

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



**“ Proceso Constructivo de tunel para Drenaje
profundo de la Ciudad de México,
Interceptor Oriente-Sur tramo L310S-L210S ”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
JOSE SERAFIN VAZQUEZ HERNANDEZ

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

T E S I S

PROCESO CONSTRUCTIVO DE TUNEL PARA DRENAJE PROFUNDO DE LA CIUDAD DE MEXICO. INTERCEPTOR ORIENTE-SUR TRAMO L310S-L210S .

TEMARIO.

INTRODUCCION .

PRIMER CAPITULO.

ANTECEDENTES.

- 1.1 Características físicas del Valle de México.
 - 1.1.1 Cuenca del Valle de México.
 - 1.1.2 Clima.
 - 1.1.3 Hidrología.
- 1.2 Historia del drenaje en el Valle de México.
 - 1.2.1 Drenaje en la Gran Tenochtitlan.
 - 1.2.2 La época colonial.
 - 1.2.3 México Independiente.
 - 1.2.4 Obras y problemas de drenaje a partir de 1990.

SEGUNDO CAPITULO.

PLANEACION.

- 2.1 Planeación del drenaje profundo de la Ciudad de México.
- 2.2 Sistema actual de drenaje de la Ciudad de México.
- 2.3 Drenaje Profundo.

TERCER CAPITULO.

DESCRIPCION DE LA MAQUINARIA, INSTALACIONES Y EQUIPO COMPLEMENTARIO NECESARIOS PARA LA EXCAVACION DEL TUNEL.

- 3.1 Escudo Excavador
 - 3.1.1 Información general.
 - 3.1.2 Características de diseño.
 - 3.1.3 Descripción general del escudo.
 - 3.1.4 Cuerpo del escudo.
 - 3.1.5 Cabeza cortadora.
 - 3.1.6 Sistema de propulsión de la cortadora.
 - 3.1.7 Ranuras para recolección de arcillas.
 - 3.1.8 Sistema de lubricación.
 - 3.1.9 Camara presurizada o de mezclado.
 - 3.1.10 Gatos de empuje.
 - 3.1.11 Montador o anillo erector.
 - 3.1.12 Tren de equipo.
 - 3.1.13 Tubería telescópica.
 - 3.1.14 Sistema de operación y control.
- 3.2 Instalaciones necesarias para la excavación del túnel.
 - 3.2.1 Instalaciones en superficie.
 - 3.2.2 Instalaciones en lumbrera y trabajos especiales.
- 3.3 Equipo complementario.
 - 3.3.1 Equipos en superficie.

CUARTO CAPITULO.

PROCESO CONSTRUCTIVO DE TUNEL.

- 4.1 Antecedentes (lumbrera construída).
- 4.2 Mejoramiento del suelo.
- 4.3 Bajada y giro del escudo.
- 4.4 Trabajos preliminares a la iniciación de la excavación.

4.5 Proceso constructivo.

- 4.5.1 Avance y conducción del escudo.
Formas de avance.
- 4.5.2 Excavación de los 50 metros iniciales.
Sistema de circulación.
Revestimiento primario.
Sistema de inyección.
- 4.5.2.1 Volumen excavado-volumen desplazado.
- 4.5.2.2 Espacio anular entre anillo de dovelas y faldón del escudo.
- 4.5.2.3 Posición y orientación del escudo.
- 4.5.2.4 Control Topográfico.
- 4.5.3 Proceso siguiente.
- 4.5.4 Emergencias.
- 4.5.5 Instalaciones y equipos complementarios en el túnel.
Instalaciones.
Equipos.
- 4.5.6 Terminación de la excavación.
- 4.5.7 Extracción del escudo.

QUINTO CAPITULO.

INSTRUMENTACION.

- 5.1 Ubicación de las secciones a instrumentar.
- 5.2 Instrumentación externa.
 - 5.2.1 Periodicidad de las mediciones
 - 5.2.2 Interpretación.
- 5.3 Instrumentación interna.
 - 5.3.1 Periodicidad de las mediciones.
 - 5.3.2 Interpretación.
- 5.4 Presentación de los resultados de la medición.

SEXTO CAPITULO

REVESTIMIENTO DEFINITIVO.

6.1 Introducción.

6.2 Métodos de colado (revestimiento).

6.3 Equipo necesario para llevar a cabo el revestimiento.

6.4 Preparaciones preliminares.

6.5 Proceso de revestimiento.

SEPTIMO CAPITULO.

CONCLUSIONES.

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

Uno de los grandes y graves problemas que la Ciudad de México padeció en el pasado, y sigue padeciendo pero en menor escala, es el de las inundaciones. Este fue uno de los principales males que se combatió desde antes de la conquista y después de ella, e incluso provocó problemas de carácter social en esos tiempos.

Este trabajo escrito en sus inicio, empieza tratando de dar a conocer las características físicas del Valle de México, (Orografía, Clima e Hidrología), para posteriormente dar a conocer en que condiciones se encontraba a través de su proceso histórico.

De ésta forma, en el primer capítulo se describe la problemática a la cual se enfrentaron los Mexicas cuando se sucedieron las inundaciones y la solución que dieron a las mismas. Así mismo, se tiene una breve descripción de la solución que dieron los españoles al gravísimo problema, misma que no vario en los primeros años (dieron soluciones parecidas a las dadas por los Mexicas), sino hasta la construcción del socavón de Enrico Martínez. Finaliza con una descripción del problema durante el México Independiente y la construcción del Gran Canal del desagüe en la época Porfirista.

Debido a que las inundaciones nunca cedieron por las copiosas lluvias de la época, en el segundo capítulo se hace referencia a las mismas y al nuevo problema que se agregaba, "El hundimiento de la Ciudad", su origen y consecuencias para finalmente mencionar la solución al tan entonces incontrolable problema, el DRENAJE PROFUNDO.

Para el tercer capítulo, se entra en materia describiéndose la maquinaria, instalaciones y equipo complementario necesarios para poder llevar a cabo la construcción del Drenaje Profundo con escudo de frente presurizado, describiéndose de igual forma las partes que componen al mismo.

Este capítulo resulta ser de suma importancia ya que se describe al escudo (funcionamiento) y su relación con el sistema de circulación de lodos, mismo que se describe el capítulo cuarto, ya que ambos son las partes esenciales con las cuales se lleva a cabo la excavación del túnel.

En los capítulos siguientes se describe el proceso constructivo en un tramo de referencia, desde su preparación, construcción, comportamiento de la estructura antes, durante y después de terminado el proceso; haciendo mención del equipo de instrumentos necesarios para esta actividad, así mismo, se describe el terminado final (revestimiento), métodos y equipo para su ejecución.

Así terminamos el trabajo escrito de este sistema ó proceso técnico, para la construcción del proyecto DRENAJE PROFUNDO con el cuál las autoridades del Departamento del Distrito Federal, tratan de combatir real y eficazmente este añejo problema que viene atacando el Valle de México, desde los primeros asentamientos humanos que en él existieron.

P R I M E R C A P I T U L O

ANTECEDENTES.

1.1 Características Físicas del Valle de México.

1.1.1 Cuenca del Valle de México.

El Valle de México es en realidad, una cuenca endorreica o cerrada, cuya forma puede asemejarse a una elipse cuyo eje mayor de NE a SE mediría unos 110 km, y el menor de E a W unos 80 km de longitud, su extensión superficial es de 9,600 km², extensión que incluye las antiguas cuencas tributarias de las lagunas de Apan, Tecumilco y Tochac, incorporadas a la cuenca en virtud de obras recientes de ingeniería.

Con respecto al D.F. toda su superficie forma la parte fundamental de la cuenca, excepto algunas fracciones de terreno de las delegaciones Milpa Alta, Tlalpan, La Magdalena Contreras y Villa Obregón, que se encuentran fuera de los límites de ésta. La cuenca se encuentra rodeada por una cadena de altas montañas, al SE se encuentra la Sierra Nevada (donde sobresalen los majestuosos perfiles del Popocatepetl, con 5,438 msnm y el Iztaccíhuatl, con 5,286 msnm), la cual se liga hacia el sur con la Sierra del Chichinautzín y la del Ajusco. La cadena montañosa se proyecta al SW con las sierras de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo y siguiendo de NW la Sierra Tepotzotlán, para cerrar la cuenca al norte con las de Tezontlalpan y Tolcayuca, así como también por las eminencias geográficas de la Serranía de Pachuca.

Ahora bien, en la planicie al W y con dirección N a S, se proyecta una pequeña Sierra por medio de la cual se constituye la Subcuenca de Apan.

En el interior de la Cuenca se encuentran diseminadas otras formaciones orográficas como lo son : La Sierra de Guadalupe al norte de la ciudad de México, donde el Cerro del Sombrero marca el máximo extremo N del Distrito Federal con su altura de 3,000 msnm; al Este de la cuenca se encuentra la Sierra de Santa Catarina y La Caldera, así como las del Volcán del Xico y el Cerro del Pino (en el área de Chalco). Se tienen también algunas eminencias aisladas como lo son : El Peñón de los Baños, el Peñón del Marqués, como así también el cerro de la Estrella.

La Geomorfología de la Cuenca determina tres zonas bien definidas:

- Zona baja, limitada desde el fondo de la Cuenca hasta la curva de nivel 2,250 msnm y con superficie de 1,507 km².
- Zona de lomeríos, comprendida entre las curvas de nivel con altitud de 2,250 a 2,400 msnm y una superficie de 2,575 km².
- Zona montañosa, limitada entre el lindero de la cuenca y la curva de nivel con altitud de 2,400 m y una área de 5,518 km²

A pesar de su extensión territorial, son notablemente variadas las características geomorfológicas y bióticas de la cuenca, ya que si la altitud en el Vaso de Texcoco es de 2,236 m, en la cumbre del Ajusco llegará a 4,000 m; y si Texcoco es árido, el Ajusco esta poblado por bosques de coníferas.

1.1.2 CLIMA

Se clasifica al clima del Valle de México como subtropical de altura, templado, semiseco y sin estación invernal bien definida. La temperatura promedio anual es de 15 °C. Las lluvias ocurren de mayo a octubre y la época de secas, el resto del año. La precipitación media anual es de 700 mm.

Ahora bién, es debido a las diferencias topográficas y accidentes orográficos que se tienen características climatológicas variadas de zona a zona, lo que ocurre con la precipitación pluvial y la temperatura, ya que ambas mediciones no pueden ser las mismas en las faldas de la serranía y en las áreas planas de la cuenca.

En los últimos años, dentro de la Cuenca se han registrado los valores de las temperaturas máximas y mínimas de cada localidad en 89 estaciones termométricas, así tenemos que, la temperatura media en la planicie de la cuenca varía entre 15 °C y 16°C abatiéndose hacia las partes montañosas en las serranías del Ajusco, Chichinautzín, Nevada, y las mayores temperaturas corresponden a la planicie lacustre y las menores a la zona montañosa.

LLUVIAS EN LA CUENCA.

173 estaciones climatológicas registran la precipitación pluvial, con éstos datos se han formado una colección de cartas que muestran las curvas de isoyetas anuales. Con base a estas curvas de isoyetas anuales, se efectuó la determinación de la precipitación anual en cada una de las once zonas hidrológicas (zonas integradas por grupos de corrientes y acuíferos y otros factores que guardan entre sí la mayor homogeneidad hidrológica posible), en que se ha dividido la cuenca.

La precipitación pluvial en la cuenca es diferente en cada una de las zonas hidrológicas que la integran, las que tienen más de 750 mm anuales se ubican al SW y SE de la misma región. En las zonas N y NE se producen lluvias escasas y, con excepciones, se tienen lugares como Pachuca y Nanacamilpa, donde en ciertos años la precipitación es abundante.

La temporada lluviosa abarca generalmente los meses de mayo a octubre como anteriormente ya se había mencionado, y en los demás meses sólo se registran lluvias aisladas.

El ciclo pluvial no es favorable para el aprovechamiento de las aguas, por el contrario, propicia el escurrimiento de avenidas, las que en ocasiones resultan perjudiciales y peligrosas.

Ahora bien, durante la temporada lluviosa, en la Cuenca se precipita un 80 a 90% de la lluvia del año, es decir, de 5,380 a 6,050 millones de m^3 pero el alto valor de la evaporización y la transpiración de las plantas, hace que el 81.4% de dicha agua de lluvia, se elimine, lo que representa aproximadamente un promedio anual de 4,500 millones de m^3 . Del resto, se infiltran 788 millones de m^3 , se consumen 250 millones m^3 y de la cuenca salen 250 millones m^3 , que corresponden principalmente al drenaje pluvial de la zona urbana de la ciudad y además de las aguas negras.

1.1.3 HIDROLOGIA.

La cuenca se ha dividido en once zonas atendiendo a las características hidrológicas principales que presentan sus corrientes superficiales. Las zonas hidrológicas son las siguientes :

ZONA I Y III.

Los corrientes de estas zonas corresponden a la Sierra de Chichinautzín, cuya característica sobresaliente es la gran permeabilidad de sus formaciones basálticas. La lluvia es abundante en ambas zonas.

ZONA II.

La integran las corrientes que forman el río Churubusco en la parte Suroeste del área urbana de la ciudad de México, recogiendo las aportaciones de los ríos Eslava y Magdalena.

ZONA III.

Las corrientes de esta zona, cubren la mayor parte de la ciudad de México.

ZONA IV.

Abarca las cuencas de los ríos Tepotzotlán y Cuautitlán, siendo éste último, el más caudaloso de la cuenca.

ZONA V.

A esta zona hidrológica corresponde la cuenca del río de las Avenidas de Pachuca, así como otras corrientes aisladas de escasa importancia.

ZONA VI.

Corresponde a esta zona, la cuenca del río San Juan Teotihuacán.

ZONA VII.

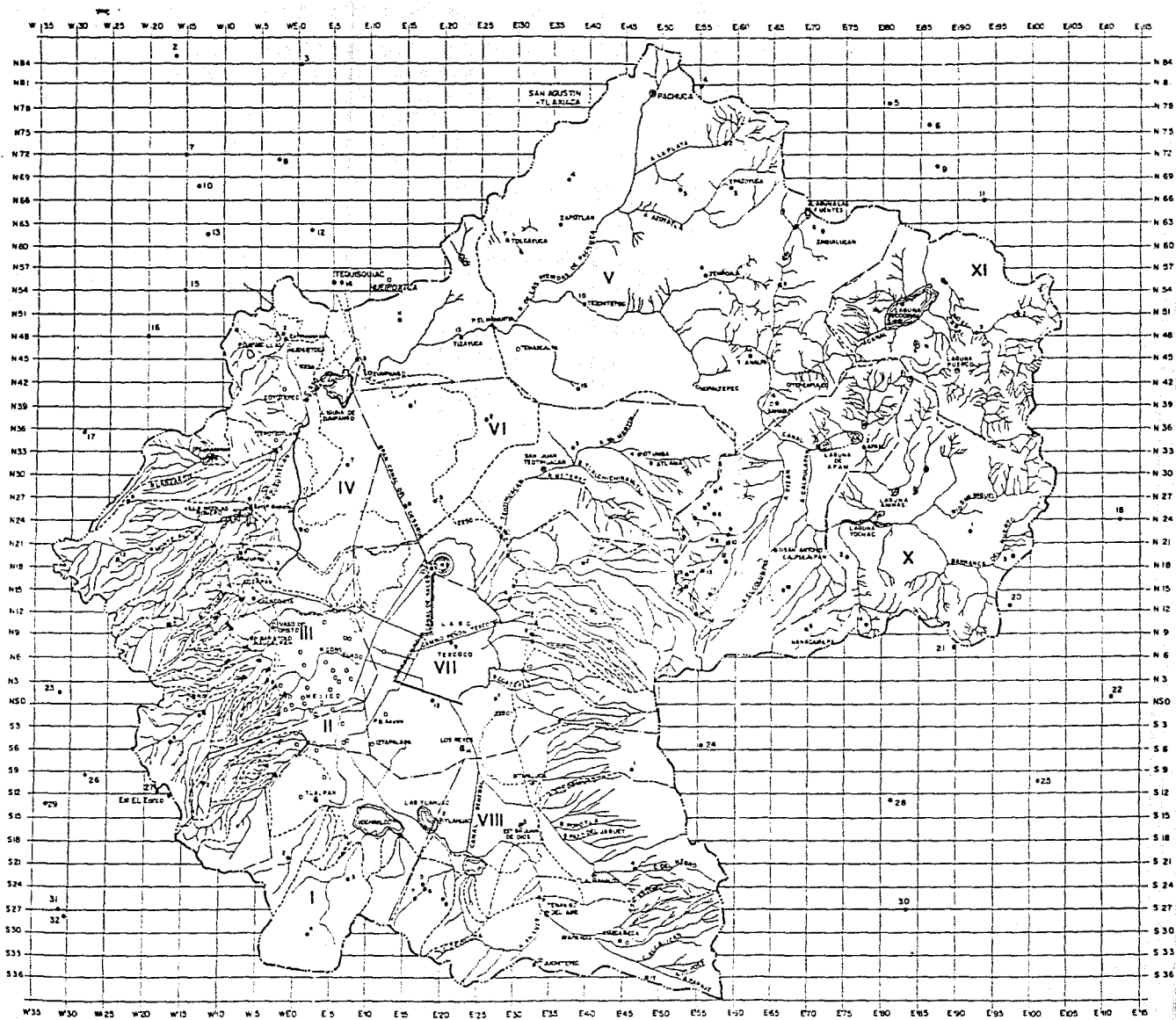
En esta zona se incluyen a todos los ríos que desaguan por el lado oriental del lago de Texcoco, con excepción del San Juan Teotihuacán.

ZONA IX, X y XI.

Originalmente estas zonas no formaban parte de la cuenca, pero se han incorporado a ésta, debido a obras de ingeniería de reciente creación.

Cabe señalar que la mayor parte de los ríos de la Cuenca son de carácter torrencial con avenidas de corta duración, a veces peligrosas, sus cauces permanecen secos durante la temporada de estiaje, siendo sólo los siguientes ríos los que cuentan con escurrimientos perennes : Magdalena, Mixcoac, Tacubaya, Hondo, Tlalnepantla, Cuautitlán, Tepotzotlán, San Juan Teotihuacán y de la Compañía.

Ver figura núm. 1 .



HIDROGRAFIA DE LA
 CUENCA DEL VALLE DE
 MEXICO.

FIG. 1

0 5000 10000 15000 20000
 ESCALA EN METROS

1.2 Historia del Drenaje en el Valle de México.

1.2.1 Drenaje en la Gran Tenochtitlan.

LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO.

Según la historia se habla de la Cuenca del Valle de México, como una gran superficie plana rodeada de montañas que iban decreciendo en altura hacia el interior. Estas montañas estaban cubiertas por espesos bosques de pinos, encinos y robles, y por las vertientes corrían numerosos ríos pequeños. La mayor parte de aquella superficie plana estaba ocupada por dos lagos separados entre sí, aunque no totalmente debido a la existencia de una porción de tierra en la que destacaban varios cerros. Ambos lagos diferían uno de otro no sólo en tamaño, sino en la calidad de sus aguas, el que estaba al Sur llamado Chalco, era largo y estrecho y tenía agua dulce gracias a la gran cantidad de manantiales que ahí había; en cambio el del Norte, Lago de Texcoco, era redondo y mayor, sus aguas eran saladas porque la tierra contenía salitre, sin embargo, en su parte más septentrional había agua dulce aunque esta porción no llegaba a tener el volumen del lago de Chalco. No estaban dichos lagos a la misma altura, el de Texcoco era más bajo y por esa razón el agua dulce del de Chalco se desbordaba en numerosas ocasiones sobre él.

En total, en aquella época se contaba con seis lagos :

Zumpango, Xaltocan, y San Cristobal al norte, el de Texcoco en el centro y los de Xochimilco y Chalco al sur. Ver fig. 2.

TRADICION HIDRAULICA.

En Teotihuacán se inició la tradición urbana que tomaron más tarde los Toltecas y grupos posteriores. En la época de su apogeo hubo además del grandioso Centro Ceremonial, una compacta aglomeración de casas-habitación alineadas en calles y callejuelas, plazas, barrios de artesanos, mercados y una admirable red de drenaje. Los pueblos posteriores al Teotihuacano, nacieron y crecieron a expensas de los lagos; por consiguiente las técnicas hidráulicas

comenzaron a desarrollarse en años muy tempranos. Quizá los primeros trabajos consistieron en canales de riego para abastecer de agua a los cultivos que por las sequías quedaban privados de ella. Los acueductos fueron obras mucho más tardías pues sólo las necesidades de grupos urbanos mayores hicieron posible su construcción.

Los Mexicas tuvieron que enfrentarse al reto de los lagos, ya que en la segunda mitad de XV hubo de todo: inundaciones, heladas, sequías, hambre, etc. Después de varias copiosas lluvias, creció la laguna de Texcoco y la ciudad de Tenochtitlán se inundó, no quedando ninguna de sus calles, por lo que el rey de Tenochtitlán, Moctezuma recurrió a Nezahualcóyotl, y por su encargo, éste último organizó y dirigió la construcción de un dique para contener las aguas salobres de Texcoco. El dique consistía en un muro formado con piedras y arcillas, revestido de ambos lados con una hilera de empalizadas (dique de más de 12 Km de longitud y 4 metros de ancho). El dique dividió desde entonces la laguna de Texcoco, y a la parte occidental se le dio el nombre de "Laguna de México". Esta obra no sólo sirvió para luchar contra las inundaciones, sino también contribuyó a que el agua que rodeaba Tenochtitlán se tornará menos salobre, lo cual vino en beneficio de los cultivos. Ver fig. 3.

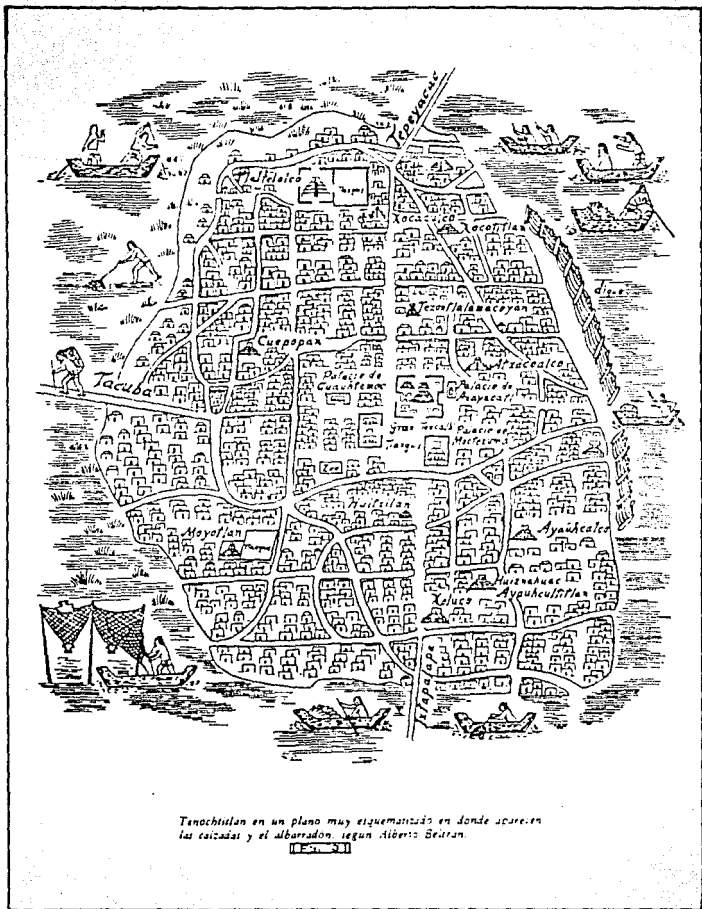
También llevaron a cabo varias construcciones de acueductos, como lo fueron: el acueducto de Chapultepec; el que iba de San Agustín de las Cuevas a Huitzilopochco, el que partía de Azcapotzalco hacia Tlatelolco, y el que iba de Huitzilopochco a Tenochtitlán. Este último acueducto provocó otra gran inundación en Tenochtitlán, ya que al correr el agua con tal fuerza, éste se desbordó provocando la inundación. Al llevarse a cabo las reparaciones la ciudad quedó con un sistema bastante complejo que comprendía diques, calzadas, compuertas, puentes, acequias, represas y embarcaderos, como se puede ver, construyeron obras para el regulamiento de las aguas. De las principales calzadas de las cuales se tiene conocimiento fueron hechas no solamente como vías de comunicación, sino también como diques. Tal fué el caso de las calzadas de Tepeyac,

Iztapalapa y Mexicaltzingo. La calzada-dique de Tláhuac, que aparentemente nada tenía que ver con ese propósito, servía para controlar la masa de agua del lago de Chalco, que en la estación lluviosa tendía a desbordarse sobre la de Xochimilco y esta a su vez sobre la de México.

Así, de todos éstas consideraciones puede concluirse que todo el sistema de calzadas, diques, represas y compuertas, tenía tres fines principales : comunicar la ciudad Tenochca con la tierra firme, evitar inundaciones y mejorar la calidad del agua de la laguna de México.

Estos fueron en general, los problemas hidráulicos a los que se enfrentaron los Tenochcas y la solución que a éstos dieron, soluciones que fueron adecuadas para ese tiempo .





Tenochtitlan en un plano muy esquematizado en donde se ven en las cañadas y el albardón, según Alberto Soberón.

1.2.2 LA EPOCA COLONIAL

En el inciso anterior se habló del drenaje en la Gran Tenochtitlán y como bien se apuntó, para contener las inundaciones los mexicas construyeron diques-calzadas y el albarradón ideado por Nezahualcóyotl.

Ahora hablaremos del drenaje del Valle de México después de la conquista.

INICIO DEL PROBLEMA.

Todo cambio al iniciarse la conquista. Durante la invasión a la ciudad de Tenochtitlán por Hernán Cortés (1521), se abrieron varios boquetes en el albarradón de Netzahualcóyotl para permitir el paso a las embarcaciones.

Ya con la ciudad conquistada, las lluvias torrenciales alertaron a las autoridades novohispanas sobre el grave problema de inundaciones que afectaba a la ciudad de México.

Estos aguaceros diluviales inundaron a México derrumbando muchas casas. Para la solución a éste problema, el Virrey Velasco (1555) ordenó la construcción de un albarradón que se inició en el arranque de la calzada de Guadalupe y terminaría en el arranque de la calzada de San Antonio o Iztapalapan, formando un semicírculo que abrazaba a la población por el rumbo de San Lázaro, se le llamó albarradón de San Lázaro. Durante ese tiempo se presentaron proyectos para dar salida a las aguas no sólo de la ciudad, sino de todo el Valle de México, el proyecto fue presentado por Ruy Gonzáles y Fco. Gudiel. Pero éste se olvidó en virtud de que durante un largo período de años, las lluvias no fueron abundantes, despreocupándose de un problema que estaba latente.

En 1604 y 1607 ocurrieron graves inundaciones provocadas principalmente por los escurrimientos del río Cuautitlán que ocasionaron numerosas muertes y cuantiosos daños materiales. Como respuesta a éstas inundaciones, el virrey Velasco procedió a proponer el drenaje general. De ésta forma varias personas

presentaron proyectos para expulsar las aguas fuera del Valle, de éstos, el proyecto de Enrico Martínez fue el elegido.

Enrico Martínez en su proyecto, propuso la construcción de un túnel en la zona de Nochistongo, al noroeste del Valle. Así, el 29 de noviembre de 1607, se inició la construcción de ésta gran obra, la cual se terminó en menos de un año.

El Valle de esta forma dejó de ser una cuenca cerrada contando ya con su primera salida artificial.

La falta de revestimiento al túnel provocó varios derrumbes en el mismo, inutilizándolo por completo. Entonces se decidió sustituirlo por un tajo (zanja), que interrumpido por frecuentes derrumbes, inundaciones y problemas, se terminó después de 160 años de trabajo, por lo que a partir de 1789 se dio salida permanente a las aguas de la cuenca de México.

Ver fig. 4 .

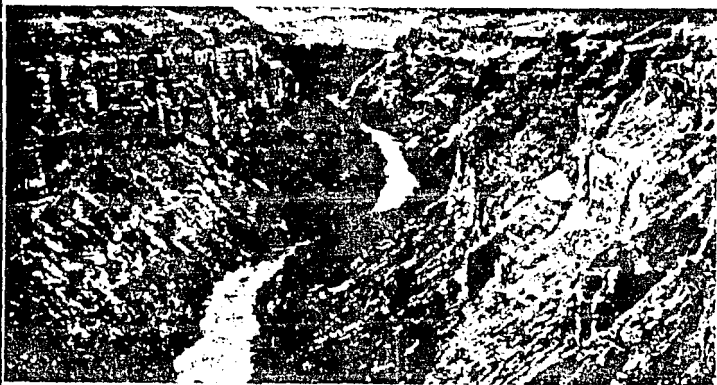


Fig. No. 4

Tajo de Nochistongo en su parte más profunda.

1.2.3 MEXICO INDEPENDIENTE

La última inundación que sufrió el Valle de México durante el Virreynato, fue en el año de 1819 cuando gobernaba el virrey Apodaca; pero como generalmente sucedió en casi toda la época virreynal (a excepción de la construcción del tajo de Enrico Martínez), sólo se hicieron reparaciones menores en el combate a ésta inundación. Dos años después de ocurrida ésta última inundación, el virreynato cayó con la independencia de México, heredando con ello el México ya independiente, el problema del drenaje (desalojo) de las aguas del Valle de México, problema que durante los primeros años del México independiente no se combatió.

A principios del siglo XIX, la seguridad del Valle de México y su zona aledaña, era proporcionada por las siguientes defensas:

- 1) calzadas de piedra que impiden a las aguas de Zumpango que viertan sobre el lago de San Cristóbal y que las de éste entren en lago de Texcoco.
- 2) En las calzadas y esclusas (compuertas) de Tláhuac y Mexicaltzingo, que impiden la salidad de los lagos de Chalco y Xochimilco.
- 3) En el drenaje de Enrico Martínez, por el cual, el río de Cuauhtitlán atraviesa las montañas para pasar al Valle de Tula.
- 4) En los canales de Mier, con los que los lagos de Zumpango y de San Cristóbal se pueden drenar a discreción.

A pesar de contar la ciudad con éstas obras, la misma no se libra de las inundaciones.

A principios de la década de los 30's (gobierno del general Bustamante) fue cuando se activaron los trabajos de conservación y mejoramiento del drenaje. El Ministro de Relaciones, Lucas Alamán se interesó en mejorar la obra de Enrico Martínez proponiendo profundizar el tajo de Nochistongo. Pero sólo se aprobó y se llevó a cabo (bajo la dirección del Coronel José Rincón), obras urgentes

de reparación. Durante la invasión del ejército norteamericano en 1847, las obras de drenaje existentes se utilizaron como barrera para proteger a la ciudad, tal fue el caso del Canal de la Viga y las compuertas o esclusas de Mexicaltzingo, a la primera se le hicieron varios boquetes y las segundas se rompieron, inundando así la zona oriental de la ciudad .

Para 1853 se creó el Ministerio de Fomento, que entre otras atribuciones tuvo la de promover y administrar el ramo de canales y drenaje de la cuenca. También en éstos años se pensó en el vapor como fuerza motriz y con esto nació una serie de proyectos de líneas de navegación a través de los lagos y canales del Valle. Pero esta idea era incompatible con la del desagüe de la cuenca. Aún así, se empezaron los proyectos de navegación y se escogió como vía el Canal de la Viga para comunicación entre México y Chalco (proyecto de Mariano Ayllón). Pero ésta idea contribuía a obstaculizar las defensas de la capital contra inundaciones, por lo que el ingeniero Garay se encargó de las reparaciones necesarias como lo fueron: reparar la compuerta de Mexicaltzingo para moderar el paso de agua por el Canal de la Viga e interceptarlo para evitar que las crecientes del río Churubusco bajaran a México, como también, abrir un canal de 10 metros de ancho por el llano de San Lorenzo, comunicando con éste, el lago de Xochimilco con la Laguna de Santa Martha, la cual vacía en el lago de Texcoco, al oriente del Peñón del Marqués. A éste canal se le llamó "Canal de Garay", en honor a su autor, conjurándose así en 1856 el peligro que amagaba a la capital.

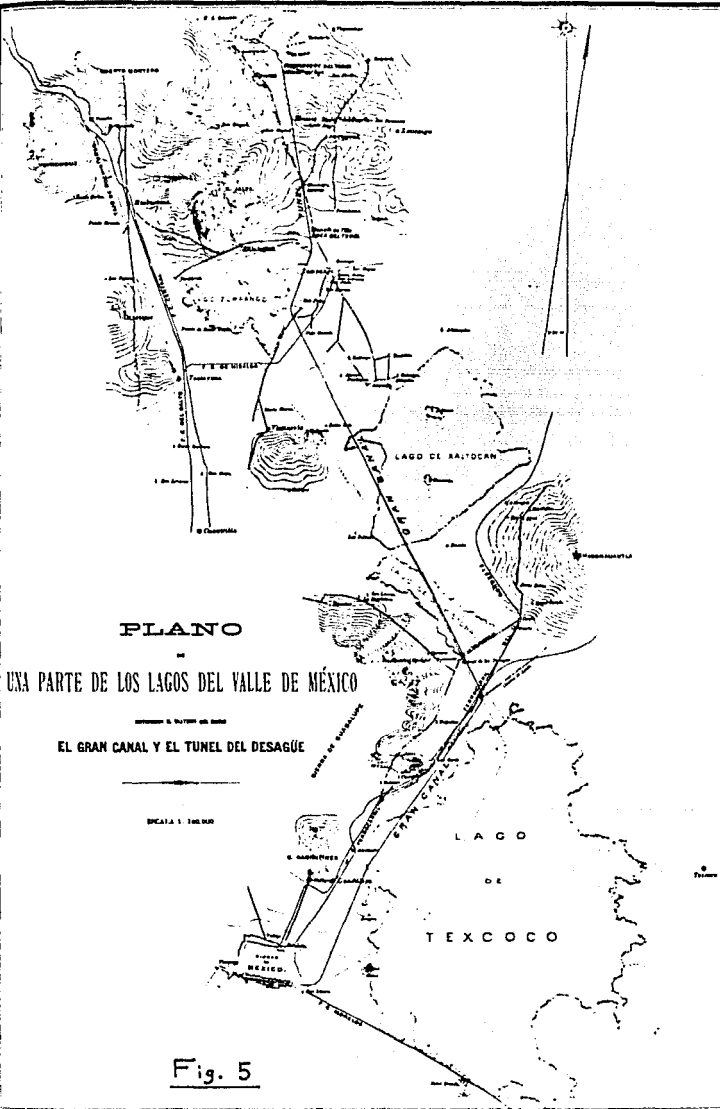
En este mismo año, como las inundaciones eran cada vez más alarmantes (en algunas zonas su nivel alcanzaba hasta tres metros de altura) se hizo un planteamiento a nivel presidencial para el drenaje general del Valle, de esta forma se lanzó una convocatoria a los especialistas nacionales y extranjeros, para presentar un proyecto integral de las obras hidráulicas de la Cuenca de México. Esta convocatoria contenía varios puntos:

- Regular las aguas del Valle de tal manera que ya no hubiera inundaciones en la capital y poblaciones aledañas.

- Modernizar el sistema de atarjeas para el drenaje de la metrópoli
- Trazar y abrir el mayor número de canales factibles a la navegación.
- Aprovechar en riegos agrícolas el mayor caudal de las aguas disponibles de la Cuenca.

El proyecto más completo y mejor calificado fue el del ingeniero Fco. de Garay que consistía en lo siguiente: una línea de desagüe a terminar en Tequixquiac, línea que consistía en un canal a cielo abierto de 50,380 metros de longitud, un túnel de 8,970 metros y otro canal terminal de 1,480 metros. El proyecto se llevó a cabo, y finalmente a principios de 1900, la vía en general se hallaba expedita hasta el túnel de Tequixquiac. Así, el 17 de marzo de 1900 se llevó a cabo la inauguración del "Gran Canal" y el Sistema de Drenaje General de la Cuenca de México; ese día el General Porfirio Díaz dio la orden de levantar las compuertas de San Lázaro que dan salida a los residuos y aguas de la gran ciudad por el Gran Canal (que comienza en el barrio del mismo nombre de ésta capital) y por el túnel de Tequixquiac que es la continuación de dicho canal . Ver figura 5 .

En verdad, era ésta una obra colosal, pero de ninguna manera daba una solución enteramente satisfactoria como se verá en el siguiente inciso de este capítulo, ya que la capital fue nuevamente azotada por nuevas inundaciones.



PLANO

DE
UNA PARTE DE LOS LAGOS DEL VALLE DE MEXICO

EL GRAN CANAL Y EL TUNEL DEL DESAGÜE

Fig. 5

1.2.4 Obras y problemas de drenaje a partir de 1900 .

En 1855 el ingeniero Roberto Gayol empezó su estudio sobre el primer sistema moderno de drenaje, terminando éste en 1890 después de investigaciones en el extranjero y los últimos adelantos en la materia . El sistema consistía fundamentalmente en dos grandes colectores: el colector general del norte (en las calles de imprenta y av. del taller), y el colector general del sur (en la actual calle de Morazán). Además de estos dos grandes colectores de 3 metros de diámetro, existían cinco colectores tributarios en dirección perpendicular a los primeros, que eran : el colector central, los colectores 1 y 3 al norte y, 2 y 4 al sur.

Fue este el sistema ideado y llevado a cabo por el ingeniero Gayol el cual se combinaba con el Sistema General de Drenaje del Valle de México, constituido por el Gran Canal del Desagüe y el primer túnel de Tequixquiac.

Este sistema de drenaje urbano del Porfirismo, ampliado y perfeccionado por los gobiernos de la revolución, empezó a sufrir dislocamientos, provocándose con ellos, columpios y contrapendientes, sucediendo lo mismo con el Gran Canal (años 30's), debido al crecimiento desorbitante que empezó a darse en la ciudad, lo cual cuadyudó a la perforación y explotación de numerosos pozos de agua potable, con lo que se aceleró el hundimiento general del suelo, merced de la consolidación de las arcillas compresibles. Esto se comprobó cuando el ingeniero Gayol para revisar la capacidad de escurrimiento de los colectores principales, repitió nivelaciones encontrando que en muchos lugares los colectores habían descendido más de 50 centímetros, perdiendo su pendiente.

Sin embargo fue hasta 1936 cuando se le dió la debida importancia a la relación entre el hundimiento y el bombeo de agua de gran cantidad de pozos a que fue necesario recurrir para abastecer en forma expedita a una población creciente. Esto se pudo corroborar finalmente cuando en 1947, el Doctor Nabor Carrillo dictó una

conferencia ante la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos de México basada en la Mecánica de Suelos y en la Teoría de la Consolidación demostrando que el hundimiento de la ciudad de México se debía a la consolidación del estrato arcilloso superior del subsuelo producida por la pérdida de presión de poro, debida a la extracción del agua del mismo subsuelo. Ver figura 6 .

Fue de ésta forma como se comprendió que no solamente la insuficiencia del drenaje con el que se contaba en la ciudad (y que cada día crecía más y más), era el motivo de las inundaciones, sino también la sobreexplotación de pozos para el abastecimiento de agua potable, que finalmente provocaban el hundimiento de la ciudad, y así, las inundaciones.

A partir de esto, la Comisión Hidrológica del Valle de México decretó una veda total de perforación de pozos, pero la ciudad seguía su ritmo acelerado de crecimiento, lo que trajo como consecuencia el aumento de la demanda de agua potable, agua que posteriormente debía ser desalojada por los sistemas de drenaje, los que a su vez tenían que mejorarse día a día, por el motivo ya anteriormente mencionado.

En diciembre de 1930, la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, emprende la prolongación sur del Gran Canal, con lo que se ayudaría al sistema de drenaje.

Durante este 1930 y los años de 1932, 1933 y 1934, se llevaron a cabo proyectos y construcciones de varios colectores, pero a pesar de esto, se advierte la delantera que lleva el crecimiento de la ciudad con respecto a las obras de drenaje. También se llevaron a cabo construcciones de presas y túneles para regularizar escurrimientos, lo que se llamó en ese tiempo "desviación combinada".

A pesar de esto, los informes técnicos referían a que la anarquía técnica en el trazo de colectores y atarjeas, y sumando el abandono en que se tuvo el drenaje de la ciudad por más de 20 años y el volumen creciente de agua por el escurrimiento por el incremento de calles pavimentadas, ponía en serio peligro la integridad de la ciudad.

El 1^o de julio de 1937 se inundó la ciudad (ver figura 7), y con

motivo de los daños producidos, se elaboró un plan de control fluvial, y para el año de 1938, se anunció el inicio de los trabajos para la construcción del segundo túnel de Tequixquiac, siguiendo también extendiéndose la red de drenaje con la construcción de varios colectores.

Durante los años, 1941, 1942, 1944 y 1950, la ciudad sufrió varias inundaciones, siendo la más devastadora la sufrida en el año de 1950, ya que provocó grandes pérdidas materiales y algunas humanas, lo que lógicamente provocó angustias en la población. Las autoridades respondían a éstas inundaciones con la ampliación de la red de drenaje, como también se proseguía con la prolongación del Gran Canal hacia el sur. También, como ya se mencionó anteriormente, la ciudad se estaba hundiendo por la extracción de agua del subsuelo, y tal hundimiento había llegado a 50 cm/año y para 1950 había alcanzado 5.0 metros de hundimiento.

Así podemos concluir que, las fuertes inundaciones que sufría la ciudad, obedecían a varios factores, los cuales fueron:

- 1) insuficiencia de la red existente de colectores y atarjeas para evacuar las aguas negras de manera rápida y en forma eficiente.
- 2) hundimiento acelerado del hundimiento de la ciudad.
- 3) consecuencia de lo anterior, disminución de la pendiente del Gran Canal, que traía como resultado un retardo en la evacuación de las aguas.

Ahora bien, con objeto de prevenir y remediar las alarmantes inundaciones que ocurrían en temporada de lluvias, la Dirección General de Aguas y Saneamiento, realizó obras especiales, tales como la construcción de cárcamos y plantas de bombeo de aguas negras para conseguir el libre escurrimiento de los colectores. De ésta forma, se llegó a la conclusión de instalar varias plantas de bombeo para descargar los colectores hacia el Gran Canal, siendo en total siete estaciones de bombeo, localizándose éstas en las desembocaduras de los colectores con el Gran Canal. Las principales fueron las de los colectores del sur y centro que

desembocaban en el kilómetro 0 del Gran Canal. Ver figura 8. Cabe aclarar que por el aumento acelerado de la ciudad, los escurrimientos aumentaban, con lo que se veía amenazada la capacidad del Gran Canal, lo mismo sucedía con el túnel de Tequixquiac (con capacidad de $17.5 \text{ m}^3/\text{seg}$).

Para el año de 1954, el segundo túnel de Tequixquiac quedaba concluido, contando con una capacidad teórica de $60 \text{ m}^3/\text{seg}$. De esta forma se aliviaba el drenaje general de la cuenca, pero las condiciones de la ciudad seguían siendo las mismas, es decir, seguían dándose inundaciones año con año.

En resumen, las autoridades para combatir la inundaciones se vieron en la necesidad de recurrir a nuevas soluciones, mismas que fueron:

- a) construcción del nuevo túnel de Tequixquiac, que sirvió de alivio al primero.
- b) utilización de bombeo.
- c) Desviación combinada (conjunto de estructuras hidráulicas construidas sobre los ríos de la vertiente oriental de la Sierra de las Cruces, para regularizar sus aguas, desviando sus cursos hacia el norte de la ciudad de México, hasta llegar al lago de Texcoco, como ejemplos, las presas sobre los ríos Mixcoac, Becerra, Tacubaya, etc.

Pero a pesar de contar con éstas nuevas medidas, el caudal normal de las aguas negras, crecía al ritmo con el cual también aumentaba la población, es decir, las inundaciones en la ciudad proseguían...

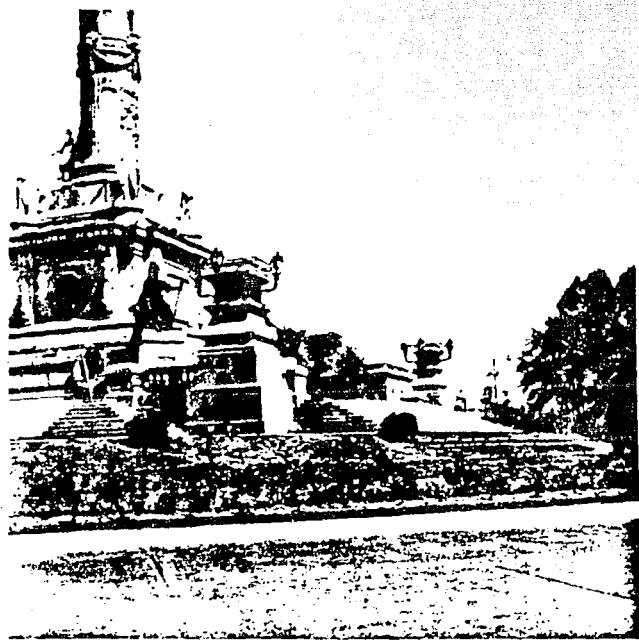


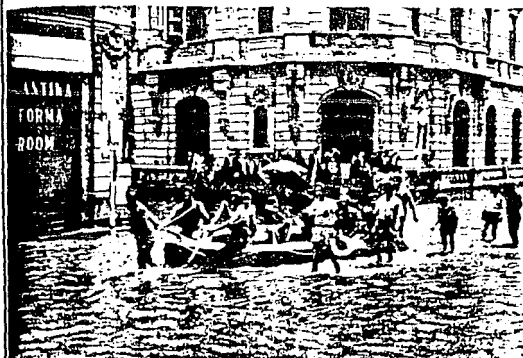
Fig. No. 6

Hundimiento de la Ciudad de México.

Un ejemplo del hundimiento del subsuelo del D.F., ya que toda la faja de escalinata y prado de la columna de la Independencia que se observa, es el nivel que el subsuelo ha descendido.



Inundación en la
calle de Artículo
123. 1951.



Inundación en la
esquina de Bolívar
y 16 de Septiembre.
1951.

Fig. No. 7

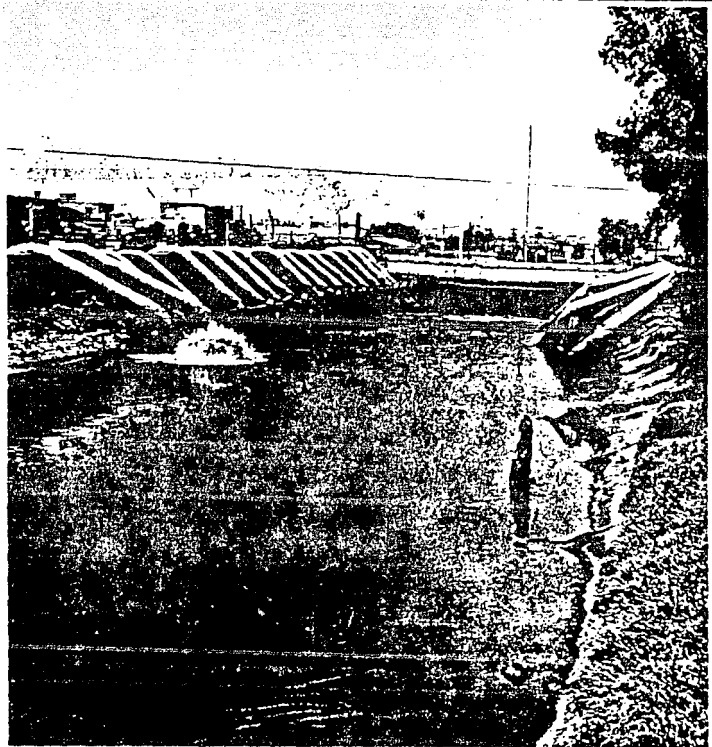


Fig. No. 8

Gran Canal del Desagüe, en el Km 0,
mostrando las tuberías de descar-
ga de las plantas de bombeo
1 y 1 A.

S E G U N D O C A P I T U L O

P L A N E A C I O N

2.1 Planeación del Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

En la parte última del capítulo anterior, se mencionaron todas las obras que se realizaron después del año de 1900 para combatir las inundaciones que eran provocadas por la insuficiencia en el drenaje existente y en el que posteriormente se proyectaba, debido al crecimiento acelerado de la población.

Otro aspecto importante que se mencionó, fue el del hundimiento de la ciudad; esto último era ocasionado por la gran demanda de agua potable que traía como consecuencia la perforación de pozos profundos, lo que finalmente provocaba que la arcilla del estrato superior que conforma al suelo de Ciudad de México, se consolidará al faltarle la presión de poro, ocasionando con ello el hundimiento mencionado.

A pesar de lo anterior, se había logrado un apreciable avance en el control hidrosanitario de la Cuenca del Valle, pero el problema más crítico que eran las inundaciones de la Ciudad, seguía presente.

Desde principios de siglo hasta 1936, los hundimientos de la Ciudad se mantuvieron en el orden de 5 cm/año; pero al aumentar la demanda de agua potable, se inició la perforación de pozos profundos y debido a esto, entre 1938 y 1948, el hundimiento en el centro del Distrito Federal se incrementó a 18 cm/año, para llegar posteriormente a 30 y 50 cm/año. (Ver figura No. 9), esto último trajo como consecuencia, que el drenaje proyectado para trabajar por gravedad requiriera de bombeo para elevar las aguas hasta el nivel del Gran Canal, lo que motivó un incremento en los costos de operación y mantenimiento.

HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO

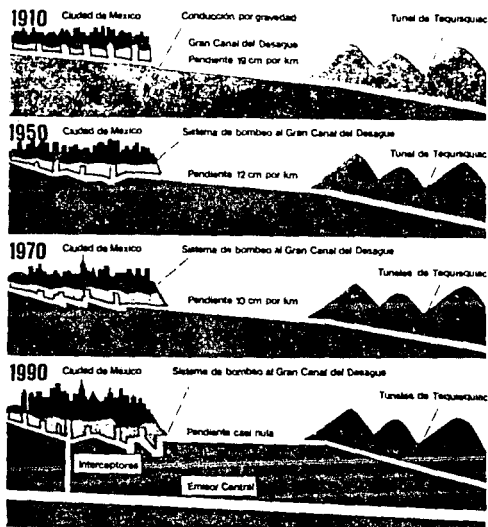


Fig. 9 .

Pero con la experiencia y el éxito obtenido en las obras de sustitución de la prolongación sur del Gran Canal(hoy Canal de Miramontes) con el método de construcción con "escudo"para perforar túneles a través de mantos arcillosos,se proyectaron interceptores a suficiente profundidad para obtener la mínima afectación por el hundimiento de la Ciudad.

Así, para el año de 1960, se construyeron el Interceptor y el Emisor del Poniente con objeto de recibir y desalojar las aguas del oeste de la Cuenca, descargándolas a través del tajo de Nochistongo, siendo éstas obras un auxilio para el Gran Canal del Desague .Pero el crecimiento desmesurado de la ciudad continuaba volviendo insuficientes las capacidades de drenaje por el Gran Canal y el Emisor del Poniente, a la vez, otro problema se iba acrecentando, el hundimiento de la ciudad continuaba, siendo que el nivel en el Lago de Texcoco en el año de 1910 se hallaba 1.90 metros abajo de la ciudad , ahora se encontraba 5.50 metros arriba de la misma.

De esta forma, se requería de un sistema de drenaje que no fuera afectado por los asentamientos del terreno y que además no necesitará bombeo. El planteamiento era tan sencillo como audaz la fórmula para resolverlo; si la ciudad se hundía a un cierto ritmo,tenía que construirse un sistema de drenaje que fuera lo suficientemente seguro para que por más que se hundiera la ciudad, éste no dejará de funcionar, era necesario construir el Sistema de Drenaje Profundo.

Ya con la experiencia obtenida en la construcción del Emisor e Interceptor del Poniente, el plan definitivo de ésta gigantesca obra fue aprobado en 1967, iniciándose los trabajos en abril de ese mismo año.

Fue de ésta forma , como con la planeación y construcción del Interceptor y Emisor del Poniente prácticamente se dió inició a las obras del Drenaje Profundo de la Ciudad de México en 1960, aunque el plan definitivo de la gigantesca obra se aprobó hasta 1967, llegándose así al inicio de la solución en la lucha contra

las inundaciones de que era objeto la Ciudad de México.

2.2 Sistema actual de Drenaje de la Ciudad de México.

El sistema de drenaje en la Ciudad de México es combinado conduciendo aguas residuales y de lluvia. Está compuesto por una red primaria con una longitud de 1,212 kilómetros y por una red secundaria de 12,326 kilómetros, contando además con 66 plantas de bombeo, tanques de tormenta, cauces abiertos, ríos entubados, presas y lagunas.

El Drenaje Profundo forma parte de éste sistema y consta de 93 kilómetros de drenaje construido y funcional. Está compuesto por varios interceptores que fluyen hacia un mismo punto que es el Emisor Central para la captación y evacuación de las aguas de la ciudad.

Ahora bien, debido a sus características de construcción (profundidad a la que es construido), no sufre modificaciones por el hundimiento constante de que es objeto la ciudad, operando por gravedad.

2.3 Drenaje Profundo.

En la actualidad, el drenaje profundo está integrado por las estructuras que a continuación se describen:

A. Emisor Central

Es un conducto de 6.5 metros de diámetro y cuenta con una longitud de 50 kilómetros. Su trazo empieza en Cuauhtepc, atraviesa la autopista México-Querétaro a la altura de Cuautitlán, continuando paralelamente a ésta, hasta el Puente de Jorobas, donde nuevamente la atraviesa para descargar finalmente en el río El Salto através del Portal de Salida, conduciendo éstas aguas hasta la Presa Requena o al Canal El Salto-Tlamaco y posteriormente al río Tula y a la Presa Endó, que satisface las

demandas de riego de la zona. El río Tula es afluente del Moctezuma y éste a su vez del Pánuco él que finalmente descarga en el Golfo de México. La función del Emisor es conducir fuera de la Cuenca del Valle las aguas provenientes de los interceptores Centro-Poniente, Central y Oriente.

B. Interceptor Centro-Centro.

Este interceptor cuenta con un diámetro de 5 metros y una longitud de 3.7 kilómetros, contando con una capacidad de $90\text{m}^3/\text{seg}$. Sirve de unión entre los interceptores Oriente y Central. En la lumbrera dos del mismo, se ha construido una estructura de captación para beneficiar a corto plazo a algunas colonias del centro del Distrito Federal. En el mediano plazo conducirá las aguas del Interceptor Oriente, el que su vez aliviará al Río Churubusco y al Túnel Semiprofundo Canal Nacional-Canal de Chalco.

Ubicación. Se inicia en la lumbrera 1, ubicada en la esquina de las calles Dr. Durán y Dr. J.M.Vértiz, y termina en la lumbrera 4 en Agiobampo y Francisco del Paso.

C. Interceptor Central.

Este interceptor tiene un diámetro de 5.0 metros y una longitud de 16 kilómetros. Alivia al río de la Piedad y capta los colectores de Tabasco, 5 de Mayo, Héroes, río Consulado, Cuitláhuac Fortuna y Moyobamba, contando además con obras de toma de los ríos de los Remedios, Tlalnepantla, San Javier y Cuautepec. De esta forma beneficia a las delegaciones Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Cuauhtémoc, y parte norte de la Delegación Benito Juárez.

Ubicación. Da inicio en la lumbrera 4, en el cruce de las avenidas Dr. Vértiz y Obrero Mundial, hasta la lumbrera 0 del Emisor Central en Cuautepec.

D. Interceptor Oriente

Es un túnel con un diámetro de 5.0 metros y 15 kilómetros de longitud y su función principal es aliviar al Gran Canal del Desagüe, beneficiando con esto a gran parte del centro y norte del Distrito Federal. Cuenta en su lumbrera 13 con una captación para el desfogue de la Laguna de Regulación El Arbolillo (en Cuauhtepac), beneficiando a una parte de la Delegación Gustavo A. Madero Ubicación. Principia en el Gran Canal del Desagüe, donde se localiza la obra de toma que continua con sección rectangular hasta la lumbrera 8c en la colonia Salvador Díaz Mirón y termina en la lumbrera 0 del Emisor Central.

E. Interceptor Centro-Poniente.

Es un conducto de 4.0 metros de diámetro y una longitud de 16.5 kilómetros. Cuenta con estructuras de captación en cinco de sus lumbreras, captando a los colectores: Rúben Darío, Río San Joaquín, Refinería Trujillo, Salomón Lerdo de Tejada y colector 15; con ello alivia a gran parte de la delegaciones Miguel Hidalgo, Azcapotzalco, aliviando también al Interceptor del Poniente en la lumbrera 14.

Ubicación. Da inicio en la lumbrera 14 del Interceptor Poniente cerca del Museo Tecnológico de la Comisión Federal de Electricidad, y termina en la lumbrera 1 del Emisor Central.

En lo que respecta a infraestructura de colectores semiprofundos se tienen los siguientes:

1. Colector Semiprofundo Canal Nacional-Canal de Chalco

Es un colector con una longitud de 3200 metros y un diámetro de 3.10 metros, proyectándose para futuro tener una longitud total de 5.9 kilómetros. Por medio de este colector se aliviará la Laguna de Regulación Ciénega Grande, siendo su caudal conducido

hacia el Interceptor Oriente ó al río Churubusco mediante la planta de bombeo Miramontes. Mediante está obra se beneficiará principalmente a los habitantes de las delegaciones Coyacán e Iztapalapa y parte de la Delegación Xochimilco.

2. Colector Semiprofundo Iztapalapa.

Cuenta con una longitud de 5.5 kilómetros y un diámetro de 3.20 metros , captando gran parte de la Delegación Iztapalapa. Conduce las aguas hasta la planta de bombeo Central de Abastos 2, y finalmente ésta última las incorpora al río Churubusco. Beneficia de igual forma la parte noreste de dicha delegación recibiendo los desfogues de las lagunas Mayor y Menor.

3. Colector Semiprofundo Obrero Mundial.

Tiene una longitud de 0.80 kilómetros, un diámetro de 3.20 metros, contando con dos lumbreras. Su trazo es paralelo al río la Piedad, captando a éste en la lumbrera 2 por medio del colector Xochicalco. Captará en un futuro los escurrimientos de la zona poniente de la Delegación Benito Juárez a través de un colector actualmente en proyecto (colector Pestalozzi), para posteriormente descargarlos en la lumbrera 4 del Interceptor Central. Ver tabla número 1 .

Ahora bien, son necesarias para el desalojo de las aguas residuales y pluviales, estructuras que permitan conducir y controlar los caudales generados desde la red secundaria y primaria, hasta el drenaje profundo, éstas estructuras son: cajas de captación, colectores de alivio, cajas de control, cámaras en espiral, cimacios, lumbreras adosadas, y vertedores.

Además de la ampliaciones y modificaciones ya mencionadas en el Interceptor Centro-Centro, Colector Semiprofundo Canal Nacional Canal de Chalco, y Colector Semiprofundo Obrero Mundial, se tienen

proyectados a futuro los Interceptores Oriente-Oriente y Oriente-Sur, el tramo L3IOS-L2IOS de éste último, es el motivo de ésta tesis. La descripción de ambos es la siguiente:

Interceptor oriente-oriente.

Conducto proyectado para un diámetro de 5.00 m., el cual por medio de cuatro lumbreras captará los colectores que drenan la zona nororiente de la delegación Iztapalapa la laguna de regulación El Salado, la cual recibe aportaciones de varios colectores.

Ubicación. Iniciará en la esquina norponiente de la laguna de regulación El Salado, ubicada en el cruce de las avenidas Texcoco y Kennedy, para concluir en la que será la lumbrera 6 del interceptor oriente-sur en la esquina de canal de San Juan e Ignacio Zaragoza.

Interceptor oriente-sur.

Contará con una longitud de 9,666 m. y un diámetro de 5.00 m. siendo su finalidad captar el agua residual y pluvial de gran parte de la delegación Iztapalapa. En una segunda etapa se interconectará con el interceptor oriente. Contará con 11 estructuras de captación que beneficiarán además a las delegaciones Iztacalco y Venustiano Carranza.

Ubicación. El túnel se inicia en la lumbrera 1 ubicada en Canal de Garay entre las calles de Nautla y Estrella, y termina en la intersección de la calzada Zaragoza y Av. Río Churubusco donde se ubicarán las lumbreras 7A, 7B y 7C .

El tramo objeto de ésta tesis (el cual se encuentra en construcción), se ubica en la delegación Iztapalapa donde el trazo del túnel se tiene a lo largo de la calle Luis M. Rojas y termina en la lumbrera 2 a un costado del Periférico en la Colonia Constitución de 1917.

A continuación se anexa la figura número 10, donde se podrá ver el trazo de las obras de drenaje profundo terminadas que se han descrito, como también las obras futuras del mismo.

El Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México

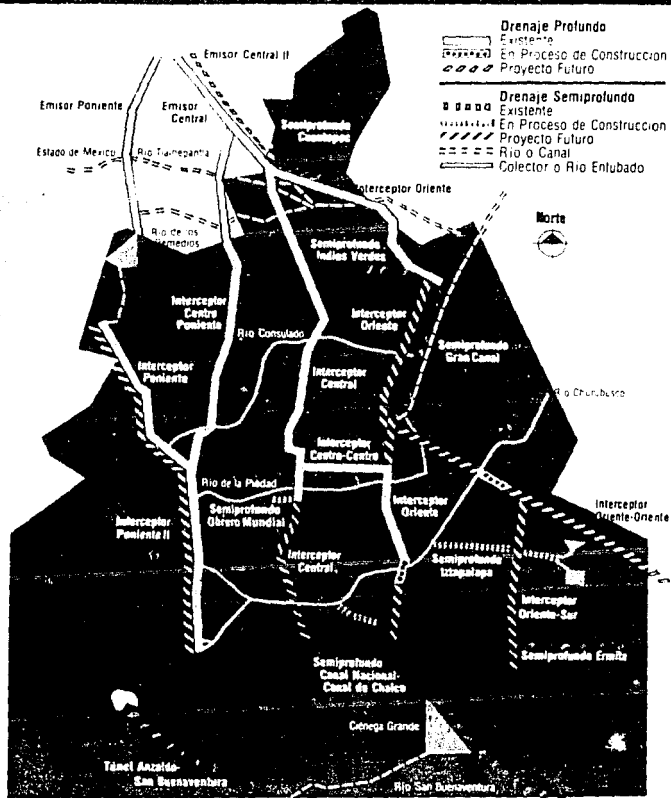


Fig. 10.

Drenaje Profundo y Semiprofundo

Obra Terminada

Obra	Longitud (km)	Diámetro (m)	Capacidad (m ³ /s)	Pendiente (m/km)	Profundidad (m)	
					Mínima	Máxima
Emisor	50	6.50	220	2	48	217
Interceptor Central	16	5	90	0.5	22	41
Interceptor Centro-Centro	3.7	5	90	.02	25	26
Interceptor Oriente	15	5	85	0.5	37	55
Interceptor Centro-Poniente	16.5	4	40	1.3	22	51
Colector Semiprofundo Iztapalapa	5.5	3.20	20	0.0	11.5	15.5
Colector Semiprofundo Obrero Mundial	0.8	3.20	20	1.5	10	16
Colector Semiprofundo Canal Nacional- Canal Chalco	3.2	3.10	20	0.15	15	17

TABLA No. 1

Características de las obras de drenaje profundo terminadas.

T E R C E R C A P I T U L O

DESCRIPCION DE LA MAQUINARIA, INSTALACIONES Y EQUIPO COMPLEMENTARIO NECESARIOS PARA LA EXCAVACION DEL TUNEL.

3.1 ESCUDO EXCAVADOR

3.1.1 INFORMACION GENERAL.

El escudo excavador ha sido diseñado con características que permiten la excavación rápida y segura del suelo arcilloso de la ciudad de México; suelo que presenta un alto contenido de agua y sensibilidad. Su diseño y fabricación toma en cuenta las consideraciones fundamentales siguientes:

1. Mantiene un sostén continuo del frente tanto mecánica como hidrostáticamente, a través de la cabeza cortadora y presión de lodo respectivamente.
2. Con objeto de minimizar la posibilidad de que la arcilla blanda enfrente de la cabeza cortadora se remoldee, el escudo tiene una capota (cubierta), que permite la rotación de la cortadora en su interior.
3. Dado que el escudo fue diseñado sólo para utilizarse en suelos de arcilla blanda, no podrá utilizarse en otro tipo de suelos.
4. Son usadas como revestimiento primario del túnel, dovelas de concreto reforzado .

3.1.2 CARACTERISTICAS DE DISEÑO.

El diseño del escudo excavador incorpora una serie de características que contribuyen a la realización de las consideraciones descritas anteriormente. En este capítulo se enumeran y describen tanto la maquinaria, instalaciones y equipo complementario que se utiliza en la excavación del túnel, como también las partes que conforman al escudo y su función dentro del mismo.

3.1.3 DESCRIPCION GENERAL DEL ESCUDO.

La componente principal del sistema de excavación del túnel, es precisamente el ESCUDO EXCAVADOR(escudo de frente presurizado) que como ya se había mencionado, tiene como principio de diseño la estabilidad del frente de excavación. La estabilización se logra mediante la presión mecánica que se ejerce con la parte frontal del escudo, (CABEZA CORTADORA), la cual consiste de un disco provisto de dientes que al girar sobre su eje va cortando el suelo. Ver figura 12. El material de esta forma cortado, penetra a una cámara presurizada a través de unas compuertas de abertura regulable (álabes de ranura ó ranuras de recolección de arcillas), que se localizan junto a los dientes cortadores, en donde el material antes de ser extraído a la superficie, se mezcla con lodo suministrado desde el exterior, lodo que tiene una densidad determinada. Ahora bien, la presión hidrostática que se suministra al suelo, se da con el lodo presurizado obtenido de la cámara y sirve para equilibrar la presión hidrostática del suelo. La presión se obtiene mediante la aportación de lodo desde la superficie por medio de bombeo. Estas últimas operaciones se realizan a través del Sistema de Circulación de Lodos. El Sistema de Circulación de Lodos está formado por 6 bombas, una de suministro que se encuentra instalada en la superficie y 5 de extracción que se instalarán en el túnel a cada 450 metros conforme avanza la excavación. Este Sistema de lodos está diseñado para operar con densidades de 1.0 a 1.10 ton/m^3 para suministro (aunque por mandato de la DGCOH, ésta no debe ser mayor de 1.06 ton/m^3 , es decir, el rango de operación del escudo en cuanto a densidades es de 1.0 a 1.06 ton/m^3) y de 1.20 ton/m^3 (puede ser variable) para la extracción. Durante la excavación, en la superficie el lodo es depositado en cárcamos de sedimentación para su utilización parcial; el material sobrante (lodo excedente) será retirado de la obra.

El escudo avanza impulsado por 24 GATOS (los que son llamados GATOS DE EMPUJE) que suministran una fuerza total de empuje de 2880 ton, los cuales trabajan conjuntamente con la cabeza

cortadora.

A cada avance de un metro que haga el escudo, se coloca un anillo de dovelas, las cuales en total son 6 piezas de concreto reforzado que serán unidas entre sí por medio de tornillos, conformándose de esta forma el revestimiento primario del túnel.

Con objeto de evitar asentamientos en superficie, el espacio anular dejado por el espesor de la placa del cuerpo del escudo (faldón) y el anillo de dovelas, es inyectado inmediatamente a la colocación de las dovelas con una mezcla de cemento-bentonita-arena sílica-agua.

En la figura 11 se muestra en forma esquemática el escudo excavador y las partes que lo conforman.

3.1.4 CUERPO DEL ESCUDO.

Es un cilindro metálico de 6.24 m. de diámetro exterior, 7.30 m. de longitud y 4.5 cm. de espesor. Tiene como finalidad soportar perimetralmente y en forma inmediata la excavación. En cierta forma el cuerpo del escudo está formado por el cilindro mismo y el mamparo, de manera que pueda resistir la fuerza de empuje, la presión de tierra, la presión hidrostática, la sobrecarga en superficie y la fuerza excéntrica debido al impulso de curva. El mamparo se encuentra montado detrás de la cabeza cortadora y está diseñado para permitir la presión de lodo hasta 2.3 kg/cm^2 y sostener el eje cortador, está equipado con :

- a) dos puertas para inspección.
- b) válvula de alivio para la cámara de mezclado del lodo
- c) sensor de la presión del lodo del frente
- d) clinómetros (calibre de inclinación y balanceo).
- e) tubería de suministro y descarga de lodo, incluyendo accesorios.

Estos componentes se describirán en forma adecuada cuando se haga referencia a la cámara presurizada o de mezclado.

Dentro del cilindro se ubica la cabeza cortadora, la cámara presurizada o de mezclado, la transmisión de la cabeza cortadora, los gatos de empuje y el anillo erector de dovelas, componentes que se pueden observar en la figura 11 .

En la parte posterior del mismo, se localiza el denominado FALDON, (con espesor de 4.0 cm) que es el lugar donde se ensamblan las dovelas de concreto reforzado , dovelas que conforman el revestimiento primario del túnel. Al final del faldón se tienen tres sellos perimetrales (empaques del sello de la cola) dos de los cuales son de hule natural y otro de cerdas de alambre. La función de éstos sellos es el de impedir la entrada al escudo de la mezcla de inyección (mortero) que se inyecta en el espacio anular dejado entre el anillo de dovelas y el espesor de la placa del escudo, así como también la entrada del lodo excavado.

En el faldón se pueden instalar 2.5 anillos de dovelas con los gatos retraídos.

Para montar los dispositivos auxiliares de control de dirección, junto con el cuerpo del escudo se incluye lo siguiente:

1. En ambos lados de las placas de forro delanteras (faldón delantero), se han provisto doce juegos de tuberías y accesorios para el chorro de agua.
2. Se han provisto ménsulas para el equipo de arrastre en ambos lados del cuerpo del escudo. Cada ménsula está preparada para soportar hasta 80 ton. de fuerza de tracción.

3.1.5 CABEZA CORTADORA.

Es un disco metálico calidad estructural (disco plano) de 6.12 m. de diámetro situado al frente del escudo, el cual es movable longitudinalmente (desplazamiento horizontal) mediante el gato de la cortadora una distancia máxima de 40 cm. Puede girar (rotación reversible) sobre su eje para excavar con velocidades de 0.67 y 1.0 r.p.m , y está provista de 72 dientes cortadores, 24 compuertas de control de excavación (álabes de ranura, ranuras de recolección) y 12 paletas mezcladoras de suelo, éstas colocadas en la parte posterior las cuales permiten homogenizar las mezclas de lodo en la cámara, así como 2 escotillas para inspección del

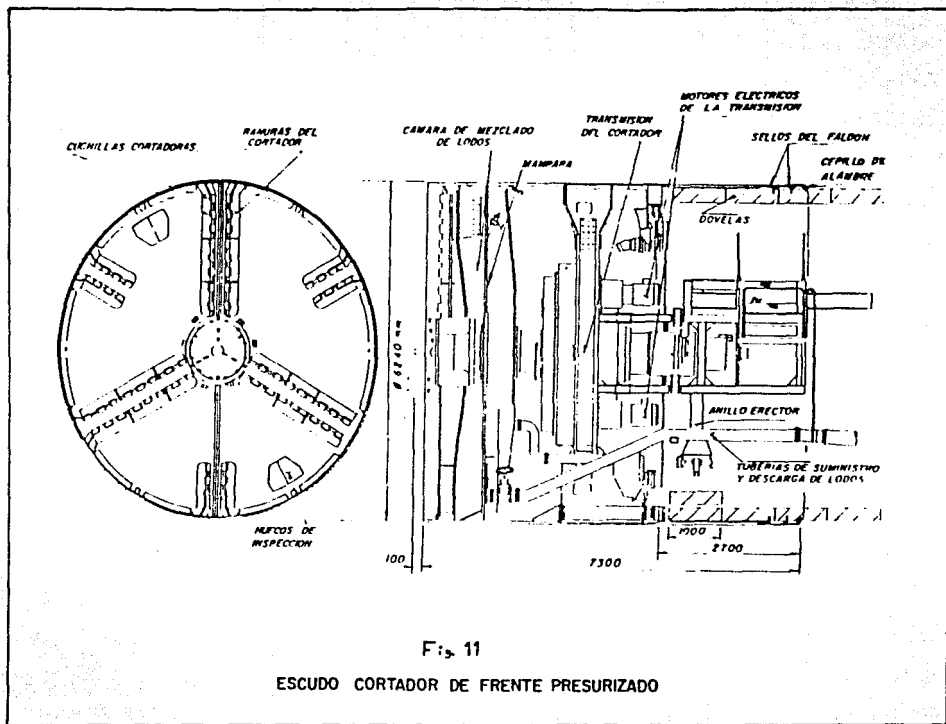
frente. Ver figura 12 .

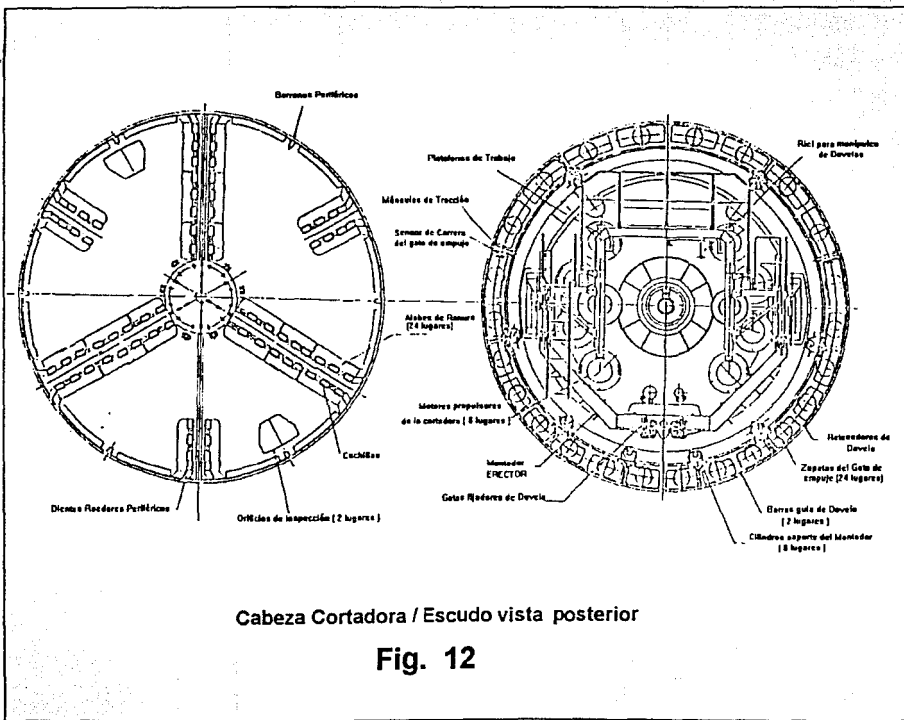
La cabeza cortadora es accionada por 8 motores eléctricos, siendo la función de éstos, proporcionar el par requerido por la cabeza para el proceso de excavación del terreno. Las dos direcciones de rotación de la cortadora están provistas para corregir el balanceo del escudo, así como también, las dos velocidades de rotación de la cortadora están provistas para satisfacer la condición anticipada del suelo.

La flecha motriz o eje del cortador, tiene como función primordial transmitir el par de corte a la cabeza cortadora, a la vez de sustentar o soportar el disco cortador con sus movimientos de giro y desplazamiento axial. La flecha es hueca para permitir el paso de las líneas hidráulicas desde la parte trasera de la máquina hasta las ventanillas de recolección de arcillas.

Es mediante el gato hidráulico (cilindro oleohidráulico), que se logra la estabilización del frente de excavación mediante la presión mecánica que éste ejerce (fuerza de empuje de 360 ton. y una carrera de 40 cm. a una presión de operación de 250 kg/cm² y una velocidad de desplazamiento de 10 cm/min), conjuntamente con la presión hidráulica de la cámara presurizada. Es un gato de centro hueco permitiendo el paso de la flecha motriz por su interior, a la vez que le transmite el empuje en ambos sentidos. Es accionado por un sistema hidráulico, que es común para el anillo erector. Ver figura 13.

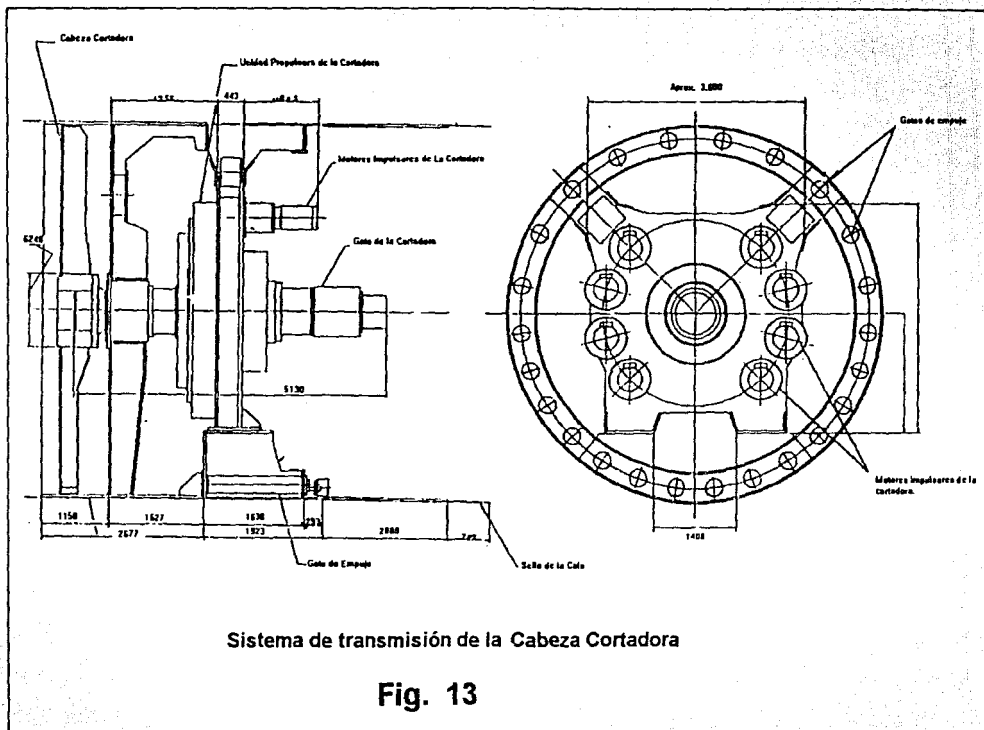
Para liberar al cuerpo del escudo de fricciones adicionales al cruzar por zonas de suelo mejorado o al realizar cortes de suelo a un diámetro mayor al del propio cilindro, la cabeza tiene dos preparaciones diámetralmente opuestas (se disponen a 180⁰ entre sí, en la periferia de la cabeza) para colocación de dientes de sobreexcavación, dientes que sobresalen 1.5 cm. del cuerpo del escudo.





Cabeza Cortadora / Escudo vista posterior

Fig. 12



Sistema de transmisión de la Cabeza Cortadora

Fig. 13

Las funciones principales de la cabeza cortadora son dos:

1. Estabilización del frente de excavación.
2. Excavación o corte del suelo.

La cabeza cortadora representa el elemento básico de producción del escudo, ya que en conjunto con el sistema de circulación de lodos, son los encargados de cortar y extraer hasta la superficie la totalidad de los productos de excavación y rezaga respectivamente.

3.1.6 SISTEMA DE PROPULSION DE LA CORTADORA.

El Sistema de propulsión de la cortadora está compuesto de ocho motores eléctricos, transmisiones primarias y transmisión final, gato de la cortadora y el eje propulsor de la cortadora (flecha motriz). Está diseñado para transmitir la fuerza de impulso de rotación de los ocho motores, y empuje axial hasta la cabeza cortadora para el proceso de excavación del terreno.

Todas las operaciones de la cabeza cortadora y el sistema de propulsión son realizadas a través del tablero del operador.

3.1.7 RANURAS PARA RECOLECCION DE ARCILLAS. (álabes de ranura , compuertas de control de excavación).

El sistema de ranuras para recolección de arcillas forma parte de la cabeza cortadora, siendo en total 24 ranuras, su función es controlar el volumen de lodo que entra la cámara presurizada, lográndose esto último, ya que cada una de las ranuras posee una compuerta abatible accionada por un gato oleohidráulico que le permite dosificar el acceso de los materiales excavados a la cámara . Esto permite que se mantenga un control de la excavación, así mismo, en dado caso de que las ranuras esten cerradas durante los períodos paralizados, las mismas pueden proveer en situaciones de emergencia, todo el apoyo mecánico que el frente necesite, ya que poseen sellos a base de material de poliuretano para cerrar herméticamente. Las ranuras están dispuestas con base a la ubicación de los dientes cortadores dependiendo incluso del sentido de giro del cabezal. Ver figura 12 .

Para el accionamiento de los gatos, la máquina está equipada con un sistema hidráulico integrado por una bomba accionada por un motor eléctrico, dicha unidad es independiente del resto de los sistemas hidráulicos. La presión de trabajo es de 100 kg/cm^2 .

Ya en el escudo, la bomba se divide en dos circuitos, y posteriormente en ocho circuitos, los cuales alimentan y controlan a 3 gatos cada uno en forma independiente. El fluido se conduce a través de tubería, manguera de alta presión, y un distribuidor hidráulico rotativo que permite pasar los conductos de tipo estático a conductos en movimiento rotativo hasta la cabeza cortadora, donde se encuentran los gatos de las ranuras.

3.1.8 SISTEMA DE LUBRICACION.

El Sistema de lubricación forma parte de la unidad cortadora. El sistema es a presión mediante una bomba accionada por motor eléctrico, y es controlado desde la cabina del operador. El fluido es bombeado hasta un distribuidor y de ahí pasa a través de los conductos a los cojinetes y sellos de la flecha motriz, finalmente otros conductos llevan el fluido hasta los cojinetes de rodadura que se localizan en el gato de la cortadora. Debido a que el sistema cuenta con un interruptor de ciclo, éste se detiene (detiene funcionamiento) después de 10 minutos de ponerse en marcha en caso de no existir ninguna irregularidad en el ciclo de lubricación. Además cuenta con un presostato el cual detecta un incremento anormal en la presión de lubricación, deteniendo el sistema en caso de existir una presión mayor de 200 kg/cm^2 . En el caso de que haya falta de nivel de grasa lubricante en el depósito, se cuenta con dispositivo de seguridad el cual suspende el funcionamiento a la vez que enciende una señal luminosa intermitente, en el tablero de la cabina del operador.

3.1.9 CAMARA PRESURIZADA O DE MEZCLADO.

La cámara presurizada o de mezclado es el espacio comprendido entre la cabeza cortadora y una mampara metálica (mamparo). Tiene como funciones : a) equilibrar la presión hidrostática del suelo mediante la inyección de lodo que es suministrado desde la

superficie mediante bombeo, b) permitir el mezclado del lodo con el suelo excavado.

La mampara metálica está diseñada para soportar una presión de lodo de hasta 2.3 kg/cm^2 y sostener el eje cortador (eje de la cabeza cortadora); en la misma mampara metálica se pueden localizar los siguientes componentes:

1. Dos puertas para inspección.
2. Una válvula de alivio .
3. Sensores de presión de la cámara presurizada.
4. Clinómetros tanto para medir giro e inclinación del escudo.
5. Válvulas para suministro y extracción de lodos.

Ver figuras 11 y 14 .

Las puertas de inspección se utilizan para revisar el frente de excavación para lo cual se tiene que tener previamente vacía la cámara; la válvula de alivio sirve para la eliminación del aire de la cámara de mezclado durante la presurización del frente de excavación; los sensores de presión son dos y ambos indican la presión frontal de trabajo, uno de ellos registra la presión en las consolas y el otro directamente en un manómetro colocado en la mampara. Los clinómetros tanto para medir el giro como la inclinación del escudo, indican la posición del mismo respecto a su eje vertical y eje horizontal respectivamente. Las válvulas para suministro y extracción como su nombre lo indica, permiten el suministro y retiro de la cámara presurizada del lodo mezclado con suelo, éstas válvulas son operadas manualmente.

3.1.10 GATOS DE EMPUJE.

Los gatos de empuje son los encargados de efectuar el avance y conducción del escudo. Son en total 24 y cada uno tiene una capacidad de 120 ton., lo que da en total una fuerza de empuje de 2880 ton. Se encuentran instalados alrededor de la circunferencia interna del escudo. Ver figura 15 . Su longitud de carrera es de 1.15 metros y cuentan con dos sensores que indican la longitud de extensión, siendo su velocidad de extensión regulable en un margen

de variación de hasta 5 cm/min, regulándose mediante el control del volumen de aceite hidráulico. La presión de operación de los gatos es de 300 kg/cm², mientras que la máxima es de 360 kg/cm², pero realmente la presión de trabajo nos la indica la resistencia del terreno. En el caso del tramo de la lumbrera 3 a la 2, se han tenido presiones de trabajo hasta de 250 kg/cm².

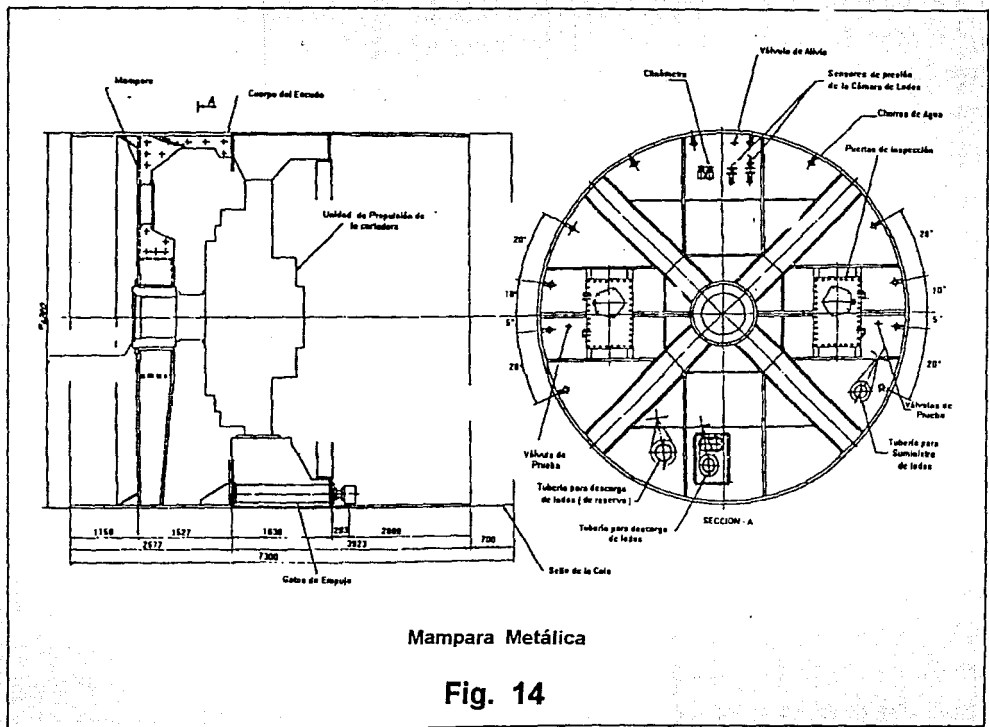
Mediante éstos gatos es como el escudo avanza apoyándose en el último anillo de dovelas colocado, así mismo, con ellos se conduce al escudo de acuerdo a las líneas de proyecto, lográndose esto con operar de manera independiente cada gato.

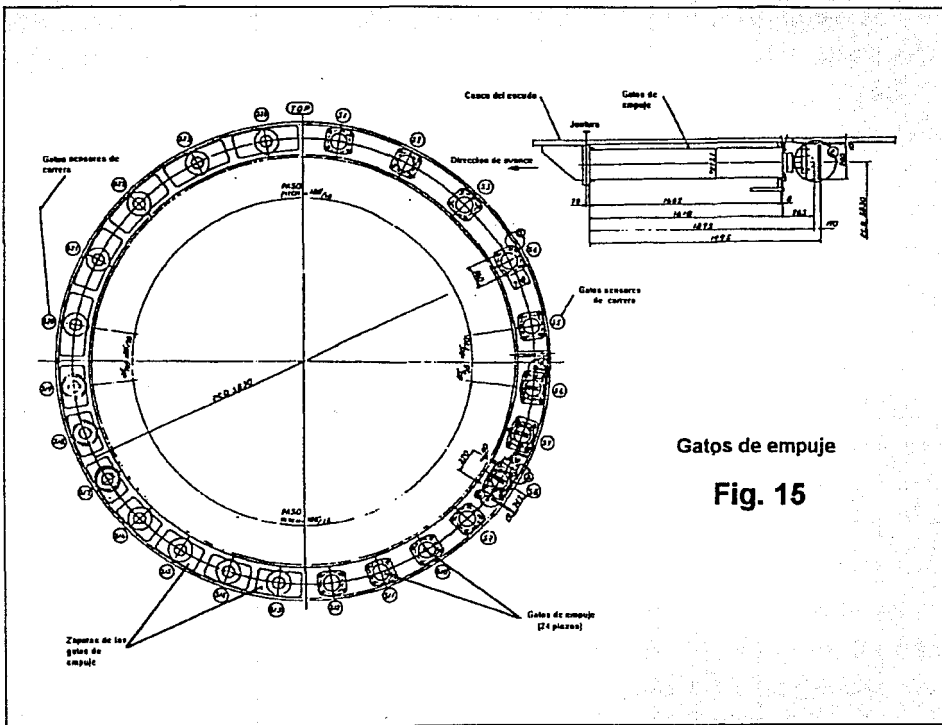
Es mediante el sistema hidráulico de los gatos de empuje, que se suministra el circuito de presión fijadora requerida para sostener el escudo firmemente contra las dovelas, (se tiene un depósito de aceite hidráulico con capacidad de 1300 lts para su alimentación). Ahora bien, la zapata de cada gato de empuje tiene un área suficientemente amplia para distribuir uniformemente la fuerza de empuje contra la dovela, a ésta zapata se le ha agregado una placa de goma de uretano para proteger la dovela contra quebraduras.

Desde la consola del operador se controlan las funciones de extensión y retracción del caudal de la bomba utilizada para suministrar la energía hidráulica a los gatos de empuje, la cual descarga el flujo con una variación de 0 a 50 lt/min .

El circuito hidráulico de los gatos está compuesto por tubería rígidas de acero y mangueras flexibles para alta presión. Se controla mediante válvulas manuales y automáticas accionadas eléctricamente.

Se tienen sensores de carrera (derecha e izquierda) en los gatos, encontrándose éstos montados en los gatos de empuje 5 y 20 . Miden el avance del escudo en ambos lados, y a través de los transductores de carrera y velocidad se reciben las señales de éstos parámetros en la consola del operador y con el TC/TM se envían también las señales a la consola de control central. Los gatos están acoplados con la corriente de carga de los motores impulsores de la cortadora.





Gatos de empuje

Fig. 15

3.1.11 MONTADOR O ANILLO ERECTOR. (Colocador de dovelas).

Es el dispositivo que se encarga del montaje de las dovelas. Tiene capacidad para deslizar, girar y colocar las dovelas en su posición final. Su diámetro es de 3.66 m.

El montador está compuesto por : brazo de montaje, equipo deslizante (gatos de deslizamiento), gatos de expansión, gatos fijadores de dovelas, motores hidráulicos (para rotación del montador), carretes retractiles, y un control a mano.

Ver figura 16 .

Este montador es del tipo corona dentada y funciona con un control a mano de tipo colgante, lo cual permite al operador tener una vista clara de la operación.

Es sostenido circunferencialmente por ocho rodillos de dirección y movido por dos motores hidráulicos (motores de aceite hidráulico) a través de piñón y corona. El brazo de montaje se extiende y retrae por medio de dos gatos de expansión en dirección radial (movimiento radial) hasta un máximo de 650 mm., mientras que por medio del gato de deslizamiento puede deslizarse horizontalmente (extenderse) 100 mm. en dirección a la cola y 100 mm. en dirección al frente del túnel. Los gatos de fijación de dovelas son dos y son utilizados para mantener fija la dovela durante el giro del montador extendiendo el gato a su máximo de 70 mm.

Con respecto a la velocidad de rotación del montador, puede variarse ésta de 0.5 r.p.m. a 0.8 r.p.m., regulando manualmente la bomba hidráulica (ya que se cuenta con una unidad de energía hidráulica para el montador y el gato de la cortadora). Cuenta además con movimiento circular (carrera angular, reversible) de 330° .

3.1.12 TREN DE EQUIPO. (EQUIPO DE ARRASTRE).

El tren de equipo esta integrado por cuatro módulos y una unidad de tubería telescópica, ambos se localizan en la parte trasera del cuerpo del escudo. Ver figura 17.

En éstos módulos van instalados los equipos que son necesarios para la operación del escudo siendo remolcados por éste último,

durante el avance de la excavación.

A continuación se hace referencia a los equipos que integran cada módulo, como también se menciona la unidad de tubería telescópica .

Módulo 1. Está formado por la cabina del operador y un polipasto montado en una trabe carril, por medio de la cual se llevan las dovelas de concreto al alcance del montador.

Módulo 2. Módulo integrado por la unidad hidráulica, el gabinete de circuitos eléctricos (en la parte superior se tiene un transformador de 450 KVA), y los depósitos de aceite hidráulico.

Módulo 3. Está formado por la unidad de derivación de lodos o by-pass, por las válvulas de compresión de suministro y extracción, y por la unidad neumática.

Módulo 4. Está integrado por la bomba de extracción de lodos.

UNIDAD DE TUBERIA TELESCOPICA. Es la tubería que permite que el escudo pueda avanzar hasta 6.00 m., sin instalar tuberías rígidas para suministro y extracción de lodos. Está formada por una tubería externa y una interna que se deslizan a través de un sistema de cremallera.

Los equipos principales que integran el tren de arrastre son los siguientes :

1. Cabina del operador.
2. Unidad hidráulica.
3. Gabinete de circuitos eléctricos.
4. Sistema neumático.
5. Unidad de derivación de lodos o by-pass.

1. Cabina del operador

Es la cabina donde se operan los siguientes sistemas a través de los tableros que en ella se encuentran , y que se indican como A y B :

- cabeza cortadora, corte y desplazamiento a través del control del sistema motor de la cortadora y del control del sistema de

impulso de la cortadora respectivamente.

- gatos de empuje (control de los gatos de empuje)
- unidades de energía hidráulica y lubricación.
- Ranuras para recolección de arcillas (control de los gatos de las ranuras).

Así como también se cuenta con los indicadores necesarios para monitorear la operación del escudo.

El tablero B ejecuta las cuatro primeras funciones y el tablero A contiene los indicadores requeridos para monitoreo del estado de propulsión del escudo, parada de emergencia del mismo, y para el sistema de circulación de lodos .

2.Unidad Hidráulica (sistema hidráulico)

El sistema hidráulico está compuesto de tres unidades de energía hidráulica para operar los gatos de empuje, gato de la cortadora y el montador, y los gatos de las ranuras de recolección de arcillas. Ver figura 17.

Cada unidad de energía hidráulica incluye un motor eléctrico y una bomba. Las unidades están conectadas al escudo por medio de mangueras hidráulicas, y las mismas guardan su posición en el módulo número dos del equipo de arrastre.

La bomba correspondiente a los gatos de las ranuras de recolección de arcillas es de caudal fijo, mientras que las correspondientes a los gatos de empuje, y al gato de la cortadora y montador, son de caudal variable. Para los gatos de empuje, el caudal se regula por control remoto desde la cabina del operador, y para la cortadora y el montador, se regula manualmente .

3. Gabinete de circuitos eléctricos.

Este gabinete contiene los circuitos de suministro de energía a :

- unidades de energía hidráulica
- bomba de lubricación.
- motores de la cabeza cortadora.
- compresor de aire.
- circuitos de iluminación.

Además contiene un tablero para operación local de las válvulas de circulación de lodos.

4. Sistema neumático.

Este sistema se localiza en el módulo No. 3 del equipo de arrastre del escudo y consta de un compresor de aire de 7 kg/cm^2 para operar las válvulas de compresión del sistema de circulación de lodos y la válvula de derivación ó by-pass. Este sistema es controlado por válvulas direccionales operadas por solenoides.

El sistema cuenta además del compresor, con un depósito o tanque de almacenamiento, un interruptor de presión y un grupo que incluye un filtro, regulador, y un lubricador. El fluido va del depósito a una válvula direccional de cuatro vías y dos posiciones de accionamiento por solenoides, la cual permite abrir dependiendo de la que se accione, la válvula de suministro o de extracción en las válvulas de derivación. Para la válvula de bola de derivación, su accionamiento se lleva a cabo también por una válvula direccional de tres vías y dos posiciones, accionada por solenoides. Su operación es a través de cilindros neumáticos de doble accionamiento.

5. Unidad de derivación de lodos o by-pass.

Es la unidad mediante la cual se controla el suministro y extracción de lodos de la cámara presurizada.

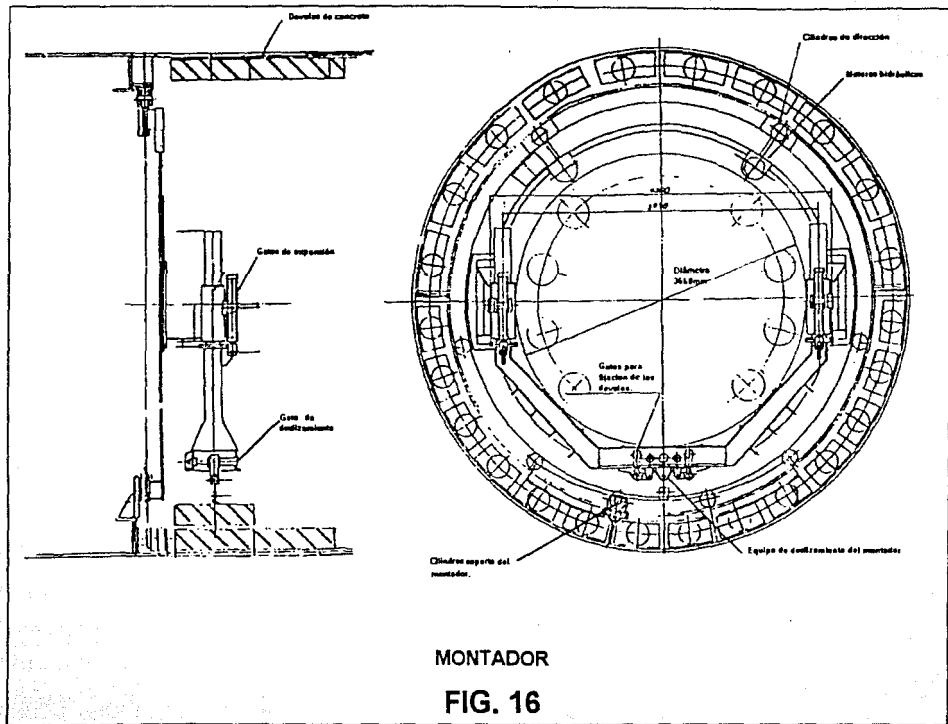
3.1.13 TUBERIA TELESCOPICA.

La unidad de tubería telescópica forma parte del sistema de circulación de lodos. Está compuesta por tubería interna y externa, incluyendo también el empaque de sello, motor engranado con piñón y cremallera, y dos carritos. Se localiza al final del equipo de arrastre.

La tubería interna y externa están montadas en la parte trasera y delantera de los carritos respectivamente.

Funcionamiento. Se tiene un carrito montado sobre rieles fijado éste a los mismos mediante un juego de mordazas. Sobre este carro descansan o apoyan dos líneas paralelas de tuberías (suministro y desalojo) de 200 mm. de diámetro (tubería interna), en cuya parte superior tiene una cremallera de acero a lo largo de las tuberías, mientras que la tubería de 250 mm. (tubería externa), se encuentra montada sobre un carro móvil montado también sobre los rieles. En el extremo de la tubería externa cercana al carro fijo, está montada una transmisión electromecánica cuyas coronas están engranadas a las cremalleras de la tubería interior a través de la cual se les transmite movimiento para su deslizamiento. Para extender la tubería telescópica, se fija la tubería interna sujetando su carro de apoyo, desembragando previamente la transmisión. Ahora, dado que la tubería externa se encuentra unida por el otro extremo al carro auxiliar de arrastre, es jalada por el escudo durante el avance de éste, extendiéndola hasta dejar una longitud de 6.00 m., ya que se dispone de una longitud necesaria para la instalación de un tramo de tubería normal, entonces se retrae la tubería interior liberando las mordazas y se pone en funcionamiento la transmisión. El mando es por estación de botones portátil.

Así podemos decir que a medida que el escudo avanza, la tubería telescópica se puede extender 6000 mm. y se retrae por medio de motor engranado con piñón y cremallera..



MONTADOR

FIG. 16

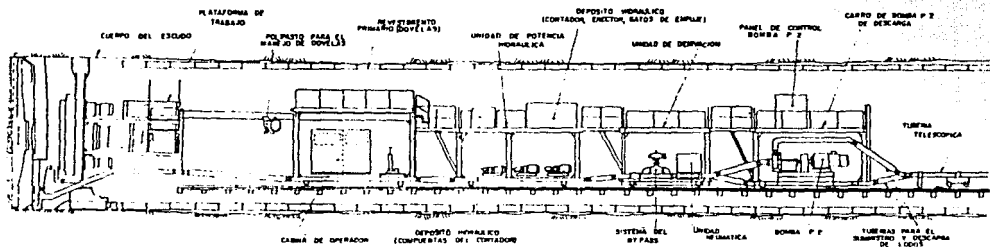


FIG. 17 TREN DE EQUIPO DEL ESCUDO CORTADOR

3.1.14 SISTEMA DE OPERACION Y CONTROL.

Los componentes del escudo y algunas de las instalaciones tanto en superficie como en la lumbrera, son operadas y controladas a través de consolas y tableros como a continuación se describe.

Los equipos de operación y control son :

1. consolas de operación
2. tableros de control de bombas para el manejo de lodos.
3. tablero de control general del tren de equipo.

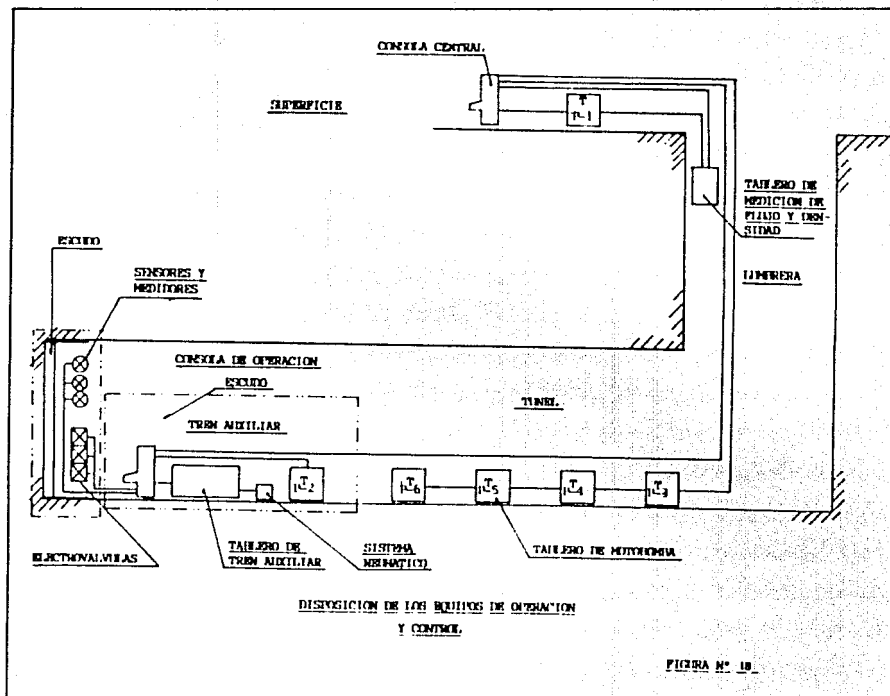
La disposición de éstos equipos se muestra en forma esquemática en la figura 18, en la cual se puede observar que la "consola de operación" está localizada en el módulo No. 1 del tren de equipo, al que también se denomina "cabina de operación del escudo", su función ya se describió en la parte de equipo de arrastre.

Se cuenta también con una "consola central", la que tiene entre otras funciones, controlar la circulación de lodos del cárcamo en superficie, al frente y viceversa, guardando una posición cercana al cárcamo dado que el operador debe tener una visión clara de éstas instalaciones. Esta se encuentra instalada en superficie, y cuenta además con los indicadores necesarios para monitorear el funcionamiento de operación del escudo, y en dos graficadores va registrando la información obtenida por los sensores del escudo.

Los tableros de control de bombas se encuentran integrados con cada bomba, con excepción de la motobomba P-2 para desalojo, de la cual el tablero se localiza en la parte superior del módulo No.4, esto con objeto de evitar interferencias particularmente en el inicio de la excavación, en donde se instalan en forma separada. Tanto las consolas como los tableros están interconectados por medio de conductores eléctricos.

Con respecto a la ejecución de instrucciones (órdenes) a los equipos, se hace uso de un flujo de señales, las cuales se reciben por medio de sensores, se recopilan y se traducen en las estaciones maestras, de ahí son retransmitidas a las subestaciones

localizadas en los tableros donde se interpretan en valores que pueden leerse en los aparatos de medición. El sistema encargado de efectuar tales funciones, es el Sistema de Telecontrol y Telemedición. Estos sistemas fueron adaptados para la transmisión de datos entre la consola de control central y consola de operación en el túnel; y las estaciones que se localizan en cada uno de los tableros de control de las bombas de traspaleo de lodos.



3.2 INSTALACIONES NECESARIAS PARA LA EXCAVACION DEL TUNEL.

Con el propósito de cumplir un ciclo ágil de excavación del túnel, son necesarios una serie de equipos e instalaciones tanto en la superficie como en la lumbrera, mismos que a continuación se describen .

3.2.1 INSTALACIONES EN SUPERFICIE.

Las instalaciones generales en superficie son las siguientes :

1. Subestación de energía eléctrica y planta de emergencia.
2. Patio de dovelas y sistema de manto.
3. Compresor.
4. Cisterna para agua tratada.
5. Planta de tratamiento.
6. Tuberías en superficie .

Además de éstas instalaciones, se cuenta también con talleres de carpintería, electricidad, mecánica, soldadura, etc., así como también con almacenes, vestidores, baños y oficinas.

A continuación se describe cada una de las instalaciones enumeradas anteriormente.

1. Subestación de energía eléctrica y planta de emergencia.

Debido a que tanto el escudo, el equipo y las instalaciones complementarias requieren de energía eléctrica para su funcionamiento, se hace necesaria la instalación de una subestación de energía eléctrica, cuya capacidad está en función de los equipos por alimentar. De esta forma, la acometida (tensión de alimentación) será de 23 KV contando con tres distribuciones : 4160 V para el túnel, 440 V para utilización en superficie y 220 V tanto para túnel y superficie.

Planta de emergencia.

Se cuenta además con una planta de emergencia para los casos en que no haya suministro normal de energía eléctrica. La capacidad de ésta planta es de 220 V. siendo sólo la necesaria para mantener la iluminación en el túnel y superficie.

2. Patio de dovelas y Sistema de Manteo.

En excavación de túneles con escudo de frente presurizado, es necesario contar con un lugar adecuado para el almacenaje de las dovelas prefabricadas las cuales constituyen el revestimiento primario del túnel, de forma tal que puedan estibarse en forma eficiente y sean de fácil acceso para la grúa del Sistema de Manteo.

En cuanto a las dimensiones del patio de dovelas, éstas están regidas por el área de que se dispone para el campamento, siendo lo suficientemente grande para albergar el stock de dovelas requerido para el avance diario programado del escudo. Las dovelas se colocan sobre polines anclados al firme del patio, ello para que su peso no se concentre en un sólo punto, provocando con esto fisuramientos. De la misma forma, al estibar una dovela sobre otra se colocan polines intermedios siguiendo la línea de los inmediatos inferiores.

Con respecto al manteo, éste se está realizando con la ayuda de una grúa pórtico (se describirá en equipo complementario), que además de suministrar las dovelas al túnel, baja todos los materiales indispensables para la excavación como lo son : durmientes, rieles, tubos, etc., así como también el equipo que se vaya requiriendo en el interior del túnel.

Se tiene además una motogrúa que se encarga de la rezaga de los cárcamos, pudiendo también utilizarse para las funciones primeramente mencionadas.

La grúa que se está utilizando tiene la capacidad suficiente para manejar los equipos o materiales de mayor peso que deben suministrarse durante la excavación, como lo es el caso de las dovelas cuyo peso aproximado es de 2 ton. cada una y de la

locomotora de 3 ton. Es recomendable considerar un equipo cuya capacidad portante en el gancho no sea inferior a 15 ton.

En lo que respecta al transporte de las dovelas de la lumbrera al frente de excavación, se están empleando locomotoras (eléctricas o de motor diesel), carros o trucks apropiados a las necesidades de transporte. En el frente se está empleando un polipasto eléctrico para el trabajo pesado y cuya capacidad portante del gancho es no menor de 5 ton. ni mayor de 7.5 ton.

3. Compresor.

En superficie se tiene instalado un compresor cuya capacidad es suficiente para la alimentación de las bombas de achique que se localizan en el fondo de la lumbrera y a lo largo del túnel.

4. Cisterna para agua tratada.

Debido a que son requeridos grandes volúmenes de agua para la excavación con este tipo de escudos (aprox. 34 m³ por anillo, según estadísticas), se emplea agua tratada, la cual se obtiene de una cisterna construída para ello.

La cisterna tiene la capacidad suficiente para proveer a la planta de lodos por lo menos durante diez empujes de anillos cuando el gasto de la línea de alimentación sea bajo o nulo.

Planta de tratamiento de lodos.

El material producto de la excavación del túnel es retirado del frente de trabajo y depositado en cárcamos construídos en superficie, cárcamos que conforman la planta de tratamiento de lodo. Tiene como función principal separar por medio de sedimentación el material producto de la excavación, del lodo que se utiliza en la estabilización del frente. El primero es retirado de la planta por medio de camiones de volteo y pipas, el segundo es reacondicionado para continuar con la excavación.

Está integrada básicamente por:

- Cárcamo de desecho o de descarga., que es el lugar en donde se recibe el lodo proveniente de la excavación y en el que se inicia la sedimentación de los grumos de arcilla que han sido acarreados por el lodo de suministro.
- Cárcamo de sedimentación . Es el sitio en el que se continua el proceso de sedimentación de la arcilla en suspensión.
- Cárcamo de ajuste. Cárcamo para reducir aún más la densidad del lodo que ha pasado por el cárcamo de sedimentación. Aquí se le adiciona agua tratada proveniente de una cisterna y se le homogeniza, para lo cual se está empleando inyección de aire a presión y agitadores verticales.
- Cárcamo de suministro. Es el lugar en el que se almacena el lodo con la características necesarias para ser enviado nuevamente al frente de excavación.
- Caseta de Control Central. Sitio en el que se aloja a la Consola de Control Central, en la cual se recibe la información que se genera durante la excavación del túnel y se controla todo el sistema de circulación de lodos. Ver fig. 19 .

Además, la planta de tratamiento cuenta con el equipo siguiente:

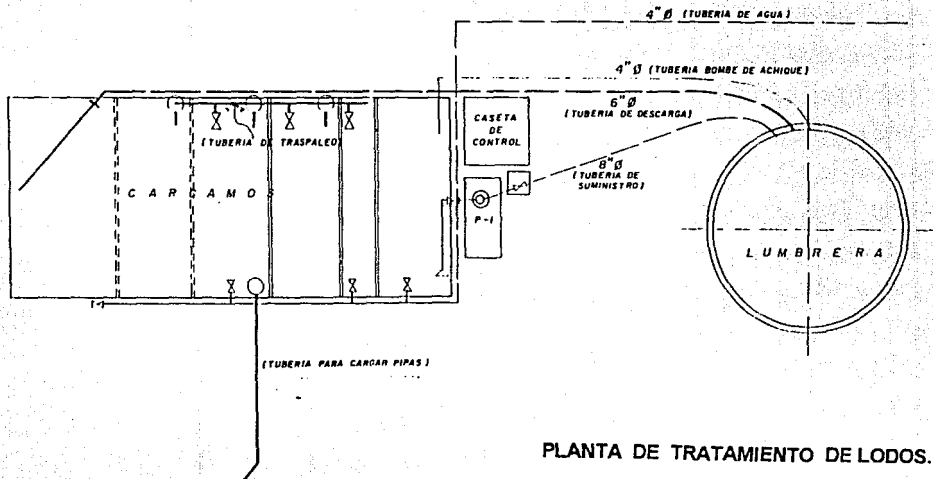
A. Bomba sumergible. La bomba P2 tiene como función principal el desalojar el lodo producto de la excavación a través de una tubería que se desprende desde el escudo hasta el tanque de sedimentación, éste lodo es desalojado mediante la bomba sumergible a través de una tubería hasta los camiones pipa.

B. Bomba centrífuga. Se encuentra instalada en el tanque de almacenamiento de agua tratada para el suministro de agua al tanque compensador con objeto de bajar la densidad del lodo para suministro que será utilizado para la excavación del túnel, densidad que varía de 1.0 a 1.06 ton/m³.

6. Tuberías en superficie

Las tuberías instaladas son tanto para conducción de agua tratada, suministro y extracción de lodo, así como también para extracción y suministro de agua y aire a presión respectivamente.

Ahora bien, para el suministro de agua y aire es indispensable el tendido de una serie de tuberías, para el suministro de agua tratada de la cisterna a la planta de lodos y a la lumbrera, como también, para el suministro de aire a presión desde el compresor y para el transporte de agua de achique del túnel. Ver figura 19 .



PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS.

FIG. 19

SIMBOLOGIA

--- TUBERIA ANOSADA

3.2.2 INSTALACIONES EN LUMBRERA Y TRABAJOS ESPECIALES.

En la lumbrera se requieren también una serie de instalaciones, además de trabajos especiales para llevar a cabo la iniciación de la excavación. Algunas de éstas instalaciones y trabajos se emplearán sólo al inicio de la excavación, mientras que otros permanecerán en todo el período de excavación.

Los trabajos especiales e instalaciones son los que a continuación se describen :

Trabajos especiales.

- A. Cuna para recepción del escudo
- B. Muro de atraque
- C. Sello de salida.
- D Plataformas en lumbrera.

Instalaciones .

- E. Tuberías y cableado en la pared de la lumbrera.
- F. Escalera de caracol y elevador de personal
- G. Planta de inyección

A. Cuna para recepción del escudo.

Su finalidad es proporcionar apoyo y conformar un elemento de continuidad del túnel en la lumbrera. Las dimensiones de ésta, están dadas en función de los datos tanto del escudo como del proyecto.

La cuna utilizada para apoyo del escudo en éste tramo de túnel, fue una cuna metálica, también llamada cuna cruzada.

Esta es una cuna convencional cuya característica es tener dos superficies de deslizamiento con diferente dirección, direcciones de llegada y salida del escudo respectivamente. Para esto se requiere que el escudo sea izado de su posición original con ayuda de grúas y sea acomodado nuevamente pero ahora en la posición que se requiere para iniciar un nuevo tramo. Ver figura 20.

Es construída con perfiles estructurales y se hace necesario

instalar sobre la losa de fondo un sistema de rieles sobre el cual se deslizará la cuna desde la posición de llegada a la posición de salida del escudo. Para éste caso se colocaron varios gatos hidráulicos en la pared de la lumbrera, con el fin de que éstos al reaccionar contra la cuna provocarán el movimiento de ésta. Ver fig. 20 .

B. Muro de atraque.

El muro de atraque es una estructura de concreto reforzado anclada a la pared de la lumbrera y se encuentra orientada transversalmente respecto al eje del túnel. Su finalidad es servir de apoyo a los semianillos de dovelas (provisionales), sobre los cuales reaccionan los gatos de empuje para efectuar los primeros empujes del escudo. Ver figura 21.

Al llevarse a cabo la construcción del muro, simultáneamente se llevó también la construcción del portal de entrada, estructura que servirá de apoyo al sello de salida.

C. Sello de salida.

Es un dispositivo que tiene como finalidad proporcionar un elemento de contención que impida la circulación del lodo del frente de excavación hacia la lumbrera durante los primeros empujes, debido a la holgura existente entre la camisa del escudo y la pared de excavación. Consiste de un conjunto de anillos metálicos y de hule de diferentes diámetros, que se atornillan entre sí para formar un sólo anillo, permitiendo que el escudo pueda pasar a través de su interior. Para el caso de éste escudo (de frente presurizado de diámetro de 6.24 m.), los anillos son los siguientes :

1. anillo metálico formado por un ángulo rolado de 100 x 100 x 13 mm. (4 x 4 x $\frac{1}{2}$ "), y 6.40 m. de diámetro interior.
2. anillo de hule natural de 25 mm. (1") de espesor y 46.50 cm. de ancho, con un diámetro interior de 5.66 m.
3. anillo metálico de placa de acero estructural de 19 mm. ($\frac{3}{4}$ ") de espesor y diámetro interior de 6.30 m.

Al construir la estructura del sello de salida es de suma importancia mencionar que se suelda una válvula en la parte superior del anillo metálico, ello con el fin de liberar el aire atrapado al momento de iniciar la presurización con lodo de la cámara presurizada. Ver figura 22 .

D. Plataformas en lumbrera.

Dado que al iniciar la excavación se cuenta solamente con el espacio interior de la lumbrera y éste no es suficiente para alojar el tren de equipo el cual cuenta con una longitud aproximada de 50.0 m., se hace necesario hacer un arreglo de éste último, para lo cual se construyen plataformas ancladas a la pared de la lumbrera con una elevación mayor que la del escudo. De ésta forma al iniciarse los trabajos de excavación, el tren de equipo no interfiere con las actividades que se realicen en el fondo de la lumbrera, actividades como son : demolición, rezaga, colocación de semianillos, etc.

E. Tuberías y cableado en la pared de la lumbrera.

Por el muro de la lumbrera, algunas de las tuberías tendidas en superficie son prolongadas hasta el túnel como lo son : tuberías de achique, suministro de aire, agua, etc., lo mismo ocurre con el cableado de los diversos equipos eléctricos que se emplean durante la excavación .

F. Escalera de caracol y elevador de personal.

La escalera de caracol y el elevador de personal son instalaciones necesarias para el acceso del personal tanto al fondo de la lumbrera como al túnel. En el caso la escalera, ésta está debidamente protegida y adosada a la pared de la lumbrera.

G. Planta de inyección.

Para la inyección del espacio anular dejado por la dovela y el terreno natural, se cuenta con una planta dosificadora que es el equipo con el que se elabora el mortero utilizado en la inyección

antes mencionada.

El equipo con que se cuenta en la planta dosificadora es el siguiente:

1. Tolva de cemento.
2. Tolva de arena.
3. Dosificador para agua.
4. Plataforma de trabajo y almacenaje de bentonita.
5. Mezcladora de mortero ó agitador.
6. Embudo.
7. Tanque mortero cargado en el carro inyector de lodo.
8. Bomba de inyección . (bomba de alta presión).

La dosificación se efectúa en forma semiautomática de acuerdo a las especificaciones de obra. Ver fig. 23

La planta se encuentra instalada en el interior de la lumbrera (generalmente ahí se instala) aunque al inicio de la excavación ésta se ubicó en superficie junto al brocal y estaba formada por elementos más simples. De esta última forma la dosificación se efectuaba manualmente.

Se cuenta además del equipo e instalaciones para la preparación de la mezcla de contacto (mortero), el equipo para su transporte desde el sitio de preparación hasta el frente de trabajo y su aplicación en los anillos de dovelas de acuerdo a las especificaciones solicitadas, equipo complementario del primero mencionado, es : mangueras, boquillas, carro portacumulador, etc .

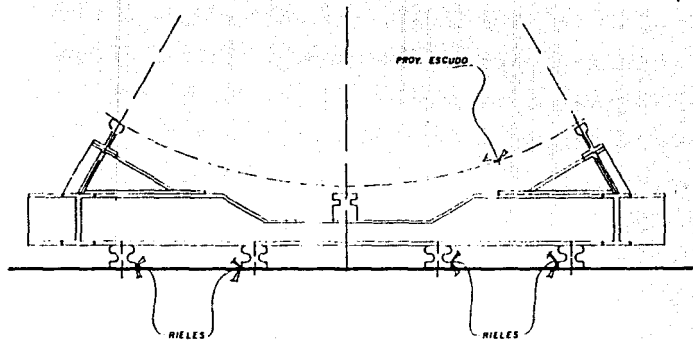
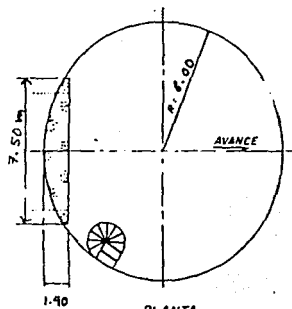
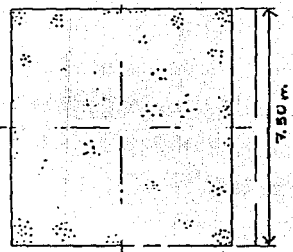


Fig. No. 20

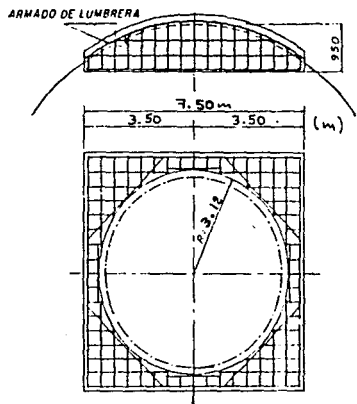
CUNA METALICA.



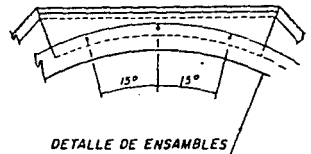
PLANTA
MURO DE ATRAQUE



VISTA FRONTAL



ARMADO DEL MURO



DETALLE DE ENSAMBLES

ACOTACIONES, EN mm

Fig 21 MURO DE APOYO (ATRAQUE)

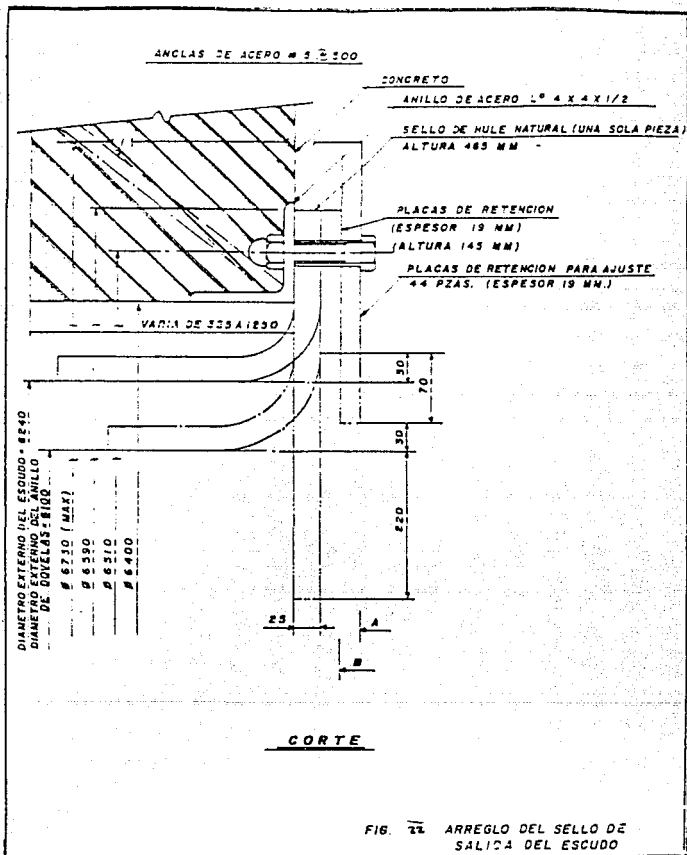


FIG. 23 ARREGLO DEL SELLO DE SALIDA DEL ESCUDO

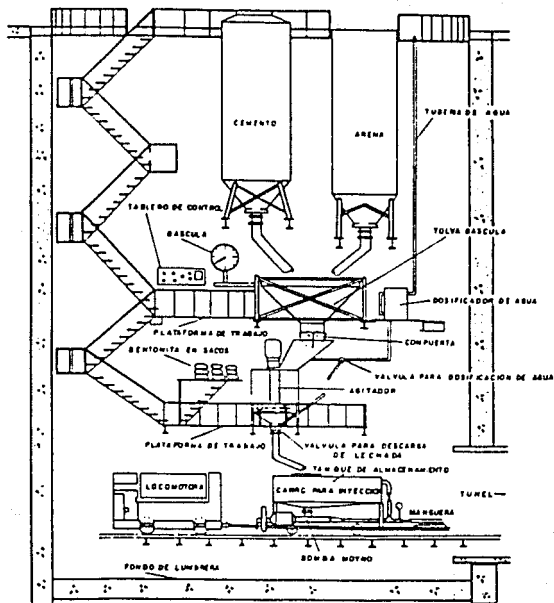


Fig. 23 PLANTA DOSIFICADORA PARA INYECCION
INSTALADA EN PARED DE LUMBRERA

3.3 EQUIPO COMPLEMENTARIO .

Para llevar a cabo el proceso de excavación del túnel con escudo de frente presurizado son necesarios una serie de equipos complementarios, los que se mencionarán a continuación :

3.3.1 EQUIPOS EN SUPERFICIE.

1. Grúa pórtico o grúa autopropulsada.
2. Planta dosificadora o agitadores de 2.0 m³ de capacidad.
3. Draga LS-68 .
4. Bombas de lodos de ϕ 6" y 20 H.P. .
5. Bombas de ϕ 4" y 20 H.P. .
6. Agitador vertical.
7. Bombas de lodos de ϕ 6" .
8. Planta generadora de energía eléctrica de 125 KVA .
9. Compresor de 600 P.C.M.
10. Equipo para talleres.
11. Camión pipa.
12. Camión de volteo.

1. Grúa pórtico ó grúa autopropulsada.

La grúa pórtico debe ser tal que pueda cargar 8 ton. ó la grúa autopropulsada con capacidad equivalente, aunque como ya se había mencionado cuando se habló del sistema de manteo, por seguridad es recomendable considerar que este equipo tenga una capacidad portante en el gancho no menor de 15 ton.

Este equipo se requiere para la bajada de todos los equipos y materiales necesarios en la excavación del túnel como son lo son : dovelas, durmientes, tuberías, bombas, transformadores, etc. Debido a la visibilidad que se tiene hasta el fondo de la lumbrera utilizando la grúa pórtico, ésta es la que se está utilizando en la excavación de éste túnel.

2. Planta dosificadora o agitadores de 2.0 m³ de capacidad.

Este equipo se había descrito en instalaciones en lumbreira y como ya se había mencionado, es necesario para la elaboración del mortero que se utiliza en la inyección del espacio anular que queda entre las dovelas y el terreno natural. Para el caso de éste túnel, se está utilizando la planta dosificadora, pero al inicio de la misma se utilizaron agitadores .

3. Draga LS-68 .

Equipo utilizado en la planta de lodos para el rezague del material sólido producto de la sedimentación de los cárcamos, los cuales reciben el material de excavación. Aquí se hizo necesaria la utilización de una almeja sin dientes y sin barrenos con objeto de evitar que se vacie el lodo al momento de realizar el rezague.

4. Bombas de lodos de ϕ 6" y 20 H.P. (2)

Son bombas que se requieren para cargar los camiones pipa con el lodo producto de la excavación del túnel, para su transporte al lugar de tiro. Son bombas sumergibles.

5. Bombas de ϕ 4" y 20 H.P. (2)

Son bombas que se utilizan para el manejo del agua tratada en la planta de lodos para mantener uniforme la densidad que requiere el escudo en el cárcamo de suministro y para limpieza general de la planta.

6. Agitador vertical (3)

Tiene como función ajustar la densidad del lodo después de que éste ha pasado por el proceso de sedimentación, para utilizarlo nuevamente en la excavación.

7. Bomba de lodos de ϕ 6" (2) .

Bomba utilizada para el traspaleo de lodos del cárcamo de descarga al de suministro.

8. Planta generadora de energía eléctrica de 125 KVA. (1)

Equipo que es de utilidad en casos de emergencia cuando el suministro de energía eléctrica normal por parte de la CFE es suspendida. Tiene capacidad suficiente para mantener el alumbrado necesario en el interior del túnel y en superficie.

9. Compresor de 600 PCM.

Compresor que suministra el aire comprimido tanto para el equipo neumático que se encuentra en el interior del túnel, como en superficie. Ver instalaciones en superficie.

10. Equipo para talleres.

Es necesario contar con equipo para los siguientes talleres : carpintería, mecánico, y eléctrico.

11. Camión pipa.

Utilizado para el transporte del lodo de desecho al tiradero elegido para ello.

12. Camión de volteo.

Este camión es el encargado de llevar el material sólido producto de la sedimentación en los cárcamos, al tiradero oficial.

El equipo complementario en el túnel se describirá en el capítulo cuarto.

PROCESO CONSTRUCTIVO DE TUNEL PARA DRENAJE PROFUNDO

4.1 ANTECEDENTES. (lumbrera construída).

Para poder iniciar la excavación del túnel, previamente se tuvo que construir la lumbrera. Esta es una excavación vertical cuyo diámetro es tal que por ella se pueden bajar tanto la maquinaria, instalaciones y equipo complementario necesarios para la excavación del mismo.

El procedimiento empleado en la construcción de la lumbrera (lumbrera 3), fue el de "lumbreras flotadas", el cual es un procedimiento innovador desarrollado en México, y es el que se está utilizando actualmente en zonas de suelo blando. El procedimiento es el que a continuación se describe.

Construcción de lumbrera.

Primeramente, se excava un espacio perimetral formado por dos brocales (interior y exterior trazados a partir de polígonos concéntricos con 60 cm. de separación entre ellos, para dichos brocales se efectúan excavaciones verticales para alojar a los mismos, colándose éstos en el sitio, apuntalando contra las paredes de la excavación), realizándose previamente en ellos, perforaciones secantes hasta 4.0 m. abajo del paño inferior de la losa de fondo de la lumbrera, ademandando éstas con bentonita; de ésta forma el suelo comprendido entre las perforaciones se excava de manera alternada usando almeja guiada teniendo como apoyo los brocales, el lodo extraído es sustituido por lodo bentonítico el que tendrá las propiedades resultantes del estudio de Mecánica de Suelos, se mantiene el nivel de éste una altura de 1.0 m. arriba del nivel del terreno.

Una vez completo el anillo perimetral, se demuele el brocal interior y se procede a excavar el núcleo de la lumbrera mediante

una draga con almeja guiada, a la vez que el suelo desplazado es sustituido por lodo bentonítico con objeto de evitar una falla del fondo, manteniendo el nivel de éste no menos de 1.0 m. de altura con relación al nivel del terreno. Dicha excavación se realiza hasta 4.00 m. abajo del paño inferior de la losa de fondo, verificándose ésta profundidad por medio de sondas garantizándose además que el fondo de la lumbrera quede libre de azolves.

Terminada ésta excavación, en preparaciones hechas en el brocal exterior se colocan las viguetas de sujección y en ellas se coloca el tanque de flotación apoyándolo perimetralmente, (las viguetas tendrán como función también, sujetar a la lumbrera durante las diferentes etapas de construcción). Posteriormente se cuelan 60 cm. de losa de fondo y 1.80 m. de muro, éste último con las preparaciones (huecos) necesarias para apoyarse en las viguetas de sujección.

Realizado el primer colado, se inyecta aire al tanque con la presión necesaria para anular la carga en las viguetas y poder retirarlas, el muro se nivela con plumas, ó utilizando muertos de anclaje que se colocan en el brocal exterior.

Permitiendo la salida del aire necesario, el tanque se sumerge lentamente hasta que las viguetas coinciden con las preparaciones dejadas en los muros para recibirlas. De ésta forma, al permitir la salida del aire, el tanque se sumergirá llevándose a cabo las diferentes etapas de colado de la lumbrera.

Para la 2a. y 3a. etapas de colado se colarán 60 y 80 cm. de losa de fondo, 1.80 y 1.60 m. de muro respectivamente, así como también las zonas del Portal de Salida. Se inyecta aire al tanque repitiéndose el proceso colado-inmersión-sujección.

Para las etapas subsecuentes, se colarán tramos de 2.40 m. de muro hasta llegar al nivel de proyecto de la losa de fondo.

Durante el proceso, se llega al momento en que la subpresión (empuje del lodo) es mayor que el peso de la parte de lumbrera contruida y tanque, entonces se lastra éste último con agua en su interior, siendo sólo el lastre requerido para la inmersión con el

tanque de flotación sin aire.

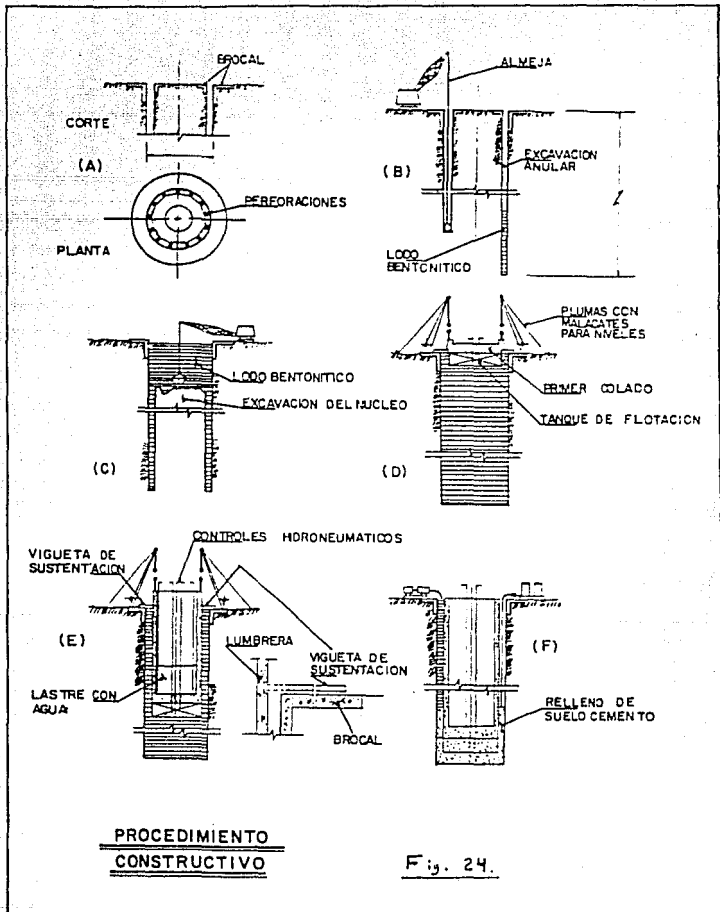
Una vez que se ha alcanzado el nivel de proyecto en la lumbrera, se procede a sustituir los lodos bentoníticos por una inyección de suelo-cemento (con excepción del portal de salida del escudo, cuya mezcla debe ser la que se describirá posteriormente), inyección que debe cumplir con tener una resistencia a la compresión simple a los 28 días de $10-30 \text{ kg/cm}^2$.

Finalmente, el último colado de la lumbrera se liga al brocal exterior mediante el colado de las traves de anclaje.

Para la zona de muro de lumbrera del portal de salida, se coló una mezcla de mortero de resistencia a la compresión $f'c = 30 \text{ kg/cm}^2$ (a los 28 días), utilizándose también aditivo estabilizador. Ver figura 24.

4.2 MEJORAMIENTO DEL SUELO.

El mejoramiento del suelo se debe hacer antes de iniciar la excavación del túnel con el escudo de frente presurizado, o antes de terminar la misma como se verá posteriormente. Este mejoramiento consiste en un tratamiento que se le aplica al suelo circundante tanto a la salida como a la llegada del escudo a alguna lumbrera. Su finalidad es incrementar la resistencia y cohesión del suelo, con lo que se evita de ésta forma que el material fluya hacia el interior de la excavación durante el tiempo que transcurre entre la demolición de la pared de la lumbrera y el momento en que empieza el escudo a ejercer presión sobre el suelo.



El tratamiento consiste en una sustitución de suelo como a continuación se describe :

A. Se excavan tableros con almeja guiada, ademando con lodo bentónico hasta la profundidad de proyecto, sus dimensiones dependerán de las de las características geométricas del equipo de excavación.

B. Los tableros se cuelean con una mezcla de suelo cemento (de mayor resistencia que la del terreno natural), con tubería tipo "tremie" desplazando el lodo de ademe por diferencia de densidades

El mejoramiento se efectúa cubriendo un volumen con las siguientes dimensiones :

largo = 4.00 m.
ancho = 9.00 m.
profundidad = H + 1 m.

donde :

H = distancia de la superficie al nivel inferior de la losa de fondo. Ver fig. 25

Se deben tomar las precauciones siguientes a la realización del mejoramiento del suelo :

- los tableros se excavarán y colarán en forma alternada.
- no se deberá iniciar la excavación de un tablero si existe otro contiguo que no haya alcanzado su fraguado inicial.
- al excavar se debe seguir un estricto control de las características del lodo de ademe, de tal forma que sea el adecuado para garantizar la estabilidad de la excavación.
- durante el colado, se deberá verificar cuidadosamente el ensamble de la tubería, como también la colocación del balón latex (diablo), y la posición del extremo de la tubería respecto al nivel superior del colado.
- la dosificación de la mezcla debe ser tal que proporcione la

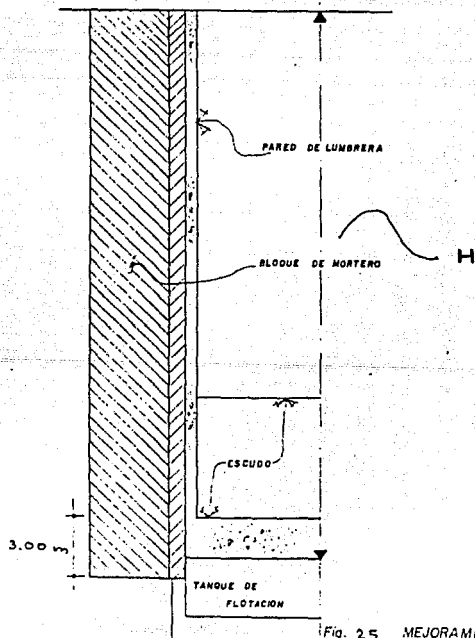
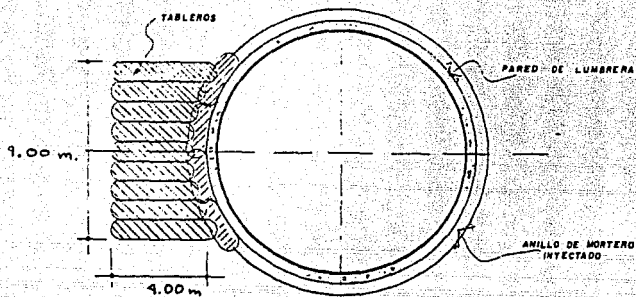


Fig. 25 MEJORAMIENTO DEL SUELO

resistencia requerida ya colocada (in situ), la cual debe variar de entre 10 y 30 kg/cm².

4.3 BAJADA Y GIRO DEL ESCUDO.

Bajada del escudo.

Para tal maniobra es necesario aligerar el escudo (el cual tiene un peso total de 240 ton.), y para ello se desmontan primeramente las estructuras siguientes: cabeza cortadora, plataformas de trabajo, y faldón del escudo, con esto el peso total a bajar se reduce a 200 ton. El movimiento se realiza con dos o tres grúas de 250 a 350 ton de capacidad cada una, dependiendo del área disponible en superficie.

Para la bajada de la cabeza cortadora, plataformas de trabajo, y faldón, son utilizadas grúas de mucho menor capacidad.

Giro del escudo.

Para iniciar la excavación del túnel, es necesario girar el escudo en el fondo de la lumbrera en la dirección de salida, para ello se empleó una cuna cruzada ó metálica, tipo de cuna que se mencionó en el capítulo tercero, y como ahí se describió es construída con perfiles estructurales, y para su giro es necesario instalar un sistema de rieles sobre la losa de fondo. Es con la ayuda de gatos hidráulicos instalados en la pared de la lumbrera, que se provoca el movimiento de la cuna.

4.4 TRABAJOS PRELIMINARES A LA INICIACION DE LA EXCAVACION.

Los trabajos preliminares a la iniciación de la excavación son los que a continuación se enumeran y son aquellos que se realizan cuando ya se han terminado las instalaciones tanto en superficie como en la lumbrera, y el escudo se encuentra en condiciones de operar.

1. Instalación de los dientes sobrecortadores.
2. Demolición de la pared de la lumbrera y de la inyección perimetral de la lumbrera.

1. Instalación de los dientes sobrecortadores.

La función que éstos dientes desempeñan, es reducir la fricción entre el suelo tratado y la camisa del escudo. Se instalan en la cabeza cortadora del escudo.

2. Demolición de la pared y de la inyección perimetral de la lumbrera.

La demolición de la pared de la lumbrera se lleva a cabo de la forma siguiente utilizando martillos neumáticos hasta tener contacto con el suelo mejorado. El procedimiento es el siguiente :

1.- Se ranura el concreto formando una cuadrícula (sin que alcance la zona de inyección perimetral), el hueco demolido debe ser geoméricamente mayor que el diámetro del escudo.

2.- Se procede a cortar el acero de refuerzo y a retirar los bloques de concreto, de arriba hacia abajo.

3.- Enseguida se realiza la demolición de la inyección perimetral, también de arriba hacia abajo, con lo que queda al descubierto el suelo mejorado.

4.- Por último se procede a la limpieza de la zona, de escombros y del material suelto.

Estos trabajos se deben realizar con la mayor rapidez, debiendo tomarse las precauciones necesarias para que en caso de presentarse algún indicio de falla del frente se pueda controlar adecuadamente, por lo que es necesario contar con madera para ademar, tubería para canalizar flujos de agua, etc.

3. Colocación de los semianillos de atraque.

Esta actividad se realiza en forma simultánea a la operación anterior (demolición), llevándose a cabo en la parte trasera del escudo, donde se colocan dovelas de atraque (primer semianillo) con lo que se conforma el apoyo del escudo. Este semianillo se rigidiza mediante el colado de un muro de ajuste adosado al muro de atraque. Ver fig. 26.

Al termino de éstas actividades se lleva a cabo el inicio del avance del escudo cuando los gatos de empuje reaccionan sobre el semianillo, comenzando el escudo a deslizarse sobre la cuna. Cuando la cabeza cortadora hace contacto con el terreno mejorado, se detiene el avance para proceder a realizar las actividades de presurización de la cámara de lodos, tal y como se describirá posteriormente.

4.5 PROCESO CONSTRUCTIVO.

4.5.1 AVANCE Y CONDUCCION DEL ESCUDO.

Ya se había mencionado, que por medio de 24 gatos de empuje el escudo avanza y es conducido durante la excavación de acuerdo a los requerimientos de proyecto.

Ahora bien, para llevar a cabo la excavación del túnel con éxito, no debemos dejar de tomar en cuenta que cada empuje debe corresponder a una planeación general de la conducción del escudo, ya que cualquier corrección a las desviaciones que se presenten respecto a la línea de proyecto, deberá ser estudiada en forma minuciosa.

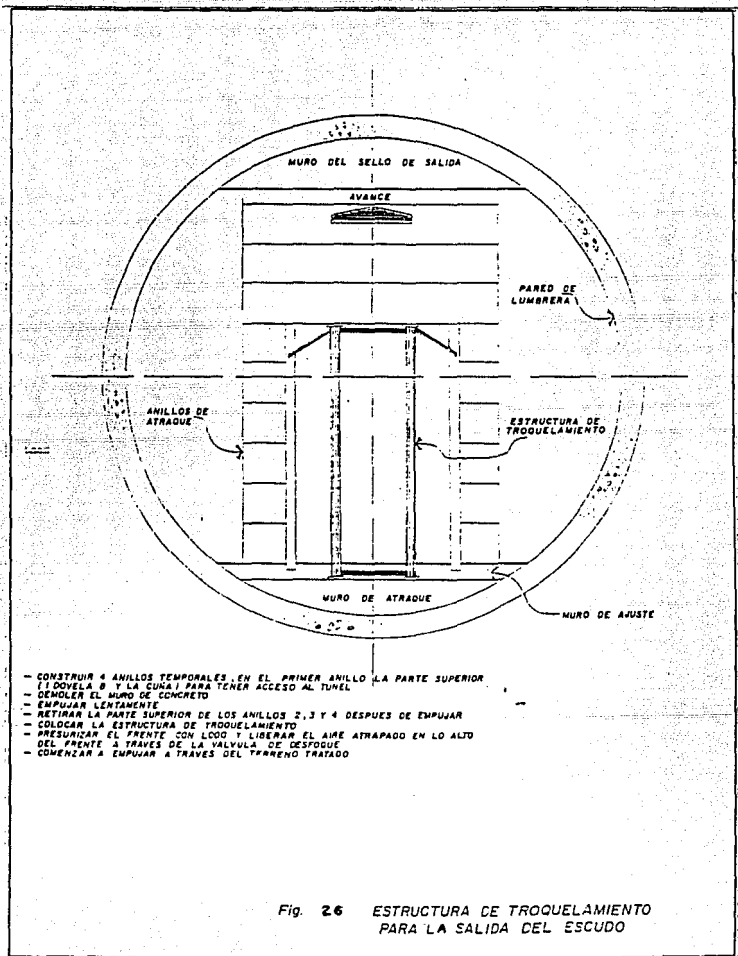


Fig. 26 ESTRUCTURA DE TROQUELAMIENTO PARA LA SALIDA DEL ESCUDO

FORMAS DE AVANCE.

Se tienen dos formas de avance que se deben a los controles independientes para desplazamiento de la cabeza cortadora y de los gatos de empuje.

Estas dos formas de avance son :

1. Avance alternado.- es la repetición del ciclo que a continuación se describe hasta que los gatos de empuje estén totalmente extendidos.

A. El cuerpo del escudo avanza cortando al terreno, mientras que la cabeza cortadora sin girar, mantiene una presión contra el frente, las compuertas de control de excavación se mantienen cerradas. Se va retrayendo el gato de la cortadora conservando la presión del frente.

B. Al tener el cuerpo del escudo un avance de 40 cm., se detiene para iniciar la excavación con la cabeza cortadora ya girando, avanzando 40 cm., en este caso con las compuertas de control de excavación abiertas. El cuerpo del escudo permanece fijo con respecto al suelo .

Se repite éste ciclo hasta concluir el empuje.

2. Avance simultáneo.- Para esta forma tanto el cuerpo del escudo como la cabeza cortadora avanzan simultáneamente. Esto se logra extendiendo los gatos de empuje con la cabeza cortadora girando y manteniendo fijo su desplazamiento.

4.5.2 EXCAVACION DE LOS 50 METROS INICIALES.

Con anterioridad se había mencionado que al iniciarse la excavación de un tramo de túnel, el tren de equipo se instala en la lumbrera . Para la introducción de éste, es necesario que se excaven 50 metros de túnel; pero con la carrera de la tubería telescópica retraída. La longitud del tren de equipo es de 40 metros.

La excavación de éstos 50 metros iniciales se divide en dos etapas:

Etapa 1. Excavación de los primeros 5 metros de túnel.

- Cuando se tiene al escudo próximo a la zona de mejoramiento de suelo, éste deberá cruzar 4 metros de un material con resistencia aproximada de 20 kg/cm^2 , por lo que se hace necesario la colocación de los dientes de sobre-excavación, ello con objeto de liberar el cuerpo del escudo de fricciones adicionales. El procedimiento para instalar los dientes de sobre-excavación es el que a continuación se enlista :

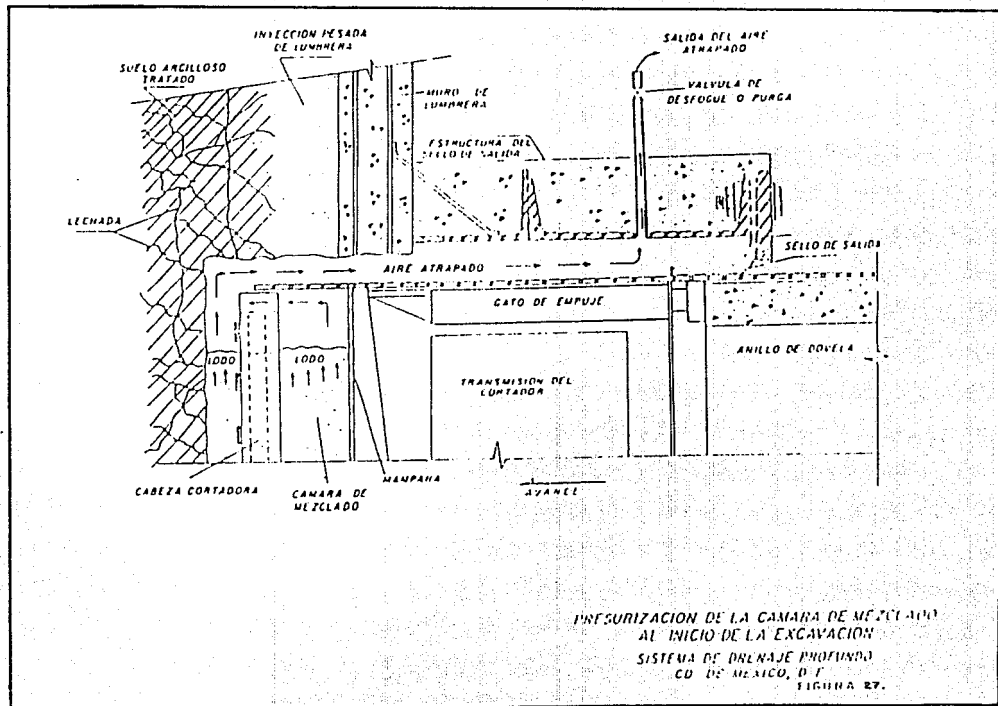
- a. Se expande el gato de la cabeza cortadora los 40 cm. de carrera.
- b. Se gira la cabeza cortadora de tal forma que las preparaciones para los dientes queden cerca de una de las puertas de inspección de la cámara presurizada.
- c. Se colocan los dientes de sobre-excavación.

Nunca se deberá retraer la cabeza cortadora con los dientes de sobre-excavación colocados.

- Instalados los dientes , se procede al llenado de la cámara presurizada y del espacio comprendido entre el cuerpo del escudo y el sello de salida de la lumbrera con agua tratada, hasta alcanzar una presión de 1.0 kg/cm^2 . El aire atrapado es expulsado por la válvula colocada en la parte superior del sello de salida.

Ver figura 27.

Enseguida se accionan tanto la cabeza cortadora como los gatos de empuje, éstos últimos apoyándose en los anillos de atraque para iniciar el movimiento del escudo. Cuando se alcanzó ya un metro de excavación, se procede a la colocación de los anillos de dovelas, los que conforman el revestimiento primario del túnel.



Sistema de Circulación.

El sistema de circulación de lodos es el procedimiento mediante el cual con lodo a presión suministrado desde superficie por medio de bombeo, se equilibra la presión hidrostática del suelo y también a través del bombeo, el suelo excavado es llevado a superficie para su posterior tratamiento y reutilización parcial en la planta de lodos.

El sistema está compuesto por :

- a. Bomba de suministro de lodo (velocidad variable). P1 .
- b. Bomba de descarga de lodo (velocidad variable). P2 .
- c. Bombas de traspaleo (velocidad constante). P3, P4, P5, y P6 .
- d. Medidores del flujo de suministro y descarga.
- e. Medidores de la densidad de suministro y descarga.
- f. Válvulas de compresión del suministro y descarga.
- g. Válvula de bola de derivación.
- h. Unidad neumática para las válvulas de compresión y la válvula de bola de derivación.
- i. Unidad de tubería telescópica.

Para el caso de los escudos de frente presurizado, el material excavado es extraído por medio de tuberías de 6" ésto con la ayuda de la serie de bombas enumeradas anteriormente, en cambio el lodo de suministro es conducido por medio de una tubería de 8" . Ver figura 21a.

De ésta forma se suministra el lodo de ademe a la cámara presurizada, para su posterior extracción de la misma, mezclado con el lodo excavado. En superficie sólo se tiene instalada la bomba de suministro P1, mientras que la bomba de descarga P2 se incluye en el tren de equipo del escudo , y las de traspaleo (P3 a P6), se van instalando en el interior del túnel conforme su construcción avanza.

- a. Bomba de suministro de lodos P1 .

Es una bomba con capacidad de 3.4 m³/min con una velocidad variable hasta 1200 r.p.m. . Está instalada en superficie junto al

tanque de suministro de lodos.

b. Bomba de extracción de lodos P2. (bomba de descarga).

Bomba con capacidad de $3.4 \text{ m}^3/\text{min}$ y una velocidad variable hasta 1350 r.p.m. instalada en el módulo número 4 del tren de equipo.

c. Bombas de traspaleo o intermedias P3, P4, P5. y P6.

Son bombas para la extracción de lodos con capacidad de $3.4 \text{ m}^3/\text{min}$ a una velocidad de 1185 r.p.m. . Estas bombas están siendo instaladas en el túnel a cada 450 m a medida que avanza la excavación, con ellas se obtiene la potencia requerida para la extracción de lodos. Ver figura 21a.

d. Medidores del flujo de suministro y descarga.

Son medidores que van instalados en el muro de la lumbrera y su funcionamiento es registrar la velocidad del lodo que está circulando por las tuberías y sus resultados se utilizan para ajustar las velocidades de las bombas de suministro y extracción de lodos. Ver figura 22a.

e. Medidores de la densidad de suministro y descarga.

Son medidores que al igual que los de flujo son de suministro y descarga, están instalados de igual forma en el muro de la lumbrera. Registran las densidades de los lodos que circulan por las tuberías y sus resultados se utilizan para ajustar el tratamiento del lodo en la planta que se ha instalado en la superficie, pero manteniendo la densidad en los rangos de operación de las bombas. Ver figura 22a.

f. Válvulas de compresión de suministro y descarga, y válvula de bola de derivación o By-pass.

Estas válvulas van instaladas en el módulo número tres del tren de equipo y su función es controlar el suministro y extracción de lodo, las de suministro y descarga son de diafragma (membrana) y la de derivación es de bola (esfera).

Este control se lleva a cabo a partir de dos formas de circulación

A. Circulación frontal. Esta forma de circulación suministra y extrae lodo de la cámara presurizada, siendo empleada durante la excavación. Para este caso, las válvulas de compresión de suministro y descarga se encuentran abiertas y la válvula de derivación permanece cerrada.

B. Circulación de derivación. Por medio de este tipo de circulación, se circula el lodo por las tuberías del suministro y extracción sin pasar por la cámara presurizada. Es utilizada antes y después de la excavación con el hecho de igualar las densidades en las tuberías. Para ésta forma de circulación las válvulas de compresión de suministro y descarga se mantienen cerradas y la válvula de derivación permanece abierta.

El Sistema de Circulación de lodos funciona de la manera siguiente:

1. Se hacen operar las bombas de suministro y extracción de lodos en la forma de circulación de derivación y se ajusta la velocidad de las bombas P1 y P2, de acuerdo a la presión frontal para igualar los flujos y densidades de lodos.

2. Para la iniciación de la excavación se pasa el sistema a la forma de circulación frontal ajustándose las velocidades de suministro y extracción para igualar flujos.

3. A la terminación de la excavación se pasa el sistema a la forma de circulación de derivación para igualar densidades en las tuberías.

4. Ya que se han igualado las densidades de suministro y extracción se detienen las bombas siguiendo el siguiente orden : bombas intermedias, bomba de extracción (P2), y por último la bomba de suministro (P1).

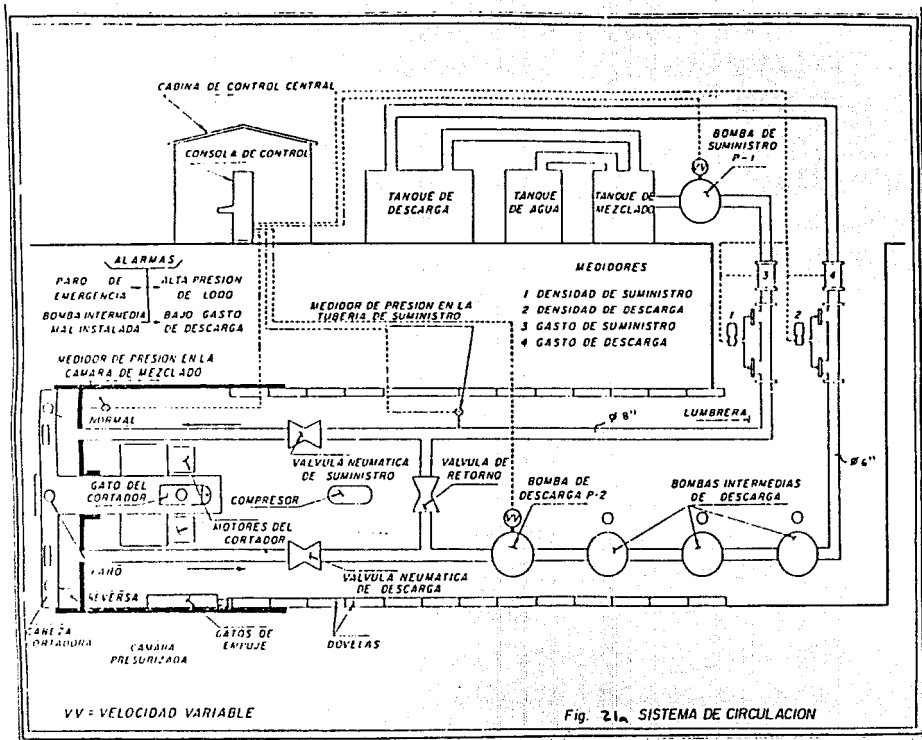


Fig. 21a. SISTEMA DE CIRCULACION

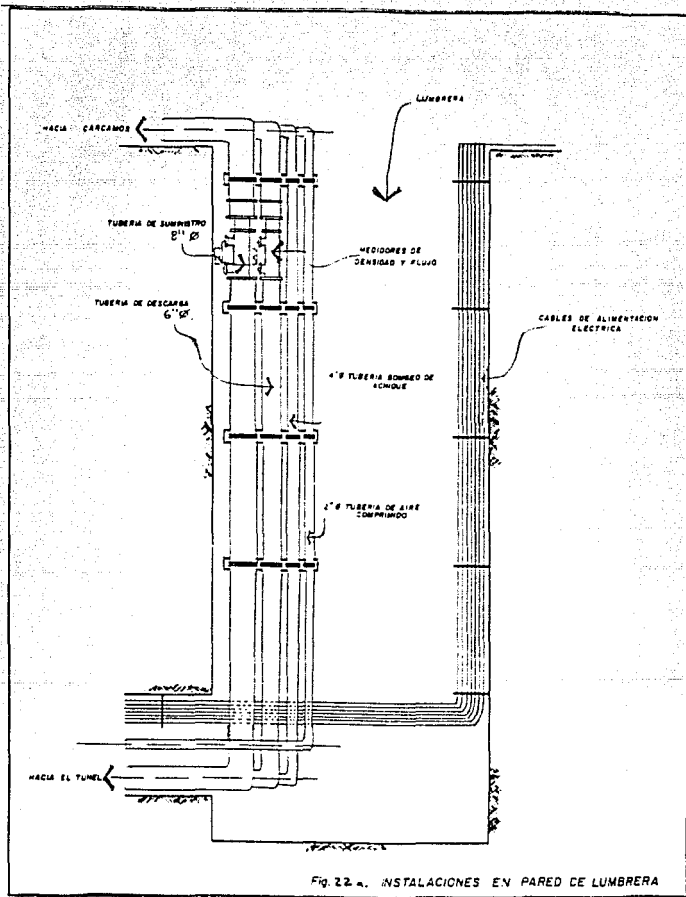


Fig. 22 a. INSTALACIONES EN PARED DE LUMBRERA

Tanto la tubería de suministro como la de descarga cuentan cada una con una válvula manual, encontrándose ambas tuberías conectadas al escudo, y cabe aclarar aquí, que en fallas de energía eléctrica el sistema frontal es pasado automáticamente al modo de derivación, con lo que se permite mantener la presión en la cámara de mezclado durante el período de la excavación.

Ver figura 28.

En la figura 28 se puede apreciar que las válvulas de compresión C y D, y la válvula de bola de derivación E (válvulas de compresión de suministro y descarga, y válvula by-pass respectivamente), fueron provistas para los cambios de modo de circulación de lodo, tal y como se describió anteriormente. Estas válvulas son accionadas por aire y controladas por solenoides. Las válvulas A y B que se operan manualmente, están equipadas para mantener la presión en la cámara presurizada durante los periodos paralizados, encontrándose abiertas durante la excavación.

Para minimizar la posibilidad de golpe de ariete durante la circulación del lodo debido a un cambio brusco en su modo de circulación, se puede controlar la velocidad de la válvula de derivación fijando la velocidad de la válvula instalada en el sistema neumático y luego operar desde la consola de control central, seleccionando el selector "control de la válvula de derivación " en posición "lento".

h. Unidad neumática . Vista ya en tren de equipo.

i. Unidad de tubería telescópica. Vista anteriormente.

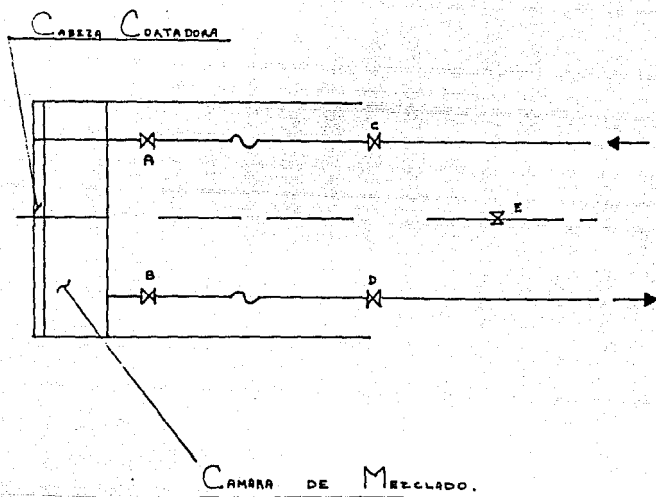


Fig. 28

REVESTIMIENTO PRIMARIO .

Como ya se había descrito, el escudo va dejando un revestimiento al cual se le llama revestimiento primario, revestimiento que está conformado por anillos de dovelas de concreto reforzado de resistencia $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, con diámetro exterior de 6.10 metros y 25 cm de espesor.

Cada anillo de dovelas consta de 6 piezas : 3 tipo "a" ó "normales", 2 tipo "b" ó "tangenciales", y una tipo "k" ó "cuña" , ésta última utilizada para cerrar el anillo.

Dichas dovelas cuentan con una preparación perimetral que se utiliza para colocación de un sello de neopreno, cuya función es la de impedir la entrada de filtraciones al túnel, pero cuando por necesidades de proyecto la excavación cruza por debajo de alguna estructura de importancia (metro, viaducto ó edificaciones), se utiliza un sello llamado "hidrotita", el cual es un sellador de juntas de goma cuya característica principal es expandirse hasta 10 veces su volumen conforme absorbe agua, con lo que se logra una mayor estanqueidad del túnel. En el caso de el tramo LIOS3-LIOS2 sólo se está utilizando el sello de neopreno. Ver figura 29 .

Cada dovela tiene en el centro una perforación llamada "inserto", perforación que es utilizada para su manejo durante la colocación, y posteriormente por el mismo inserto se realiza la inyección de contacto entre dovela y terreno.

Tipos de anillos de dovelas.

Los tipos de anillos de dovelas con que se cuenta son dos : normales y correctivos; los anillos "normales" son aquellos que tienen un metro de ancho en todo su perímetro y son usados en los tramos en tangente, en cambio, los "correctivos" tienen un ancho que varía de 1.00 m. a 0.95 m., y cuya función es facilitar el cambio de dirección del escudo (tramos en curva), que se manifiesta al colocar el siguiente anillo. Ver fig. 30 . Estos últimos son utilizados también para despegar el endovelado del faldón.

La ejecución de los empujes en curvas se efectúa de acuerdo a una modulación (modulación que se calcula previamente), de los anillos

normales y correctivos por colocar.

Durante los empujes para anillos correctivos, se dejarán de utilizar 2 ó 4 gatos laterales en el sentido de la curva. Ahora, para verificar que el escudo responda de acuerdo a la programación del empuje, se deberá cuidar que en la carrera de los gatos se vaya reflejando la diferencia de anchos del anillo correctivo, de tal forma que al finalizar el empuje, se deben tener 5 cm. de diferencia entre uno y otro lado del escudo, no olvidándose también, que se debe respetar la separación mínima entre dovelas y faldón.

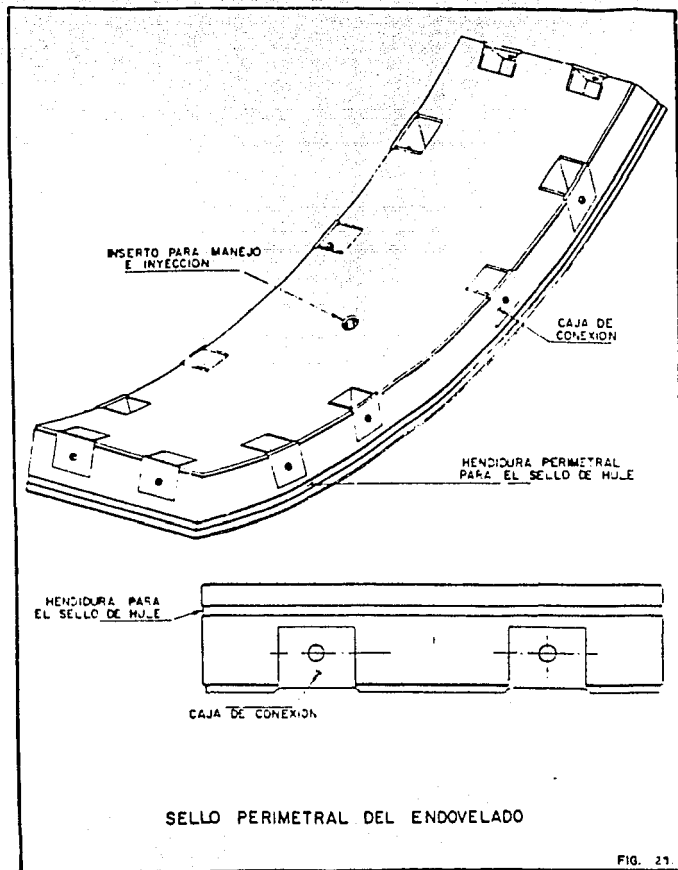
La fijación de los anillos se realiza por medio de 34 tornillos de $1\frac{1}{8}$ " de acero grado 5 con tuerca y rondana .

Durante el avance del escudo (penetración en el terreno), se debe cuidar que éste sea en forma horizontal para evitar la posibilidad de que el cuerpo del escudo pueda golpearse con el marco metálico del sello de salida.

Ahora bien, cuando la cabeza cortadora ya ha rebasado la zona de suelo mejorado se procede a la retirada de los dientes de sobre-excavación, así mismo, se deberá ajustar la presión frontal de acuerdo a lo que indica el estudio de Mecánica de Suelos ó se puede determinar aumentando en 0.2 kg/cm^2 la presión señalada en el manómetro instalado en la mampara metálica, para éste último procedimiento, se mantiene el lodo de la cámara presurizada en reposo y las válvulas de suministro y extracción cerradas.

Cuando el escudo está totalmente dentro del sello de salida de la lumbrera, se deben cerrar las placas perimetrales del marco metálico para evitar que el sello de hule se regrese.

La primera inyección que se realiza entre dovelas y terreno, se efectúa normalmente durante el empuje para el cuarto anillo . La inyección no se limita en volumen ya que es necesario inyectar el espacio entre dovelas y sello de salida de la lumbrera, siendo la presión de 1.5 kg/cm^2 lo que domina.



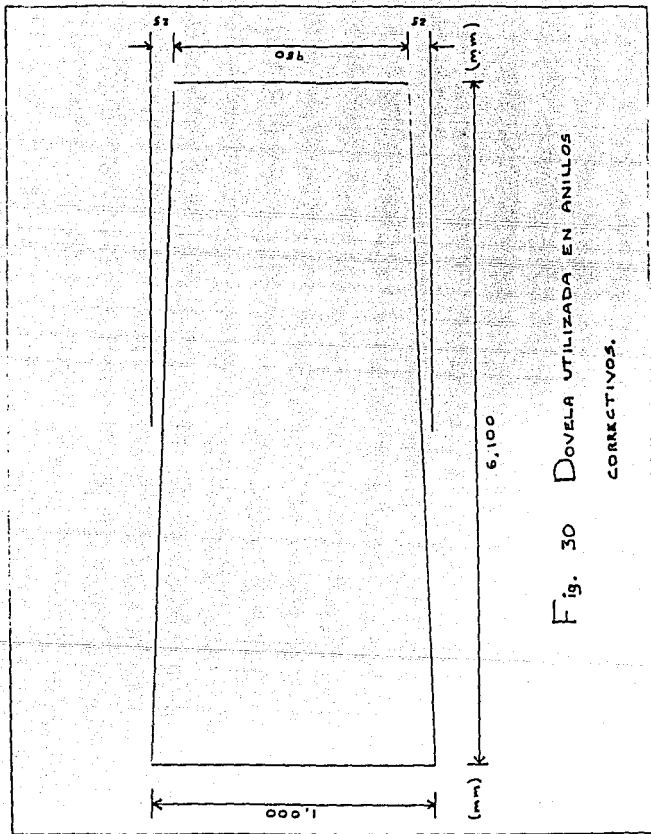


Fig. 30 DOVELA UTILIZADA EN ANILLOS
CORRECTIVOS.

SISTEMA DE INYECCION.

La inyección de mortero se realiza a través de los insertos de las dovelas, una vez que los anillos van saliendo del faldón del escudo. Ver fig. 31.

La dosificación de la mezcla de inyección utilizada por bacha de 0.5 m^3 es :

- cemento ----- 200 kg.
- arena sílica ----- 0.243 m^3
- bentonita ----- 50 kg.
- agua ----- 380 lts.

La inyección está limitada a 1.5 kg/cm^2 de presión ó 2.0 m^3 de mezcla por anillo , lo que ocurra primero.

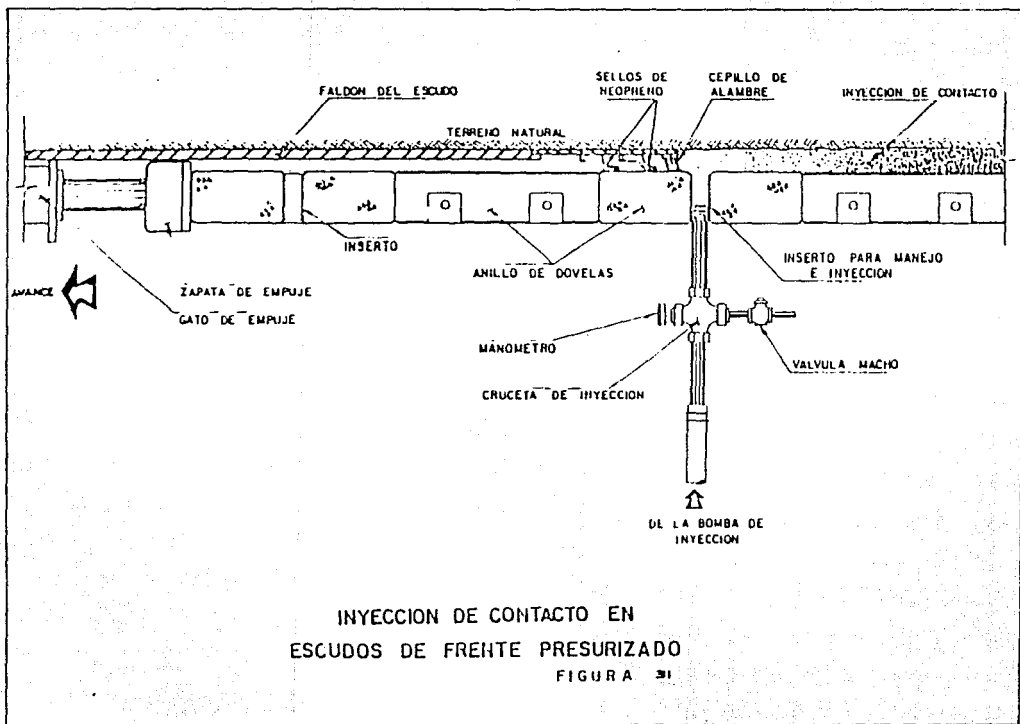
Etapa 2. Excavación de los 45 metros siguientes.

Para ésta etapa el procedimiento de excavación es el mismo descrito anteriormente, pero con la diferencia de que ya no se tienen los dientes de sobre-excavación, y ahora el apoyo de los gatos de empuje son las dovelas primeramente colocadas, conjuntamente con los anillo de atraque.

La instalación del tren de equipo en el túnel se lleva a cabo de acuerdo al avance de la excavación, y como ya se sabe, el tren de equipo está formado por 4 módulos y una tubería telescópica, los cuales se irán instalando dentro del túnel cuando ya se tenga suficiente espacio para su instalación.

A continuación se indica la secuencia de instalación del tren de equipo en el túnel :

- módulo No. 1 , se instala al tener 8 metros de avance.
- módulo No. 2 , se instala al tener 15 metros de excavación.
- módulo No. 3 , se instala al tener 21 metros de excavación.
- la unidad de tubería telescópica se instala al tener 45 metros de túnel, lo que permite avanzar hasta 51 metros antes de iniciar la colocación de las tuberías de suministro y



extracción.

Durante el avance de éstos 50 metros iniciales y los posteriores a excavar, se deben tomar en cuenta varios factores, los que a continuación se mencionan.

4.5.2.1 VOLUMEN EXCAVADO-VOLUMEN DESPLAZADO.

El volumen excavado (VE), es la cantidad de material que pasa a través de las compuertas de control de excavación. Este volumen es determinado por la computadora a partir de los datos que registran los medidores de flujo de suministro y extracción de lodos, mientras que el volumen desplazado (VD), es el volumen ocupado por el escudo durante su avance, en este caso, el volumen es determinado por la computadora a partir de los datos registrados por los sensores de carrera de los gatos de empuje .

Durante la realización de los empujes, la consola de control central cuenta con una computadora que va calculando en forma continua la relación entre el volumen excavado (VE) y el volumen desplazado (VD), relación que se debe mantener en la unidad para evitar sobre-excavación (más volumen excavado que desplazado), ó inducir esfuerzos de compresión en el terreno (que se está empujando el terreno). Para el primer caso, la relación :

$$VE / VD > 1.0$$

lo que indica que se debe ajustar la abertura de las compuertas de control de excavación o disminuir la velocidad del escudo , y para el segundo caso, la relación :

$$VE / VD < 1.0$$

se debe ajustar la velocidad de avance del escudo o abrir más las compuertas de control de excavación .

4.5.2.2

ESPACIO ANULAR ENTRE ANILLOS DE DOVELAS Y FALDON DEL ESCUDO.

Con objeto de evitar esfuerzos en las dovelas que las puedan dañar en todos los empujes, se deberá cuidar que la separación entre dovelas y faldón no rebase la separación mínima entre ellos, la

cual es de 5 mm, ya que en caso de que esto ocurra, es decir, al pegarse el revestimiento primario y el cuerpo del escudo, se generarán esfuerzos en las dovelas ocasionando que se puedan dañar las mismas y los sellos de neopreno en esa zona, lo que provocará finalmente que se presenten fugas de mortero de la inyección, así como lodo proveniente del frente de excavación al interior del escudo. La posición ideal es mantener concéntricos los anillos respecto al faldón del escudo.

En caso de que se requiera despegar el endovelado del escudo, se deberán de dejar de usar de 2 a 4 gatos de empuje en la zona donde las dovelas y el faldón se encuentran pegados, ello para provocar un desbalanceo de las fuerzas aplicadas en el empuje, lo que hará que el escudo avance menos es ésta zona, de ésta manera se logrará despegar las dovelas del faldón.

4.5.2.3 POSICION Y ORIENTACION DEL ESCUDO.

Ya se había mencionado con anterioridad, que el escudo cuenta con dispositivos para indicar en forma constante su posición con respecto a su eje longitudinal (pitching) y respecto a su eje vertical (rolling), dispositivos que son respectivamente clinómetros e inclinómetros. Los clinómetros nos indican las acciones inmediatas a seguir para corregir las desviaciones en caso de que éstas lleguen a ocurrir.

4.5.2.4 CONTROL TOPOGRAFICO.

El control topográfico se llevó a cabo en forma convencional con tránsito y nivel.

Se deben efectuar periódicamente orientaciones giroscópicas con el propósito de verificar la veracidad del trazo.

Así, al finalizar la colocación de un anillo de dovelas, se procede a obtener la línea y el nivel que tiene el escudo en ese punto con relación a los datos de proyecto, de los resultados obtenidos se seleccionarán los gatos a usar en el próximo avance.

No se debe dejar de tomar en cuenta el giro del escudo sobre su propio eje durante el proceso de excavación; ésto nos lo indica la máquina misma en un indicador de la cabina del operador. Una forma de corregir este giro, es cambiando el sentido con el cual se viene realizando la excavación (giro de la cabeza cortadora). Dependiendo de la magnitud del giro que tenga el escudo y del procedimiento con el que se este llevando el control topográfico, se tendrá que realizar una compensación .

4.5.3 PROCESO SIGUIENTE.

La excavación de los metros siguientes se vuelve cíclica, es decir : empujar, colocar dovelas, inyectar, y colocar las instalaciones en túnel de acuerdo al avance .

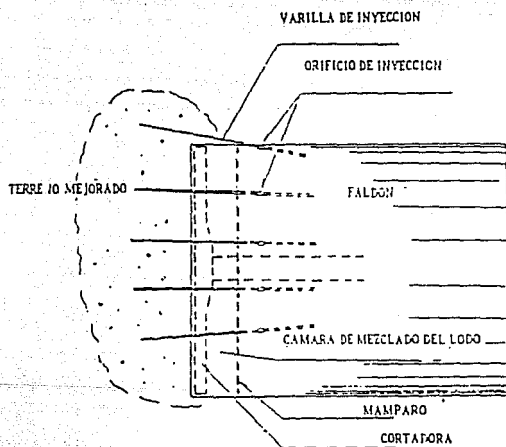
Ahora bien, cuando se tenga una longitud de túnel aproximada a los 60 metros, se podrán retirar los semianillos de atraque, ya que ésta longitud permite absorber la fuerza de los gatos de empuje sin que haya desplazamiento de los anillos instalados.

Para que haya facilidad en el suministro de dovelas y materiales al túnel, en la zona clave de los semianillos de atraque se coloca una estructura tubular para sustituir las dovelas faltantes.

4.5.4 EMERGENCIAS.

En el caso de que ocurrieran inestabilidades en el frente, el cuerpo del escudo cuenta con 12 preparaciones localizadas junto a la mampara, tales preparaciones cuentan cada una con una válvula, y es por medio de ellas que se pueden hincar hacia el frente tuberías y a través de éstas, efectuar un tratamiento de inyección para mejorar el suelo y poder así, continuar con la excavación del túnel. La inyección debe efectuarse con las compuertas de control de excavación totalmente cerradas. Deberá estudiarse previamente el tipo y volumen de la mezcla por inyectar. Ver figura 32.

PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA



4.5.5 INSTALACIONES Y EQUIPOS COMPLEMENTARIOS EN EL TUNEL.

INSTALACIONES.

Las instalaciones en el túnel son las que a continuación se describen y son aquellas que se irán colocando conforme se avance en la excavación del túnel.

1. Línea de energía en el túnel.

Para la iluminación del túnel y superficie se tiene instalada una línea trifásica de 220V, y lámparas colocadas a cada 10 metros . Para suministro de energía al escudo se tiene una línea trifásica de 4160 V instalada en bastidores especiales.

Ahora bien, por seguridad y bienestar en el desarrollo de las actividades de un túnel, se cuenta con un alumbrado eficiente como lo es el tipo fluorescente.

2. Ventilación .

Se cuenta con un sistema de ventilación con el objeto de suministrar aire fresco y así mantener un ambiente con el menor grado de humedad y a la vez expulsar hacia el exterior los gases producto de la combustión interna de la maquinaria que labora dentro del túnel, como también, para prolongar la vida de las partes electromecánicas del escudo y obtener las mínimas fallas sobre todo en circuitos eléctricos . Puede obtenerse también de la ventilación, un mayor confort y así, incrementar la eficiencia en el desarrollo de las actividades del personal.

3. Durmientes.

Son utilizados para la circulación de equipos y personal, durmientes de 8"x8" colocados a cada metro y tablonés de 2"x10" respectivamente.

4. Tuberías.

Tuberías de acero de 8" y 6" de ϕ son utilizadas para suministro y extracción de lodos, como ya se había enunciado en el sistema de circulación de lodos.

5. Tuberías para agua y aire.

Para el suministro de agua y aire que se requiere para la limpieza y bombeo neumático, etc., se tienen instaladas en la zona lateral derecha del túnel, dos tuberías de 2" de diámetro con conexiones rápidas a cada 100 metros.

EQUIPOS.

1. Locomotoras.
2. Trucks.
3. Truck tolva.
4. Polipasto de 3 ton. con control eléctrico.
5. Bombas de ϕ 2" (2)
6. Bomba de ϕ 4" y 20 H.P. (1)
7. Elevador alimak

1. Locomotoras. (2)

Es el equipo encargado de transportar los trucks en los cuales se llevan tanto los materiales como equipo necesario para utilizarse en el frente de excavación, tiene una capacidad de tracción mínima de 25 ton. y son eléctricas o de diesel.

2. Trucks. (3)

Son los encargados de llevar al frente de excavación los materiales necesarios para llevar a cabo la excavación. Este equipo está habilitado para poder facilitar la carga y transporte de las dovelas, es decir, su plataforma tiene una curvatura para poder llevar a cabo este trabajo.

3. Truck-tolva (1).

Es un truck, el cual está equipado con una tolva con capacidad de 2.0 m^3 y una bomba para la inyección de mortero con una presión de operación de 1.5 kg/cm^2 (su capacidad es hasta 3 kg/cm^2). Su función es transportar el mortero elaborado en la planta dosificadora y llevarlo al frente de excavación para el momento en que se efectúa la excavación se lleve a cabo también en forma simultánea la inyección de contacto en el anillo saliente del faldón del escudo.

4. Polipasto de 3 ton. con control eléctrico. (1)

Equipo que se tiene como reserva, ya que el escudo cuenta con uno propio. Se tiene como reserva ya que es el equipo que más se deteriora y puede ocasionar la suspensión de la excavación.

5. Bombas de ϕ 2" (2)

Son equipos con que se cuenta para traspalear el agua que se acumula en el faldón del escudo y que dificulta la colocación de las dovelas en la cubeta del túnel.

6. Bombas de ϕ 4" y 20 H.P. (1)

Es una bomba que se encuentra instalada en la lumbrera y cuya función es bombear al exterior el agua y lodo que escurre a través del túnel.

7 Elevador alimak.

Es un equipo con capacidad para transportar 10 personas y llevar a cabo el acceso y retiro del personal que labora en el túnel .

4.5.6 TERMINACION DE LA EXCAVACION.

Antes de finalizar la excavación del túnel entre dos lumbreras, el escudo debe cruzar una zona de mejoramiento de suelo similar al de la salida . El procedimiento a seguir para terminar la excavación de un tramo (tramo entre lumbreras), se indica a continuación :

A. Encontrándose la cabeza cortadora a 1.0 metro del muro de la lumbrera, se procede a despresurizar la cámara de mezclado, ello debido a que ya no es necesaria la utilización del sistema de circulación de lodo, como así también, se suspende la inyección de contacto.

B. Se demuele una parte del muro de la lumbrera, sólo para descubrir parcialmente la cabeza cortadora y poder ubicar físicamente la posición del escudo y definir el área total que se demolerá.

C. Finalizada la demolición del muro, se hace avanzar el escudo sin que gire la cabeza, ello para empujar el material del frente al interior de la lumbrera, de donde se extraerá posteriormente. El avance del escudo es hasta que la cabeza cortadora llegue al paño de la lumbrera.

D. Se verifica el nivel de la cuna que recibirá en la lumbrera al escudo, y se hace avanzar el escudo hasta quedar sobre dicha cuna.

E. Cuando el escudo ya está soportado en la cuna, se procede al retiro de los anillos que no forman parte del túnel, pero que se requieren para apoyo y colocación del escudo en el centro de la lumbrera.

F. Finalmente el espacio perimetral entre dovelas y muro de la lumbrera se calafatea para poder efectuar la inyección entre dovelas y terreno la cual había sido suspendida, terminando así el procedimiento de construcción de un tramo de túnel, en su primera etapa (revestimiento primario) .

4.5.7 EXTRACCION DEL ESCUDO.

Esta maniobra se realiza de manera similar a la bajada, moviendo primero del fondo de la lumbrera la cabeza cortadora, plataformas de trabajo, faldón, y por último el cuerpo del escudo. Para éste último caso se suelda en la cara exterior de la camisa del escudo, unos canales de acero estructural, cuya función será la de alojar los estobos con los que se sujetará la máquina, impidiendo que éstos se deslicen a lo largo de su eje.

En superficie, el transporte del escudo se efectúa sobre una plataforma autoalineable de 96 llantas.

ESTA TESIS NO DEBE
SER DE LA BIBLIOTECA

Q U I N T O C A P I T U L O

INSTRUMENTACION

Uno de los aspectos importantes en todo tipo de edificaciones, es el comportamiento de la estructura construída y alrededores con el paso del tiempo.

La construcción del túnel para drenaje profundo no es la excepción y con el objeto de conocer la magnitud y variaciones de los movimientos horizontales y verticales en la zona inmediata a la excavación y áreas adyacentes, que pudieran ser provocados en el subsuelo, antes, durante y después de la excavación del túnel; es necesario instalar secciones de instrumentación que permitan determinar la magnitud y variación de dichas deformaciones.

De ésta manera se trata de tener mediciones de las posibles deformaciones, y es de aquí de donde se derivan los dos tipos de instrumentación : instrumentación externa e instrumentación interna.

5.1 UBICACION DE LAS SECCIONES A INSTRUMENTAR.

La ubicación de las secciones a instrumentar se localizan en sitios previamente seleccionados a lo largo del tramo, de tal forma que al efectuarse las mediciones se cumpla satisfactoriamente con el propósito de la instrumentación .

Se describe a continuación la instrumentación realizada en el tramo L3-10S a L2-10S durante el mes de febrero del presente año. (1992).

5.2 INSTRUMENTACION EXTERNA .

Para la instrumentación externa (instrumentación superficial), se tienen instalados bancos de nivel superficial (BNS) sobre el eje del trazo del túnel a una distancia máxima de 25 m., así como también, se colocaron bancos en secciones transversales al eje del trazo a una determinada distancia, según lo permitió la obra. Se incluyeron también testigos puestos sobre el paramento de las construcciones de ambas aceras de la calle Luis M. Rojas, bajo la cual está localizado el túnel. Para referencia de las nivelaciones se tienen bancos de nivel (BN), los cuales se encuentran ubicados fuera del área de influencia de la excavación, aproximadamente a 80 m. del eje del túnel. Ver figura 33.

Los bancos de nivel superficial y los bancos de nivel para referencia de las nivelaciones situados sobre el nivel de banqueta y pavimento, consisten en varillas con punta de bala, de 3/8 " de diámetro y 50 cm. de longitud alojados en barrenos de 3/4 " de diámetro protegidos mediante el recorte de una caja que permite alojar el estadal. Ver figura 34 .

Para referencia en edificaciones, se tienen instalados testigos en las paredes de las mismas .

De ésta forma, la instrumentación instalada al 29 de febrero de 1992, es la que a continuación se describe.

En calles transversales al túnel y por lo menos a 80 m. del eje del mismo, se tienen instalados 6 bancos de nivel (BN 1 a 6) para apoyo de las nivelaciones , 60 bancos de nivel superficial (BNS 1 a 60) a lo largo del eje del túnel, en 5 secciones perpendiculares al eje del túnel se instalaron 57 bancos de nivel superficial, y finalmente, 85 testigos en edificaciones cercanas a la excavación del túnel. Ver figura 33 .

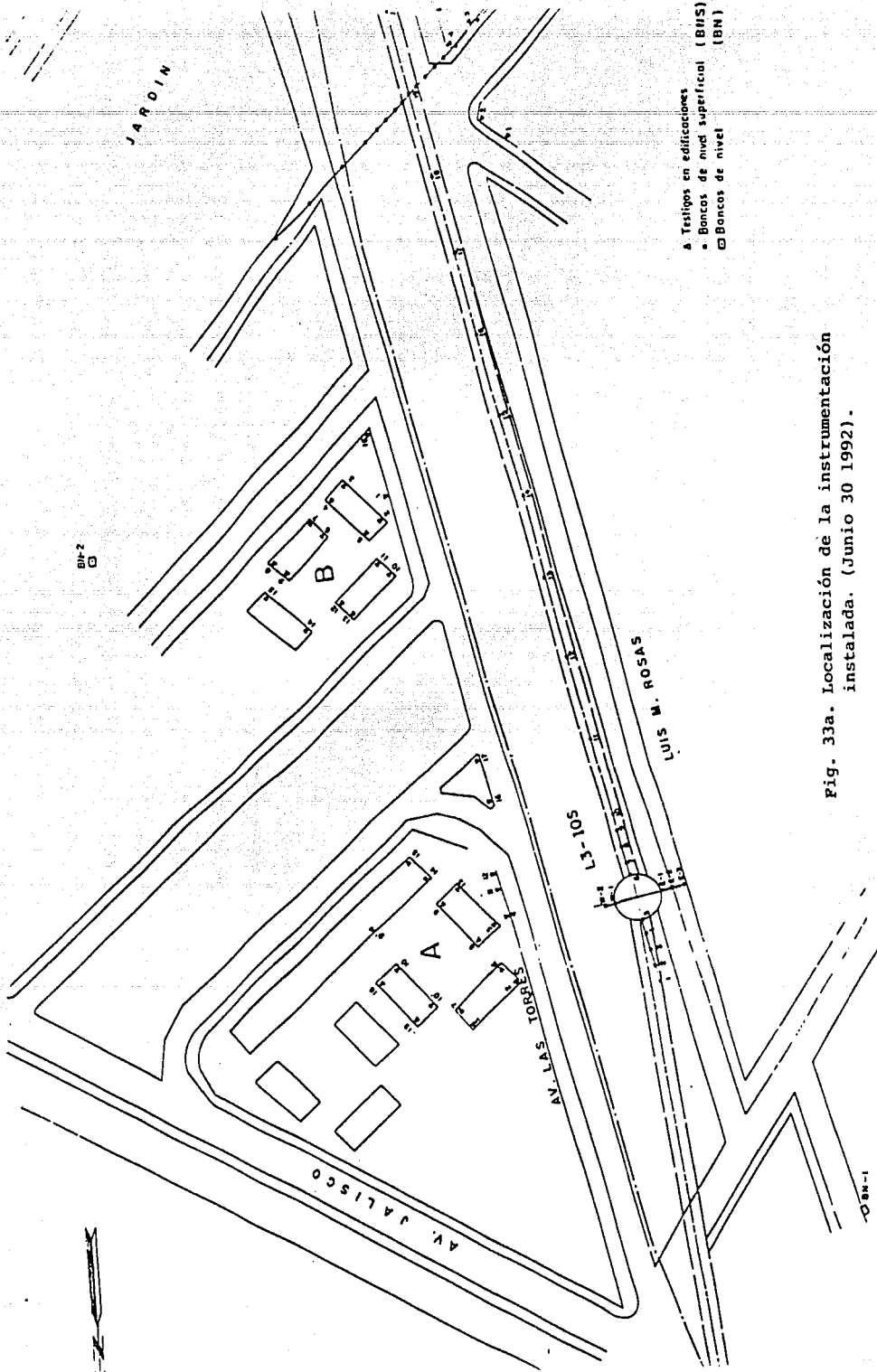


Fig. 33a. Localización de la instrumentación instalada. (Junio 30 1992).

84
84-3

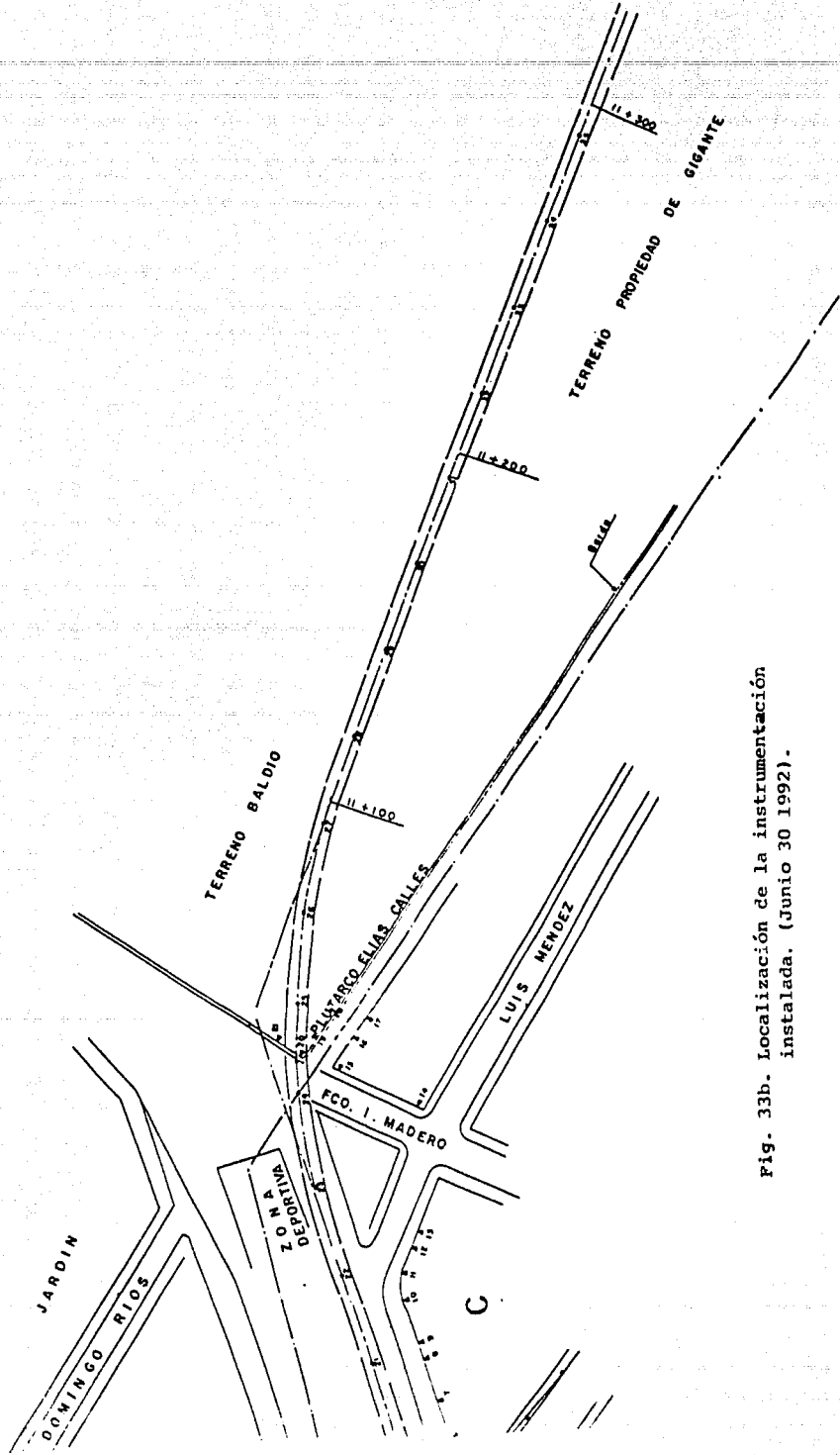
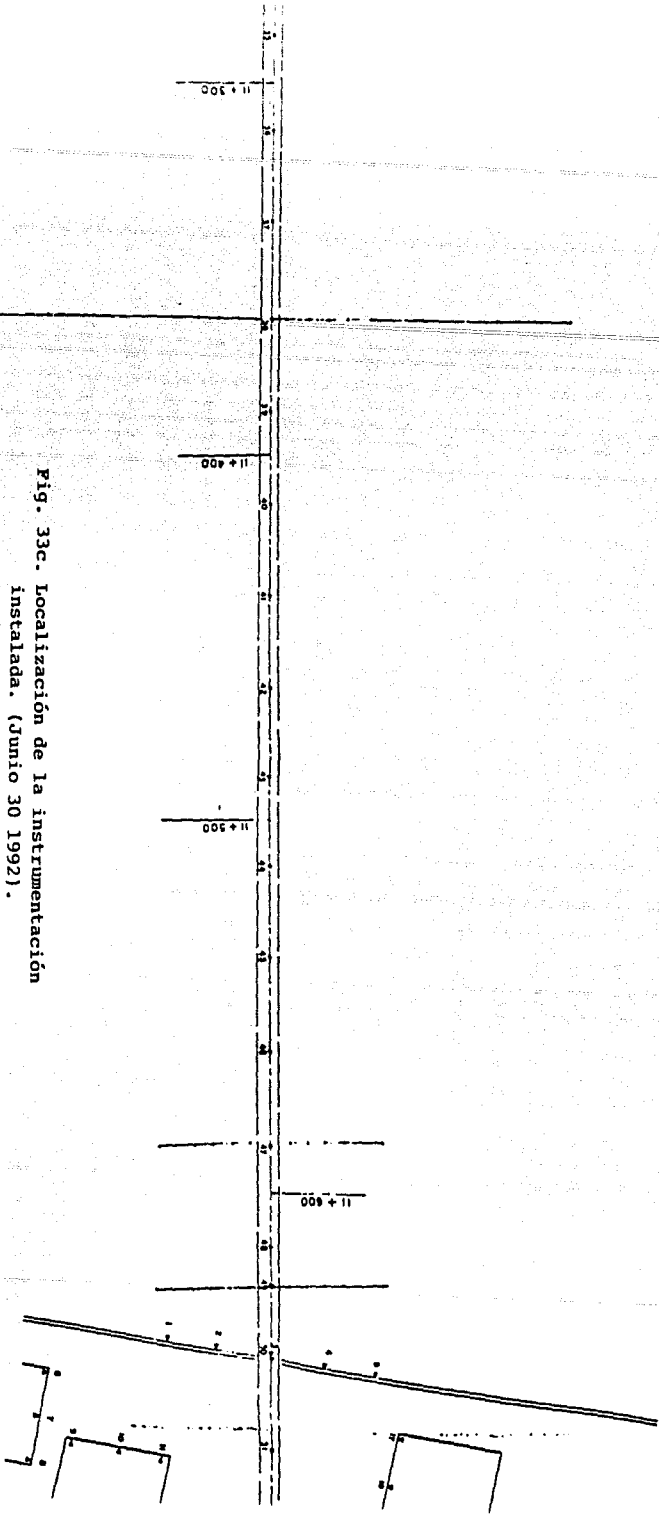
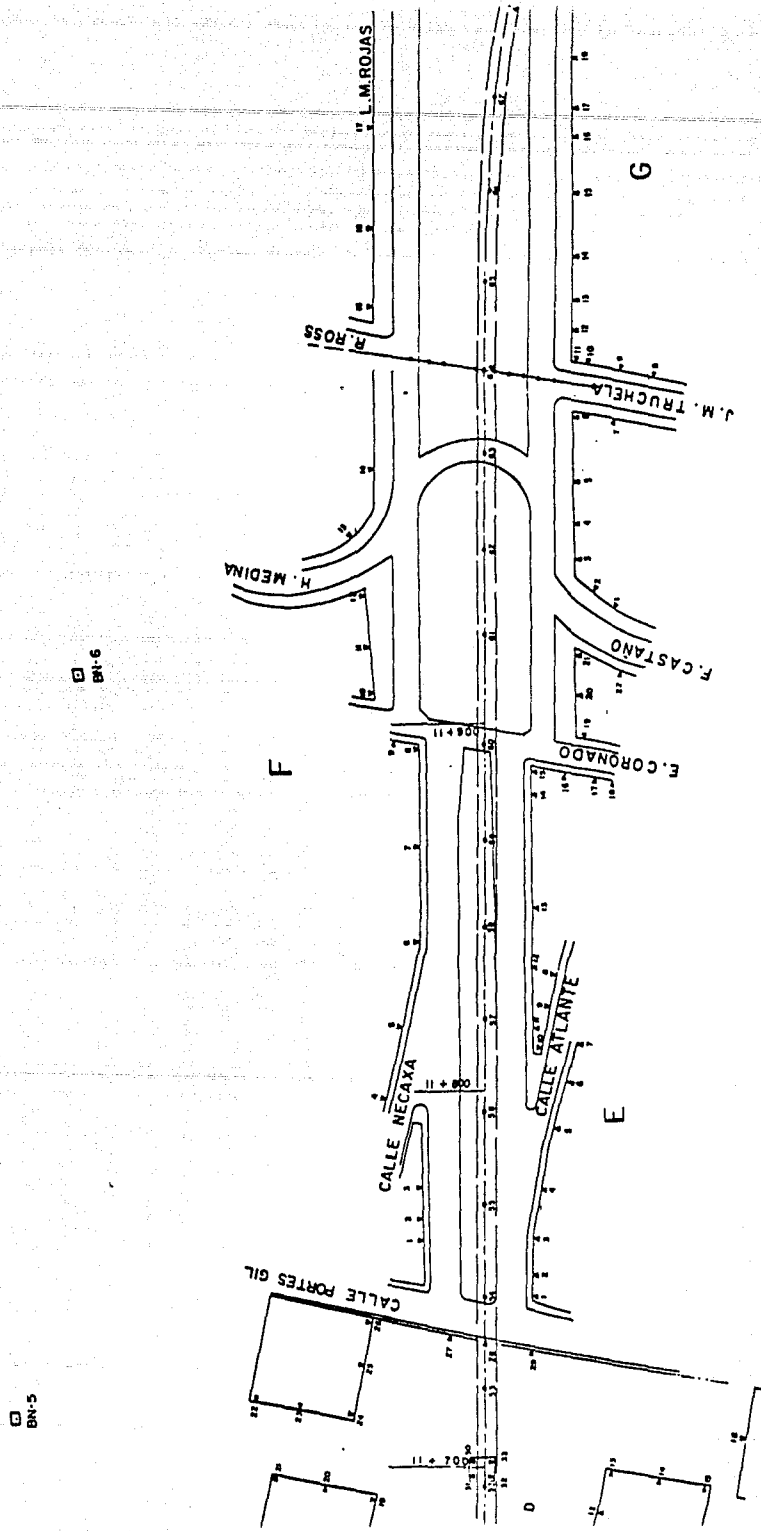


Fig. 33b. Localización de la instrumentación instalada. (Junio 30 1992).

Fig. 33c. Localización de la instrumentación instalada. (Junio 30 1992).





- ▲ Testigos en edificaciones
- Bancos de nivel superficial (BNS)
- Bancos de nivel (BN)

Fig. 33d. Localización de la instrumentación instalada, (Junio 30 1992)

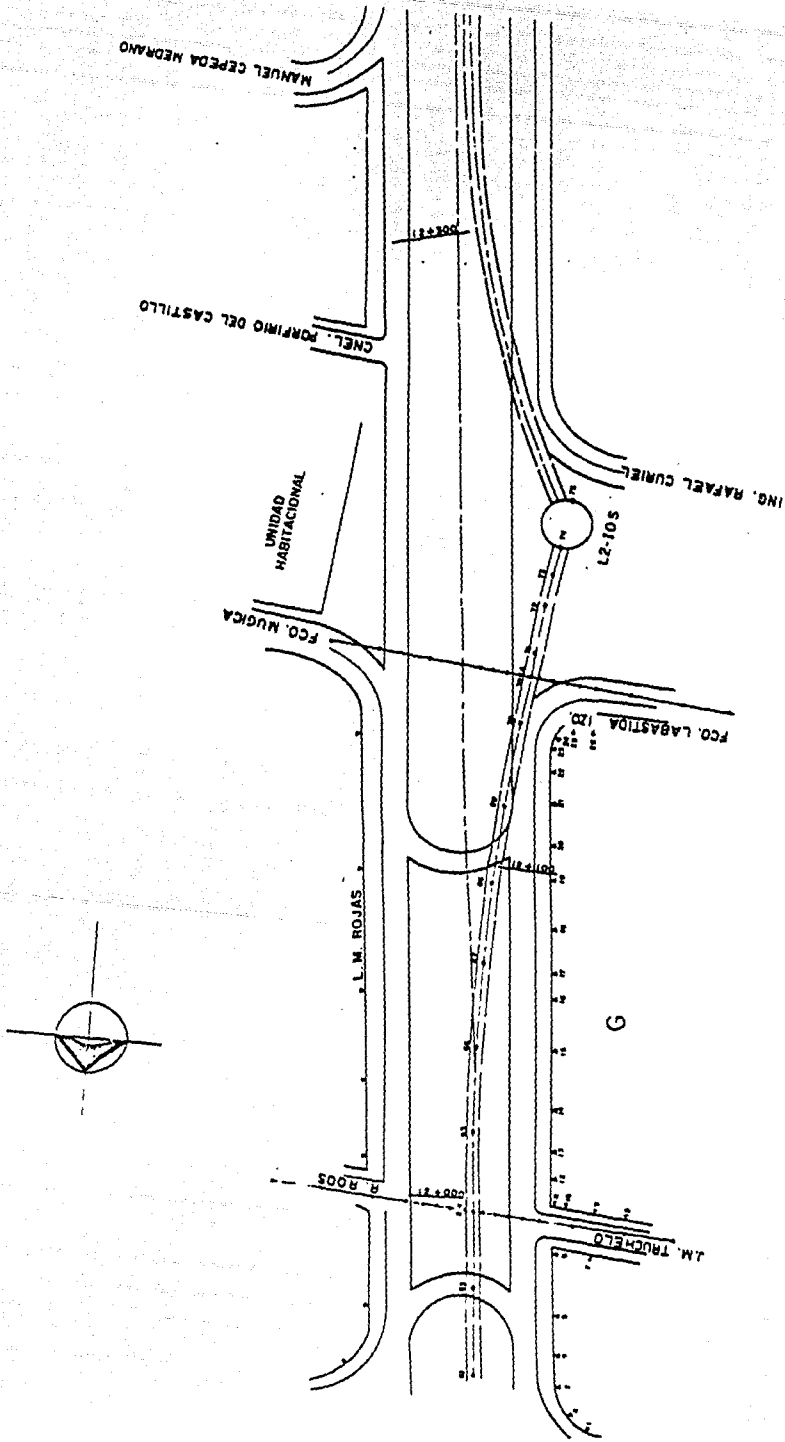


Fig. 33e. Localización de la instrumentación instalada, (Junio 30 1992).

- A Tesiguos de edificaciones
- Benches de nivel superficial (BNS)
- Benches de nivel (BN)

REFERENCIA DE NIVEL EN PISO

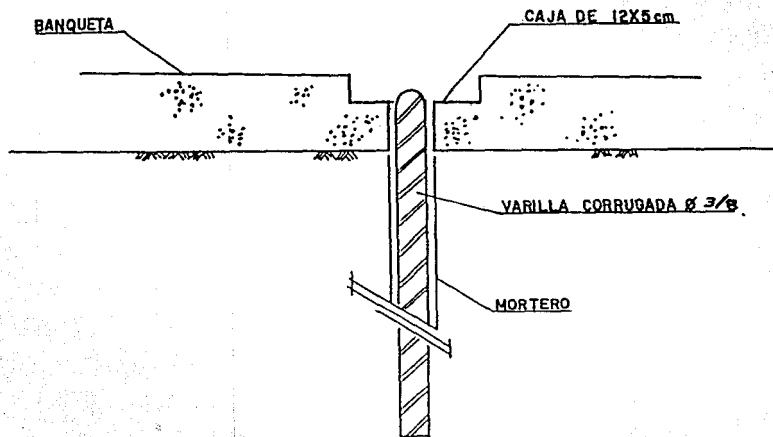


Fig. 34

5.2.1 PERIODICIDAD DE LAS MEDICIONES.

Las lecturas de éstos instrumentos superficiales, se realizaron diariamente abarcando todas las referencias ubicadas desde la lumbrera L3-IOS hasta las que están 50-100 m. adelante del frente del túnel.

5.2.2 INTERPRETACION.

En los últimos 2.5 meses, la lumbrera L3-IOS y la superficie inmediata a la misma, (BNS 1 a 7) han permanecido prácticamente estables, las deformaciones acumuladas son del orden de 1 a 3 mm., así mismo, el hundimiento de la superficie del terreno localizado en las inmediaciones de la misma, (BNS 8 y 10, km 10+658 y km 10+686 respectivamente), parece que tiende a detenerse, aún cuando en el último mes se asentó de 4 a 7 mm. El hundimiento máximo acumulado es de 138 mm.

Ahora bien, en el tramo del km 10+693 al km 11+263 (BNS 11 a 34), en el que la excavación del túnel se realizó en el mes de enero, las deformaciones ocurren a velocidades reducidas de 1 a 5 mm/mes, es decir, también tiende a estabilizarse. Las deformaciones acumuladas son hundimientos de 3 a 13 mm., excepto en los bancos 15, 16, 27 y 28, donde se presentaron expansiones de 2 a 4 mm.

En los últimos 520 m. excavados de túnel, la superficie del terreno sigue hundiéndose a velocidades hasta de más de 20 mm/mes, aunque en parte se trata de la recuperación de una expansión inicial. Entre los kms 11+607 y 11+624, el túnel cruza por una serie de grietas en el terreno por lo que la presión de trabajo se redujó de 1.5 a 1.1 kg/cm², desde 120 m. antes de llegar a ésta zona. Aún cuando la presencia de las grietas no influyó en el comportamiento de la obra, la reducción en la presión en el frente ocasionó un mayor hundimiento llegando a ser éste de 24 mm., por lo que a partir del km 11+650 la presión de trabajo se incrementó a 1.3-1.4 kg/cm², reduciéndose de ésta forma las deformaciones inmediatas.

Con respecto a los testigos en las edificaciones cercanas al eje del túnel, registraron pequeños movimientos, siendo los más significativos de 7 mm. cerca de la lumbrera L3-10S (puntos A11 a 17, al igual que los C15, 18 y 19, estando éstos últimos a menos de 10 m. del eje del túnel). Los puntos C20 y D3 colocados en las bardas sobre el eje del túnel se han hundido entre 12 y 22 mm.

5.3 INSTRUMENTACION INTERNA.

Para la medición de los movimientos convergentes (movimientos de la pared del túnel), se realizaron mediciones desde el interior del túnel, cuantificándose las deformaciones del mismo. Con éstas mediciones se conoció en forma íntegra el comportamiento de la excavación subterránea, eligiéndose para éste último fin, puntos de referencia de acuerdo a las distribuciones que se muestran en la figura 35 ; éstos puntos fijos en el túnel fueron colocados al iniciarse de la excavación a cada 3 m. en los primeros 50 metros, esto para verificar que tanto afectó a la misma, la falla que se tuvo al iniciarse, (falla que consistió en que no se troqueló debidamente al escudo al tratar de cambiar uno de los sellos del mismo, lo cual provocó que la presión del suelo lo hiciera retroceder lo que trajo como consecuencia un hueco en los primeros metros excavados hundiéndose posteriormente éste suelo, pero como inmediatamente después de lo ocurrido se aproximó al escudo a su posición original , las deformaciones no fueron irregulares), después de éstos 50 metros, los puntos fueron colocados a cada 25 metros.

Cuando el cadenamiento lo permite, también se toman lecturas de los anillos que se encuentran dentro del faldón, tomándose las lecturas ese día que se encuentra dentro del mismo y en los días posteriores, para verificar posteriormente las deformaciones después de su salida del faldón. Estas lecturas se hacen solamente en su hilo horizontal, ya que el tren de equipo no permite tomar las lecturas siguientes.

Para llevar a cabo éstas mediciones, se empleó (emplea) un exténsometro con "cinta invar", instrumento que consiste en un dispositivo mecánico de alta precisión equipado con una cinta de acero inoxidable (longímetro), que se acopla en un extremo a una ancla fija en la pared del revestimiento primario y por el extremo opuesto, al longímetro, el cual a su vez se sujeta en otra ancla fija en la pared del túnel.

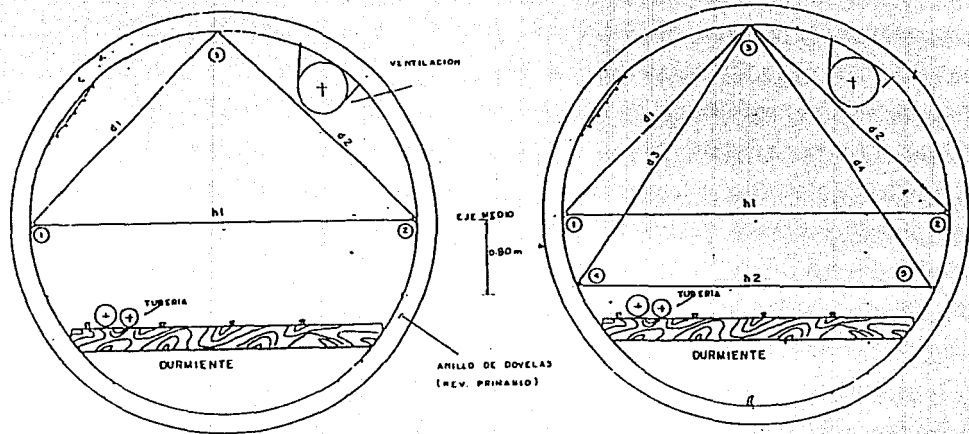
Para medir, el cable invar se tensa invariablemente con una tracción constante, de ésta forma, el aparato nos proporciona los movimientos relativos entre las anclas con una precisión nominal de 0.01 mm.

En la figura 35 se pueden apreciar los arreglos que se utilizaron en las diferentes secciones de convergencia para medir los desplazamientos en el interior del túnel, uno consiste en la colocación de 3 hilos (3 líneas de medición) considerándose suficientes para cuantificar las deformaciones en esas secciones; el otro arreglo consistió en la instalación de 6 hilos (6 líneas de medición), en éste último arreglo el segundo hilo horizontal se coloca a 80 cm. abajo del primer hilo horizontal.

En total se instalaron 69 secciones de convergencia de las cuales 16 fueron de 6 hilos y 53 de 3 hilos en los anillos siguientes : 3, 6, 12, 16, 22, 30, 38, 46, 97, 201, 307, 509, 602, 705, 832, 928, y 71, 146, 149, 172, 222, 261, 286, 322, 351, 380, 405, 406, 417, 447, 467, 529, 543, 584, 616, 642, 672, 707, 708, 732, 762, 796, 856, 877, 895, 946, 948, 950, 952, 954, 956, 958, 960, 962, 964, 966, 968, 971, 974, 979, 982, 985, 992, 1046, y 1086, respectivamente.

Estos puntos de convergencia deberán colocarse inmediatamente después de que la excavación pase por el cadenamamiento señalado para la ubicación de los mismos.

LÍNEAS DE CONVERGENCIA.



SECCION CON 3 LINEAS DE MEDICION.

SECCION CON 6 LINEAS DE MEDICION.

Fig. 35

5.3.1 PERIODICIDAD DE LAS MEDICIONES.

Las lecturas que se hacen en las secciones de convergencia, se toman una vez al día hasta que el escudo se encuentre a 100 metros de la sección instalada.

Una vez que las convergencias indiquen una tendencia franca a la estabilidad (velocidad menor de 0.04 mm/día) la periodicidad puede ampliarse a dos veces por semana, y si la tendencia continua, la periodicidad puede ampliarse a una vez por semana, hasta finalmente tener una velocidad menor a 0.10 mm/semana. Cuando ésto último ocurra, las mediciones podrán suspenderse.

5.3.2 INTERPRETACION.

En el hilo horizontal las deformaciones fueron en general reducidas, siendo éstas acortamientos de 4 a 6 mm., salvo en el anillo 985 (km 11+627) donde fue de 14 mm., y alargamientos con valor máximo de 20 mm., por lo tanto, se puede decir que éstas mediciones no acusaron comportamientos irregulares del revestimiento primario (dovelas).

5.4 PRESENTACION DE RESULTADOS DE LA MEDICION.

La información obtenida del análisis de las lecturas realizadas en los diferentes instrumentos de medición, se da a conocer en forma oportuna por la compañía instrumentista al personal tanto de dirección, construcción y supervisión, como al proyectista de la obra, y para tal efecto se envían informes diarios, semanales y mensuales con dicha información, de acuerdo a lo señalado en las especificaciones.

En el informe diario, la compañía instrumentista da a conocer en forma resumida a las residencias antes mencionadas, la información obtenida de todos los instrumentos y que a juicio de la misma, presentan deformaciones o velocidades de deformación importantes. En cambio, en el informe semanal, se presentan gráficas tiempo-deformación con resultados actualizados de las mediciones realizadas en los diferentes instrumentos. En el caso del informe

mensual, se presenta un reporte de la información recabada en campo debidamente correlacionada con las lecturas registradas en el tablero central de control y la cabina del operador, procesada y analizada, incluyendo conclusiones y recomendaciones.

S E X T O C A P I T U L O

R E V E S T I M I E N T O D E F I N I T I V O

6.1 INTRODUCCION.

En ésta primera parte del capítulo, se describirá el porque de un revestimiento adicional al ya colocado (revestimiento primario "endovelado"), y las características del mismo.

Con el fin de proteger al revestimiento primario de la erosión hidráulica, así como también de las sustancias que contienen las aguas negras desalojadas, se hace necesario la colocación de un refuerzo adicional al primero ya colocado, llamado "revestimiento definitivo".

De ésta forma al tener finalmente una superficie lisa y de sección uniforme con éste último revestimiento, se obtiene como beneficio un funcionamiento hidráulico más eficiente además de proporcionar un refuerzo estructural adicional.

Este revestimiento es diseñado para soportar las cargas que estarán actuando durante la vida útil del túnel, como lo son : presión vertical, presión horizontal, peso propio del revestimiento, presión piezométrica exterior y cargas sísmicas, además de soportar igualmente las condiciones de funcionamiento del mismo ya que el túnel puede estar vacío o lleno, pudiendo presentar para éste último caso una presión hidrostática interior.

6.2 MÉTODOS DE COLADO (REVESTIMIENTO).

Básicamente se utilizan dos métodos para revestimiento del túnel, siendo éstos los siguientes:

- revestimiento continuo a sección completa.
- revestimiento monolítico en tres pasos.

Para el primero es utilizada una cimbra que permite el máximo avance por día, cimbra que es conocida con el nombre de "cimbra telescópica", con la cual se lleva a cabo un revestimiento continuo del túnel. Este método es utilizado en túneles de gran longitud.

En cambio, el método de revestimiento monolítico se lleva a cabo en tres pasos (fases), utilizando cimbra metálica seccional y sólo es utilizado en algunos tramos del túnel.

Las fases son:

- colado en guarniciones.
- colado en la clave.
- colado en curva inferior (cubeta).

Para éste último caso, la cimbra está formada por tres secciones de 5 metros cada una, siendo dos de ellas para guarnición (dos segmentos circulares), y una para la clave (un sector circular). Para el colado de la cubeta es utilizada una regla.

Este método representa una gran desventaja ya que el avance se limita a sólo 5 metros lineales por día, contraponiéndose al avance que se obtiene con el primer método que utiliza la cimbra telescópica, ya que con éste se obtiene un avance de 65.88 m/día.

6.3 EQUIPO NECESARIO PARA LLEVAR A CABO EL REVESTIMIENTO.

Método continuo.

Con objeto de llevar a cabo de una forma eficiente el revestimiento del túnel, son necesarias una serie de instalaciones y equipo para la colocación del concreto. A ésta serie de instalaciones y equipo se le llama "tren de colados".

El tren de colados está formado por plataformas móviles en las que se tiene: transportador para limpieza (rezague), estación de transferencias, estación de bombeo, almacén para equipo, refacciones, accesorios, y panel para mantenimiento.

Como ya se había mencionado anteriormente, para éste método se cuenta con la cimbra deslizante, además de las vagonetas de rezaga y carros transportadores de concreto.

- Transportador para limpieza (Sistema de Limpieza).

Estas instalaciones deben tener una eficiencia tal que permitan realizar la limpieza sin que se entorpezca la operación del colado. Consta de los siguientes elementos :

a. Vagoneta de rezaga.

Esta es llenada mediante botes con el material de rezaga, el cual es acarreado desde el frente de trabajo.

Se encuentra enganchada al tren de carros agitadores.

b. Durante la limpieza es necesario transportar adelante del frente de colado, la vía, el balasto, y los clavos, y para ello es utilizado un transportador de riel el cual se encuentra localizado a un lado de la plataforma móvil, con éste se carga una vagoneta capaz de acarrear rieles de 10m de longitud.

- Estación de transferencia-bombeo.

En esta estación se cuenta con los carros agitadores (transportadores) de concreto, los que descargan el mismo a una banda transportadora la que lo conducirá posteriormente a una tolva reguladora de concreto para que sea descargado a el cañón ó bomba de la que finalmente el concreto es bombeado para su colocación.

- Almacén para equipo, refacciones, accesorios, y panel para mantenimiento.

Con objeto de llevar a cabo reparaciones urgentes de las máquinas utilizadas en el frente, además para mantenimiento de las mismas, se cuenta en una de las plataformas, con un panel para almacenamiento y otro para mantenimiento en los que se pueden llevar a cabo tales actividades.

- Cimbra Telescópica (deslizante).

Consta de nueve secciones telescópicas de 7.32 m. de longitud cada una, lo que en total representan 65.88 m. Cada sección o módulo consta de 5 partes, de las cuales 2 dan forma a la cubeta uniéndose por medio de una articulación, y las tres siguientes están unidas por dos articulaciones laterales dando forma a la clave. Estas articulaciones sirven para que al momento de terminar el colado, se doble la cimbra y se pueda transportar mediante un tren constituido con dos armaduras metálicas verticales unidas rígidamente entre sí.

Cada una de estas secciones se puede deslizar una sobre otra de tal forma que al tenerse ya colado y ya fraguó el concreto en un tramo, y ya se tiene preparado otro tramo para colarse, se puede transportar al frente ya preparado para ello, pasando sobre las secciones aún colocadas.

Esta cimbra es utilizada para colados continuos y permiten una máxima producción por turno.

Debido a su costo, la cimbra resulta ser económica para túneles largos, pudiéndose utilizar en túneles medianos y cortos donde se podría minimizar el tiempo de colado.

6.4 PREPARACIONES PRELIMINARES.

Antes de iniciar con la colocación del armado del revestimiento definitivo, se deben realizar una serie de actividades que serán de suma importancia para llevar a cabo la realización de dicho revestimiento.

Las actividades son:

1. Remoción de instalaciones.
2. Control de agua.
3. Habilitación inicial del tramo. (limpieza, rectificación de vías).

1. Remoción de instalaciones.

Esta es una de las primeras actividades que se llevan a cabo antes de iniciar con la colocación del acero de refuerzo para el revestimiento definitivo.

De ésta forma, se procede al retiro de instalaciones que se encuentran dentro del túnel y que entorpecen las maniobras tanto de colocación del acero de refuerzo, como del propio concreto para revestimiento.

Las instalaciones que se retiran son aquellas que se utilizaron durante el proceso de excavación del túnel, siendo éstas las siguientes: tuberías de suministro y desagüe (descarga), y tubería de ventilación. En dado caso de que el flujo natural de aire entre lumbreras no sea suficiente para la ventilación del túnel, puede utilizarse nuevamente la tubería de ventilación colocándola ahora debajo de la cimbra telescópica.

2. Control de Agua (Filtraciones).

Debido a que las filtraciones a través del revestimiento primario (endovelado) llegaron a ser de tal magnitud, fue necesario llevar a cabo una segunda etapa de mezcla de inyección (reinyección) con objeto de que éstas disminuyeran, cumpliéndose finalmente con éste objetivo.

Además, con el fin de mantener seco el túnel durante el proceso de colado, se bombeo (traspaleo mediante bombeo) el agua hacia la lumbrera de donde finalmente se bombeo hacia la superficie.

3. Habitación inicial tramo.

Como el piso del túnel en su mayor parte tenía una gruesa capa de lodo, fue necesaria la limpieza del mismo, y como consecuencia de la necesidad de utilizar nuevamente la vía (para el tren de colados), se rehabilitó ésta, arreglando finalmente los rieles y sujetadores.

6.5 PROCESO DE REVESTIMIENTO.

Una vez que se ha limpiado el túnel en el tramo por colar y lavado las dovelas, enseguida se colocó el acero de refuerzo, el cual vario en distribución y \emptyset dependiendo de la sección a revestir. Enseguida mediante el carro de transporte de la cimbra telescópica (deslizándose éste con ruedas metálicas sobre una vía fija en la sección inferior de la cimbra), se colocó ésta en el tramo por colar, ya que el carro cuenta con gatos hidráulicos para colocar en su posición correcta cada una de las secciones de la cimbra.

De esta forma, la cimbra en su parte inferior queda apoyada en el revestimiento primario sobre pernos metálicos, al igual que las secciones laterales y la clave se troquelan contra las mismas dovelas. Cada sección de la cimbra se unió por medio de tornillos

colocados en forma uniforme a lo largo del perímetro, las partes de la cubeta quedan fijos mediante elementos metálicos horizontales sujetándose mediante pasadores.

Transporte del concreto desde superficie hasta el frente de colado

Mientras en el túnel se procedía al cimbrado, en superficie se producía el concreto a utilizar en el colado, en una planta de producción montada cerca de la lumbrera.

De esa forma, una vez fabricado el concreto en la planta, se transportó mediante un canalón directamente a la tolva o brocal situado en la lumbrera, de aquí, el concreto es bajado al fondo de la lumbrera mediante una tubería de acero de 8" (20.32 cm) por caída libre, descargando a un tanque amortiguador apoyado en resortes con el fin de amortiguar la caída.

En el interior de este tanque (superficie lateral), se tienen placas de acero que sirven para disipar la energía.

Enseguida, mediante una tubería corta el concreto pasa a una tolva reguladora, de la cual el concreto pasa a los carros agitadores (vagones agitadores) que lo transportarán hasta el frente de colado. En el frente, los carros agitadores descargan el concreto en una banda transportadora que lo conduce a una tolva reguladora, de la cual se alimenta a la bomba ó cañón que finalmente lo bombeará hacia la cimbra colocada mediante una tubería de 4", ubicada en la parte superior de la cimbra.

El sistema de bombeo está compuesto de la siguiente manera:

- A) Una línea de conducción de 4" de diámetro, colocada en la parte superior de la cimbra.
- B) Carro grúa ("Garza"), la cual es una estructura para soporte de la tubería (línea de conducción). El soporte se lleva a cabo

por medio de la ménsula de soporte.

- C) Bomba para concreto con una capacidad de 25 m³/h, colocada en la base de la plataforma.
- D) Una tolva de 2.29 m³ (3 yd³) colocada sobre la bomba.

equipo cuyo funcionamiento se describió anteriormente.

El concreto ya colocado adquirió un ángulo de reposo de aproximadamente 20°.

La cimbra cuenta con ventanas laterales que permiten realizar el vibrado del concreto, de ésta forma, para el caso en el que el concreto no haya bajado (no haya tomado su acomodo totalmente) se emplearon vibradores de inmersión.

Ahora bien, con objeto de que el concreto hubiese adquirido su fraguado inicial, el decimbrado se especificó en un lapso mínimo de 8 horas. Una vez endurecido el concreto se desartanillan las secciones superior e inferior de la cimbra y mediante los gatos hidráulicos se afloja la sección, doblándose y transportándose posteriormente mediante el carro transportador a la sección del nuevo colado. De ésta forma, una vez adquirida la resistencia inicial del concreto y haber procedido al decimbre, se prosiguió con el curado de la superficie expuesta con curacreto.

Previamente a la colocación de los módulos de la cimbra telescópica en el nuevo tramo por colar (revestir), se realiza una limpieza a los módulos (secciones), evitando con ello que el concreto fresco quede adherido a la cimbra.

Y así, de ésta forma se continuo con el revestimiento del túnel, quedando únicamente trabajos de resane en irregularidades propias del proceso constructivo, como lo fueron : agujeros de las patas de la cimbra y perforaciones para inyecciones de contacto, las que finalmente se resanaron con mortero cemento-arena-agua agregando al mismo, aditivo estabilizador de volumen. Las irregularidades bruscas se desvanecieron recortando el concreto.

Con la repetición de éste ciclo, finalmente se terminó el revestimiento del túnel, concluyendo igualmente el proceso constructivo del mismo .

A N E X O

C A P I T U L O S E X T O

Para el revestimiento de éste tramo (L3IOS-L2IOS), se utilizaron únicamente cinco (5) módulos de los nueve (9) de los cuales consta la cimbra telescópica, es decir, se podían colar (5 x 7.32 m) 36.60 m, pero debido a que al momento de decimbrar se dejaba siempre uno de los cinco módulos, y se decimbraban los cuatro restantes, (se dejaba éste módulo que servía para calafatear ese lado del nuevo tramo por colar), éstos eran los que se colocaban nuevamente para el nuevo colado, por lo que se podían colar (4 x 7.32 m) 29.28 m., pero como en todas las obras de construcción, también aquí ocurrieron retrasos, ya sea porque ocurrían descomposturas en el tren de colados ó se taponaba la tubería, o bien, hacia falta cemento para la elaboración del concreto; el rendimiento promedio que se obtuvo en condiciones normales de operación de los equipos y disponibilidad de materiales, fue de 25 m³/día, necesitándose para ello 125 m³/día es decir, 5 m³/1ml.

Para colar éstos 25 metros, se consumía un tiempo de 12 horas del día, las otras 12 horas restantes se utilizaron para descimbrar y preparar un nuevo tramo por colar, trabajos que incluían después del decimbrado: limpiar moldes de la cimbra, limpieza de tramo (de material sólido y agua mediante botes y bombeo respectivamente), lavado de dovelas, armar perfectamente en la zona de clave el acero de refuerzo, detallar el armado del acero de refuerzo en todo el tramo, y finalmente la colocación de los módulos de la cimbra con ayuda del carro de transporte (carro grúa).

El concreto utilizado en éste tramo de túnel se fabricó con una resistencia a los 28 días de 250 kg/cm^2 , aunque en ocasiones se llegaron a tener resistencias de hasta 300 kg/cm^2 .

El revenimiento por norma (para túneles de concreto), es de $14 \pm 2 \text{ cm}$ sin aditivo y de 17 a $18 \pm 2 \text{ cm}$ con aditivo. El concreto fabricado en planta se obtuvo con un revenimiento de $14 \pm 2 \text{ cm}$, aquí se le agregó un aditivo retardador (dispersil-1), con el cual se obtenía un concreto con un revenimiento de $18 \pm 2 \text{ cm}$, así, al momento de llevar al frente de colado éste concreto, el mismo se obtenía con un revenimiento de $14 \pm 2 \text{ cm}$, siendo éste el revenimiento especificado.

Estas fueron en general las características de materiales y equipos utilizados en el revestimiento de este tramo de túnel.

CONCLUSIONES.

Cuando en la ciudad de México se inició la construcción de túneles a gran profundidad (profundidad media de 30 metros aprox.), inicialmente se emplearon procedimientos de excavación convencional (tecnología convencional empleada por la minería) los cuales eran lentos conservadores y costosos. A decir verdad, éstos variaban de acuerdo al tipo de suelo, así, en materiales cuyo valor de soporte a la realización de la excavación era tal que permitía un lapso entre la excavación y la colocación de ademe primario, se empleaban métodos tales como: excavación a sección completa ó a media sección con ademe primario de concreto lanzado y/o marcos metálicos, a media sección y con túnel o túneles piloto y ademe primario de madera y marcos metálicos; y excavación con ranura a media sección con ademe de marcos metálicos. Pero se llegó al grado en que la complejidad de los suelos aunada a la gran profundidad a la que se excava y los grandes volúmenes manejados, crearon la necesidad de innovar la técnica empleada para la construcción del drenaje profundo.

Así, para zonas de la ciudad desplantadas en formaciones lacustres las cuales por su poca cohesión, debían ser ademados o soportados inmediatamente a la realización de la excavación, se empezaron a utilizar métodos de excavación a base de escudos, de los cuales inicialmente se tuvieron, el de frente abierto, y el de frente abierto y aire comprimido.

De ésta forma, fue durante la extensión del Interceptor Central hacia el sur en 1977, que se trabajó en un subsuelo compuesto principalmente por arcillas muy saturadas y blandas, lo que hizo necesario el empleo de aire a presión (de 0.8 a 1.3 kg/cm²) para lograr la estabilización del frente de excavación.

Pero para las etapas posteriores de construcción del drenaje, se presentaron más dificultades debido a la menor resistencia del suelo, donde se requerían presiones de trabajo de 2.7 Kg/cm^2 . Esto hizo que los métodos de construcción utilizados hasta entonces se volvieran lentos y costosos, ya que principalmente presentaban problemas de tipo físico para el personal y bajos rendimientos de excavación, agregándose el tiempo perdido para la descompresión del personal, siendo éste muy largo y resultando entonces las jornadas de trabajo mínimas.

A partir de éstos resultados, finalmente se pensó en otro método de excavación, diseñándose y llevándose a cabo el proyecto del método de excavación con escudo de frente presurizado, que, en comparación con los dos métodos anteriormente mencionados para la excavación en suelos blandos, podemos ver grandes ventajas debido a que con éste último, ya no se tienen problemas por la seguridad física del personal debido a que la excavación se lleva a cabo por medio de la cabeza cortadora, girando ésta dentro de un fluido presurizado conservando la estabilidad del frente de trabajo, permaneciendo de ésta forma el resto del túnel a presión atmosférica. De ésta forma se evita que el personal se exponga a altas presiones.

A esto se le agrega el aumento considerable en el rendimiento de la excavación, ya que con éste método los rendimientos obtenidos son casi cuatro veces mayores que los obtenidos con los métodos con escudo de frente abierto y aire comprimido, lográndose perforar un promedio de doce (12) metros por día y avanzando en ocasiones hasta 21 metros.

A partir de lo anterior, podemos concluir que éste método ha resultado ser más eficiente que sus antecesores, y que además de los problemas ya eliminados respecto a éstos últimos, disminuye en forma considerable los asentamientos en superficie, eliminando así mismo los riesgos de falla en el frente.

Ahora bien, otro aspecto importante en la obra que no hay que dejar de resaltar, es el de la instrumentación llevada a cabo antes y durante la excavación del túnel.

El llevar a cabo la instrumentación del túnel resultó de suma importancia, debido a que por medio de sus resultados se pudo conocer el comportamiento del túnel, subsuelo y edificaciones localizadas a lo largo de la línea de trazo del túnel y en los alrededores, antes, durante y después de la excavación del mismo. Así mismo, también permitió determinar la influencia de factores constructivos en el comportamiento del túnel, factores tales como lo fueron la presión del lodo en el frente y velocidad de avance de la excavación.

Finalmente podemos concluir que la instrumentación llevada a cabo, jugó un papel importante durante la construcción del túnel por todo lo anteriormente mencionado, agregando entonces, que ésta es realmente importante en todos los tipos de construcciones .

BIBLIOGRAFIA

Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del D.F., México.

Tomo I
Tomo II
Tomo III
Tomo IV

Memoria Técnica de las Obras del Drenaje Profundo del D.F., México

Túnel S.A. de C.V.
Tomos I y II

Okumura Machinery Corporation.

Escudo de 6.24 m. de diámetro.

Vol. 1 Diseño y Especificaciones.
Vol. 2 Operación y Mantenimiento.

Excavación de Túneles de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, con Escudos Cortadores de Frente Presurizado a base de lodos, de 6.24 m de diámetro del D.D.F.

DGCOH

Dirección de Construcción.

Subdirección de Túneles.

Vol. I
Vol. II

El Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

DGCOH

1990

1991

Sistema de Drenaje Profundo.

Procedimiento Constructivo y detalles de trabe de anclaje a lumbrera, Delegación Iztapalapa.

DGCOH

AR INGENIEROS CIVILES, S.A (DGCOH)

Diseño Estructural de lumbreras y revestimiento definitivo de túneles del Interceptor Oriente Sur del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

Medición e Interpretación.

Interceptor Oriente Sur Tramo L3IOS-L2IOS.

Geotec S.A. de C.V. (DGCOH).

Febrero 1992.

Marzo 1992.

Instrumentación y Mediciones de Túneles.

Simposium 15 de mayo de 1981.

Oaxtepec, Morelos.

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

Diseño de un Escudo Cortador para el Interceptor Oriente Sur.

Recomendaciones constructivas.

Solum, S.A. (DGCOH).