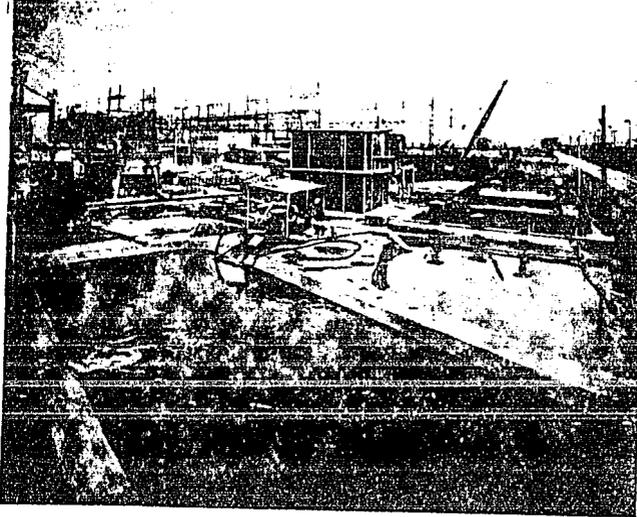


FIGURA 3.9 ESTANQUES DE SEDIMENTACION.

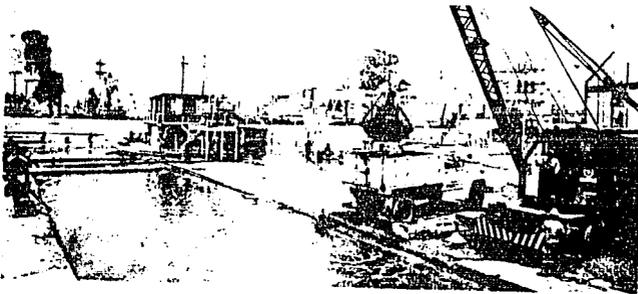


FIGURA 3.8 EXTRACCION DE LODOS.

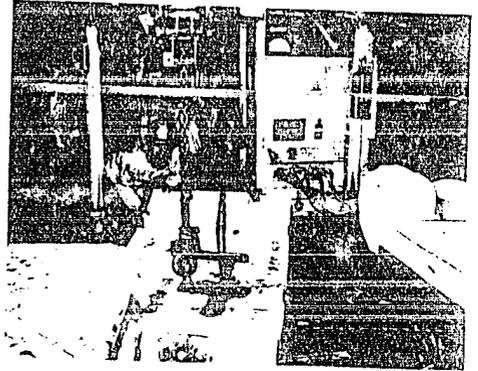
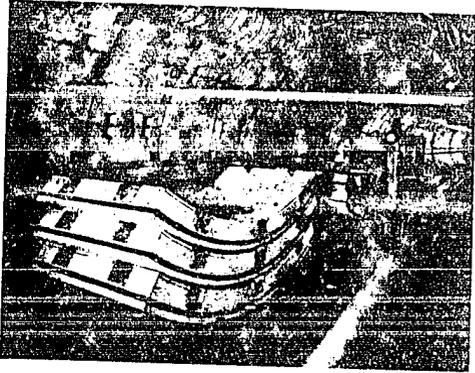
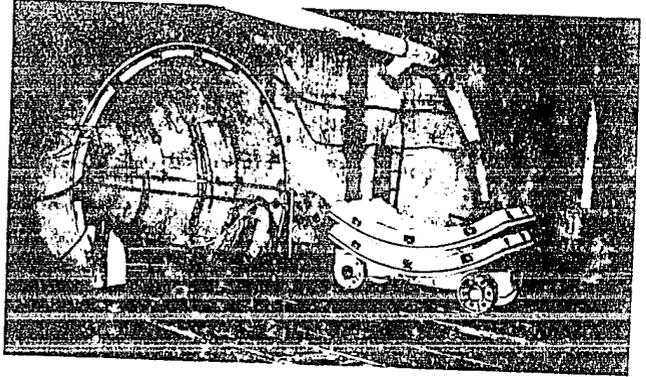
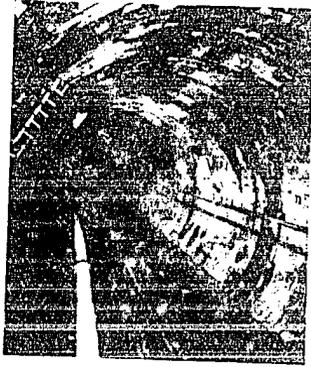


FIGURA 3.10 PROCESO PARA LA COLOCACION DE DOVELAS DEJANDO EL TUNEL TERMINADO.

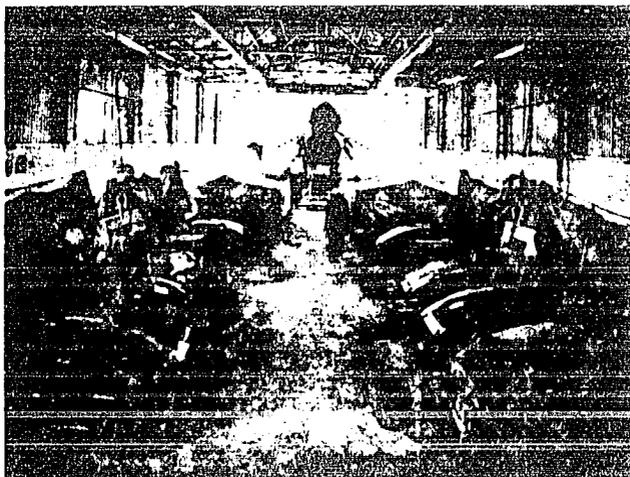


FIGURA 3.11 VISTA GENERAL DE LA PLANTA PARA LA FABRICACION DE DOVELAS.

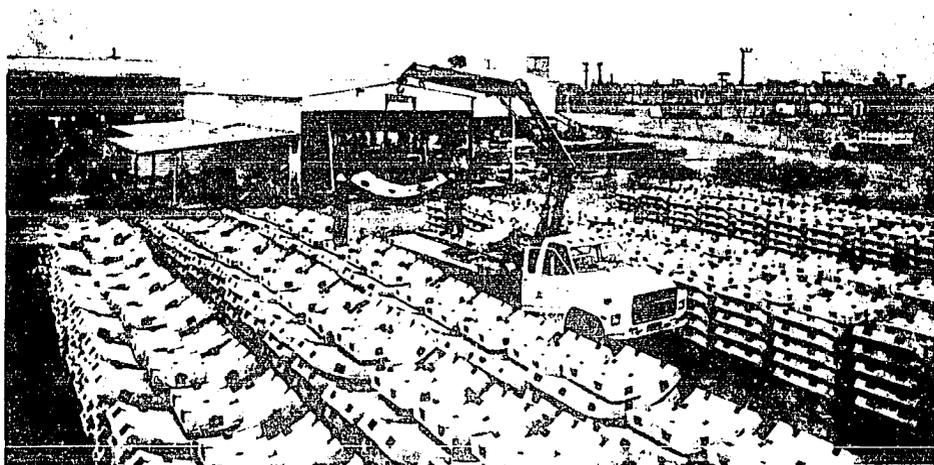


FIGURA 3.12 PANORAMA DE LA PLANTA DE DOVELAS, EN PRIMER PLANO SE OBSERVA EL PRODUCTO TERMINADO.

3.2 CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

Será un conducto circular de concreto reforzado con las siguientes características:

Longitud total del túnel	6 000.00 m.
Pendiente del túnel de la luznbra 4 a la 5	1.5/1,000
Número de luznbras	6
Diámetro exterior del escudo cortador	4.00 m.
Diámetro interior del revestimiento primario	3.50 m.
Diámetro interior del túnel terminado	3.20 m.

CAPITULO 4

4. ESTUDIOS PRELIMINARES

4.1 ANTECEDENTES

La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal (DDF)* solicitó a DIRAC, S.A. DE C.V., el estudio geotécnico para las estructuras que a continuación se mencionan y forman parte del proyecto Colector Semiprofundo Iztapalapa:

- Túnel semiprofundo lumbrera No. 1 a lumbrera No.6
- Lumbrera No. 1 (0 + 000 km)
- Lumbrera No. 2 (1 + 447.893 km)
- Lumbrera No. 3 (2 + 511.795 km)
- Lumbrera No. 4 (3 + 571.150 km)
- Lumbrera No. 5 (4 + 670.834 km)
- Lumbrera No. 6 (5 + 837.540 km)

El objetivo principal de este estudio, es conocer las características índice y mecánicas del suelo, que permitan definir los parámetros requeridos para el adecuado diseño de los elementos estructurales que conformarán las obras del proyecto, así como para determinar las normas que rijan el procedimiento constructivo más conveniente.

El suroriente de la Ciudad de México, se ha caracterizado por su problema de insuficiencia de drenajes, los cuales han tenido dislocamientos en el sistema, debido a los grandes hundimientos regionales que se han suscitado. Actualmente el drenaje de esta zona depende fun

* Se agradece al D.F.F. y en particular al Ing. Alejo - García Vázquez, Subdirector de Ingeniería, el permitir presentar públicamente esta información.

damentalmente del Río Churubusco, que también ha sufrido las consecuencias de los hundimientos y por ende ha perdido capacidad de regulación, ya que gran parte del caudal de conducción trabaja permanentemente bajo carga, -- aún en estiaje.

El Sistema de Drenaje Profundo, especialmente con los interceptores oriente y oriente sur resolverá definitivamente el problema del drenaje en el suroriente de la ciudad; sin embargo la construcción de estas obras está -- muy diferida en el tiempo, por lo que se han desarrollado soluciones parciales para mejorar el drenaje durante el tiempo necesario para concluir las obras de drenaje profundo.

Dentro de estas obras, se tiene contemplada la nueva planta de bombeo Central de Abasto, que tiene la finalidad de evacuar el Colector Semiprofundo Iztapalapa, cuyo origen es la propia Planta Central de Abasto, con dirección oriente hasta la Avenida Canal de San Juan, donde pretende captar el colector de ese mismo nombre y en cuyo sitio se prevee localizar en el futuro una estructura con control y derivación del Colector Semiprofundo Iztapalapa al interceptor oriente sur del Sistema de Drenaje Profundo. A partir de la Avenida Canal de San Juan, el colector continuará hacia el oriente para captar el colector Ejército de Oriente e interconectarse con la laguna de regulación Iztapalapa y el Colector Indeco (Fig. 3.1)

4.2 EXPLORACION Y MUESTREO.

Para complementar las características estratigráficas del subsuelo a lo largo del colector, se efectuaron cinco sondeos mixtos continuos, dos hasta 40 m. de profundidad, -- tres hasta 15.0 m. y cinco sondeos de cono eléctrico hasta 15.0 m. de profundidad

La localización de los diez sondeos se encuentran en la figura 4.1, en ella también se ubican los sondeos preliminares existentes que se consideraron para el análisis.

Los sondeos mixtos se efectuaron con máquina rotatoria, - alternando el muestreo alterado con el inalterado, el primero se realizó con el procedimiento de penetración estándar, empleando un muestreador de pared gruesa (tubo partido), hincado a percusión; el segundo se realizó hincando a presión un muestreador de pared delgada tipo (Shelby); se ocupó lodo bentonítico para estabilizar las paredes -- del sondeo.

Los sondeos de cono se efectuaron hincando a presión el penetrómetro de celdas eléctricas. El penetrómetro se coloca en el extremo inferior de las columnas de barras, las cuales se hincan a una velocidad constante de 1 cm/seg. la que registra una resistencia en la punta a través de -- todo el sondeo, las mediciones se efectuaron cada 10 cm.

En la tabla 1 se presentan la localización y profundidad de cada sondeo, tanto los preliminares existentes como -- los efectuados y en las figuras 4.2 a 4.13 se muestran -- los perfiles estratigráficos de cada uno de los sondeos.

TABLA I. LOCALIZACION DE SONDEOS

SONDEOS EFECTUADOS

<u>SONDEO</u>	<u>CADENAMIENTO</u>	<u>PROFUNDIDAD</u>
SK - 1	0 + 250	15.00
SM - 1	1 + 447	40.00
SK - 2	2 + 400	15.00
SM - 2	2 + 511	40.00
SK - 3	3 + 225	15.00
SM - 3	3 + 571	15.40
SK - 4	4 + 121	15.00
SM - 4	4 + 670	15.00
SK - 5	5 + 254	15.00
SM - 5	5 + 837	15.20

SONDEOS EXISTENTES

SM - 1/81	0 + 18.9	74.00
SC - 1/82	0 + 000	15.00
SM - 2/81	0 + 500	78.00
SK - 1/82	0 + 500	15.00
SK - 2/82	0 + 850	15.00
SM - 3/81	1 + 000	78.50
SK - 3/82	1 + 200	15.00
SM - 4/81	1 + 500	76.50
SK - 4/82	1 + 800	15.00
SC - 2/82	2 + 250	15.00
SK - 5/82	2 + 670	15.00
SK - 6/82	3 + 000	15.00
SK - 7/82	3 + 475	15.00

SK = Sondeo de Cono Eléctrico

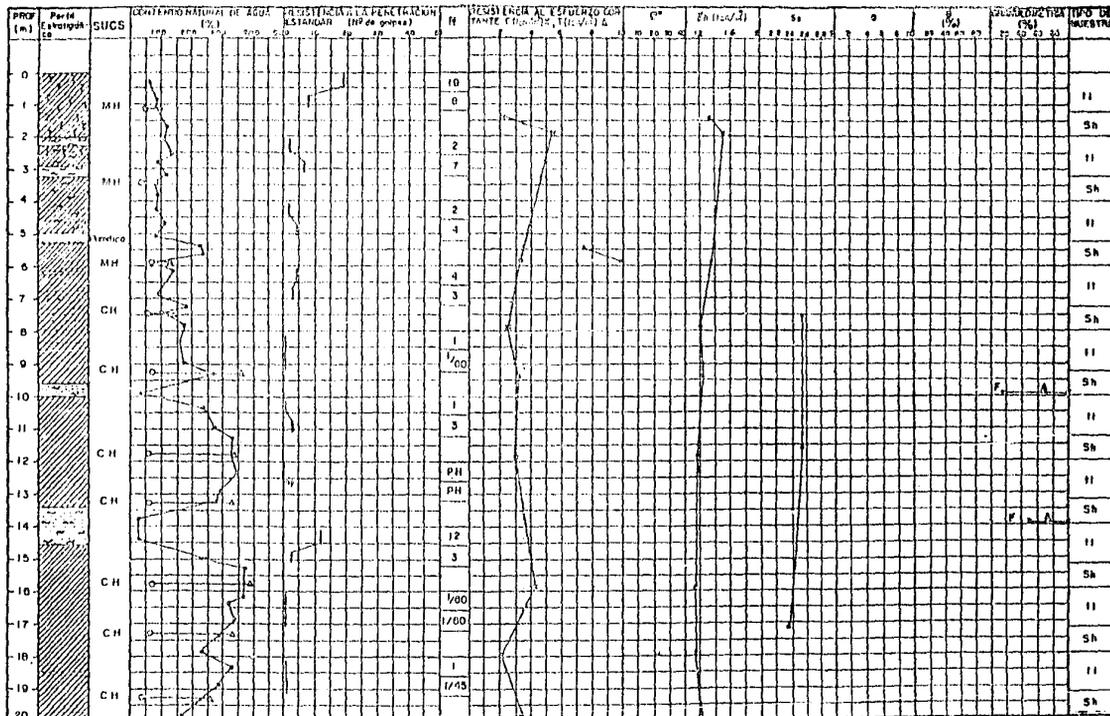
SC = Sondeo Inalterado
Continuo.

SM = Sondeo Mixto Continuo

FIGURA 3.2

LOCALIZACIÓN COLECTOR SCHIDROFUNDO
IZTAPALAPA

TIPO DE SÓLIDO MIXTO SH-1
COTA H. T.A.P. 3.00 m.



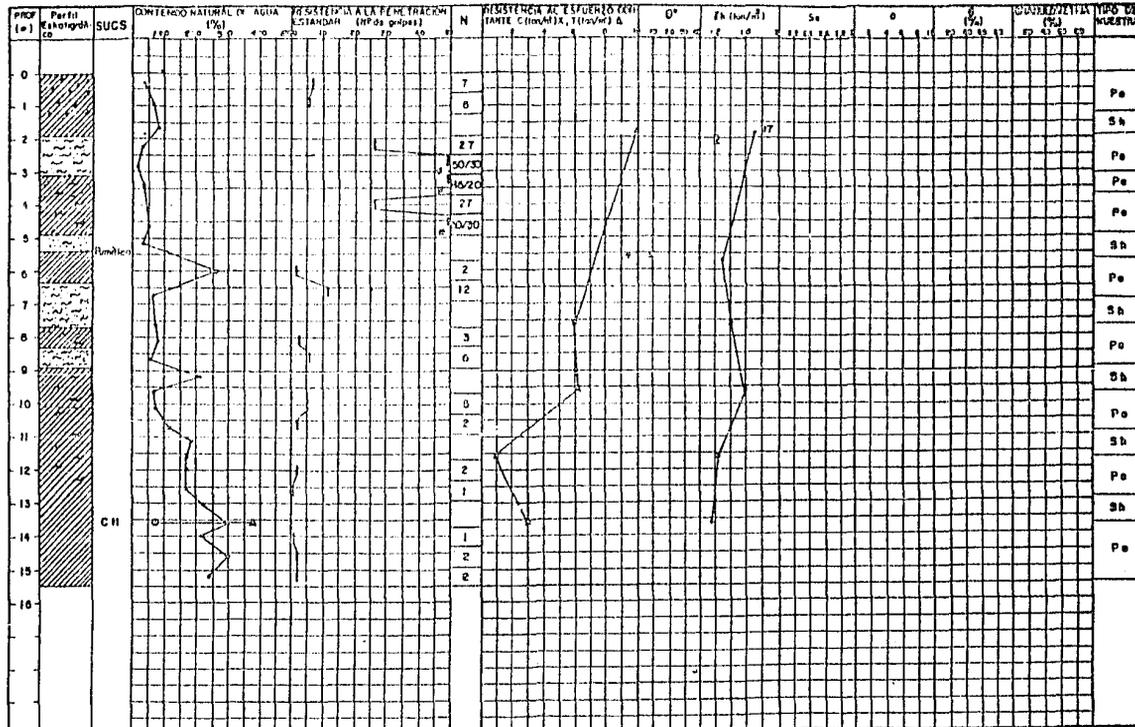
SIMBOLOGIA:

- [Dotted] Conchitas
- [Horizontal lines] Limo
- [Vertical lines] Mol Orgánico
- [Cross-hatch] Folleno
- [Diagonal lines] Arcilla
- [Stippled] Grava
- [Large dots] Arena
- [Wavy lines] H. Avance con braca friccion (U) de 80 golpes
- [Dotted] H. Numero de golpes para 30 cm
- [Dotted] H. Paso volumetrico
- [Dotted] C. Cohesión (U/2)
- [Dotted] T. Turcoémetro
- [Dotted] σ. Ángulo de fricción interna
- [Dotted] φ. Paso volumetrico
- [Dotted] S_u: Densidad de sólidos
- [Dotted] σ: Grano
- [Dotted] φ: Fricción estándar
- [Dotted] A: Arena
- [Dotted] P: Fines
- [Dotted] H: Trisaxial CD
- [Dotted] S_h: Macetas con tubo Shelby
- [Dotted] D: Muestra con tubo Shelby
- [Dotted] T: Trisaxial CU

FIGURA 4.6

LOCALIZACION COLECTA SEMIPROFUNDA
IZTAPALAPA

TIPO DE SONDEO HINTO, SM-3
COTA M. T.A.F. 3,9 M.



SIMBOLOGIA



Limo



PH Paso de Hierromento
MH Paso de muestra

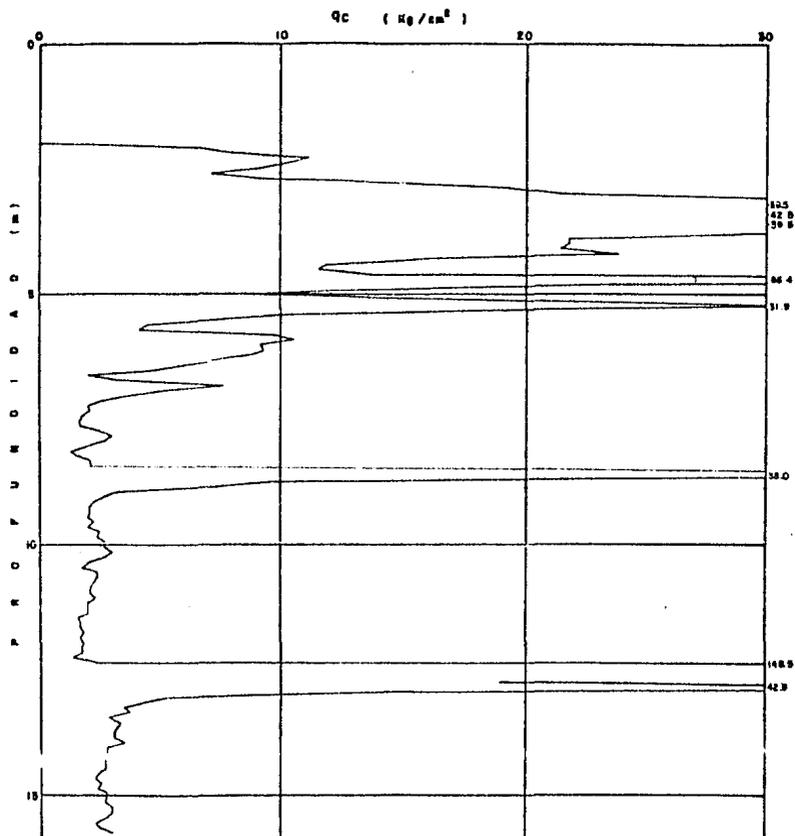
H: Ancho con broca triducta
G: de 50 golpes
N: Número de golpes para 30 cm
M: de golpes/energación en cm.

C: Cohesión (kg/cm²)
φ: Tensión
φ: Ángulo de fricción interna
φH Paso volumétrico húmedo

Sp: Densidad de sólidos
a: Relación de vacíos
G: Grado de saturación
+ : Cohesión en fricción UU

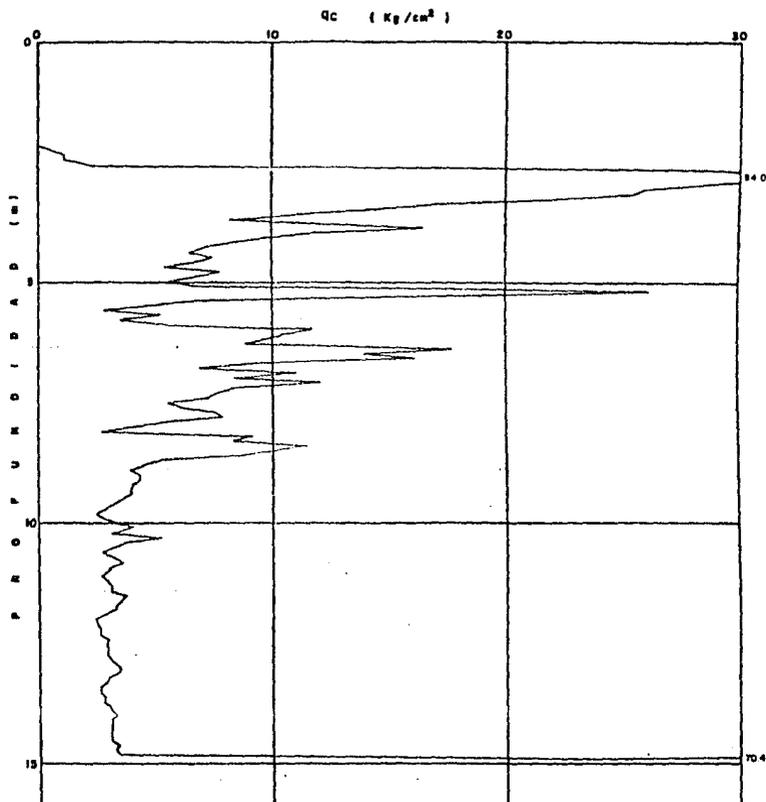
G: Grava
A: Arena
F: Fines

Pe: Fines Práctica estándar
Sh: Material con fines estándar
D: Material con fines Densidad
M: Triaxial CU



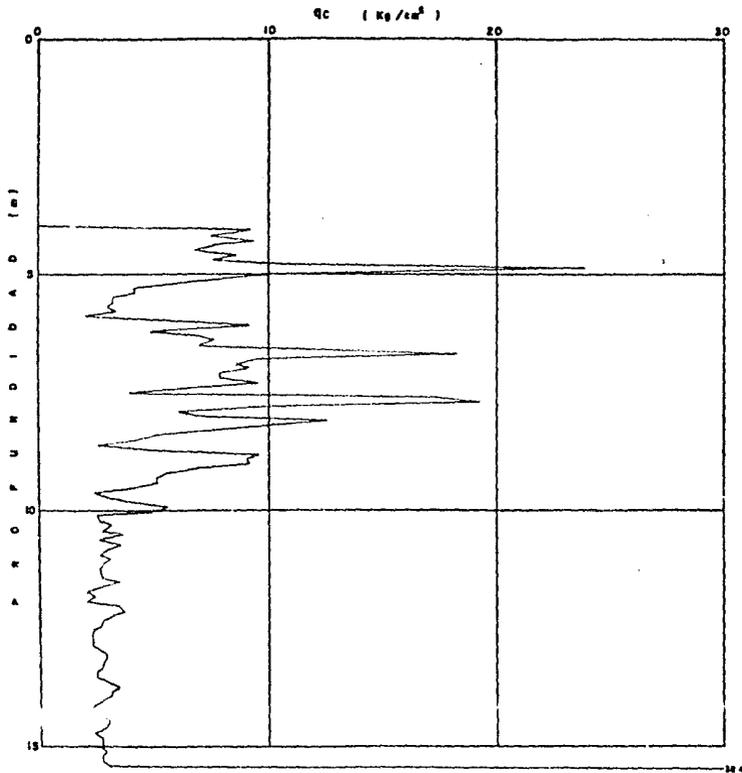
SONDEO DE CONO ELECTRICO SK-1
(0 + 250)

FIGURA 4.9



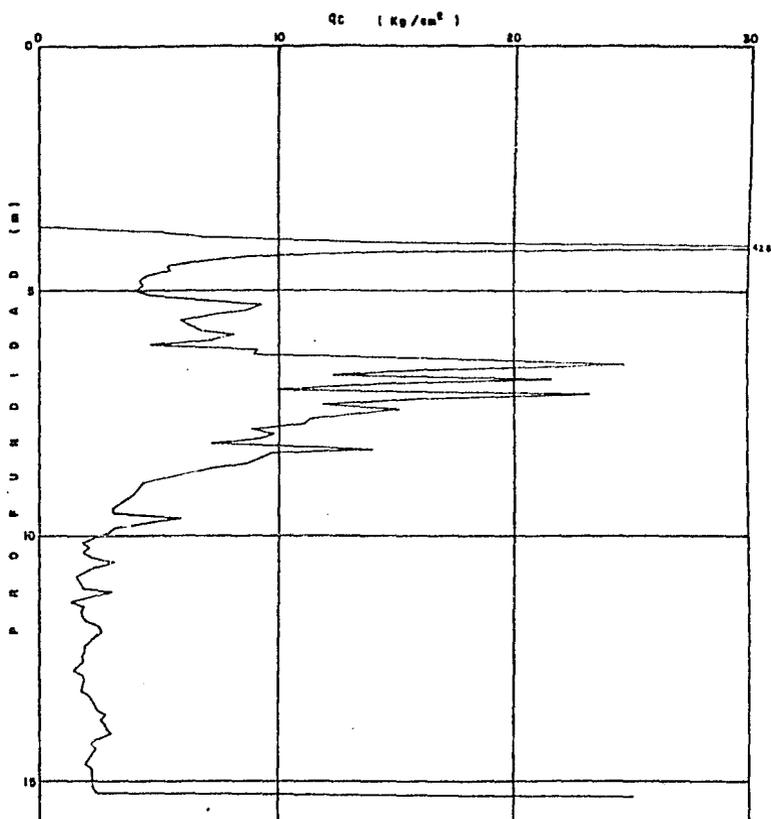
SONDEO DE CONO ELECTRICO SK-2
(2 + 460)

FIGURA 4.10



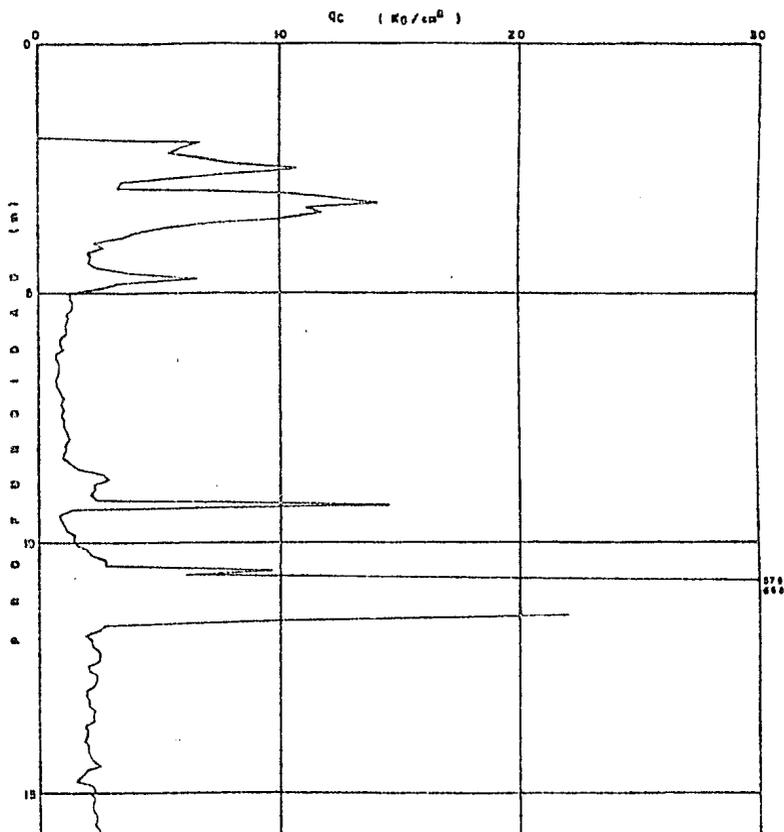
SONDEO DE CONO ELECTRICO SK-3
(3 + 225)

FIGURA 4.11



SONDEO DE CONO ELECTRICO SK-4
(4+ 121)

FIGURA 4.12



SONDEO DE CONO ELECTRICO SK-5
(3 + 254)

FIGURA 4,13

4.3. PRUEBAS DE LABORATORIO

Las muestras extraídas durante los trabajos de exploración, se sometieron a los siguientes ensayos:

- Clasificación visual y al tacto, en húmedo y en seco, de acuerdo con las normas del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)
- Límites de consistencia, líquido y plástico
- Determinación del contenido natural de agua
- Obtención del porcentaje de finos, menores que la malla No. 200 (0.074 mm) y análisis granulométrico.

A las muestras inalteradas, representativas de los estratos detectados, se les efectuaron los siguientes ensayos:

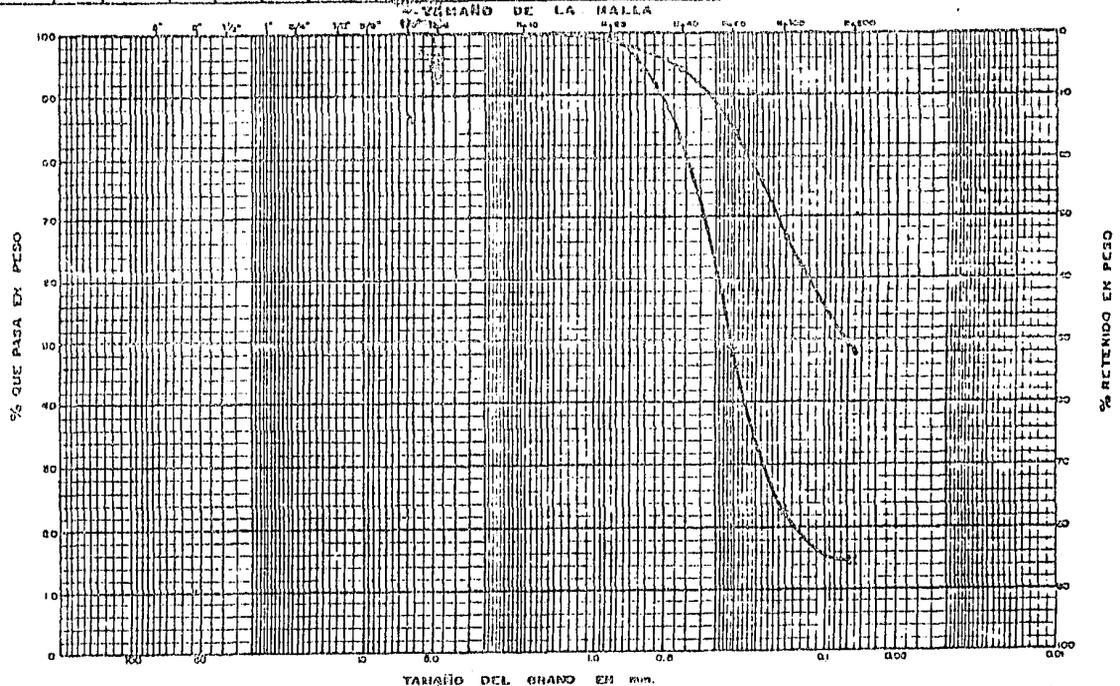
- Resistencia al corte con torcómetro
- Peso volumétrico natural
- Peso específico relativo de sólidos
- Compresión axial no confinada
- Compresión triaxial, no consolidada, no drenada - (UU)
- Consolidación unidimensional

En las figuras 4.2. a 4.8 se presentan, en forma gráfica, los resultados de las pruebas de laboratorio antes indicadas, incluyendo los valores de la resistencia a la penetración estándar. Las curvas granulométricas efectuadas se muestran en las figuras 4.14 y 4.15.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MALLAS

PROFUNDIDAD m	CANTIDAD kg	SÍMBOLO	D ₁₀ mm	U ₁₀ mm	D ₃₀ mm	U ₃₀ mm	D ₅₀ mm	U ₅₀ mm	CENIZAS			ARENAS			GRANULOS			GRUPO A U O D	
									%	%	%	%	%	%	%	%			
0.2 - 10.0	15									0	85	15							
15.2 - 14.0	21									0	92	46							

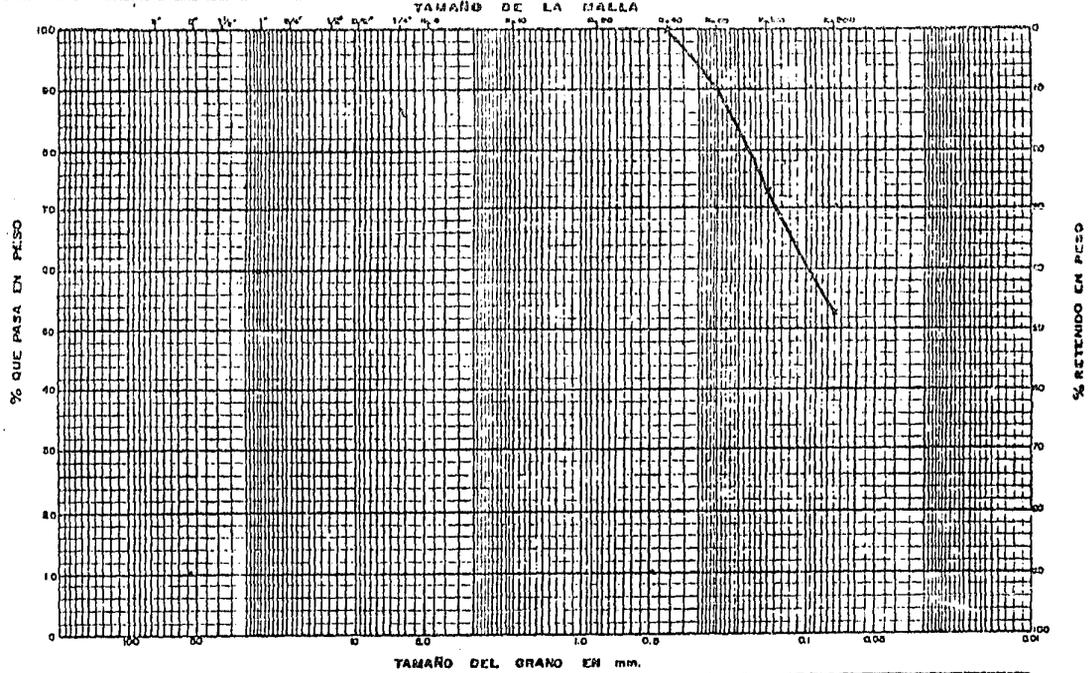
OBRA N° FIGURA 4.18
 LOCALIZACIÓN: COLECTOR SEMIPROFUNDO
IZTAPALAPA
 TIPO DE SONDEO: HIJITO, SM-1



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MALLAS

PROFUNDIDAD	METRO	DIÁMETRO	D ₁₀	D ₃₀	D ₅₀	D ₆₀	D ₇₅	D ₁₀₀	GRAVA	ARENA	FINO	CONTENIDO DE AGUA	GRUPO
m	cm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%	%	%	U.C.C.
15.2-160	24	—							0	47	53		
		—											
		—											

CDRA N° FIGURA 4.15
 LOCALIZACIÓN: COLECTOR SEMIPROFUNDO
IZTAPALAPA
 TIPO DE SONDEO: MIXTO, SM - 2



Las envolventes de Mohr para los estados de esfuerzo desviador máximo en pruebas de compresión triaxial no consolidada, no drenada se presentan en las figuras 4.16 a 4.19; por su parte las curvas de compresibilidad obtenidas de los ensayos de consolidación se muestran en las figuras 4.20 a 4.31.

4.4. ESTRATIGRAFIA

La estratigrafía que a continuación se describe, fue obtenida de acuerdo a los resultados de los trabajos de campo y laboratorio, aunados con los resultados de los estudios previos efectuados a lo largo del colector y en la planta de bombeo Central de Abasto. En las figuras 4.32 y 4.33 se presentan los cortes estratigráficos según el eje longitudinal del colector, en ellos se puede apreciar que el suelo corresponde a la "zona del lago" caracterizada por la presencia de grandes espesores de suelo deformable.

A partir del nivel del terreno natural y hasta una profundidad que varía de 0.5 a 8.0 m. se encuentra la costra superficial constituida por lentes alternadas de arcillas y limos de alta plasticidad con intercalaciones de arenas limosas, el contenido natural de agua medio es de 60%, la resistencia al esfuerzo cortante con torcómetro varía de 0.5 kg/cm^2 con un valor medio de 3.0 kg/cm^2 .

En algunas zonas, cubriendo esta primera capa, se encuentran rellenos heterogéneos recientes producto de excavación y demoliciones, el espesor de ellos es del orden de 50 a 80 cm.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

CIRCULOS DE MOHR COMPRESION TRIAXIAL

NO CONSOLIDADA
NO DRENADA

CONSOLIDADA
NO DRENADA

CONSOLIDADA
DRENADA

PRUEBA	w_i	w_f	e_i	e_f	$(S_r)_i$	$(S_r)_f$	V_{Ti}	$V_f - V_{Ti}$	δ	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESF. CORTANTE
N.	%	%			%	%	ton/m ³	ton/m ³	ton/m ³	
1	85.5						8.0	14.87	1.40	$\beta = 1^\circ$ $c = 27 \text{ ton/m}^2$
2	88.9						10.0	8.72	1.40	
3										
4	100.8						0	7.57	1.35	
5	97.8						0	8.89	1.37	

FIGURA 4.16

COLECTOR SEMIPROFUNDO

UBICACION: IZTAPALAPA

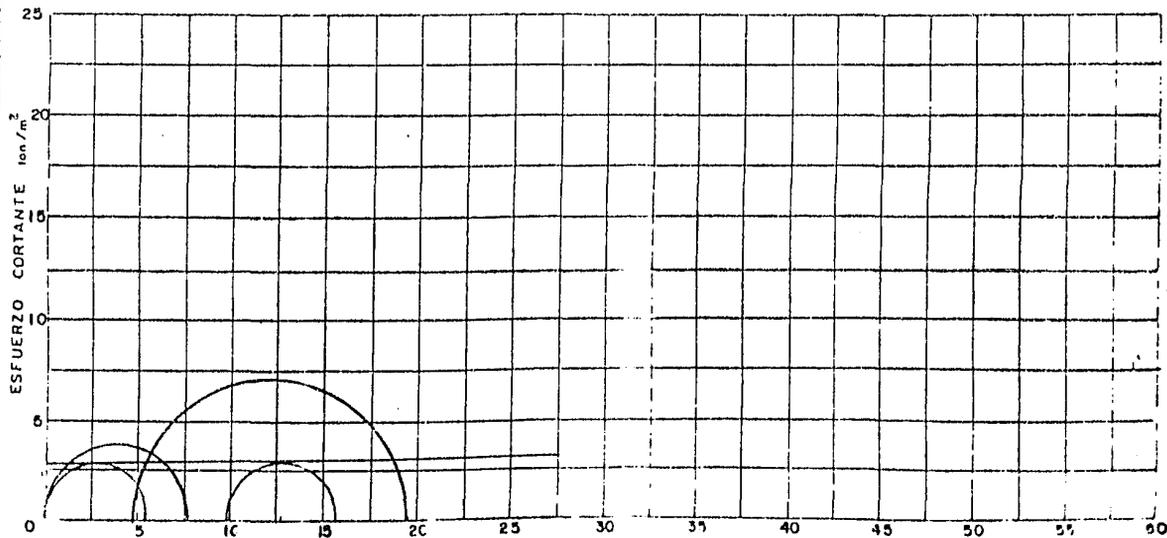
SONDEO N.: MIXTO, SM-1

MUESTRA N.: 9 PROF. 5.2 - 6.0 m.

DESCRIPCION: ARCILLA GRIS VERDOSA, GRAN-
MOSA, QUEBRADIZA, SEMIDURA

OPERADOR: _____ FECHA _____

CALCULO: _____ FECHA _____



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

CIRCULOS DE MOHR COMPRESION TRIAXIAL

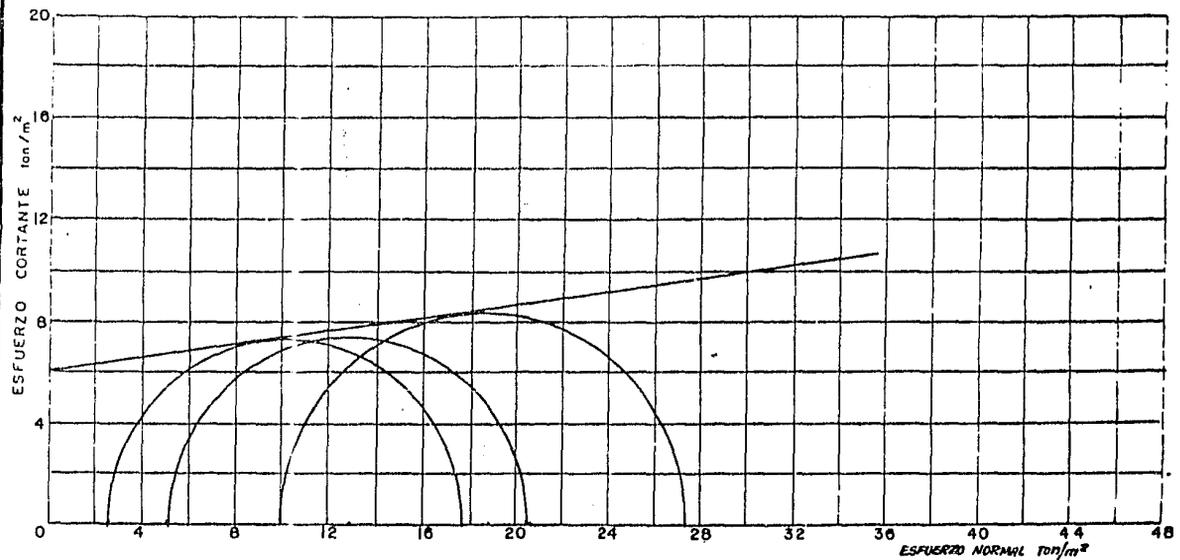
NO CONSOLIDADA CONSOLIDADA NO DRENADA NO DRENADA CONSOLIDADA DRENADA

FIGURA 4.17

COLECTOR SEMIPROFUNDO

PRUEBA	w _i	w _f	e _i	e _f	(S _r) _i	(S _r) _f	V _{III}	V _{I-VIII}	δ	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESF. CORTANTE
N.	%	%			%	%	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	
1	93.6						2.5	14.88	1.42	β: 9.5°
2	99.2						5.0	16.01	1.43	
3	95.8						10.0	17.40	1.44	c: 0.0 ton/m ²
4										
5										

UBICACION: IZTAPALAPA
 SONDEO N.: MIXTO, SM - 2
 MUESTRA N.: 9 PROF. 0.2 - 0.0 m.
 DESCRIPCION: ARCILLA GRIS VERDOZA, DURA
 OPERADOR: _____ FECHA _____
 CALCULO: _____ FECHA _____



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

CIRCULOS DE MOHR COMPRESION TRIAXIAL

NO CONSOLIDADA NO DRENADA CONSOLIDADA NO DRENADA CONSOLIDADA DRENADA

FIGURA 4.18

PRUEBA	ω_i	ω_f	e_i	e_f	$(S_r)_i$	$(S_r)_f$	V_{III}	$V_i - V_{III}$	δ	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESF. CORTANTE
N.	%	%			%	%	ton/m ³	ton/m ³	ton/m ³	
1	94.3						2.5	17.92	1.35	$\beta = 0.0^\circ$ $c = 0.4 \text{ ton/m}^2$
2	106.2						5.0	23.00	1.32	
3	108.0						10.0	25.22	1.25	
4										
5										

COLECTOR SEMIPROFUNDO

UBICACION: IZTAPALAPA

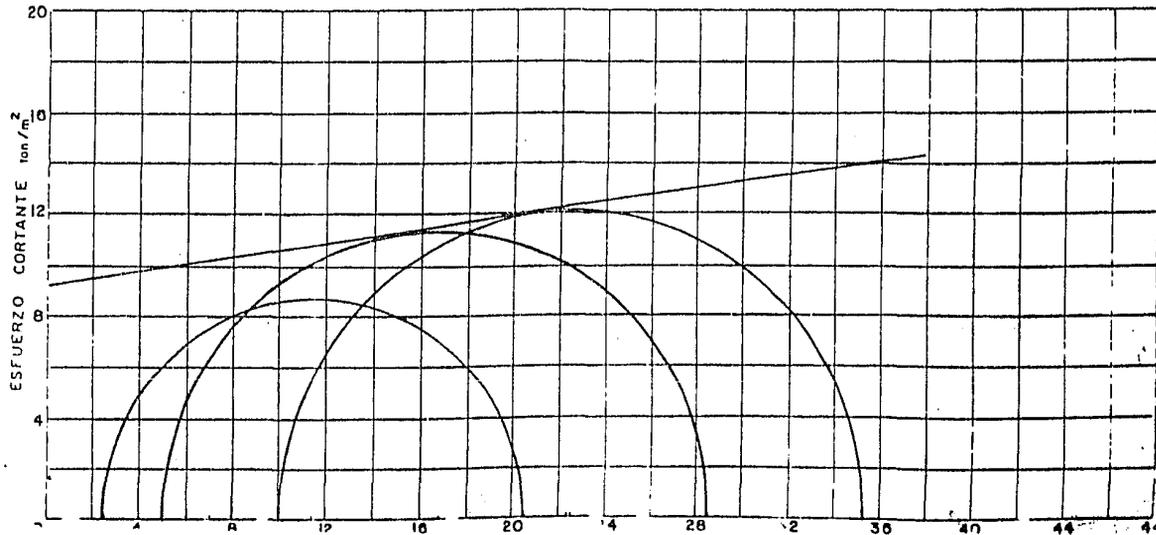
SONDEO N. MIXTO, SM-3

MUESTRA N. 9 PROF. 4.9 - 5.7 m.

DESCRIPCION: ARCILLA GRIS, VERDOZA, GRUMOSA, QUEBRADIZA

OPERADOR. _____ FECHA _____

CALCULO _____ FECHA _____



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

CIRCULOS DE MOHR COMPRESION TRIAXIAL

NO CONSOLIDADA
NO DRENADA

CONSOLIDADA
NO DRENADA

CONSOLIDADA
DRENADA

PRUEBA	w _i	w _f	e _i	e _f	(S _r) _i	(S _r) _f	V _{iii}	V _i -V _{iii}	δ	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESP. CORTANTE
N.	%	%			%	%	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	
1	13.5						2.5	11.49	1.87	β = 44.5°
2	13.4						5.0	23.14	1.92	
3	13.1						10.0	20.71	1.89	c = 0.0 ton/m ²
4										
5										

FIGURA 4,19

COLECTOR SEMIPROFUNDO

UBICACION: IZTAPALAPA

SONDEO N.: MIXTO, SM - 4

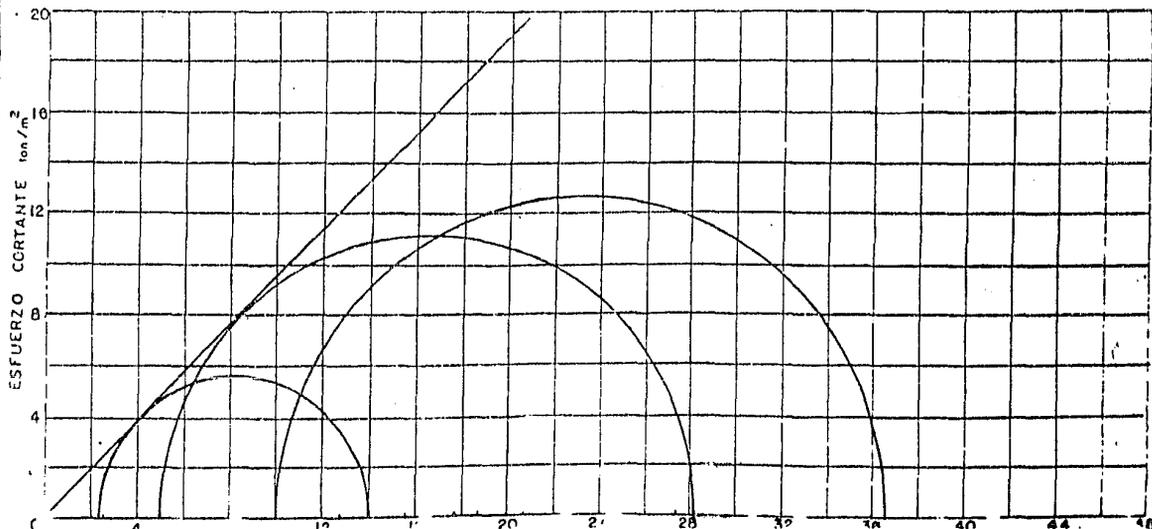
MUESTRA N.: 3 PROF. 1.2 - 1.8 m.

DESCRIPCION: ARENA FINA GRIS

OBSCURO, LIMOSA

OPERADOR: _____ FECHA _____

CALCULO: _____ FECHA _____



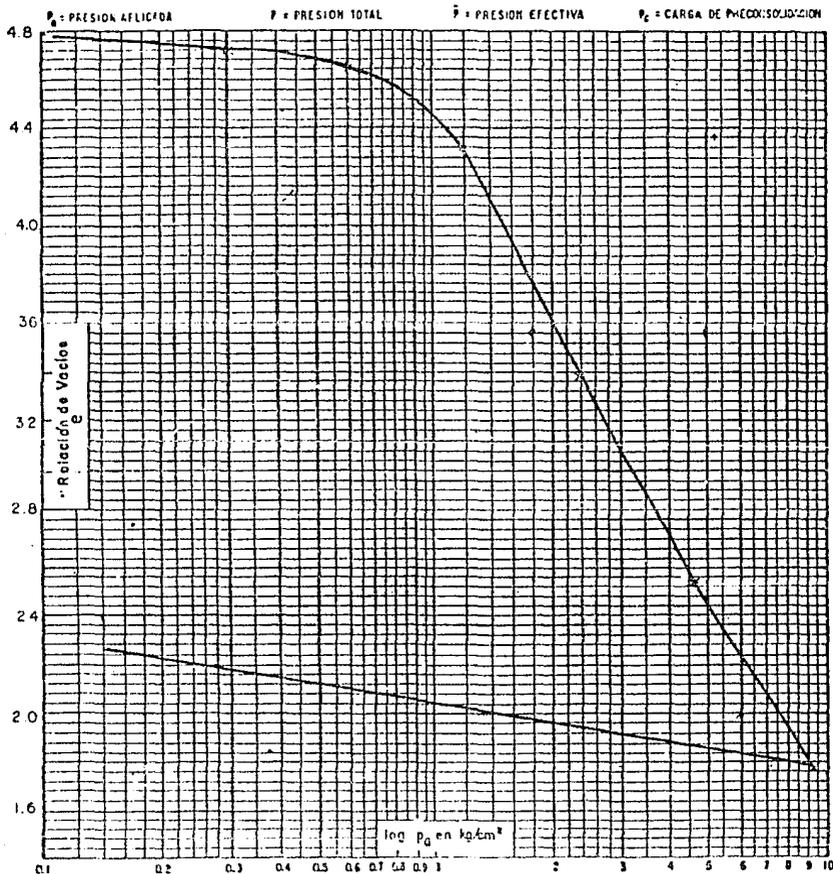
Laboratorio de Mecánica de Suelos
PRUEBA DE CONSOLIDACION

FIGURA 4.20

Obra N° _____ Sondeo MIXTO, SM-1 Localización COLECTOR SEMIPROFUNDO
IZTAPALAPA

SÍMBOLO MUESTRA PROFUNDIDAD (m) w (%) e_0 S_r (%) p (kg/cm^2) \bar{p} (kg/cm^2) p_c (kg/cm^2)

— K 12 7.2 - 8.0 182 4.82 96

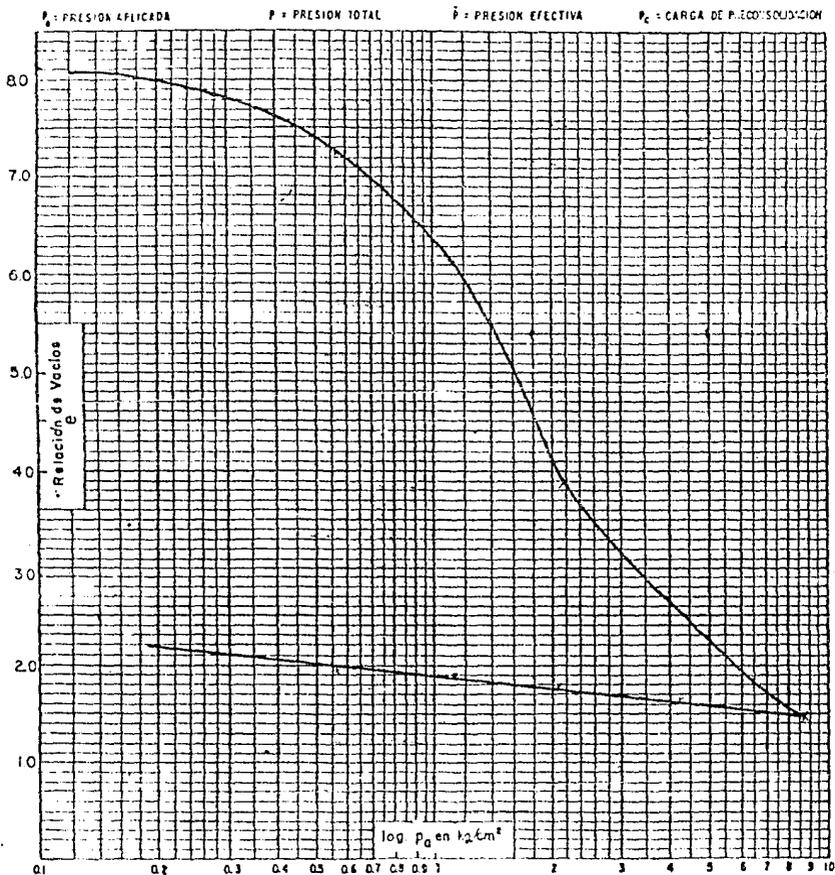


Laboratorio de Mecánica de Suelos
PRUEBA DE CONSOLIDACION *FIGURA 4.21*

Obra N° _____ Sondeo MIXTO.SM-1 Localización COLECTOR SEMPROFUNDO IZTAPALAPA

SÍMBOLO MUESTRA PROFUNDIDAD ω (%) e_0 S_r (%) p (kg/cm²) β (kg/cm²) p_c (kg/cm²)
 (m)

← 18 11.2 - 12.0 326 8.11 100

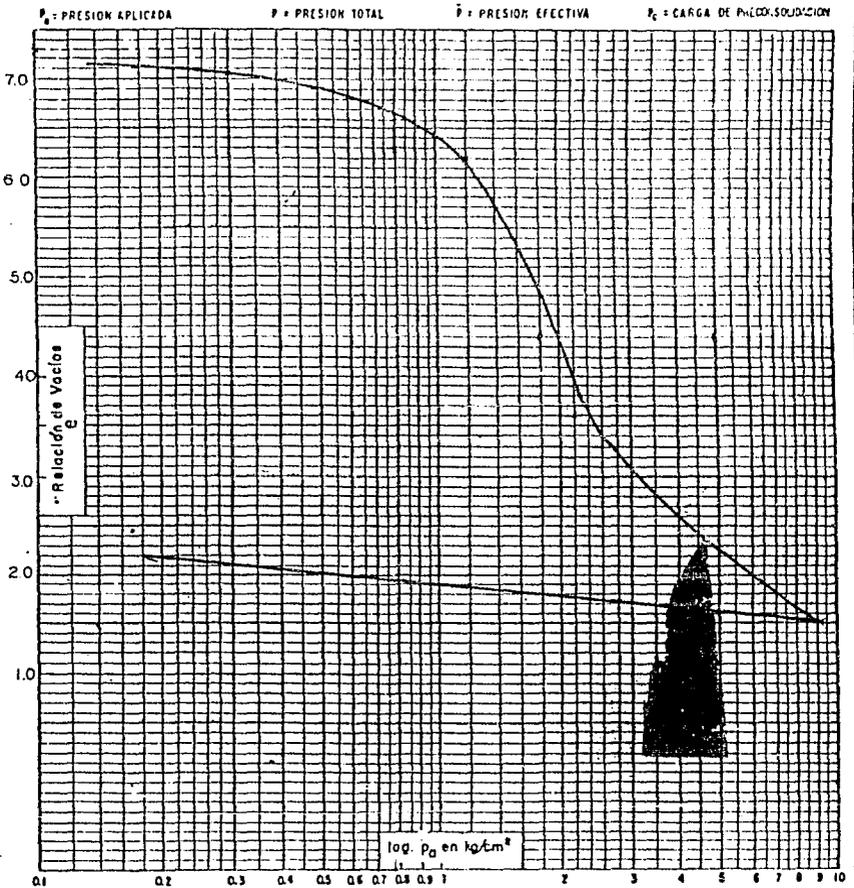


Laboratorio de Mecánica de Suelos
PRUEBA DE CONSOLIDACION FIGURA 4.22

Obra N° _____ Sondeo MIXTO, SM-1 Localización COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

SÍMBOLO MUESTRA PROFUNDIDAD ω (%) e_0 S_r (%) ρ (kg/cm³) β (kg/cm²) ρ_c (kg/cm³)
 (m)

x — x 27 17.2 - 18.0 321 7.30 1.00



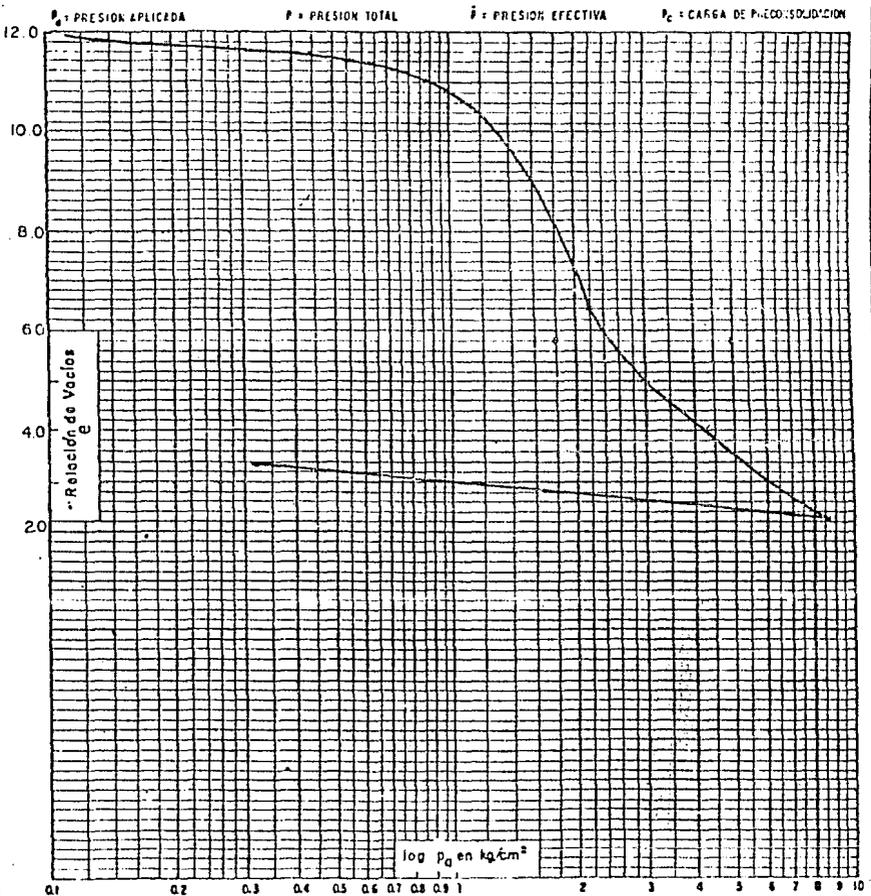
Laboratorio de Mecánica de Suelos
PRUEBA DE CONSOLIDACION

FIGURA 4.23

Obra N° _____ Sondeo MIXTO, SM-1 Localización COLECTOR SEMIPROFUNDO
IZ TAPALAPA

SÍMBOLO MUESTRA PROFUNDIDAD w (%) e_0 s_r (%) p (kg/cm²) β (kg/cm²) p_c (kg/cm²)
 (m)

x — x 36 23.2 - 24.0 504 12.0 100



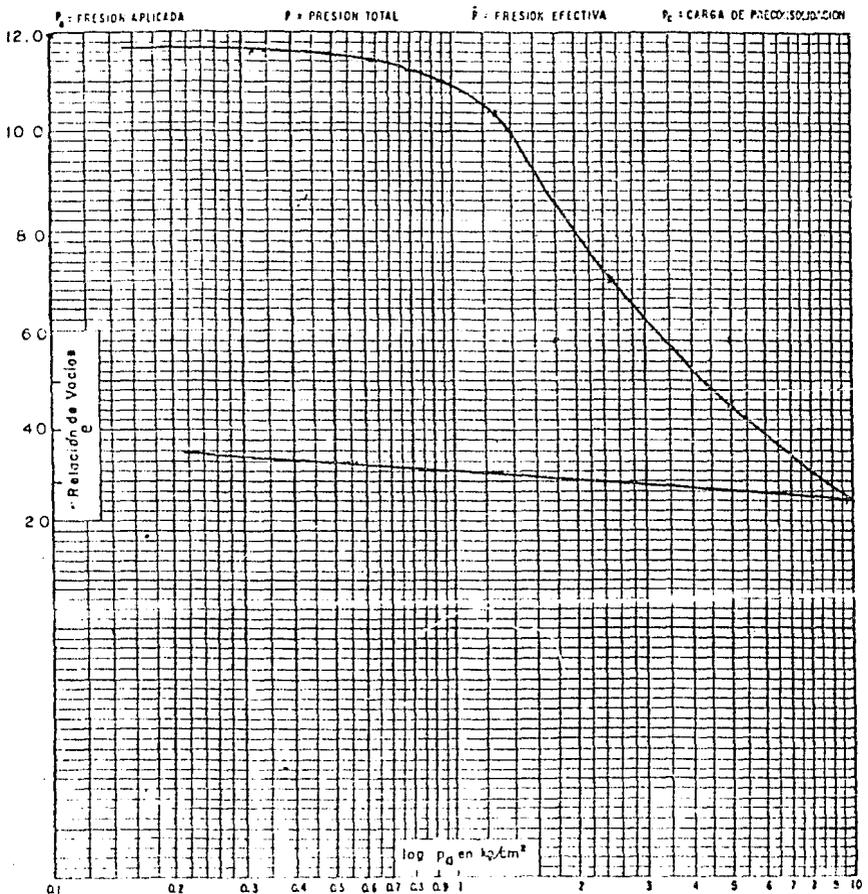
Laboratorio de Mecánica de Suelos
PRUEBA DE CONSOLIDACION

FIGURA 4.24

Obra N° _____ Sondeo MIXTO, SM-1 Localización COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

SÍMBOLO MUESTRA PROFUNDIDAD ω (%) e_0 S_r (%) p (kg/cm²) \bar{p} (kg/cm²) p_c (kg/cm²)
 (in)

x — x 48 31.2 - 32.0 481 11.934 99



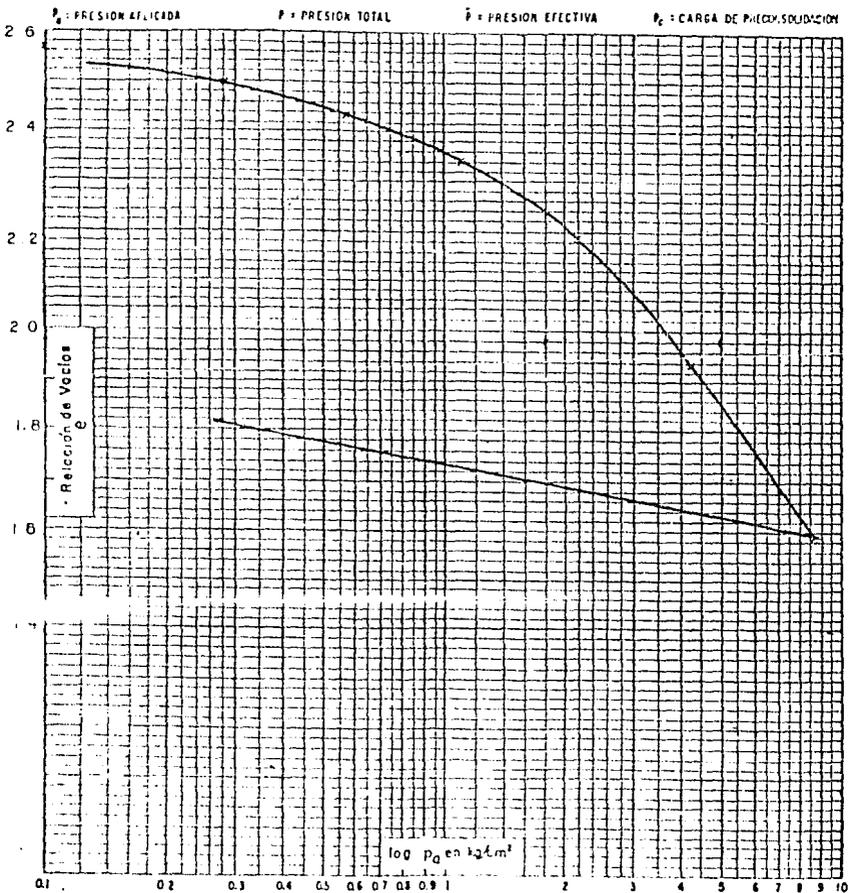
Laboratorio de Mecánica de Suelos
PRUEBA DE CONSOLIDACION

FIGURA 4.25

Obra N° _____ Sondeo MIXTO SM-2 Localización COLECTOR SEMIPROFUNDO IZ TAPALAPA

SÍMBOLO MUESTRA PROFUNDIDAD ω (%) e_0 S_r (%) p (kg/cm²) \bar{p} (kg/cm²) p_c (kg/cm²)

x — x 12 7.2 - 8.0 105.1 2.57 100



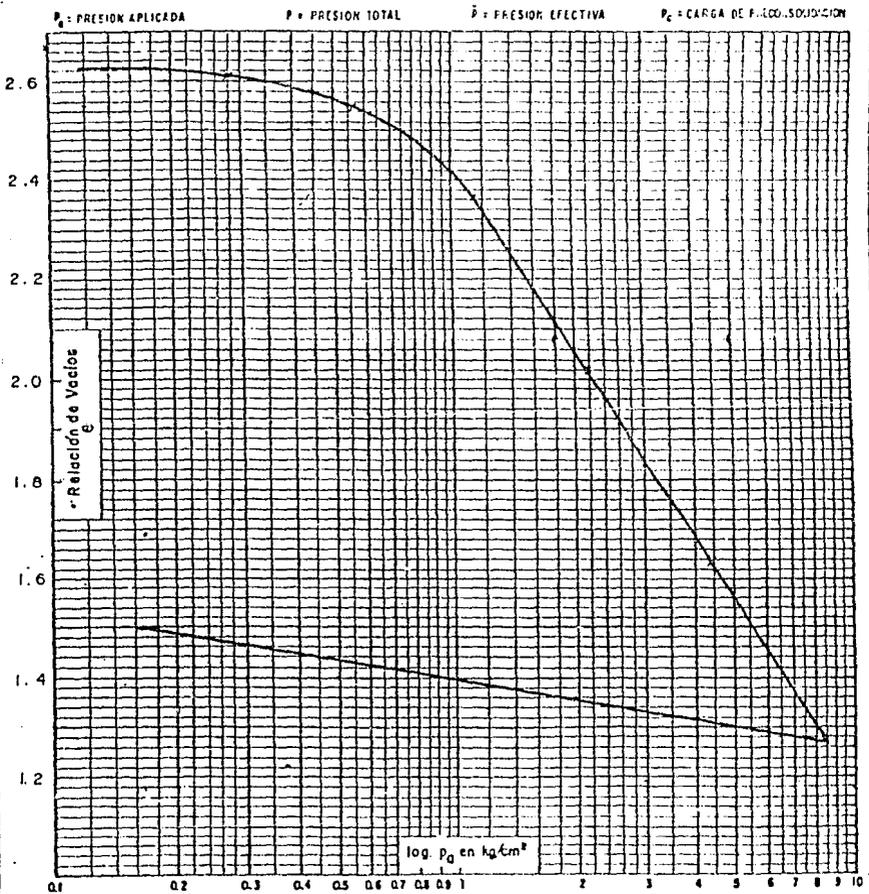
Laboratorio de Mecánica de Suelos
PRUEBA DE CONSOLIDACION

FIGURA 4.26

Obra N^o _____ Sondeo MIXTO . SM-2 Localización COLECTOR SEMIPROFUNDO
12 TAPALAPA

SIMBOLO MUESTRA PROFUNDIDAD ω (%) e_0 S_r (%) p (kg/cm²) \bar{p} (kg/cm²) p_c (kg/cm²)
 (m)

x → 18 11.2 - 12.0 112.7 2.67 97



Laboratorio de Mecánica de Suelos
PRUEBA DE CONSOLIDACION

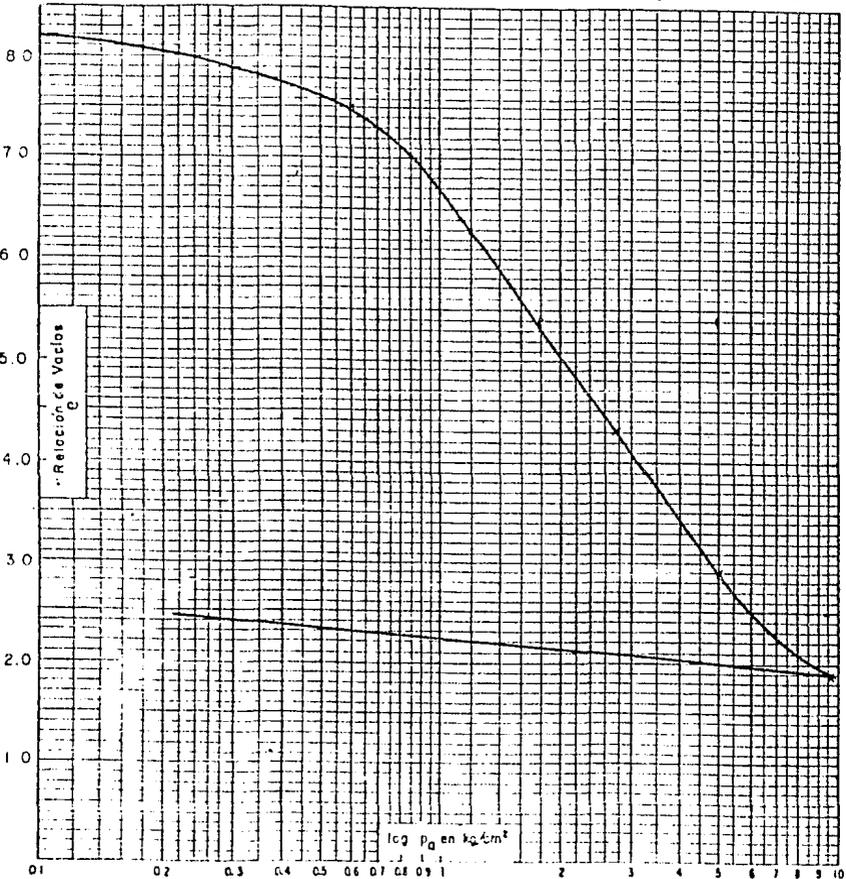
FIGURA 4.27

Obra N° _____ Sondeo MIXTO SM-2 Localización COLECTOR SEMIPROFUNDO IZ TAPALAPA

SÍMBOLO MUESTRA _____ PROFUNDIDAD (m) 17.2 - 18.0 w (%) 36.3 e_0 1.19 S_r (%) 100 p (kg/cm²) _____ \bar{p} (kg/cm²) _____ p_c (kg/cm²) _____

x — x 27 17.2 - 18.0 36.3 8.19 100

p_a = PRESION APLICADA P = PRESION TOTAL \bar{p} = PRESION EFECTIVA p_c = CARGA DE PRECONSOLIDACION



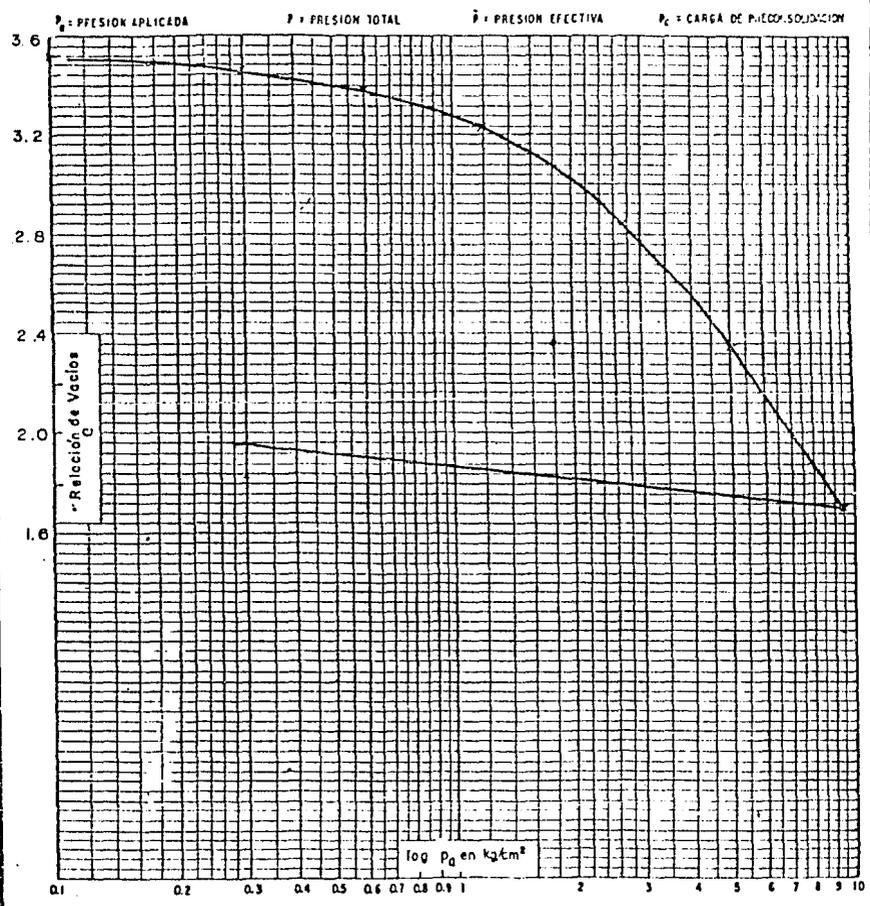
Laboratorio de Mecánica de Suelos
PRUEBA DE CONSOLIDACION

FIGURA 4.28

Obra N° _____ Sondeo MIXTO, SM-2 Localización COLECTOR SEMIPROFUNDO
IZTAPALAPA

SIMBOLO MUESTRA PROFUNDIDAD ω (%) e_0 S_r (%) p (kg/cm²) \bar{p} (kg/cm²) p_c (kg/cm²)
 (m)

x — x 36 23.2 - 24.0 138.1 3.518 99



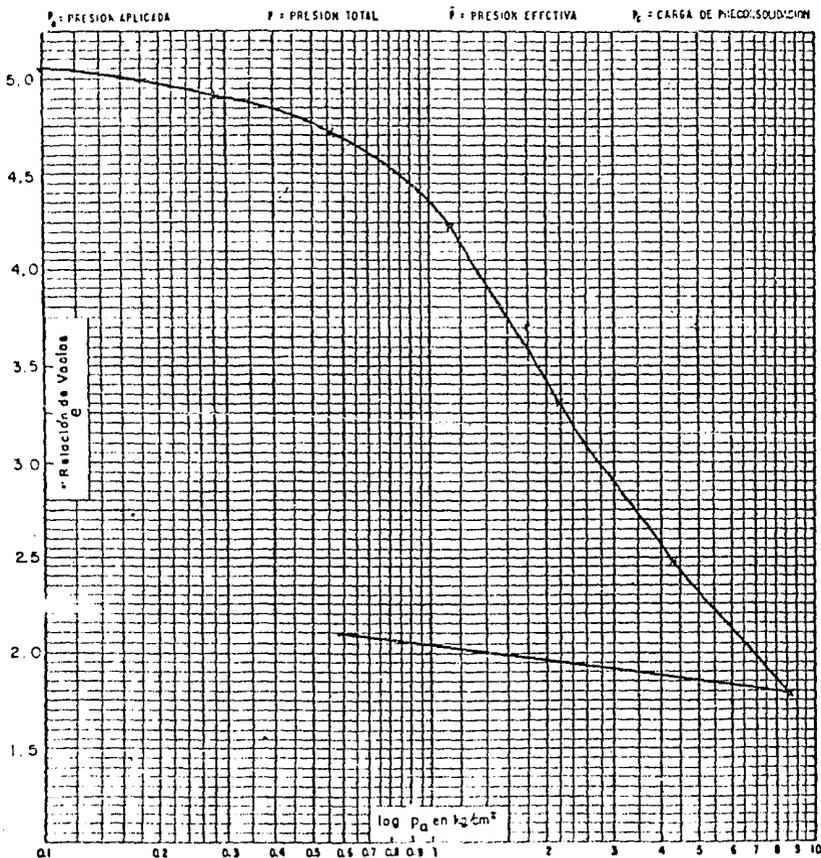
Laboratorio de Mecánica de Suelos
PRUEBA DE CONSOLIDACION

FIGURA 4.29

Obra N° _____ Sondeo MIXTO . SM-2 Localización COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

SÍMBOLO MUESTRA PROFUNDIDAD ω (%) e_0 S_r (%) ρ (kg/cm³) $\bar{\rho}$ (kg/cm³) P_c (kg/cm²)
 (m)

← 48 31.2 - 32.0 206 5.08 100



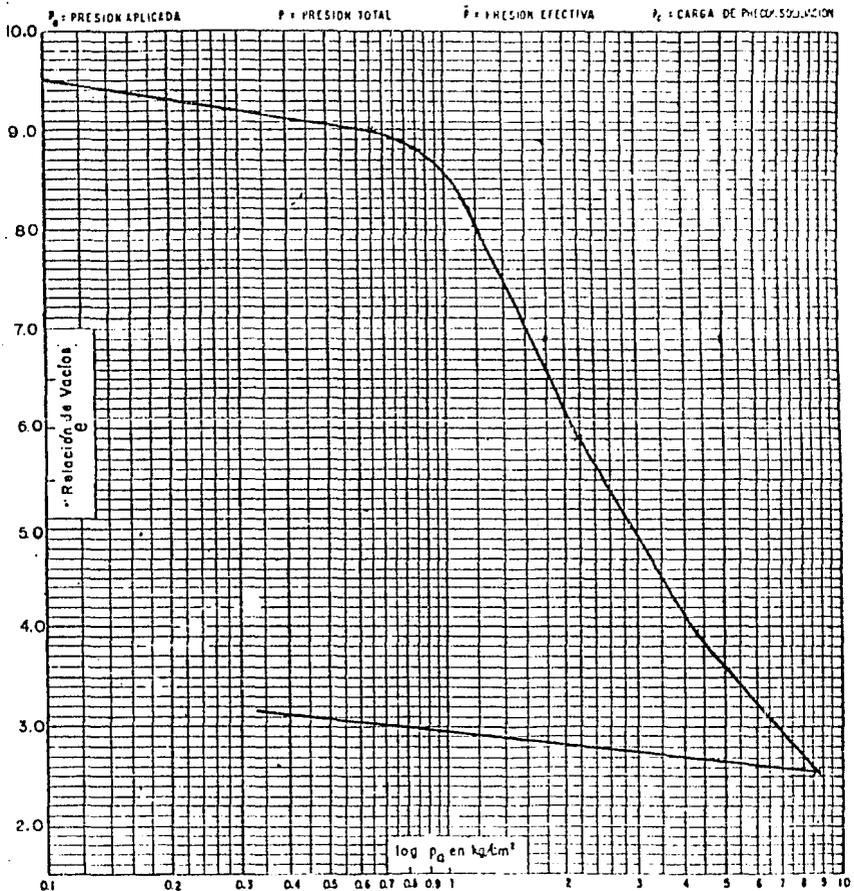
Laboratorio de Mecánica de Suelos
PRUEBA DE CONSOLIDACION

FIGURA 4.30

Obra N° _____ Sondeo MIXTO, SM-2 Localización COLECTOR SEMIPROFUNDO IZ TAPALAPA

SÍMBOLO MUESTRA PROFUNDIDAD ω (%) e_0 S_r (%) ρ (kg/cm³) $\bar{\rho}$ (kg/cm³) ρ_c (kg/cm³)

x — x 54 35.2 - 36.0 40.8 9.49 100



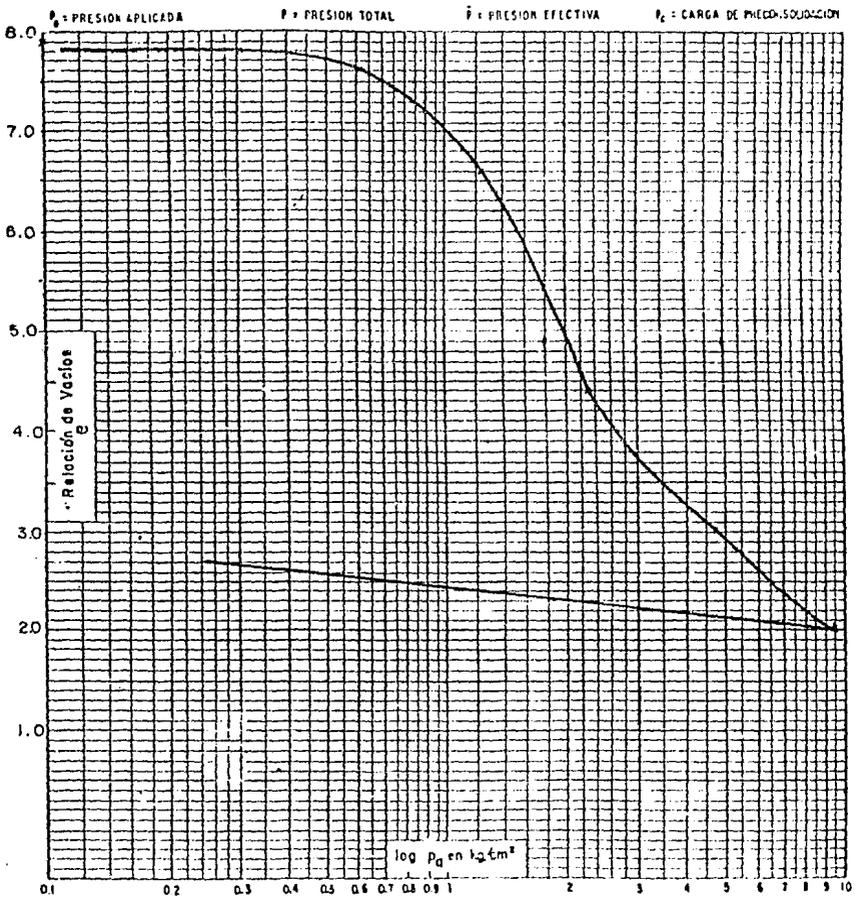
Laboratorio de Mecánica de Suelos
PRUEBA DE CONSOLIDACION

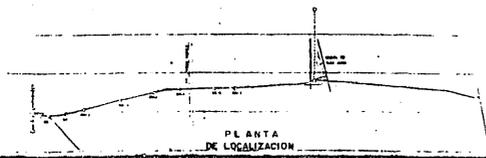
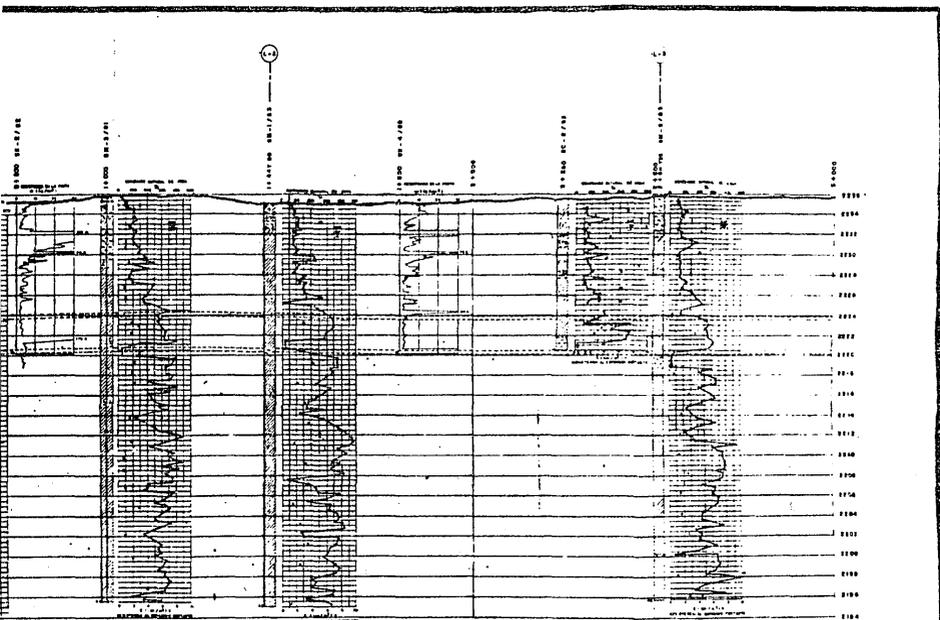
FIGURA 4.31

Obra N° _____ Sondeo MIXTO, SM-4 Localización COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

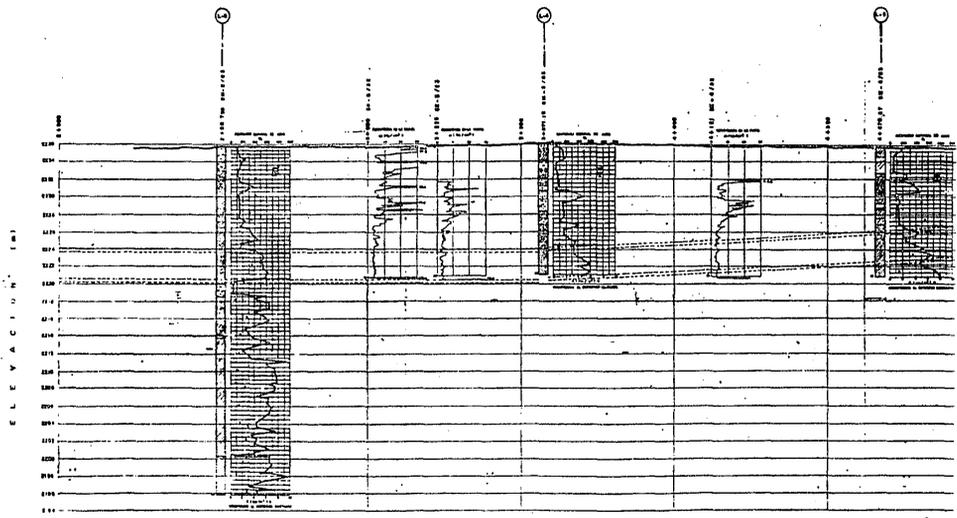
SIMBOLO MUESTRA PROFUNDIDAD (m) w (%) e_0 S_r (%) ρ (kg/cm³) $\bar{\rho}$ (kg/cm³) ρ_c (kg/cm³)

x — x 22 13.60 - 14.40 303.0 7.025 99



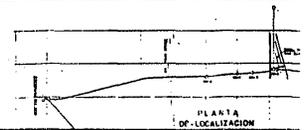


**FIGURA 4.32 CORTE ESQUEMATICO
 CAD 0+000 AL 3+000
 Km.**



S I M B O L O G I A

1. ARENOSAS	2. ARCILLAS	3. ESCALONAS	4. GRANITO	5. GNEIS	6. BARRIO



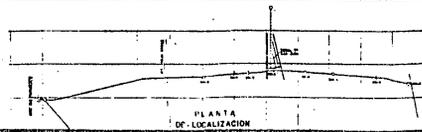
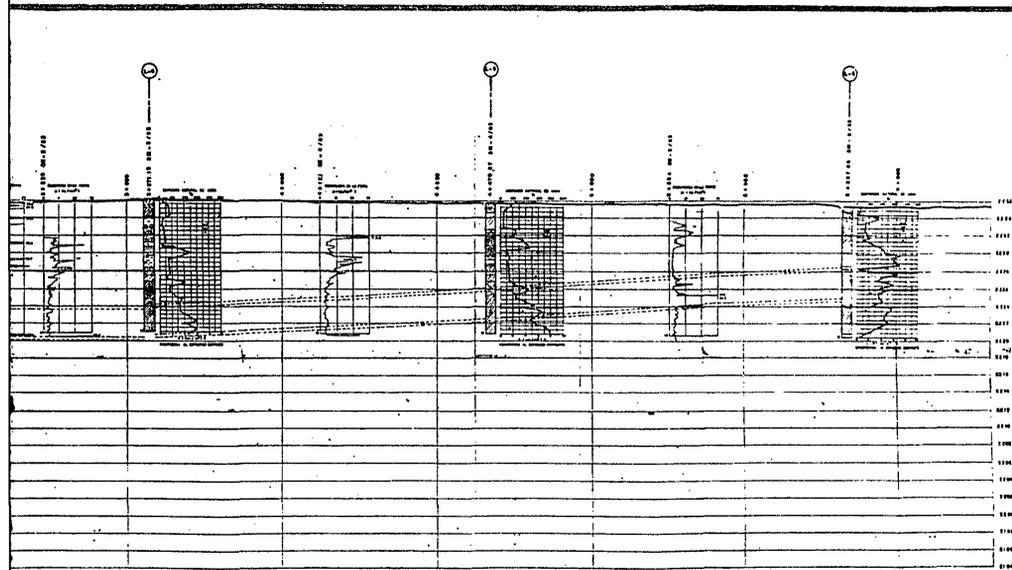


FIGURA 4.33 CORTE ESQUEMATICO
CAD 31000 AL 61000 Km.

A continuación y con un espesor indefinido se detectó - la formación arcillosa superior mayor de 40.0 m. hasta el cadenamamiento 2 + 600 km. y a partir de este y hasta el cadenamamiento 6 + 000 km. de 20.0 m.; caracterizada - por la presencia de arcillas de muy alta plasticidad, - intercaladas por lentes de arenas pumíticas, vidrio volcánico y limo arenoso con espesores reducidos del orden de 0.5 a 1.0 m. El contenido de agua natural varía - de 20 a 450% con un valor medio de 300% correspondiendo los valores menores a las lentes arenosas.

La resistencia al esfuerzo cortante, varía entre 0.5 y - 5.5 kg/cm^2 con un valor medio de 2.0 kg/cm^2 , correspondiendo los valores altos a la presencia de los limos arenosos, el valor medio del esfuerzo cortante resistente del suelo arcilloso en la zona del túnel es de 0.8 kg/cm^2 del cadenamamiento 0 + 000 al 2 = 000 km. de 2.0 kg/cm^2 del 2 = 000 al 4 = 500 km. y de 3.5 kg/cm^2 del 4 + 500 al 6 + 000 km.

De acuerdo a los resultados de los ensayos de consolidación se confirma que es un suelo arcilloso de alta compresibilidad.

El nivel de aguas freáticas se detecto a profundidades - que varían de 1.60 a 3.0 m. referido al nivel de la superficie exterior del terreno natural.

4.5 TUNEL SEMIPROFUNDO.

El túnel semiprofundo, para su construcción, se dividió en cinco tramos, en la figura 4.1 se presenta un esquema de la planta y en las figuras 4.32 y 4.33 se presentan - los perfiles estratigráficos determinados. A continua-

ción se indican los análisis efectuados para definir los parámetros de resistencia de los suelos para el diseño - de los revestimientos y el procedimiento constructivo a seguir.

El túnel será de sección circular, con un diámetro de excavación de 4.0 m, tal como se muestra en la figura 4.34, la profundidad de la clave oscilará entre 6.80 y 15.85 m.

4.5.1. ESTABILIDAD DEL FRENTE

De acuerdo con el criterio de Broms y Bennermark⁽¹⁾ se analizó la estabilidad del frente, la cual indica que un frente es estable cuando se cumpla la siguiente expresión:

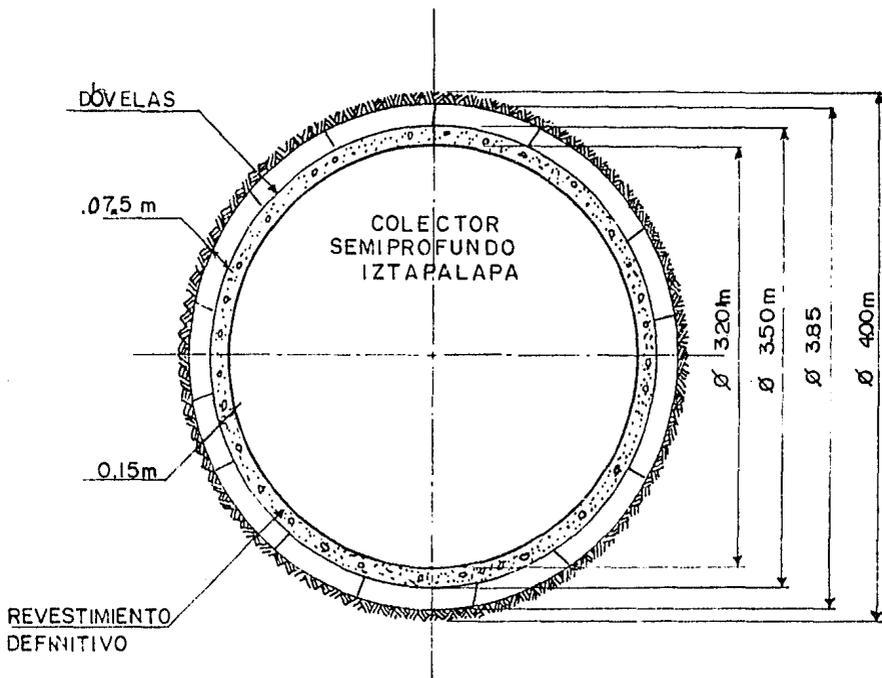
$$\gamma H < \frac{6\bar{c}}{1.25}$$

En donde:

- γ = Peso volumétrico del suelo
- H = Profundidad al centro del túnel
- \bar{c} = Cohesión media

Cuando no se cumple dicha relación, se requerirá una presión estabilizadora (P_e) para soportar el frente la cual se calculó mediante la siguiente expresión:

$$P_e = \gamma H - \frac{6\bar{c}}{1.25}$$



SECCION TRANSVERSAL

FIGURA 4.34

En la tabla II se presenta el resumen del análisis y se indica la presión necesaria requerida, concluyéndose que entre los cadenamientos 0 + 000 al 1 + 474 km. se requerirá, dado que la presión estabilizadora es mayor de 1.4 kg/cm^2 , el uso de un escudo de lodo presurizado para poder trabajar con las presiones requeridas.

Entre los cadenamientos 1 + 474 al 4 + 670 km, se requiere una presión estabilizadora entre 0.50 y 1.1 kg/cm^2 por lo cual se recomienda usar un escudo auxiliado por aire comprimido.

Se requiere una presión estabilizadora menor de 0.05 kg/cm^2 entre los cadenamientos 4 + 670 al 5 + 837.5 km, por lo cual se recomienda usar únicamente un escudo convencional de frente abierto.

De lo anterior y considerando el aspecto económico se decidió trabajar para la construcción de todo el túnel con el escudo de lodo presurizado.

4.5.2 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 la elasticidad, para esta presión se llega a valores de $2\gamma H$ en la pared del túnel y disminuye este valor a medida que el punto considerado se aleja del mismo, siendo H la profundidad correspondiente al centro del túnel.

TABLA II.- PRESION ESTABILIZADORA EN EL FRENTE DEL TUNEL.

Método de excavación	Cadenamiento (km)	Presión Estabilizadora (kg/cm ²)	Presión Recomendable (kg/cm ²)
Escudo con frente cerrado y lodo bentonítico presurizado.	0 + 000 - 0 + 250	1.45	1.5
	0 + 250 - 0 + 750	1.31	1.3
	0 + 750 - 1 + 224	1.35	1.4
	1 + 224 - 1 + 448	1.34	1.4
Escudo con frente cerrado y aire presurizado.	1 + 448 - 1 + 474	1.10	1.1
	1 + 474 - 1 + 875	0.74	0.8
	1 + 875 - 2 + 381	0.78	0.8
	2 + 381 - 2 + 511	0.46	0.5
	2 + 511 - 3 + 041	0.46	0.5
	3 + 041 - 3 + 571	0.64	0.7
	3 + 571 - 4 + 121	0.49	0.5
4 + 121 - 4 + 670	0.50	0.5	
Escudo con frente abierto	4 + 670 - 5 + 254	0.05	0.0
	5 + 254 - 5 + 837	0.01	0.0

Cuando γH es mayor que la cohesión del suelo, se producen - en las paredes del túnel, deformaciones plásticas ocasionando hundimientos superficiales excesivos, lo cual puede ser evitado mediante el empleo de un escudo que evite la plastificación o falla de las paredes.

A lo largo del trazo, se revisó que se cumpliera con la condición antes citada, lo cual al no hacerlo obligó necesariamente el empleo de un escudo que evite la inestabilidad del frente en el túnel.

4.5.3 PRESIONES VERTICALES Y HORIZONTALES

El cálculo de las presiones verticales y horizontales, se - hizo con las siguientes expresiones(2), cuyos resultados en la práctica están próximos a la realidad para túneles en -- suelos en donde el techo del túnel es menor de cinco diámetros de excavación.

$$P_v = \sum_{i=1}^n \delta_i h_i + \sum_{i=1}^z \delta'_i h_i + \delta_w h_t$$

$$P_h = 0.5 \left[\sum_{i=1}^n \delta_i h_i + \sum_{i=1}^z \delta'_i h_j \right] + \delta_w h_t$$

En donde:

- P_v = Presión vertical
- P_h = Presión horizontal
- δ_i = Peso volumétrico de cada estrato
- δ'_i = Peso volumétrico sumergido de cada estrato
- δ_w = Peso volumétrico 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

En la tabla III se presentan los resultados obtenidos.

4.5.4 HUNDIMIENTOS

Durante la excavación de un túnel, se inducen asentamientos en la superficie ocasionados por la relajación de esfuerzos en el frente y por el desplazamiento radial de las paredes para llenar el espacio dejado por el paso del escudo, los cuales se incrementan por el asentamiento producido por el abatimiento del nivel freático.

Al excavar un túnel bajo el nivel freático con el tiempo, se producen filtraciones que pueden llegar a abatir el nivel de aguas induciéndose un cambio en las presiones efectivas, lo cual ocasiona deformaciones en la superficie; - en este tipo de suelos compresibles estas deformaciones - resultan ser excesivas (más de 50 cm), las cuales se podrán evitar garantizando que el túnel desde su etapa en - revestimiento primario, garantice ser impermeable.

Así, para el cálculo de asentamientos por relajación y de formación radial, se ocupó el criterio indicado por Reséndiz y Romo (3) mediante las siguientes expresiones:

TABLA III.- PRESIONES VERTICALES Y HORIZONTALES

TRAMO	CADENAMIENTO	P.V. t/m ²	P.H. t/m ²
L - 1 a L - 2	0 + 000 - 0 + 250	13.25	12.50
	0 + 250 - 0 + 750	14.70	13.13
	0 + 750 - 1 + 224	14.73	13.40
	1 + 224 - 1 + 448	14.62	13.32
L - 2 a L - 3	1 + 448 - 1 + 474	14.62	13.32
	1 + 474 - 1 + 875	13.84	12.85
	1 + 875 - 2 + 381	15.97	14.18
	2 + 381 - 2 + 511	15.52	13.81
L - 3 a L - 4	2 + 511 - 3 + 041	15.52	13.81
	3 + 041 - 3 + 571	17.01	14.53
L - 4 a L - 5	3 + 571 - 4 + 121	16.71	14.26
	4 + 121 - 4 + 670	12.52	11.65
L - 5 a L - 6	4 + 670 - 5 + 254	12.52	11.65
	5 + 254 - 5 + 837	9.35	9.20

NOTACION:

Pv = PRESION VERTICAL

Ph = PRESION HORIZONTAL

$$\lambda_r = \lambda_B + \lambda_o$$

$$\lambda_B = (0.0083 - 0.0025 \frac{Z}{H}) (P_H - P_e) (F) (z+D) \frac{E_F}{E}$$

$$\lambda_o = S (1 + \frac{Z}{D} E_F) - 2A$$

en donde:

- λ_r = Deformación total
 λ_B = Deformación por relajación
 λ_o = Deformación radial
 Z = Distancia vertical del techo del túnel al punto en el que interesa calcular el hundimiento
 H = Distancia del techo del túnel a la superficie
 PH = Presión horizontal
 Pe = Presión estabilizadora
 F = Factor adimensional que depende del punto analizado
 D = Diámetro del túnel
 E_F = Deformación unitaria del suelo
 C = Resistencia media a la compresión
 S = Espesor del faldón del escudo

En la tabla IV se indica el resumen de los resultados obtenidos y en la figura 4.35, se presenta un esquema de la -- sección transversal en donde se aprecia la forma en que se presentarán los hundimientos.

- (1) B.B. Broms And H. Bennermark "Stability of Clays at Vertical Openings"
Proc. ASCE, 93 SMI. pág. 71-94 (1967).
- (2) H. Wagner "Theory and Practice of Mined Underground Structures in Soils" Conferencia Internacional de -

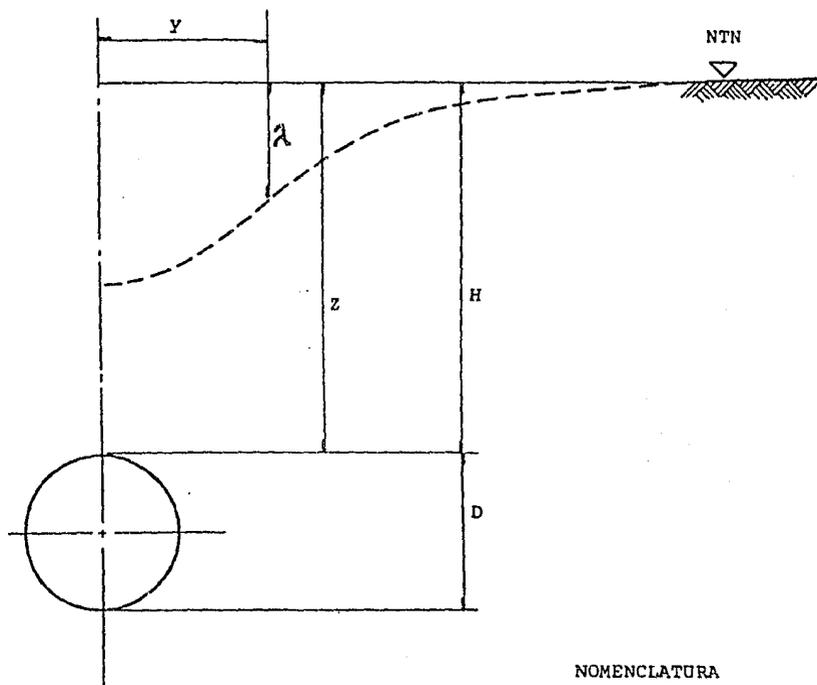
Mecánica de Suelos

Págs. 313 - 325 (México, 1982)

- (3) D. Reséndiz y P. Romo "Settlements Upon Soft-Ground Tunneling: Theoretical Solution" A.A. Balkema, Rotterdam, 1980.

TABLA IV HUNDIEMENTOS SUPERFICIALES DEBIDO A LA
EXCAVACION DEL TUNEL

Cadenamiento (km)	DEFORMACION TOTAL EN cm (δ)								VERIFICAR 4.35
	y = 0.0 m	y = 1.0 m	y = 3.0m	y = 5.0m	y = 7.0 m	y = 9.0 m	y = 11.0 m	y = 15.0 m	y = 30.0 m
0 + 000 al 0 + 200	7.55	7.28	6.04	4.82	3.88	3.19	2.68	2.03	1.16
0 + 200 al 0 + 400	7.95	7.69	6.45	5.19	4.17	3.41	2.85	2.12	1.16
0 + 400 al 0 + 600	7.79	7.57	6.50	5.33	4.35	3.60	3.02	2.26	1.22
0 + 600 al 0 + 800	7.91	6.67	6.51	5.29	4.29	3.53	2.96	2.22	1.21
0 + 800 al 1 + 000	7.91	7.68	6.55	5.34	4.34	3.58	3.01	2.25	1.22
1 + 000 al 1 + 200	7.94	7.71	6.60	5.41	4.42	3.64	3.06	2.29	1.24
1 + 200 al 1 + 400	8.40	8.17	6.99	5.69	4.57	3.70	3.04	2.18	1.10
1 + 400 al 1 + 600	8.52	8.25	6.96	5.58	4.45	3.59	2.96	2.14	1.13
1 + 600 al 1 + 800	8.54	8.29	7.04	5.69	4.56	3.69	3.04	2.20	1.14
1 + 800 al 2 + 000	8.26	8.03	6.86	5.60	4.54	3.72	3.10	2.29	1.22
2 + 000 al 2 + 200	8.13	7.90	6.75	5.51	4.48	3.67	3.07	2.27	1.21
2 + 200 al 2 + 400	7.63	7.40	6.32	5.17	4.23	3.51	2.96	2.24	1.23
2 + 400 al 2 + 600	7.63	7.40	6.32	5.18	4.24	3.51	2.97	2.24	1.24
2 + 600 al 2 + 800	7.63	7.40	6.32	5.17	4.23	3.51	2.96	2.24	1.23
2 + 800 al 3 + 000	7.63	7.41	6.33	5.19	4.25	3.53	2.98	2.25	1.24



DEFORMACIONES
SUPERFICIALES
PROVOCADAS POR
EL PASO DEL ESCUDO

FIGURA 4.35

NOMENCLATURA

- D = Diámetro del túnel
H = Distancia del techo del túnel a la superficie
z = Distancia vertical del techo del túnel al punto en el que interesa calcular la deformación:
y = Distancia transversal al trazo del túnel hasta el punto en el que interesa calcular la deformación.
 λ = Deformación total.

CAPITULO 5

5. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

5.1 ANTECEDENTES

Las primeras soluciones en cuanto a los métodos constructivos de tunelco utilizados con éxito en los suelos arcillosos blandos (extrusión rápida), requirieron del uso de escudos. Este método fue probado con éxito en México y ha permitido construir varios kilómetros de túneles en la Ciudad de México, con diámetros variables entre 3 y 9.2 m.

Varias fallas ocurridas en lumbreras y túneles construidos al final de la década de los sesentas, en las zonas de arcilla muy blanda del oriente de la Ciudad de México, provocaron una serie de revisiones en los procedimientos constructivos de la época.

En todos los casos, el fenómeno de extrusión, hizo su aparición en las fallas observadas, transformando el medio arcilloso relativamente continuo en una masa discontinua de aspecto granular donde la arcilla se disgregó en bloques aislados de diversos tamaños, capaces de moverse en conjunto varios metros.

El interrogante principal que surgió de todo ello, era acerca del procedimiento de tuneleo que había de usarse en las arcillas muy blandas para realizar un túnel profundo sin falla.

El uso de aire comprimido fue una respuesta práctica al problema de inestabilidad planteado por las arcillas blandas, surgiendo el concepto de "Slurry Shield" que aprovecha el principio de estabilización frontal a base de un fluido a presión. Es difícil conocer la verdade

ra historia del desarrollo de este escudo, sin embargo, parece ser que los japoneses introdujeron el principio de soportar los frentes de túneles en construcción con fluidos a presión.

Las metas que se fijaron los diseñadores japoneses en el desarrollo de "Slurry Shield" fueron:

1. Que la máquina sea capaz de excavar en suelos no cohesivos
2. Que no se altere la posición del nivel freático
3. Que se permita al personal trabajar a la presión atmosférica normal
4. Que se provoquen asentamientos despreciables en la superficie.

Por otro lado, tomando en cuenta el peculiar comportamiento de la arcilla del Valle de México, el Gobierno de la Ciudad formó un Comité de especialistas mexicanos y americanos para auscultar la posibilidad de adaptar algunas de las tecnologías tuneleras existentes en el mundo al caso particular de la arcilla blanda de la ciudad. En respuesta a las inquietudes expresadas por el Comité, se integró un grupo internacional de diseñadores japoneses, americanos y mexicanos, quienes trabajaron durante casi un año, y entregaron en 1979 el diseño ejecutivo para un escudo de lodo de 6.2 m. de diámetro exterior, capaz de construir túneles en las arcillas muy blandas de la ciudad.

Posteriormente, la falta de presupuesto para construir el túnel Interceptor Oriente y la necesidad de realizar túneles de profundidad intermedia, propició que el go--

bierno de la ciudad requiriera una máquina de tuneleo de 4.0 m. de diámetro exterior, construida con la tecnología básica seleccionada para el diseño original del escudo de 6.2 m.

Con tales bases se mandó construir a Japón el escudo de lodo que es el que se está utilizando para la construcción del Colector Semiprofundo Iztapalapa y del cual se describe en lo que sigue el procedimiento constructivo.

5.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE EXCAVACION MEDIANTE EL ESCUDO PRESURIZADO DE LODOS.

5.2.1 FASES PRELIMINARES

CONSTRUCCION DE LAS LUMBRERAS.

Una vez que se establecieron los trazos definitivos del colector semiprofundo y se llevo a cabo la ejecución de un estudio económico en el que de acuerdo con los costos y programas de construcción se optó porque el número óptimo de lumbreras a emplearse en el proyecto fuera de seis, se procedió a excavar y construir éstas.

Las lumbreras son excavaciones verticales de sección -- transversal circular de 12.5 m. de diámetro interior, cuya finalidad es facilitar el acceso del equipo y materiales para ejecutar la excavación del túnel y para la extracción del producto de la misma.

La construcción de las lumbreras puede ser llevada a cabo de distintas formas, dependiendo de la naturaleza del terreno y de la profundidad que se deba alcanzar. Para -- ello existen diversas técnicas, algunas de ellas desarrolladas y empleadas en nuestro país. A continuación se mencionan dos de ellas que están siendo empleadas en la - construcción de las lumbreras para el colector semiprofundo en suelo blando debido a que es un problema poco común y por demás interesante.

LUMBRERAS 2 A 5

En el caso de las lumbreras 2 a 5 se utilizó el "Procedimiento de Flotación", en la figura 5.8 se muestra un corte esquemático de cada una de las etapas y en las tablas V a la IX se presentan los parámetros que se consideraron para su diseño

ETAPAS

1. BROCALES. Se excava una zanja y se construyen dos brocales denominados exterior e interior, el primero será permanente y circunscribe al segundo que será provisional; cada brocal estará constituido por dos elementos denominados alero y faldón (figura 5.1).

Para la construcción de los aleros y el faldón de la lumbrera se excava una zanja circular con diámetro interior de 12.6 m. y espesor de 1.7 m. en los primeros 80 cm. y - de 1.2 m. hasta 2.5 m. de profundidad, dependiendo de la profundidad a la que aparece el nivel de aguas freáticas,

TABLA V.- PARAMETROS DE DISEÑO

LUMBRERA N° 2 - S I

Localización	1 + 447.89	km
Cota del brocal	+ 35.27	m
Diámetro interior	9.0	m
Diámetro excavación	11.6	m
Espesor del revestimiento	0.6	m
Espesor entre revestimiento y suelo	0.7	m
Profundidad interior	15.2	m
Profundidad excavación	20.2	m
Espesor losa de fondo	1.0	m
Espesor losa tapa	0.2	m
Relleno sobre losa tapa	0.4	m
Tanque de flotación	3.0	m
Subpresión	17.2	ton/m ²
Factor de seguridad a la subpresión	1.3	
Brocal exterior		
Alero	0.5 x 2.3	m
Faldón	0.5 x 2.5	m
Peso volumétrico del concreto	2.3	ton/m ³
Peso volumétrico del mortero entre revestimiento y suelo	1.8	ton/m ³

TABLA VI - PARAMETROS DE DISEÑO

LUMBRERA N° 3 - S I

Localización	2 + 511.795	km
Cota del brocal	+ 35.66	m
Diámetro interior	9.0	m
Diámetro excavación	11.6	m
Espesor del revestimiento	0.6	m
Espesor entre revestimiento y suelo	0.7	m
Profundidad interior	15.59	m
Profundidad excavación	20.60	m
Espesor losa de fondo	1.00	m
Espesor losa tapa	0.2	m
Relleno sobre losa tapa	0.4	m
Tanque de flotación	3.0	m
Subpresión	17.40	ton/m ²
Factor de seguridad a la flotación	1.4	
Brocal exterior:		
Acero	0.5 x 2.3	m
Faldón	0.5 x 2.5	m
Peso volumétrico del concreto	2.3	ton/m ³
Peso volumétrico del mortero entre el revestimiento y el suelo	1.8	ton/m ³

TABLA VII .- PARAMETROS DE DISEÑO
LUMBRERA N° 4.- S.I.

Localización	3 + 571.15	km
Cota brocal	+ 35.892	m
Diámetro interior	9.0	m
Diámetro excavación	11.60	m
Espesor del revestimiento	0.60	m
Espesor entre revestimiento y suelo	0.7	m
Profundidad interior	15.3	m
Profundidad de excavación	20.40	m
Espesor losa de fondo	1.00	m
Espesor losa tapa	0.2	m
Relleno sobre losa tapa	0.40	m
Tanque de flotación	3.0	m
Subpresión	16.8	ton/m ²
Factor de seguridad a la flotación	1.3	
Brocal exterior:		
Acero	0.5 x 2.3	m
Faldón	0.5 x 2.5	m
Peso volumétrico del concreto	2.3	ton/m ³
Peso volumétrico del mortero entre el revestimiento y el suelo	1.6	ton/m ³

TABLA VIII.- PARAMETROS DE DISEÑO

LUMBRERA 5 S.I

Localización	4 + 670.834	km
Cota del brocal	+ 35.59	m
Diámetro interior	9.0	m
Diámetro excavación	11.6	m
Espesor del revestimiento	0.6	m
Espesor entre el revestimiento y suelo	0.7	m
Profundidad interior	12.85	m
Profundidad excavación	17.85	m
Espesor losa de fondo	1.0	m
Espesor losa tapa	0.2	m
Relleno sobre losa tapa	0.4	m
Tanque de flotación	3.0	m
Subpresión	15.45	ton/m ²
Factor de seguridad a la flotación	1.3	
Brocal exterior		
Alero	0.5 x 2.3	m
Faldón	0.5 x 2.5	m
Peso volumétrico del concreto	2.3	ton/m ³
Peso volumétrico del mortero entre el revestimiento y el suelo	1.6	ton/m ³

TABLA IX.- PARAMETROS DE DISEÑO
LUMBRERA N° 6 S.I.

Localización	5 + 837.54	km
Cota del brocal	+ 35.37	m
Diámetro interior	9.00	m
Diámetro excavación	10.00	m
Espesor del revestimiento		
dovela	0.25	m
concreto	0.25	m
Profundidad interior	10.32	m
Profundidad excavación	11.12	m
Espesor losa de fondo	0.80	m
Espesor losa tapa	0.20	m
Peso de caseta sobre lumbrera	0.40	ton/m ²
Subpresión	9.52	ton/m ²
Factor de seguridad a la subpresión	2.34	
Brocal exterior:		
Alero	0.4 x 1.0	m
Faldón	0.4 x 1.0	m
Peso volumétrico del concreto	2.3	ton/m ³

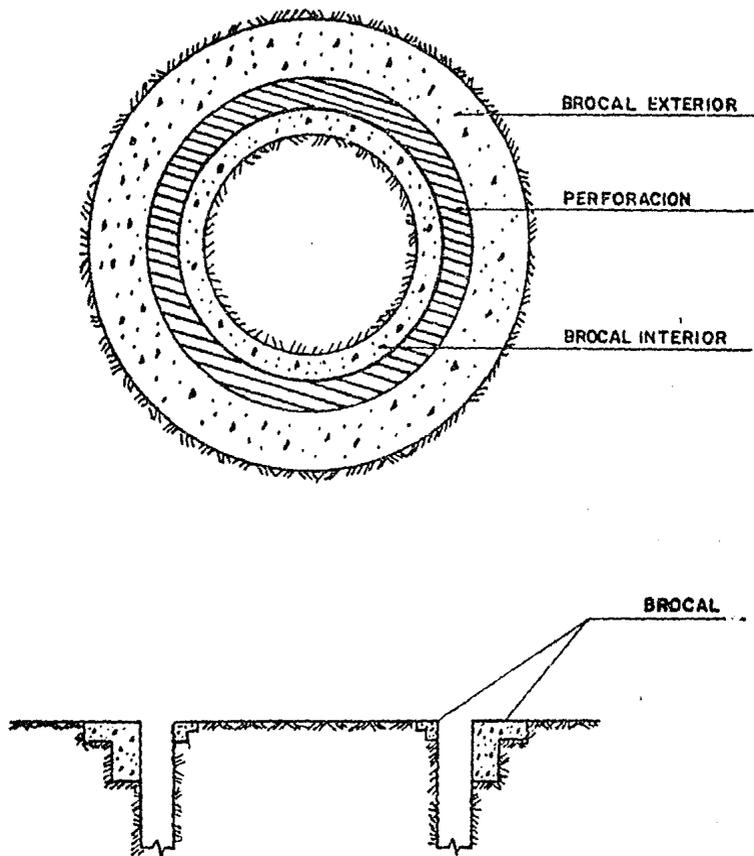


FIGURA 5.- COSTRUCION DE LOS BROCALES EXTERIORES E INTERIORES DE LA LUMBRERA

se cimbra, se coloca el armado y se cuela el faldón de los dos brocales, uno de 2.5 m. de profundidad y 50 cm. de espesor y el otro de 80 cm. de profundidad y 20 cm. de espesor (entre paño y paño de cada brocal deberá quedar una oquedad con ancho de 70 cm); se continua con la construcción de los aleros de los brocales, el exterior estará constituido por una losa perimetral de 50 cm. de espesor y 2.5 m. de ancho y el interior de 20 cm. de espesor y 2.0 m. de ancho.

2. PERFORACIONES GUIAS. En el área comprendida entre los dos brocales, se efectuan 12 perforaciones de 24" - - (60.96 cm) de diámetro uniformemente distribuidas, a una profundidad de 4.0 m. abajo del lecho interior de la losa de fondo; estas perforaciones se realizan con máquina rotatoria ocupándose inyección de lodo bentonítico como fluido de perforación y conservando el nivel del lodo a una profundidad mínima de 80 cm. por abajo del nivel del terreno natural (figura 5.2).

En los tramos entre las perforaciones realizadas y en toda la profundidad de estas, se excava con almeja hidráulica guiada, cuidando que se sustituya el material extraído por lodo bentonítico, conservando de igual forma el nivel del lodo a una profundidad no mayor de 80 cm. con respecto al nivel del terreno natural.

Los bordos dejados por la perforación y la almeja, se excavan mediante una caja metálica con paredes curvas que coincidan con las superficies interiores de los brocales, esta operación se lleva a cabo en todo el perimetro circular de la excavación.

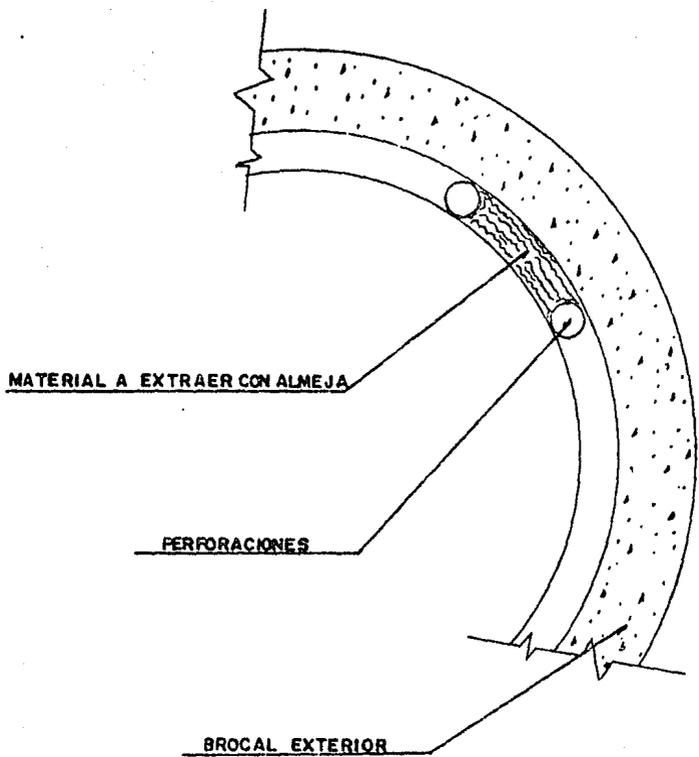


FIGURA 5.2 PERFORACIONES GUIAS MONTADAS SOBRE GRUA Y MATERIAL A EXTRAER CON ALMEJA

3. EXCAVACION DEL NUCLEO. Se demuele el brocal interior y se excava el núcleo central de la lumbrera mediante almeja hidráulica guiada, y conservando el nivel de lodo bentonítico a la profundidad de 80 cm. (figura 5.3).

El control de la profundidad deberá ser mediante una sonda en toda la base de la área de la excavación, para realizar esta operación se coloca un puente con malacate -- (manual) para efectuar adecuadamente la inspección.

Cuando finalmente se alcanzó la profundidad de proyecto, se comprueba la verticalidad de las paredes; sera necesario además recircular el lodo dentro de la excavación para evitar la sedimentación del lodo bentonítico, esta operación se realiza inyectando aire a presión por medio de una tubería de 2" de diámetro, estas tuberías se colocan en la periferia de la excavación.

Hasta este momento se tiene excavada y llena totalmente de lodo bentonítico la zanja que formará la lumbrera.

4. VIGUETAS DE SUJECION. Son estructuras de acero en sección I de aproximadamente 2.0 m. de longitud y que se encuentran contraventeadas para evitar posibles pandeos locales en las mismas al momento de trabajar.

5. TANQUE DE FLOTACION. Se construye en las proximidades a la lumbrera. Este es una estructura hueca de acero en forma cilíndrica estanco de tal manera que cuenta con válvulas que permiten la entrada o salida de aire

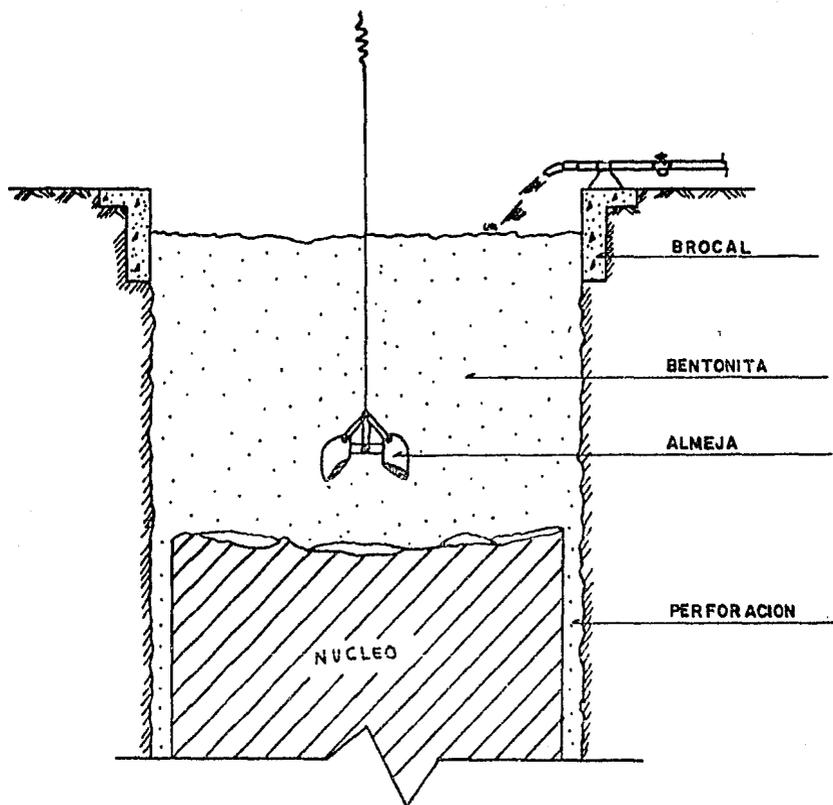


FIGURA 5.3 EXCABACION DEL NUCLEO CENTRAL DE LA LUMBRERA
MEDIANTE ALMEJA HIDRAULICA GUIADA

comprimido en su interior y con esto la estructura es capaz de ascender o descender dentro de la excavación que se encuentra llena de lodo bentonítico. La función de este tanque es en realidad la de servir como cámara de flotación cuando se construya sobre él la losa de fondo y los muros que constituyen la lumbrera.

Construido el tanque, se coloca en su posición inicial -- (sobre la excavación) apoyándose en las viguetas de sujeción colocadas anteriormente (figura 5.4).

6. LOSA DE FONDO. Se prosigue con el armado y colado de la losa de fondo sobre el tanque de flotación al cual en el momento del colado se le inyecta aire a presión en su interior para contrarrestar el peso que le transmite la losa y evitar que se hunda. Esta operación además es auxiliada por las viguetas de sujeción que mantienen al tanque en posición horizontal, (figura 5.5).

7. MUROS. El armado y colado de estos se lleva a cabo por tramos. Se inicia con el armado y colado del primer tramo de muro, dejándose las preparaciones para vanos en donde se colocarán las viguetas de sujeción. Se inyecta aire al tanque de flotación para sustentar el peso de las estructuras (losa de fondo y tramo de muro), y se retiran las viguetas.

Para nivelar la lumbrera durante su descenso, se colocan cuatro malacates apoyados en el brocal exterior. Se procede a extraer el aire del tanque de flotación para sumergir parte de la estructura, hasta el nivel de las prepara

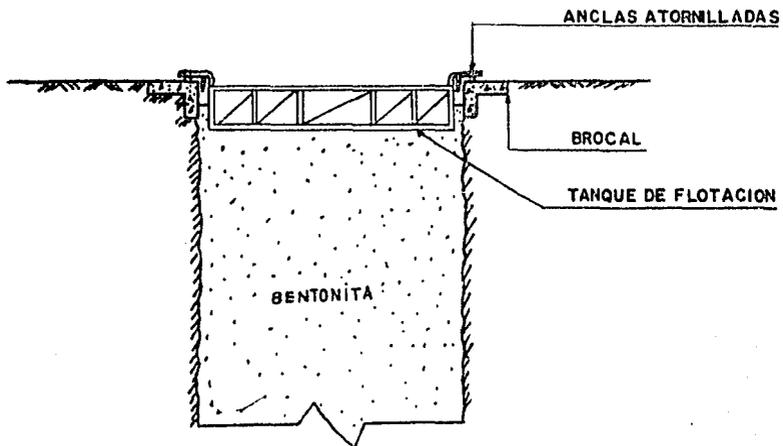


FIGURA 5.4 TANQUE DE FLOTACION EN SU POSICION INICIAL

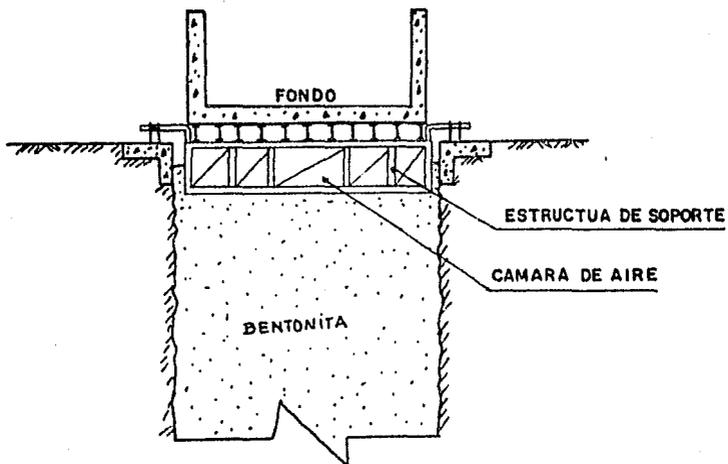


FIGURA 5.5 COLADO DE LA LOSA DE FONDO SOBRE EL TANQUE DE FLOTACION

ciones de la lumbrera, apoyándola nuevamente en las viguetas de sujeción. Durante el proceso de construcción el efecto de flotación, se controla mediante un lastre con agua, que se almacena en el interior de la lumbrera (figura 5.6).

Se deben dejar las preparaciones necesarias para el inicio de la excavación de los túneles. El ciclo de sujeción-colado-inmersión se repite hasta terminar el colado total de los muros de la lumbrera.

8. RELLENO. Finalmente se efectúa la unión estructural del brocal exterior y las paredes de la lumbrera dejando preparaciones necesarias para efectuar la inyección de la mezcla (figura 5.7).

Se sustituirá la bentonita remanente por inyección de la mezcla de mortero que cumpla con un peso volumétrico de 1.8 ton/m^3 para las lumbreras 2, 3 y 4 y de 1.6 ton/m^3 para la lumbrera 5, el proporcionamiento de la mezcla es el siguiente:

CEMENTO	1 parte (440 kg/m^3)
ARENA	2 partes (1394 kg/m^3)
AGUA/CEMENTO	0.65 (291 lts)
MODULO DE FINURA (ARENA)	1.30 a 2.20
REVENIMIENTO	20 cm.

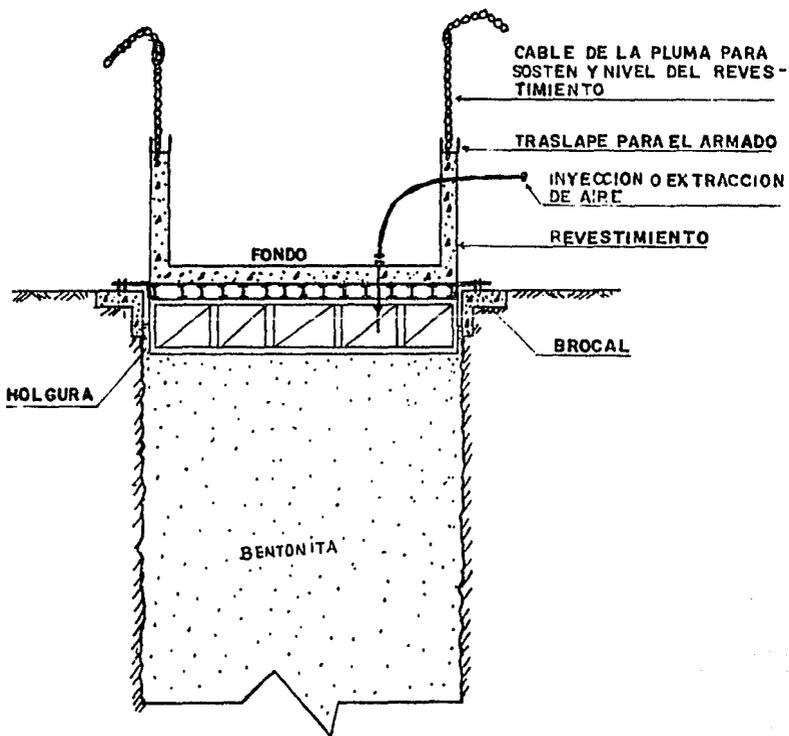


FIGURA 56 CICLO DE SUJECCION-COLADO-INMERSION DE LOS MUROS DE LA LUMBRERA

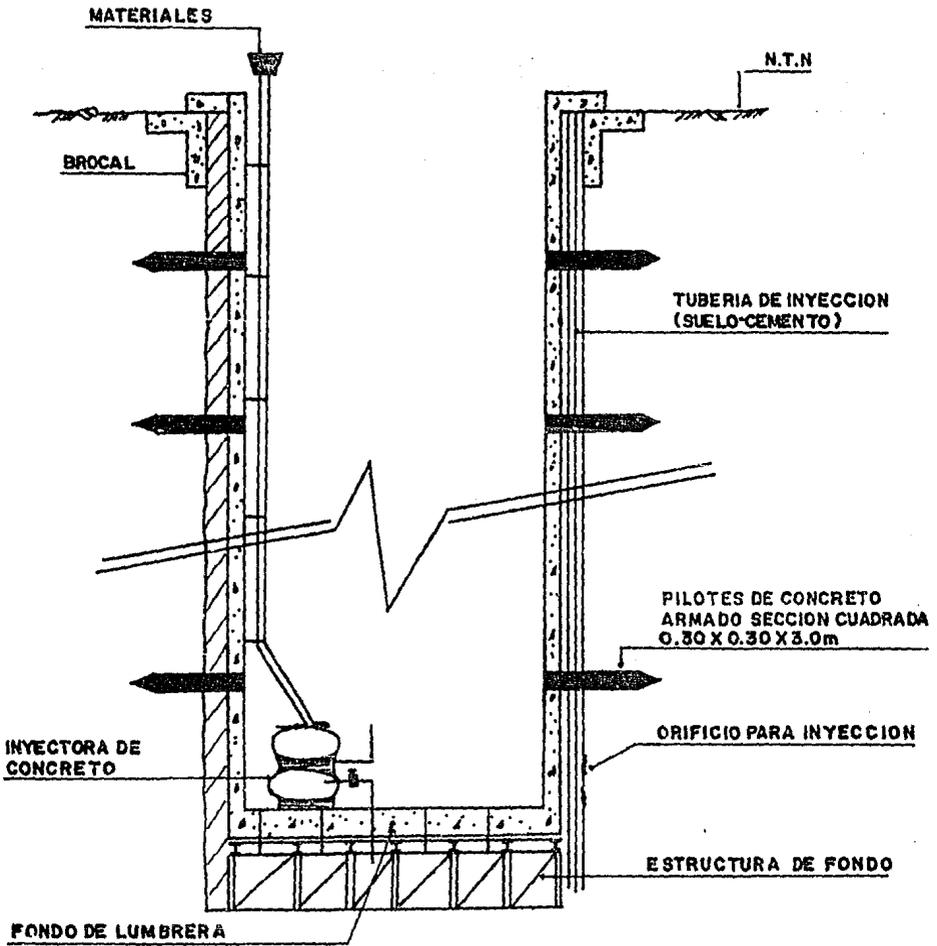


FIGURA 5.7 COLOCACION DE LA INYECCION EN LA LUMBRERA

GRANULOMETRIA DE LA ARENA

POR CIENTO QUE PASA

MALLA

8	100
16	90 - 100
30	50 - 85
50	20 - 50
100	10 - 30

A medida que se coloque el mortero se podrá ir quitando - el lastre colado, para así iniciar la construcción del túnel.

La colocación del mortero será en toda la lumbrera radialmente para evitar la contaminación con el lodo bentonítico.

LUMBRERA 6

El siguiente procedimiento constructivo, se refiere a la construcción de la lumbrera 6 bajo el "Método de Dovelas":

1. Se inicia la excavación de una zanja perimetral hasta la profundidad de 1.0 m. y 40 cm. de ancho, donde se alojará el faldón del brocal, el alero estará -- constituido por una losa de 1.0 m. de ancho y 40 cm. de espesor, el diámetro interior del brocal será de 10.10 m.
2. Se inicia la excavación del núcleo central hasta la profundidad de 1.5 m. y se efectúan perforaciones de 25 cm. de profundidad y 2.54 cm. de diámetro sobre -

el faldón del brocal para recibir los dos primeros anillos de dovelas, en dichas perforaciones se colocan varillas de # 8 para anclar las dovelas.

3. Una vez colocados los dos anillos de dovelas se colocan los tornillos que servirán para sustentar -- los anillos de las dovelas inferiores.
4. Enseguida se continua con la excavación en tramos de 75 cm. y se colocan inmediatamente las dovelas formando un anillo. Cada anillo colocado, debe estar sujeto al inmediato superior por medio de -- tornillos y anclado al terreno natural con varillas de # 8 de 1.5 m. de longitud y pasadores transversales del mismo diámetro de 15 cm. Estas anclas irán en todos los anillos y se colocarán a cada dos dovelas.
5. Colocados cuatro anillos se procede al calafateo de las juntas entre dovelas con una mezcla de cemento, yeso y agua y se efectúa un tapón en la parte inferior del último anillo.
6. Se efectúa la inyección a través de barrenos perforados previamente en las dovelas con una longitud igual a su espesor.
7. Esta inyección servirá para asegurar el contacto suelo-dovelas y debe cumplir con las siguientes especificaciones:

a) Proporcionamiento:

Agua	200 lts.
Cemento	250 kg.

Arena 150 kg.
Aditivo acele- 2.5 kg. por bacha
rante

- b) El agua no deberá contener materia orgánica
- c) La arena deberá ser bien graduada, con partículas no mayores de 1.5 mm. y con un contenido de finos menor al 15%
8. La secuencia de inyección será ascendente. La pre sión de inyectado será de hasta 1.0 kg/cm².
9. Los barrenos perforados servirán como testigos para el recorrido de la lechada, colocando llaves de paso, tipo machos, que se mantendrán abiertas para verificar su comunicación y una vez cerrada se purgarán pe riódicamente para expulsar el agua o aire.
10. Este proceso de instalación de dovelas se repetirá - hasta alcanzar la profundidad de proyecto.
11. Una vez alcanzada la profundidad de proyecto de la - excavación, se coloca una plantilla de concreto po bre, de 5 cm. de espesor en todo el fondo de la exca vación, posteriormente se coloca la losa de fondo de 0.80 m. de espesor.
12. Se coloca el revestimiento definitivo de la lumbrera co nstituído por una capa de concreto lanzado de 10 - cm. de espesor como mínimo, colada en forma ascen den te con una doble malla de 4" x 4" x 1/8".

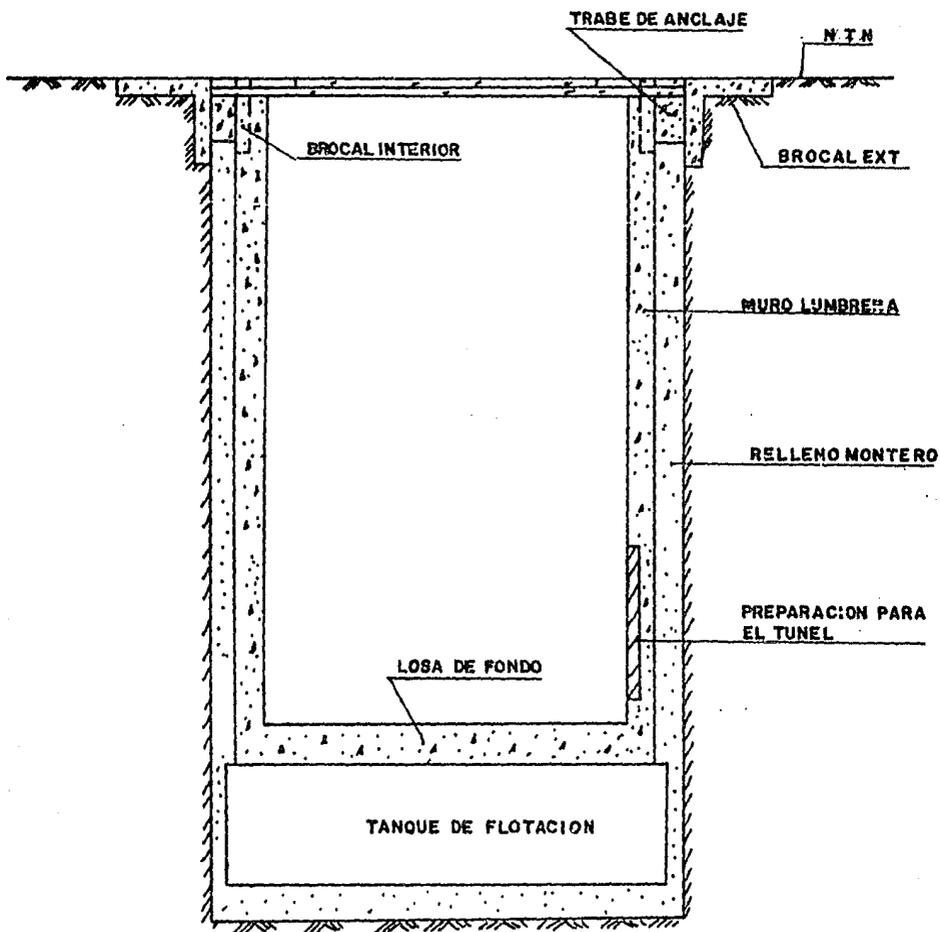
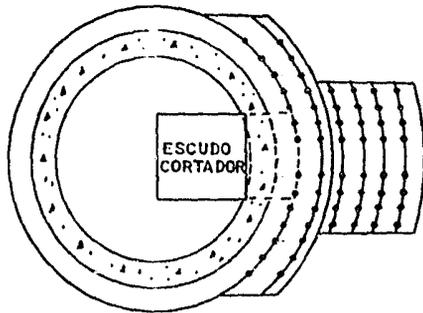


FIGURA 5.8 LUMBRERA FLOTADA TIPO

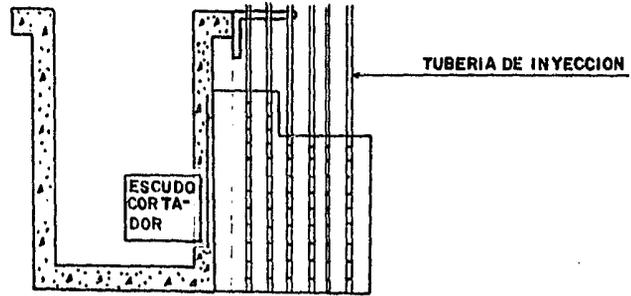
TRATAMIENTO DEL SUELO CIRCUNDANTE A LA LUMBRERA

Antes de iniciar la excavación del túnel se le da un tratamiento al suelo circundante a la lumbrera para que aumente su resistencia y confinamiento y evitar así que el material se desplome hacia la misma. Se realizan perforaciones de 4" de diámetro y separadas entre sí 1.0 m. de distancia con la siguiente configuración (figura 5.9).

Estas perforaciones por seguridad se llevan a la profundidad correspondiente al fondo de la lumbrera más la mitad del diámetro del escudo. Por estas perforaciones se introduce una tubería y se inyecta una mezcla de bentonita-cemento, que se supone mejorará el comportamiento mecánico del suelo a través del que se excavará al túnel.



PLANTA



ELEVACION

FIGURA 5.9 CONFIGURACION DE PERFORACIONES PARA EL TRATAMIENTO DEL SUELO ANTES DE INICIAR LA EXCAVACION DEL TUNEL.

INTRODUCCION DEL EQUIPO DE EXCAVACION

Antes de introducir el equipo se cuelga en la parte superior de la losa de fondo de la lumbrera, un cierto espesor de concreto armado, con su superficie superior curva de manera que el escudo se apoye en toda ella. Las maniobras para la introducción del escudo se realizan con la ayuda de una grúa pórtico de 5 ton. de capacidad. -- Debido a que el equipo mencionado no tiene la capacidad suficiente para bajar el escudo completo, éste se hace descender en partes; ya estando abajo todas las partes que forman el escudo, se procede a su armado.

Las demás partes que integran al escudo: carro de energía hidráulica, carro de transformador, tuberías de suministro y descarga de lodos, etc., se irán introduciendo conforme avance la excavación.

INICIO DE LA EXCAVACION.

Una vez tratado el suelo próximo a la lumbrera y colocado el escudo en la parte inferior de la misma, se procede a demoler la pared de la lumbrera en una sección circular correspondiente a la sección recta del escudo, de manera que el escudo se pone en contacto directo con el suelo. En éste se efectúa una excavación con eje longitudinal según una circunferencia de aproximadamente 4.0 m. de profundidad y tal que su borde exterior coincida con el perímetro de la sección recta del escudo.

El sentido y avance de la excavación es de poniente a oriente y tiene una longitud de 6 kms. aproximadamente.

Se construirá la lumbrera siguiente de tal forma que se encuentre terminada cuando el escudo llegue a ella. Así se continuará con la secuencia de excavación de lumbrera y tramo de túnel, de manera que el programa de construcción sea regido por el avance del escudo.

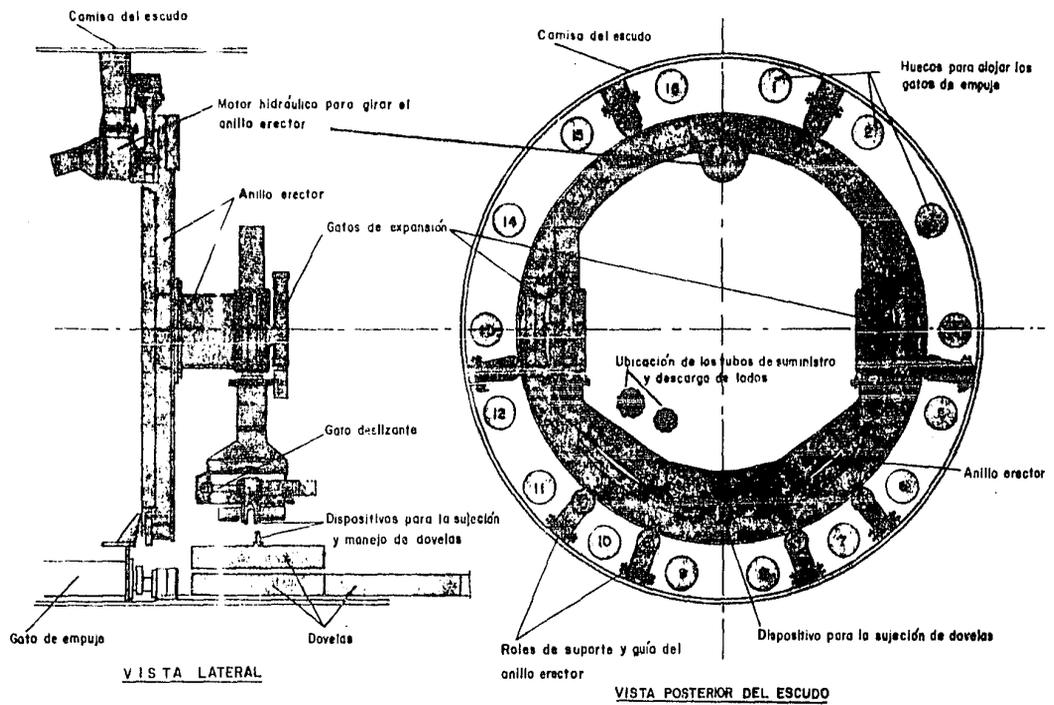
5.2.2. AVANCE DE LA EXCAVACION

ESCUDO DE LODO PRESURIZADO

De acuerdo con los análisis realizados en los estudios previos para la construcción del túnel, se requiere ocupar un escudo auxiliado con lodo presurizado, y dada la estratigrafía del sitio se estimó conveniente ocupar un escudo de lodo ya que se requieren presiones mayores de 1.0 kg/cm^2 en el frente de ataque.

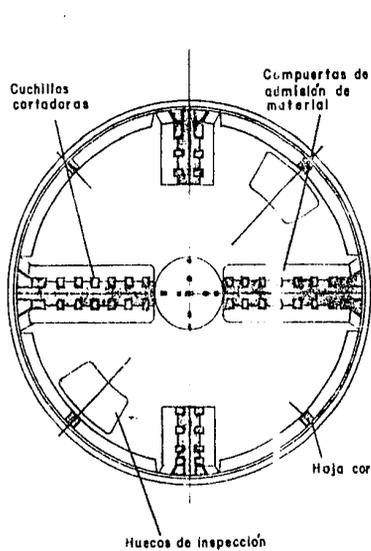
El escudo de lodo, mejor llamado escudo cortador, tiene las siguientes características (figura 5.10 y 5.11):

- a) Estructura Metálica. Cilíndrica con diámetro exterior de 4000 mm., largo de 6300 mm., espesores de placa 40 mm. y 36 mm. El mamparo que limita la cámara frontal de presurización está diseñada para soportar 3.0 kg/cm^2 de presión, tiene dos puertas de inspección, válvula para purga de aire de la cámara de mezclado, dos agitadores que giran hasta 50 R.P.M., un sensor de presión, así como clinómetros para medir giro y pendiente de la máquina. Lateralmente tiene cuatro grupos de perforaciones que atraviesan la camisa del escudo para labores auxiliares de guía a base de chiflones de agua; cuenta con dos zapatas guía

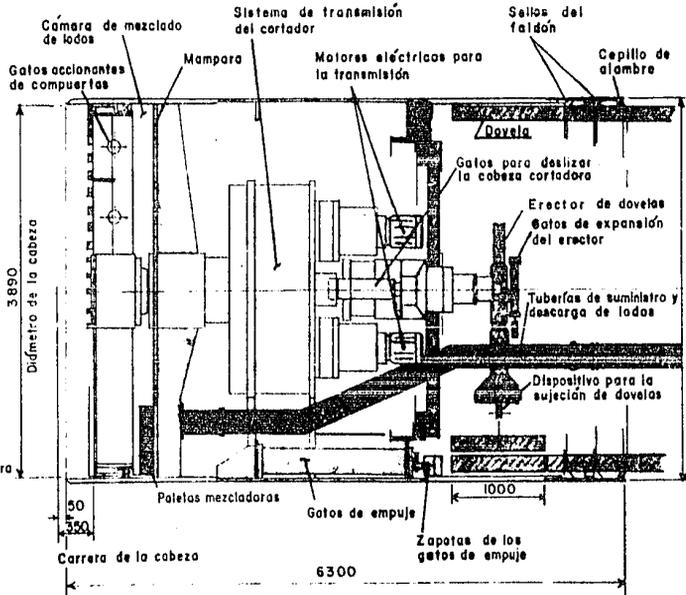


ANILLO ERECTOR Y DISTRIBUCION DE LOS GATOS DE EMPUJE

FIGURA 5.11



Vista frontal



Corte longitudinal

MAQUINA DEL ESCUDO CORTADOR DE FRENTE PRESURIZADO

FIGURA 5.10

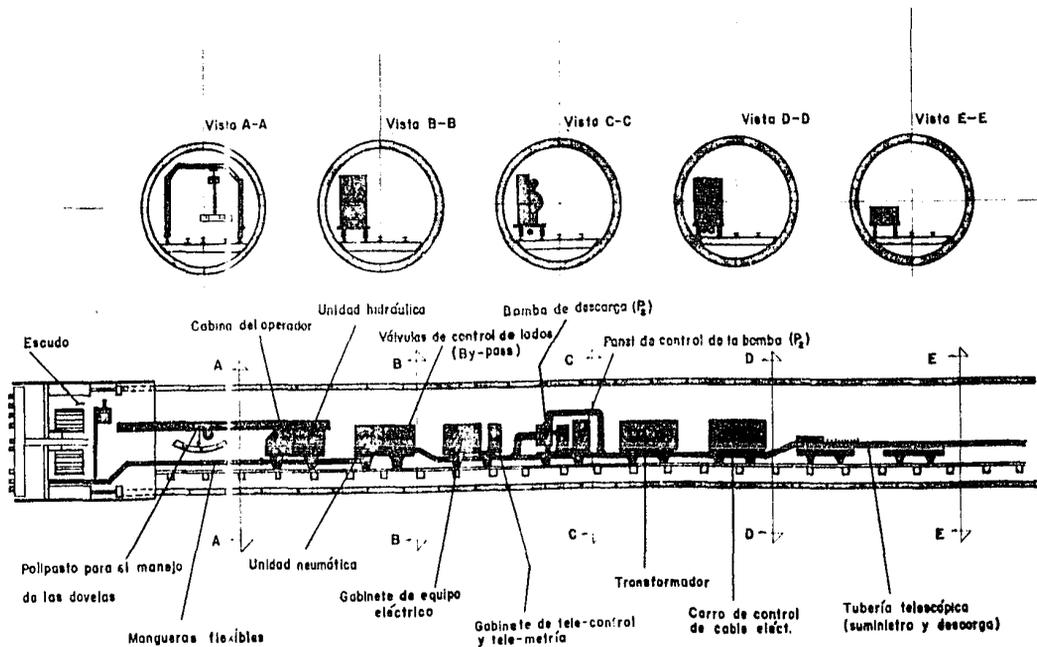
de 50 ton., en el faldón tiene un sistema de tres sellos, uno de cepillo de alambre y dos de hule natural.

- b) Gatos de Empuje. En número de 16 tiene capacidad de 100 ton. cada uno, carrera de 1,150 mm., velocidad máxima de avance 10 cm/minuto, presión máxima de 300 kg/cm².
- c) Cortador. Su diámetro exterior es de 3890 mm., gira a razón de 1.1 ó 1.6 RPM en uno u otro sentido para ajustes de giros de la máquina. Su par de 70 ton-m., es de tipo disco plano con 12 ranuras, con dientes por fuera y compuertas por dentro capaces de cerrar las aberturas de las ranuras a voluntad. Atrás, el cortador tiene paletas para amasar la mezcla suelo-arcilla-agua, hasta hacerlo bombeable. El disco cortador puede desplazarse longitudinalmente 350 mm. a voluntad, sobresaliendo en uno de sus extremos 100 mm. respecto a la cachucha del escudo.
- d) Motores de la Transmisión. Cuenta con cuatro motores eléctricos de 30 KW cada uno, para 440 volts y 1200 RPM.
- e) Gato del Cortador. Tiene un empuje de 240 ton. -- trabajando a una presión máxima de 350 kg/cm² y una velocidad máxima de avance de 10 cm/min.
- f) Erector. Es anular, con 8 puntos de apoyo, girando a razón de 1.5 RPM, capacidad 3.7 ton., presión de 70 kg/cm², desplazamiento de mordaza 500 mm. radialmente y 275 mm. longitudinalmente.

- g) Bombas de Lodos. Una bomba (P_1) de 45 KW velocidad variable, de 8" de diámetro y gasto máximo de $3.4 \text{ m}^3/\text{min}$. Una bomba (P_2) de 75 KW velocidad variable, de 6" de diámetro y gasto de $3.4 \text{ m}^3/\text{min}$. bombas (P_n), de 45 KW de velocidad constante, 6" de diámetro y gastos máximos de $3.4 \text{ m}^3/\text{min}$.
- h) Tablero Central de Control. Realiza funciones de rastreo y de control, para lo cual tiene 20 sistemas sensores.
- i) Carros de Arrastre. Atrás del escudo y jalados por éste (figura 5.12): El carro con la cabina del operador, unidad de potencia hidráulica, unidad neumática, unidad de válvulas, cabina del equipo eléctrico, cabina TC/TM (Telecontrol/Telemetría), bombas de descarga de lodos, carro del transformador, carro para el control de cable y finalmente tubería telescópica.

MECANISMO DE CORTE Y EXTRACCION DE LA REZAGA

El escudo lleva en el frente un sistema de corte rotatorio (que se puede ajustar dependiendo de la naturaleza del suelo por excavar), consta de aspas que penetran en el terreno para "rebanarlo" paulatinamente, al tiempo -- que la máquina avanza mediante la acción de un sistema perimetral de gatos hidráulicos con expansión voluntaria, apoyados precisamente en el anillo de dovelas recién colocado que permanece inmóvil (o bien al inicio de la excavación, en las preparaciones dejadas en la lumbrera).



TREN DE EQUIPO DEL ESCUDO CORTADOR DE FRENTE PRESURIZADO

FIGURA 5.12

La expansión total de los gatos hidráulicos se planea - para cada empuje de tal forma que el túnel respete en - su alineamiento horizontal y vertical lo considerado en el proyecto. El control se realiza con el empleo de - un teodolito con equipo laser.

En la parte posterior, el escudo lleva una cámara presu - rizada con lodo bentonítico, la que permite que se mez - cle el lodo con la rezaga del suelo excavado y además - la estabilización del terreno en el frente.

La rezaga es expulsada por la parte posterior del escu - do, mediante bombeo, hasta llevarla a la superficie don - de se localizan los tanques de sedimentación para el al - macenamiento y el ajuste de la densidad del lodo, con - lo que se permite recircularlo continuamente, desechan - do sólo aquél que no cumpla con la densidad requerida.

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE LODOS

Simultáneamente a la excavación en el frente de ataque del túnel se efectúa la extracción de la rezaga por me - dio de los equipos de bombeo de lodos integrándose el - sistema que lleva el mismo nombre y el cual se describe a continuación (figura 5.13):

El lodo tratado de baja densidad es bombeado al frente de trabajo por medio de la bomba de suministro (P_1), en esta fase se regula el flujo y la densidad del lodo. -

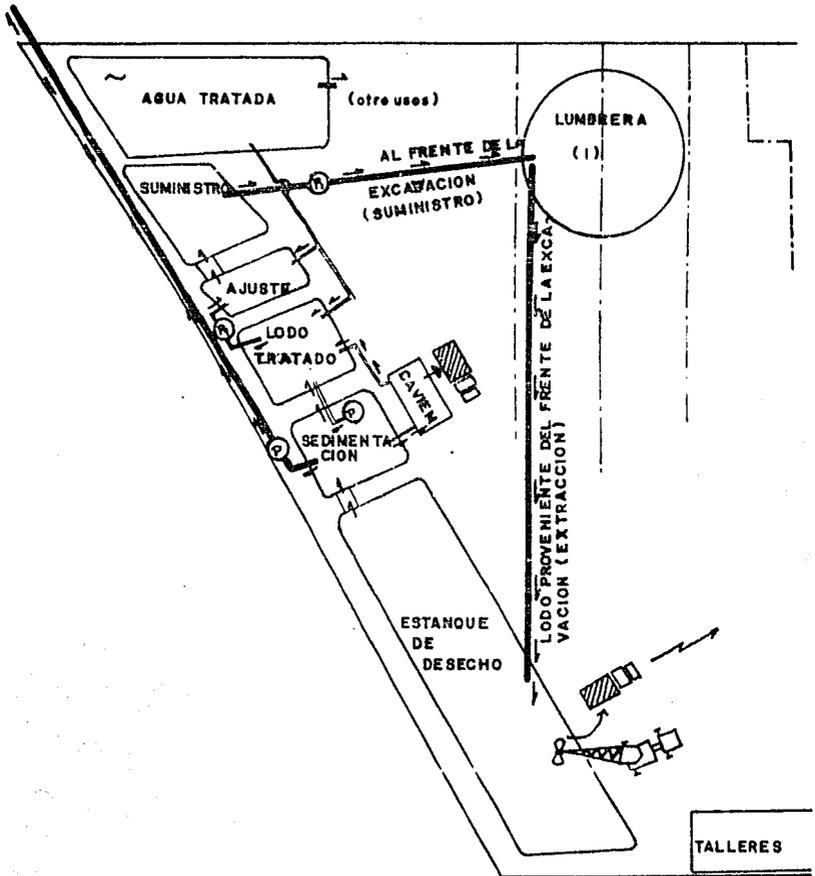


FIGURA 5.13 SISTEMA DE TRATAMIENTO Y CIRCULACION DE LODOS

Posteriormente en el frente de corte, el lodo tratado se mezcla con el material excavado, esta mezcla es bombeada nuevamente a la superficie por medio de la bomba de descarga (P_2) y con ayuda de 3 bombas intermedias o de traslapeo (P_3 , P_4 , P_5) que se encuentran localizadas en el interior del túnel separadas una distancia tal que se permita mantener la presión requerida en la tubería de descarga.

El lodo extraído del frente durante el proceso de excavación, se deposita en grandes estanques que cumplen con diferentes finalidades:

- Estanque de Desecho. En el cual se efectúa la descarga de lodo extraído del frente de la excavación. Su función consiste, además de la anterior, en proporcionar una primera etapa de sedimentación.
- Estanque de Sedimentación. Con funciones de sedimentación y para la extracción de lodo que es bombeado al tiro designado y el que alimenta a la desarenadora CAVIEM.
- Estanque de Lodo Tratado. Que almacena a los lodos procesados por la sedimentación y el lodo tratado por la desarenadora.
- Estanque de Ajuste. En él, se hace la preparación del lodo disminuyendo su densidad al añadirle agua tratada, para los requerimientos del suministro.
- Estanque de Suministro. Estanque en donde se localiza el dispositivo para el bombeo del lodo al frente de la excavación y que cumple con las siguientes especificaciones:

Densidad	1.05 a 1.15 gr/cm ³
Viscosidad	80 a 1.28 centipoises
Contenido de arena	menor del 5%
Potencial de hidrógeno	7 a 9 PH
Hidratación	mayor de 12 hrs.

Al sistema esta integrado un estanque reacondicionado - con agua tratada que se encarga de diluir la mezcla de lodo para así poder reciclarlo al frente del túnel.

Es interesante mencionar que la tubería de descarga de lodos es de menor diámetro que la de suministro para que la mezcla "lodo-material excavado" viaje a mayor velocidad y se eviten posibles obstrucciones del conducto. -- Además, se lleva un registro detallado del volúmen de lo do introducido y sacado, para controlar la sobre excavación.

REVESTIMIENTO PRIMARIO.

Una vez realizada la excavación, se procede a la colocación del revestimiento primario con el objeto de soportar los empujes del terreno, impidiendo la infiltración de agua hacia el túnel.

El revestimiento primario del túnel es a base de anillos de dovelas de concreto prefabricado de $fc' = 350 \text{ kg/cm}^2$. Estos están formados por 6 dovelas de 17.0 cm. de espesor y 1.0 m. de ancho, quedando un diámetro exterior de 3.85 m.

Para la colocación de las dovelas de concreto se recurre a la utilización del escudo por medio de su brazo erector que es capaz de tomarlas y colocarlas radialmente en forma coordinada con el avance de la excavación. Se empieza del piso hacia los lados y en la clave del túnel - se coloca una pieza de cierre o "llave".

Por otra parte, en una planta instalada en las proximidades a la obra, se fabrican las dovelas de concreto reforzado requeridas para el túnel, utilizándose moldes metálicos de alta precisión que garantizan su calidad. Allí mismo se almacenan y se les da el tratamiento de curado mientras alcanzan su resistencia de diseño.

INYECCION. ENTRE EL SUELO EXCAVADO Y LAS DOVELAS.

El espacio que existe entre el suelo excavado y las dovelas colocadas por el escudo se rellena inmediatamente -- con gravilla redondeada con tamaño de 4 a 6 mm., la cual se coloca mediante una lanzadora neumática a través de las perforaciones dejadas ex-profeso en las dovelas de los anillos.

En los últimos tres anillos del tramo a tratar se inyecta un mortero de fraguado rápido con el propósito de formar un sello que evite que la inyección se prolongue a la zona del escudo. El faldón del escudo cuenta con -- tres hileras perimetrales de sellos, los cuales también sirven para poder inyectar de inmediato la lechada atrás del anillo de dovelas, y lograr el pronto contacto del revestimiento primario con el terreno. Ello mantiene

la geometría de los anillos de dovelas con deflexiones -- mínimas por lo que las deformaciones del terreno, que pudieran traducirse en asentamientos en superficie, son reducidas. Para rellenar el hueco que queda entre las dovelas, el terreno y las gravillas, se inyecta un mortero fluido que posee las siguientes características:

Cemento	1 parte
Bentonita	1 parte
Arena	4 partes
Agua/cemento	0.10

La arena que forma parte de la mezcla fluida debe cumplir con ciertas características granulométricas:

GRANULOMETRIA DE LA ARENA	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA
Malla	
8	100
16	90 - 100
30	50 - 86
50	20 - 50
100	10 - 30

finalmente para sellar e impermeabilizar la zona se inyecta agua, cemento y bentonita con la siguiente proporción:

Cemento	1 parte
Bentonita	1 parte
Agua/cemento	0.05

REVESTIMIENTO DEFINITIVO

En el caso del colector se requiere un revestimiento mucho más reforzado que el que pueda proporcionar el revestimiento primario, a efecto de disminuir la rugosidad de las juntas en las dovelas y aumentar la resistencia estructural por lo cual se recurrió a revestirlo con concreto reforzado colado en el sitio utilizando cimbra telescópica (figura 5.14).

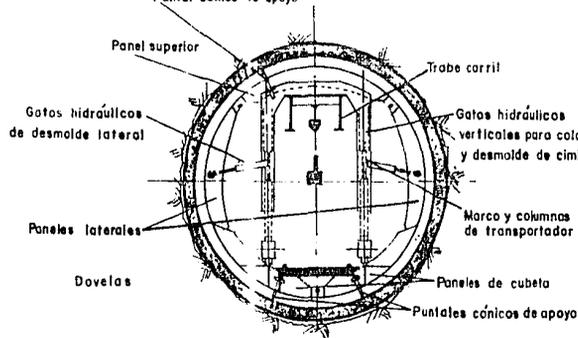
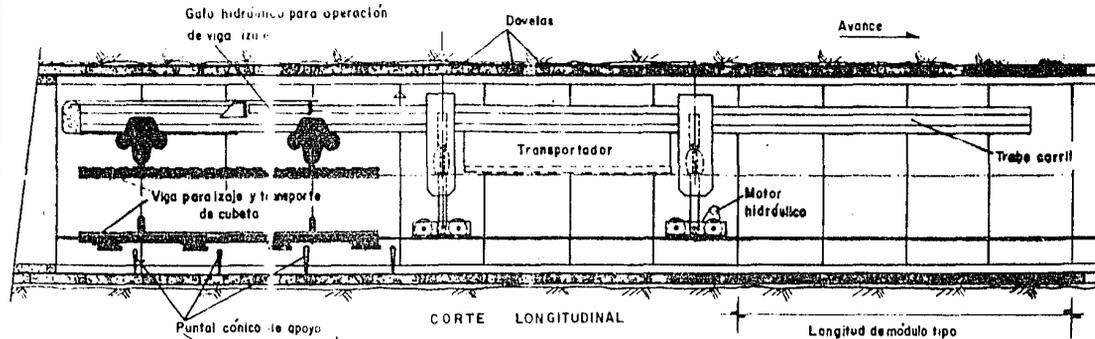
El revestimiento final es de concreto armado de 15.0 cm. de espesor, para obtener finalmente un diámetro interior de 3.20 m.

5.3 DESCRIPCION DEL EQUIPO Y DE LAS INTALACIONES AUXILIARES UTILIZADAS EN LA CONSTRUCCION DEL COLECTOR.

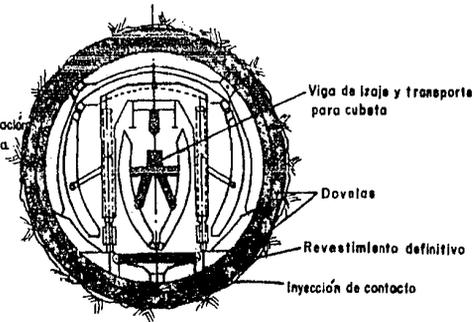
El uso de la maquinaria y equipo auxiliar dentro del campo de la construcción, es muy frecuente, y por ello se cree conveniente hacer mención de la misma, dada la magnitud de la obra.

5.3.1. EQUIPO

CABINA DEL OPERADOR. Desde esta cabina se realiza el manejo del escudo. Mediante una consola se selecciona la presión y el número de gatos de empuje llevando a ca-



SECCION TRANSVERSAL CIMBRA Y TRANSPORTADOR



SECCION TRANSVERSAL CIMBRA EN POSICION DE TRANSPORTE

CIMBRA TELESCOPICA PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO

FIGURA 5.14

bo el control y programación de los mismos. Además, - permite controlar la velocidad, el sentido de rotación y el amperaje que toman los motores eléctricos del cor-tador en el momento de la excavación. También se ope-ra desde esta cabina las bombas de lubricación de la -- flecha motriz, los agitadores y la abertura de las ranu-ras de cierre hidráulico, con lo cual se gradua la en-trada del material a la cámara de trabajo. Esta cabi-na está en comunicación continua con la Cabina Central de Control, ubicada en superficie.

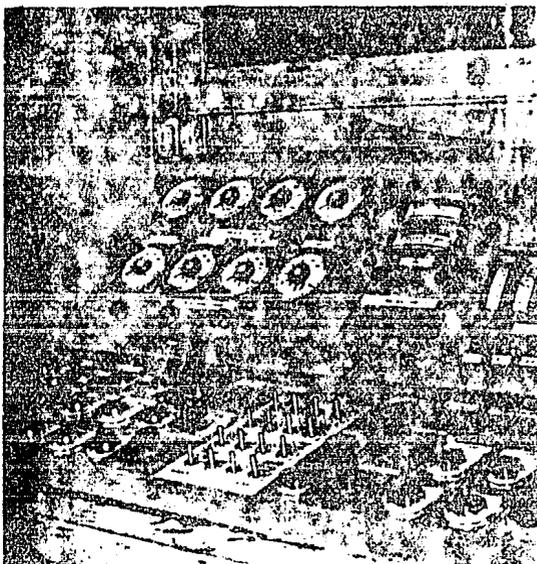


FIGURA 515 TABLERO DE CONTROL DE LA CABINA DEL OPERADOR

CABINA CENTRAL DE CONTROL. En la Cabina Central de Control se encuentra el tablero central, mediante el cual se conoce el control de todo el sistema y se controla el manejo de lodos. En el tablero se encuentra instalada una microcomputadora que cuenta con un programa en el que aparecen todos los parámetros, como el peso específico del suelo y otros para conocer las características del material excavado.

Se controlan desde el tablero central: El flujo, la velocidad y la dirección del suministro de lodos, además se cuenta con 4 graficadores de 6 canales cada uno, los cuales registran todas las operaciones del sistema de excavación.

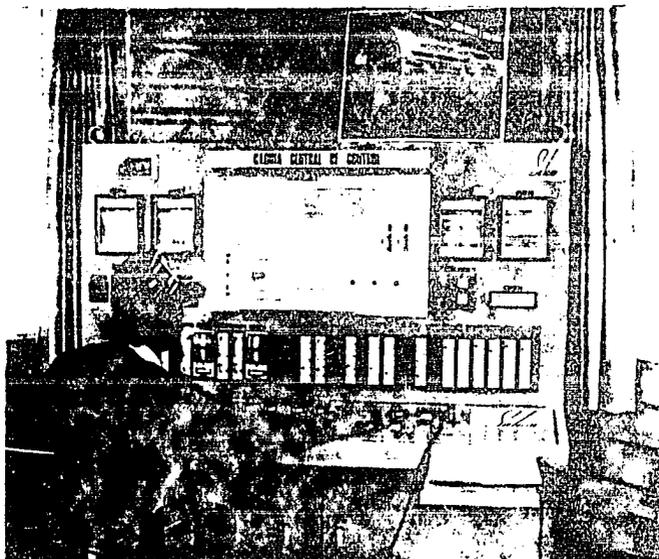


FIGURA.3.16 CABINA CENTRAL DE CONTROL

5.3.2. INSTALACIONES AUXILIARES.

SUBESTACION ELECTRICA. Es el lugar de donde se distribuyen las líneas de energía eléctrica a los distintos lugares de trabajo dentro de la obra, previa transformación al voltaje necesario de acuerdo a la maquinaria que se esté utilizando. Para ello es necesario:

- a) TRANSFORMADORES. Son cinco trifásicos de los cuales tres se utilizan para reducción de voltaje de 23000 - volts 440 volts y 220 volts, uno de ellos se utiliza para aumentar el voltaje de 440 volts a 2300 volts -- proveniente de la planta generadora de emergencia con motor diesel, y uno se encuentra en el interior del túnel para mantener constante el voltaje y evitar caídas de potencial.
- b) CABLES DE CONDUCCION. Son aquéllos que conducen el flujo eléctrico a la maquinaria y equipo que lo requiere.
- c) INTERRUPTORES. Son dispositivos cuya finalidad es evitar que circule una corriente mayor a la permisible en las instalaciones.
- d) MEDIDORES DE VOLTAJE. Son instrumentos que se emplean para verificar que el voltaje que fluye por las líneas sea el correcto.

INSTALACIONES DE ALUMBRADO. Es el equipo utilizado para la correcta iluminación en las instalaciones de la obra - (túnel, lumbreira, patios exteriores, etc.), cuya finalidad es facilitar el trabajo. Está compuesta por:

- a) LAMPARAS. Cada lámpara en el interior del túnel -- consta de dos tubos fluorescentes de 74 watts cada uno que trabajan a 220 volts; se encuentran colocados sobre la márgen superior izquierda del túnel y separadas aproximadamente 10 m. una de otra. En la superficie y sobre la lumbreira se encuentran instaladas lámparas de cuarzo de 1500 watts.
- b) LINEAS DE ALUMBRADO. Son cuatro cables vulcanel de 600 volts. cada uno, de calibre 2/0, cada uno de los cuales conducen 220 volts.
- c) BASTIDORES. Son accesorios metálicos que sirven para soportar los aisladores de porcelana, los cuales sujetan las líneas de alumbrado.
- d) CONEXIONES.

INSTALACIONES NEUMATICAS. Son las encargadas de suministrar el aire comprimido que es requerido por los diversos equipos para su funcionamiento. Están constituidos por:

- a) COMPRESORES. Son de tipo portátil, con motor diesel; tienen una capacidad para suministrar un gasto de -- $350 \text{ m}^3/\text{min.}$

FIGURA 5.17
COMPRESOR



- b) TUBERIA PARA AIRE COMPRIMIDO. Es una tubería de acero de 2" de diámetro, sin costura, que se encuentra instalada al lado derecho del interior del túnel, y es utilizada para proporcionar el aire a algunos equipos que lo utilizan.
- c) TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO. Son de forma cilíndrica y cumplen con dos finalidades: la primera es almacenar el aire comprimido y la segunda es regularlo.
- d) CONEXIONES DE TUBERIAS Y MANGUERAS. Son principalmente válvulas, empaques, niples, etc., y su objeto es mejorar las condiciones de operación de la tubería.

INSTALACIONES EN LA PLANTA DE LODOS. La planta es aquella en donde se procesan los lodos obtenidos durante la excavación del túnel. La planta de lodos está compuesta por los siguientes elementos:

- a) CARCAMOS DE BOMBEO. Son recipientes en forma trapezoidal, construidos con concreto reforzado. Tienen una profundidad de 1.5 m., un ancho de 7.5 m. y son de diferentes longitudes.
- b) BOMBAS
- c) DESARENADORA. Su función es separar las arenas que se mezclan con el lodo excavado y obtener mejor calidad del mismo.
- d) AGITADORES. Son dispositivos metálicos cuya finalidad es mantener en suspensión las partículas de lodo que se encuentran en los cárcamos, para así mejorar-

su calidad.

e) CAMIONES DE VOLTEO.

f) MOTOGRUAS CON ALMEJA MECANICA. Se utiliza para -- transportar los lodos de desecho de los cárcamos a los camiones de volteo, para ser llevados como tiro fuera de la obra.

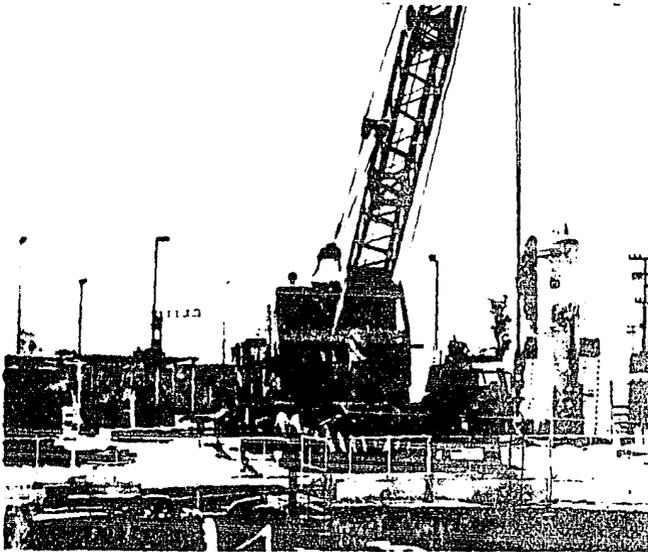


FIGURA.518 CAMION MOTOGRUAS CON ALMEJA MECANICA

g) TUBERIAS DE SUMINISTRO Y EXTRACCION DE LODOS.

PLANTA DE INYECCION.

Es donde se prepara la lechada que posteriormente se coloca entre el ademe y la pared excavada para evitar que existan filtraciones hacia el interior del túnel. Esta compuesta por:

- a) Tanque dosificador
- b) Mezclador de lechada
- c) Dosificadores con báscula

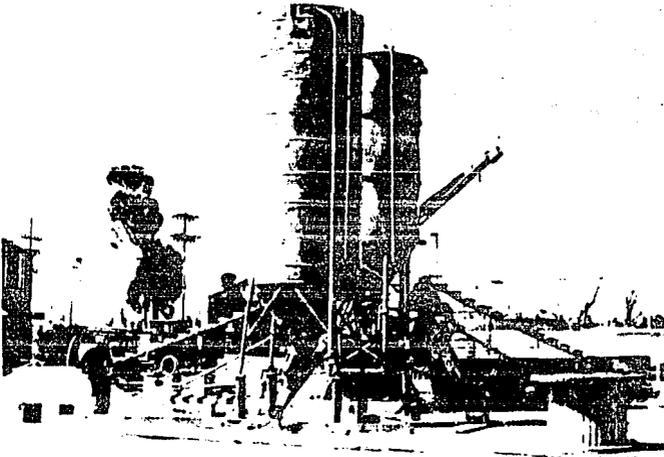


FIGURA 5.19 PLANTA DE ELAVORACIÓN DE MORTERO

- d) SILOS. Son estructuras construidas exprofesamente para el almacenamiento, conservación y vaciado de los materiales: los hay para arena y para cemento.
- e) CARROS TANQUE. Con capacidad de 2 m^3 y mediante ellos se hace la inyección del concreto, una vez -- concluída la colocación del ademe provisional. -- Consta de una tolva en donde se localiza la lechada, para que mediante una bomba se inyecte el mortero - en forma de espiral.

EQUIPO DE VENTILACION. Es el encargado de suministrar aire al interior del túnel, para posteriormente extraerlo y sustituirlo por aire no viciado. Se encuentra -- formado por:

- a) VENTILADORES.
- b) TUBERIA DE VENTILACION. Formada por conductos -- circulantes de lámina galvanizada con un diámetro - de 16", colocadas en la parte superior del túnel -- que tienen por objeto controlar la temperatura en - el frente de trabajo, así como reciclar el aire que se encuentra en el interior, lo cual brinda mayor - confort al personal que labora, evitando situaciones que pudieran afectar al personal.

EQUIPO PARA MANEJO DE MATERIALES Y ACCESORIOS. Son -- los que facilitan el traslado de los materiales y equipos utilizados para la realización de la obra tanto en superficie como a través del túnel. Está formado por:

- a) CAMIONES DE VOLTEO.
- b) CAMIONES DE CARGA.
- c) GRUA PORTICO. Tiene una capacidad de 5 ton. y se --
utiliza para introducir equipo y material al interior
del túnel. Está formada por dos marcos metálicos y
consta de un polipasto que se desplaza a lo largo --
del mismo.

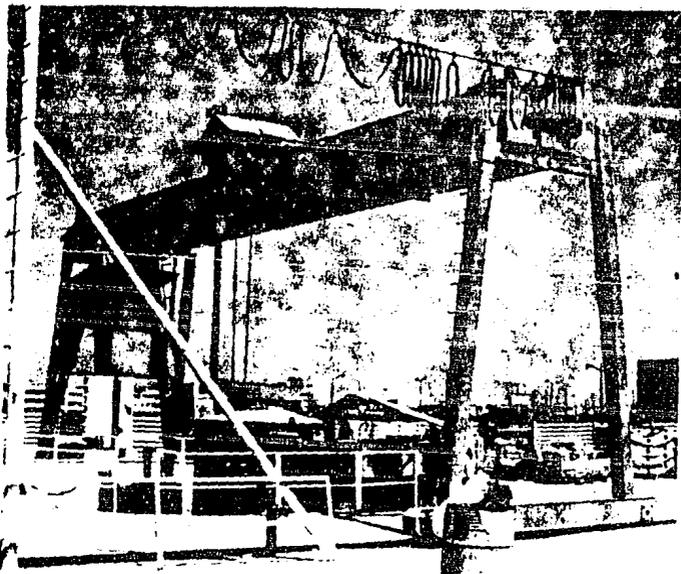


FIGURA 5.20 GRUA PORTICO.

- d) TRUCKS O PORTADOVELAS. Son vehículos de carga cuya finalidad es transportar las dovelas a través del tunel.



- e) LOCOMOTORA PARA TRANSPORTE DE MATERIALES Y EQUIPO. Son de tipo eléctrico, las cuales trabajan a 120 -- volts y se utilizan para movilizar los trucks.



ALMACENES. Son instalaciones destinadas para la acumulación ordenada de diversos materiales y accesorios.

TALLERES. Son aquéllos donde se realizan las distintas obras de reparación, mantenimiento y habilitado del equipo. Son de 4 tipos:

- a) Carpintería
- b) Mecánico
- c) Eléctrico
- d) Soldadura

SERVICIOS GENERALES. Son instalaciones en donde se proporcionan servicios que son necesarios dentro de la obra, entre ellos se encuentran:

- a) Seguridad
- b) Comedores
- c) Sanitarios
- d) Agua potable y servicios médicos

5.4 NORMAS DE SEGURIDAD ESTABLECIDAS EN LA OBRA.

Las obras subterráneas, como en el caso en general de un túnel no deben carecer de sistemas de seguridad, pues -- normalmente se asocia a éstas un cierto grado de peligro.

La obra cuenta para su organización con un Departamento de Seguridad que es la responsable de la prevención de accidentes, de la reducción de riegos y de la orientación al personal que labora para evitar imprudencias que

puedan afectar a los trabajadores, al equipo o a las instalaciones.

Algunas de las principales condiciones de peligro que se pueden presentar en la construcción del túnel son las siguientes:

1. Ventilación ineficiente que no favorece el control de polvos, gases y vapor de agua.
2. Iluminación escasa o nula en zonas de trabajo.
3. Tránsito de vehículos dentro del túnel a velocidades excesivas.
4. Defectos en el aislamiento de los ductos eléctricos.
5. Vías férreas en malas condiciones que pueden ocasionar descarrilamientos.

Por otro lado, es importante proveer al personal de equipo adecuado de protección, por ejemplo el proceso de lanzamiento de concreto trae consigo muchos riesgos para los operadores del equipo y para los que laboran cerca del mismo.

En la obra existen personas encargadas de la seguridad y sus principales funciones son:

- a) Evitar accidentes y preveer éstos.
- b) Prestar primeros auxilios a los accidentados.
- c) Exigir a los trabajadores el equipo de seguridad.
- d) Exigir limpieza en todas las áreas de trabajo.
- e) Verificar la existencia del equipo de seguridad.
- f) Inspección diaria de las áreas más propicias para los accidentes y recomendar las medidas de seguridad ade-

cuadas.

- g) Dar instrucciones al personal de nuevo ingreso.
- h) Controlar al personal en la entrada y salida a las -
lumberas.
- i) Inspeccionar al túnel en toda su longitud detectando
situaciones que puedan originar accidentes.

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES.

La sobre explotación de acuíferos en el Valle de México - para el suministro de agua potable a los habitantes de la ciudad, ha ocasionado el hundimiento de las capas del suelo, provocando a su vez, dislocaciones en algunas de las instalaciones hidráulicas. Por esto, ha sido necesario - construir conductos a una profundidad adecuada que no sean afectados por los efectos de los hundimientos.

El Colector Semiprofundo Iztapalapa se está construyendo - para aliviar el sistema de drenaje de la Ciudad de México, en su parte oriente, beneficiando de esta manera a un gran sector de la población, debido a las mejoras sanitarias -- que la construcción de esta obra trae consigo.

La construcción de estos conductos en suelos arcillosos -- blandos reviste especial importancia por el peligro inminente de falla o colapso al realizar los trabajos de excavación o a la aparición de excesivas deformaciones en superficie obligándose con esto la aplicación de "NUEVAS TECNOLOGICAS DE CONSTRUCCION" necesitando de un despliegue de recursos técnicos especiales (escudos) y económicos de -- gran magnitud, así mismo de una organización sumamente -- ágil y bien planeada.

La nueva tecnología aplicada a la excavación del Colector Semiprofundo Iztapalapa basada en la utilización de un tipo de escudo de frente presurizado de patente japonesa -- ofrece las siguientes ventajas:

- No requiere el uso de aire comprimido
- El suelo por excavar no necesita un tratamiento especial para mejorar sus características mecánicas.

- Mejora las condiciones de trabajo y ambientales dentro y fuera del túnel como oxigenación, ruido, polvo, vibraciones, etc.
- No requiere el abatimiento del nivel freático excepto en condiciones específicas. Minimiza la influencia a pozos, asentamientos y daños a estructuras adyacentes.
- El sistema central de control automático hace posible un tuneleo óptimo.
- Garantiza el ademado (estabilidad) del frente y mantiene seguro el túnel.
- No requiere de lumbreras muy grandes para manejo de materiales de rezaga.
- El triple sello colocado en el faldón del escudo evita la infiltración de agua al túnel y permite que la inyección del mortero que llena el espacio anular entre dovelas y terreno se lleve a cabo inmediatamente después de salir al anillo del faldón del escudo. La automatización del sistema permite ahorro en mano de obra.

Como desventajas del método se pueden mencionar las siguientes:

- Difícil de excavar cuando se encuentran obstáculos -- ajenos al terreno y boleos.
- Requiere de una planta de tratamiento de lodos relativamente compleja y costosa.
- Requiere de una sofisticada técnica para operar.
- Requiere de experiencia por parte del constructor y a que el frente no se vé.

Es conveniente hacer notar, que con el empleo de este escudo, los trabajos dentro del túnel adquieren características diferentes respecto a los métodos convencionales, -

tales características son:

1. Una adecuada iluminación a lo largo del túnel y en el frente de trabajo.
2. Mayor limpieza y organización adecuada del personal
3. Vigilancia y supervisión constante del Jefe de frente así como el conocimiento perfecto del ciclo de trabajo.
4. Mantenimiento preventivo de la maquinaria.
5. El tren del escudo está colocado de tal manera que permite máxima eficiencia en el frente de trabajo.
6. La cámara de presión del escudo queda aislada del personal que se encuentra en el túnel, el cual puede trabajar a la presión atmosférica, con entera libertad y en turnos normales de trabajo evitando así el transtorno de la descompresión.

Las condiciones anteriores constituyen apenas una pequeña parte de las que deben tomarse en cuenta en un trabajo como este. Lo importante no es determinar un número preciso de ellas, sino tomar conciencia de que su cumplimiento conduce a lograr un trabajo eficiente y organizado, situación que a la postre tendrá como resultado la culminación de la obra cumpliendo con los requisitos ingenieriles de funcionalidad, economía y seguridad.

EVALUACION

- a) La aplicación de este sistema en México ha sido definitivamente exitosa para el tipo de material excavado y el diámetro del escudo utilizado lo que motiva a -- pensar que su futuro es brillante en el ámbito tunele ro nacional.
- b) El equipo no ha presentado fallas mayores durante su operación y su capacidad de gatos de empuje y momento de torsión en la cabeza cortadora, no ha sido aún exi gida al máximo.
- c) El continuo soporte del frente aunado a una inyección de contacto antes de permitir flujo del material hacia el espacio anular dejado por el escudo, han contribui do a que los asentamientos en superficie sean mínimos.
- d) Los avances obtenidos con este sistema han sido exce- lentes y permitido ejecutar programas de obra muy agre sivos. Se tiene noticia que los avances registrados en esta obra son mayores que los obtenidos en Japón - utilizando el mismo sistema.
- e) El escudo ha presentado pequeños problemas de control de línea durante la excavación de curvas, pero en ge- neral su alineamiento y nivel han sido buenos.
- f) En caso de existir más estrictas normas con respecto al manejo de lodos y su retiro, una planta de trata- miento de lodos más sofisticada y costosa que la usa- da actualmente sería definitivamente necesaria.
- g) La experiencia constructiva y familiaridad con el sis tema adquiridas durante la construcción de la primera

fase del Colector Semiprofundo Iztapalapa hacen que este método será un viable candidato para la construcción de varios túneles proyectados para la zona del lago de la Ciudad de México.

Finalmente, deseo enfatizar que como se ha mostrado, el procedimiento constructivo utilizado en el Colector Semiprofundo Iztapalapa es un método confiable y superior a los métodos más tradicionales. Con escudos de este tipo "Slurry Shield" el panorama de construcción de túneles en suelos de la Ciudad de México se ve más claro, ya que será posible realizar obras como: drenajes profundos, nuevas líneas de metro, ductos para abastecer de agua potable, etc., que beneficien a la Ciudad gracias a la implantación de estas nuevas técnicas tunele-ras y al desarrollo en la fabricación de estos nuevos equipos, que sin duda representan un reto a la capacitación de los técnicos e ingenieros mexicanos.

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

- 1) DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS (5 MMS):
 - "INTERCEPTORES PROFUNDOS Y EMISOR CENTRAL DE LA CIUDAD DE MEXICO" (1969), MEXICO.
 - "TUNELES EN SUELOS BLANDOS Y FIRMES" (1981), MEXICO.
 - RAUL J. MARSAL Y MARCOS MAZARI (1959), "EL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO", MEXICO.

- 2) DE LA DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL:
 - "JUSTIFICACION DEL PROYECTO DE INTERCEPTORES PROFUNDOS PARA RESOLVER DEFINITIVAMENTE AL PROBLEMA DE DESAGUE DE LA CIUDAD Y EL VALLE DE MEXICO".
 - "EL DISTRITO FEDERAL SIGUE SU DESARROLLO Y EXIGE SATISFACER SUS CRECIENTES DEMANDAS DE AGUA Y RESOLVER EL DRENAJE CON INTERCEPTORES PROFUNDOS".

- 3) DE LA COMISION HIDROLOGICA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO (S. R. H.).
 - "BREVE DESCRIPCION" DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO, SUS PROBLEMAS HIDRAULICOS Y MODO DE RESOLVERLOS".

- 4) ORGANO OFICIAL DE LA FACULTAD DE INGENIERIA UNAM (1983), "REVISTA DE INGENIERIA", No. 3, MEXICO.

- 5) ORGANO OFICIAL DE LA FACULTAD DE INGENIERIA UNAM (1982), "REVISTA DE INGENIERIA", No. 2, MEXICO.

- 6) DIVISION DE EDUCACION CONTINUA , FAC. DE INGENIERIA UNAM (1982) , "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE TUNELES" , MEXICO.
- 7) ASOCIACION MEXICANA DE INGENIERIA DE TUNELES Y OBRAS SUBTERRANEAS (1983) , "TRASCENDENCIA FUTURA, ESTADO DEL ARTE Y DESARROLLO HISTORICO DE LAS OBRAS SUBTERRANEAS EN MEXICO, MEXICO.
- 8) SOLUM (1981) , "ANALISIS DE LA CONSTRUCCION DE LUMBRERAS Y TUNELES EN SUELOS BLANDOS. INTERCEPTORES CENTRAL Y ORIENTE" , MEXICO.
- 9) DIRAC (1983) , "ESTUDIO GEOTECNICO DEL TUNEL SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA KM 0+000 AL 5+837.5 Y LUMBRERAS AUXILIARES. PROYECTO COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA Y ESTRUCTURAS DE CAPACITACION PARA LOS COLECTORES EJERCITO DE ORIENTE Y CANAL DE SAN JUAN" , MEXICO.
- 10) TUNEL, S. A. DE C. V. "MEMORIA TECNICA DE LAS OBRAS DE DRENAJE PROFUNDO DEL D. F."