

84
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**CONSTRUCCION DEL TUNEL EN EL TRAMO L-2 A L-3
CON ESCUDO DE FRENTE CERRADO PRESURIZADO
CON LODOS DEL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO
DEL DRENAJE PROFUNDO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
JOSE ARTURO LOPEZ PEÑA**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| CAPITULO I | |
| I.- ANTECEDENTES..... | 1 |
| CAPITULO II | |
| II.- ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL ESCUDO..... | 18 |
| II.1 Criterios fundamentales de diseño..... | 18 |
| II.2 Características del escudo..... | 20 |
| II.3 Dimensiones del escudo..... | 23 |
| CAPITULO III | |
| III.- SISTEMA DE SEGURIDAD Y CONTROL DEL ESCUDO..... | 29 |
| III.1 Equipo de Circulación de lodos..... | 29 |
| III.2 Funcionamiento del Equipo de Circulación.... | 30 |
| III.3 Sistemas de Telecomunicación y Telemedición. | 32 |
| III.4 Consola de Control Central..... | 38 |
| III.5 Tablero del Operador..... | 39 |
| III.6 Casilla del Equipo Eléctrico..... | 40 |
| III.7 Sistemas de Alarmas..... | 42 |
| III.8 Parada de Emergencia..... | 46 |
| III.9 Mantenimiento e Inspección..... | 47 |
| CAPITULO IV | |
| IV.- PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TRAMO..... | 55 |
| IV.1 Trabajos Preliminares..... | 55 |
| IV.2 Excavación..... | 60 |
| IV.3 Avance del Escudo..... | 63 |
| IV.4 Trabajos Complementarios..... | 66 |
| IV.5 Estudio de Mecánica de Suelos en la Estación. Jamaica del Metro..... | 70 |
| IV.6 Instrumentación y mediciones..... | 81 |
| CAPITULO V | |
| V.- CONCLUSIONES Y COMENTARIOS..... | 98 |

P R O L O G O

El presente trabajo tiene como finalidad describir en una forma clara y detallada el Proceso Constructivo de un tramo del túnel del Interceptor Centro-Centro del Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

Se escogió el tramo Lumbreira 2 a Lumbreira 3 en particular porque fué el primer tramo del interceptor que se construía con uno de los dos escudos excavadores de tuneles especialmente diseñados para terrenos lodosos, que adquirió el Departamento del Distrito Federal a través de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica a la compañía Japonesa Okumura Machinery Corporation.

Por lo tanto, en este tramo se ensambló y se probó el escudo, también se construyó la primera lumbreira y las estructuras necesarias para lanzarlo.

Coincide así mismo que este tramo tiene mayor interés desde un punto de vista ingenieril, ya que hubo la necesidad de pasar por enmedio de los pilotes que soportan la estación Jamaica del Metro.

Se hará una descripción de cada paso de los diferentes Procedimientos Constructivos del túnel tanto en la superficie como dentro del mismo. Basándose en la consideración de que la obra fué planeada, aceptada y justificada con anterioridad.

Se comentarán los criterios, análisis, hipótesis, problemas surgidos, sus posibles soluciones, así como la elección de ésta.

Al final se mencionará la experiencia adquirida como resultado de trabajar directamente en la ejecución de la obra y principalmente de crear un criterio profesional más amplio.

Cabe mencionar que éste trabajo no hubiera sido posible realizarlo sin la valiosa colaboración de la Constructora Estrella, Okumura Machinery Corp. y en especial del Ing. Carlos Mejía.

CAPITULO I

" ANTECEDENTES "

La Ciudad de México es un gran laboratorio natural que constituye un desafío importante para el desarrollo de la Ingeniería Civil, puesto que en ninguna otra urbe del mundo se presentan simultáneamente, los grandes problemas de encontrarse localizada en una zona de alta sismicidad y de estar asentada sobre un terreno que tiene un subsuelo formado por arcillas de muy baja capacidad de carga, gran compresibilidad y altísimo contenido de agua.

Las respuestas de la Ingeniería Civil Mexicana a estos problemas, han sido principalmente cuatro:

1.- El desarrollo de teorías sobre el comportamiento de los suelos y la propagación de ondas sísmicas sobre éstos.

2.- El estudio de la influencia de estos fenómenos en la respuesta de las estructuras.

3.- El desarrollo de métodos constructivos adecuados, basados en los estudios anteriores.

4.- Contribuir al desarrollo mundial de algunos campos como la Mecánica de Suelos y la Ingeniería Sísmica, convirtiéndose así en exportadora de tecnología.

Con esto se han podido construir grandes obras de Ingeniería Civil, siendo una de las más importantes la construcción del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, el cual es el tema de estudio del presente trabajo.

El Sistema de Drenaje Profundo nace de la necesidad de solucionar los problemas ocasionados por las inundaciones desde la época en que se formó el Lago de Texcoco, ya que las soluciones anteriores no fueron suficientes como veremos a continuación.

Sabiendo que la Ciudad de México se encuentra situada en la región Suroeste de la Cuenca del Valle de México, el cual en tiempos remotos era un valle que drenaba sus aguas libremente hacia el sur (a Cuernavaca), pero a causa de la erupción de varios volcanes de la Sierra de Chichinautzin, estas aguas se

represaron formando el Lago de Texcoco, esto ocurrió aproximadamente en el año de 1400.

Debido a la erupción de los volcanes, estas cenizas se fueron depositando en el lago, sedimentandose en forma floclenta, constituyendose a través del tiempo en un suelo arcilloso sumamente compresible.

Como en la región en donde se encuentra el valle se presentan precipitaciones anuales considerables, esto ocasionaba grandes inundaciones (ya que la única forma de pérdida o desalojo era por evaporación) debido a la dificultad de drenarlas. Por lo que en el año de 1449 el entonces Rey de Texcoco Netzahualcoyotl construyó la primera obra de defensa que fué un dique de 16 Kms. que iniciaba desde el Cerro de la Estrella en Iztapalapa hasta Atzacapozalco. Después siguieron los diques de Tláhuac y Mexicaltzingo.

En la época Virreynal se construyó el dique de San Cristóbal, estos trabajos habían minimizado los problemas de inundaciones,

pero en forma temporal, ya que entre los años de 1604 a 1607 hubo grandes y cuantiosas pérdidas debido a nuevas inundaciones en la Ciudad por los abundantes escurrimientos del Río Cuautitlán.

Con estos nuevos problemas se buscaron otras soluciones y fué el Alemán Enrrico Martínez quien propuso y construyó el primer túnel de Nochistongo, solo que a los pocos meses de iniciada la construcción hubo derrumbes y la obra se clausuró. Fué en el año de 1789 en que se volvió a utilizar el túnel pero ahora como el Tajo de Nochistongo y cumplió su cometido de dar salida permanente a las aguas del Río Cuautitlán y así dejara de ser una cuenca cerrada.

Con el paso de los años la Ciudad fué creciendo y sus necesidades también, por lo que llegó el momento en que el Tajo ya no era suficiente y por donde se volvieron a presentar nuevas inundaciones, fué hasta el año de 1856 cuando se busco dar una salida adicional a la Cuenca y fué así como surgió el Proyecto

del Gran Canal del Desague y al mismo tiempo el Túnel de Tequisquiac el cual se termin  en el año de 1900.

En el año de 1940 se inició la construcción del Túnel de Tequisquiac por lo que el valle para 1954 tena ya tres vias de desague hacia la Cuenca del Río Moctezuma.

Estas tres salidas se disen aron para trabajar por gravedad y originalmente así lo hicieron, solo que la Ciudad crec  a grandes pasos y empezó la perforación y explotación de pozos urbanos en el subsuelo de la Ciudad, lo que produjo que se presentaran hundimientos debido a la consolidación de las arcillas compresibles, hubo casos críticos en ciertas zonas de la Ciudad que alcanzaron hundimientos de 8 metros, esto sucedió en Paseo de la Reforma y Avenida Juárez.

Esta clase de hundimientos repercutió en la red de alcantarillado provocando contrapendientes y columpios en los colectores que se conectaban al Gran Canal, lo que provocó grandes inundaciones, por lo que se tuvieron que tomar medidas

rápidas y determinantes las cuales fueron operar estaciones de bombeo lo que encareció el costo de la operación y mantenimiento.

A raíz de lo anterior la Dirección General de Obras Hidráulicas del Distrito Federal, formuló un plan general para resolver los problemas de hundimiento, inundaciones y abastecimiento de agua potable.

Uno de esos planes es el de la construcción del Sistema de Drenaje Profundo el cual contempla las deficiencias y las soluciones que se le podían dar a las inundaciones a base de interceptores.

Cuando se inició la construcción, la Ciudad contaba con las siguientes vías de desagüe:

1.- Interceptor del Poniente que conduce el agua hacia el Tajo de Mochoyotongo.

2.- El Gran Canal de Desagüe que capta y conduce las aguas del sur de la Ciudad.

3.- El Rio Churubusco que también drena la parte sur.

Contando con estas estructuras, la construcción del Sistema de Drenaje Profundo se contempló en dos etapas.

La primera esta constituida por la construcción del Emisor Central y los Interceptores Central y Oriente con una longitud conjunta de 68 Kms.

El Emisor Central es un túnel de 6.5 mts. de diámetro y tiene una capacidad de 200 m³/seg.

El Interceptor Central tiene un diámetro de 5.0 mts. y una capacidad de 95 m³/seg.

Y el Interceptor Oriente también tiene un diámetro de 5.0 mts. y una capacidad de 85 m³/seg.

La segunda etapa que se inició en el año de 1977 consta de la ampliación del Interceptor Central y la construcción de los Interceptores Centro-Poniente, Oriente-Sur, Centro-Centro y la

continuación del Oriente.

Ahora bien, la capacidad total del Sistema permitirá drenar una área mayor de 400 Kms. cuadrados.

Todos los túneles que hemos mencionado, se han construido con diferentes procesos constructivos, de acuerdo tanto al avance tecnológico como del lugar en donde se encuentra ubicada la obra.

Al principio se utilizó como técnica los explosivos y los ademes metálicos o de concreto lanzado, utilizándose en zonas de lomerío o formaciones rocosas. Después se utilizaron los escudos de frente abiertos y abatimiento del nivel freático en la zona de transición y finalmente al llegar a la zona céntrica o del lago se utilizaron escudos de frente cerrado con aire comprimido y ultimamente en esta zona se está utilizando un escudo de frente cerrado con presurización de lodos.

En este caso que nos compete, en el tramo L-2 a L-3 del Interceptor Centro-Centro, se utilizó un escudo japonés de este tipo.

Dicho tramo tiene una longitud de 2042 mts., a una profundidad promedio de 27 mts., con un radio de giro de 200 mts. mínimo y una pendiente del 0.003.

La ubicación del mismo se inicia en la esquina de las calles de Ramón Fabie y Roa Barcenas continuando hacia el Sur-Oriente hasta llegar a las calles de Agiabampo, Cajeme y Av. Congreso de la Unión.

Como dijimos la historia de los escudos y de los túneles ha evolucionado a la par de la tecnología; Ahora bien, podemos considerar que un túnel es un paso subterráneo al que se le puede dar un gran número de usos.

La existencia de estos pasos subterráneos se remonta a la época prehistórica cuando el hombre sintió la necesidad de protegerse de las inclemencias del tiempo.

Hay evidencias arqueológicas de la existencia de obras subterráneas de finales de la edad de piedra, cuando se empezaron

a hacer los descubrimientos metalúrgicos.

Se han encontrado túneles milenarios en países como Egipto, La India, Perú y México.

Se sabe que la estructura subterránea más antigua que se haya construido para fines de comunicación, data de aproximadamente 4000 años, este tenía una longitud de 1 Km., de sección transversal de 3.6 x 4.5 mts. que estaba cubierta por una bóveda de arco y que fué recubierta con enladrillado juntado con mortero bituminoso.

Se sabe también que se construyeron acueductos subterráneos mucho antes de la Era Cristiana, inclusive algunos túneles romanos sirven hoy en día para suministrar agua a algunas ciudades modernas.

En el año de 1400, se construyó un túnel de 5.6 Kms. para una mina húngara, siendo ésta obra el más importante proyecto de túnel en su tiempo.

En el año de 1556 el Alemán Georg Bauer publicó una obra referente a túneles mineros cuyo título es " De Re Metálica ", que fué considerada como la mejor durante 300 años.

En el año de 1750 surge el primer paso subterráneo reservado a la circulación de viajeros y mercancías.

Por el año de 1769 se empezó a utilizar la pólvora en Francia para la construcción de este tipo de obra, antes se empleaban únicamente herramientas manuales para fracturar el material.

La construcción de túneles tuvo un gran auge con la aparición de los ferrocarriles, pues ofrecen una buena solución a las exigentes limitaciones que presenta la pendiente de la vía durante su trazo.

El primer túnel que se construyó para dar paso a un ferrocarril se realizó en Inglaterra entre los años 1826 y 1829.

Las técnicas, métodos y equipos de construcción se fueron mejorando cuando hubo necesidad de ampliar las redes

ferroviarias.

En el año de 1857, se introdujo el uso de perforadora hidráulica en el túnel Mont Cenis, que posteriormente fue remplazada por la perforadora neumática, además en esta misma época en el año de 1866 el químico Alfred Nöbel inventó la dinamita, lo que constituyó un gran avance en los métodos constructivos basados en las voladuras, cabe aclarar que este método es muy eficiente, pues en la actualidad se sigue utilizando.

Conjuntamente con los equipos de construcción se fueron desarrollando las teorías de presión de suelos, análisis estructural y diseño de revestimientos, que dieron paso a la creación de métodos constructivos muy interesantes tales como:

El Alemán, Austriaco, Belga, Inglés, Italiano y Norteamericano.

La elección de algún método de construcción de los anteriormente citados, depende de la forma de trabajar, del

equipo disponible y principalmente del tipo de material por atacar, estos métodos tienen como característica general que son usados en terrenos donde el material tiene una cierta cohesión, o sea que es capaz de soportarse por sí mismo sin ser necesario contar con un soporte continuo al ir excavando.

En el caso de que se requiera excavar un túnel en estratos blandos, no cohesivos, compuestos por arenas sueltas, gravas, limos y todo tipo de arcillas o cualquier combinación de ellos, es necesario mejorar el terreno con procedimientos sofisticados tales como la congelación o la consolidación por medio de inyecciones de concreto, para evitar en lo posible los soportes temporales y cimbras, procedimientos que son muy costosos.

Anteriormente la construcción de túneles en materiales suaves, se hacían por etapas y atacando la sección por partes, para ir adelantando (soportando artificialmente el terreno) poco a poco.

Para trabajar este tipo de material se ha desarrollado un método constructivo que proporciona un soporte continuo. Este

método es el llamado Método del Escudo.

Este método fue inventado por el Ingeniero inglés Marc Isambard Brunel quien diseñó y patentó el escudo en el año de 1818 para la construcción del túnel bajo el Río Thames.

El escudo es una armazón metálica en forma de cilindro de sección circular formando por placas de acero soldadas entre sí.

El escudo de Brunel estaba provisto de un complicado sistema de plataformas de ademe que sostenía al frente por medio de tornillos apoyados sobre el revestimiento final. La teoría se basa en que el mecanismo debía ser capaz de moverse hacia adelante y resistir la presión del terreno en el frente.

La idea de utilizar aire comprimido se debe a Lord Cochrane quien propuso este método en 1839 aunque nunca lo utilizó.

En la actualidad el objetivo principal de un escudo, es prevenir la deformación del terreno hacia el túnel mediante una

coraza de metal, permitir una excavación segura y colocar el revestimiento a base de piezas prefabricadas de concreto llamadas dovelas, a medida que avanza.

Los escudos se pueden clasificar en dos grandes grupos:

Escudos para perforación de suelos duros y firmes y escudos para perforación de suelos blandos y relativamente firmes.

Los escudos para suelos duros y firmes son de frente abierto y tienen diversos tipos de mecanización tanto para la excavación como para el transporte del material excavado a través de él, es ésta la principal característica que los diferencia a los escudos de frente cerrado.

Los escudos de frente abierto se fabrican con mecanismos cortadores giratorios, además, la disposición del material en el frente puede ser totalmente manual o con mecanismos de giro radial o tornillos helicoidales transportadores que depositan el material en una banda transportadora que permite colocar el

producto en los medios de acarreo que se usan para llevar el material a lo largo del túnel para después ser sacado por grandes pozos que comunican el túnel con la superficie (lumbreas) y disponer de él.

Los escudos de frente cerrado se utilizan principalmente en suelos blandos, que se necesitan estabilizar, para ello los podemos clasificar en:

- 1.- Escudos de frente cerrado estabilizador por medio de aire comprimido .
- 2.- Escudos de frente cerrado estabilizador por presión de tierra balanceada.
- 3.- Escudos de frente cerrado estabilizador por presurización de lodos.

Los escudos de frente cerrado tienen en la parte frontal una cabeza que cubre toda el área de la sección y en ella se encuentran los elementos cortadores del terreno, mediante el giro

de la cabeza y el empuje de la máquina.

El material excavado pasa por las ranuras que se localizan atrás de la cabeza cortadora en dónde se encuentra el sistema de estabilización del frente.

C A P I T U L O I I

=====

" ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL ESCUDO "

II.1 CRITERIOS FUNDAMENTALES DE DISEÑO.

El escudo ha sido diseñado con características que permiten la excavación rápida y segura del suelo arcilloso de las Ciudad de México, el cual presenta un alto contenido de agua; 300 % promedio, con un ángulo de fricción interna de 0, cohesión de entre 2 y 5 ton/m², encontrándose el nivel freático a 5mts. y teniendo en cuenta que la profundidad promedio del túnel será de 27 mts.

Su diseño y fabricación está basado en los criterios fundamentales siguientes:

1.- Que el diámetro del escudo se ajuste al diámetro requerido por el túnel, para desalojar las aguas residuales.

2.- Mantener un sostén continuo del frente, tanto mecánicamente a través de la cabeza cortadora como hidráulicamente por medio de la presión de lodo bombeado desde la superficie, utilizando el material excavado.

3.- El revestimiento primario del túnel será a base de dovelas de concreto premoldeado.

4.- El revestimiento secundario del túnel será con mezcla de concreto.

5.- Que el escudo sea capaz de colocar el revestimiento primario.

6.- Que el escudo avance y sea guiado mediante el uso de gatos de empuje que se apoyen contra la placa del revestimiento primario del túnel.

7.- Controlar el escudo desde una plataforma que el propio escudo arrastre.

8.- Controlar la circulación de lodos desde una consola central que se localice en la superficie exterior.

9.- El escudo fué diseñado para usarse en terrenos de arcilla blanda. Si se deseara ejecutar perforaciones en capas de arenas

gravosas, arcillas muy compactas, tepetates o capas duras en general, su diseño requerirá de modificaciones.

10.- Que no intervenga directamente personal humano en la excavación.

II.2 CARACTERISTICAS DEL ESCUDO

El diseño del escudo incorpora una serie de características que contribuyen a la realización de las consideraciones fundamentales de diseño que mencionamos anteriormente, algunas de ellas resumimos a continuación:

1.- El escudo remolca cuatro caballetes de arrastre los cuales le transportan todo el equipo complementario. En el primer caballete se localiza la caseta del operador y el sistema de telecontrol y telemedición, en el segundo la unidad hidráulica de todos los gatos y el transformador, la unidad de derivación (Bypass) y el sistema neumático en el tercer caballete y en el último, la unidad de tubería telescópica y la bomba de descarga de lodo.

2.- La cabeza cortadora sostiene mecánicamente el frente en todo momento. La presión del frente de tierra es convertida en presión hidráulica y controlada desde el tablero del operador.

3.- La cabeza cortadora no está fija longitudinalmente al escudo, sino que tiene una carrera de 40 cms., ésta carrera puede funcionar cuando la cortadora está rotando.

4.- El control de la tierra que pasa por los álabes de ranura se realiza por medio de las aberturas de la cortadora.

5.- Los álabes de ranura, actúan como puertas llenas de resortes, para ser cerrados durante los periodos paralizados y proveer en caso de emergencia de todo el apoyo mecánico que se requiera en el frente.

6.- Los motores que impulsan a la cabeza cortadora proveen el torque requerido para hacerla girar, mientras mantiene la presión en el frente.

7.- Se tienen dos velocidades de rotación para la cabeza cortadora y así satisfacer anticipadamente las condiciones del suelo.

8.- El sistema hidráulico de los gatos de empuje suministra la presión fijadora requerida para sostener el escudo firmemente con las dovelas.

9.- Se utiliza un montador del tipo corona dentada para instalar las dovelas del revestimiento. El montador funciona con un control de mano colgante que permite al operador tener una vista clara de la maniobra.

10.- Tres sistemas hidráulicos son provistos para operar los gatos de empuje, el montador, el gato de la cortadora y los gatos de los álabes de ranura.

11.- El sistema de circulación de lodos proporciona la presión constante de lodo requerida para sostener el frente mientras que traslada la tierra desde la cámara de lodo a un ritmo suficiente que permita la penetración del escudo.

12.- Un sistema de control y monitoreo semi-automático asegura la estabilidad del frente y aumenta la confiabilidad del escudo.

11.3 DIMENSIONES DEL ESCUDO

El escudo tiene un diámetro exterior de 6.24 mts., el espesor del forro de la coraza es de 4.5 cms., estas medidas están tomadas en cuenta según el volumen a desalojar y al peso del terreno que soportará el escudo.

La longitud es de 7.3 mts. y permite contener la cabeza cortadora, los motores de transmisión, el montador de dovelas, los gatos de empuje y alojar dentro de sí 2.25 mts. de revestimiento, el escudo está provisto de tres empaques para sellar el espacio entre el cuerpo del escudo y las dovelas, esto con el fin de evitar que el material de inyección pueda penetrar en el mismo.

La cabeza cortadora es de disco plano, debido a que el suelo por excavar es blando, el diámetro exterior es de 6.12 mts.

Esta cabeza cortadora es una cámara sellada de mezclado que recibe el lodo a presión de la superficie para sostener el frente. Tiene un mecanismo que le permite girar reversiblemente, a una velocidad de 0.67 r.p.m. en baja y a 1.00 r.p.m. en alta, con un torque máximo de 352 t-m.

Cuenta con 24 álabes de ranura que permiten pasar el material excavado hacia la cámara de mezclado, estos álabes están provistos de 72 cuchillas cortadoras.

La cabeza cortadora está provista de un gato que hace que ésta salga 0.40 mts. permitiendo así, excavar sin que el escudo avance, pues el empuje total es de 360 ton.

Los gatos de empuje, que son en los cuales el escudo se apoya sobre el revestimiento, desarrollan una fuerza total de 2980 ton. mediante 24 gatos que se distribuyen en todo el anillo, la carrera total por gato es de 1.15 mts. y esto permite que al retraerse quede el espacio suficiente para que quepa un anillo de 1.0 mts. y 15 cms. para maniebrar.

Existe un montador de dovelas que se localiza en la parte posterior del escudo, éste montador esta compuesto de un gato de deslizamiento con una carrera de 0.20 mts. que recoge las dovelas, tiene la facilidad de atraerlas o empujarlas; un gato de fijación que es capaz de colocar la dovela correspondiente en el lugar preciso que se requiera.

Este montador trabaja a una presión hidráulica de aceite de 100 a 120 kg/cm² y tiene la capacidad de transmitir un torque de 500 kg-m.

C A P I T U L O I I I
=====

" SISTEMA DE SEGURIDAD Y CONTROL DEL ESCUDO "

III.1 EQUIPO DE CIRCULACION DE LODOS

El equipo de circulación de lodos consta de 3 unidades fundamentales y estas son:

1.- La unidad de suministro que está compuesta por una bomba que trabaja a velocidad variable, pudiendo llegar a las 1200 r.p.m., pudiendo vencer una altura total de 27 mts., el diámetro interior de la tubería es de 20 cms. (8").

2.- La unidad de descarga está compuesta también por una bomba de velocidad variable que alcanza las 1350 r.p.m. y vence una altura total de 40 mts., el diámetro interno de la tubería es de 15 cms. (6").

La unidad de traspaleo que está compuesta por cuatro bombas que son de apoyo a la bomba de descarga, estas se conectan a medida que el túnel avanza, logrando que el regreso de lodo a la superficie sea el adecuado. Cada bomba puede vencer una altura de 30 mts.

Existen también una serie de válvulas y tuberías para controlar mejor el lodo, estas son:

Una válvula para controlar la presión de suministro de lodo, tiene un diámetro de 20 cms. y opera manualmente, una válvula de compresión de lodo del mismo diámetro que opera a base de aire comprimido, una válvula de compresión de descarga de las mismas condiciones físicas y de operación que la anterior, una válvula de bola de derivación de 15 cms. que trabaja con aire comprimido, tuberías que se colocan conforme avanza el escudo de suministro y descarga, rígidas y flexibles de 4.5 mts.

III-2 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE CIRCULACION

Para llevar a cabo la circulación de lodo, primero se conecta el interruptor general de energía eléctrica que alimenta la consola central, se levantan los interruptores de las bombas P1 de suministro, P2 de descarga y las bombas de traspaleo, también se arranca el compresor de aire que maneja las válvulas de suministro, descarga y de derivación.

Para iniciar la circulación se checa que las válvulas de las tuberías de suministro y descarga estén abiertas, se enciende la bomba P1 que está conectada al cárcamo de suministro y se revoluciona para que empiece a circular el lodo en modo de derivación.

Para lograr un buen funcionamiento de las bombas y de todo el equipo, la densidad en el cárcamo de suministro debe permanecer con un valor máximo de 1.05.

Teniendo funcionando la bomba P1 y con un pequeño flujo de descarga se enciende la bomba P2 que se encuentra en el interior del túnel en uno de los caballetes de arrastre, con ésta se eleva el flujo de 4.5 a 5.0 M3/min. en caso de que no existan bombas de traspaleo, en caso de que existan, estas son las que alcanzan dicho flujo. Para lograr lo anterior se deben tener las válvulas de suministro y descarga cerradas y la válvula de derivación abierta.

En este modo de circulación se debe mantener una presión de suministro adecuada, de tal manera, que al pasar al modo de frente la presión de la cámara pueda sostener la fuerza del suelo. Además este modo de circulación nos permite iniciar el funcionamiento, ajustarlo y pararlo.

Para cambiar de modo de circulación de derivación a modo de frente, se abren las válvulas de compresión tanto de suministro como de descarga, aproximadamente a los 10 segundos se cierra la válvula de derivación.

Ya estando en este modo de circulación, lo más importante es mantener la presión frontal en la cámara y el flujo de descarga entre 4.5 y 5.0 M3/min. estos 2 parámetros se controlan tanto con la bomba P1 como con la bomba P2 y marcan las condiciones necesarias para que se pueda comenzar con la excavación.

III-3 SISTEMAS DE TELECOMUNICACION Y TELEMEDICION

Uno de los sistemas más importantes dentro de los sistemas con

que cuenta el escudo, es el de TC/TM (Telecomunicación y telemedición).

Este sistema consta de 2 tipos de controles, uno para obtener información de todos los indicadores con que cuenta la consola central y la información de la bomba P2 de descarga y otro que informa de las bombas de traspaleo. La bomba P1 es la única que no está conectada con el TC/TM ya que su información pasa directamente a la consola central.

Los controles anteriormente citados se llaman TC/TM1 y TC/TM2 ambos tienen un master que recibe información de los slaves y mantienen informado al tablero digital y al de visualización directa de las condiciones físicas que prevalecen durante el funcionamiento del escudo.

El TC/TM tiene un CPU (Unidad Central de Procesamiento) y un sistema de coordenadas tridimensionales que permiten saber identificar cierta información con solo dar las coordenadas, dichas coordenadas son las siguientes:

CARD----Tarjeta que consta de 8 lugares para cada TC/TM.

FRAME----Código que consta de 4 bits con 8 lugares para cada
CARD.

PAGE----Páginas que constan de 4 bits con 8 lugares para cada
CARD.

Dentro del equipo no toda la unidad de memoria es utilizada, sino que existen algunos espacios tanto en el TC/TM1 como en el TC/TM2, esto es debido a que no se compró todo el equipo auxiliar por ser de alto costo.

Existen 11 sensores que tienen comunicación con el TC/TM MASTER mandando impulsos eléctricos desde 4mA hasta 20mA que son transformados por éste de información binaria a un sistema digital.

Después de obtener estas señales, podemos ver en el tablero digital que se encuentra en la parte inferior de la consola de control central las lámparas de los números binarios.

Existe una lámpara que nos indica en que sistema estamos, ya sea analógico o digital, teniendo éste conocimiento podemos obtener la información por medio de ecuaciones y gráficas, conociendo sus fronteras en el caso analógico y la información directa en el digital.

Sabemos que las señales nos llegan en un intervalo de 4 a 20 mA y sabemos que el máximo de números binarios es la suma de $1+2+4+8+16+32+64+128=255$.

En esto también hay una correspondencia con los indicadores, para entenderlo mejor pondremos un ejemplo:

Si tenemos un indicador de presión que va de 0 a 5 Kg/cm² entonces podemos decir que 0 es a 4mA y que 5 es a 20 mA.

La solución de sacar los parámetros por un sistema analógico es más exacto que el de los indicadores (esto se utilizaría si los indicadores estuvieran descalibrados).

Las gráficas que se obtienen son las siguientes:

Presión frontal, Presión de Suministro, Corriente Total de Motores de la Cortadora, Presión del Gato de la Cortadora, Presión de los Gatos de Empuje, Presión de Gatos del Alabe, Carrera del Gato Izquierdo, Carrera del Gato Derecho, Velocidad de Empuje, Inclinación, RPM Bomba de Descarga, Gasto de Descarga.

Primero, estableceremos el sistema de coordenadas y la ubicación de cada uno de los parámetros nombrados anteriormente, haciendo notar que estos se encuentran en los tres primeros CARD y que forman parte del sistema analógico y a partir del 4to. CARD el sistema es digital.

También hay que considerar que existen posibles errores en el TC/TM siendo las posibles causas:

- 1- Que se cambien las coordenadas de FRAME o de PAGE en la consola central, entonces no recibe las señales programadas.
2. Cuando falta energía en algunas de las bombas de traspaleo.
3. Que se corten los cables de comunicación, cables de TC/TM o

en su defecto que se puenteen.

4. Que se tome tierra de algún tubo del túnel, esto provocaría interferencia y no pasaría la señal.

Ahora bien, estos errores repercuten en la pantalla digital TC/TM Master y manda claves de error, que son las siguientes:

991 Indica que la memoria ROM esta fallando, por lo que se debe de cambiar la tarjeta correspondiente del CPU.

992 Indica que la memoria RAM esta fallando por lo que se debe de cambiar la tarjeta correspondiente del CPU.

993 o 994 Cuando hay interferencia en el Master.

995 Aparece aproximadamente a los 5 km. de avance, por problemas de emisión o recepción.

998 Indica que el voltaje es bajo.

El sistema TC/TM también manda información a una computadora

para obtener el volumen excavado y el volumen desplazado. En dos graficadores se guarda toda la información de los sensores, esto es de gran utilidad porque si existe algún problema o se quiere verificar algún parámetro con el que se operó el equipo, podemos recurrir a estos registros.

III.4 CONSOLA DE CONTROL CENTRAL

Esta consola esta compuesta por dos tableros que contienen los indicadores y controles para el escudo y el sistema de circulación de lodos, y realiza las siguientes funciones:

1. Una función monitora que registra el estado de la propulsión del escudo y de la circulación de lodos, estas funciones además son observadas e indicadas en el panel A.

2. Una función de control de circulación del lodo y una parada de emergencia para el escudo.

III.5 TABLERO DEL OPERADOR

El tablero del operador esta instalado en la casilla montada en el caballete de arrastre y su tablero esta compuesto por dos paneles A Y B.

1. El panel B ejecuta las siguientes funciones:

Control del sistema monitor del escudo.

Control del gato de empuje.

Control del gato del alabe de ranura.

Control del sistema de impulso de la cortadora.

Control del sistema de lubricación.

2. El panel A contiene los indicadores requeridos para el monitoreo del estado de propulsión del escudo y la parada de emergencia tanto del escudo como de la circulación de lodos.

III.6 CASILLA DEL EQUIPO ELECTRICO

La casilla del equipo eléctrico instalada en el caballete de arrastre, contiene los circuitos de suministro de energía y de relevador para el escudo y un tablero de operación local de las válvulas de circulación de lodo.

1. CIRCUITOS DE SUMINISTRO DE ENERGIA

La energía eléctrica transformada desde 4160 Volts a 440 Volts es abastecida a la casilla del equipo eléctrico y de ahí distribuida a los motores propulsores de la cortadora, a las unidades de energía hidráulica, a la bomba de lubricación y al compresor de aire.

Los interruptores de fuga a tierra están instalados en todos los circuitos anteriormente mencionados. Especialmente para el circuito motor de la cortadora y el circuito de la unidad de energía hidráulica, los interruptores de fuga a tierra se iluminan intermitentemente en rojo a los 200mA y 30mA, respectivamente.

2. CIRCUITOS DE RELEVADOR.

La casilla del equipo eléctrico esta instalada con los circuitos de relevador enumerados a continuación, estando estos circuitos compuestos de relevadores de control y de retardo:

Circuito de búsqueda e indicación de faltas.

Circuito de selección y operación de varios gatos.

Circuito de control de motor de la contadora.

Circuito de control de la unidad hidráulica.

Circuito interfaz para el telémetro.

Circuito de control de la válvula de circulación de lodos.

3. TABLERO DE OPERACIONES.

En la parte exterior de la puerta de la casilla esta instalado un tablero de operación local, el cual permite la operación local de las válvulas de circulación del lodo y del compresor de aire.

III.7 SISTEMAS DE ALARMAS

El escudo esta provisto de una serie de alarmas que detectan cualquier averia que pueda sufrir alguna de las partes o sistemas de la perforadora a través de un sistema de monitoreo que se localiza en la consola central de operación y control.

Algunas de las principales causas que hacen funcionar a las alarmas son:

La presión de aire del compresor baja más de lo previsto.

La presión frontal del lodo llega a un limite alto.

La velocidad del flujo de descarga llega a ser muy alta.

Si se llega al limite de contracción de la cortadora.

Si se presenta algún problema en cualquiera de las bombas de circulación de lodo.

Fallas en el sistema de telecontrol y telemetría.

Si se sobrecargan los motores de propulsión de la cortadora.

Si se presenta una circulación anormal del aceite en las bombas.

Ante cualquiera de las situaciones citadas, las lámparas indicadores del sistema se iluminan intermitentemente, además de que se acciona un zumbador, estos pueden desactivarse con el simple hecho de apretar un botón, mientras que las lámparas permanecieran iluminándose hasta que el problema haya sido solucionado.

La solución de algunos problemas es sencilla y no requiere de algún procedimiento específico para la reanudación normal de la operación, pero otros si lo necesitan por ejemplo:

Si se llega al límite de contracción de la cortadora hasta 50 milímetros, el circuito hidráulico de los gatos de empuje se descarga y el empuje del gato se detiene.

Para reanudar la operación es necesario extender el gato de la cortadora hasta que se liberen los gatos de empuje, cuando esto sucede la lámpara deja automáticamente de destellar indicando que se ha solucionado el problema. Posteriormente se oprime el botón de carga del gato de empuje y se reanuda la extensión.

Si se sobrecargan los motores de propulsión de la cortadora, la alarma es activada por cualquiera de los 8 relevadores térmicos instalados en las casillas del equipo eléctrico o por el relevador de sobrecorriente que detecta la corriente total de 8 motores. Esto trae como consecuencia que todos los motores de propulsión de la cortadora y todos los gatos de empuje se detengan.

Para reanudar la operación es necesario oprimir el botón de reposición en cualquiera de los relevadores existentes, ya sea ternales o de sobrecorriente.

Si la presión frontal del lodo llega a un límite alto en el modo frontal o si la presión de la bomba de suministro excede el

limite por más tiempo de lo fijado, todos los motores de propulsión de la cortadora se detienen al igual que los gatos de empuje, el modo de circulación de lodos de frontal pasa al de derivación.

Para reanudar la operación es necesario bajar la presión del frente o en su caso, disminuir el tiempo de suministro, después oprimir el botón del zumbador del tablero de control central y reanudar la excavación siguiendo los mismos pasos en cada sección de operación.

Si la velocidad de flujo de descarga es baja cuando se está en modo frontal durante un tiempo largo se acciona la alarma por medio de un regulador continuo, entonces todos los motores de la propulsora se detienen al igual que los gatos de empuje, además el modo de circulación de lodo cambia a modo de derivación, aunque todas las demás funciones están en operación.

Para la reanudación de la operación es necesario aumentar las revoluciones de la bomba y checar que las densidades de los

lodos, tanto de suministro como de descarga estén en los límites establecidos, después se reanuda la excavación siguiendo los mismos pasos en cada sección de operación.

Por último, si se presenta algún problema en las bombas de circulación la alarma se acciona por medio del relevador de sobretención, instalado en cada tablero de las bombas, trayendo como consecuencia que todos los gatos de la cortadora como los de empuje se detengan, el modo de circulación cambia de frontal a derivación y sólo la bomba con problemas se detiene.

Para reanudar la operación sólo se tiene que oprimir el botón de reposición de los relevadores.

III.8 PARADA DE EMERGENCIA

Si por necesidad o por descuido se oprime el botón rojo de parada de emergencia localizado en el tablero de control central se detienen las bombas de circulación de lodo, los motores de propulsión de la cortadora, los gatos de empuje, la unidad de

energía hidráulica y las bombas de lubricación. El modo de circulación cambia a derivación y la energía eléctrica para la iluminación y las lámparas indicadoras siguen funcionando.

Para reanudar la operación sólo basta oprimir el mismo botón.

III.9 MANTENIMIENTO E INSPECCION

En este apartado describiremos el mantenimiento e inspección de los principales sistemas del escudo los cuales son:

Para el escudo excavador debemos tener especial cuidado en los propulsores y engranajes reductores de los motores de la cortadora, para ello es necesario confirmar una vez por semana que los pernos de montaje estén bien apretados, también una vez por semana checar el aceite en el engranaje reductor por medio del indicador de nivel de aceite.

Para la caja de engranajes se debe verificar todos los días si se esta suministrando normalmente la grasa necesaria en cada punto de lubricación, mediante la inspección visual de la aguja

indicadora del ciclo en el distribuidor maestro.

El movimiento oscilatorio regular de la aguja nos indica que el lubricante esta fluyendo normalmente a través del montaje.

Para el eje de la cortadora inspeccionar todos los días si hay cambio de color en la etiqueta térmica adherida al cojinete. Si el color ha cambiado de amarillo a rojo, averigüe la causa y aumente la frecuencia de lubricación si fuera necesario.

Para la unidad de la tubería de suministro y descarga de lodo se debe revisar todos los días las juntas de la tubería por si hay pérdidas de agua.

Para los álabes de ranura, todos los días se debe checar que la presión se mantenga en 100 kg/cm². durante los periodos de reposo.

Cuando la presión disminuya, ponga en funcionamiento la bomba hidráulica y haga subir la presión hasta los 100 kg/cm².

Para el montador, revisar periódicamente el cilindro soporte del montador por si hay desgaste anormal.

Se debe aplicar grasa con la pistola de engrase, una vez al mes, en el cilindro guía y la parate del engranaje. También se debe verificar que no queden escombros u obstáculos en la zona de actividades.

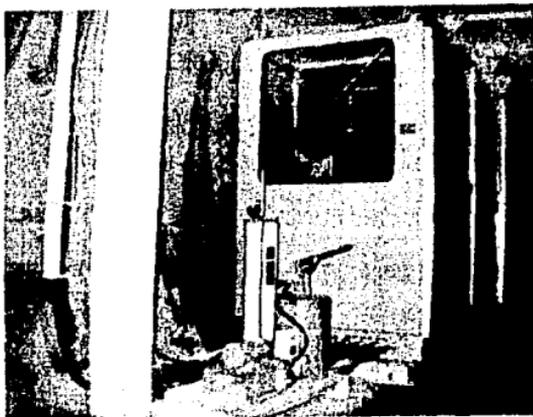
Para los gatos de empuje se debe controlar que en el área de empuje no haya obstrucciones o tierra y tener cuidado para prevenir daños en el vástago del pistón mientras este extendido.

Para el sistema hidráulico, el aumento del aceite es causado por sobrecarga, problemas en las válvulas de alivio o fallas en las bombas, por eso se recomienda tener cuidado en el cambio de color de las etiquetas térmicas adheridas al tanque hidráulico.

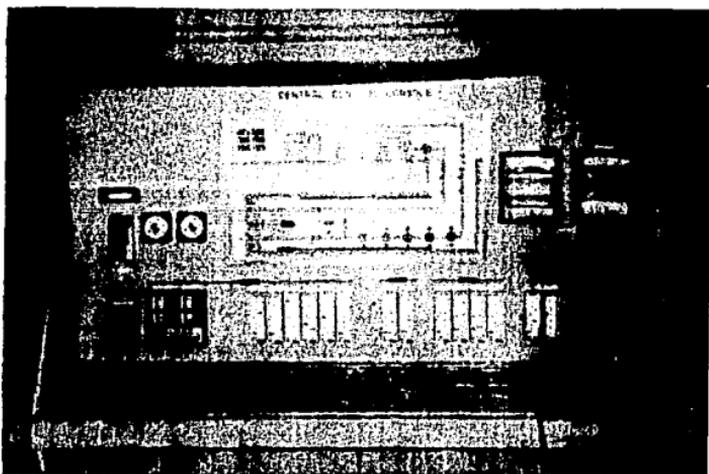
Si la temperatura del aceite sube hasta 70 oC, detenga la bomba del aceite y revise el sistema hidráulico. Se debe mantener la cantidad del fluido en el nivel adecuado llenando el

tanque con fluido limpio a través de un filtro. Mezclar diferentes tipos de aceite provoca problemas en el sistema.

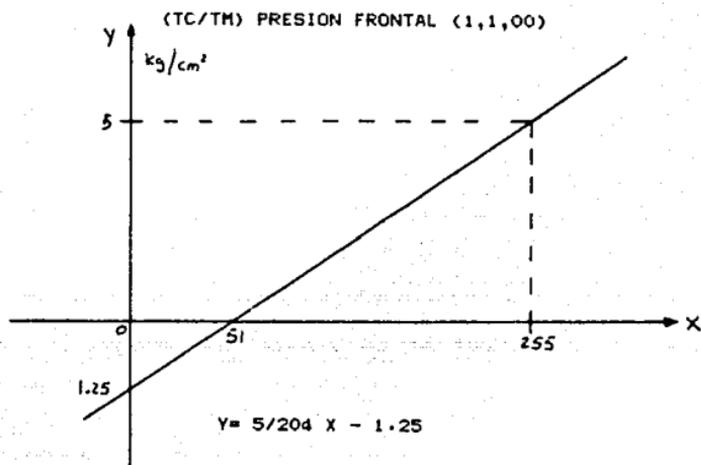
El periodo normal para cambiar el fluido hidráulico es de seis meses, cuando la bomba este en funcionamiento 8 horas al día.



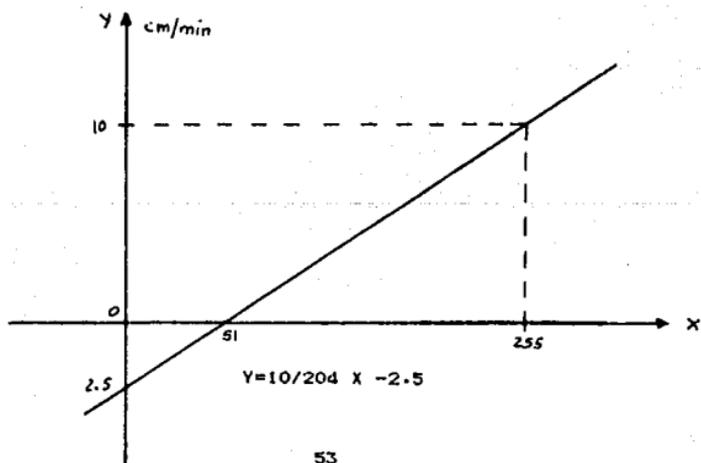
CASETA DEL OPERADOR



CASETA DE CONTROL CENTRAL



(TC/TM) VELOCIDAD DE AVANCE DEL ESCUDO (2,1,01)





EQUIPO DE CIRCULACION DE LODOS



DRAGADO DE CARCAMO DE SUMINISTRO DE LODOS

En este capítulo mencionaremos detalladamente todos los pasos a seguir durante la ejecución de la construcción del túnel, esto es, desde que el escudo penetra en el terreno hasta que sale por la lumbrera de salida.

Para llevar a cabo el túnel, se necesitaron instalaciones de apoyo previas al lanzamiento, tales como: construcción de cárcamos de bombeo subestación eléctrica, muro de atraque, etc., los que en este capítulo explicaremos posteriormente.

También hablaremos de los estudios de mecánica de Suelos que se realizaron en el cruce con la línea 9 del Metro y de los que se llevan a cabo durante todo el tramo y la modulación de los anillos para conservar la línea de trazo de acuerdo con el proyecto, esto último es muy importante ya que la buena construcción del túnel depende de la capacidad del Ingeniero al decidir el tipo de anillo que se va a colocar.

C A P I T U L O I V

=====

" PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TRAMO "

IV.1 TRABAJOS PRELIMINARES.

LUMBRERA:

La principal estructura preliminar para poder realizar un túnel, es la construcción de una lumbrera de entrada y una de salida, dichas lumbreras en el caso de las L-2 y L-3 tienen las siguientes medidas, un diámetro de 12 mts. Y una profundidad de 30 mts. de acuerdo con el Proyecto del Sistema de Drenaje Profundo.

SUBESTACION ELECTRICA:

Esta subestación tiene la función de suministrar energía eléctrica todo el día, pues debido al alto costo de la obra se trabajan las 24 hrs., está localizada lo más cercano posible a los postes de luz que abastecen la energía. Se cuenta también con una planta de emergencia para las instalaciones secundarias.

CÁRCAMOS DE SUMINISTRO Y DESCARGA DE LODOS:

Se construyó un cárcamo de suministro con la función de contener el suficiente lodo para que se suministre continuamente al escudo, un cárcamo de descarga que su función es de recibir el lodo que mandan las bombas del escudo con el material producto de la excavación ya licuado.

CASETA DE OPERACION:

Esta localizada lo más cerca posible de los cárcamos de bombeo, pues en esta caseta se tiene la consola central encargada de suministrar el lodo y de controlar los volúmenes y densidades del lodo desalojado del túnel.

TUBERIA DE AGUA:

Hubo necesidad de instalar una tubería de agua tratada de 4" de diámetro con el fin de abastecer a los cárcamos de bombeo de agua limpia para mantener baja la densidad del lodo.

TALLERES:

Se cuenta con talleres de carpintería, eléctrico, mecánico y

de soldadura, para dar mantenimiento y abastecer al frente de trabajo de material y equipo necesarios.

ALMACENES:

Se cuenta con almacenes de materiales , de herramientas y del equipo de repuesto para el escudo.

OFICINAS:

Se construyeron oficinas para la D.G.C.O.H., para la Cia. Supervisora, para la Cia. Constructora, Oficinas de Juntas y para el personal Japones que brinda asesoria.

CASETA DE CONTROL:

Esta caseta tiene como objetivo llevar el estricto control de acceso a la obra, ya sea del personal que trabaja, visitas, etc., como vehiculos, maquinaria y camiones.

CUNAS:

Para poder colocar el escudo en la parte inicial del túnel, se requiere de la construcción de estructuras tales que soporten la presión del terreno y tengan la altura adecuada para penetrarlo de acuerdo al diseño previo. Estas estructuras además deben de tener una cierta semejanza con respecto a la forma exterior del escudo para que este se desplace correctamente dichas estructuras se llaman cunas porque en ellas descanza el escudo.

Las cunas son de concreto reforzado y cuentan con unos rieles de acero en su parte lateral, su función es guiar el desplazamiento del escudo.

MUROS DE ATRAQUE Y PORTAL DE ENTRADA:

Al mismo tiempo se construyen el muro de atraque y el portal de entrada, ambos también de concreto reforzado, la función que realiza el muro de atraque es que el escudo se apoye sobre el

para empezar el lanzamiento y la función del portal de entrada es ejercer una presión al rededor del escudo que impida algún desplazamiento no deseado que nos pueda desviar de la línea de proyecto. (ver figura).

MEJORAMIENTO DEL TERRENO:

Se realizó un mejoramiento del terreno al inicio y al final del túnel para consolidarlo, por medio de inyecciones de concreto, esto permitirá iniciar y salir al escudo correctamente.

Hay que recalcar que el rompimiento inicial del portal de entrada no lo realiza el escudo, sino que se lleva a cabo manualmente con rompedoras neumáticas y sopletes para cortar varillas, esto corre un cierto riesgo, ya que si la inyección de concreto para mejorar el terreno no esta seca completamente, se puede tener un caído, o sea, que el terreno sufra un derrumbe.

IV-2 EXCAVACION.

Teniendo las instalaciones anteriores debidamente terminadas,

se inicia el proceso de lanzamiento del escudo. Este proceso consiste en colocar y empujar anillos de atraque pero con una condición, de que no se coloquen las dovelas superiores para permitir el acceso al túnel.

Estos anillos preliminares se apoyan en el muro de atraque, su único fin es el de encauzar el escudo, ya que posteriormente como a los 80 o 90 mts. excavados se quitan y su función termina.

Una vez colocados los primeros anillos, las dovelas faltantes, por donde se entraba al túnel, fueron sustituidos por troqueles que tienen como función proveer la fuerza de reacción necesaria para que el escudo no se inclinará hacia arriba o hacia abajo, pues esto perjudicaría su lanzamiento.

Una nota importante sobre el lanzamiento del escudo es que los primeros 40 mts. de excavación son delicados en cuanto a la operación por encontrarse en condiciones distintas de las normales debido a la consolidación a que se sometió el terreno.

Después de pasar estos metros críticos, el proceso constructivo del túnel se normaliza pues difícilmente variará.

A continuación describiremos todo un ciclo de trabajo, este comienza con la colocación de las dovelas.

Primero se bajan al fondo de la lumbrera las piezas necesarias para formar un anillo, se depositan en una pequeña locomotora que los lleva al frente del túnel, una vez ahí una grua llamada polipasto se encarga de agarrar y desplazar las dovelas; hasta un lugar en donde las pueda agarrar el montador, este las va colocando en su lugar correspondiente, tomando en cuenta que los gatos de empuje están completamente retraídos.

Al estar colocada una dovela, los gatos que se encuentran en esa posición se comienzan a extender hasta ejercer sobre ella una presión de 100 kg/cm², esto nos indica que los gatos ya tienen contacto con las dovelas, pero cabe notar que esta presión no es suficiente para poder empujar, este trabajo se realiza en la cabina del operador y la presión se detecta en los indicadores de la misma.

Al tener colocado por completo el anillo, se puede comenzar a ejecutar la siguiente operación que es el avance del escudo.

IV.3 AVANCE DEL ESCUDO.

Durante el avance del escudo intervienen tres acciones simultáneas que son:

Circulación de lodos, empuje de los gatos y el proceso de inyección de la mezcla.

La mezcla de inyección se elabora con lodo bentonítico, cemento, arena y agua; se realiza en la planta de mezclado que se encuentra en la superficie.

La dosificación es de 2 tipos, para la primera etapa que es donde se encuentra el terreno tratado, se utilizó una dosificación especial compuesta por 250 kgs. de cemento, 100 kg. de bentonita y 850 litros de agua por m³, con una presión de inyección de 1.0 a 1.2 kg/cm².

Después de pasar el terreno tratado la mezcla de inyección cambia a 190 kgs. de cemento, 50 kgs. de bentonita, 0.243 m³ de arena y 380 litros de agua por m³, con una presión de inyección de 2.0 a 2.5 kgs/cm²

Cuando la mezcla esta en el fondo de la lumbrera y es transportada al frente de ataque, se conectan las mangueras de inyección a los orificios de la dovelas, se coloca un manómetro para verificar la presión establecida y se procede a inyectar.

Es necesario mencionar que la inyección se efectua en el anillo N-3, donde es el anillo que se esta excavando así garantizamos que la mezcla no llegue al faldón del escudo y pueda dañar sus sellos.

La importancia principal de este proceso es que la mezcla selle el espacio que se forma entre el terreno excavado y el anillo, pues así se reduce la posibilidad de que el terreno sufra asentamientos que puedan afectar las estructuras que se encuentran en la superficie, además de que existan infiltraciones.

La circulación de lodos una vez establecida con los parámetros de operación establecidos para el flujo y presión en el frente, de acuerdo con el proceso que explicamos en el capítulo II, se procede a la tercera acción.

El empuje de los gatos se realiza en la cabina del operador en donde se encuentran todos los controles.

Para llevar a cabo esta acción primero se checa que la circulación de lodos no presente ningún problema, que la mezcla se encuentre ya en el frente con las mangueras conectadas, teniendo los 2 pasos anteriores listos se seleccionan los gatos con los que se va a empujar de acuerdo a la posición que se le deba dar al escudo, esto basado en los datos que proporciona un topógrafo quien con su cuadrilla checan la alineación y pendiente del túnel cada vez que se coloca un anillo.

En el tablero de la cabina del operador hay un selector de gatos que se muestran gráficamente los que están empujando, esto es muy práctico ya que los que empujan están encendidos.

En esta cabina se controla el volumen de material excavado por medio de los gatos de ranura que se encuentran en la cabeza cortadora, estos álabes de ranura se abren o cierran según sean las condiciones de presión en el frente, si queremos bajarla se abren las ranuras y si se quiere subir se cierran.

Al terminar el empuje se debe terminar también la inyección de la mezcla, aunque existe una cierta tolerancia en caso de que esta se retrase.

El empuje debe ser por lo menos 1-10 mts. para garantizar que entre el próximo anillo.

Una vez que se haya terminado el empuje y la inyección, se vuelve a comenzar el ciclo.

IV.4 TRABAJOS COMPLEMENTARIOS.

Mientras se realizan estas tareas fundamentales para la construcción del túnel, simultáneamente se realizan otras que no son menos importantes pues el ciclo completo de construcción

depende de muchos más factores o trabajos que si no se llevan a cabo en su momento se para el ciclo.

ALGUNAS DE ESTAS TAREAS SON:

Colocación de rieles para que transite la locomotora, el carrito con la mezcla de inyección, colocación de bancos, durmientes, tablonces para paso peatonal, colocación de tuberías tanto de suministro como de descarga y de agua potable, ductos para ventilación de aire en el túnel, bastidores con aislantes para sostener y proteger el cableado eléctrico, válvulas de 8" y 6" para suministro y descarga cuando el caso lo requiera, esto aproximadamente a cada 100 mts., lámparas para alumbrado del túnel.

Detallando lo anterior anotaremos la secuencia de estas actividades

- 1.- Se colocan los bancos de madera de 46 cms. de sección.
- 2.- Se apoyan los durmientes en dichos bancos.

3.- Se colocan y aseguran los rieles por los que se desplazaran el carro de la inyección y la locomotora que transporta a las dovelas.

4.- Se coloca el riel que guiará a los caballetes de arrastre.

5.- Se colocan los tableros de acceso.

Las tuberías de 8 y 6 pulgadas se colocan cuando las mangueras que están sujetas a la tubería telescópica estén totalmente estiradas, además dicha tubería debe estar recorrida para aumentar un tramo más de tubería de agua de 2 pulgadas, para colocar un tramo más sólo se cierra la válvula de paso.

La tubería para la ventilación del túnel se va colocando conforme avanza el escudo, los tramos son de 10 mts. de largo y 80 cms. de diámetro, a cada 300 mts. se instalan reelevadores.

La colocación de los bastidores con aisladores para el cableado no presenta mucho problema pues se atornillan junto con las dovelas (entre la unión de ellas), el cableado eléctrico se

encuentra en el último caballete de arrastre y se va colocando conforme avanza el escudo.

Una última actividad muy importante es el control y evacuación del material de excavación. En la planta de tratamiento de lodos se tiene que la distribución de los cárcamos nos garantiza la buena recirculación del lodo, esta cuenta con los cárcamos de descarga, vertedor, y suministro de agua limpia.

Las actividades de control y evacuación se realiza mediante 2 funciones:

- 1.- El dragado del lodo asentado, que es cargado en camiones de volteo, esto se efectua en los cárcamos de descarga, suministro y vertedor.
- 2.- El bombeo de lodo de alta densidad no asentado se bombea hacia camiones pipa, por medio de licuadoras que tienen la función de triturar los grumos producto de la excavación.

La planta de tratamiento cuenta con 4 licuadoras, 2 bombas garza, (una de ellas conectada a las licuadoras) 2 bombas de tazones que se encuentran en el cárcamo de agua limpia y que proporciona un gasto al cárcamo de suministro, una bomba Barnes en auxilio de las anteriores y una bomba pequeña para ayudar a la bomba P1 cuando se hace el cambio de tubería en el túnel.

IV.5 ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS EN LA EST. JAMAICA DEL METRO

Se elaboró un Estudio de Mecánica de Suelos para obtener las recomendaciones geotécnicas correspondientes y conocer los parámetros de diseño estructural del tramo en su cruce con la línea 4 del Metro, tomando en cuenta el diseño geométrico ya establecido y llevando a cabo la exploración geotécnica requerida.

Fue necesario recopilar información con relación al proyecto de la estación Jamaica de la Línea 9, se logró obtener planos del proyecto geométrico, planos estructurales de los apoyos, losa y pilotes de la estación; así como el perfil estratigráfico del

sondeo llevado a cabo cercano en sitio, parte de la memoria de cálculo para determinar las cargas que transmite la estación al subsuelo.

La zona en donde se construyó el túnel se encuentra en zona franca del Lago del Valle de México. Los suelos que intervienen en el proyecto son los correspondientes a la formación Tacubaya y a la denominada primera capa dura.

La formación Tacubaya o formación arcillosa superior está constituida por arcillas de alta plasticidad, de origen volcánico, con alto contenido de agua y de consistencia blanda con pequeñas y aisladas intercalaciones de arenas basálticas finas.

La primera capa dura está formada por limos arenosos compactos y cementados, la zona de estudio se localiza entre los 35 y 40 mts. de profundidad.

Por último cabe señalar que los depósitos profundos tuvieron

influencia sobre el comportamiento del túnel, pues en ellos existen abatimientos de los niveles piezométricos.

La exploración geotécnica consistió en la realización de un sondeo continuo de exploración para conocer localmente la estratigrafía del subsuelo y obtener muestras inalteradas representativas de los diferentes estratos.

El sondeo SM-1 se localizó en el cadenamiento 2+817.50 y se llevó a cabo muestreando en forma inalterada y continua hasta los 40-80 mts. de profundidad con relación al cabezal del sondeo. Se usaron tubos de pared delgada tipo Shelby.

Se instaló así mismo en el cadenamiento 2+817.50 a una profundidad de 38 mts., un piezómetro Casagrande para registrar el abatimiento piezométrico en el sitio.

Las muestras inalteradas obtenidas en el sondeo SM-1 se clasificaron de acuerdo con el sistema SUCS, con especial énfasis en localizar y clasificar todos los lentes de arena en la zona

del túnel, pues estos influyen decisivamente en la estabilidad del frente.

Con el objeto de conocer las propiedades geomecánicas de los estratos involucrados, se programaron en muestras representativas las siguientes pruebas:

- Clasificación visual y al tacto.
- Limite líquido y plástico.
- Densidad de sólidos.
- Compresión simple.
- Compresión triaxial no drenada (UU).
- Consolidación unidimensional.

En base al perfil estratigráfico obtenido y de acuerdo con las características geomecánicas de los materiales de cada estrato, fué posible establecer las propiedades esfuerzo-

deformación de cada material. La resistencia a la compresión simple varía en términos generales entre 2.5 y 8.0 ton/m²; El módulo de deformación a corto plazo entre 14.7 kg/cm² y 48.3 kg/cm², el coeficiente de variación volumétrica (mv) entre 0.005 m²/ton y 0.1 m²/ton y la relación de vacíos entre 5.11 y 10.87.

La estabilidad del frente se evaluó por medio del criterio de Broms y Bennermark, el cual establece una relación empírica entre las propiedades del subsuelo y la profundidad del túnel. Este criterio consiste en calcular el factor de estabilidad (FE), el cual se ha relacionado con casos historia (Peck, 1969), y permite evaluar la estabilidad del túnel con la sig. expresión

$$F_e = \frac{\delta z - P_a}{S_u}$$

Donde:

- δ = Peso volumétrico del suelo = 1.226 ton/m³
- z = Profundidad al centro del túnel = 22.32 mts.
- S_u = Resistencia al corte en el frente = 2.4 ton/m²

FE= Factor de estabilidad

Pa= presión estabilizadora= 17.0 ton/m²

Con lo que se obtiene un factor de estabilidad FE= 4.1, el cual es suficiente para que la estabilidad del frente en la zona del cruce sea adecuada y no se provoquen movimientos importantes en la masa del suelo.

Cabe señalar que casos historia (Peck, 1969), permitieron establecer como criterio un factor de estabilidad adecuado FE=5; sin embargo, se decidió usar un factor FE menor, pues el tramo analizado es crítico y la estructura de la estación Jamaica es de vital importancia.

El criterio de E. Tamez revisa la estabilidad en el frente del túnel suponiendo superficies de falla preestablacidas, para las cuales se determina el factor de seguridad; dicho factor se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$FS = \frac{c Nc}{\Delta H - p_i}$$

Donde: c = Cohesión = 2.488 ton/m²
 N_c = Factor de estabilidad 9.0
 δ = Peso volumétrico = 1.266 ton/m²
 H = Profundidad = 22.32 mts.
 p_i = Presión estabilizadora = 17.0 ton/m²

Con lo que se obtiene un factor de seguridad de 2.16. Este valor se considera razonable para la zona del cruce con la línea 4 elevada del metro, por tratarse de estructuras importantes, y en las cuales no se debe de correr ningún riesgo.

Las condiciones de carga para el diseño del revestimiento serán las siguientes:

- 1.- Cargas estáticas debidas al peso propio del suelo.
- 2.- Cargas estáticas impuestas por la estación Jamaica de la línea 4 del Metro.

Para obtener las presiones que transmite el suelo por peso propio al túnel, las cargas a considerar se obtienen de acuerdo

con el perfil estratigráfico, y de las propiedades del subsuelo, por medio de las expresiones siguientes:

$$PV = \sum_{i=1}^N \delta_i Z_i$$

$$PH = \sum_{i=1}^N (\delta_i - i) Z_i K_o + i$$

Donde:

PV= Presión vertical al nivel del túnel.

PH= Presión horizontal al nivel del túnel.

N= Número de estratos considerados.

δ_i = Peso volumétrico del estrato i.

Z_i= Espesor del estrato i.

i= Presión de poro media del estrato i.

K_o= Coeficiente de presión de tierras (K_o=0.5).

Puesto que en la zona existen abatimientos importantes del nivel piezométrico, se deberán considerar 2 condiciones. La primera, a corto plazo, considerará que el nivel freático está a 3 mts. de profundidad; la segunda, a largo plazo, deberá considerar que se ha presentado un abatimiento de 5 mts. en el nivel de aguas freáticas.

Como se mencionó, fué posible contar con parte de la memoria de cálculo del análisis de cargas de la estación, con ellas se conocieron las fuerzas que se transmiten al cabezal del pilote.

El incremento de esfuerzos al nivel del centro del túnel se determinó por medio de la teoría de Boussinesq.

El esfuerzo que transmite la estación al nivel del centro del túnel resulta ser de 1.25 ton/m².

El procedimiento de excavación fué de acuerdo con los siguientes lineamientos:

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

-La presión de lodos de excavación fué de 0.2 kg/cm² mayor a la hidrostática.

-La presión en el frente del túnel ejercida por el escudo fué de 1.7 kg/cm².

-La inyección de mezcla selladora fué se efectuó por todos los barrenos de inyección, inmediatamente después de la colocación de las mismas. El volumen de inyección fué de 2.0 m³ por anillo de dovelas.

Se evaluaron las deformaciones provocadas por el tuneleo por la relajación de esfuerzos, utilizando el método del elemento finito, se determinaron también las deformaciones causadas en los pilotes de las zapatas de la estación Jamaica.

Los momentos que se provocaron debido al tuneleo, en los pilotes de la estación, fueron fácilmente soportados por estos, pues el armado de los pilotes es uniforme y se diseñaron para el

valor máximo, el cuál se presenta en la parte más alta del pilote.

Los asentamientos que indujeron al tuneleo, en terminos generales, se pueden clasificar como:

-Asentamientos provocados por deformaciones del frente del túnel.

-Asentamientos debidos al remoldeo del subsuelo.

-Asentamientos debidos a la relajación de esfuerzos por el proceso de descarga que provoca el tuneleo en la masa del suelo.

La presión en el frente fué de 1.7 kg/cm^2 , para lo cual el factor de estabilidad resultó ser de 4.1; De acuerdo con casos historia (Peck, 1969), los asentamientos provocados por deformaciones en el frente fueron pequeños, es decir, tolerables por las estructuras que se encuentran cercanas al eje del túnel.

Los asentamientos debido a la modificación del estado de esfuerzo en la masa del suelo, se evaluaron por medio del método del elemento finito.

IV.6 INSTRUMENTACION Y MEDICIONES

Durante la construcción del tramo se llevó a cabo un estudio para conocer las deformaciones producidas por la excavación del tramo, tanto a lo largo del eje, como en las edificaciones adyacentes.

El estudio estuvo dividido en 2 fases, para lo cual hubo necesidad de instalar una serie de instrumentaciones que a continuación mencionamos:

INSTRUMENTACION DE LA 1ra. FASE

Se instalaron 2 bancos de nivel profundos BNP, el BNP-1 a 37.6 mts. de profundidad y el BNP-2 a 47.2 mts. de profundidad, ubicados a 35 mts. a la derecha de la estación 1+738, en el área de lumbrera 2.

55 bancos de nivel superficial, BNB instalados en los primeros 960 mts., entre las estaciones 1+704.5 y 2+668.1

4 bancos para referenciar las nivelaciones, retirados de 35 a 60 mts. del eje del túnel.

5 secciones de BNS transversales al eje del túnel.

Testigos en edificaciones cercanas al trazo del eje del túnel.

3 secciones de convergencia: Una de 6 hilos en el anillo A-10 y 2 de 3 hilos en los anillos A-41 y A-77.

Es importante señalar que los 55 BNS se instalaron a cada 25 mts. sobre el eje, en vez de los 50 mts. contemplados originalmente en el proyecto inicial, además de puntos intermedios temporales, lo que permite contar con información más detallada de los movimientos producidos por la excavación.

MEDICIONES DE LA Ira. FASE

Las mediciones no solo se realizaron con la frecuencia prevista, sino que se intensificaron en los primeros 10 BNS

ubicados en el área de la lumbrera, pues se presentó un hundimiento el día 26 de Mayo, en los inicios de la obra.

Se obtuvieron gráficas Tiempo vs. Deformación de la superficie del terreno a lo largo del eje del túnel, seleccionadas de las determinadas diariamente, con el propósito de ilustrar con claridad la evolución de las deformaciones en función del avance del frente.

También se obtuvieron gráficas Tiempo vs. Deformación de los primeros 19 BNS instalados hasta la estación 1+804.4

Gráficas de la presión del frente del túnel.

Gráficas de la velocidad de empuje.

Gráficas de la distancia del frente al BNS en cuestión.

Gráficas que muestran las deformaciones medidas en una sección transversal del túnel.

Se registraron los movimientos verticales de testigos

colocados en las edificaciones adyacentes.

Se graficaron las deformaciones medidas en las secciones de convergencia.

CONCLUSIONES DE LA 1ra. FASE

Con respecto al hundimiento que se presentó el día 26 de Mayo, se determinó que las causas fueron que en el subsuelo se encuentran cavidades que se sospecha que existen por el excesivo material utilizado para sellar las perforaciones de tres piezómetros localizados en el área hundida. Y que la presión en el frente fué baja hasta el momento de ocurrir la falla, siendo de 0.5 a 0.7 Kg/cm².

De las mediciones se determinó que el nivel máximo de la superficie hundida fué de 30 cms. y que el hundimiento continuó durante 15 días con una velocidad promedio de 1 mm/día.

El avance del túnel hasta el 10 de Julio fué :

Longitud total de 104.21 mts.

Velocidad de avance irregular con algunos periodos de suspensión, lo cual en promedio fué de 1.8 mts/dfa, con un aumento de 6.8 m/día en los últimos 5 días.

La presión del frente fué de 0.5 a 0.7 Kg/cm² hasta el cadenamiento 1+711.7, de 1.2 a 1.5 Kg/cm² hasta el cadenamiento 1+725.7 y de 1.6 a 2.0 Kg/cm² hasta el cadenamiento 1+808.7

El hundimiento máximo registrado después de la falla, fué de 30 mm. al eje del túnel, con tendencia a disminuir la velocidad de los 11 a 15 días después del paso del escudo.

El asentamiento máximo registrado por los testigos en las edificaciones adyacentes fué de 25 mm. sin registrarse daños como agrietamientos, desplomes o desniveles.

INSTRUMENTACION DE LA 2da. FASE

3 bancos para referenciar las nivelaciones de la

instrumentación.

5 Secciones de banco de nivel superficial transversales al eje del túnel.

Testigos a edificaciones cercanas al trazo del eje del túnel entre las estaciones 1+880 y 2+238

7 Secciones de convergencia, 2 de 6 hilos en los anillos 107 y 203 y 4 de 3 hilos en los anillos 25, 146, 177, 234 y 263.

una estación piezométrica EP-1, localizada a 27 mts a la izquierda del kilómetro 2+211. La estación estuvo formada por un tubo perforado para observación del nivel fático de 4.5 mts de longitud, dos piezómetros abiertos a 13.62 y 36.73 mts de profundidad y un piezómetro neumático a 23.0 mts de profundidad.

A la fecha la instrumentación total instalada, desde el inicio de estos trabajos es la siguiente:

7 Bancos Superficiales, para apoyo de las nivelaciones de las referencias.

2 Bancos de Nivel Profundos .

55 Bancos de Nivel Superficiales a lo largo del eje del túnel.

10 Bancos de Nivel Superficiales transversales al eje del túnel.

72 testigos en edificaciones cercanas al túnel.

10 secciones de convergencia, 3 de 6 hilos y 7 de 6 hilos.

1 Estación Piezométrica, formada por 3 piezómetros y un tubo de observación del nivel freático.

MEDICIONES DE LA 2da.-FASE

Los bancos de nivel superficial a lo largo del eje del túnel se midieron una vez por semana, excepto los localizados 80-100 mts. antes y después del escudo en los que la medición fue diaria. Estas frecuencias se establecieron en función de los desplazamientos observados.

Hasta el 25 de Julio todos los BNS se midieron diariamente, incluyendo hasta el BNS 24, que se localizaba 50 mts. adelante de la posición que en esa fecha tenía el escudo.

Con la misma frecuencia, en función de su distancia al escudo, se efectuaron las nivelaciones de los puntos de las secciones transversales y de los testigos en edificaciones.

El circuito de bancos de referencia se revizó semanalmente con una nivelación diferencial entre ellos, así como los bancos de nivel profundo colocados en la vecindad de la L-2.

En relación con las secciones de convergencia, a partir de la cuarta (Anillo 107), las medidas base se realizaron antes de que saliera el anillo del faldón del escudo y también antes de que se realizara la inyección correspondiente. El mismo día, inmediatamente después de la inyección, se tomó la segunda lectura. A partir del siguiente día y durante el tiempo que se requiere para que el túnel avance 35 mts., solo se pueden hacer mediciones de los hilos horizontales, en virtud de la posición

relativa del equipo de arrastre. Una vez que este pasa, las mediciones se hacen diariamente hasta que el escudo se aleja 100 mts., a partir de entonces las mediciones se realizan semanalmente.

Por último, en la estación piezométrica EP-1 se iniciaron las mediciones correspondientes al día 10 de Julio

CONCLUSIONES DE LA 2da. FASE

De las nivelaciones entre los bancos superficiales y los profundos se dedujo que en el área de la lumbrera, el hundimiento regional de la superficie del terreno es del orden de 1.6 cm/mes. Con respecto a los depósitos profundos (BNP-2) de 1.0 cm/mes, con respecto a la capa dura (BNP-1), los valores eran preliminares, dado el poco tiempo de las mediciones.

Las primeras lecturas piezométricas indicaron abatimientos de la presión de poro de los órdenes de 9.8 t/m² en la primera capa dura, de 2.1 t/m² a 23 mts. de profundidad y de 0.8 t/m² a 13 mts. de profundidad.

De los perfiles de los hundimientos de la superficie del terreno a lo largo del eje del túnel, se observó que dichas deformaciones se redujeron notablemente, apreciándose una disminución a partir del día 6 de Agosto y otra más importante, a partir del 12 del mismo mes. Este hecho parece estar relacionado con la velocidad media de avance del túnel que se incrementó de 4.9 mts/día (5-6 Agosto) a 6.7 mts/día (6-12 de Agosto) y de 10.0 mts/día del (13-20 de Agosto). Para los mismos intervalos los valores medios de los hundimientos a corto plazo fueron de 31 mm, 21 mm y 9 mm. Con respecto a los otros parámetros de construcción (Presión de lodos en el frente, velocidad de empuje, volumen y presión de inyección de mortero) no sufrieron variaciones importantes, por lo que se descartó su influencia en la variación de las deformaciones.

La influencia de las propiedades del subsuelo no se pudieron analizar por desconocer su detalle a lo largo del tramo en que se desarrollo el túnel.

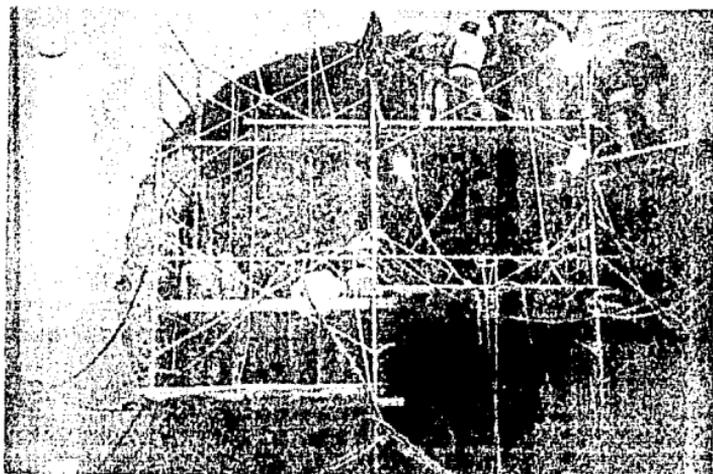
Las gráficas tiempo vs. deformación de los BNS 28 y 29, comparadas con las de los BNS 6 a 26 corroboraron lo anterior.

Se obtuvieron los perfiles de hundimientos ocurridos a los 8, 10 y 11 días del paso del escudo bajo los BNS. Se apreció que las deformaciones ocurridas por la construcción del túnel en puntos fuera de su eje también disminuyen en magnitud y en la amplitud del área de influencia. En la sección del BNS-28 a los 11 días del paso del escudo las deformaciones son un 30% de las registradas en la sección del BNS-14 8 días después del paso del mismo.

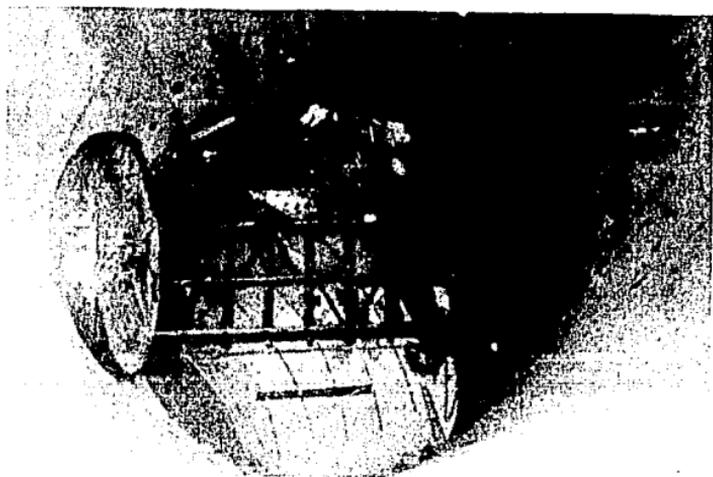
En lo referente al comportamiento de las edificaciones inmediatas al eje del túnel, a últimas fechas el asentamiento máximo medido en construcciones alejadas 7 mts. es de 10 mm. al día siguiente del paso del escudo y de 17 mm. a los 14 días.

Estos valores también son menores a los medidos anteriormente en otras edificaciones, cuando el avance en la construcción del túnel era muy irregular.

En las secciones de convergencia instaladas y con medida base interior a la salida del faldón del escudo, el alargamiento del hilo horizontal central es de 10 a 26 mm. (anillo 203), habiendo ocurrido la mayor parte de la derfación en el momento en que sale el faldón. Después de este las deformaciones son reducidas, menores de 5 mm.



PREPARACION PARA ENTRADA DEL ESCUDO



PREPARACION PARA SALIDA DEL ESCUDO



MURO DE REACCION PARA LANZAMIENTO DEL ESCUDO



COLOCACION DE LOS PRIMEROS ANILLOS DEL TUNEL

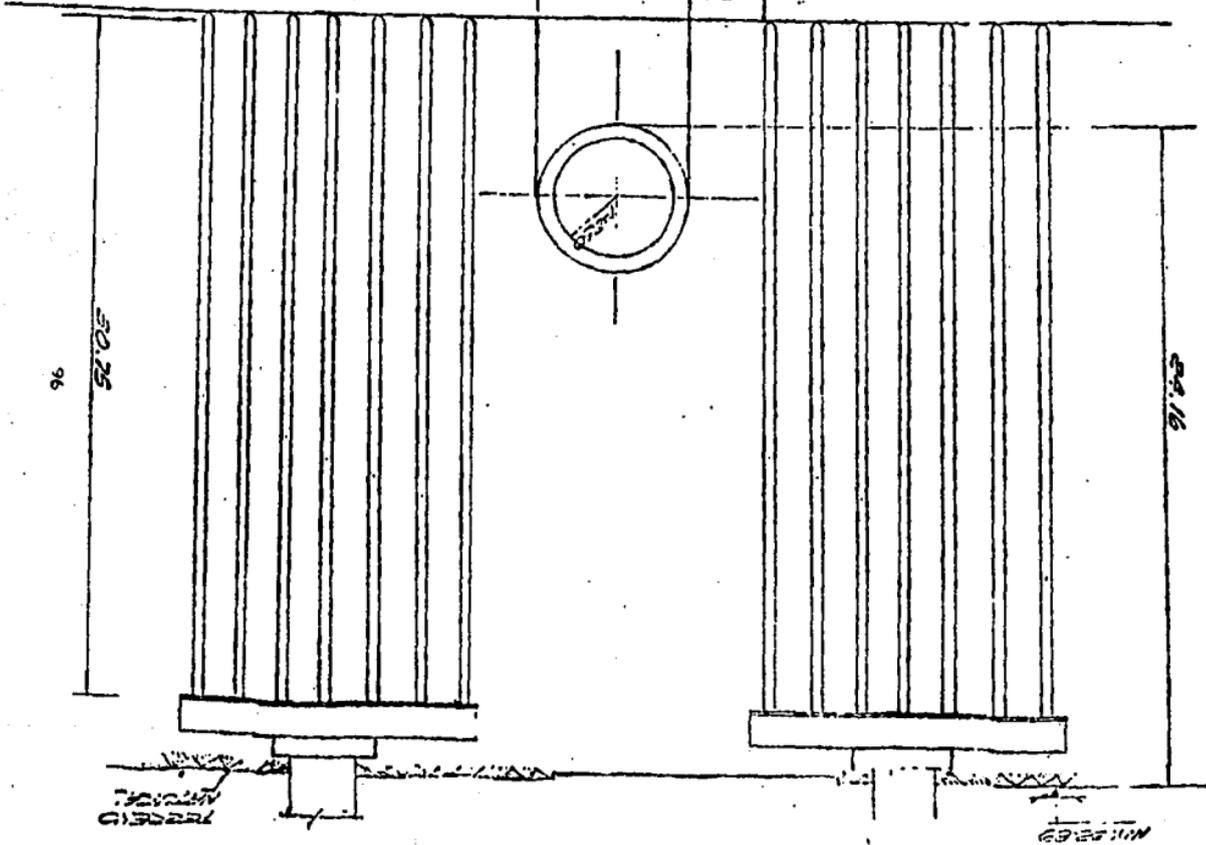


GRUA PORTICO Y PLANTA DE MEZCLADO



CARACAMO DE SUMINISTRO DE LODOS

| | | |
|-------|-------|-------|
| CB 11 | | |
| 21'2" | 68'9" | 21'2" |



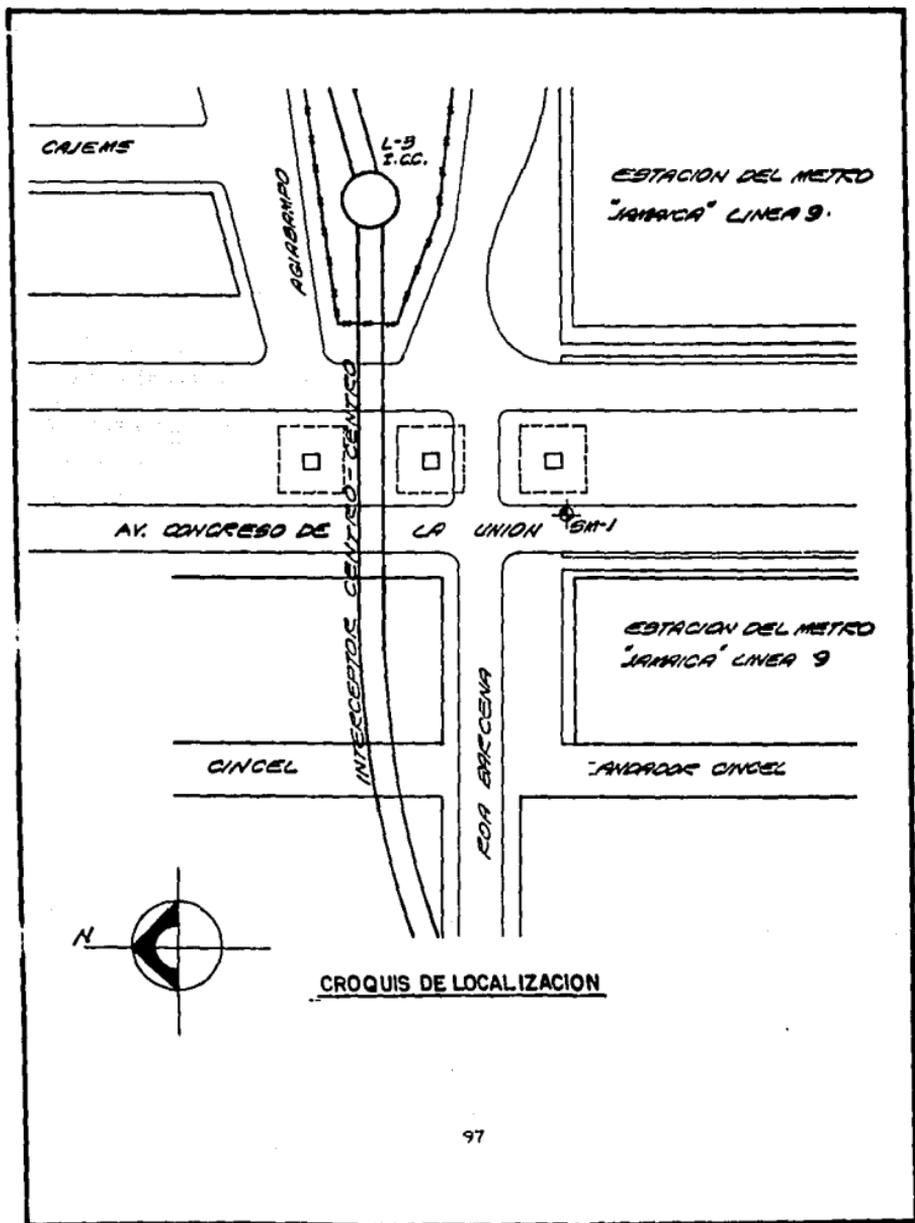
96

52'0 1/2

54'1 1/2

FOUNDATION
CISBERR

FOUNDATION
CISBERR



CROQUIS DE LOCALIZACION

C A P I T U L O V
=====

" CONCLUSIONES Y COMENTARIOS "

La aplicación de este sistema en México ha sido definitivamente exitoso para el tipo de material excavado, ofrece mas seguras y limpias condiciones de trabajo que otros métodos usados y esto ha repercutido favorablemente en el desempeño del personal, obteniendo avances excelentes y permitiendo ejecutar programas de obra muy agresivos.

El equipo no ha presentado fallas mayores durante su operación y la capacidad de los gatos de empuje como el momento de torsión no ha sido aún exigido al máximo, solo se han presentado pequeños problemas de control de línea durante la excavación en curvas, pero en general el alineamiento y los niveles de pendiente han sido buenos.

El continuo soporte del frente unido a una correcta inyección de mezcla de sellado antes de permitir que el material granular fluya hacia el espacio dejado entre la coraza del escudo y el suelo, han contribuido a que los asentamientos en la superficie sean mínimos.

Para observar la influencia del método constructivo en los movimientos superficiales se instalaron puntos de control a lo largo del trazo del túnel, los asentamientos producidos han sido mucho menos que los registrados en otros túneles de la Ciudad de México. El hundimiento promedio sobre el eje es de 12 mms. y el registrado como máximo es de 25 mms.

Se formó una pequeña depresión en la sección transversal del túnel así como un leve bufamiento en el suelo lateral al escudo, se observó que el material se recuperó con el tiempo.

EL METODO PRESENTA ALGUNAS DESVENTAJAS QUE MENCIONAREMOS:

La excavación se torna difícil cuando se encuentra obstáculos ajenos al suelo y boleos.

Requiere de una planta de tratamiento de lodos relativamente costosa y compleja.

Requiere de experiencia por parte del constructor ya que el frente no se ve.

ALGUNAS DE LAS VENTAJAS SON:

No requiere de aire comprimido para sostener el frente.

El suelo por excavar no necesita de un tratamiento especial para mejorar sus características mecánicas.

Mejora las condiciones ambientales y de trabajo dentro y fuera del túnel al no provocar explosiones, contaminación vibraciones, etc.

No requiere del abatimiento del nivel frático excepto en condiciones específicas.

Minimiza los asentamientos y daños a estructuras adyacentes.

El sistema central de control automático hace posible un tuneo óptimo.

Garantiza la estabilidad del túnel en todo momento.

No requiere de grandes lumbreras para manejo del material de rezaga.

El triple sello colocado en el faldón del escudo evita la filtración de agua al túnel y permite que la inyección de la mezcla que llena el hueco entre el suelo y las dovelas se lleve a cabo inmediatamente después de salir el anillo del faldón del escudo.

El sistema ha comprobado su eficacia y bondad en la excavación de las arcillas de esta Ciudad y ofrece una excelente alternativa de tunelaje en suelos con similares características.

El uso de escudos como equipo de construcción de túneles en suelos blandos se ha generalizado en las últimas décadas y en diferentes partes del mundo, ofrecen una buena expectativa de uso en nuestro país, especialmente en la Ciudad de México por la composición del subsuelo.

Los avances registrados durante la construcción han sido en promedio de 12 ms. por día de 24 hrs., con un avance máximo de 16 mts.

Es importante hacer notar que los avances que se obtienen al excavar los primeros 50 mts. de la lumbrera inicial o cuando la excavación no continúa sobre la misma dirección de las lumbreras intermedias, son notablemente menores a los registrados en promedio, debido a los paros interminentes necesarios para colocar los equipos auxiliares detras del escudo y posteriormente avancen simultáneamente con el escudo al ser jalados por este.