

1-A
2y



**Universidad Nacional Autónoma
de México**

FACULTAD DE INGENIERIA

**"CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS
EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE
MEXICO, PARA EL INTERCEPTOR CENTRO - CENTRO
DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO"**

T E S I S

**Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL**

presentan

**BEETHOVEN ACOSTA VILLEGAS
JOSE DE JESUS GRANADOS NAJERA
PABLO RANGEL LOPEZ
JUAN EDUARDO ROJAS RAMIREZ**



MEXICO, D. F.

1988



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.

INDICE

	Pág.
CAPITULO I	
INTRODUCCION	1
CAPITULO II	
PRESENTACION DEL PLAN MAESTRO DEL DRENAJE PROFUNDO PARA EL D. F.	4
II.1. Antecedentes	
II.2. Descripción del Plan Maestro	10
CAPITULO III	
DESCRIPCION DEL PROYECTO	21
III.1. Ubicación del Interceptor Centro-Centro	
III.2. Geometría en planta y perfil	26
III.3. Perfil estratigráfico	28
CAPITULO IV	
USO DE MAQUINAS PERFORADORAS DE TUNELES	51
IV.1. Escudos de frente abierto	58
IV.2. Escudos de frente cerrado	62
CAPITULO V	
DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL INTERCEP- TOR CENTRO-CENTRO, EMPLEANDO ESCUDO CORTADOR DE FRENTE - PRESURIZADO	100
V.1. Antecedentes	
V.2. Construcción de lumbreras	103

V.3. Instalaciones de superficie y trabajos previos al - inicio de la excavación	112
V.4. Preparativos en el fondo de la lumbrera para la -- recepción y lanzado del escudo	124
V.5. Excavación de los primeros 50 metros	129
V.6. Excavación de los metros subsecuentes	133

CAPITULO VI

CONCLUSIONES	178
BIBLIOGRAFIA	180

CAPITULO I

INTRODUCCION:

En las últimas décadas, la ciudad de México ha sufrido un desarrollo acelerado debido fundamentalmente al -- crecimiento explosivo de su población, por lo que actualmente se enfrenta a una serie de retos para proporcionar los servicios urbanos indispensables para satisfacer las necesidades de sus habitantes.

Algunos de estos retos son resueltos, utilizando --- avanzadas técnicas de ingeniería, que han permitido dar solución a problemas tales como: transporte colectivo, - desarrollo vial, saneamiento ambiental, servicios públicos, abastecimiento de agua potable y la remoción de --- aguas residuales.

En lo concerniente a la remoción de aguas residuales se ha dado solución a través de la construcción de un -- Sistema de Drenaje Profundo, que no se vea afectado por los problemas de hundimiento característico de esta ciudad.

Siendo ésta una de las mayores obras públicas realizadas en nuestro país, tanto por el monto de su inversión como por los volúmenes de trabajo, materiales, maquinaria y procedimientos constructivos utilizados, curiosamente, por otro lado por tratarse de una obra oculta, la mayoría de la población desconoce la importancia que ésta representa.

Por tal motivo y por la naturaleza que implica poner en práctica los métodos constructivos más avanzados para la construcción de túneles utilizando escudos; la presente tesis se enfoca a la descripción de los traba --

jos realizados en la construcción del Interceptor Centro-Centro, el cual forma parte del Sistema de Drenaje Profundo de La Ciudad de México.

La presentación de este trabajo se hace en seis ca
pítulos, los cuales describimos a continuación:

El Capítulo II pretende hacer un poco de historia, visualizando la situación que guardaba la ciudad de Mé
xico en cuestión de drenaje, desde su fundación hasta nuestros días; cómo el hombre fue solucionando sus necesidades de momento y como surge ya en el presente si
glo el Plan Maestro de Drenaje, que viene a constituir la pauta a seguir en cuanto a objetivos, políticas y -
metas se refiere, mencionando también de una manera --
breve la relación que existe entre las metas a corto,
mediano y largo plazo, con la política del desarrollo de cada una de las Delegaciones del Distrito Federal.

En el Capítulo III se describen las etapas en que se proyectó la construcción del sistema de drenaje pro
fundo, de tal manera que se da prioridad a las zonas -
más necesitadas de esta infraestructura. Ya dentro --
del contexto del Sistema de Drenaje Profundo, se ubica al Interceptor Centro-Centro como parte integrante del mismo, el cual ocupará nuestra atención por ser el motivo central de este trabajo, describiendo sus principales características de proyecto, así como los estudios de mecánica de suelos practicados a lo largo del trazo del interceptor, con la finalidad de conocer las condiciones estadigráficas del subsuelo que determinaron en todo momento el método constructivo.

Dentro del Capítulo IV se describe el uso de máqui
nas perforadoras de túneles a través de la historia, -

haciendo hincapié en los diferentes tipos de escudos - que se conocen a la fecha y principalmente en el escudo de frente cerrado utilizado en la construcción del Interceptor Centro-Centro, remarcando que el uso de es tos escudos está vinculado directamente al tipo de terreno en que se va a trabajar, esto es, que las condiciones del subsuelo determinarán el equipo a utilizar.

Por lo que respecta al Capítulo V, en él se describe el procedimiento constructivo que se utilizó en la construcción del Interceptor Centro-Centro el cual fue determinado por los resultados obtenidos del estudio - de mecánica de suelos que marcó el equipo a utilizar para la excavación. Se señala el método empleado en la construcción de las lumbreras, cuya finalidad es la de disponer de los accesos adecuados para los equipos, materiales y personal que se requieren en la ejecución de la obra. Se mencionan así mismo las instalaciones de superficie que son complemento a las localizadas en el interior del túnel, indicándose los trabajos previos requeridos al inicio de la excavación, la preparación en el fondo de las lumbreras para la recuperación y -- lanzamiento del escudo, la excavación de los primeros 50 - metros y de los metros subsecuentes.

Por último en el capítulo VI se exponen una serie de comentarios y conclusiones que resumen los puntos - más importantes de esta tesis.

CAPITULO II

II.- PLAN MAESTRO DE DRENAJE EN EL DISTRITO FEDERAL

II.1.- Antecedentes

Cuando los Aztecas o Mexicas iniciaron su peregrina -- ción desde el Noroeste hacia el centro de la República buscando el sitio donde se encontrara un Aguila devorando una serpiente, posada sobre un nopal, para ubicar su asentamiento definitivo de acuerdo con sus creencias, no pensaron que en ese sitio se desarrollaría la Ciudad que en 1988 sería -- la más poblada del planeta.

La cuenca del Valle de México está situada geográficamente en la latitud 19° a 20° a 300 km al poniente del Golfo de México, a 600 km al noroeste de la costa sur del Pacífico, tiene una extensión total de 8 000 km² y queda limitada al norte por la serranía del Monte Alto y Pachuca, al -- Sur por las serranías del Ajusco al oriente por la Sierra Nevada y el macizo montañoso constituido por los volcanes -- Popocatepetl e Iztaccihuatl y al poniente por la serranía -- de las Cruces y sus estribaciones.

En cierto momento en el terciario superior comenzó a -- formarse el fracturamiento Humboldt, nacen los volcanes del Ajusco, Iztaccihuatl y Popocatepetl y por fin se produce ya en pleno cuaternario, la extraordinaria efusión de lavas en la Sierra del Chichinautzin, así se reprisa el antiguo espacio por el que corrían los ríos que iban al sur y se produjo la cuenca cerrada de México. Este cierre ocurrió en el último millón de años y fue contemporáneo de las grandes -- glaciaciones. Solamente por la presencia de lluvias abundantes combinadas con frecuentes erupciones de cenizas que dañaban o destruyen la vegetación puede explicarse que la --

cuenca de México se haya rellenado tan rápidamente con arcillosos. Dicho relleno alcanza hasta 800 metros en las zonas de Xochimilco y Chalco. (Fig. II.1) Los rellenos superficiales sobre todo los últimos 50 o 60 metros de la cuenca central son de origen lacustre y consisten en arcillas altamente hidratadas. Ellas son las causas de los hundimientos de la Ciudad de México (Fig. II.2) pues al bajar la presión hidrostática a consecuencia de la exagerada extracción de agua pierden volumen en un grado extraordinario.

Desde su fundación en 1325, la Gran Tenochtitlán tuvo problemas latentes de inundaciones en época de lluvias ya que las aguas salobres del lago de Texcoco (Fig. II.3) contaminaban los lagos de agua dulce de la Ciudad. Para evitar este problema se construyó el Dique de Ahuizotl que protegía contra las inundaciones y separaba las aguas, después de la conquista al desarrollarse la capital de la Nueva España se incrementó al área habitada y en 1556 fue necesario reconstruir el Dique que ya se había deteriorado reconociendo su utilidad.

En esa misma época se presentó el primer proyecto que ofrecía una solución definitiva ya que propuso el desagüe general por Huehuetoca por parte de Francisco Gudiel, fue tan completo este proyecto que incluía el control de las aguas para conservarlas en el valle así como los canales necesarios para la navegación.

Como obras complementarias se hicieron el encauzamiento del Río Cuautitlán la construcción de diques en las lagunas de Zumpango y Xaltocan y el dique de San Cristóbal.

El 17 de septiembre de 1608 se terminó uno de los dos proyectos (el más económico) de los presentados por ---- Heinrich Martín al Virrey Luis de Velasco II, con lo cual se dio la primera salida artificial a las aguas del valle a través del socavón de Huehuetoca, Martín castellanizó su nombre que pasó a ser Enrico Martínez.

La falta de recursos económicos impidió la construcción total del proyecto y en el aguacero de San Mateo del año 1629 la Ciudad se inundó causando grandes pérdidas humanas ya que llovió durante 36 horas continuas, la ciudad fue abandonada, fue hasta 1637 que se continuaron las obras substituyéndose el túnel por un tajo a cielo abierto.

Continuaron las obras de reforzamiento por largos - - años sufriendo la ciudad de inundaciones periódicas hasta el año de 1798 en que el Ing. Ignacio Castera construyó el canal que lleva su nombre dando curso directo al Río Cuautitlán desde Teoloyucan hasta el tajo dejando el cauce viejo como desfogüe.

Fue en 1900 cuando se terminó el canal del desagüe -- desde San Lázaro hasta el túnel de Tequisquiac que libró a la Ciudad de inundaciones.

En 1911 principió la desecación del lago de Texcoco y en 1915 desapareció el último resto de la laguna de México con la desecación de la simbólica laguneta existente en la lagunilla.

En 1925 se dio fin al proyecto del Ing. Roberto Gayol que consistía en una serie de colectores paralelos que escurren de poniente a oriente y descargan al Gran Canal del Desagüe.

En 1937 se inició el control de las corrientes del po-
niente por medio de presas, canales y túneles para desaguar
los ríos Tlalnepantla y de los Remedios y en 1940 se inició
el segundo túnel de Tequisquiac que fue inaugurado en 1946.

Por estas fechas se comenzó a incrementar la extrac --
ción de agua del subsuelo de la ciudad para poder abastecer
de agua potable a los habitantes que en una forma explosiva
continuaban incrementando su número.

La extracción provocó hundimientos de tal magnitud que
dislocaron los colectores proyectados por el Ing. Gayol y -
fue necesario implementar plantas de bombeo para las descar
gas al Gran Canal.

En 1954 el Ing. Eduardo Molina y sus colaboradores pro
pusieron un nuevo sistema para eliminar el problema de inun
daciones en la ciudad. Los planes se culminaron en 1959 y
consistían en interceptores profundos que no fueran afecta
dos por el hundimiento de la ciudad que descargarán en un -
Emisor Central.

Se debe hacer notar que transcurrieron 16 años para --
ver realizada la primera parte del proyecto y 23 años para
la segunda, estos tiempos de construcción se deben princi -
palmente a la limitación de recursos económicos para la lla
mada "Obra Oculta" y también a los diferentes tipos de sue
los por los que se debían excavar los túneles.

Con los años se fue madurando el sistema hasta llegar
a formar un "Plan Maestro de Drenaje" que esencialmente con
siste en:

Un sistema de interceptores con orientación general de

sur a norte que drenan el gasto interceptado en los colectores que corrian de poniente a oriente, para descargarlos a los emisores central y del poniente. (Fig. II.4)

Un sistema en la zona sur que controle los gastos generados para verterlos al Río Churubusco que a su vez conduce su flujo hacia el Lago de Texcoco, donde es controlado.

Entre los interceptores más importantes del sistema se pueden mencionar:

Sistema de presas construidas en las serranías del poniente que controlan las avenidas de los Ríos Magdalena, -- San Angel, Tequilazco, Barranca del Muerto y Mixcoac que -- descargan sus gastos al Interceptor del Poniente y al Río Churubusco.

Sistema de presas que captan los Ríos Becerra, Tacubaya, Dolores, Barrilaco, Tecamachalco, San Joaquín, Barranca del Tornillo y Hondo, los cuales se intercomunican entre sí, para realizar una descarga conjunta al Río Hondo que a su vez descarga al Vaso de Cristo donde los gastos son controlados y eliminados del valle a través del Emisor del Poniente.

Interceptor Central este conducto capta el gasto generado en el área limitada por el Interceptor del Poniente y su propio trazo, descarga sus aguas fuera del Valle a través del Emisor Central.

Interceptor Oriente actualmente en construcción, controlará junto con el entubamiento de los 9 primeros km. del Gran Canal del Desagüe los gastos, la zona a servir será la limitada por el Interceptor Central, el Río Consulado, el Río de la Piedad, parte del Río Churubusco y el Lago de Texcoco este interceptor descarga también al Emisor Central.

Este sistema de interceptores y emisores del Drenaje Profundo son auxiliados por el entubamiento del Río Churubusco que controla la parte sur del Distrito Federal.

El entubamiento del Río de la Piedad que alivia gran parte de las colonias de la zona centro, algunas a través de plantas de bombeo.

El Río de los Remedios que recibe las descargas de los ríos San Javier y Tlalnepantla y cuando tiene capacidad adicional acepta parte de las descargas del Vaso de Cristo.

Para mejorar el sistema se propuso la construcción del Emisor Centro Poniente que alivia al interceptor del Poniente y descarga al Emisor Central.

Y para dar una mayor flexibilidad al sistema se proyectó un interceptor que une los interceptores Central y Oriente denominado "Interceptor Centro-Centro"

II.2.- Descripción del Plan Maestro de Drenaje

El objetivo principal de un sistema de drenaje municipal es proporcionar un servicio tal, que toda la comunidad servida no padezca ningún trastorno físico ni material, ni aún una contingencia indirecta -- que afecte el desarrollo normal de las actividades socioeconómicas que pueden ser ocasionadas por inundaciones locales, como son: problemas de tránsito o condiciones insalubres ambientales.

Para lograr el objetivo antes mencionado, la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (D.G.C.O.H.) dependiente de la Secretaría General de Obras del Departamento del Distrito Federal, elaboró el Plan Maestro de Drenaje para el Distrito Federal cuyas metas son las siguientes:

A corto plazo.

SUBSISTEMA DE ALCANTARILLADO O RED SECUNDARIA. Llegar a dotar a la población con un nivel de servicio del 80%, con una prioridad tal que permita introducir sistemas separados para poder lograr saneamiento de cuencas naturales que actualmente están contaminadas, en esta etapa se deberán construir aproximadamente 2 000 km. de líneas secundarias.

SUBSISTEMAS DE COLECTORES O RED PRIMARIA. Continuar la construcción de la infraestructura necesaria en el oriente y en el sur para cubrir la insuficiencia actual, esto supone la construcción de 20 km. de colectores en el oriente y 43 km. en el sur, así como tres lagunas de regulación con una capacidad conjunta de $6,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ aproximadamente, se deberán también implementar los sistemas de bombeo necesarios -

para efectuar las descargas de colectores al Canal - Nacional.

SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO. Se deberá continuar -- con la construcción de la prolongación de los interceptores central y oriente hacia el sur (Fig. II.5).

Como parte importante en las metas a corto plazo se pretende lograr un mantenimiento preventivo del 30% en el equipo electromecánico, un 30% de mantenimiento programado a la obra civil (instalaciones, edificios, etc.) y se deberá incrementar el desazolve de los conductos para mantener la eficiencia en la capacidad de conducción del sistema.

Metas a mediano plazo.

En esta etapa se pretende llegar a dar un nivel del 95% del servicio a la población, para lograr esto se deberán construir las líneas de la Red Primaria que incorporen las zonas que carecen de servicios.

Sistema de Drenaje Profundo, para culminar esta etapa se deberá terminar la construcción de los interceptores central y oriente hacia el sur con lo cual se eliminará definitivamente el problema de las inundaciones catastróficas en esas zonas.

Como actividades importantes que coadyuven al buen funcionamiento del sistema se tienen las siguientes: Elaboración de modelos para la simulación del funcionamiento bajo diferentes circunstancias de la red, - incrementar los programas de mantenimiento y la elaboración de manuales de operación, sistemas de información y la implantación de planes de emergencia para afrontar cualquier contingencia impredecible (sismos, desborde de cauces, etc.)

Metas a largo plazo.

Para esta etapa se deberá tener un 100% de servicio a toda la población y además mantener este porcentaje constante (nuevos asentamientos).

SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO. Para entonces se deberá terminar la construcción del sistema, así como todas las conexiones y descargas de la red primaria de drenaje profundo

El Plan Maestro del Drenaje requiere que se dé también un seguimiento congruente al Plan de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, que cumpla con las políticas y objetivos de los planes y programas sectoriales elaborados y aprobados por las diferentes dependencias y organismos que se encargan de suministrar los servicios a los habitantes de esta ciudad.

Se elaboraron una serie de recomendaciones para cada Delegación Política del Distrito Federal, las cuales se enlistan a continuación:

ALVARO OBREGON. Para permitir el incremento demográfico en esta delegación se deberá tener construida y en operación: un nuevo sistema de presas del poniente, el Interceptor del Poniente II y el saneamiento de las cuencas de los ríos que se localizan en el área Azcapotzalco. En esta delegación no se tienen problemas de drenaje por lo que es posible permitir un incremento controlado de la población.

BENITO JUAREZ. Para el funcionamiento del drenaje - en esta delegación se puede mencionar que solo existen encharcamientos pequeños y con un incremento en el mantenimiento a los colectores se podrá permitir

un aumento moderado en la población.

COYOACAN. En la zona de los pedregales no existe infraestructura y se está contaminando el acuífero con descargas de aguas negras por lo que es necesario -- evitar el incremento de asentamientos humanos. Para la parte baja (Villa Coapa y zonas aledañas) también se tienen problemas por falta de infraestructura por lo que se deberá evitar un crecimiento explosivo de población en esa zona.

CUAJIMALPA. Para permitir el crecimiento de población en esta Delegación es también imprescindible el tener construido el nuevo sistema de presas del poniente, así como el Intceptor del Poniente II y el saneamiento de las cuencas naturales.

CUAUHTEMOC. Esta delegación también puede permitir un incremento moderado de la población ya que los -- problemas de drenaje son superables.

GUSTAVO A. MADERO. En esta delegación se debe limitar el crecimiento poblacional ya que carece de la -- infraestructura necesaria, de obras de regulación y de saneamiento en el Río Cuantepec, lo que representa un peligro constante para esta zona.

IZTACALCO. Esta es otra de las delegaciones que -- cuentan con la infraestructura suficiente para permitir un incremento en la población.

IZTAPALAPA. Por ubicarse en una zona baja y plana, esta delegación presenta problemas insuperables, actualmente, de drenaje por lo que será necesario primero construir lagunas de regulación y terminar la --

infraestructura de la red primaria antes de permitir cualquier incremento en el índice poblacional.

MAGDALENA CONTRERAS. En esta delegación se tiene -- una baja densidad de población en la parte urbanizada por lo que es factible permitir un incremento moderado de la población pero no así en la parte que -- aún queda sin urbanizar ya que no se cuenta con control de contaminación de los cauces naturales existentes ni con la construcción de las nuevas presas -- del poniente ni del Interceptor del Poniente II.

MIGUEL HIDALGO. En esta delegación se tiene una infraestructura aceptable en la zona urbanizada por lo que se puede permitir un incremento poblacional modo pero se deberá evitar la invasión de asentamientos humanos en los cauces naturales, barrancas y vasos existentes.

MILPA ALTA. Por carecerse de infraestructura hidráulica en esta delegación los habitantes están contaminando el cauce del Río Milpa Alta, por lo cual es necesario impedir el crecimiento de población hasta -- que se construya la infraestructura necesaria y se -- cuente con colectores marginales al río que eviten -- su contaminación.

TLAHUAC. Igual que en Milpa Alta se carece de infraestructura mínima por lo que los habitantes padecen de inundaciones en todas las temporadas de lluvias, por lo que también deberán esperar a tener la infraestructura suficiente antes de permitir incrementos en los asentamientos humanos.

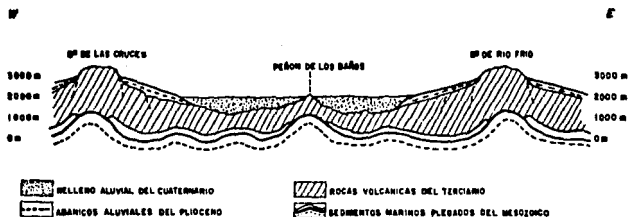
TLALPAN. Esta delegación es de las que cuentan con

territorio suficiente para desarrollo urbano pero -- con el problema de que la mayor parte se encuentra -- arriba de la cota 2,450 m s.n.m. que es el límite es pecificado para el desarrollo urbano del Distrito Federal, en la parte antigua de la delegación se cuenta con un índice bajo de población por lo que es fac til per mitir un incremento moderado de la misma. -- Es también necesario controlar las avenidas de los -- cauces naturales y evitar su contaminación.

VENUSTIANO CARRANZA. En esta delegación es necesario terminar la construcción del Interceptor Oriente antes de permitir cualquier incremento en la población.

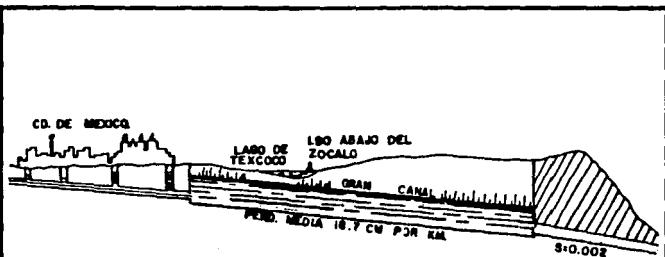
XÓCHIMILCO. En esta delegación es necesario también el contar con la infraestructura de Red Primaria suficiente así como la descontaminación y regulación -- de los Ríos Santiago, San Lucas y San Gregorio antes de permitir el incremento de población en los asenta mientos humanos.

Como resumen se puede concluir que para el desarrollo adecuado de la población en las diferentes delegaciones del Distrito Federal se debe controlar el -- incremento general de población hasta tener terminada la construcción total del Plan Maestro de Drenaje que garantizará una situación adecuada.

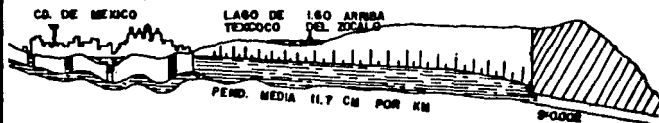


LA CUENCA LACUSTRE DEL VALLE DE MEXICO

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1988
	FIGURA No. II.1



CONDICIONES EN 1910



CONDICIONES EN 1951

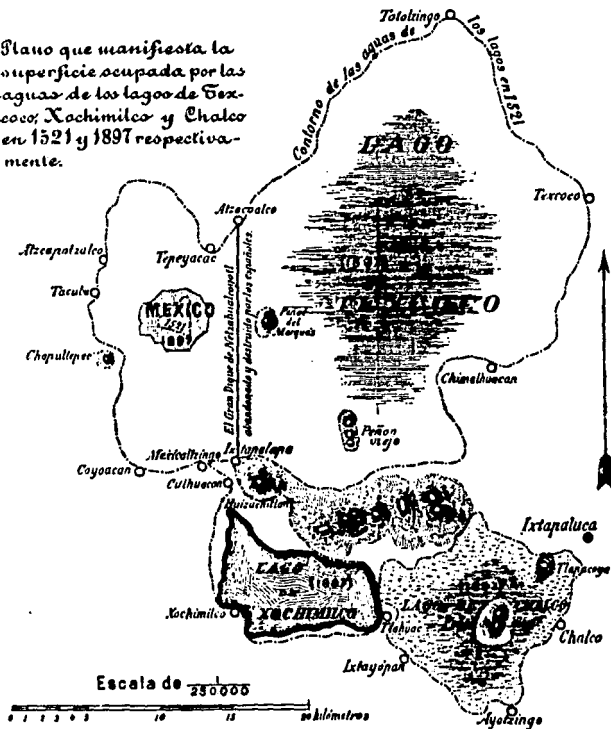


CONDICIONES REALES EN 1969

NOTA:
 APARTIR DE 1969 LOS HUNDIMIENTOS DEL
 CENTRO DE LA CIUDAD DE MEXICO SE HAN
 FRENADO Y EN LA ZONA SUR SE HAN MAN-
 TENIDO EN 9cm AL AÑO.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO		
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1968	FIGURA No. II.2

Plano que manifiesta la superficie ocupada por las aguas de los lagos de Texcoco, Xochimilco y Chalco en 1521 y 1897 respectivamente.



UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUJERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1966
	FIGURA No. II.3

SÍMBOLOS CONVENCIONALES

- CALLE SUPLENTE
- CANAL NATURAL
- INCORPORACIÓN POR BOMBEO
- INCORPORACIÓN POR SOBSED
- CALICE A DESNIVEL
- PRESA PARA CONTROL DE AVENIDAS
- PRESA SEPARADORA
- CUANDE DE SERVIDO
- LIMITE DE ESTADO
- VASO PARA CONTROL DE AVENIDAS
- OBRAS QUE REQUIEREN CONSERVACION
- OBRAS QUE REQUIEREN TRABAJO ESPECIALIZADO DE RECONSTRUCCION
- OBRAS NUEVAS POR CONTROL

VASO
DE
CONTROL

ESCANTE
DE
PLANTAS
DE
SISTEMAS

DELEGACIONES POLITICAS

- 1 ALVARO OBREGON
- 2 ANGELICA CONTRERAS
- 3 TULANE
- 4 CUAUHTEMOC
- 5 JOYASCAN
- 6 NESTOR JUAREZ
- 7 MIGUEL HIDALGO
- 8 AZCARRATELCO

- 9 CUAUHTEMOC
- 10 UXTOPILANI
- 11 AYOTLAHUEL
- 12 MILA ALTA
- 13 VENUSTIANO CARRANZA
- 14 SUZUYO A MADERO
- 15 TLANCASC
- 16 TETACALCO

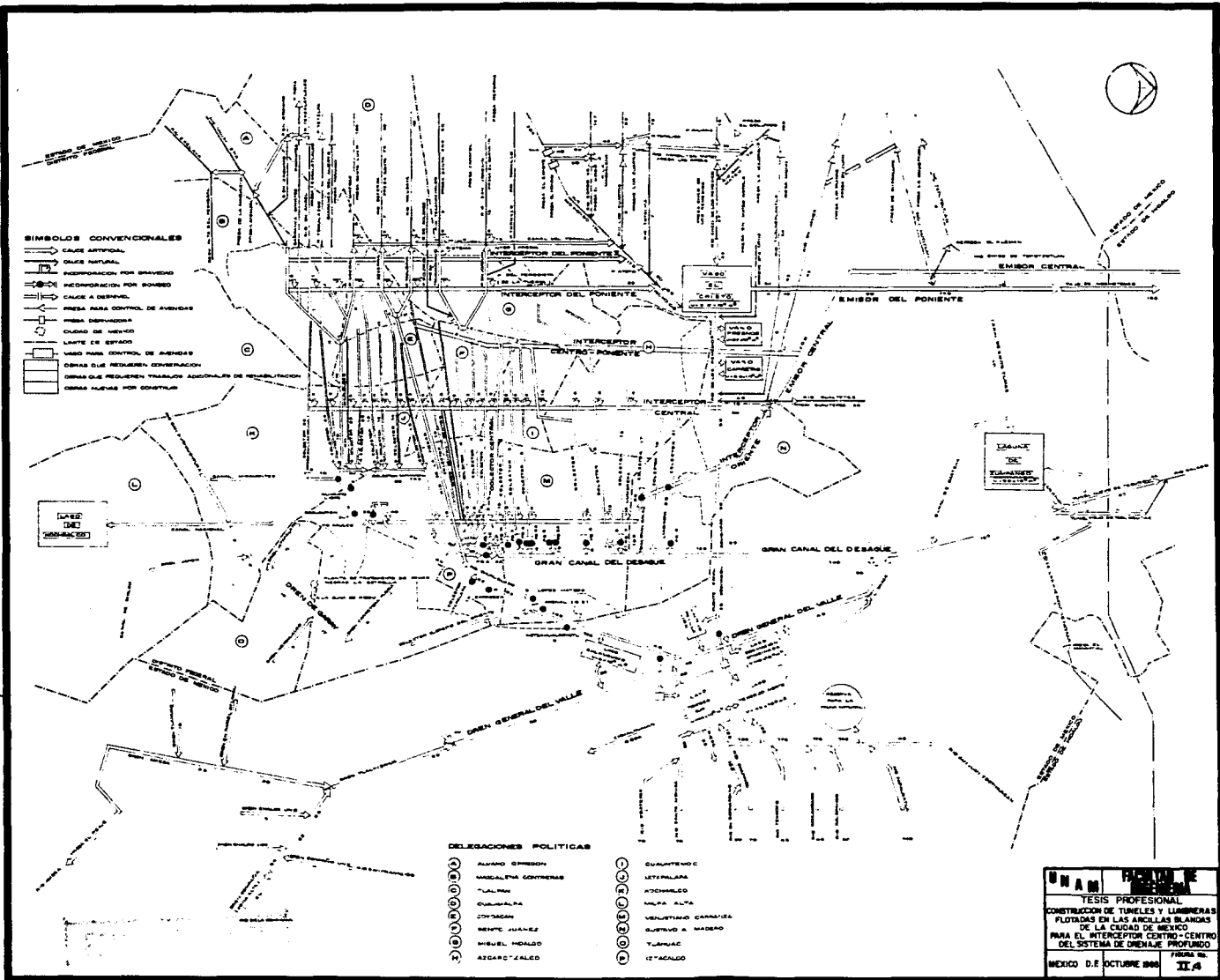
UNAM **INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN INGENIERIA**

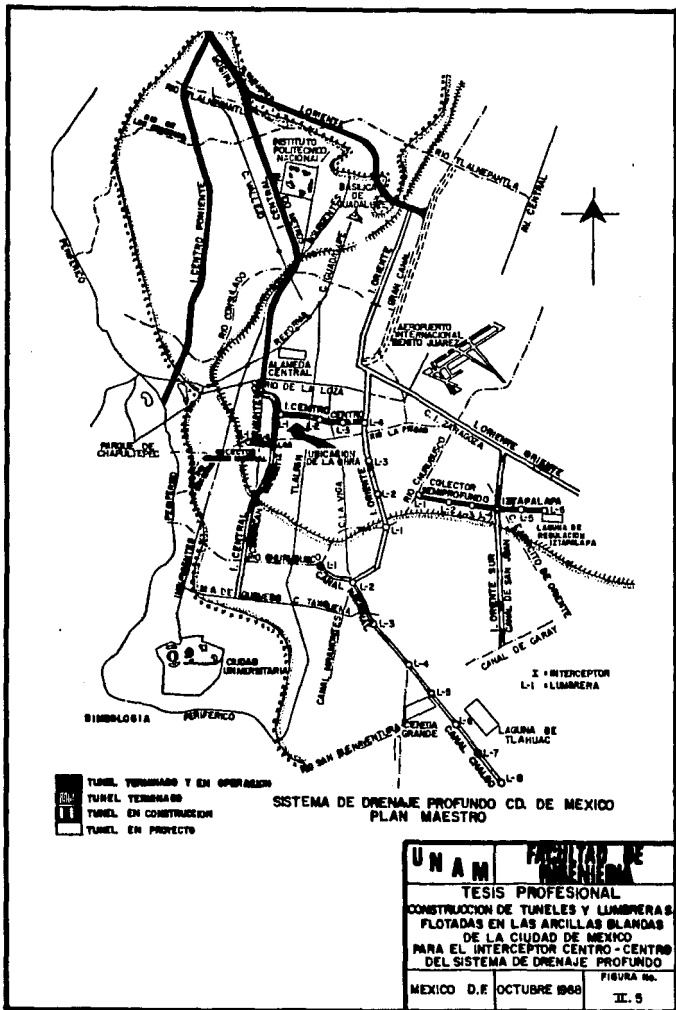
TESIS PROFESIONAL

CONSTRUCCION DE TUNELES Y LAMINERAS
FLUIDAS EN LAS ARCILLAS BLANCAS
DE LA CIUDAD DE MEXICO
PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO
DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO

MEXICO D.F. OCTUBRE 1966

FRONTIS
II.4





TUNEL TERMINADO Y EN OPERACION

 TUNEL TERMINADO

 TUNEL EN CONSTRUCCION

 TUNEL EN PROYECTO

SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO CD. DE MEXICO
PLAN MAESTRO

UNAM		FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL			
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERA S FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANCAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO - CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO			
MEXICO D.F.		OCTUBRE 1968	
		FIGURA No. II. 5	

CAPITULO III

III. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

III.1 Ubicación del Interceptor Centro-Centro.

A raíz de los problemas de drenaje, las autoridades de la Ciudad, después de haber estudiado varias alternativas para el alejamiento final del agua procedente de los interceptores, se decidió hacerlo mediante un Emisor Central que colectara las aguas de los tres interceptores (Central Poniente, Central y Oriente) y transferirla al Vaso de la Presa Requena, situada a 50 km. de la Ciudad de México y 130 m más baja que ésta. El sistema se diseñó para funcionar totalmente por gravedad. Con el plan originalmente trazado se resuelve definitivamente el problema de drenar, conducir y desalojar el caudal de aguas negras y pluviales sobrantes de la Ciudad de México evitando así el peligro latente de inundaciones.

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 20 km o a la sobre elevación del agua arriba de los bordos de protección causaría en la Ciudad una inundación de consecuencias gravísimas. Esto ha ocasionado que en las estaciones de bombeo se conecten hasta de ocho circuitos para evitar fallas de energía, debido al riesgo de una suspensión súbita del fluido eléctrico, se justifica la creación de plantas eléctricas accionadas con motores diesel independientes del servicio urbano, que garantizan la seguridad del servicio.

Para completar el plan propuesto por las autoridades del Distrito Federal, fué necesario iniciar la construcción del nuevo sistema de Drenaje Profundo, consistente en las --

siguientes dos etapas:

PRIMERA ETAPA DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO.

En esta primera etapa, el sistema de Drenaje Profundo quedó operando en la siguiente forma:

INTERCEPTOR CENTRAL.- Su función en esta etapa es la de captar los escurrimientos de los colectores de la zona Norte y cuya capacidad se encuentra saturada. Está formado por un túnel de 5.00 m de diámetro, en una longitud de 7.90 km. y pendiente media de 0.0005 con capacidad de 95 m³/seg. En su primera etapa capta a los colectores 11 y 15 (Consulado y -- Humboldt); y a los ríos Los Remedios, Tlalnepantla y San Javier.

INTERCEPTOR ORIENTE.- En su primera etapa, su objetivo fue aliviar al Gran Canal del Desague mediante una obra de toma. Al igual que el interceptor Central, es un túnel de 5.00 m de diámetro con longitud de 10.30 km y pendiente media de 0.0005 con capacidad para 85 m³/seg. La profundidad del túnel varía entre 25 y 50 metros.

EMISOR CENTRAL.- Su finalidad es conducir los escurrimientos generados en la Ciudad de México hasta su descarga en el Río del Salto. Es un túnel de 6.50 m de diámetro, con longitud aproximada de 50 km y pendiente media de 0.002, con capacidad de 200 m³/seg. La profundidad del conducto varía entre 50 y 237 m.

SEGUNDA ETAPA DEL DRENAJE PROFUNDO.

INTERCEPTOR CENTRAL.- La localización del trazo de este interceptor hasta el cruce con la calle Dr. Erazo, corresponde a la del proyecto original, cambiando únicamente su pendiente y diámetro en algunos tramos, con objeto de reducir su profundidad y por consiguiente, su costo.

Este interceptor continuaría a partir de la lumbrera 9

con 5.00 m de diámetro y una pendiente de 0.001 hasta la lumbrera 8, a partir de ese punto conservando el diámetro y una pendiente de 0.0008 el trazo sigue por las calles de Bucareli, Cuauhtémoc, Dr. Erazo, Dr. Vértiz, hasta el cruce con la calle Dr. Durán, donde se incorpora el interceptor CENTRO - CENTRO; finalmente y a partir de esta confluencia, el interceptor continúa por la calle de Dr. Vértiz, Av. Universidad, Cuauhtémoc y Av. México hasta Miguel Angel de Quevedo con -- pendiente de 0.002 y diámetro de 4.00 m.

INTERCEPTOR ORIENTE.- Como en el caso anterior, el trazo original propuesto para este interceptor prácticamente se conserva, aumentando su pendiente para reducir su profundidad. La prolongación de este interceptor se inicia en la -- lumbrera 8C con un tramo de transición de 5.00 m de diámetro y una pendiente de 0.0074, continuaría por Av. Eduardo Molina y la Av. Francisco del Paso y Troncoso con 5.00 m de diámetro y una pendiente de 0.00064 hasta el Río Churubusco; de ahí hasta la calle Mexicaltzingo con un diámetro de 4.00 m -- conservando la pendiente anterior. Esto último tiene como -- objeto permitir captar el Canal Nacional y con ello extender los beneficios del sistema hasta la zona de Xochimilco. Al Interceptor Oriente se incorporará el Interceptor Oriente -- Sur de 4.00 m de diámetro a la altura del cruce de la Av. -- Francisco del Paso y Troncoso con la Calzada Ignacio Zaragoza y se deriva el Interceptor CENTRO - CENTRO en la confluencia de la Av. Francisco del Paso y Troncoso con la calle Cha -- bacano.

INTERCEPTOR CENTRO-PONIENTE.- Este nuevo interceptor de 4.00 m de diámetro, tiene como finalidad aliviar al Interceptor Central al reducir el área de captación de este o mejorar el drenaje de la parte alta de los colectores 15 y 18, -- asimismo, permite captar los escurrimientos provenientes de una parte del área perteneciente al Estado de México, com -- prendida entre el Río de los Remedios y el Emisor Central.

Esto es posible debido fundamentalmente al hecho de que Esta estructura descargarla directamente en la lumbrera 1 del Emisor Central, cuya capacidad es superior a la de ambos interceptores Oriente y Central.

Por otra parte, esta estructura se ha concebido además para proporcionar un alivio al Interceptor poniente y permitir con ello mayor flexibilidad en el manejo de las aportaciones provenientes del Poniente de la Ciudad. El trazo de este interceptor se inicia en la lumbrera 1 del Emisor Central, continúa al sur por la calle Villahermosa hasta la calle de Turmalina con pendiente de 0.0017, de Turmalina hasta FF. CC. por Av. Cejlan, Av. Granjas y Av. Cuicllahuac con pendiente de 0.0007, continúa con pendiente de 0.0017 de Av. FF. CC. hasta Boulevard Adolfo López Mateos por Av. Cuicllahuac, calles de Newton, Taine, Calzada Chivatito y Calzada Molino del Rey.

La fuerte pendiente de este interceptor obedece a que se pretende obtener en esta estructura tiempos de concentración menores que los correspondientes a los interceptores -- Central y Oriente, con objeto de defasar las condiciones críticas de trabajo de las diferentes estructuras concurrentes al Emisor Central. La localización de este interceptor, su profundidad y las características del subsuelo que atraviesa lo hacen muy atractivo desde el punto de vista constructivo y de costo, ya que gran parte del interceptor se construirá con métodos convencionales. Este hecho implica que esta estructura podría estar concluida totalmente antes que los interceptores Central y Oriente, y por lo tanto, proporcionar un alivio efectivo al interceptor del Poniente, lo que a su vez se traduciría en un beneficio para la zona baja, provenientes de los ríos interceptados por este interceptor.

INTERCEPTOR ORIENTE - SUR. - Este nuevo interceptor de 4.00 m de diámetro y pendiente de 0.0005 descarga al Interceptor Oriente en la confluencia que forma la Av. Francisco

del Paso y Troncoso y la Calzada Ignacio Zaragoza, continúa su trazo al oriente por esta última, hasta la Av. Canal de San Juan y de ahí sigue hacia el sur hasta interceptar a Canal de Garay drenando una gran área del sur - oriente de la ciudad. Este interceptor ha sido posible considerarlo como parte del Sistema de Drenaje Profundo debido fundamentalmente a que el Interceptor Oriente se verá aliviado por otra estructura que lo conforma: El Interceptor Centro - Centro - cuya descripción se presenta a continuación.

INTERCEPTOR CENTRO - CENTRO. - Este interceptor como ya se mencionó, forma parte del Plan Maestro del Drenaje Profundo del Distrito Federal, se encuentra ubicado en la zona centro de la Ciudad de México, la cual en la actualidad, es una de las áreas más desprotegidas en cuanto a la disponibilidad de Drenaje Profundo.

Este nuevo interceptor de 5.00 m de diámetro, tiene como finalidad aliviar a mediano plazo el gasto captado por el interceptor Oriente proveniente del Río Churubusco y del Canal Nacional al enviarlos al Interceptor Central, el cual a su vez, estará aliviado por el interceptor Centro Poniente, permitirá manejar además, las aportaciones provenientes de la zona centro del Distrito Federal. La interconexión de ambos interceptores, el Central y el Oriente, permite una mejor distribución de los volúmenes manejados en esa estructura, - lo cual se traduce en un aumento considerable en la eficiencia del conjunto de interceptores profundos, además de permitir una mayor flexibilidad en su manejo.

Este interceptor se inicia en el cruce de las calles - de Dr. Vértiz y Dr. Durán continuando por José Ma. Roa Bárcenas hasta la Av. Francisco del Paso y Troncoso en donde se une con el Interceptor Oriente. (Fig. III.1)

III.2 GEOMETRIA EN PLANTA Y PERFIL

La obra del Interceptor Centro - Centro, consta de un conducto subterráneo de 3678 m de longitud total, iniciándose en la Lumbreira 1 a partir del Interceptor Central sobre la calle de Dr. Vértiz, terminando en la Lumbreira 4 donde se une el Interceptor Centro - Centro con el Interceptor Oriente a la altura de la calle Francisco del Paso y Troncoso. La zona que sigue el trazo del túnel se encuentra totalmente urbanizada en el tramo comprendido entre la L-1 y L-4, en donde el túnel sigue la orientación del arroyo de la calle José María -- Roa Bárcenas. El conducto tiene un diámetro terminado de 5.00 m, está ubicado a una profundidad de 24.13 m a su eje y consta como ya se mencionó, de 4 lumbreiras de 12 m de diámetro cada una. (Fig. III.2)

Las características principales del Interceptor Centro-Centro son las siguientes:

Longitud aproximada del túnel de L1 I.C.C. a L2 I.C.C.	1698.00 m
Longitud aproximada del túnel de L2 I.C.C. a L3 I.C.C.	1186.00 m
Longitud aproximada del túnel de L3 I.C.C. a L4 I.C.C.	794.00 m
Diámetro exterior del escudo cortador	6.24 m
Diámetro interior del revestimiento primario	5.60 m
Diámetro interior del túnel terminado	5.00 m
Profundidad media al eje	24.13 m
Pendiente promedio de L1 I.C.C. a 100 m antes de L2 I.C.C.	0.00 ‰
Pendiente promedio de los 100 m restantes a L2 I.C.C.	0.43 ‰
Pendiente promedio de L2 I.C.C. a L3 I.C.C.	0.001 ‰
Pendiente promedio de L3 I.C.C. a L4 I.C.C.	0.001 ‰
Número de lumbreiras	4

En la figura III.2 se observa que junto a la lumbreira L-1 del Interceptor Centro-Centro se encuentra ubicada la lumbreira L5 del Interceptor Central, la razón por la cual no se utilizó la lumbreira L-5 como punto de unión con el Interceptor Centro-Centro fue debido a que ésta tiene un diámetro de 9 m.

y que sirvió para extraer el escudo cortador del Interceptor Central que en este caso fue de frente abierto. En nuestro caso, fue necesario dar una dimensión de 12 m de diámetro para que tanto el escudo como el equipo de excavación pudiera ser alojado en ella.

La Lumbraera L1 quedó localizada en el cruce de las calles de Dr. Vértiz y Dr. Durán mientras que la Lumbraera L2 se ubicó en la intersección de la calle de Dr. José Ma. Roa Bárcenas y José T. Cullar, la Lumbraera L3 en Dr. José María Roa Bárcenas y H. Congreso de la Unión y por último la Lumbraera L4 en la confluencia de Dr. José María Roa Bárcenas y Francisco del Paso y Troncoso.

III.3 PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUBSUELO A LO LARGO DE LA OBRA.

Las condiciones del subsuelo en que se han desarrollado a la fecha los diferentes proyectos subterráneos referidos a la obra del Sistema de Drenaje Profundo, varían de las arcillas más blandas compresibles a las tobas y los basaltos, -- con propiedades mecánicas de los suelos, particularmente en las zonas del Lago y Transición en constante evolución puesto que se observa una disminución de la compresibilidad y un aumento de la resistencia al esfuerzo cortante que ocurren -- en pocos años y aún en meses debido básicamente a: bombeo -- profundo para abastecimiento de agua potable, efecto de sobrecarga de rellenos artificiales antiguos, peso de las estructuras y abatimiento del nivel freático por bombeo superficial.

Con objeto de racionalizar y optimizar los proyectos y poder economizar los recursos tanto humanos como de materiales y equipo, se ha buscado intensificar los estudios referentes al subsuelo del Valle de México mediante la recopilación y evaluación de la información existente, de la obtenida de los estudios realizados, la adopción de nuevas técnicas para exploración y muestreo, análisis del comportamiento de las estructuras construidas, la sistematización de los -- procedimientos de diseño y construcción, la elaboración de manuales y normas así como la investigación y desarrollo de nuevas técnicas para proyecto y construcción.

Dado que queda fuera del alcance de este tema la zonificación geotécnica de la Cuenca del Valle de México, únicamente se mencionan de manera resumida las características estratigráficas de las zonas en que se le ha dividido tradicionalmente al subsuelo de la Ciudad de México, denominados del Lago, de Transición y de Lomas. (Fig. III.3)

DEPOSITOS DEL LAGO. -- Presenta un estrato superficial de nominado Costra Superficial que lo integran tres subestratos:

relleno artificial que consta de restos de construcción y rellenos arqueológicos, suelo blando que son depósitos aluviales blandos con lentes de material eólico intercalados y la costra seca formada como consecuencia de una disminución del nivel del lago.

Subyace al estrato anterior la Serie Arcillosa Lacustre Superior con un espesor que varía entre 25 y 50 m aproximadamente, se identifican cuatro estratos principales de acuerdo con su origen geológico y los efectos de consolidación inducidos por sobrecargas superficiales y bombeo profundo. La capa dura que es un depósito de limo arenoso con algo de arcilla y grava con cementación muy heterogénea de espesor variable desde unos cuantos centímetros hasta cinco metros en las orillas del lago.

La Serie Arcillosa Lacustre Inferior que es una secuencia de estratos de arcilla separados por lentes duros de espesor variable y los depósitos profundos que es una serie de arena y gravas aluviales limosas, cementadas con arcillas duras y carbonatos de calcio.

Se puede considerar como límite topográfico superior de la zona del lago la curva de nivel 2238 m s n m .

DEPOSITOS DE TRANSICION. - Forman una franja que divide los suelos lacustres de las sierras que rodean al Valle, de los aparatos volcánicos que sobresalen en la zona del lago. Son materiales de origen aluvial que desde el punto de vista topográfico la define la curva de nivel 2245 msnm como límite superior de la Transición Baja y entre las curvas 2250 y 2270 msnm el límite vértices de los abanicos aluviales.

La zona de Transición Baja presenta arenas de playa, -- trabajadas en la zona de flujo y refluo del litoral con estratificación cruzada y huellas de oleaje. Arenas limpias, gruesas y medianas interestratificadas con sedimentos limo - arcillosos de la Serie Lacustre Superior.

La estratigrafía en la zona de Transición Alta en el --
área sur se complica debido a la presencia de abanicos alu-
viales, los cuales son estructuras independientes y diferen-
tes entre sí. En este caso, las arenas de playa y los sedi-
mentos de transición de la Zona de Transición Alta descansan
directamente sobre la formación Tarango. Fuera del área de
influencia de los abanicos, la estratigrafía consiste princi-
palmente en capas de tobas con abundante material pumítico y
capas muy potentes y continuas de Lapilli que son arenas ---
gruesas de pómez provenientes de lluvias de material volcáni-
co con intercalaciones de tobas y estratos de grava - arena.

La zona de Transición Alta en el área norte corresponde
a una Serie Volcanoclastica formada por arenas y tobas trans-
portadas fuertemente empacadas en una matriz. Presenta una
estratificación bastante regular que incluye lechos fluvia-
les de gravas, arenas y cantos rodados.

DEPOSITOS DE LOMAS. - La zona de Lomas está formada por
las serranías que limitan a la Cuenca al poniente y al norte
así como los derrames del Xitle al Suroeste, en las Sierras
predominan tobas compactas de cementación variable, depósi-
tos de origen glaciar y aluviones. Por otro lado, en el pe-
dregal del Xitle, los basaltos sobreyacen a las tobas y depó-
sitos fluvoglaciales más antiguos.

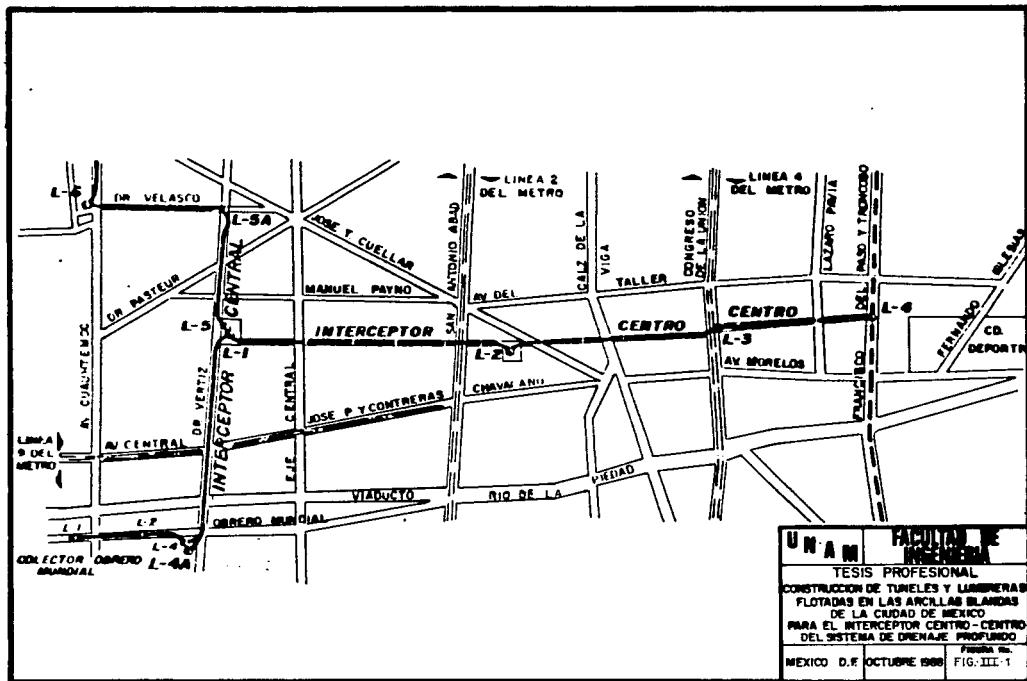
De acuerdo a la anterior descripción y regresando al te-
ma objeto de este trabajo, se observa que el túnel del Inter-
ceptor Centro-Centro queda ubicado en la zona correspondien-
te a la Zona del Lago; es decir, en la zona lacustre del Va-
lle de México.

Para conocer las características índice y mecánicas del
suelo que permitieran determinar el procedimiento constructi-
vo, se efectuaron a lo largo del trazo del interceptor, tres
sondeos mixtos continuos, localizados según se muestra en la
figura III.4. El sondeo S-1 se efectuó en las inmediaciones

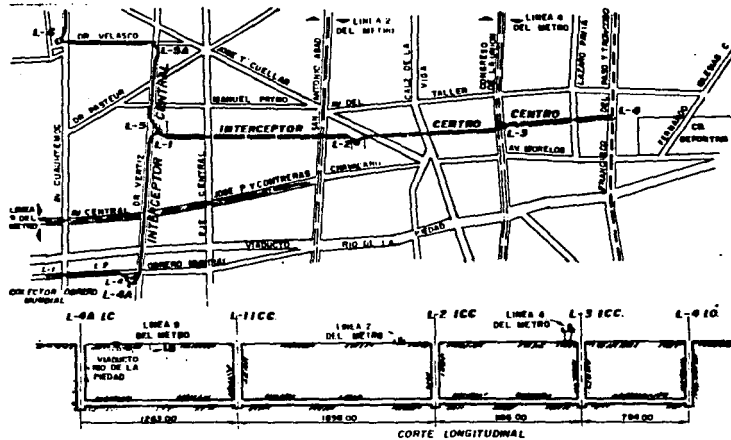
de la lumbrera 1 a una profundidad de 40 m.; el sondeo S-2 se realizó exactamente en el lugar donde quedó ubicada la lumbrera 2 del Interceptor Centro-Centro a una profundidad de 49 m utilizando para el muestreo Tubo Shelby, y por último, el sondeo S-3 se llevó a cabo entre el tramo comprendido de la lumbrera 3 y la lumbrera 4 a una profundidad de 40 m usando para el muestreo tubo Shelby y barril Dennison.

De los estudios realizados se confirmó que efectivamente se trata de un suelo lacustre caracterizado por la presencia de formaciones arcillosas blandas de origen volcánico, muy compresibles, con alto contenido de humedad y baja resistencia al esfuerzo cortante.

La estratigrafía representativa de la zona obtenida por dichos sondeos, se resume en las figuras que a continuación se presentan, con sus respectivos anexos.



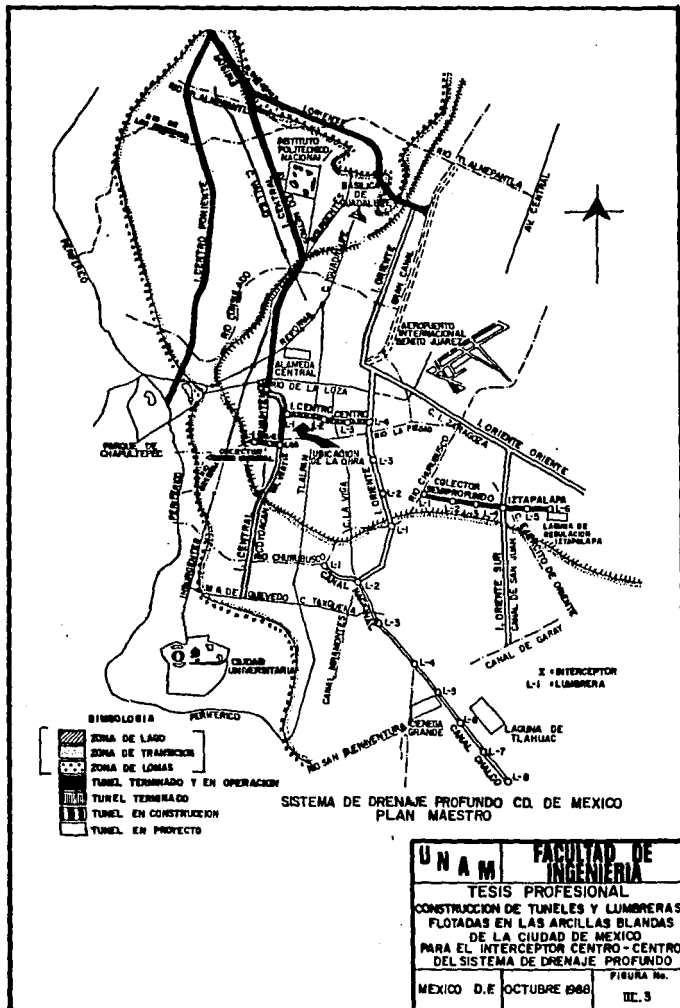
UNAM FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LINEAS DE FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO - CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO
 Presenta por:
MEXICO D.F. OCTUBRE 1968 Ficha No. FIG. III - 1



CARACTERISTICAS DEL SUELO EXCAVADO

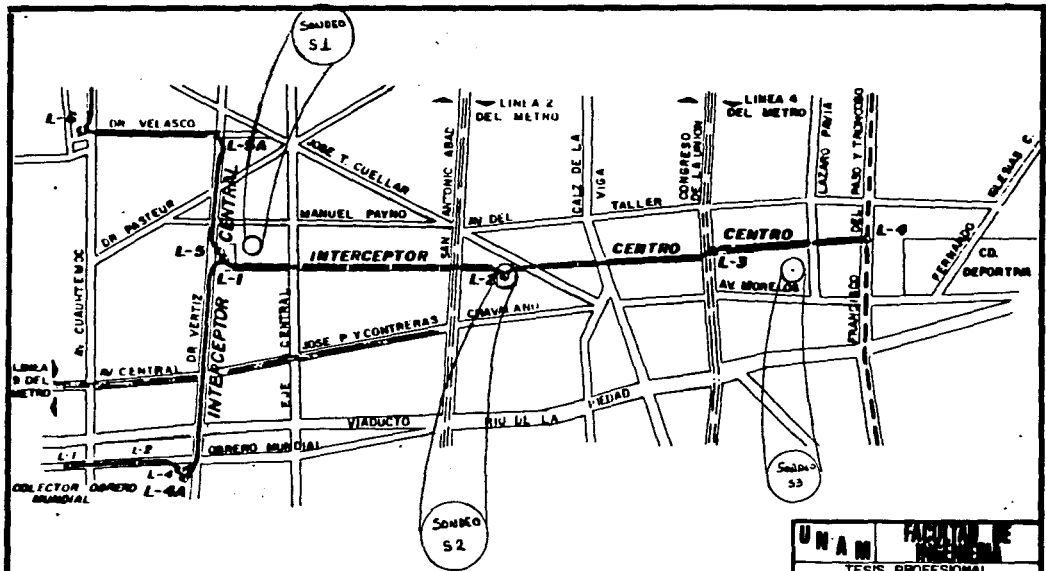
CONTENIDO NATURAL DE HUMO	300 %
COHESION MEDIA	3.0 ton/m ²
PESO VOLUMETRICO	1.81 ton/m ³

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LAMINERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANCAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROPUNDO	
MEXICO D.F. OCTUBRE 1980	FORMA No. FIG. III-2

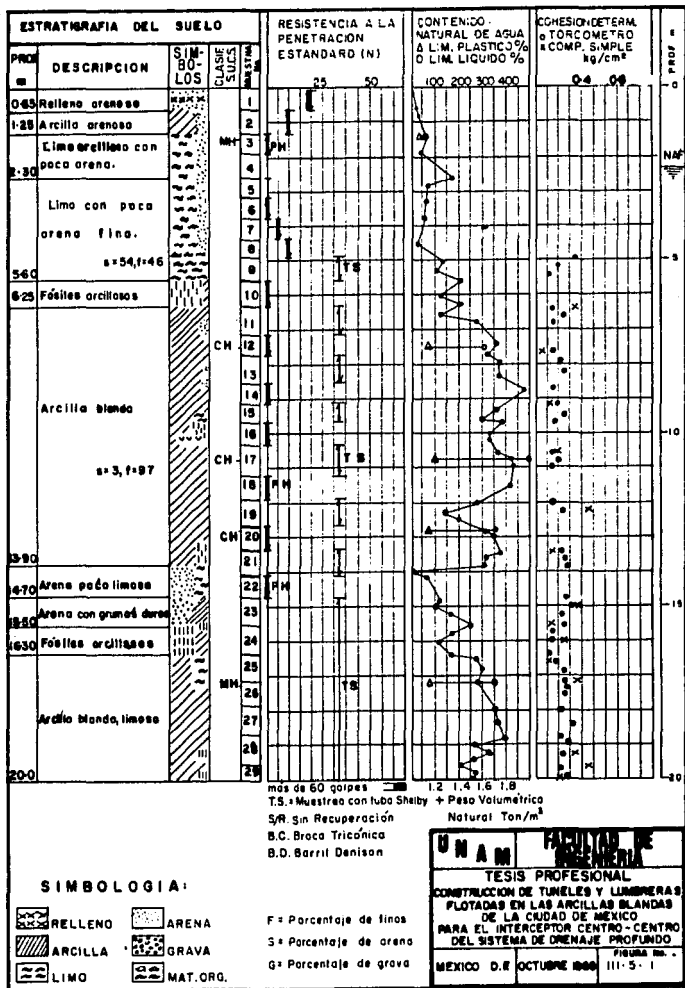


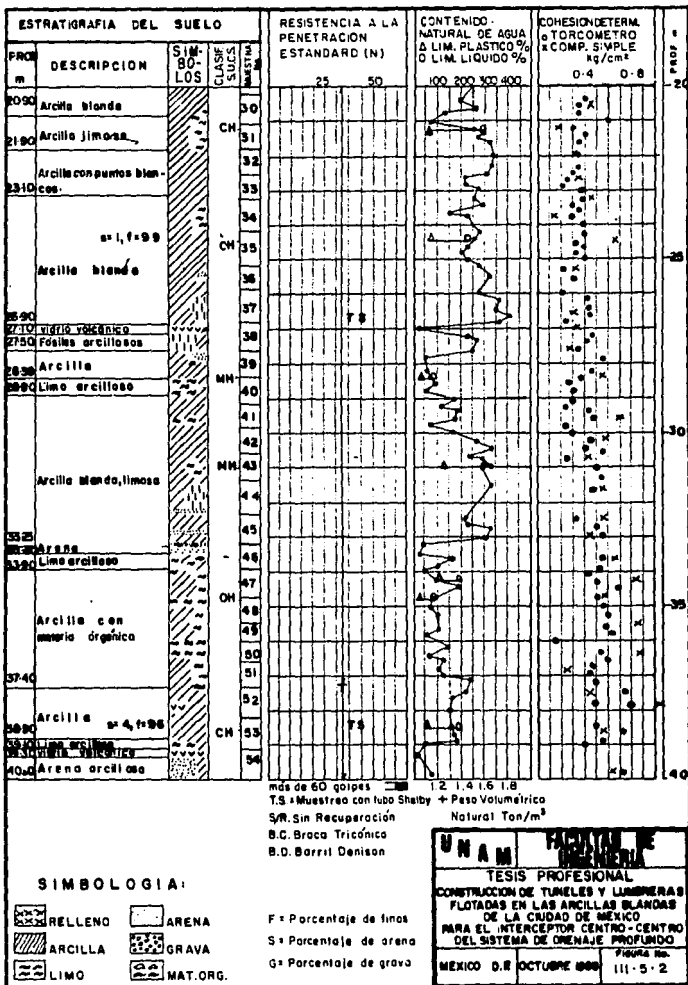
SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO CD. DE MEXICO
PLAN MAESTRO

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1968
FIGURA No. III. 3	



UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F. OCTUBRE 1966	FIG. III-4





PROF.	DENSIDAD DE LOS SÓLIDOS S_s	RELACION DE VACÍOS INICIAL e_i	CONTENIDO NATURAL DE AGUA w	GRADO DE SATURACION INICIAL G_i	RESISTENCIA AL COMPRESION SIMPLE C_r	DEFORMACION A LA RUPTURA ϵ_r	P E S O V O L U M E T R I C O		CLASIFICACION S.U.C.S
							HUMEDO δ_h	S E C O δ_s	
m.	—	—	%	%	Kg/cm ²	%	Kg/m ³	Kg/m ³	
6.35	2.20	4.30	192.1	98.3	0.69	2.764	1213	415	
7.75	2.15	8.09	370.9	98.6	0.15	3.029	1114	236	
9.15	2.06	7.45	359.3	99.4	0.33	3.942	1119	244	
10.60	2.12	7.39	346.6	99.4	0.34	4.397	1128	253	
12.20	2.27	4.88	217.6	101.2	0.42	2.375	1226	386	
13.40	2.18	8.05	368.5	99.8	0.32	2.755	1128	241	
15.00	2.31	2.73	112.8	95.4	0.71	2.074	1318	619	
15.60	2.30	4.77	206.3	99.5	0.30	1.705	1221	399	
16.00	2.34	4.42	188.5	99.8	0.53	3.128	1245	432	
16.60	2.22	5.72	260.7	-----	0.26	2.973	1191	330	
18.00	2.17	8.09	371.3	99.6	0.21	4.314	1125	239	
18.80	2.30	8.08	357.8	101.8	0.79	2.989	1160	253	
19.40	2.34	3.66	156.5	100.1	0.69	3.005	1287	502	
19.60	2.39	4.42	183.4	99.2	0.83	4.247	1251	441	
20.00	2.39	4.84	199.4	98.5	0.50	2.355	1227	410	
20.60	2.25	5.77	256.6	100.1	0.96	3.649	1185	332	
21.20	2.23	5.64	250.0	98.8	0.39	1.707	1175	336	

INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO
SIST. DE DRENAJE PROFUNDO
SONDEO
COMPRESION SIMPLE

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1968
FIGURA NO. ANEXO 1	

PROF	DENSIDAD DE LOS SÓLIDOS S_s	RELACION DE VACIOS INICIAL e_i	CONTENIDO NATURAL DE AGUA w	GRADO DE SATURACION INICIAL G_i	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE C_r	DEFORMACION A LA RUPTURA σ_r	P E S O V O L U M E T R I C O		CLASIFICACION S. U. C. S.
							HÚMEDO δ_h	SECO δ_s	
m.	—	—	%	%	Kg/cm ²	%	Kg/m ³	Kg/m ³	
22.00	2.23	7.54	349.2	99.3	0.72	2.348	1133	252	
22.60	2.39	5.66	250.9	----	0.72	3.758	1259	359	
23.20	2.19	6.01	276.8	100.9	0.96	4.141	1178	313	
23.80	2.35	5.74	235.2	96.3	0.33	1.550	1169	349	
24.40	2.30	5.03	224.3	102.6	1.23	3.658	1239	382	
25.20	2.31	6.15	270.8	101.7	0.62	2.882	1197	323	
26.00	2.37	7.01	294.8	99.7	0.44	2.001	1168	236	
26.60	2.26	9.56	413.2	97.7	0.61	1.917	1099	214	
27.00	2.36	6.33	272.4	101.6	0.65	2.577	1199	322	
27.60	2.25	4.95	219.8	99.9	0.62	3.057	1210	378	
28.40	2.34	1.97	85.1	101.1	1.03	2.244	1459	788	
29.60	2.15	3.80	176.9	100.1	1.43	6.134	1240	448	
30.20	2.22	6.63	298.1	99.8	1.13	3.219	1158	291	
30.80	2.33	6.99	299.2	99.7	0.84	3.043	1164	292	
31.60	2.12	6.16	294.5	101.4	1.08	2.799	1168	296	
32.40	2.25	6.51	285.2	98.6	1.16	2.993	1154	300	
33.00	2.06	6.25	307.5	101.4	0.98	2.362	1158	284	

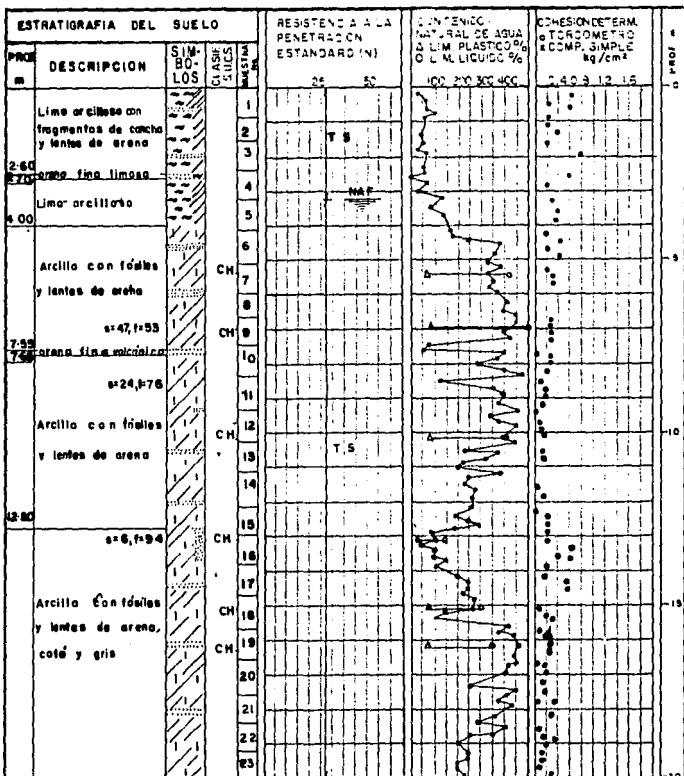
INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO
SIST. DE DRENAJE PROFUNDO
SONDEO
COMPRESION SIMPLE

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS PLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1980
	FIGURA No. ANEXO 2

PROF.	DENSIDAD DE LOS SOLIDOS S_s	RELACION DE VACIOS INICIAL e_i	CONTENIDO NATURAL DE AGUA w	GRADO DE SATURACION INICIAL G_i	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE σ_r	DEFORMACION A LA RUPTURA ϵ_r	PESO VOLUMETRICO		CLASIFICACION S. U. C. S.
							HUMEDO γ_h	SECO γ_s	
m.	—	—	%	%	Kg/cm ²	%	Kg/m ³	Kg/m ³	
33.62	1.97	2.27	119.0	—	1.33	4.572	1318	602	
34.20	2.03	2.13	107.9	102.8	1.71	3.328	1351	650	
34.80	2.23	1.48	69.8	—	1.10	5.121	1526	899	
35.60	2.02	1.92	97.8	102.9	1.71	3.365	1367	691	
36.27	2.19	1.67	79.4	—	1.78	7.871	1472	821	
36.92	2.31	3.35	143.0	98.6	0.46	2.050	1292	532	
37.52	2.30	3.44	148.8	99.5	0.89	5.295	1288	518	
37.92	2.31	3.33	145.8	101.1	2.31	4.597	1313	534	
38.60	2.21	3.84	178.0	102.4	1.17	5.563	1269	456	
39.80	2.52	4.14	160.7	97.8	1.32	4.936	1280	491	

INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO
 SIST. DE DRENAJE PROFUNDO
 SONDEO
 COMPRESION SIMPLE

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F.	FIGURA No. ANEXO 3
OCTUBRE 1988	



mas de 60 golpes 1.2 1.4 1.6 1.8
 T.S. = Muestra con tubo Shelby + Peso Volumétrico
 S/R Sin Recuperación Natural Ton/m³
 B.C Broca Tricónica
 B.D Barril Danison

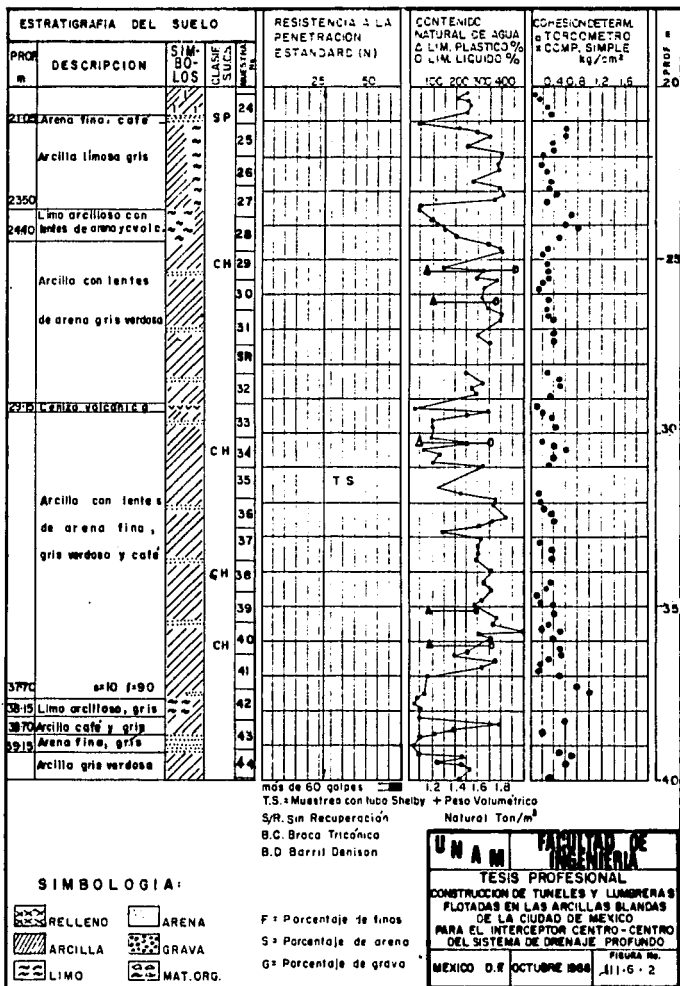
SIMBOLOGIA:

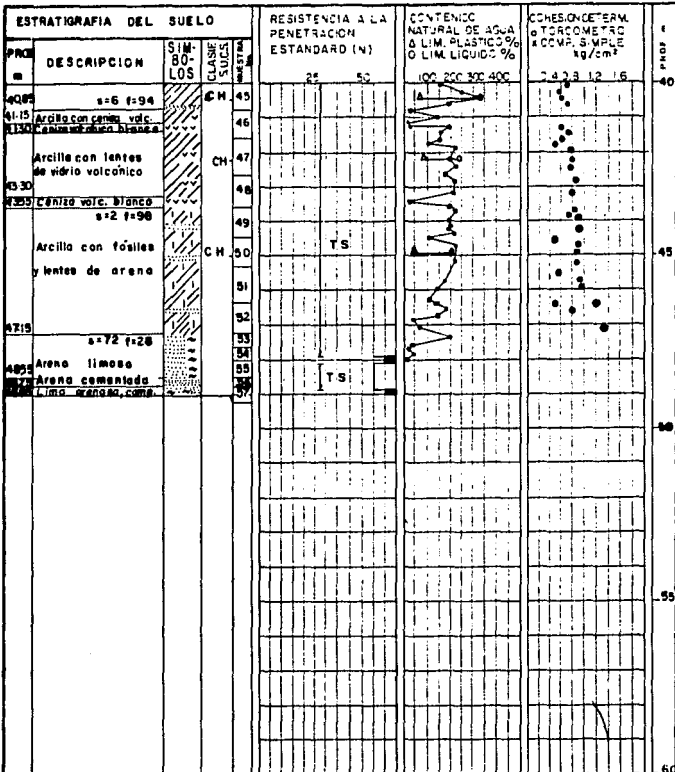
	RELLENO		ARENA
	ARCILLA		GRAVA
	LIMO		MAT.ORG.

F = Porcentaje de finos
 S = Porcentaje de arena
 G = Porcentaje de grava

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS
 FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS
 DE LA CIUDAD DE MEXICO
 PARA EL INTERCEPTOR CENTRO - CENTRO
 DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO

MEXICO D.F.	OCTUBRE 1968	FIGURA No.	111 - 6 - 1
-------------	--------------	------------	-------------





más de 60 golpes 1 2 1.4 1.6 1.8
 T.S. = Muestreo con tubo Shelby + Peso Volumétrico
 S/R. Sin Recuperación Natural Ton/m³
 B.C Broca Tricónica
 B.D Barril Danison

SIMBOLOGIA:

- | | |
|---------|----------|
| RELLENO | ARENA |
| ARCILLA | GRAVA |
| LIMO | MAT.ORG. |

F = Porcentaje de finos
 S = Porcentaje de arena
 G = Porcentaje de grava

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1968
	FIGURA No. III - 6 - 3

PROF	DENSIDAD DE LOS SOLDOS S_s	RELACION DE YACOS IN CIAL e_i	CONTENIDO NATURAL DE AGUA w	GRADO DE SATURACION INICIAL G_i	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE σ_r	DEFORMACION A LA RUPTURA ϵ_r	PESO VOLUMETRICO		CLASIFICACION S.U.C.S
							HUMEDO δ_h	SECO δ_s	
m.	—	—	%	%	Kg/cm ²	%	Kg/m ³	Kg/m ³	
1.00	2.604	1.78 1.78	60.5 61.7	88.3 90.2	1.010 1.870	3.25 4.80	1501 1514	935 937	*
2.13	2.612	2.35 2.27	75.2 72.8	83.8 83.7	0.944 1.140	2.15 1.92	1368 1380	781 798	*
2.48	2.564	2.66 2.65	93.9 91.5	90.5 88.7	0.468 0.503	2.00 2.00	1358 1347	701 703	*
3.40	2.462	2.38 2.37	86.0 93.9	88.9 97.5	0.744 0.590	1.50 1.28	1354 1416	728 730	*
4.45	2.480	4.04 3.90	161.1 154.0	99.0 97.8	0.850 0.784	2.10 2.40	1286 1284	492 506	*
5.35	2.371	8.34	355.9	100.0	0.258	1.50	1157	254	
6.75	2.168	8.88 9.07	407.0 412.1	99.4 98.6	0.674 0.548	3.80 2.88	1113 1103	220 215	*
7.65	2.473	7.52 7.67	301.1 305.4	99.0 98.5	0.146 0.133	3.30 3.80	1164 1157	290 285	*
8.55	2.255	8.29 8.04	365.6 356.7	99.4 100.0	0.473 0.444	4.00 3.20	1130 1140	243 250	*
9.45	2.218	8.77 8.59	390.6 385.3	98.9 99.5	0.172 0.244	5.75 6.20	1114 1123	227 231	*
10.70	2.383	7.31 7.96	305.3 331.3	99.5 99.1	0.600 0.580	4.20 3.60	1162 1146	287 266	*
11.90	2.288	6.94 7.12	294.7 300.2	97.2 96.5	0.125 0.096	3.70 5.10	1138 1128	288 282	
12.15	2.323	5.22 5.55	222.4 237.6	99.0 99.4	0.167 0.191	10.00 10.00	1204 1197	374 355	*
13.48	2.423	2.52	95.4	91.8	0.728	0.80	1346	689	
14.38	2.367	5.37 5.28	223.5 216.8	98.5 97.2	1.498 1.206	2.70 1.81	1202 1194	372 377	*
15.28	2.375	8.71 9.42	368.4 388.9	100.0 98.1	0.375 0.467	2.50 2.65	1146 1115	245 228	*
15.75	2.256	9.16 10.16	397.6 455.3	97.9 100.0	0.220 0.261	6.50 4.30	1105 1122	222 202	*

* VALOR OBTENIDO DE LA COMPRESION SIMPLE EN CICLO DE HISTERESIS.

INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO
SIST. DE DRENAJE PROFUNDO
SONDEO
COMPRESION SIMPLE

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F.	FIGURA No. ANEXO 4
OCTUBRE 1988	

PROF.	DENSIDAD DE LOS SÓLIDOS S_s	RELACION DE VACÍOS INICIAL e_i	CONTENIDO NATURAL DE AGUA W	GRADO DE SATURACIÓN INICIAL G_i	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE C_r	DEFORMACIÓN A LA RUPTURA ϵ_r	P E S O V O L U M E T R I C O		CLASIFICACIÓN S.U.C.S.
							HUMEDO δ_h	SECO δ_s	
							—	—	
m.	—	—	%	%	Kg/cm ²	%	Kg/m ³	Kg/m ³	
16.65	2.422	11.55 10.68	469.4 434.0	98.5 98.4	0.218 0.185	6.80 6.20	1099 1107	193 207	*
17.55	2.401	9.78 10.14	409.2 423.9	100.0 100.0	0.225 0.340	5.45 4.35	1135 1130	223 216	*
18.45	2.337	8.58 9.32	375.2 398.2	100.0 99.9	0.415 0.334	5.25 5.00	1159 1129	244 227	*
19.35	2.381	5.98 5.63	241.6 236.8	96.2 100.0	0.117 0.107	6.50 8.50	1165 1210	341 359	*
20.25	2.448	6.24 5.96	253.3 243.4	99.4 100.0	0.295 0.340	6.50 5.76	1195 1209	338 352	*
21.15	2.403	4.66	185.2	95.6	0.712	2.04	1212	425	*
22.18	2.328	9.46 9.39	407.5 406.3	100.0 100.0	0.355 0.318	4.50 5.20	1129 1134	222 224	*
22.95	2.175	9.41 9.43	434.9 435.8	100.0 100.0	0.612 0.561	4.00 4.10	1117 1118	209 209	*
24.05	2.403	2.00 1.72	72.8 69.7	87.5 97.6	0.590 0.885	1.70 1.60	1385 1501	801 884	*
24.75	2.329	8.88 9.74	381.7 418.3	100.0 99.8	0.455 0.260	3.00 3.83	1136 1122	236 217	*
26.00	2.537	8.42 8.59	330.8 337.2	99.7 99.6	0.275 0.352	4.20 3.90	1160 1157	269 265	*
26.60	2.308	8.69 8.88	383.1 383.9	100.0 99.8	0.580 0.612	2.30 2.57	1151 1130	238 234	*
28.38	2.359	7.50 5.09	317.8 214.6	100.0 99.4	0.309 0.340	4.25 3.60	1160 1218	278 387	*
29.45	2.520	6.14 6.13	243.0 243.7	99.7 100.0	0.290 0.242	5.20 4.80	1211 1214	353 353	*
30.35	2.447	1.82 1.91	76.9 79.8	100.0 100.0	0.725 0.954	3.60 3.34	1534 1511	867 840	*
31.95	2.359	9.68	404.7	98.6	0.295	4.25	1134	225	
32.85	2.361	9.80	418.7	100.0	0.205	3.40	1134	219	

* VALOR OBTENIDO DE LA COMPRESION SIMPLE EN CICLO DE HISTERESIS.

INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO
SIST. DE DRENAJE PROFUNDO
SONDEO
COMPRESION SIMPLE

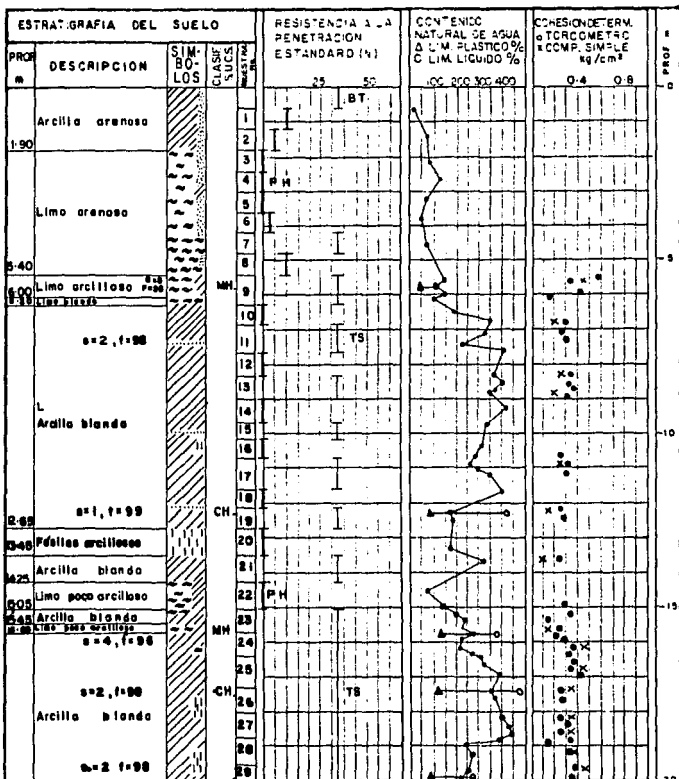
UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F. OCTUBRE 1968	FIGURA No. ANEXO 5

PROF.	DENSIDAD DE LOS SÓLIDOS S _s	RELACION DE VACÍOS INICIAL e _i	CONTENIDO NATURAL DE AGUA W	GRADO DE SATURACION INICIAL G _i	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE σ _r	DEFORMACION A LA RUPTURA ε _r	P E S O V O L U M E T R I C O		CLASIFICACION S. U. C. S.
							HUMEDO δ _h	SECO δ _s	
m.	—	—	%	%	Kg/cm ²	%	Kg/m ³	Kg/m ³	
34.43	2.487	8.98 8.82	359.9 349.0	99.7 98.4	0.680 0.784	2.60 2.22	1146 1137	249 253	*
34.65	2.339	8.57 8.96	371.1 379.8	100.0 99.1	0.191 0.209	6.00 7.30	1151 1126	244 235	*
35.75	2.131	8.48 8.55	395.8 403.8	99.5 100.0	0.661 0.551	3.00 2.85	1115 1125	225 223	*
36.65	2.173	7.40	349.8	100.0	0.200	3.70	1164	259	
37.40	2.303	1.65 2.00	75.5 85.5	100.0 98.5	1.530 1.640	2.90 3.27	1525 1425	869 768	*
39.35	2.409	5.49 7.04	227.4 286.9	99.8 98.2	1.142 1.070	4.20 3.33	1215 1160	371 300	*
40.05	2.335	6.18 6.25	260.8 270.9	98.6 100.0	0.960 1.043	3.40 2.90	1173 1194	325 322	*
41.00	2.546	4.73 5.07	190.0 200.8	100.0 100.0	0.573 0.540	4.80 4.52	1289 1263	444 420	*
41.85	2.243	4.43 4.39	199.9 201.1	100.0 100.0	1.430 1.675	2.80 2.76	1239 1254	413 416	*
42.88	2.514	3.55 4.52	138.8 179.3	98.2 99.7	2.040 2.163	3.10 3.10	1318 1272	552 455	*
43.65	2.397	5.16 5.12	216.3 218.3	100.0 100.0	1.906 1.925	4.50 3.96	1230 1247	389 392	*
44.55	2.377	4.96 5.01	209.7 205.6	100.0 97.6	1.210 1.230	4.40 5.00	1235 1209	399 396	*
45.50	2.371	4.59 4.60	194.2 197.6	100.0 100.0	2.680 2.775	4.25 3.34	1248 1255	424 422	*
46.35	2.306	4.15 4.31	180.3 186.6	100.0 99.7	2.300 2.575	2.35 1.90	1255 1244	448 434	*
47.25	2.621	0.93	29.3	82.6	1.256	2.03	1756	1357	*
48.65	2.630	0.78	24.7	83.8	0.496	1.22	1848	1482	*

* VALOR OBTENIDO DE LA COMPRESION SIMPLE EN CICLO DE HISTERESIS.

INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO
SIST. DE DRENAJE PROFUNDO
SONDEO
COMPRESION SIMPLE

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LAMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F.	FIGURA No. ANEXO 6



mas de 60 golpes — 1.2 1.4 1.6 1.8
 T.S. = Muestreo con tubo Shelby + Peso Volumetrico
 S/R Sin Recuperacion Natural Ton/m³
 B.C Braca Tricónica
 B.D Barril Denison

SIMBOLOGIA:

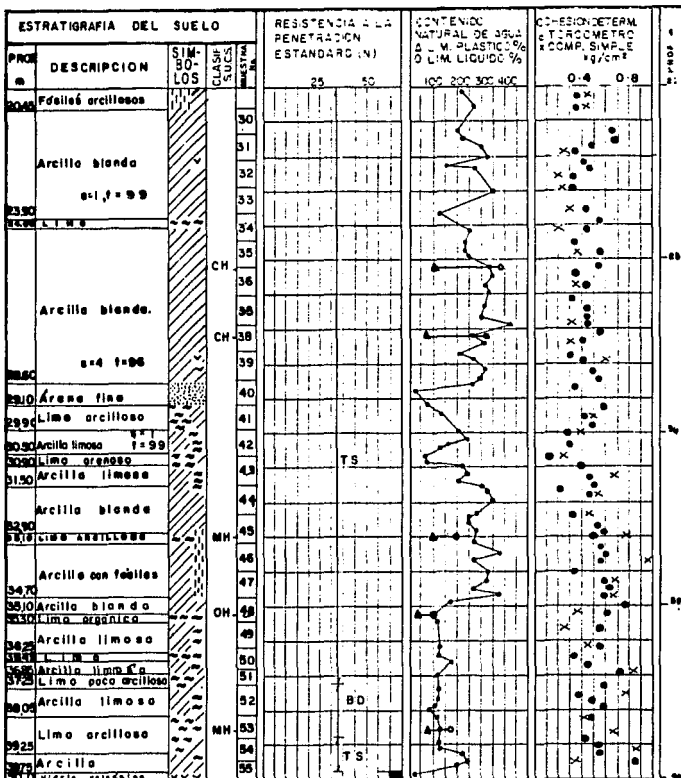
[Symbol]	RELLENO	[Symbol]	ARENA
[Symbol]	ARCILLA	[Symbol]	GRAVA
[Symbol]	LIMO	[Symbol]	MAT ORG.

F = Porcentaje de finos
 S = Porcentaje de arena
 G = Porcentaje de grava

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL
 CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS
 FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS
 DE LA CIUDAD DE MEXICO
 PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO
 DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO

MEXICO D.F. OCTUBRE 1968 111 · 7 · 1



mas de 60 golpes
 T.S = Muestreo con tubo Shelby + Peso Volumetrico
 Natural Ton/m³

SIMBOLOGIA:

[Symbol]	RELLENO	[Symbol]	ARENA
[Symbol]	ARCILLA	[Symbol]	GRAVA
[Symbol]	LIMO	[Symbol]	MAT. ORG.

F = Porcentaje de finos
 S = Porcentaje de arena
 G = Porcentaje de grava

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F. OCTUBRE 1988	FIGURA No. III-7.2

PROF.	DENSIDAD DE LOS SOLIDOS S _s	RELACION DE VACIOS INICIAL e _i	CONTENIDO NATURAL DE AGUA W	GRADO DE SATURACION INICIAL G _i	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE G _r	DEFORMACION A LA RUPTURA G _r	P E S O V O L U M E T R I C O		CLASIFICACION S U C S
							HUMEDO D _h	SECO D _s	
m.	—	—	%	%	Kg/cm ²	%	Kg/m ³	Kg/m ³	
5.70	2.38	3.47	130.8	89.71	0.87	1.757	1230	533	
6.90	2.30	8.20	370.4	103.9	0.39	3.477	1176	250	
8.30	2.31	7.94	343.1	99.8	0.49	2.811	1145	258	
8.85	2.06	8.96	436.5	100.1	0.38	1.933	1109	207	
10.95	2.23	8.67	389.9	100.3	0.49	3.147	1130	231	
12.15	1.92	7.04	403.0	109.9	0.30	2.166	1202	239	
13.55	2.33	5.68	239.3	98.2	0.19	7.193	1183	349	
15.55	2.24	5.44	242.0	99.6	0.28	1.550	1189	348	
16.15	2.18	4.56	211.8	101.3	0.93	3.178	1222	392	
16.75	2.26	6.39	282.9	100.1	0.92	2.698	1172	306	
17.35	2.13	8.16	383.9	100.2	0.64	2.872	1126	233	
18.15	2.36	8.78	371.6	99.9	0.76	3.420	1139	242	
18.55	2.35	8.92	369.3	97.3	0.70	1.898	1110	237	
19.15	2.21	6.66	303.0	100.5	0.69	3.441	1162	288	
19.75	2.23	5.58	251.8	100.6	1.03	2.587	1192	339	
20.15	2.29	4.79	209.9	100.0	0.86	2.925	1225	395	
20.55	2.16	6.27	283.9	97.8	0.83	2.804	1141	297	

INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO
SIST. DE DRENAJE PROFUNDO
SONDEO
COMPRESION SIMPLE

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO		
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1968	FIGURA No. ANEXO 7

PROF.	DENSIDAD DE LOS SÓLIDOS S _s	RELACION DE VACÍOS INICIAL e _i	CONTENIDO NATURAL DE AGUA W	GRADO DE SATURACIÓN INICIAL G _i	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE σ _r	DEFORMACIÓN A LA RUPTURA δ _r	P E S O V O L U M E T R I C O		CLASIFICACION S. U. C. S
							HUMEDO δ _h	S E C O δ _s	
m.	—	—	%	%	Kg/cm ²	%	Kg/m ³	Kg/m ³	
21.95	2.28	8.24	356.7	98.7	0.45	2.247	1127	247	
22.55	2.29	5.30	229.7	99.2	0.41	1.562	1198	363	
22.95	2.09	7.42	349.2	98.4	0.50	4.051	1115	248	
23.70	2.30	5.25	219.5	96.2	0.62	1.426	1176	368	
24.10	2.24	6.44	283.3	98.5	0.42	1.776	1153	301	
24.70	2.27	5.35	234.9	99.7	0.69	1.300	1196	358	
25.30	2.28	7.58	335.8	101.0	0.77	3.426	1157	266	
25.70	2.21	7.63	337.0	98.9	0.69	2.660	1134	256	
26.70	2.21	7.63	345.6	100.1	0.62	2.474	1141	256	
27.30	2.17	7.11	330.2	100.8	0.63	1.973	1151	267	
27.90	2.23	6.06	271.2	99.8	1.23	3.180	1172	316	
28.30	2.22	5.48	244.5	99.0	1.05	2.624	1180	342	
28.50	2.43	1.31	52.8	97.9	2.57	2.988	1607	1051	
29.40	2.33	3.08	128.5	97.2	1.03	3.294	1303	570	
30.00	2.16	5.24	241.1	99.4	1.12	3.554	1181	346	
30.60	2.41	6.31	256.5	98.0	0.67	3.591	1176	330	
31.20	2.17	4.92	225.1	99.3	1.56	3.095	1191	366	

INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO
SIST. DE DRENAJE PROFUNDO
SONDEO
COMPRESION SIMPLE

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1988
FIGURA NO. ANEXO B	

CAPITULO IV

IV.- USO DE MAQUINAS PERFORADORAS DE TUNELES.

La excavación de túneles se ha realizado desde hace ya muchas centurias. En varios países del mundo ha sido pionera de esta técnica la minería, para la exploración de yacimientos minerales y carboníferos. Por otra parte, obras de alcantarillado, conducción de agua, hidroeléctricas, de viabilidad 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 rapidéz como en seguridad, gracias al empleo de máquinas perforadoras de túneles (Foto IV.1) llamadas usualmente ESCUDOS, sobre todo desde hace 50 años a la fecha.

Las ventajas que proporcionan estos escudos en la excavación, protección y soporte de túneles son reconocidas cada vez en mayor grado, considerando las desventajas de los métodos convencionales. Así en el caso de rocas, el empleo de barrenación y voladura es un procedimiento que tiene riesgos y demoras inherentes al sistema. Con los escudos, los problemas descritos anteriormente se reducen al empleo adecuado de las mismas y al implantar un sistema idóneo de rezaga -- (Foto IV.2) aunado a una mayor seguridad en la construcción del túnel, sobre todo si este se realiza en zonas urbanas.

La antigua idea de recurrir a los escudos únicamente al presentarse situaciones difíciles para el método convencional de barrenación y voladura, está cambiando rápidamente a una convicción de utilizarlos como procedimiento y equipo -- usual de trabajo en todos los casos y para cualquier tipo de terreno.

Esta necesidad ha llevado al desarrollo, diseño y fabricación de maquinaria con dispositivos para excavar desde suelos muy blandos hasta rocas, todos a sección completa.

(Foto IV.3)

Cuando se utilizan estas máquinas, casi todas las operaciones de perforación de túneles se lleva a cabo simultáneamente con la excavación, en contraste con la barrenación y voladura en la que son realizados individualmente.

El objetivo de un escudo es prevenir la deformación del terreno hacia el túnel mediante una coraza de metal (Foto IV.4) para permitir una excavación segura y colocar el adame, constituido por dovelas de concreto, ya se proyecta en varios países para que sea el definitivo y no provisional como en un principio se juzgó adecuado. (Foto IV.5)

En esencia, el diseño del escudo consiste en un cilindro de metal, rígido, que para fines de diseño puede dividirse en tres secciones; una parte delantera formada por una cuchilla, (Foto IV.6) que va cortando el material, una estructura intermedia para rigidizar la coraza y alojar los sistemas hidráulicos que empujan el escudo, (Foto IV.6) y una parte trasera que tiene coraza cilíndrica o faldón en donde se coloca el mecanismo de instalación de las dovelas (Foto IV.7).

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 poderse encajar en el terreno.

Un ejemplo de estos escudos es el que se usó y se está usando para la excavación de los interceptores del Drenaje Profundo del Distrito Federal, o en la construcción del llamado "Túnel de Tacubaya" en la línea del METRO, los cuales fueron del tipo de "Frente Abierto" o sea que, tiene plataformas de trabajo en el frente del escudo para hacer la excavación con herramienta neumática o manual, contando además -

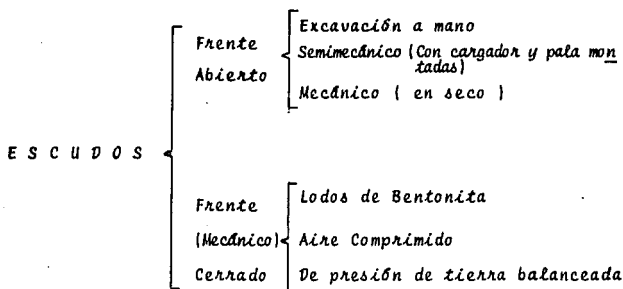
con elementos de contención soportados con planchas y mecanismos hidráulicos para resistir el empuje del frente de la excavación.

Estos escudos fueron de 6.15 m. de diámetro, 6.35 m. de longitud total, 0.80 m. de cuchilla, 3.78 m de cuerpo intermedio y 1.77 m. de faldón con un brazo giratorio con mecanismos para sujetar las dovelas y colocarlas alrededor del túnel. Estas dovelas son de un diámetro algo menor que el de la excavación por lo que este espacio libre es relleno con un mortero de cemento en el menor tiempo posible para el sostenimiento de la excavación.

Actualmente, la tecnología en la fabricación de escudos se ha desarrollado y avanzado extraordinariamente; países como Japón, Inglaterra y Estados Unidos, construyen equipos en diámetro hasta 10 m. para excavar en todo tipo de suelos.

Los escudos se pueden clasificar en dos grandes grupos: escudos para suelos suaves (blandos) y relativamente firmes y escudos para suelos firmes y muy duros.

Para suelos blandos hay escudos con diferentes dispositivos y sistemas de excavación, tal como se muestra en el cuadro siguiente:



En Japón, país importante en el desarrollo de escudos, este método fue introducido hace 25 años para construir túneles en áreas desarrolladas. Desde marzo de 1985, el número de escudos fabricados asciende a más de 5,000 en varios tipos, como se ve en la (Fig. IV.1), la cual indica la tendencia de la producción de diversos tipos de escudos. Además, las tablas de las tres páginas siguientes, explican la aplicación de cada uno de los distintos tipos de escudos.

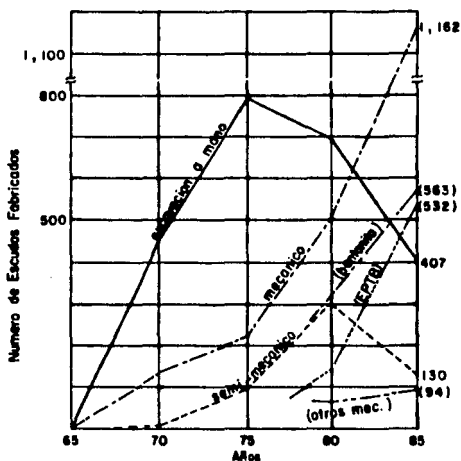


FIG. IV.1

TIPO DE ESCUDO			MECANICO			OBSERVACIONES
			SEMI-MECANICO	BENTONITA	PRESION DE TIERRA BALANCEADA	
CONDICIONES						
SUELO	ARCILLA	Muy blanda a blanda	X	○	○	○ Estandares Apropriados △ Estandares Más allá de la consideración req. x Estandares inaplicables Tamaño de canto Rodado Mayor de 200 mmφ
		MEDIA	X	○	○	
		DURA	○	○	△	
	ARENA	SUELTA	X	○	○	
		COMPACTA	○	○	△	
	GRAVA	SUELTA	X	○	○	
		COMPACTA	○	△	△	
	ARCILLA O ARENA CON CANTO RODADO		○	△	△	
ROCA		○	△	△		
CONDICIONES GENERALES DEL TERRENO			1.- Aplicable a estratos estables. 2.- Generalmente en estratos acuíferos es muy difícil de prevenir el colapso del frente, debido a la filtración del agua, a menos que se utilice un método estabilizador de frente, tales como aire presurizado y bombeo. 3.- Inaplicable en estratos con alto contenido de agua, requiriendo una presión mayor de 2.5 Kg/cm ² de aire comprimido.	1.- Aplicable en cualquier suelo especialmente apropiado a estratos acuíferos. 2.- Lo más apropiado en caso de que la estabilización del frente no pudiera lograrse, debido a la inaplicabilidad de cualquier método de estabilización del frente, aire presurizado u otros. 3.- Bentonita de alta densidad, se aplicará en estratos de grava o cantos rodados para prevenir el escape de la misma.	1.- Aplicable en una amplia extensión de suelos. 4.- Para un estrato de grava gruesa, estructura de m ² quinás y material del frente estabilizado deberá ser considerado cuidadosamente. 3.- Para un estrato acuífero utilizar bentonita o lodo mezclado dentro de la cámara.	

TIPO DE ESCUDO	MECANICO			OBSERVACIONES
	SEMI - MECANICO	BENTONITA	PRESTON DE TIERRA BALANCEADA	
CONDICION REQUERIMIENTOS ESPE- CIALES DE LA PLANTA - EN SUPERFICIE	1.- Ninguno en particular.	1.- Se requiere en la super- ficie una planta de tra- zamiento de bentonita. 2.- El material excavado -- puede ser considerado -- como desecho industrial debido a la adición de maderas químicas en el proceso de tratamiento.	1.- Similar al 2. Bentoni- ta. Si la bentonita o el lodo puede mezclarse en la cámara del es- cudo	Planta y equipo común en los tres tipos: Sección de patio de - refacciones. Facilidad de carga. Planta rezagadora.
OBSTACULOS ENCONTRA- DOS EN EL FRENTE.	1.- Muy fácil de mover -- obstáculos, tales co- mo cantos rodados y - pilas de apoyo exis- tentes.	1.- Dificultad al remover - obstáculos a causa de - que la cabeza cortadora se abre parcialmente, - en la misma pueden ins- talarsen compuertas remo- vibles. 2.- El frente estabilizador es necesario para en -- trar a la cámara mezcla- dora.	1.- Extremadamente difi- cil a causa de que la cámara es llenada con suelos. 2.- Similar al 2 de bento- nita.	
CAPACIDAD DE AVANCE	1.- La capacidad de la má- quina, la excavación y recolección del sue- lo es muy buena. 2.- Factores que determi- nan la capacidad de - avance: Capacidad -- del equipo rezagador. Soporte temporal del frente que sea o no - requerido.	1.- Generalmente bueno. En general ligeramente mejor que el EPTB. 2.- Factores que determinan la capacidad de avance. Capacidad de la planta de tratamiento.	1.- Generalmente bueno. En general, ligeramen- te menor que la bento- nita. 2.- Los factores que de- terminan la capacidad de avance. Factor -- disponible de torni- llo y cámara.	TOMADA DE: SHIELD TU- NELING, OKAMURA, CORP. FEB., 1987

Tabla 3 de 3

TIPO DE ESCUDO	CONDICIONES	MECANICO		OBSERVACIONES	
		SEMI-MECANICO	BENTONITA		PRESTON DE TIERRA BALANCEADA
CONDICIONES DE TRABAJO	1.- <i>Malo si es usado - el aire comprimido.</i> 2.- <i>Si no, es bueno en areas grandes de trabajo.</i> 3.- <i>En cualquier caso de aire comprimido o no, evitar en lo posible viajes muy continuos del carro rezagador.</i>	1.- <i>Mejores condiciones de trabajo y mayor area del mismo son aprovechables debido al no haber compresor de aire y la extracción de rezaga por líneas de bombeo</i>	1.- <i>Bueno porque generalmente el compresor de aire es necesario.</i> 2.- <i>Espacio de trabajo relativamente pequeño, debido a -- que la mayor parte es ocupada por el transformador de -- tornillo, cámara del suelo y cargador.</i> 3.- <i>Evitar en lo posible viajes muy continuos del carro -- rezagador.</i>		
C O S T O	1.- <i>El costo inicial de la máquina, es más bajo que la -- bentonita y la -- EPTB.</i> 2.- <i>El costo del equipo para aire comprimido, si es usado, puede influir en un costo extra de trabajo.</i> 3.- <i>Puede influir en costo extra, si se aplica una estabilización del frente.</i>	1.- <i>El costo inicial de la máquina es -- ligeramente inferior al EPTB.</i> 2.- <i>El costo de la instalación de la -- planta de tratamiento es alto, el costo se compensa parcialmente por -- el bajo costo de la operación de la rezagadora.</i>	1.- <i>El costo inicial de la máquina es -- ligeramente mayor al de bentonita.</i> 2.- <i>Como el material excavado requiere estar fluidizado, -- el costo por rezaga y colocación es comparativamente -- alto.</i> 3.- <i>Cuando la inyección de lodo presurizado es aplicada, será -- necesario una planta de tratamiento -- similar al de tipo</i>		

TOMADA DE: SHIELD TUNNELING, OKAMURA, CORP., FEB., 1987.

IV.1 ESCUDOS DE FRENTE ABIERTO.

Por experiencia de que se tiene conocimiento a la fecha, es recomendable el empleo de escudo de frente abierto, en suelos muy consolidados como: arcillas, aluviones, cohesivos, arenas, arcillas consolidadas, arenas y gravas compactas; así como para suelos medianamente consolidados como: turbas, arcillas arenosas y arenas húmedas.

Este tipo de escudos cuentan con plataformas de trabajo, que pueden estar ubicadas a diferentes niveles, para atacar al frente por zonas con medios manuales. Es factible que se puedan utilizar diversos métodos de excavación, debido a la gran variedad que se tienen de estos equipos, según el tipo de suelo que se atraviese.

Existe la modalidad de inyectar aire comprimido con uso de un escudo de frente abierto cuando se trata de excavar en suelos con gran cantidad de agua, que propicia la inestabilidad del mismo. Este sistema será descrito más adelante.

En el caso en que se tengan suelos muy firmes o rocas, es más conveniente el uso de otro tipo de máquinas perforadoras de túneles llamadas comúnmente "topos", los cuales tienen un sistema de excavación diferente al de los escudos, sin necesidad de colocar los anillos de adame, utilizando en su lugar un soporte temporal de concreto lanzado o un sistema de apuntalamiento para, posteriormente, colocar el revestimiento definitivo, cualquiera que este sea.

Un escudo de frente abierto se puede fabricar o reconstruir, para permitir el acceso o la instalación de maquinaria especializada para el corte del material en el frente de ataque.

Esta maquinaria puede variar entre: pala excavadora, cucharones tipo draga, cargador frontal, traxcavo, brazos cortadores giratorios o cabezas rozadoras que desmoronen el

material y quede a disposición del mecanismo de rezaga, que puede ser un sistema de bandas transportadoras o tornillos helicoidales, que lleven el material hasta la lumbrera, en el caso de tramos relativamente cortos o que lo depositen en los medios de acarreo (tren de vagonetas o camiones de volteo), para llevarlo a lo largo del túnel, especialmente para distancias largas entre el frente y la lumbrera, para realizar posteriormente el manto del mismo hasta la superficie.

Las máquinas de ataque selectivo por corte o rozadoras, disponen por lo general de una cabeza provista de picas, cuya dimensión es pequeña en relación con la sección del frente.

Esta cabeza está situada en el extremo de un brazo orientable, el cual realiza el barrido selectivo a través de toda la superficie de ataque, alternando movimientos verticales y horizontales, haciendo de esta una máquina muy versátil. Este tipo de máquinas van montadas generalmente sobre un tren de orugas que les permite una gran facilidad de desplazamiento.

ESCUDOS CON CAMARA DE AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido, como una herramienta para la excavación de túneles, data desde 1830 cuando Thomas Cochrane construyó lumbreras y túneles bajo el nivel freático, en terrenos inestables, movedizos, muy permeables o semipermeables, con pequeña cohesión y baja resistencia. Consiguieron estabilizar las paredes del túnel por medio de aire comprimido, contrarrestando la presión de agua, favoreciendo la creación de fuerzas capilares en el frente, evitándose una falla por extrusión y permitiendo el trabajo en seco bajo la protección del escudo.

Desde entonces se han excavado numerosos túneles, utilizando la combinación de aire comprimido y escudo.

El empleo del aire comprimido consiste fundamentalmente, en lo siguiente:

Se instala una mampara y una serie de esclusas dentro y fuera de la lumbrera, tal como se muestra en el esquema. (Fig. IV.2)

La mampara está formada por una placa de acero y concreto reforzado, evitando la comunicación del túnel con el exterior. En el lado exterior del tapón, el aire tiene la presión atmosférica; del otro lado, se empieza a inyectar aire, así la sección del túnel entre el frente de excavación y el tapón, queda sujeta a una presión superior a la atmosférica, con rangos de 0.5 a 1.5 Kg/cm², según se requiera.

La entrada y salida del personal y de los materiales a esta cámara de trabajo presurizada, se hace por medio de esclusas, que consisten en cilindros de metal que cruzan la mampara con puertas selladas de entrada y salida. Cuando se circula del lado de la presión atmosférica al lado presurizado, se cierran ambas puertas y poco a poco se va inyectando aire a presión, hasta que la presión en la esclusa se iguala con la de la cámara de trabajo; en esas condiciones, se abre la puerta del lado presurizado y el personal puede pasar a la cámara de trabajo. Cuando se transita en sentido contrario se procede a la inversa, aunque el proceso es más tardado, ya que una descompresión súbita puede causar serios daños a los trabajadores.

Con la rezaga, se efectúa la misma operación a través de la esclusa para material; sin embargo, la velocidad con la que se elimina o eleva la presión, es mucho mayor.

El objeto de formar una cámara presurizada es, principalmente, estabilizar el frente de la excavación. Para el caso de las arenas saturadas, el flujo del aire comprimido del frente de la excavación hacia el terreno, provoca tensiones capilares que evitan que la arena y el agua fluyan hacia

el interior del túnel.

En el caso de arcillas de baja resistencia, se tiene -- una presión que contrarresta la presión del terreno, evitando así que la arcilla falle por extrusión y penetre hacia el túnel.

Una vez que se han atacado los primeros 200 metros del túnel, se interrumpe el ataque, para trasladar la mampara y esclusas hacia el interior del túnel.

En los casos en que se encuentra un terreno que pueda ser averiado por la presión del aire, se pueden diseñar escudos en los cuales se pueda evitar este riesgo, dejando permanecer el agua en un compartimiento delantero, respetando de cierto modo el equilibrio natural de las presiones en el terreno, haciendo uso de una mampara apoyando el frente, siendo así el caso de un escudo con el frente cerrado.

Este caso se presentó en la construcción del túnel del metro de París, bajo el Río Sena, atravesando arenas saturadas sobre las que había calizas duras fisuradas, con posibilidad de sufrir rompimientos por las presiones del aire comprimido.

Actualmente, el uso de este tipo de escudos ha ido de - creciendo, debido al riesgo que existe de alguna fuga en la tubería a presión, lo que provocaría una falla en el soporte del frente, especialmente cuando las presiones de aire son - altas para soportar suelos con una alta permeabilidad. De - igual manera, se puede tener una baja en la productividad, - debido a que los tiempos de descompresión son considerable - mente largos e incluso, es un factor importante que infla en gran medida los costos.

IV.2 ESCUDOS DE FRENTE CERRADO.

Estos escudos tienen algunas variantes en función de los sistemas de estabilización en el frente, lo cual permite su agrupamiento en:

- 2.a) Escudos de presión de tierra balanceada, (Foto IV.8)
- 2.b) Escudos con cámara de aire comprimido, (Foto IV.9)
- 2.c) Escudos cortadores de frente presurizado con lodos de bentonita, (Foto IV.10)

Los escudos de frente cerrado tienen al frente 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, atrás de la cabeza cortadora 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, (Foto IV.11). Los colectores de la rezaga pueden ser cucharones rotatorios en el perímetro del escudo que la depositan en una tolva para descargarla a bandas transportadoras o tornillos helicoidales.

Una variante de este tipo de máquinas son los escudos ciegos usados en el suelo arcillo-limoso suave, en los cuales la excavación se logra obligando al material del frente a salir, por extrucción, a través de orificios abiertos en una mampara colocada a distancia del frente que cubre toda la superficie frontal del escudo, (Foto IV.12).

- 2.a) Escudos de presión de tierra balanceada, en estos escudos detrás de la cabeza cortadora se forma un compartimiento aislado que puede someterse a presión y ocupa -

una distancia entre 1 y 2 metros atrás de la cabeza -- cortadora, mientras que el resto del escudo y todo el túnel se encuentra 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 adame 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 escudos es factible introducir agua o lodo de bentonita -- que permiten 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 mayor facilidad en bandas o en los vehículos convencionales.

2.b) Escudos con cámara de aire comprimido, son los que utiliza la cámara de presión para soportar el frente mediante este sistema. En Japón se considera de alto riesgo porque puede fallar el soporte de la presión del aire cuando se presenta una fuga o se excavan suelos de alta permeabilidad. Esta es la razón por la cual ya no los utilizan.

3.c) Escudos cortadores de frente presurizado con lodos de

bentonita. Desde hace más de 30 años, en Japón y Europa, se empezaron a usar escudos cortadores, con los --cuales se excava en forma rápida y segura en arcillas blandas con alto contenido de agua, como las que se encuentran en la zona del lago de la ciudad de México; y como en el caso nuestro, es el que se utiliza en la --perforación del Interceptor Centro-Centro.

a) DESCRIPCIÓN GENERAL.

El escudo cortador del frente presurizado con lodos, proporciona soporte mecánico del frente excavado, mediante una cabeza cortadora que puede cerrarse totalmente, y además, soporte hidrostático mediante lodo --fluido a presión.

Componentes y descripción del sistema:

- Escudo
- Cabeza cortadora
- Erector de dovelas
- Tren de arrastre
- Sistema hidráulico
- Sistema de lubricación
- Sistema de manejo de lodos
- Sistema de distribución de electricidad y de control
- Revestimiento de dovelas precoladas de concreto.

El escudo es un cilindro, hueco abierto por un extremo, en el que todos los componentes de la máquina --se alojan en el interior.

La cabeza cortadora gira en una cámara sellada de mezclado, que contiene lodo fluido a presión, para soportar el frente del suelo. La cabeza cortadora está diseñada estructuralmente para soportar el empuje del

terreno y contiene compuertas de ranura para permitir pasar el material excavado hacia la cámara de mezclado de lodo.

Las ranuras también tienen herramientas para cortar.

La cabeza cortadora es accionada por motores eléctricos de dos velocidades conectados a reductores de velocidad que hacen trabajar al contador a 1.1 y 1.6 r.p.m. Dicha cabeza es soportada por un sistema estructural con rodamientos, diseñados para soportar el empuje total y las cargas que se desarrollen durante la excavación. Los rodamientos están protegidos de la entrada de lodo y rezaga mediante sello y un flujo positivo de lubricación. La cabeza cortadora se hace avanzar y es empujada contra el frente por gatos hidráulicos.

Todo el material excavado y el lodo fluido son depositados en la cámara de lodo, la cual contiene licuadoras para mezclar lodo con material excavado.

Los gatos para empujar el escudo, se localizan -- atrás de la cámara de mezclado de lodo. Se ubican circunferencialmente, dispuestos a intervalos iguales. Están diseñados para hacer avanzar y guiar el escudo. Mediante una bomba de lodos, se envía el lodo fluido desde tanques superficiales hasta la cámara de lodos, donde se aloja la cabeza cortadora. La descarga del lodo fluido contenido al material excavado, se bombea fuera de la cámara por un sistema de bombas de lodo, que la regresan a los tanques superficiales. La circulación de lodo fluido se controla para mantener la presión -- preestablecida en el frente. El sistema de circulación de lodos tiene un desvío alterno (bypass), para iniciar su funcionamiento, para ajustarlo y para pararlo.

La presión de lodo fluido en el frente, la velocidad del flujo y la densidad del abastecimiento y de -- las descargas se miden, se registran y se manipulan en la consola central.

También se mide la carrera y presión del aceite - de los gatos de empuje, como también la velocidad del avance del escudo, para su registro y manipulación como control de la máquina.

Todo el equipo necesario para la operación de la máquina, tal como las bombas de lodos, compresores de aire, sistemas hidráulicos de potencia, transformadores eléctricos y tableros de conexiones, están montados en un tren de arrastre, atrás de la máquina.

El revestimiento de dovelas, se coloca en su sitio mediante un anillo erector operado hidráulicamente, que se ubica dentro de la máquina, en el extremo posterior del escudo.

Las dovelas se erigen después que la máquina ha avanzado la carrera completa de los gatos de empuje. - Después de erigir las dovelas, el espacio anular entre éstas y el terreno se llena con inyección.

Tanto la tubería que abastece de lodo fluido al frente, como la que retorna a los tanques superficiales, están equipadas con secciones telescópicas, que permiten la circulación del lodo, al tiempo que avanza la máquina. Los nuevos tramos de tubería para conducción de lodo se instalan cuando la máquina está parada.

La presión del lodo en el frente se mantiene cerrando las válvulas, durante la instalación de las nuevas secciones de tubería.

En la superficie, se extrae del lodo el material

excavado y se vuelve a recircular el lodo fluido.

Una consola central en superficie y el panel de control del operador en la máquina controlan al escudo cortador. El panel central de control contiene todos los controles de seguridad, todos los registradores y carátulas de observación, el arranque y paro de licuadoras y el control de la circulación de lodo. El panel del operador, en la máquina, contiene todos los controles de operación para la rotación de la cabeza cortadora, para las aberturas de las compuertas de ranura, los gatos de empuje del escudo, los gatos de la cabeza cortadora y las licuadoras.

El panel del operador también controla el anillo erector. El operador controla la velocidad de avance, la pendiente y el alineamiento.

A continuación, se describe cada uno de los elementos principales del sistema del escudo cortador:

- El escudo es un cilindro hueco. El extremo delante no está biselado para funcionar como borde cortador. El escudo constituye el elemento estructural básico al cual todos los demás componentes se le adicionan. Todos los componentes se ubican en el interior del escudo y su exterior proporciona una superficie lisa sin obstrucciones, al avanzar a través del terreno. El escudo está provisto con una mampara-estanca, que forma una cámara para mezclado de lodo.

Se instalan en el escudo los siguientes sensores de instrumentación:

- Posición de las compuertas de ranura de la cabeza cortadora.
- Presión del aceite en los gatos de las compuertas -

de ranura.

- Posición de los gatos de empuje.
- Presión del aceite en los gatos de empuje.
- Posición de giro de la cabeza cortadora.
- Posición de los gatos que avanzan la cabeza cortadora.
- Presión del aceite en los gatos que avanzan la cabeza cortadora.
- Inclinación del escudo.
- Giro del escudo.
- Presión en la cámara de lodos.

Gatos de empuje del escudo.

Se instalan gatos igualmente espaciados, alrededor de la circunferencia interna del escudo.

La camisa de los gatos se aloja en el escudo y el pistón con su zapata, se apoyan en las dovelas de concreto.

Durante la operación, los gatos de avance se extienden empujando el escudo hacia adelante y reaccionando contra las dovelas de concreto.

Cuando llegan al extremo de su carrera, se retraen por grupos o individualmente, para facilitar la instalación del revestimiento primario.

La carrera de los gatos de empuje y la velocidad de avance del escudo se miden continuamente, desde el panel de control central. De igual manera, ocurre con la presión de aceite en los gatos.

Todos los controles de los gatos, se localizan en un tablero de control del operador, quien además controla la velocidad de avance.

Gatos de la cabeza cortadora.

Se han diseñado gatos para ejercer una presión de sostenimiento contra el frente del túnel, así como también para hacer avanzar la cabeza cortadora, durante la fase de excavación. Estos gatos se instalan entre la estructura del escudo y el extremo posterior de la flecha de la cabeza cortadora, teniendo una carrera de + 30 cm.

La carrera de los gatos del cortador y la presión de empuje es continuamente registrada e indicada en el panel de control.

Sistema accionador de la cabeza cortadora.

La cabeza cortadora está montada en una flecha -- que rota sobre chumaceras de bronce y además se des^{pl}aza axialmente. La rotación de la cabeza cortadora se proporciona por motores que hacen girar un engrane --- maestro, el cual hace girar a la flecha. El avance de la cabeza cortadora, se logra mediante gatos de empuje.

Los cojinetes sobre los que gira y desliza longitudinalmente la flecha de la cabeza cortadora, tienen lubricación forzada. El sistema de lubricación forzada, proporciona además, una presión positiva en los sellos de la flecha para evitar entrada de material extraño en los baleros.

Los motores eléctricos transmiten su fuerza mediante embragues de aire. El sistema de embrague permitirá arrancar los motores sin carga, uno a la vez, y --- cuando los cuatro están funcionando.

Los cuatro embragues se accionan para transmitir el par a la cabeza cortadora.

Los motores de la cabeza cortadora son reversibles, a fin de auxiliar la corrección de giros del escudo.

Guía y control del escudo.

Cuando el escudo ha girado en el subsuelo hasta su límite tolerable, según se verá en el indicador de giro, éste debe corregirse. Esto se realizará, invirtiendo el giro de la cabeza cortadora y aplicando el par de corte, al accionar el embrague neumático. Al corregir el giro, el sentido de rotación de la cabeza cortadora regresará a su posición normal, para continuar la excavación.

Los gatos de empuje se emplean para hacer correcciones de pendiente y alineamiento durante las operaciones de tunicado. Esto se realiza, ajustando la velocidad de extensión de cada grupo de gatos de empuje. Lo cual obliga a un lado del escudo a avanzar más aprisa que el otro, resultando con ello un cambio en la alineación. La pendiente y el alineamiento del escudo, se registra continuamente, mediante sistema laser o con métodos convencionales de topografía.

b) SISTEMA DE LODOS.

El flujo general de lodo bentonítico es del tanque de mezclado a la bomba P_1 , pasando por un medidor de flujo de suministro, un medidor de densidad y la válvula reguladora de presión de suministro, hasta llegar a la cámara del cortador. La descarga se realiza desde la cámara del cortador, pasando por la válvula reguladora de presión de descarga, el medidor de densidad en la descarga, la bomba de descarga P_2 , las bombas intermedias P_n , el medidor de flujo en la descarga

y retornando al tanque para descarga de lodos.

Un sistema bypass se instala para arranque inicial del sistema de lodos, paro de emergencia y paro total del sistema de circulación de lodos. Cuando se usa el sistema de bypass, no se envía lodo a la cámara del -- cortador y circula en un circuito cerrado.

Para entender el sistema de circulación de lodos, es necesario hacer la siguiente descripción de los componentes, así como su interacción para formar dicho -- sistema:

1. Bomba P1.

Esta bomba es de suministro y tiene la rama - de succión conectada al tanque de lodos. La rama de descarga está conectada a la tubería de sumi - nistro de lodos.

La unidad de bombeo consiste de un motor eléctrico, de velocidad constante, conectado a la bomba por un acoplamiento de velocidades variable ó embrague.

Las revoluciones de la bomba pueden variarse, cambiando la corriente eléctrica al acoplamiento. El acoplamiento se desliza en proporción a la corriente aplicada. Un acoplamiento ó caja de control eléctrico de la bomba, está montado en la armadura de la bomba. La flecha de la bomba mueve un tacómetro que genera una señal eléctrica, para usarse en el control de la velocidad de la bomba y dar una indicación visual en el medidor del tablero.

2. Bomba P2.

Esta es la bomba de la tubería de descarga.

La bomba, el acoplamiento, el motor y la descripción para el control de la velocidad, son --- idénticos a la bomba P_1 .

3. Bombas intermedias P_n .

La descarga del sistema de circulación requiere bombas de inyección secundaria o impulsoras, debido a la carga y longitud de la línea de retorno, además de la densidad más alta del lodo de -- descarga. El diseño de las bombas impulsoras prevé un máximo de 5 en la tubería de descarga, que puede llegar a longitudes de 1.5 km. por la distancia entre las lumbreras y la separación de los tanques almacenadores a la lumbrera de operaciones.

Todas las bombas intermedias son de una sola velocidad fija.

4. Medidores de flujo.

Los medidores de flujo y descarga son idénticos; para propósitos de descripción, son electromagnéticos y operan en base al principio de inducción de Faraday. El flujo de lodo pasa a través de dos bobinas energizadas por un campo magnético de corriente alterna. El flujo de lodo desarrolla una fuerza electromotriz (voltaje) que es detectada por sensores. El voltaje generado es proporcional a la velocidad del lodo y debe ser amplificado a través de un amplificador diferencial. Después de ser amplificada y rectificada, la corriente de salida es una señal de corriente directa proporcional a la velocidad del flujo.

5. Medidores de densidad.

Los medidores de densidad para el suministro y descarga, también son idénticos; para propósitos de descripción, los medidores de densidad operan en base al principio de una señal ultrasónica reducida en su intensidad por la presencia de sólidos en suspensión. El incremento de sólidos en suspensión, tiene un efecto reductivo mayor en la señal, que el debido a disminuir los sólidos en suspensión. Transductores eléctricos, uno transmisor y el otro receptor, están montados directamente opuestos uno del otro.

La señal de la corriente de salida del medidor de densidad es generalmente en miliamperes y debe ser procesada electrónicamente, para ser aplicada al control.

6. Presión de lodo en la cámara del cortador.

Esta presión es medida por un transductor de presión, que transmite la señal eléctrica resultante como voltaje.

7. Presión de lodo de suministro.

Esta presión es medida por un transductor de presión, que transmite la señal eléctrica resultante como un voltaje.

Durante la operación del sistema, se persiguen los siguientes objetivos:

- Contener las presiones de tierra e hidrostáticas de la cara del túnel. Una presión del lo

do debe mantenerse en la cámara del cortador a un valor constante, en conjunto con la presión de la cabeza cortadora.

- El lodo suministrado más el agua y materiales excavados, son retornados mediante bombeo hasta la superficie, sustituyendo un sistema convencional de rezaga y manto de material excavado.
- La presión de lodo que se necesita mantener en la cara, es controlada por las revoluciones de la bomba de suministro en relación a las revoluciones de la bomba de descarga. La presión se incrementa al aumentar las revoluciones de la bomba de suministro, arriba de las de la bomba de descarga. La operación contraria es para reducir la presión de la cámara.
- La presión de la cámara podrá también incrementarse, en función de la relación de descarga del material excavado. El monto del flujo de descarga del material excavado, será más grande que el monto del flujo de suministro. Esto se usará más tarde en la instrumentación para determinar el volumen excavado. Por ejemplo: la diferencia entre los flujos de suministro y descarga, es aproximadamente igual al volumen de excavación.

c) SECUENCIA DE OPERACION.

- 1.- Conectar el interruptor de energía eléctrica. La energía de los tableros permitirá operar los controles.

- 2.- Arrancar el compresor de aire. Oprimir el botón del arrancador. El compresor arrancará y llenará el tanque con aire comprimido. El compresor trabajará en vacío, cuando se cierre el interruptor de presión de aire al tanque.

Cuando la presión del tanque está en el punto de trabajo, el interruptor de presión se cerrará y activará dos válvulas selenoides que se operan neumáticamente y que además, cierran las válvulas reguladoras de suministro y descargas de lodos y abren la válvula de lodos del bypass.

- 3.- Arrancar la bomba P₁ de suministro.
- 4.- Arrancar la bomba P₂ de descarga.
- 5.- Arranque de las bombas intermedias P_n.
- 6.- Si alguna bomba no arranca ó se para debido a una falla, todas las bombas se pararán.
- 7.- Todas las bombas trabajando. La presión en la camara del cortador es estable, indicada por el sensor de presión en el frente y la estabilización - del flujo se indica con los medidores de flujo. - Esta condición se ajusta manualmente, variando -- las revoluciones de las bombas P₁ y P₂, según se necesite.
- 8.- Interruptor para el control automático de la circulación de lodos. El circuito automático de medición de flujo es accionado. Las bombas P₁ y P₂ pasan del modo manual al de control automático, - con velocidad variable.

El sistema automático está en la posición de ordenar y ajustará la presión de lodo de suministro (revoluciones de la bomba), para igualar la presión de lodo en la cara.

- 9.- Estabilización de la presión y flujo. El sistema está listo para pasar del modo bypass a una total circulación. El sistema de circulación está en modo automático.
- 10.- Cierre de la válvula bypass. Con esto, se inicia la siguiente secuencia: Conforme la válvula del bypass se cierra, se incrementa la presión en la línea de suministro, debido al cambio del orificio de la válvula.

Cuando la presión de suministro (detectada por el transductor de presión en la línea de suministro), es igual a la presión de la cámara (detectada por los transductores de presión en la cámara), la válvula neumática de solenoide, que suministra aire comprimido a la válvula de suministro, actuará u abrirá la válvula de suministro. La válvula de solenoide también energizará un timer. -- Después de un cierto lapso, una válvula solenoide neumática que controla la válvula de descarga, -- abrirá dicha válvula.

- 11.- El sistema de lodos está ahora listo para la excavación.
- 12.- Durante la excavación. Sistema de lodos en automático (operando en modo de circulación).

El escudo ha avanzado y el cortador está girando y avanzando. El flujo de descarga es mayor

que el de suministro. La diferencia se detecta con los medidores de flujo, se compara y la computadora calcula y muestra en el tablero el volumen excavado.

Los siguientes indicadores del tablero están trabajando:

- Volumen excavado
- Volumen de excavación por unidad de tiempo.
- Relación presión de lodo de suministro / Presión de lodo en la cara cortadora.
- Revoluciones por minuto de la bomba p1
- Revoluciones por minuto de la bomba p2
- Concentración (densidad) de lodo de suministro.
- Concentración (densidad) de lodo de descarga.
- Relación de flujo de lodo de suministro.
- Relación de flujo de lodo de descarga.
- Presión de lodo en la cámara del cortador.
- Registro de los siguientes datos:
 - Volumen de excavación
 - Densidad del lodo de suministro
 - Densidad del lodo de descarga
 - Relación de flujo del lodo de suministro
 - Relación del flujo del lodo de descarga

d) CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DEL ESCUDO

El diseño de un escudo cortador incorpora una serie de características que contribuyen a cumplir ciertas condiciones para el correcto funcionamiento del mismo. Estas características se resumen a continuación

- 1.- El borde cortador del escudo, se proyecta en un mínimo de 30 cm. adelante de la cabeza cortadora y alrededor de su periferia.

El objetivo de esto es hacer mínimo el remoldeo del suelo, adelante y alrededor del escudo -- por la acción de la cabeza cortadora. Se busca -- con ello aplicar el principio del muestreo inalterado, mediante tubos de pared delgada. Por lo -- tanto, el borde cortador se hincará en el suelo -- prácticamente inalterado y la cabeza cortadora -- operará bajo la protección del borde cortador, -- auxiliando con ello el control de la excavación, con las ventajas y desventajas siguientes:

- a) Al hacer mínimo el remoldeo en el borde cortador, será más fácil guiar el escudo.
- b) Si el remoldeo exterior al escudo se hace mínimo, se tendrá una mejor redistribución de cargas y deformaciones sobre el revestimiento primario.
- c) El borde cortador contribuirá a formar un tapón de arcilla, el cual actuará como sello, -- para restringir la pérdida del fluido a presión.
- d) El borde cortador cortará y confinará las -- grietas, transversales angostas, que se encuentran en la trayectoria del escudo, antes de que la cabeza cortadora y el lodo lleguen. Esto reducirá las pérdidas de presión y los -- ajustes subsecuentes en el fluido, por efecto del llenado de grietas.
- e) Una desventaja es que la longitud del escudo se incrementa en 30 cm., lo que a su vez ----

umenta la fricción lateral y la dificultad -
de la guía del equipo.

- f) La cabeza cortadora no puede utilizarse para cortar el material duro, ya que éste debe ser penetrado primeramente por el borde cortador del escudo.

2.- La cabeza cortadora no está fija al escudo, sino que tiene deslizamiento longitudinalmente, durante la excavación. Se busca con ello separar las actividades de empuje guía del escudo, de la excavación, además de proporcionar soporte mecánico - y/o hidrostático del frente, en todo momento. El avance normal del escudo cortador, alterna el empuje del escudo con la excavación de la cabeza -- cortadora.

- a) Si en un determinado momento no se requiere - soporte total del frente, el dispositivo de - retracción permite disminuir la fuerza de empuje de la cabeza cortadora, para excavar sue lo duro, ubicado dentro del borde cortador.

La reducción de fuerza de empuje hace -- más eficiente el par motor disponible, que de otra manera, se mermaría por fricción.

- b) El independizar excavación y empuje, mejora - el control de guía.
- c) El control de excavación se mejora y por lo - tanto, el remoldeo del suelo adelante de la - cabeza cortadora se hace mínimo.
- d) El control del volumen excavado también se me jora.

- 3.- El suelo que pasa a través de las aberturas de la cabeza cortadora, se controla mediante compuertas de ranura. El objetivo es permitir el control de la excavación y soporte mecánico de las aberturas, cuando ello se requiere.
- a) Las compuertas de ranura funcionan como puertas con resorte, para controlar el volumen de suelo que entra en la cámara de lodos a través de la cabeza cortadora.
 - b) Las compuertas de ranura pueden cerrarse durante paros prolongados y en condiciones de emergencia proporcionan soporte mecánico total de frente.
- 4.- El escudo cortador será guiado mediante operación de los gatos de empuje por cuadrantes, apoyados en el adame primario.
- Para avanzar el escudo cortador, el operador seleccionará la velocidad de empuje y las presiones de los gatos se ajustarán a tal velocidad. El avance de los gatos será registrado con sensores, a fin de proporcionar información para la operación de guala.
- 5.- El mecanismo de transmisión para la cabeza cortadora, proporcionará el par necesario para arrancar y hacer girar dicha cabeza, al mismo tiempo que mantiene la presión de soporte simple y confiable, con selección opcional de dos velocidades de operación.
- 6.- El escudo cortador tendrá un erector para instalar dovelas de concreto en tiempo mínimo. El erec

tor tendrá capacidad para remplazar los segmentos del segundo anillo ubicado dentro del faldón, si es que se daña durante el avance.

- a) Puesto que el anillo erector tiene su centro hueco, no habrá interferencia con las tuberías de lodo del escudo y las líneas hidráulicas y eléctricas.
- b) La operación del anillo erector, se hará con un control portátil de mano, para facilitar la visión y seguridad del trabajo.

7.- Los sistemas hidráulicos individuales se proponen para agitadores del lodo, gatos de empuje, gatos de la cabeza cortadora, gatos de las compuertas de ranura y erector de dovelas.

8.- El sistema de circulación de lodos proporcionará la presión continua necesaria para estabilizar el frente, además de retirar el suelo cortado de la cámara de lodos, a suficiente velocidad para que el escudo alcance su rendimiento de diseño.

- a) El lodo de baja densidad puede recircular por el frente o ser desviado por la ruta alterna (bypass) que no pasa por la cámara de lodos, según los requerimientos de operación del escudo cortador. La ruta alterna se utiliza -- siempre que la cabeza cortadora no se encuentre excavando.
- b) El lodo de baja densidad se mezcla con el suelo, que entra a la cámara de lodos, a través de las ranuras de la cabeza cortadora; durante la fase de excavación es agitado por aspas

situadas en el reverso de la cabeza cortadora y por cuatro licuadoras. La mezcla resultante se retira por bombeo de la cámara de lodos, como un lodo de alta densidad.

- c) La circulación del lodo se acciona por una -- combinación de bombas de velocidad variable y constante, ubicadas en superficie, sobre el - tren de arrastre, a lo largo del túnel y en - la lumbrera.
- d) En la superficie, el lodo de alta densidad es sedimentado y el excedente ligero se rebombee al túnel, después de añadirle agua y reacondi cionarlo; el excedente pesado se elimina.

9.- Es necesario agitar y mezclar suelo y lodo para - lograr una mezcla bombeable. La agitación se logra con las aspas de la cabeza y las 4 licuadoras de operación independiente, situadas en la base - de la cámara de lodos.

10.- Se proporcionará un sistema semiautomático de observación y control para asegurar la estabilidad continua del frente, realizar la máxima velocidad de avance y asegurar la confiabilidad del escudo.

- a) Es vital conservar la presión del lodo para - soportar el frente y controlar la excavación. Por lo tanto, esta función es semiautomática para evitar pérdidas de presión inadvertidas, que pudiesen provocar inestabilidad del suelo.
- b) Las funciones de operación serán observadas y controladas para asegurar que el volumen del suelo excavado, sea siempre igual con el volum

men teórico avanzado, para evitar:

- Sobre excavación, que provocaría inestabilidad del frente, con posibilidad de crear -- asentamientos en superficie.
 - Infra excavación, que provocaría esfuerzos de compresión en el suelo, su consecuente - remodelado y nuevamente inestabilidad del fren te, propiciando que se pueda bujar el terre no.
- c) El sistema de circulación de lodo y las fun - ciones de guía, serán observadas y exhibidas en una consola central ubicada en superficie. Ahí, una computadora calculará continuamente los volúmenes, excavado y avanzado, indicando además los pasos a seguir para corregir las - diferencias observadas, ajustando la velocidad de avance de la cabeza, las compuertas de ran - nura ó la presión del lodo.
- d) Todos los controles directos de guía, estarán en la cabina del operador ubicada en el tren de arrastre.

11.- Se han seleccionado tres modos alternativos de ope - ración para hacer avanzar el escudo.

- a) La operación normal requiere ciclos alterna - dos de empuje y excavación para máximo rendi - miento y control de guía.

Avances de empuje y excavación de 30 cm. se alternarán hasta lograr un avance total de 1.15 m., requerido por el ancho de las dovelas

de 1.00 m., después de lo cual éstas serán -- instaladas.

- b) Si las condiciones del suelo lo permiten, el escudo puede también operar empujando y excavando, simultáneamente.

En esta condición, la proyección del borde de cortador adelante de la cabeza de corte -- puede mantenerse entre 30 y 60 cm. para lograr las condiciones más ventajosas de avance. La velocidad de avance se limitará a la capacidad del sistema de lodos.

- c) Bajo condiciones de emergencia, cuando se vuelve necesario ejercer presiones mayores de las normales, el sistema hidráulico de alta presión de 700 Kg/cm², puede entrar a operar y así se duplicará la capacidad de empuje. Bajo estas condiciones, la velocidad de avance será de 4 cm/min.

- 12.- El revestimiento primario se tendrá con empaques para permitir inyección inmediata de los anillos al salir del faldón del escudo.

La inyección se requiere para proporcionar interacción entre el suelo y el revestimiento.

- 13.- Se requiere un tren de arrastre para proporcionar espacio para el montaje del equipo, así como para la línea de suministro de dovelas, la cabina del operador, el equipo eléctrico e hidráulico, los recipientes de aceite para el sistema hidráulico, la instrumentación y controles mecánicos, las bombas de lodos, el sistema de ruta alterna (bypass),

Las válvulas, las bombas de inyección, sus tanques de almacenamiento y el sistema de recirculación.

14.- El soporte de emergencia del frente a base de aire comprimido, permitirá acceso a la cámara de lodos y al frente, bajo condiciones extraordinarias, cuando esto se requiera. Tal acceso puede realizarse mediante:

- a) Cerrar las ranuras de la cabeza cortadora y -- mantener la presión contra el frente.
- b) Reemplazar el lodo en la cámara de lodos por aire comprimido, a la presión requerida por estabilidad.
- c) Abrir las compuertas de las ranuras y hacer retroceder la cabeza cortadora, si se requiere.
- d) Entrar en la cámara de lodos a través de una de las dos esclusas de personal, ubicadas en la mampara principal.
- e) Entrar al frente, por una de las dos puertas - ubicadas en la cabeza cortadora.

El aire comprimido será proporcionado por un compresor portátil de baja presión, situado dentro del túnel ó tubos conectados a una planta de aire.

Concluyendo, en comparación con los métodos conocidos para la construcción de túneles en los suelos blandos, el uso de escudo cortador con frente presurizado por lodos, es el más adecuado en la actualidad en la Ciudad de México, puesto que ofrece seguridad en el ---

frente de excavación, reduce la plantilla de personal y sus instalaciones son mínimas, además de que la productividad en el túnel es considerablemente mayor. El uso de equipos electrónicos en la construcción de túneles - hacen de este método un sistema prácticamente automatizado, reduciendo aún más la posibilidad de que ocurran equivocaciones de carácter humano.

A continuación describimos las características técnicas del escudo utilizado en la perforación del Interceptor Centro-Centro del Sistema de Drenaje Profundo.

- a) **Cuerpo del escudo.** - Es un cilindro metálico de 6.24 m. de diámetro exterior, 7.30 m. de largo y espesor variable de la placa entre 40 y 60mm. En su interior se alojan los principales elementos que componen el equipo.

Cabeza cortadora, cámara de mezclado, --- transmisión de la cabeza cortadora, gatos hidráulicos de empuje y anillo erector de dovelas.

A la parte posterior de éste, al igual -- que en todos los tipos de escudo, se le conoce como faldón, lugar en donde precisamente se ensamblan las dovelas de concreto precoladas - que formarán el revestimiento del túnel.

Además, en su parte posterior, se localizan tres sellos (uno de cerdas de alambre y -- dos de hule natural) que hacen posible realizar la inyección de contacto entre dovelas y terre no natural, conforme avanza la excavación.

- b) **Cabeza cortadora.** - Es un disco metálico, situado al frente del escudo que tiene dos funciones

principales; la primera, dar el soporte mecánico al suelo para mantenerlo estable, lográndose esto con la ayuda de un gato que se aloja en la flecha hueca de la transmisión, cuya capacidad es de 250 ton. y tiene una carrera de 40 cm.; la segunda, es la de efectuar el corte del suelo ó excavación propiamente dicha, para lo cual cuenta con 24 ranuras (ventanillas) provistas de dientes cortadores, estratégicamente ubicadas que pueden ser abiertas a voluntad.

Para que la cabeza pueda efectuar el co te, la transmisión le proporciona un to que md ximo, pudiendo hacerla girar en ambos sentidos a razón de 0.6 ó 1.0 r.p.m.

- c) Cámara de mezclado.- Esta se delimita por la cabeza cortadora y una mampara metálica, en cuyo interior se alojan dos agitadores que giran hasta 50 r.p.m. haciendo que el suelo excavado se integre al lodo suministrado. Para auxiliar a los agitadores en esta actividad, el cortador cuenta con paletas metálicas en su parte posterior.

La mampara metálica está diseñada para soportar 3.0 Kg/cm^2 de presión y tiene dos -- puertas de inspección, así como inclinómetros para medir el giro y pendiente de la máquina.

- d) Transmisión.- Su función es la de transmitir el to que md ximo al cortador, contando para esto con ocho motores eléctricos de 30 KW.
- e) Gatos de empuje.- Son los encargados de regu-

lar el avance al momento de la excavación, -- apoyándose en las dovelas correspondientes al último anillo colocado. En este equipo se cuenta con 24 gatos de 120 ton. de capacidad cada uno y 1,150 mm de carrera, distribuidos en to do el perímetro del mismo.

- f) Anillo erector.- Este dispositivo se utiliza para el montaje de las dovelas y tiene la posibilidad de acoplar, deslizar, girar y colocar las dovelas en su posición.
- g) Tren de equipo.- Dentro del túnel, inmediatamente atrás del cuerpo del escudo, van siendo remolcados por este mismo, los equipos auxiliares, fundamentales para su operación, siendo: cabina del operador, unidades de potencia hidráulica, unidad neumática, sistema de válvulas (bypass), cabina de equipo eléctrico, - cabina TC/TH (Telecontrol y Telemetría), bomba de descarga de lodos, transformador de corriente eléctrica, almacenamiento de cable -- eléctrico y finalmente las tuberías telescópicas.
- h) Sistema de lodos.- Tiene el doble propósito - de soportar el frente de la excavación, al -- mismo tiempo de remover el lodo mezclado de -- la cámara.
Esto se realiza con la bomba centrífuga P 1 - (suministro de lodo) de 45 KW, velocidad variable y gasto máximo de 3.4 M³/min., la P 2 (descarga de lodo) de 75 KW, velocidad variable y gasto máximo de 3.4 M³/min., y las bombas P₃, P₄ y P₅ de 45 KW con velocidad constante y gasto máximo de 3.4 m³/min.

i) *Cabina central de control.*- Tiene como principal finalidad suministrar la información de -- los parámetros que se manejan al momento de la excavación, para lo cual cuenta con 20 regis -- tradores de funciones específicas, además de -- controlar la circulación de lodos.

IV.3 OTROS TIPOS DE ESCUDOS

El riesgo principal durante la excavación de un túnel en formaciones arcillosas, es la posible extrusión o invasión del terreno por cualquier resquicio que exista, en especial en el frente de excavación. Una variación en los escudos para contrarrestar este problema ha sido del escudo con frente enrejillado, que da soporte a la arcilla por apoyo directo.

Una serie de compuertas o ventanas en el enrejillado permiten el ingreso controlado del material a una tolva dentro del escudo, donde se desmenuza y se licúa para enviarlo al exterior por vía hidráulica.

Este tipo de escudo, de 4 m. de diámetro, se usó para excavar algunos de los colectores del centro y oriente de la ciudad de México, a profundidades entre 12 y 15 m.

Otro escudo también muy utilizado, de casi 3 m. de diámetro, es uno con frente provisto de brazos cortadores oscilantes en forma de paletas, tres superiores y tres inferiores, que aparte de cortar el material mediante dientes, se apoyan contra el frente y parcialmente lo sostienen.

Este tipo de escudo ha sido utilizado también en túneles poco profundos, como han sido varios sifones o desvíos construidos para dejar paso libre a la obra del metro.

El revestimiento más utilizado con este tipo de escudo, ha sido a base de dovelas de placa de acero acostilladas, en tanto que para el de frente enrejillado, han sido dovelas de concreto unidas a hueso y separadores de acero.



F O T O I V . 1



FOTO IV.2

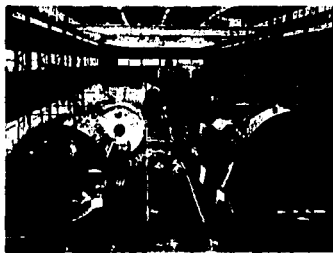


FOTO IV.3

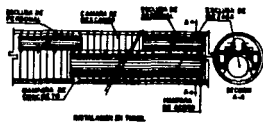
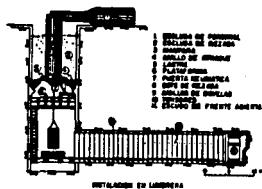


FIG. 1V.2.



FOTO IV.4

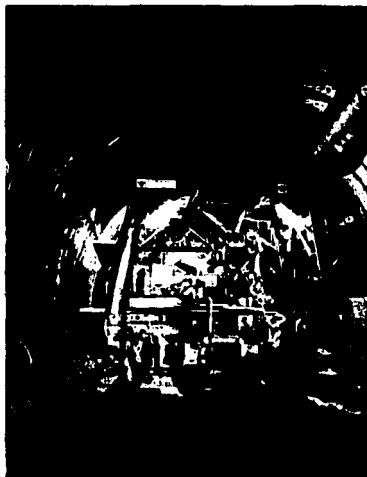


FOTO IV.5

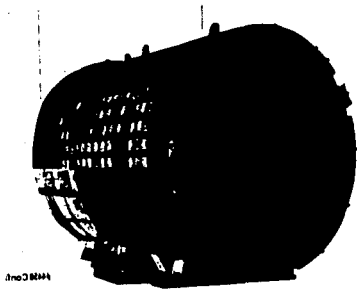


FOTO IV.6

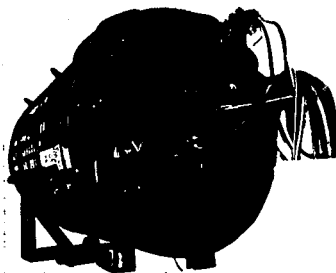
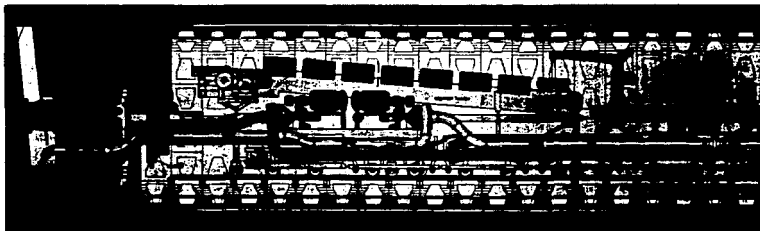


FOTO IV.7



F O T O I V . 8



FOTO IV.9

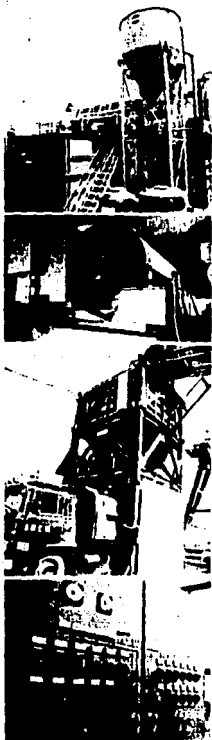


FOTO IV.10

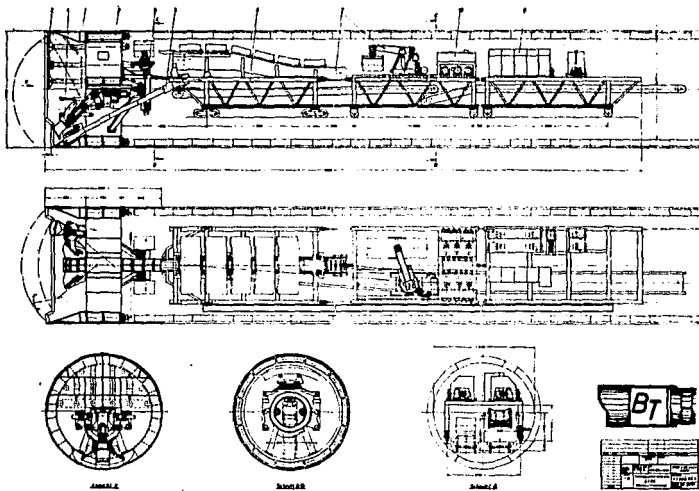


FOTO IV.11

CAPITULO V

V.- DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO EMPLEANDO ESCUDO CORTADOR DE FRENTE PRESURIZADO.

V.1. Antecedentes:

Al tratar de excavar un túnel en cualquier tipo de terreno sea éste duro, semi-duro ó blando, se nos presentan diferentes obstáculos que tendremos que librar para lograr -- nuestro objetivo. La excavación de túneles en suelos duros y semi-duros se puede hacer de una manera relativamente sencilla gracias a las técnicas que se han podido desarrollar -- para este fin, como son el uso de explosivos, el uso del método Austriaco ó sea con el empleo de marcos y concreto lanzado, etc. en cambio en suelos blandos la excavación de los túneles se hace más compleja debido a la inestabilidad que por su propia naturaleza posee este tipo de suelos.

En los suelos blandos es precisamente donde se encuentra ubicado el Interceptor Centro-Centro por lo que para la excavación del mismo se tuvieron que emplear las técnicas -- más avanzadas en cuanto a excavación de túneles se refiere, ya que se presenta el gran problema de liberar el soporte natural del frente para poder avanzar con la excavación del túnel, lo cual impone una condición de inestabilidad del mismo, pudiendo llegar al extremo de producir una falla por extrusión. [Fig. V.1]

Hasta el año de 1986 la construcción de túneles en suelos blandos se consideraba viable únicamente utilizando escudos de frente abierto, auxiliados con aire comprimido.

Pero cuales eran las grandes desventajas que imponía -- la utilización de este método.

- 1.- La construcción de instalaciones en superficie sumamente costosas y tardadas.
- 2.- El personal trabajando en un ambiente hiperbárico a una presión no menor a 1.2 Kg/cm^2 , lo cual implica tiempos de descompresión muy largos y de alto riesgo.
- 3.- Los asentamientos en superficie, que con la utilización de este método no son de ninguna manera -- despreciables.
- 4.- Los bajos rendimientos obtenidos con la utilización de este método.
- 5.- Los grandes costos que la utilización del método implica.

Luego entonces surge el principio de la "estabilización frontal a base de un fluido a presión", cuyas metas fundamentales son las siguientes:

- a). Tener la capacidad de excavar suelos inestables.
- b). Que no altere la posición del nivel freático.
- c). Que se permita al personal trabajar a la presión atmosférica normal.
- d). Que se provoquen asentamientos mínimos en superficie.

En base a una investigación a nivel mundial se concluyó que todo lo anterior se logra mediante el uso de un escudo con frente presurizado por medio de lodos (Slurry Shield), el cual, como herramienta de tuneleo ha sido posiblemente - el avance más notable en los métodos de excavación de túneles en suelos blandos. (Fig. V.2)

Debido a la localización del proyecto en la zona lacustre del Valle de México donde las arcillas alcanzan más del

300% del contenido natural de agua y resistencia al corte-- del orden de 2.0 Ton/m² fué necesario poner en funcionamiento un escudo cortador de acción estabilizadora frontal de 6.24 m. de diámetro exterior y 7.30 m. de longitud con 24 - gatos de empuje, capaces de aplicar una presión máxima en conjunto de 2,880 toneladas.

V.2 Construcción de Lumbreras.

La estructura por medio de la cual se extraera el material producto de la excavación del túnel, así como proveer - al mismo de los insumos necesarios (materiales, dovelas, equi pòs, etc.) es lo que se llama lumbreira, la cual en términos reales se puede definir como un túnel vertical, generalmente de forma cilíndrica.

La construcción de las lumbreras puede ser realizada de distintas formas, dependiendo de la naturaleza del terreno y de la profundidad que se deba alcanzar. Para este caso, el procedimiento elegido es el llamado "Método de flotación", - desarrollado completamente por la tecnología mexicana del Ingeniero Jorge Cravioto Navarrete.

El principal problema por solucionar para el empleo de este método es el evitar la falla de fondo, lo cual se logra con el empleo de lodo bentonítico como medio de contención - del fondo y paredes de la excavación.

Durante la construcción propiamente de la lumbreira, el siguiente problema sería la inmersión de la misma en el lodo bentonítico, lo cual se logra aplicando los principios de - flotación de Arquímedes, lo que a la letra dice: "Todo cuerpo sumergido en un líquido experimenta un empuje vertical -- ascendente igual al peso del volumen del líquido desalojado" (Fig. V.3) condición que se aprovecha para construir sobre - un tanque de flotación la losa de fondo, así como para des - plantar los muros de la lumbreira e ir colocándolos paulatina mente conforme va sumergiéndose en el lodo bentonítico, cabe señalar que debe balancearse adecuadamente el peso del concreto, en cada colado con la capacidad de flotación de la es -- tructura, incluyendo la propia lumbreira y auxiliada con aire comprimido al inicio.

Este proceso de inmersión implica analizar el estado de .

equilibrio que guarda el cuerpo flotante en todo momento para evitar que tienda al volteamiento y con ello se presente un desplome en la verticalidad de la lumbrera, ya que por su geometría cilíndrica invertida permanece en estado de flotación inestable durante los primeros colados y que paulatinamente se convierte a estable conforme avanza su construcción (Fig. V.4)

Llega un momento en el proceso de colados en que la propia lumbrera tiene mayor capacidad de flotación que su propio peso y ya no es posible seguir sumergiéndola, por tal motivo debe ser lastrada para incrementar dicho peso, generalmente vertiendo en su interior agua o el mismo lodo bentonítico desalojado.

A continuación describiremos las actividades constructivas de acuerdo a la cronología de ejecución:

- a) Brocales.- Con el fin de iniciar la excavación de la lumbrera, será necesario como primer paso la construcción de una estructura de contención que permita el libre tránsito en las inmediaciones de la excavación sin poner en peligro las máquinas que se encuentran trabajando, esta estructura la constituye el brocal de lo que será posteriormente la lumbrera.

Para esto sobre el terreno se trazan dos circunferencias concéntricas que delimitarán el brocal exterior, también se hace el trazo del brocal interior, a continuación en ambos brocales se traza un polígono.

La excavación requerida para la construcción del brocal exterior, así, como un armado típico del mismo se muestra en la figura V.5

Una vez terminada la excavación de los brocales

tanto interior como exterior, respetando el polígono trazado con anterioridad, se procede a colocar el armado respectivo dejando las preparaciones necesarias para los trabajos complementarios.

Al finalizar el armado del brocal exterior se -
procede a colocar la cimbra de modo tal que se mar -
quen perfectamente los vértices del polígono, una vez
colocada la cimbra se cuela primero una sección del brocal y
posteriormente la otra, en igual forma se hace para
el colado del brocal interior. En el núcleo que quedó
sin colar se hace un recipiente para almacenar lo
do bentonítico, el cual será utilizado posteriormen -
te.

- b) Perforaciones secantes.- El siguiente paso será lle -
nar de lodo bentonítico el recipiente del centro así
como el hueco que quedó entre los brocales; posteriormen -
te se procede a enumerar los vértices del polígono
como se aprecia en la figura V.6, para identi -
ficar las perforaciones gulas de aprox. 0.60 m. que se
llevarán a cabo a una profundidad de 4.00 mts., por
abajo del lecho inferior de la losa de fondo.

La secuencia de las perforaciones será empezado
primero por la de los vértices impares, continuándose
por los pares a la misma profundidad y de las mis -
mas dimensiones (0.60 m. Ø) ademandose las paredes -
de las perforaciones con lodo bentonítico, las perfo
raciones se hacen con el fin de que sirvan de gula -
al equipo que se encargará de excavar toda la zanja
perimetral.

- c) Excavación de trinchera.- Al terminar de hacer las -
perforaciones secantes, se procede a excavar la zona
perimetral delimitada por ambos brocales, en forma -

similar a las perforaciones se excavarán los segmentos, es decir, uno si otro no, para luego continuar con los que quedan entre los ya excavados. Estas excavaciones se harán con la utilización del equipo idóneo como pudiera ser el equipo "Casa Grande".

Conforme se va excavando la zanja perimetral de la lumbrera las paredes y piso se ademan con lodo bentonítico. Cuando el material extraído es de buena calidad (arcilla de alta plasticidad) se selecciona para mezclarlo con la bentonita para ahorrar consumo de la misma.

Para conocer la profundidad a la que se encuentra la excavación con el equipo guiado, se cuenta con un dispositivo a base de cable de 1/4" de \varnothing con alma de nylon y provisto de un contra-peso en la punta, el cable se encuentra marcado a cada 5 mts., para de esa forma conocer la profundidad a la cual se excava.

- d) Excavación de núcleo.- Cuando se ha terminado de --- efectuar la excavación de la trinchera a la profundidad de proyecto, se procede a demoler el brocal interior para poder de esa manera continuar con la excavación del núcleo o corazón, para cuyo fin se cuenta con un depósito para almacenar la bentonita y poder bombear ésta, hacia la excavación de la lumbrera --- cuando así se requiera.

Para la extracción del material, se instalan -- tolvas a un costado de la lumbrera, con el fin de seleccionar las arcillas que se deberán mezclar al lodo de la excavación a través de licuadoras instaladas en las tolvas.

Una vez terminada la excavación del núcleo, se procede a desmantelar la tolva receptora del material junto con las licuadoras y se hace una limpieza general de la zona de trabajo.

- e) Construcción de estructuras de soporte.- En el alero del brocal exterior se procede a la construcción de las estructuras de concreto que servirán de apoyo a las plumas que se utilizarán para sustentar -- los muros de la lumbrera durante el colado de la -- misma, estas bases se encuentran situadas por parejas y separados 90° entre ellos, tal y como se muestra en las figuras V.7 y V.8, posteriormente se procede a la colocación de unas viguetas de sección -- "I" generalmente de 12", en las preparaciones que -- para tal fin fueron dejadas en el brocal exterior, estas viguetas tienen la finalidad de sostener el -- tanque flotador durante su inmersión, tal como se -- muestra en la figura V.9.
- f) Construcción del tanque flotador.- Paralelamente a la excavación de la lumbrera se realiza la construcción del tanque flotador, la cual se realiza sobre una superficie libre y de fácil acceso a la excavación de la lumbrera. Para la fabricación del tanque será necesario el uso de placa de acero de $1/4"$ y perfiles tipo ángulo generalmente de $2\ 1/2" \times 1/4"$ en las cantidades y dimensiones estipuladas en el plano respectivo. La secuencia en la fabricación -- del tanque será la siguiente:

Sobre una losa de concreto se traza una circunferencia de diámetro igual al proyecto, tomando en consideración los espesores de los muros, esto se -- hace con el fin de que las marcas sirvan como guía

para darle la forma y el diámetro requerido al tanque, posteriormente se procede a colocar en posición vertical las placas de acero roladas y cortadas sobre la circunferencia anteriormente trazadas, las placas se irán punteando con soldadura para formar el tanque circular generalmente de 3.2 m. de altura. Inmediatamente después se hincan varillas de 1" de \varnothing alrededor de la losa, así como varillas radiales soldadas a las paredes del tanque tal y como se aprecia en la figura V.10; en la parte inferior se sueldan al tanque unos dispositivos ("Orejas") que servirán posteriormente para que por medio de un tirfor se le dé la forma circular al tanque, a continuación se sueldan las varillas radiales a las hincadas para dejar el tanque anclado de tal forma que cuando se suelden completamente todas las uniones de placa, el tanque no tienda a deformarse.

A continuación se procede a la colocación por la parte interior del tanque de dos cinturones a base de una estructura de ángulo de 4" x 1/4" colocados uno en la parte inferior y otro en la parte superior.

Con los dos cinturones soldados se procede a contraventear el tanque a base de perfiles tipo ángulo de 4" x 1/4" formando así una retícula, la cual le dará una rigidez al tanque que lo pondrá a salvo de cualquier deformación posterior ya sea durante su manejo en el área de fabricación como durante su uso para la construcción de la lumbrera.

Una vez terminado de contraventear el tanque se procede a colocar una tapa a base de placa de acero de $e=1/4"$, en la cual se encuentran soldadas

dos viguetas de forma H-6" localizadas en los ejes longitudinal y transversal respectivamente y sobre estas viguetas se soldan 4 placas de acero de 1" de espesor de 20 x 20 cm., con un orificio de aproximadamente 2" de \varnothing el cual servirá posteriormente para el manejo del tanque durante su traslado del sitio de su fabricación hacia la zona anteriormente excavada y que se encuentra temporalmente ademada con lodo bentonítico.

Los dispositivos a base de tuberías de los cuales se encuentra provisto el tanque para su funcionamiento, son los siguientes:

- 1.- Cuatro tubos de 2 1/2" de \varnothing localizados en el perimetro exterior del tanque, cuya principal función es la de inyectar a través de ellos las oquedades que pudieran existir entre el terreno natural y el muro de la lumbrera. La longitud de los tubos se incrementará a medida que el tanque se vaya deslizando.
- 2.- La instalación de cuatro tubos de 1" de \varnothing localizados adecuadamente para que en caso necesario se inyecte aire a presión.
- 3.- La instalación al centro del tanque de tres tubos de 2 1/2" de \varnothing , en cuyo extremo de cada uno de ellos se instalará una válvula de globo del mismo diámetro. El fin de estos tres tubos es el de liberar lo más pronto posible el lodo bentonítico y aire -- acumulado conforme se va introduciendo el tanque -- flotador en la excavación ademada con lodo.

Al tanque en su parte exterior se le sueldan 24 cartabones perfectamente rigidizados, cuya localización coincide

con las anclas ó preparaci3n dejadas con anterioridad en el brocal de la lumbrera. Esto es con el fin de dar un mayor soporte para el tanque flotador.

Por último, previo al traslado del tanque al sitio de la excavaci3n se harán unas preparaciones en el brocal de la lumbrera para anclar las 4 plumas que servirán posteriormente para el deslizamiento del tanque, estas preparaciones estarán en la misma direcci3n de las bases de concreto ó -- "Muertos" donde se encuentran localizadas las viguetas I-12" que sostendrán al tanque flotador.

Una vez hecho todo lo anterior se procederá a colocar en el brocal las 24 viguetas tipo I-12" que soportarán al tanque.

Cuando el tanque esta a punto de entrar en contacto -- con el lodo bentonítico de la lumbrera se abrirán las válvulas de los tres tubos de 2 1/2" de Ø localizados al centro del tanque para dejar escapar el aire y así lograr que pueda descender hasta las 24 preparaciones que se pondrán en contacto con las respectivas viguetas radiales.

g) Losa de fondo.- Una vez nivelado y centrado el tanque flotador en su posici3n inicial se prosigue con el armado y colado de la losa de fondo sobre el mismo, al cual en el momento de la primera inmersi3n se le inyecta aire a presi3n en su interior para -- contrarrestar el peso que le trasmite la losa y evitar que se hunda, esta operaci3n es auxiliada por plumas ó malacates perimetrales, anteriormente instalados en el brocal exterior, cuya funci3n es la de mantener la verticalidad y el centrado de la lumbrera durante su construcci3n. (Fig. V.11)

h) Muros.- El armado y colado de la lumbrera se realiza

por tramos y de una manera convencional a base de tarimas de madera y bomba de concreto. Normalmente hay que dejarle preparaciones para conectar los t \dot{u} neles o colectores que confluyen a la lumbrera. Para efectuar la inmersi \acute{o} n de la estructura conforme se van colando sus muros se contin \acute{u} a recurriendo a la inyecci \acute{o} n o extracci \acute{o} n de aire comprimido al tanque flotador, aunque a una profundidad dada es necesario utilizar lastre para poder efectuar la inmersi \acute{o} n de la lumbrera.

- g) Inyecci \acute{o} n de contacto.- Finalmente se efect \acute{u} a la uni \acute{o} n estructural del brocal exterior y las paredes de la lumbrera por medio de una inyecci \acute{o} n de lechada a trav \acute{e} s de los tubos de 1 1/2" de \emptyset dejados con anterioridad. El fin de esta inyecci \acute{o} n es el de desplazar al lodo confinado en el tanque flotador, as \acute{i} como en el espacio comprendido entre la excavaci \acute{o} n y el contorno exterior de la lumbrera.

V.3 Instalaciones de superficie y trabajos previos al inicio de la excavación.

V.3.1 Campamento.

Para llevar a cabo la construcción del campamento se tiene que buscar un predio que cumpla con las dimensiones - mínimas necesarias, (se recomienda un área no menor a 7,000m²) teniendo presente que las afectaciones a los servicios sean los menos posibles.

Dentro de las instalaciones que conforman al campamento se encuentran las siguientes:

- a) Almacén general y patio.- Es el lugar donde se encuentran ubicados los materiales de uso más común para la construcción del túnel como son: refacciones menores del escudo, tornillería para el ensamble de dovelas, sellos para dovelas, material eléctrico para el funcionamiento de los equipos y el mantenimiento de la iluminación tanto en el interior como en el exterior del túnel, almacenamiento de combustibles y lubricantes, maderas y rieles para la instalación de la vía en el interior del túnel, etc.

El área que generalmente se le asigna a un almacén de estas características es de aproximadamente 250 M².

- b) Oficinas Técnico-Administrativas y Supervisión.- En esta zona se encuentran ubicados los siguientes departamentos:

- 1.- Superintendencia General .
- 2.- Superintendencia y Jefatura de Obra.
- 3.- Ingeniería de Frente.

- 4.- Departamento Técnico.
- 5.- Departamento de Estimación.

Esto es por lo que se refiere a la necesidad de espacio en cuanto a la área técnica propiamente. En lo referente a la área administrativa, es de la siguiente forma:

- 1.- Administración general.
- 2.- Departamento de Personal.
- 3.- Departamento de Almacén.
- 4.- Vigilancia.

Es conveniente que durante el diseño de las instalaciones del campamento, las oficinas Técnico-Administrativas queden ubicadas en lugares estratégicos que nos permitan aún estando en el interior de la oficina observar los movimientos que se encuentren realizando en el exterior.

Por lo que respecta a las oficinas de la supervisión, el lugar de su ubicación generalmente lo designa el cliente.

- c) Sub-estación de energía eléctrica.- La designación de la zona donde se ubicará la sub-estación, será un lugar de no fácil acceso para el personal de campo que se encuentre trabajando en la obra - tomando las debidas medidas de seguridad en cuanto a señalizaciones y protecciones necesarias.
- d) Grúa pórtico de 7.50 ton. de capacidad.- La instalación de esta grúa pórtico se hará sobre el brocal de la lumbrera y su ubicación dependerá en mucho de la orientación que se tenga del eje del túnel, así como de la zona de almacenaje de dovelas.

Cabe hacer mención que este es el principal medio de transporte de los materiales y equipos entre la superficie de la lumbrera y el túnel.

- e) *Planta de emergencia y compresores.*- La existencia de una planta de emergencia en una construcción de un túnel es conveniente más no necesaria, ya que al sufrir alguna interrupción en el suministro exterior de la energía eléctrica, las actividades en el interior del túnel se suspenderán necesariamente si no se cuenta con una fuente alternativa de energía, por lo que será necesario contar con los dispositivos de seguridad para el desalojo del túnel en caso de prolongarse la interrupción en el suministro de la energía eléctrica.

La sala de compresores o disponibilidad de aire comprimido está supeditado básicamente al consumo que se tenga tanto en el interior del túnel (por ejemplo para bombeos de achique) como en superficie para el consumo de los talleres.

- f) *Area para talleres.*- Los talleres con los cuales se cuenta, en este tipo de obras son generalmente los siguientes:

- *Taller de carpintería.*- Se encarga básicamente del habilitado e instalación de durmientes y andadores para la vía en el túnel.
- *Taller de electricidad.*- Se ocupa básicamente de prolongar las líneas de suministro de energía eléctrica en el túnel, conforme avanza el escudo.

Cabe hacer mención que este es el principal medio de transporte de los materiales y equipos entre la superficie de la lumbrera y el túnel.

- e) Planta de emergencia y compresores.- La existencia de una planta de emergencia en una construcción de un túnel es conveniente más no necesaria, ya que al sufrir alguna interrupción en el suministro exterior de la energía eléctrica, las actividades en el interior del túnel se suspenderán necesariamente si no se cuenta con una fuente alternativa de energía, por lo que será necesario contar con los dispositivos de seguridad para el desalojo del túnel en caso de prolongarse la interrupción en el suministro de la energía eléctrica.

La sala de compresores o disponibilidad de aire comprimido está supeditado básicamente al consumo que se tenga tanto en el interior del túnel (por ejemplo para bombeos de achique) como en superficie para el consumo de los talleres.

- f) Área para talleres.- Los talleres con los cuales se cuenta, en este tipo de obras son generalmente los siguientes:

- Taller de carpintería.- Se encarga básicamente del habilitado e instalación de durmientes y andadores para la vía en el túnel.
- Taller de electricidad.- Se ocupa básicamente de prolongar las líneas de suministro de energía eléctrica en el túnel, conforme avanza el escudo.

- Taller mecánico.- Se ocupa de lo relacionado al mantenimiento del escudo, así como de los equipos auxiliares.
- Taller de soldadura.- Se encarga del habilitado e instalación de la soportería de las diferentes tuberías que se encuentran en el túnel, así como también de las pequeñas reparaciones y adecuación de instalaciones, tanto en el interior como en el exterior del túnel.

g) Área para la planta de tratamientos de lodos y almacenamiento de agua tratada.- La ubicación de esas estructuras y sobre todo, las dimensiones de las mismas dependerá en mucho de los rendimientos propuestos y la disponibilidad de área para construirlos.

En la figura V.12 se muestra una planta típica de un campamento para la construcción de un túnel por medio de este método.

V.3.2 Estanques y sistemas para el manejo de lodos.

Los estanques para el manejo de lodos se encuentran - localizados en la superficie, donde las dimensiones - de los mismos, como ya se mencionó anteriormente, dependerá de la capacidad de almacenaje que se requiera para lograr su perfecto equilibrio con los rendimientos de excavación que se pretendan.

La función principal de los tanques es la de separar por medio de sedimentación el material producto de la excavación, del lodo que se utiliza en la excavación del frente.

La planta se localiza en un espacio cercano a la lumbraera tal y como se muestra en la figura V.13

La planta de tratamientos de lodos se compone de:

- Estanque de desecho o descarga.- Es el lugar en -- donde se recibe el lodo proveniente del frente de excavación y en el que precisamente se inicia la - sedimentación de los grumos de arcilla que han sido acarreados por el lodo de suministro.
- Estanque de sedimentación.- Sitio en el cual cont núa el proceso de sedimentación de la arcilla en - suspensión y en el que se toma parte del lodo para ser enviado a la desarenadora.
- Desarenadora.- Equipo con el que por medio de cent rifugación (Hidrociclones) se separa la arena que se ha incorporado en el frente de excavación.
- Estanque de ajuste.- Una vez tratado el lodo de des carga (sedimentación y desarenado) es necesario re ducir aún más su densidad lo cual se logra adicio nando agua, previamente almacenada en un estanque.

- Estanque de suministro.- Es el lugar donde se almacena el lodo con las características necesarias para ser enviado nuevamente al frente de excavación.

- Caseta central de control.- Sitio en el que se recibe y se controla en parte (sobre todo la circulación adecuada de lodos) la información que se genera con la excavación del túnel. En este lugar se mantiene comunicación continua con el operador del escudo, con el objeto de coordinar la circulación de los lodos entre el túnel y superficie.

V.3.3 Tratamiento del subsuelo a la salida del escudo.

Un aspecto muy importante antes de iniciar la excavación del túnel es el tratamiento del suelo, debido a que durante esta etapa el suelo se encuentra sostenido por el muro de la lumbrera y para poder introducir el escudo será necesaria la demolición del muro de concreto de una forma manual, por lo que para prevenir el colapso del frente del túnel debido a una falla por extrusión, será sumamente indispensable efectuar un tratamiento al suelo antes de iniciar la demolición del suelo, el cual nos garantiza la estabilidad del mismo, comúnmente es utilizado el tratamiento del suelo por medio de inyecciones de cemento o de productos químicos y bajo ciertas circunstancias es posible estabilizar el suelo por congelamiento.

El tipo de tratamiento elegido se realiza en cada lumbrera, a la llegada y a la salida del escudo cubriendo un volumen con dimensiones de 4.60 m. de largo, 9 mts. de ancho y 30 mts. de profundidad (Figura V.14).

El tratamiento básicamente consiste en la sustitución del suelo con lodo fraguante y el procedimiento es como sigue:

- 1.- Trazo y localización del tratamiento basado en los puntos de referencia del sitio.
- 2.- Demolición de parte del brocal usado durante la construcción de la lumbrera.
- 3.- La secuencia de excavación y colado debe ser la indicada en la figura V.14, para ir formando un confinamiento de afuera hacia la lumbrera. Los paneles deben ir traslapados como se indica, para evitar el flujo del agua.

- 4.- Excavación con la almeja adecuada que garantice la verticalidad. Esta almeja puede ser guiada.
- 5.- Relleno de la excavación a medida que se realiza ésta, con lodo bentonítico en una proporción de 1 a 10 en peso (bentonita-agua), 6 con la -- proporción que dé la viscosidad adecuada para -- sostener la excavación.
- 6.- Colocación del mortero en toda la longitud con tubo tremie. El tubo tremie debe permanecer -- siempre ahogado dentro del mortero mínimo 2,00m. el mortero debe desplazar al lodo bentonítico, cuidando de recuperar el máximo posible.

Para realizar el tratamiento de inyección se se guirá el sistema puntual, utilizando alta presión -- que provoque rompimiento y consolidación de la es -- tructura arcillosa del subsuelo, depositando mez -- clas resistentes de cemento y bentonita.

V.3.4 Fabricación de los anillos de dovelas que se utilizan como revestimiento definitivo.

Dentro del proceso constructivo del túnel se tiene la necesidad de fabricar segmentos especiales de concreto reforzado (dovelas) las cuales se apegan a una serie de características particulares de diseño para que sean manejadas con relativa facilidad dentro de un escudo cortador de frente presurizado con lodos y que servirán momentáneamente como revestimiento del túnel.

Las dovelas de concreto de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$, forman anillos de 6 piezas de 25 cm., de espesor y 100 cm. de ancho, los cuales se van colocando en forma coordinada con el avance del escudo, dejando un diámetro interior de 5.60 m.

- Características generales de las dovelas:

Todas las dovelas deben poseer ciertas características que las definan técnicamente para resistir esfuerzos que les transmita el suelo al momento de la excavación. (Fig. V.15)

En la tabla V.16 se resumen las más importantes características que deben cumplir las dovelas.

- Localización y descripción de la planta de dovelas.

a) Localización.

Para la fabricación de las dovelas se tiene instalada una planta (Fig. V.17) utilizando moldes metálicos rígidos de alta precisión que garantizan la calidad del producto terminado (Figs. V.18, V.19 y V.20) ahí mismo, se almacenan y se les da el tratamiento de curado mientras alcanzan su resistencia de diseño que es de 350 Kg/cm^2 .

b) Descripción de la planta.

Las instalaciones con las cuales se encuentra provista la planta, son las siguientes:

- 1.- Almacenamiento de materiales (agregados y acero).
 - 2.- Instalaciones para el habilitado y armado del acero de refuerzo.
 - 3.- Nave de colado y vibrado.
 - 4.- Cámaras de curado.
 - 5.- Patio de almacén.
- Procedimiento constructivo para la fabricación de dovelas.

El proceso de fabricación se realiza bajo la siguiente secuencia de actividades:

- 1.- Suministro del acero para el armado.
- 2.- Corte del acero.
- 3.- Doblado del acero y confección de estribos.
- 4.- Soldado y armado de las parrillas.
- 5.- Almacenaje y transporte del armado.
- 6.- Colocación del armado en los moldes de colado.
- 7.- Colocación de concreto y vibrado.
- 8.- Transporte y curado de las dovelas, desensamble de moldes y reinicio de la actividad después de la limpieza, engrasado y ensamble del molde.
- 9.- Inspección y control de calidad.

- 10.- Transporte a la zona de almacenamiento.
- 11.- Almacén de dovelas en donde adquieren la resistencia de proyecto.
- 12.- Finalmente el transporte al túnel.

Dentro del procedimiento constructivo para la fabricación de las dovelas existen algunos aspectos de observación general y que de una u otra forma se integran a las especificaciones de construcción de las mismas, las cuales se pueden resumir en lo siguiente:

- a) El armado del acero de refuerzo de las dovelas es completamente a base de soldadura.
- b) La terminación de las caras interiores y exteriores de las dovelas es de tipo espejo, es decir libres de rugosidades y aristas perfectamente delineadas. La tolerancia de error en cuanto a sus dimensiones de proyecto variará en + 1/4 mm.
- c) El ensamble de las dovelas en el interior del túnel se hace por medio de placas de acero invertidas a la dovela desde su fabricación y unidas a través de tornillería en el túnel.
- d) Las dovelas se encuentran provistas de una hendidura en todo su perimetro, en la cual posteriormente se colocará una tira de neopreno para evitar filtraciones del suelo hacia el interior de la excavación.
- e) Los moldes para la fabricación de las dovelas son de acero como se mencionó anteriormente, fabricados con una aproximación al 1/4 mm. y con una terminación de sus caras interiores - tipo espejo.

- 61 Los juegos de moldes para dovelas se identifi-
carán claramente para llevar un estricto con-
trol de calidad de las piezas y de esa manera
detectar en su oportunidad, posibles irregula-
ridades por deformaciones en los moldes. Ca-
be hacer mención que dentro de los juegos de
moldes con los que se cuente en la planta, se
rá necesario uno en especial que se diferen-
ciará de los otros, debido a sus dimensiones
en ancho de cada una de las piezas que confor-
man el anillo (+ 5 cm) a este tipo de molde -
se le llama correctivo, el cual es utilizado
en las curvas horizontales ó verticales que
se necesiten dar con el escudo o simplemente
para la corrección de la dirección del mismo.

V.4. Preparativos en el fondo de la lumbrera para la recepción y lanzamiento del escudo.

El fondo de la lumbrera deberá estar provista de algunas preparaciones, para poder de esa forma recibir al escudo e iniciar la excavación del túnel. Las instalaciones -- con las cuales contará la lumbrera antes del descenso del escudo a la misma, serán las siguientes:

- A) Cuna.
- B) Atraque.
- C) Sello de salida.
- D) Instalación de equipos auxiliares y tuberías para la dosificación y mezclado de la inyección de contacto.

A.- Cuna.- La cuna es una estructura de concreto reforzado (aunque también puede ser metálica), en donde se posiciona al escudo, por lo que es de suma importancia que al momento de construir la cuna, ésta posea los datos de proyecto del túnel, en cuanto a dirección y elevación, ya que dicho en otras palabras la cuna es la plataforma de lanzamiento del escudo.

Esta estructura cuenta generalmente con tres rieles a todo lo largo, localizados en su parte inferior, ahogados en el concreto y perfectamente anclados, cuya finalidad es la de facilitar el deslizamiento del escudo durante los empujes.

Con el fin de que posteriormente a la desaparición del escudo del fondo de la lumbrera se construyan algunas instalaciones que nos permitan tener mayor facilidad de acceso a la lumbrera, se hacen preparaciones a base de placas de acero estructural, localizadas en los hombros de la cuna, las

que posteriormente servirán de apoyo a la estructura necesaria para la construcción de una -- plataforma de trabajo en lumbrera.

Con el fin de darle un uso posterior a la cuna, una vez que el escudo ya no se encuentre sobre ella, su construcción se hace en dos secciones, dejando un pasillo entre éstas para comunicarla, formando un cárcamo de captación del agua proveniente del túnel, la cual se bombeará posteriormente a superficie.

El procedimiento constructivo es el tradicional para el colado de elementos masivos de concreto reforzado, teniendo especial cuidado en los siguientes aspectos:

- a) Anclaje de la cuna, al acero de refuerzo de la plantilla del fondo de la lumbrera.
- b) Trazo y nivelación al detalle, principalmente en el nivel y alineamiento de rieles que son la guía del escudo.

En la figura V.21 se muestra un arreglo típico de una cuna.

- B.- Atraque.- Este elemento es una estructura de concreto reforzado que se encuentra situada en la pared posterior al avance del escudo, y orientada transversalmente al eje del túnel (Fig. V.22), su principal función es la de servir de apoyo al escudo, durante sus primeros movimientos en la lumbrera mediante la colocación de semianillos de dovelas, sobre los cuales reaccionan los gatos de empuje del escudo en el momento de efectuar los primeros metros de excavación del túnel.

La existencia del atraque, así como la de los semianillos de dovelas colocados en la lumbrera será temporal, ya que con el fin de contar con un espacio lo suficientemente adecuado para las manio - bras en el fondo de la lumbrera, será necesario retirar de la misma el atraque formado por los semi - anillos, una vez que se haya avanzado una cierta - cantidad de metros, en los cuales las dovelas ten - gan la suficiente adherencia al terreno natural, - previniendo con ello una posible falla al momento de los empujes del escudo.

- C.- Sello del escudo.- Este dispositivo tiene como ob - jeto proporcionar una hermeticidad a la excavación del túnel, ya que actúa como un elemento de contención que no permite la circulación de lodos, del - frente hacia la lumbrera, a través de la pared ex - terna del escudo cortador, al inicio de la excava - ción del túnel (Figura V.23)

El dispositivo consiste en un conjunto de an - llas metálicas y de hule de diferentes diámetros - que atornillados entre si forman uno solo permi - tiendo por su interior el paso del escudo.

Los anillos que lo conforman serán los si --- guientes:

- Anillo metálico, formado por un canal rolado de 12" y 6.10 m. de diámetro interior.
- Anillo de hule natural de 3/4" de espesor y - 30 cm. de ancho, con un diámetro interior de 5.78 m.
- Anillo metálico de placa de acero estructural de 3/4" de espesor y diámetro interior de --- 6.05 m.

D.- Instalación de equipos auxiliares y tuberías, para la dosificación y mezclado de la inyección de contacto.- Los anillos formados por dovelas tienen un diámetro exterior menor al de la excavación, debido al espesor de la placa del escudo, ya que éstos se ensamblan bajo la protección del faldón del escudo. Por esta razón, cuando los anillos salen de esta protección temporal va quedando un hueco anular entre dovelas y terreno.

Lo anterior puede provocar asentamientos superficiales, además de filtraciones hacia el interior del túnel, por lo que para reducir estos problemas se requiere que la oquedad sea llenada con una mezcla ó lechada de bentonita-cemento-arena y agua, la cual es inyectada a presión y se introduce en perforaciones estratégicamente colocadas en las dovelas. Todo anillo se inyecta conforme va saliendo de la zona de protección del escudo.

La elaboración del mortero se efectúa en una planta dosificadora instalada en un principio en el brocal de la lumbrera, en superficie, posteriormente se coloca en la pared de la lumbrera la cual cuenta con un silo para cemento, un silo para arena sílica, tolva, báscula, agitador de mortero, dosificador para agua y plataformas de trabajo [Figura V.24]. La dosificación de las mezclas de inyección se efectúan en forma automática de acuerdo a las especificaciones de diseño.

Para transportar la mezcla al frente de trabajo, se utiliza un carro tanque de 1.5 M³ de capacidad, equipado con una bomba capaz de proporcionar la presión de inyección especificada. Este -

es remolcado por una locomotora eléctrica hasta el frente de trabajo evitando con esto estaciones de rebombéo, así como también un tendido de tubería especial para inyección.

V.5. EXCAVACION DE LOS PRIMEROS 50 M. DE TUNEL.

Al iniciar la excavación de cualquier túnel con el uso de un escudo, nos enfrentamos al inconveniente de la disponibilidad de espacio en el interior de la lumbrera, puesto que las dimensiones de éstas, se diseñan básicamente en función de la longitud y diámetro del escudo que se introdujera o extraera a través de ellas, provocando con esto, algunas restricciones para el alojamiento del equipo auxiliar, indispensable para el funcionamiento del escudo.

En el programa de construcción de un túnel con el uso de un escudo, se tendrá que contemplar la excavación inicial de una determinada longitud, para posteriormente introducir en el túnel el tren de equipo del escudo, constituido básicamente por una serie de accesorios necesarios para su funcionamiento, el cual una vez instalado en el túnel será remolcado por el propio escudo, logrando con esto, una mayor eficiencia de los equipos así como un ahorro considerable de materiales.

El inicio de cualquier obra y en particular de un túnel, representa una de las labores más difíciles, ya que en un arranque desafortunado representará un mal augurio en cuanto a los objetivos trazados con anterioridad, por lo que es de primordial importancia poner el debido empeño al inicio de la excavación.

Al iniciar los trabajos de excavación del túnel en el Interceptor Centro-Centro, se fijó como primera etapa la construcción de 50 m. de túnel, debido a que la longitud del tren de equipo es aproximadamente esa. Para poder iniciar la excavación del túnel desde la lumbrera inicial, se hace necesario un arreglo ó acomodo especial de los equipos (Figura V.25), los cuales son:

- A) Gabinete de equipo eléctrico.
- B) Cabina del operador del escudo y unidades hidráulicas.
- C) Válvulas neumáticas.
- D) Bomba de descarga.
- E) Cable de tele-control y tele-metría a la consola -- del cuarto central de control.
- F) Mangueras del sistema hidráulico y cables del sistema eléctrico.
- G) Tuberas de suministro y descarga de lodos.

Una vez instalados los equipos, de esta manera provisional, se realiza una prueba a los sistemas eléctricos e hidráulicos para detectar posibles fallas o fugas en las conexiones de cables y mangueras, así como para checar la intercomunicación entre la cabina del operador y el cuarto central de control.

INICIO DE LA EXCAVACION

La excavación se inicia demoliendo con martillos neumáticos la pared de la lumbrera hasta llegar a tener contacto con el suelo inyectado, dejando un hueco que geométricamente sea mayor que el diámetro del escudo, después se limpia perfectamente esta zona de escombros y material suelto.

Simultáneamente a la operación de demolición en la parte trasera del escudo, se colocan las dovelas de atraque para formar el primer apoyo del mismo.

Al terminar ambas operaciones se inicia el avance del escudo, cuando los gatos de empuje reaccionan sobre los anillos de dovelas de atraque comenzando éste a deslizarse sobre la cuna, introduciéndose en el suelo excavado a mano, en ese momento, el sello de hule se deforma sobre la camisa del escudo en todo su perímetro exterior, formándose un sello --

hermético, para posteriormente presurizar la cámara con lodo.

Cuando la cabeza cortadora del escudo hace contacto con el terreno inyectado, el avance se detiene para proceder a presurizar la cámara con lodo estabilizador.

Es importante mencionar que al construir la estructura del sello de salida, se coloca una válvula en la parte superior del anillo metálico, cuya función es la de liberar el aire atrapado al momento de iniciar la presurización con lodo, de la cámara frontal del escudo.

La excavación del túnel se inicia propiamente al empezar a girar el cortador del escudo con las ranuras abiertas y al expandirse los gatos de empuje, lo que origina que se mueva el escudo hacia el frente.

El suelo excavado pasa a la cámara de mezclado, en donde se incorpora a la circulación del lodo estabilizador, con la ayuda de los agitadores y las paletas colocadas en la parte posterior de la cabeza cortadora, logrando así enviar a superficie el material excavado por medio de las tuberías, que conducen el lodo de perforación [Figura V.27]

Cuando los gatos de empuje se han extendido totalmente, el movimiento del cortador se detiene y se cierran las compuertas de las ranuras para evitar que el material del frente fluya hacia la cámara de mezclado. La recirculación de lodos a través del frente se mantienen hasta que la densidad del lodo de descarga se iguala a la del lodo de suministro, esto garantiza que ha sido desalojado de la cámara de mezcla todo el material producto de la excavación.

Posteriormente, con ayuda del anillo erector, se procede a colocar un nuevo anillo de dovelas, retrayendo los gatos de empuje para dejar el espacio necesario y facilitar la operación, convirtiéndose este anillo en el nuevo apoyo del escudo.

Al ir penetrando el escudo en el terreno natural y en consecuencia obteniendo una mayor longitud de túnel construido, se estará en posibilidades de ir introduciendo equipos que faciliten las actividades en el túnel, razón por la cual la excavación de los primeros metros se caracteriza por un bajo rendimiento y una constante adecuación de las instalaciones. Esto ocurre durante los primeros 50 m. de excavación, en los cuales se tiene que realizar una serie de maniobras para unir el escudo con su tren de equipo.

V.6. EXCAVACION DE LOS METROS SUBSECUENTES.

Una vez colocados los equipos necesarios en el interior del túnel, lo cual se logra después de haber excavado los primeros 50 mts. las actividades en el proceso de excavación del túnel se tornan cíclicas donde el principal reto será el de obtener la eficiencia óptima de cada una de las actividades involucradas.

V.6.1. EL CICLO DE TRABAJO CONTEMPLA LAS SIGUIENTES ACTIVIDADES.

1) Excavación, empuje e inyección, simultáneamente.

2) Colocación del anillo de dovelas.

Otras actividades rutinarias dentro del túnel, que necesariamente se tendrá que realizar conforme avanza el escudo, son las siguientes:

3) Prolongación de vía y andador.

4) Prolongación de tubería (suministro y descarga de lodos, ventilación, aire a alta presión y bombeo de agua).

5) Prolongación de líneas eléctricas para alumbrado y alimentación del equipo.

1) EXCAVACION, EMPUJE E INYECCION.

Se considera que el mayor logro del método de excavación de un túnel con el empleo de un escudo de frente cerrado, es indiscutiblemente la manera de excavar, empujar e inyectar, ya que estas actividades se realizan de una forma simultánea, evitando el riesgo de dejar huecos que posteriormente se reflejan en superficie en asentamientos.

La excavación se efectúa de acuerdo al siguiente orden de actividades.:

a) Establecida la recirculación de lodo a través de la cámara presurizada y controlada la presión de suministro y - el gasto de descarga, se hace girar el cortador para iniciar la excavación.

b) Se abren las compuertas de las ranuras de admisión de material, permitiendo su entrada a la cámara de mezclado.

c) Simultáneamente a la apertura de las compuertas, se comienza a extender los gatos de empuje previamente seleccionados para controlar la línea y nivel del escudo.

Esta selección se basa en los datos topográficos anteriores y en la posición del último anillo colocado dentro del faldón del escudo.

d) El material que penetra a través de las ranuras es mezclado y enviado a la superficie para su tratamiento inmediato con el fin de volver a enviarlo al frente, estableciendo así su ciclo.

e) Cuando la carrera de los gatos de empuje es de 1.5 m. aproximadamente, se para el avance del escudo y el giro - de la cabeza cortadora procediendo a cerrar las compuertas - de las ranuras.

f) Se mantiene la recirculación de lodo por el frente, hasta que las densidades de los lodos de suministro y de descarga se igualen, parando entonces la circulación del mismo, con lo que se da por terminada la excavación.

g) Simultáneamente a la excavación y al empuje, se realiza la inyección del hueco dejando entre el endovelado y - el terreno natural, el que se origina al salir los anillos - del faldón; el hueco anular por rellenar genera, en un metro lineal de excavación, un volumen teórico de 1.36 m^3 .

La inyección se efectúa a través de los insertos -- que para tal fin y para su manejo, poseen las dovelas.

2] COLOCACION DEL ANILLO DE DOVELAS.

Terminada la excavación, el empuje y la inyección de - contacto se procede a la colocación de las dovelas, para lo que se utiliza el anillo erector del escudo, el que es capaz de tomar y colocar las mismas radialmente en forma coordinada para poder ensamblar un anillo completo después de cada - empuje.

V.6.2. REGISTRO DE ASENTAMIENTO Y DEFORMACIONES DEL ENDOVELADO.

REGISTRO DE ASENTAMIENTO.

Con el fin de poder apreciar los efectos que produce - en superficie el procedimiento constructivo en el momento de la excavación del túnel se instalaron referencias de nivel - superficiales a lo largo del trazo del túnel en la forma indicada en la Figura. V.28.

En general las lecturas de las referencias descritas - anteriormente se efectuaron de acuerdo al siguiente programa:

Recién instaladas se tomaron 2 lecturas, después:

Cuando el escudo se encontró a una distancia entre:	La frecuencia de medición fue:
100 y 50 m. antes de la referencia.	Dos veces por semana.
50 y 0 m. antes de la referencia.	Diaria.
0 y 50 m. después de la referencia.	Dos veces por día.
50 y 150 m. después de la referencia.	Diaria.
150 y 450 m. después de la referencia.	Dos veces por semana.
450 m. Después ó hasta terminar el túnel.	Cada mes.

Los asentamientos producidos por la construcción del túnel han sido mucho menores que los registrados en otros túneles de la Ciudad de México, siendo el hundimiento promedio -

sobre el eje del túnel de 12 mm., y el registrado como máximo de 25 mm.

La depresión formada por la excavación del túnel en -- una sección transversal se puede observar en la Figura V.29, así como los leves bufamientos observados en el terreno lateral al túnel.

El comportamiento de los bancos de nivel superficiales, sobre la clave del túnel, respecto al tiempo, se muestran en la Figura V.30.

La secuencia de movimientos que se deduce de esta gráfica es un bufamiento leve inicial, seguido por un hundimiento acelerado al naso del escudo y finalmente una recuperación del suelo con el tiempo.

Las figuras V.31, V.32 y V.33, presentan la influencia de la excavación en la superficie aladaña (+ 20 m) y su desarrollo en forma de curvas de igual asentamiento.

DEFORMACIONES DEL ENDOVELADO.

Con objeto de conocer la evolución de las deformaciones diametrales del endovelado, respecto al tiempo, se instalaron secciones de convergencia compuestas por seis líneas - cada una.

Las mediciones efectuadas muestran inicialmente una -- disminución en el diámetro horizontal del orden de los 4 mm. que se produce al quedar el anillo de dovelas a punto de ser expulsado del faldón del escudo (Figura V.34).

Posteriormente y con el paso del tiempo las lecturas - registradas indican alargamientos en el diámetro con valores máximos acumulados hasta de 9 mm.

INCLINOMETROS.

Para medir los desplazamientos horizontales del terreno vecino, debidos al paso del escudo, se instalaron inclinómetros sobre el eje del túnel a una profundidad de 30 cm. menor que la de la clave del escudo.

Los desplazamientos fueron del orden de 10 mm. como máximo y se presentan cuando el escudo pasa por la sección --- (Figura V. 35).

V.6.3. CONTROL TOPOGRAFICO.

La topografía en túneles, por sus características generales, difiere substancialmente de los procedimientos ordinarios, los cuales debido a su condición a "Cielo Abierto" son más favorables para su ejecución, por lo tanto y en consecuencia la topografía en control de túneles estará más limitada en cuanto a espacio y recursos para el desarrollo o --- aplicación de métodos para resolver algún o algunos problemas topográficos particulares.

El control topográfico deberá ejecutarse con procedimientos que por sistema, garanticen logros óptimos de tiempo, economía y precisión.

A) Introducción del eje de proyecto al interior del túnel.

Al tratar de introducir el eje básico de proyecto por los portales o fumbresas al núcleo de la Obra. Se busca la precisión que satisfaga las necesidades de exactitud requeridas, dada la importancia que esto representa en la construcción de un túnel.

Con la creación de oculares acodados (equipo accesorio de los tránsitos actuales) que son básicamente un juego de -

prismas de 45° convenientemente dispuestos, se evita la inter vención del recurso tradicional de las plomadas, ya que és tas, en longitudes o profundidades de lumbreras muy grandes (más de 20 m.), por su oscilación propia, además del movi miento terrestre, así como obstáculos en el tiro de la lumbrera, etc., es muy limitado su rango de precisión.

Es importante enfatizar que el empleo de nuevos métodos de excavación de túneles exige también innovación en sus sistemas de control como es el caso del rayo laser, así como también el uso del giroscopo para efectuar orientaciones astronómicas, con lo cual se ha logrado una precisión casi perfecta en cuanto a control topográfico se refiere en excavación de túneles.

B) CONTROL TOPOGRAFICO DEL AVANCE DEL ESCUDO.

Al terminar la colocación del anillo de dovelas, se pro cede a obtener la línea y nivel que guarda el escudo en ese punto con respecto a los datos de proyecto.

Los resultados obtenidos, sirven de base para seleccio nar los gatos a usar en el próximo avance.

Para efectuar los empujes programados del escudo se van tomando como guía la longitud de los vástagos de cada gato, comparándolos con los definitivos teóricamente.

Se dan especial importancia al claro que existe entre la cara exterior de la dovela y el diámetro interior del faldón del escudo para evitar que se dañen los sellos del mismo, al producirse una excentricidad entre los anillos y el mismo faldón.

V.6.4. REGISTRO DE LOS SENSORES QUE DETECTAN LOS PARAMETROS DE OPERACION DEL ESCUDO.

En el cuarto central de control, ubicado en superficie, se registran todas y cada una de las variables del sistema - de circulación de lodos y de las bombas de la planta de tratamiento, recibiendo adicionalmente información de los demás sistemas ubicados en el tren de equipo y del mismo escudo.

Este sistema de control está constituido por una consola en la que se encuentra un tablero gráfico en el que se representan esquemáticamente los elementos importantes que intervienen en el funcionamiento del escudo y en el sistema de circulación de lodos. {Figura V.36}

Para poder describir las funciones de la consola central de control, la dividiremos en la forma siguiente:

A) INFORMACION SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DEL ESCUDO DADA POR:

- Velocidad de rotación de la cabeza cortadora.
- Velocidad de avance del escudo.
- Presión y carrera de los gatos de empuje.
- Presión del gato de la cabeza cortadora.
- Corriente total consumida por los motores del cortador.
- Presión y carrera de los gatos de las compuertas de admisión de material a la cámara de mezclado.

Durante el avance, el operador del escudo y el de consola verifican vía telefónica, la información anterior.

B) CONTROL DE LA CIRCULACION DE LODOS, CONTEMPLANDO LOS SIGUIENTES ASPECTOS.

- Densidad del lodo de suministro.
- Densidad del lodo de descarga.

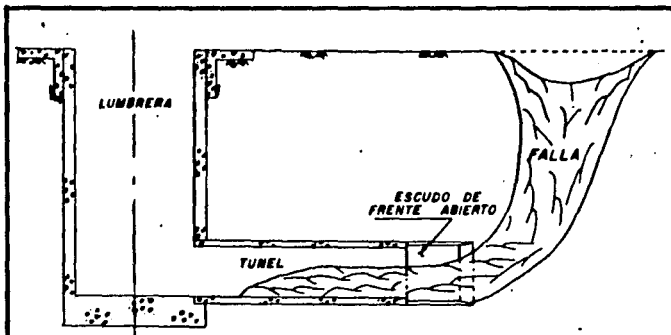
- Presión del lodo de suministro.
- Presión de la bomba de suministro.
- Presión en la cámara de mezclado.
- Gasto del lodo de suministro.
- Gasto de la bomba para lodo de descarga.

C) CONTROL DE LA CIRCULACION DE LODOS.

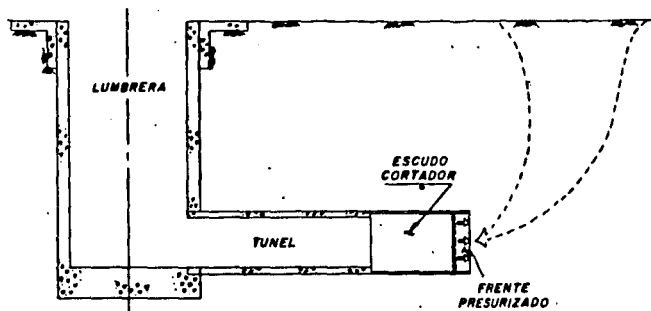
Desde la consola, se controla la circulación de lodos accionando simplemente perillas y botones, que mediante sistemas eléctricos y electrónicos se mandan señales a las bombas y válvulas del equipo.

En el tablero gráfico existente, por medio de indicadores luminosos, nos podemos dar cuenta si una bomba se encuentra funcionando o está parada, si una válvula está abierta o cerrada, si hay suministro de energía eléctrica a las bombas y al compresor que acciona las compuertas de admisión de material, si el contador está girando y en que sentido lo está haciendo, así como también al sistema de alarmas.

En la figura V.37 se presentan los tableros de medición y control de la consola.

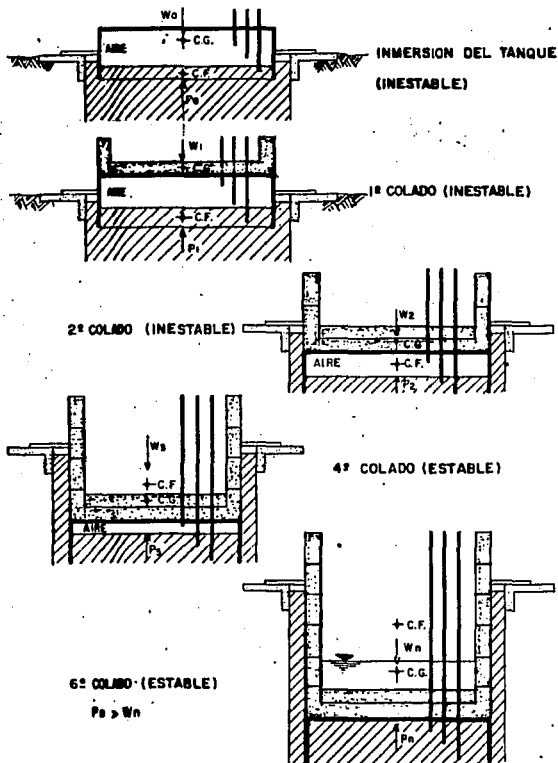


FALLA POR EXTRUSION AL LIBERAR EL SOPORTE DEL FRENTE DE EXCAVACION



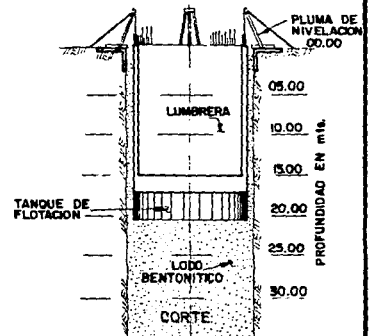
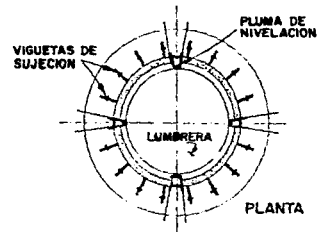
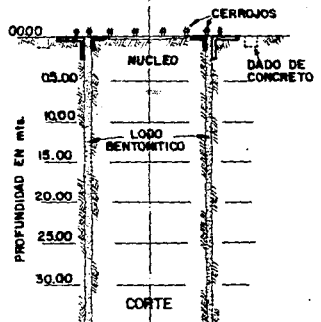
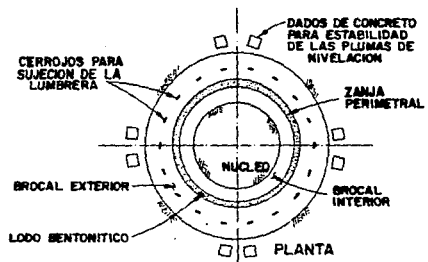
PRESION ESTABILIZADORA FRONTAL A BASE DE LODOS, APLICADA UNICAMENTE EN EL FRENTE DEL TUNEL PARA EVITAR LA FALLA POR EXTRUSION

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F.	FIGURA No.
OCTUBRE 1986	X 1, 2



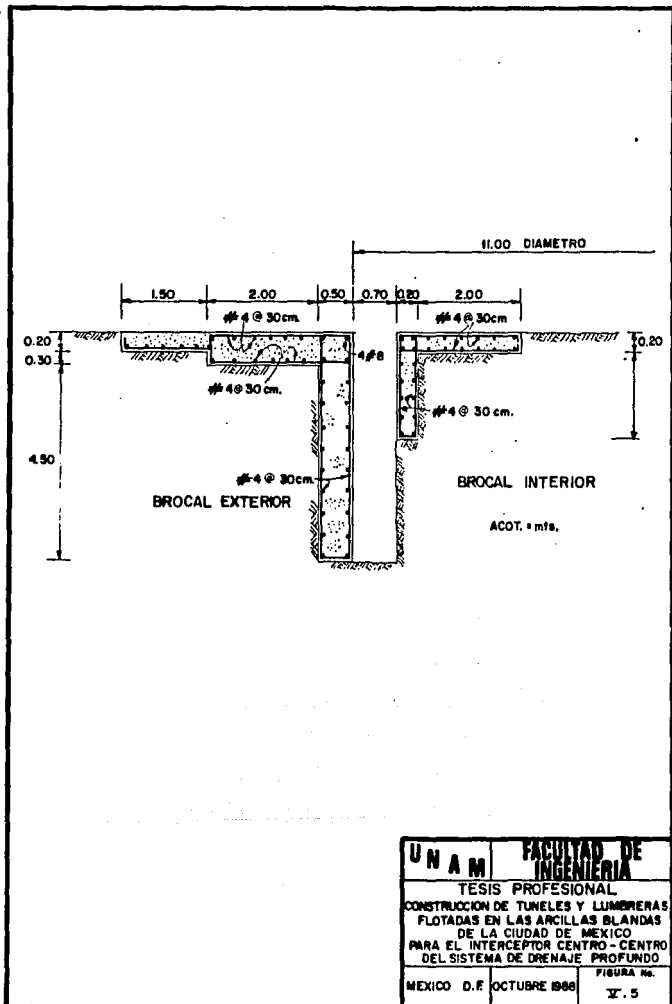
ANALOGIA CON LUMBRERAS FLOTADAS

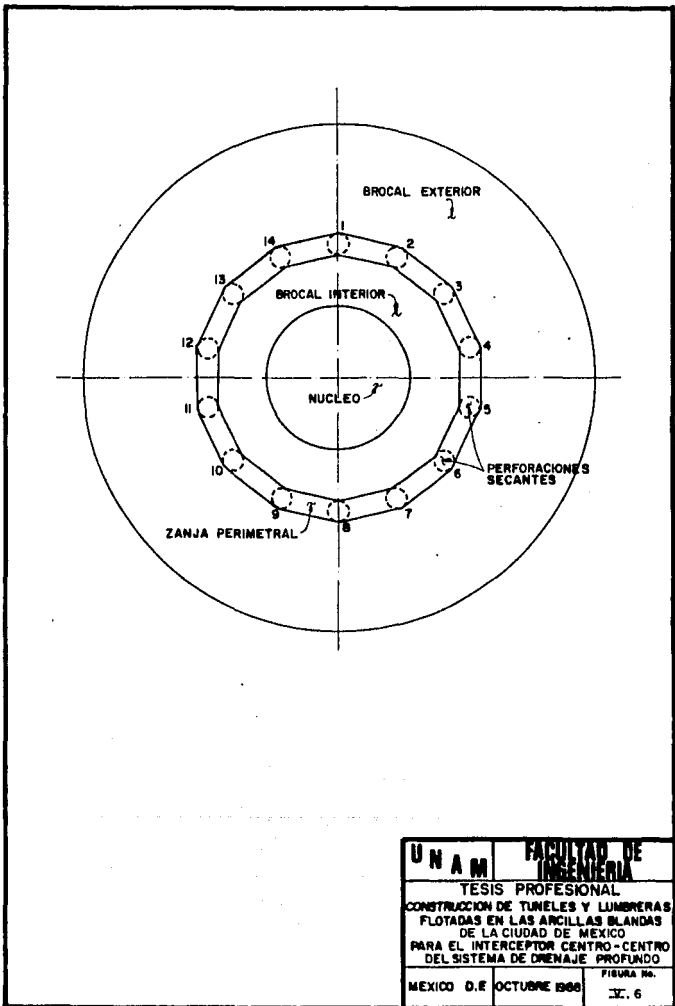
UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO
MEXICO D.F.	FIGURA No. OCTUBRE 1968 X, 3



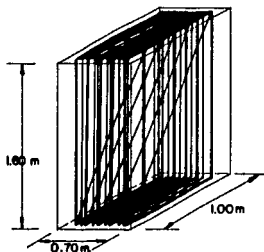
- 143 -

MEXICO D.F. OCTUBRE 1989	FIGURA No. I. 4	UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	TESIS PROFESIONAL
				CONSTRUCCION DE TANQUES Y LUMBRERAS FLOTANTES EN LAS ANLIS LAS BOMBAS PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENALIE PROFUNDO

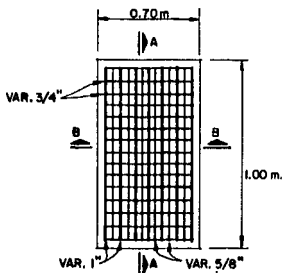




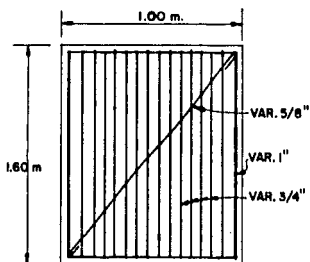
UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ANCLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1988
FIGURA No. IX. 6	



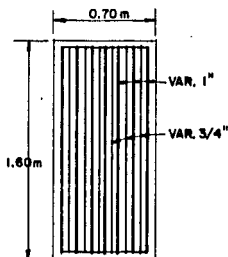
VISTA DEL ARMADO DEL DADO



VISTA SUPERIOR

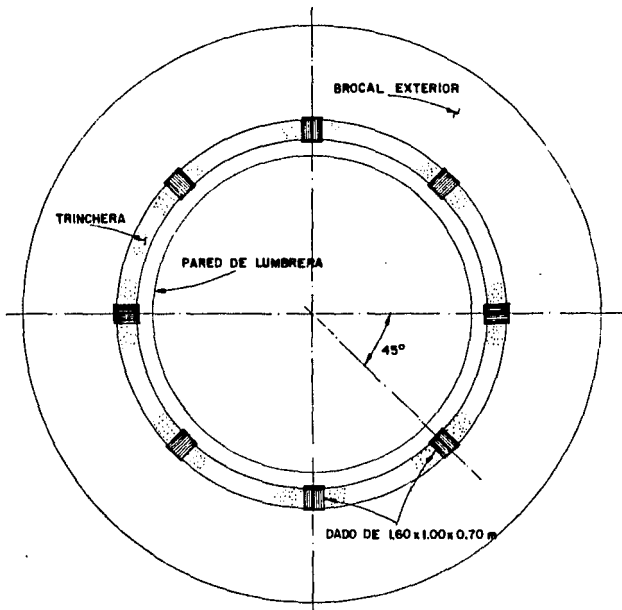


CORTE A-A

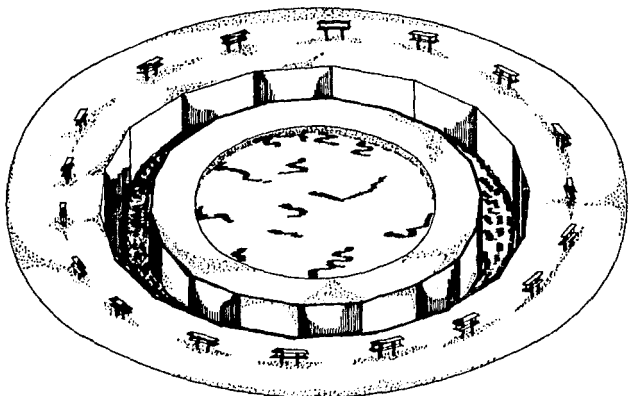


CORTE B-B

UNAM		FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL			
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO			
MEXICO D.F.		OCTUBRE 1968	FIGURA No. X. 7

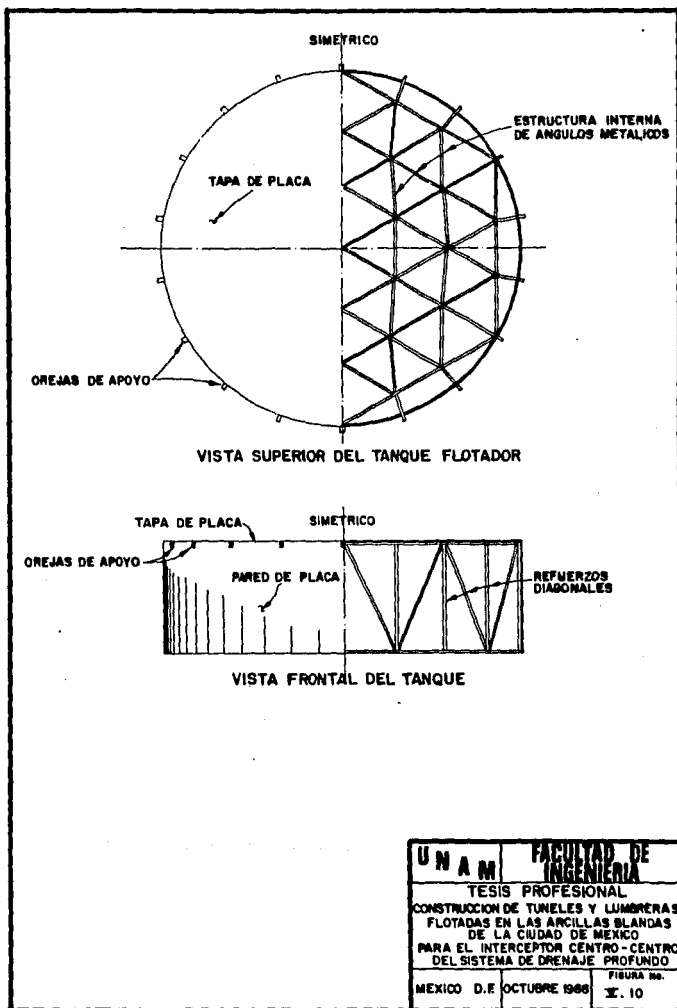


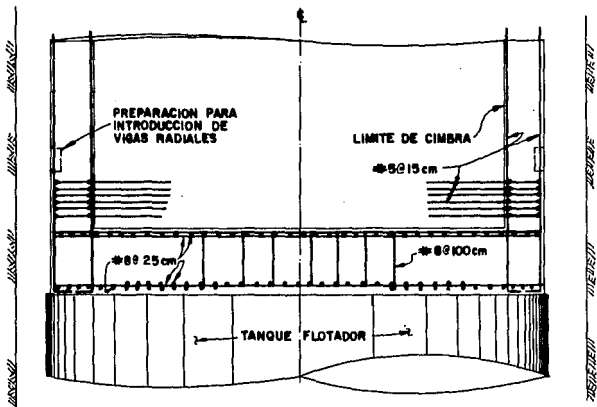
UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO		
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1968	FIGURA No. III, 8



VISTA GENERAL DE LOS BROCALES

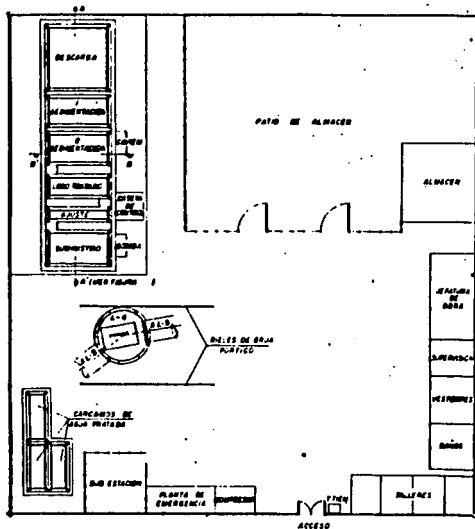
UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO - CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F. OCTUBRE 1988	FIGURA No. X. 9





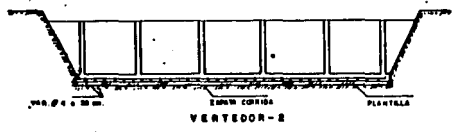
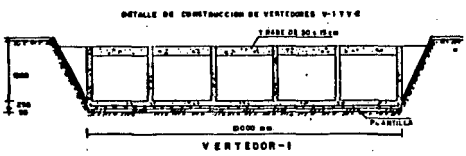
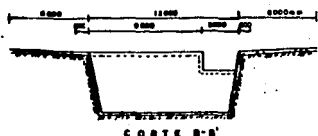
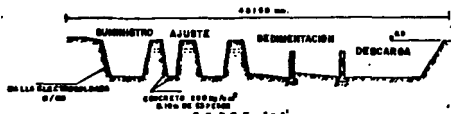
CORTE DE LA LOSA DEL PISO Y MURO DE LA LUMBRERA

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO		
PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO		
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1988	FIGURA No. Σ. II



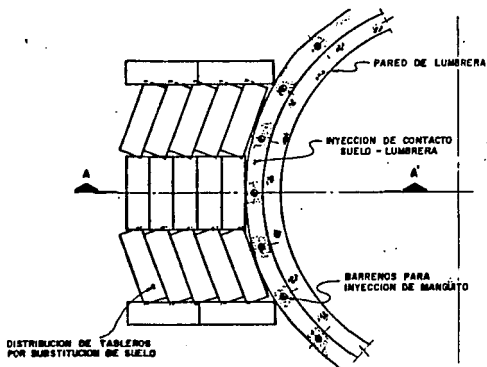
CAMPAMENTO E INSTALACIONES

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LAMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F. OCTUBRE 1988	FIGURA No. III, 12

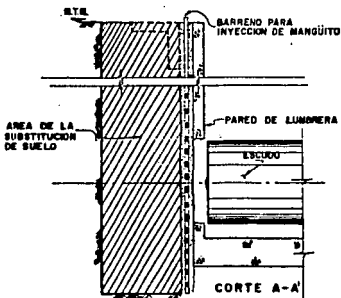


ESTANQUES PARA EL MANEJO DE LODOS

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL CONSTRUCCION DE TUNELES Y LIMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1966 FIGURA No. X. 13



PLANTA



MEJORAMIENTO DEL SUELO A LA SALIDA O LLEGADA DEL ESCUDO

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1988 FIGURA No. X. 14

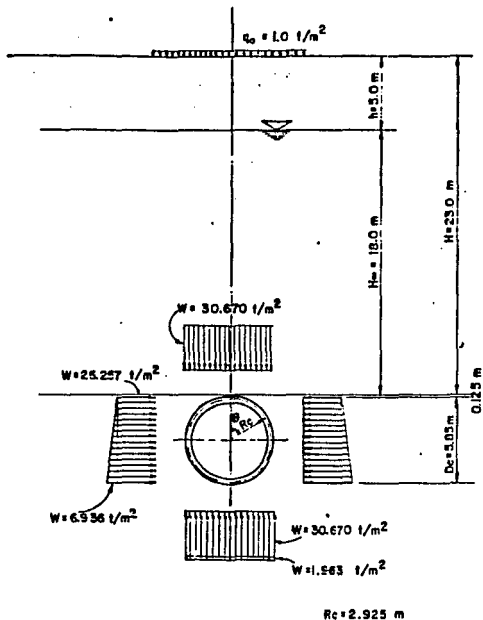


DIAGRAMA DE ESFUERZOS

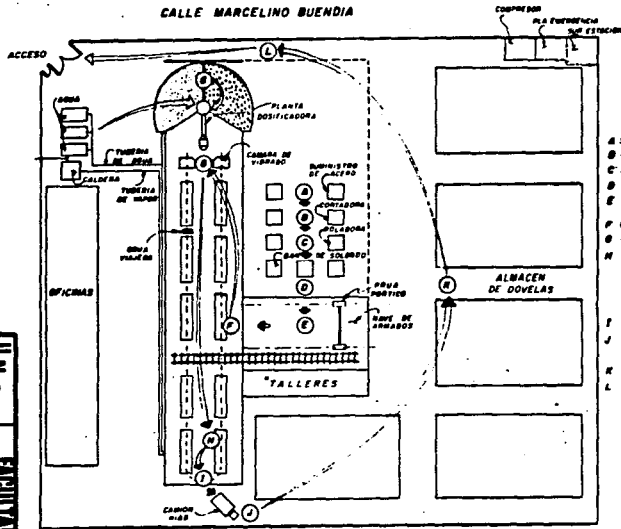
UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1968 FIGURA No. X.15

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD Y/O DIMENSION	TOTAL
Diámetro exterior	mm	6,100	
Diámetro interior	mm	5,600	
Espesor	mm	250	
Ancho	mm	1,000	
<hr/>			
Número de Piezas	Pza	6	
		3 Piezas tipo A	
		2 Piezas tipo B	
		1 Pieza tipo K	
<hr/>			
Volúmen de concreto			
Tipo A	M3-Pza.	0.855	2.565
Tipo B	M3-Pza.	0.861	1.722
Tipo K	M3-Pza	0.196	0.196
			<u>4.483 M3/</u> Anillo
<hr/>			
Acero de Refuerzo			
a) Varilla No. 3	Kg/anillo	148	
b) Varilla No. 5	Kg/anillo	586	
		<u>734 Kg/anillo</u>	
<hr/>			
Herrajes			
a) Cajas metálicas de conexión	pzas/anillo	4 tipo I 62 tipo II <u>66 pzas/anillo</u>	
b) Insertos metálicos	pzas/anillo	6	
<hr/>			
Diseño del concreto	Kg/cm2	350	
Grava T.M.A. 19 mm	Kgs	939/m3	4,254 Kg/ anillo
Arena	Kgs	648/m3	2,904 Kg/ anillo
Cemento	Kgs	450/m3 Tipo I	
Agua	Lts	180 a 200 Lts/m3	852 Lts /anillo
Aditivo	Lts	2 Lts/m3	8.97 Lt/ anillo
Revenimiento	Cm	2.5 + 1.5	

Tabla V.16

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD Y/O DIMENSION	TOTAL
Diámetro exterior	mm	6,100	
Diámetro interior	mm	5,600	
Espesor	mm	250	
Ancho	mm	1,000	
Número de Piezas	Pza	6 3 Piezas tipo A 2 Piezas tipo B 1 Pieza tipo K	
Volúmen de concreto	M3-Pza	0.855	2.565

CALLE MARCELINO BUENDIA

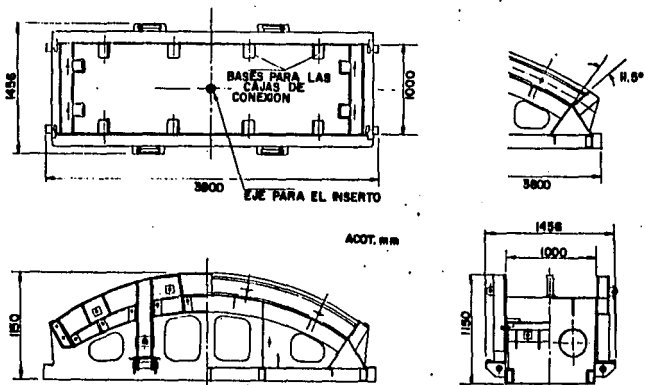


PROCESO

- A BARRISTRO DE ACERO PARA ARMADO
- B CORTE DEL ACERO
- C DOBLADO DEL ACERO
- D ARMADO Y SOLDADO DEL ACERO
- E ALMACENAJE Y TRANSPORTE DE LOS ARMADOS
- F COLOCACION DEL ARMADO EN MOLDES
- G COLOCACION DE CONCRETO Y VIBRADO
- H TRANSPORTE Y CURADO DEL CONCRETO, DESENSAMBLE DEL MOLDE Y REINICIO DE LA ACTIVIDAD DESPUES DE LA LIMPIEZA, ENGRASADO Y ENSAMBLE DEL MOLDE.
- I INSPECCION Y CONTROL DE CALIDAD
- J MONTAJE A GRUA HIAB Y TRANSPORTE AL ALMACEN
- K ALMACENAJE DE DOVELAS
- L TRANSPORTE AL TUNEL

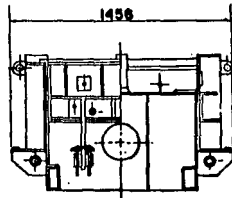
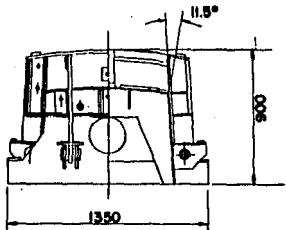
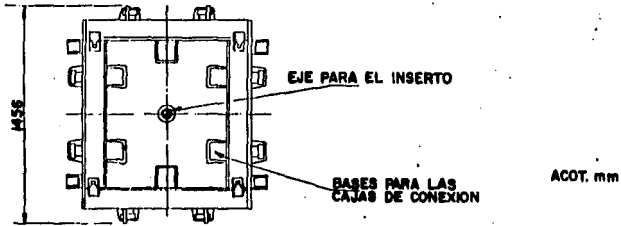
PLANTA DE DOVELAS

MEXICO D.F. OCTUBRE 1988	FISICA No. 5. 17	UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	TESIS PROFESIONAL CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLUJAS EN LAS ANCHILAS BUENDIAS PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO
			TESIS PROFESIONAL



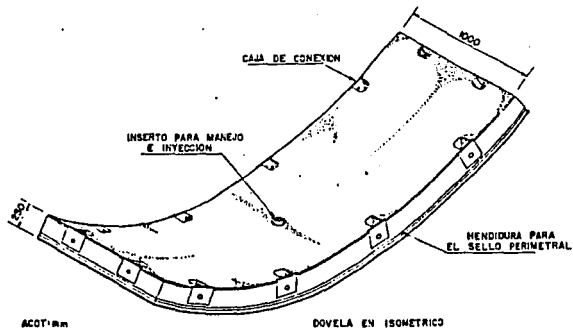
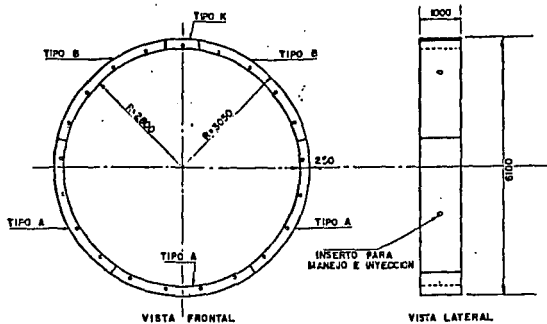
MOLDE METALICO PARA DOVELAS TIPO A Y B

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1968
	FIGURA No. X. 18



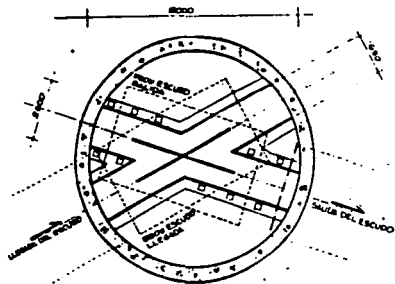
MOLDE METALICO PARA DOVELA TIPO K

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO	
PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F. OCTUBRE 1968	FIGURA No. X. 19

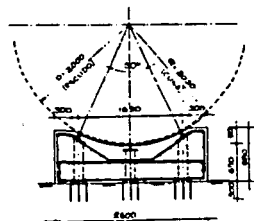


DOVELAS DE CONCRETO REFORZADO

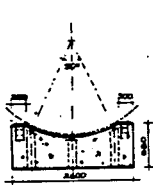
UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F. OCTUBRE 1988	FIGURA No. X. 20



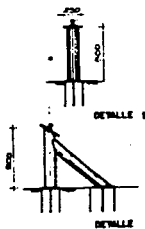
PLANTA DE LA CUNA DEL ESCUDO



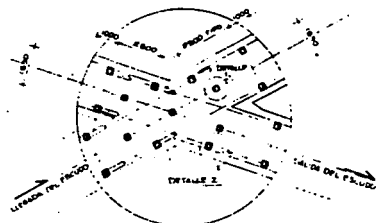
CORTE A A'



SECCION DE LA CUNA DEL ESCUDO

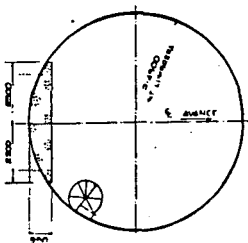


CUNA DE CONCRETO

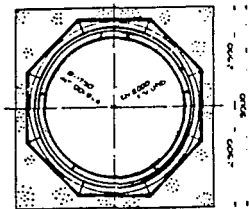


ARREGLO ESTRUCTURAL

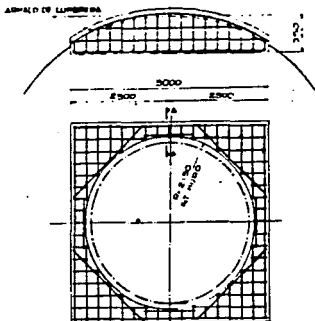
MEXICO D.F. OCTUBRE 1966	UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	TESIS PROFESIONAL
		CONSTRUCCION DE TUNELES Y LAMBERENAS FLOTANTES EN LAS ANCLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO
X. 21	FIGURA No.	



PLANTA
MURO DE ENTRADA



VISTA EXTERIOR



ALZADO DEL MURO



DETALLE DE COLUMNAS

MURO DE APOYO (ATRAQUE)

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

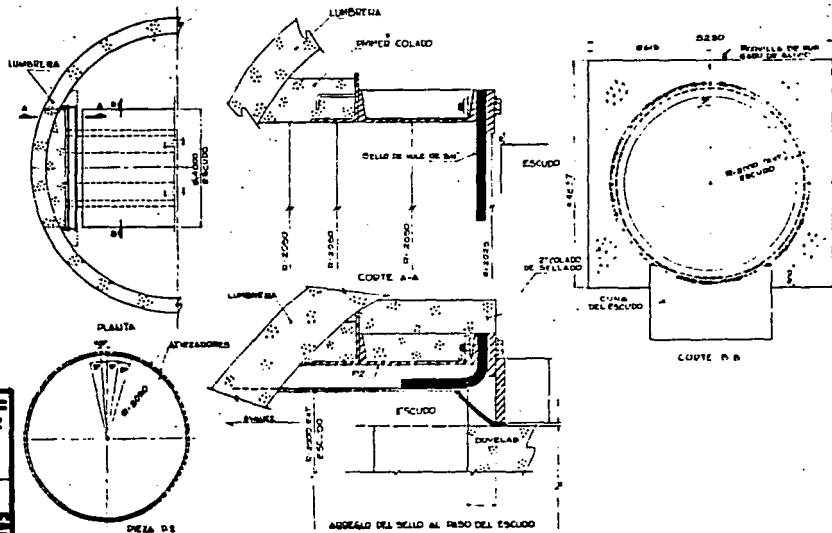
TESIS PROFESIONAL

CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMINERAS
FLOTADAS EN LAS ANILLAS BLANDAS
DE LA CIUDAD DE MEXICO
PARA EL INTERCEPTO CENTRO-CENTRO
DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO

FIGURA No.

MEXICO D.E. OCTUBRE 1986

II. 22



ARREGLO DEL SELLO DE SALIDA DEL ESCUDO

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

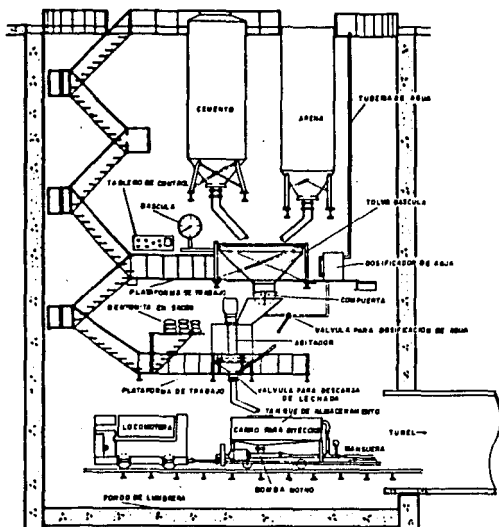
TESIS PROFESIONAL

CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ANCLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO

MEXICO D.F. OCTUBRE 1986

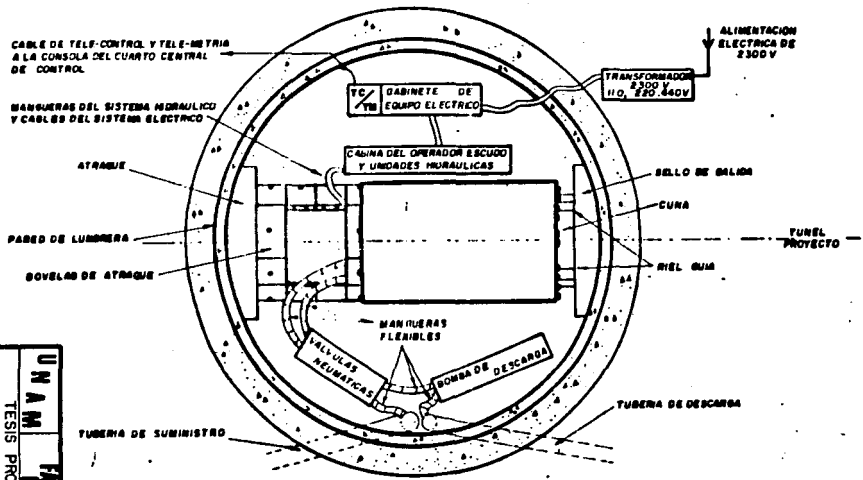
F. 23

FIGURA No.



PLANTA DOSIFICADORA PARA INYECCION INSTALADA
EN LA PARED DE LA LUMBRERA

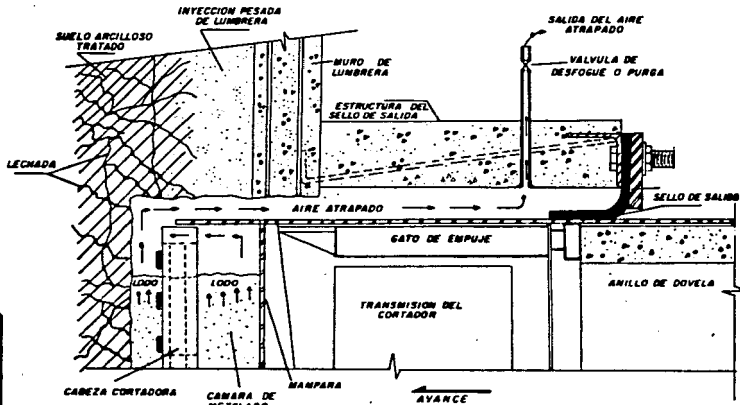
UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO - CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1968 FIGURA No. X. 24



INSTALACION PROVISIONAL DEL TREN DE EQUIPO EN LUMBRERA AL INICIO DE LA EXCAVACION

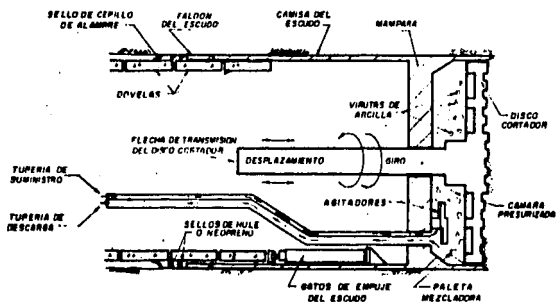
- 165 -

MEXICO D.F. OCTUBRE 1966	X. 25	FIGURA No.	UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	TESIS PROFESIONAL
					CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO



PRESURIZACION DE LA CAMARA DE MEZCLADO
AL INICIO DE LA EXCAVACION

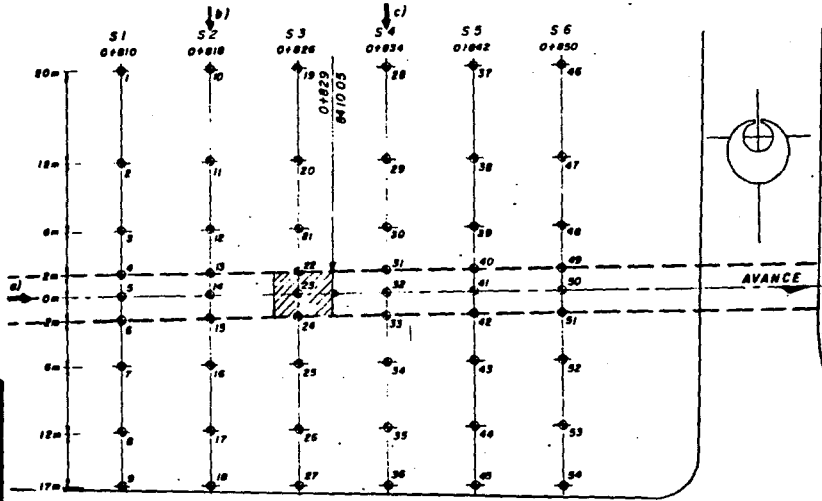
MEXICO D.F. OCTUBRE 1966	UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	TESIS PROFESIONAL
			CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ANCLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTENCION CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO
			FIGURA No. IX. 26



**EXCAVACION EN ESCUDOS DE FRENTE
PRESURIZADO**

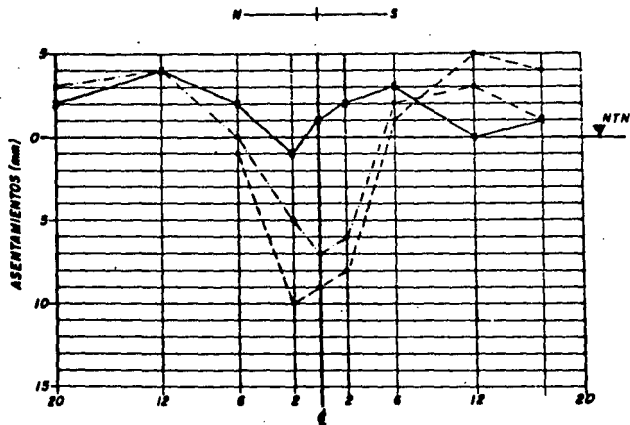
UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO		
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1968	FIGURA No. X. 27

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUBRIFICAS FLUIDAS EN LAS CARRETERAS DEL MUNICIPIO DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F. OCTUBRE 1996	FOLIO No. 28



◆ REFERENCIAS DE NIVEL (SUPERFICIALES)

LOCALIZACION DE REFERENCIAS DE NIVEL



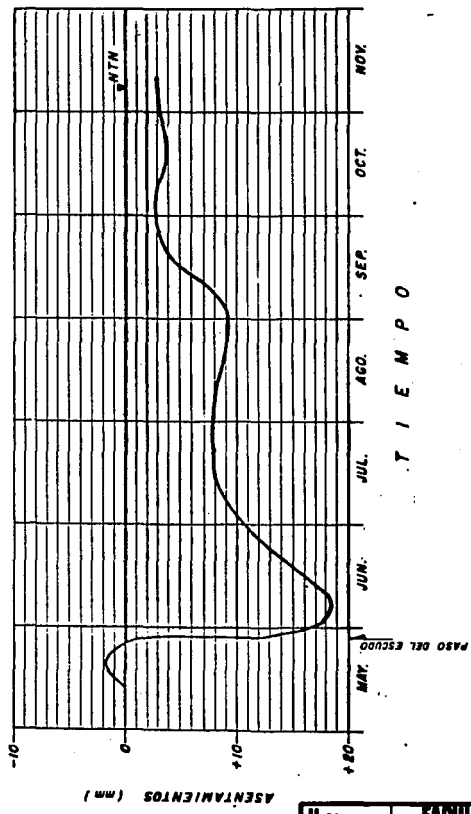
DISTANCIA AL EJE DEL TUNEL

SIMBOLOGIA:

- PASO DEL FRENTE POR LA SECCION
- - - - - FRENTE 30m. DESPUES DE LA SECCION (8 DIAS DESPUES)
- · · · · FRENTE 400m. DESPUES DE LA SECCION (1 MES, 8 DIAS DESPUES)

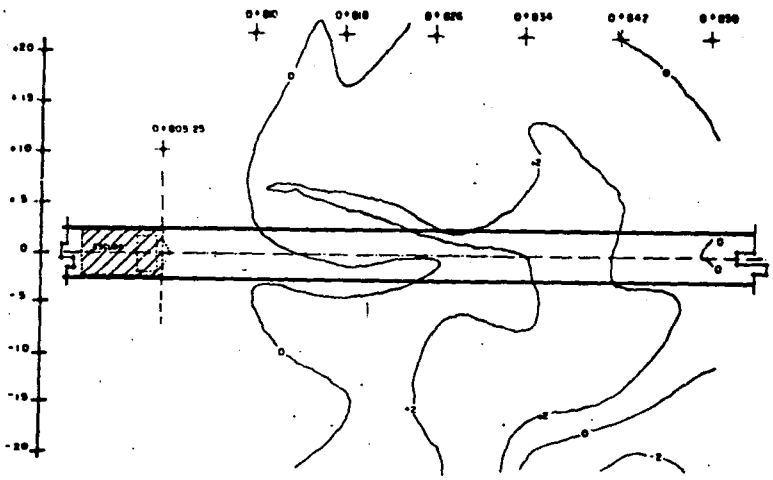
**ASENTAMIENTOS SUPERFICIALES
SECCION TRANSVERSAL**

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO		
PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO.		
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1968	FIGURA No. IX. 29



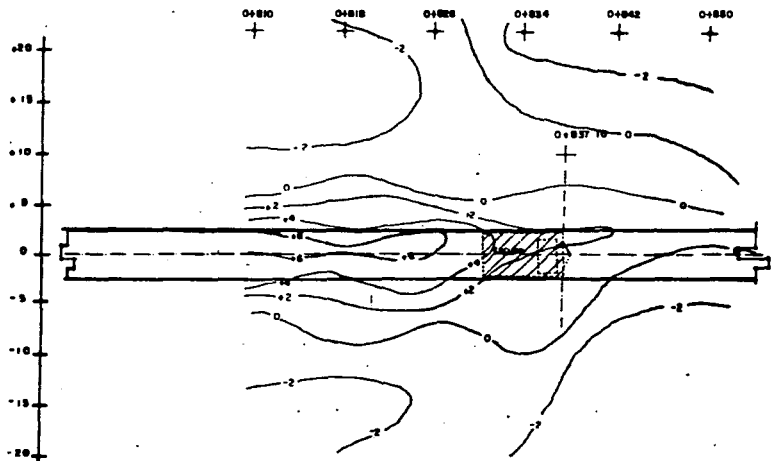
EVOLUCION TIPICA DE ASENTAMIENTOS SUPERFICIALES

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO		
MEXICO D.F.	OCTUBRE 1966	FIGURA No. X. 30



CURVAS DE IGUAL ASENTAMIENTO. FRENTE 0+805.25

UNAM	
TESIS PROFESIONAL	
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ANCLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO - CENTRO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO - CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F. OCTUBRE 1988	FIGURA No. 31



CURVAS DE IGUAL ASENTAMIENTO FRENTE 0+837.10

UNAM

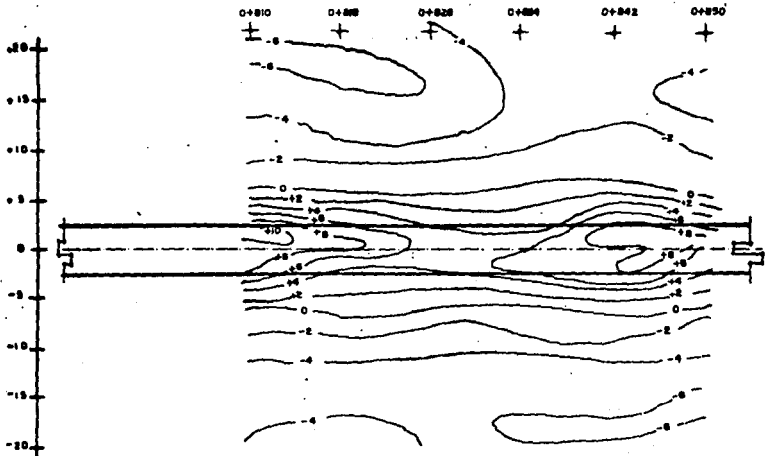
Facultad de Ingeniería

TESIS PROFESIONAL

CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMENAS
 FLUJIDAS EN LAS ANCLAS BLANCAS
 DE LA CIUDAD DE MEXICO
 PARA EL TRANCE DON CENTRADO
 DEL SISTEMA DE DRENAGE PROFUNDO

MEXICO D.F. OCTUBRE 1989

1989A IN.
 T. 32



CURVAS DE IGUAL ASENTAMIENTO FRENTE 1+235.50

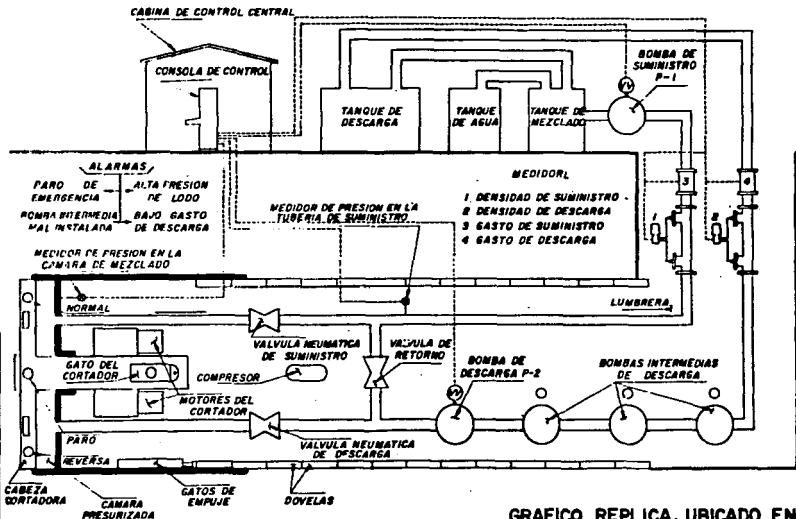
UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

CONSTRUCCION DE TUNELES Y LAMPERAS
 FLUIDAS EN LAS PARTES LAS BANDAS
 DE LA CIUDAD DE MEXICO
 PARA EL INTERCEPTOR CENTRO - CENTRO
 DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO

MEXICO D.F. OCTUBRE 1988

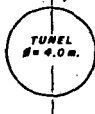
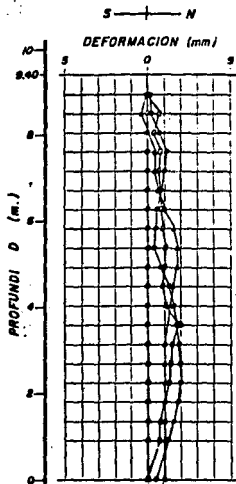
FABIAN SA.
 N. 33



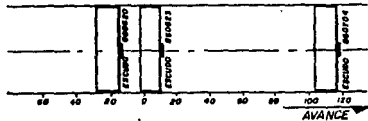
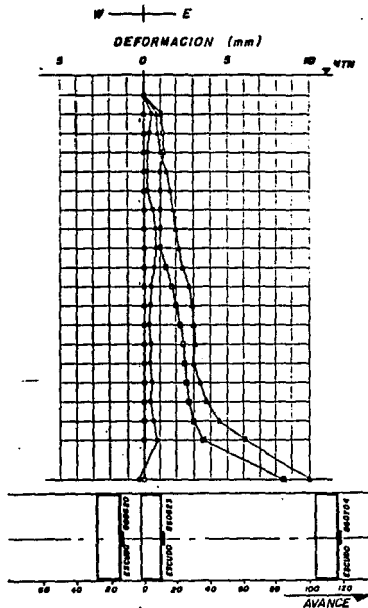
VV = VELOCIDAD VARIABLE

GRAFICO REPLICA, UBICADO EN LA CONSOLA DE CONTROL CENTRAL

MEXICO D.F. OCTUBRE 1966	FISICA No. IX-34	UNAM	TESIS PROFESIONAL
			CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ANILLAS BLANCAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO



SECCION TRANSVERSAL

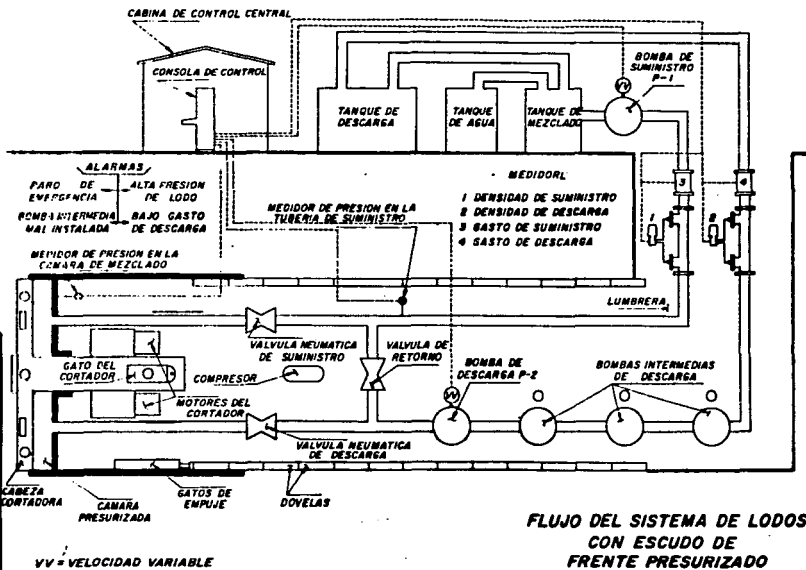


SECCION LONGITUDINAL

FECHA	CADENAMIENTO DE LA NARIZ DEL ESCUDO	DISTANCIA A LA SECCION
• 860518	0+369.080	- 605.920
• 860620	0+781.249	- 13.751
Δ 860623	0+807.117	+ 12.117
□ 860704	0+914.152	+ 119.552

REGISTRO DE INCLINOMETROS

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS FLOTADAS EN LAS ARCILLAS BLANDAS DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	
MEXICO D.F. OCTUBRE 1968	FIGURA No. X. 35



**FLUJO DEL SISTEMA DE LODOS
CON ESCUDO DE
FRENTE PRESURIZADO**

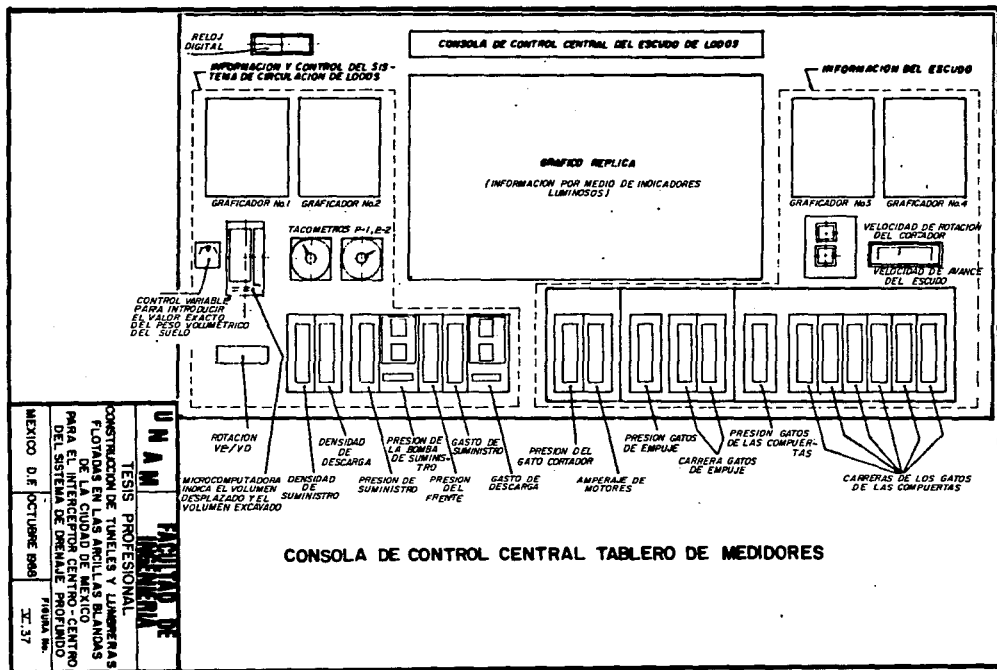
UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

CONSTRUCCION DE TUNELES Y LUMBRERAS
FLOTANTES EN LAS ANCLAS BLANDAS
DE LA CIUDAD DE MEXICO
PARA EL INTERCEPCION CENTRO - CENTRO
DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO

MEXICO D.F. OCTUBRE 1988

FIGURA No. 31.36



MEXICO D.F. OCTUBRE 1988

FIGURA No. 1

II. 37

UNAM

TESIS PROFESIONAL

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN INGENIERIA

CONSTRUCCION DE TUNELES Y LAMBRERAS FLOTANTES EN LAS ANCLAS BLANDAS PARA LA CIUDAD DE MEXICO DEL CENTRO DEL SISTEMA DE DRENALJE PROFUNDO

VI.- CONCLUSIONES.

Una de las inquietudes que dió origen a la elaboración del presente trabajo, es el hecho de que pocos son los que conocen como se compone la red del sistema de drenaje de la Ciudad de México y aún menos la problemática de los procedimientos de construcción de las obras que lo conforman, esto se debe principalmente a que se trata de una obra oculta que no es apreciada por la población como es el caso de otros servicios, tales como el Metro y el abastecimiento de agua potable.

Dentro de los procedimientos constructivos que se han utilizado para la construcción del Sistema de Drenaje Profundo, el problema más importante que se presenta es el mejoramiento del equipo a utilizar, es por ello, que con el empleo de herramientas como es el uso del escudo de frente cerrado y presurizado a base de lodos, en la construcción del tramo de túnel del Interceptor Centro-Centro, ha demostrado con creces ser la solución para la construcción de túneles en las arcillas blandas de la Ciudad de México, logrando con esto abatir considerablemente costos y tiempos de construcción, así como mejorar en mucho la calidad de los trabajos bajo un ambiente de seguridad y protección a la infraestructura existente.

El escudo en general, ha demostrado ser sin duda una herramienta imprescindible para atacar suelos tan difíciles como el de la Ciudad de México, lo que ha dado lugar a una investigación a nivel Internacional para obtener las mejores máquinas y emplearlas en este tipo de suelos.

Es así como en los años 80's se trajo por primera vez a México y quizás en América Latina una máquina especialmente diseñada para trabajar en las complejas características -

del suelo de la Ciudad.

El empleo de este tipo de escudos a dejado en el pasado el uso de escudos de frente abierto combinado con el empleo de aire comprimido, ya que poner en marcha un escudo de estas características representaba una fuerte erogación en lo económico así como excesivo tiempo de construcción.

Es claro que el escudo hasta ahora desarrollado es --- susceptible de hacerle ciertas mejoras, adecuándolo aún más a las necesidades y condiciones del lugar donde se pretenda poner a trabajar, puesto que como hemos podido darnos cuenta, a través de la presentación de este trabajo, se requiere de instalaciones quizás complejas para su operación, más sin embargo no se comparan a las que se requerirían para poner en funcionamiento otro tipo de escudo, cuando menos de los usados anteriormente.

Los avances técnicos y científicos han permitido notables mejoras y refinamientos en la construcción de los escudos y el reto actual es el de utilizar una máquina capaz de excavar en todo tipo de suelos.

La experiencia en México con este sistema ha sido muy valiosa y positiva, lo que motiva a pensar que su futuro es brillante en el ámbito tunelero nacional.

BIBLIOGRAFIA.

**MANUAL DE HIDRAULICA URBANA
TOMO I, SEPTIEMBRE 1982
D.G.C.O.H. - D.D.F.**

**PLAN MAESTRO DE DRENAJE
VOLS. I y II, SEPTIEMBRE 1982
D.G.C.O.H. - D.D.F.**

**REVISTA "INGENIERIA HIDRAULICA EN MEXICO"
PLAN HIDRAULICO PARA EL VALLE DE MEXICO
ING. JOSE VICENTE OROZCO, 1963**

**LA CUENCA LACUSTRE DEL VALLE DE MEXICO
ING. FEDERICO MOOSER, 1963**

**HIDROLOGIA SUPERFICIAL DEL VALLE DE MEXICO
ING. ANDRES GARCIA QUINTERO, 1951**

**MEMORIA TECNICA DE LAS OBRAS DEL DRENAJE
PROFUNDO DEL D. F., TUNEL, S.A. de C.V.**

**EL SUBSUELO Y LA INGENIERIA DE CIMENTACIONES
EN EL AREA URBANA DEL VALLE DE MEXICO,
SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS
MEXICO, D. F., 1978**

REVISTA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA, USO
ACTUAL Y FUTURO DE MAQUINAS PERFORADORAS
DE TUNELES EN GRANDES CIUDADES,
ING. CARLOS E. CASTANEDA NARVAEZ,
MEXICO, D. F., 1988

SHIELD TUNNELING, OKAMURA, CORP., FEB. 1987

TESIS: "EL USO DE ESCUDOS EN TUNELES",
ING. FRANCISCO ACEVES MAYLLEN,
MEXICO, D. F., 1985

SEMINARIO DE ESCUDOS Y TOPOS, 1986
COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MEXICO, A.C.

NAITOH, K., "THE DEVELOPMENT OF EARTH PRESSURE - -
BALANCED SHIELDS IN JAPAN", TUNNELS AND TUNNELLING;
LONDON, ENGLAND, VOL. 17, No, 5, Mayo 1985, - - -
PP. 15 - 18

KAWARABATA, Y., "PRESENT STATUS AND FUTURE PLAN --
FOR SLORRY FACE MACHINE TUNNELLING-EXPERIENCES ---
UNTIL NOW AND FUTURE DEVELOPMENT-", PROCEEDINGS OF
THE NORTH AMERICAN RAPID EXCAVATION AND TUNNELING
CONFERENCE,

AIME, VOL. I, 1979, PP. 478 - 496