



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA CONSTRUCCIÓN

LICENCIATURA EN INGENIERIA DE CONSTRUCCION, CON

RECONOCIMIENTO DE VALIDEZ OFICIAL DE ESTUDIOS

DE LA S.E.P., SEGUN ACUERDO N°. 84330, DE

FECHA 27 DE NOVIEMBRE DE 1984.

“CONSTRUCCION DE TUNELES EN SUELOS BLANDOS”

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CONSTRUCTOR
PRESENTAN:
GALINDO ISLAS ABRAHAM
RUIZ SANDOVAL DE LA ROSA ARMANDO DE JESUS

DEDICAMOS ESTE TRABAJO A

A MI ABUELO PEDRO (+)

**"POR EL APOYO, CUANDO EMPEZABA A
DAR LOS PRIMEROS PASOS Y SABER GUIARME"**

A MIS PADRES ALVARO Y GUILLERMINA

**"POR TODO EL AMOR, APOYO Y COMPRENSION
QUE DEPOSITARON EN MI Y PRINCIPALMENTE
POR HABER CREIDO EN MI"**

A MIS HERMANOS PATRICIA, AARON Y ALBERTO

**"POR HABER COMPARTIDO Y APORTADO ALGO DURANTE
ESTE CAMINO DE ESPUERZOS, EN MI ETAPA COMO
ESTUDIANTE"**

A LA BANDA : ING. AWADOR, FRANCISCO, ARQ. GUADALUPE, JORGE Y SALVADOR

**"POR ESE LAZO QUE NOS UNIO Y NOS HA SEGUIDO UNIENDO
A TRAVEZ DEL TIEMPO Y LA DISTANCIA"**

A MIS LEALES AMIGOS FRANCISCO Y ARQ. GUADALUPE

**"POR SU MARAVILLOSA FORMA DE DESENTRAÑAR
LA PALABRA AMISTAD"**

A MIS COMPAÑEROS, COMPAÑERAS, AMIGOS, AMIGAS

**"AL ING. EFRAIN ROSADO, ING. VICTOR AURIOLES, VERONICA
VIVANCO Y PERSONAS EN GRAL. QUE CON SU APOYO, CONOCIMIENTOS
INFLUYERON EN LA CONCLUSION DE ESTA ETAPA"**

A MI AMIGO, COMPAÑERO ARMANDO Y A SU FAMILIA

**"POR TODO EL APOYO Y ATENCIONES QUE TUvIERON HACIA MI
Y HACIA EL PARA PODER FINALIZAR ESTAETAPA Y ASI DAR
COMIENZO A UNA NUEVA"**

A MI PROFESOR Y AMIGO ING BALDERAS

"POR SU APOYO Y CONSEJOS DURANTE LA CARRERA"

A MIS PADRES ARMANDO Y BEATRIZ :

"POR EL APOYO QUE SIEMPRE ME HAN BRINDADO Y
POR LOS CONSEJOS TAN ACERTADOS QUE HE RECIBIDO"

A MIS HERMANOS EDUARDO, ENRIQUE Y CLAUDIA :

"POR SER PARTE DE MIS DESVELOS
Y COMPRENDER MI REALIZACION"

A MI NOVIA MONICA :

"TE AGRADEZCO POR AQUELLOS MOMENTOS DIFICILES
EN QUE SIEMPRE ME SUPISTE DAR EL, APOYO PARA
SALIR ADELANTE"

A MI MADRE :

"DOY LAS GRACIAS POR TODOS ESTOS AÑOS
DE CARIÑO, AYUDA Y COMPRENSION QUE ME
HAS BRINDADO"

A MIS AMIGOS

"POR LA AMISTAD QUE SIEMPRE ME BRINDARON
TAN DESINTERESADAMENTE"

A MI AMIGO Y COMPAÑERO ABRAHAM :

"POR TODO EL APOYO QUE SIEMPRE ME BRINDASTE
Y LA AMISTAD QUE NOS UNE"

A NUESTRO ASESOR Y AMIGO ING. CELSO BARRERA :
"POR TODO SU TIEMPO, PATROCINIO Y DEDICACION DURANTE
LA CARRERA Y PARA LA ELABORACION DE ESTE TRABAJO"

AL ING. MIGUEL A. VAZQUEZ :
"POR LOS SABIOS CONSEJOS QUE SIEMPRE NOS DIO"

I N D I C E

CAPITULO I	JUSTIFICACION	1
CAPITULO II	METODOLOGIA EMPLEADA	3
CAPITULO III	INTRODUCCION	4
CAPITULO IV	ASPECTOS GENERALES	7
4.1- ANTECEDENTES HISTORICOS DE LOS TUNELES		
4.2- UTILIZACION DE LOS TUNELES		
4.3- IMPORTANCIA		
4.4- EL DRENAJE PROFUNDO		
CAPITULO V	METODOS DE PERFORACION EN SUELOS BLANDOS SEMIBLANDOS Y ROCAS	25
5.1- OBJETIVO		
5.1.1 CLASIFICACION EMPIRICA DEL TUNELERO		
5.2- TUNELES EN ROCAS		
5.2.1 METODO CONVENCIONAL		
5.2.2 TOPOS O MOLES		
5.2.3 TUNELADORAS DE PLUMAS		
5.2.4 NUEVO METODO AUSTRIACO		
5.2.5 OTROS METODOS		
5.3- TUNELES EN SUELOS SEMI-BLANDOS		
5.3.1 MAQUINAS PERFORADORAS EN SUELOS BLANDOS		
5.4- TUNELES EN SUELOS BLANDOS		
5.4.1 MAQUINAS DE EXCAVACION (ESCUDOS)		
5.4.2 CLASIFICACION Y DESCRIPCION		
5.5- ESCUDO DE FRENTES ABIERTO Y AIRE COMPRESIONADO		
5.5.1 USO DEL AIRE COMPRESIONADO		
5.5.2 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA		
5.5.3 INSTALACIONES Y EQUIPOS UTILIZADOS		
5.5.4 CICLO DE OPERACION		

5.6- ESCUDO DE FRENTES ABIERTO CON DOS CABEZAS ROZADORAS	
5.6.1 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	
5.6.2 CICLO DE EXCAVACION	
5.7 ESCUDO CON FRENTES PRESURIZADO DE LODOS	
5.7.1 DESCRIPCION	
5.7.2 ESPECIFICACIONES	
 CAPITULO VI SISTEMAS DE SOPORTE	
6.1- OBJETIVOS	90
6.1.1 ELECCION DEL SISTEMA DE SOPORTE	
6.2- DISTINTOS TIPOS DE SISTEMAS DE SOPORTE	
6.2.1 DOVELAS DE CONCRETO	
6.2.2 MARCOS METALICO Y RETAQUE DE MADERA	
6.2.3 CONCRETO LANZADO Y ANCLAS DE FRICCIÓN	
6.2.4 CUALQUIER OTRO SISTEMA	
 CAPITULO VII INSTRUMENTACION	
7.1- OBJETIVO	109
7.2- DESCRIPCION DE INSTRUMENTOS	
7.3- INSTRUMENTACION EN LOS DIFERENTES SISTEMA DE SOPORTE	
 CAPITULO VIII APLICACION PRACTICA	
8.1- METODO DE PERFORACION	128
8.1.1 TUNEL L4A DEL INTERCEPTOR CENTRAL A LA L1 DEL INTERCEPTOR CENTRO CENTRO	
8.1.2 METODO DE PERFORACION	
8.1.3 DESCRIPCION GENERAL DEL METODO CONSTRUCTIVO	
8.1.4 TRATAMIENTO DEL SUELLO A LA SALIDA Y LLEGADA A UNA LUMBRERA	
8.1.5 LANZAMIENTO DEL ESCUDO Y EXCAVACION DE LOS PRIMEROS 50 METROS	
8.1.6 EXCAVACION METROS SUBSECUENTES	
8.1.7 OPERACION DEL ESCUDO	
8.1.8 EXCAVACION DE LOS ULTIMOS 9.00 METROS Y LLEGADA DEL ESCUDO A LA LUMBRERA 1 DEL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO.	
8.2- SISTEMA DE SOPORTE	
8.2.1 REVESTIMIENTO PRIMARIO	
8.2.2 REVESTIMIENTO DEFINITIVO	
8.2.3 CICLO DE ACTIVIDADES	
8.3- INSTRUMENTACION	
8.3.1 NIVELACIONES SUPERFICIALES	
8.3.2 SECCIONES DE CONVERGENCIA	

CAPITULO IX	CONCLUSIONES	196
CAPITULO X	BIBLIOGRAFIA	199
CAPITULO XI	ANEXO FOTOGRAFICO	200

CAPITULO I

J U S T I F I C A C I O N

JUSTIFICACION

El crecimiento inmoderado de la mancha urbana en la Ciudad de México, la explotación inadecuada de los acuíferos del Valle para el suministro de agua potable a los habitantes de la Ciudad y la existencia de un suelo muy comprensible ha hecho necesaria la construcción de conductos (túneles) de gran diámetro localizados a profundidades relativamente grandes. lo anterior dada la creciente demanda originada por el crecimiento de la población y por los daños causados a los sistemas de desagüe existentes debido a los hundimientos de la zona centro de la Ciudad de México.

La construcción de estos conductos en suelos blandos reviste especial importancia por el peligro inminente de falla o colapso al realizar las excavaciones o por la aparición de deformaciones excesivas en la superficie, ésto ha originado la necesidad de emplear nuevas técnicas de túneleo que permitan subsanar estos problemas. Una técnica que a la fecha a presentado resultados es el empleo de escudos de frente presurizado de lodos como el descrito en el presente trabajo el cual fue utilizado en la excavación del tramo L 4A del interceptor central a la L 1 del interceptor centro-centro del sistema de drenaje profundo; tramo excavado en la zona centro de la Ciudad de México en suelo arcilloso altamente comprensible.

Los beneficios que una obra de esta naturaleza proporciona a los habitantes de dicho sector son notables por las mejoras sanitarias que esto trae consigo.

OBJETIVOS

Dar a conocer los distintos tipos de perforación en suelos blandos y la problemática de la construcción de túneles.

Mostrar las aportaciones de esfuerzo e ingenio de miles de trabajadores mexicanos, para darle solución a la perforación de túneles en suelos blandos existentes en el Valle de México, por medio de un "**ESCUDO DE FRENTE PRESURIZADO**", a base de lodos y así dar otras soluciones a otros problemas que afronta la CD. de México y zona Metropolitana como es el desalojo de aguas pluviales, negras y el problema del transporte.

Conocer los beneficios que proporciona a los habitantes de la CD. de Mexico esta obra hidráulica que se cuenta entre las más importantes del mundo en su tipo.

CAPITULO II

M E T O D O L O G I A

E M P L E A D A

METODOLOGIA EMPLEADA

- A) Investigación directa en bibliotecas
- B) Conferencia sobre "EL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO DE LA CD. DE MEXICO", dictada por el Ing. Juan Martinez Garcia Director General de la D.G.C.O.H., en coordinación con la Asociación Mexicana de Hidráulica A.C.
- C) Visitas Técnicas al Sistema de Drenaje Profundo en coordinación con las autoridades de la D.G.C.O.H.
- D) Entrevista con el Ing. Juan Manuel Anguiano (jefe de frente)
Entrevista con el Ing. Oscar Hernández, Director de Area de la D.G.C.O.H.

CAPITULO III

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

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

Desde su fundación la Ciudad de México enfrentó el reto de estar ubicada en la cuenca cerrada del Valle de México, lo que obligó a sus gobernantes a dotarla de obras para el desalojo de aguas negras y pluviales.

Aún en el siglo pasado el centro de la Ciudad se localizaba por arriba del nivel de agua del lago de Texcoco; así, el drenaje de la Ciudad desembocaba por gravedad a dicho lago. Pero en los últimos años, a consecuencia del abatimiento del agua freática, la Ciudad de México ha sufrido serios hundimientos. A ello se debe que actualmente el centro de la ciudad se ubique por debajo del nivel de agua del lago de Texcoco, de tal suerte que el sistema de drenaje (el gran canal) dejó de operar por gravedad haciendo necesario el uso de un sistema adicional de bombeo.

Para resolver el problema de las constantes inundaciones y dotar a la ciudad de una red de drenaje eficiente, que diera servicio al mayor número posible de habitantes, en la década de los 60's el gobierno de la Ciudad inició los estudios para la construcción del Sistema de Drenaje Profundo.

En todas sus etapas ha sido necesaria la construcción de túneles a mediana y gran profundidad en una diversidad de suelos; así, la construcción del Emisor Central hizo necesaria

B I B L I O T E C A
Instituto Tecnológico de la Construcción

la utilización de diversos métodos de excavación para las diferentes formaciones geológicas que atraviesa.

Actualmente se desarrollan las obras de los interceptores profundos en el centro y poniente de la Ciudad. En estas zonas el sub-suelo lo constituyen en su mayor parte arcillas altamente compresibles, comunmente llamados suelos blandos.

El presente trabajo resume los aspectos más relevantes que se presentan en la construcción de túneles en suelos blandos, particularizando en la construcción del túnel en el tramo que comprende de la lumbre 4A del interceptor central (L4A IC) a la Lumbre 1 del Interceptor Centro Centro (L1 ICC) del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de Mexico.

El método constructivo que se emplea en este tramo, implica el uso de un escudo excavador con frente presurizado de lodos, de 6.24 m de diámetro (conocido con el nombre Slurry Shield).

Algunas de las ventajas que ofrece con respecto a los escudos tradicionales (frente abierto, aire comprimido) son : empleo de menor mano de obra, mayor eficiencia en el manejo del material producto de la excavación y un mejor control de la estabilidad del frente

La experiencia con este escudo en la Ciudad de México, se remonta a 1984 cuando se utilizó uno de 4.00 m de diámetro en la construcción de un tramo del Interceptor Oriente de Iztapalapa.

Es por esto que para desarrollar este trabajo fue necesario recurrir principalmente a memorias de cursos, seminarios y articulos, ya que existe poca bibliografia al respecto.

CAPITULO IV

A S P E C T O S

G E N E R A L E S

4.00 ASPECTOS GENERALES

4.1 ANTECEDENTES HISTORICOS

Las oquedades subterráneas han sido desde siempre un valioso recurso auxiliar para la vida del hombre. En un principio la humanidad las utilizó como refugios contra enemigos y para protegerse de los elementos de la naturaleza. En algunos casos los convirtió en primitivos museos de arte que aún conservan pinturas rupestres.

Al paso del tiempo, el hombre se convierte en constructor de oquedades subterráneas (túneles) con fines militares ofensivos o defensivos, con fines económicos para la extracción de metales y minerales y posteriormente, con el crecimiento urbano, al complicarse los servicios de abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas negras se emplearon túneles de conducción de aguas.

La construcción de túneles y cavidades subterráneas siempre ha constituido un reto para los pobladores del planeta en todas las épocas. La tecnología sobre el particular se ha superado continuamente, logrando optimizar los sistemas constructivos tradicionales y desarrollar nuevas técnicas para suelos inestables que en otros tiempos no hubiera sido posible horadar.

La experiencia túnelera en México se inicia con los constructores Teotihuacanos, Mayas y Aztecas, en cuyas ciudades es usual encontrar conductos subterráneos para accesos secretos o para evacuación de aguas de lluvia.

En la época colonial debido a los bastos recursos minerales se desarrolla la minería con sus consecuentes perforaciones mineras.

En la época contemporánea se construyeron Túneles para ferrocarriles. Con el desarrollo hidroeléctrico y de riego, se han construido grandes cavidades subterráneas para alojar casas de máquinas con todo el sistema de túneleo requerido para su funcionamiento y túneles de desvío para la construcción de las obras.

El abastecimiento de agua potable para los grandes centros de población también ha requerido de túneles importantes. Ejemplo de ello, tenemos el Sistema Cutzamala, el Acueducto Linares (Monterrey), el Acueducto de San Luis Rio Colorado (Tijuana) entre muchos otros.

Problemas de transportación masiva en la Ciudades de México y Guadalajara condujeron al desarrollo de nuevas tecnologías para construcción de túneles en suelos blandos y sueltos. Finalmente problemas de drenaje, resueltos con túneles profundos, permiten confirmar que la experiencia mexicana sobre el particular está a la altura de las mejores del mundo.

Puede decirse que los túneles son una rama importante de las excavaciones subterráneas, y se define según K. SZECHY como "paisajes subterráneos construidos sin remover la tierra o roca sobreyacente".

El área urbana no es inagotable y su utilización está sujeta a las prioridades en el servicio de sus habitantes. Lógicamente, primero se aprovecha la facilidad que representa la superficie del terreno; después lo construido constituye el "obstáculo" que debe vencerse para colocar nuevos servicios. Tarde o temprano, toda ciudad tiene que afrontar el reto de construir túneles.

B I B L I O T E C A
Instituto Tecnológico de la Construcción

4.2 UTILIZACION DE TUNELES

- a) Túneles para la industria minera
- b) Túneles para obras civiles
 - Vías de comunicación : como son para ferrocarriles, carreteras, peatonales, navegación, trenes urbanos.
 - Conducción : para generación hidroeléctrica, agua potable, transporte de materiales en plantas industriales.
 - Servicio : servicios municipales, drenaje.
- c) Militares
 - refugios para ataques aéreos
- d) Servicio industriales
 - Almacén de líquidos, cocheras.

4.2.1 CLASIFICACION DE TUNELES

POR SU POSICION O ALINEAMIENTO :

- a) Túneles "colgados" (de silla de montar) : sirven para intercomunicar valles vecinos. Se emplean generalmente en líneas de ferrocarril de poco tránsito y en carreteras.

- b) Túneles de "base" : Sirven también para intercomunicar valles vecinos, pero a diferencia de las anteriores, se localizan en la base de la montaña. Se emplean en ferrocarriles de alto índice de tránsito y en carreteras de 1^a categoría
- c) Túneles en "espiral" : poco usados ahora, sirven para desarrollar longitud en el interior de la montaña, ganar altura y mejor posición en sitios de acceso difícil.
- d) Túneles de "espolón" : sirven para librar estribaciones de una montaña.
- e) Túneles de "talud" : se localizan al pie de las montañas, en sitios donde la estabilidad superficial es crítica y los derrumbes dificultarían una solución superficial.

POR EL MATERIAL EXCAVADO :

- A) Túneles en roca competente o fracturada.
- b) Túneles en suelos compactos, sueltos o blandos.

POR SU PUNTO DE VISTA CONSTRUCTIVO :

- A) Túneles falsos :
 - cortar y cubrir
 - cubrir y después cortar
 - flotar y sumergir.

b) Túneles verdaderos :

- convencional con explosivos y marcos.
- convencional con explosivos y concreto lanzado.
- convencional con explosivos, anclas y concreto lanzado.
- con rascadoras y revestimiento convencional.
- con moles (topos) y revestimiento convencional.
- con escudos y dovelas.

4.3 IMPORTANCIA

Aspectos de diseño :

En todo túnel debe diseñarse : su geometría en planta, perfil y sección transversal; su estabilización temporal y final mediante el revestimiento; su proceso constructivo y los sistemas complementarios que hacen posible su operación.

Algunos de los factores que influyen para cada uno de estos diseños son :

- a) Finalidad del túnel, que condiciona la sección transversal mínima requerida para el paso de los vehículos, peatones o para el tren urbano, según sea el caso.
- b) Las especificaciones de trazo y pendiente de las vialidades superficiales vecinas del túnel.

- c) Propiedades mecánicas del medio, las cuales condicionan el método constructivo; el revestimiento temporal y permanente, así como en cierto modo la geometría de la sección transversal.

Estudios previos :

La ejecución de un túnel requiere efectuar una serie de estudios preliminares encaminados en principio a determinar su factibilidad económica y técnica para que posteriormente se realicen los estudios definitivos para la elaboración del proyecto después para realizar su diseño y proyectar su construcción. Los estudios previos más relevantes son :

- Análisis Económico :

Dentro de las construcciones civiles, el túnel es de las más costosas en su inversión inicial; consecuentemente los ahorros que se logran en sus dimensiones finales, tanto en longitud como en sección transversal, son significativas. En el análisis deben incluirse aspectos de desarrollo regional motivados por las nuevas obras.

- Exploración Geotécnica :

Es quizá la fase más importante de los estudios previos, ya que ello condicionará el procedimiento

constructivo y avance esperado del túnel lo cual permitirá estimar las cargas que intervendrán en el diseño de revestimiento temporal y definitivo.

La ubicación general del túnel está gobernada por su fin específico, mientras que su posición detallada depende de las características geológicas de la región.

Entre más preciso sea el conocimiento de la geología de la zona, se tendrán planos más confiables para la construcción del túnel, mejores avances y menos variaciones del presupuesto original.

- Objetivos de la Exploración Geotécnica :

- a) Determinar el origen y condiciones de las rocas o suelos
- b) Determinar las propiedades físicas y mecánicas de las rocas y/o suelos a lo largo de la línea propuesta para el túnel, delineando unidades geológicas y estatigráficas con propiedades relativamente homogéneas.
- c) Precisar los detalles geológicos y mecánicos que pueden afectar la magnitud de la presión de roca y suelos sobre el túnel, como contactos entre formaciones, fallas zonas de alteración, resistencias y deformaciones.

Las exploraciones deben continuarse durante la construcción del túnel, no sólo para confirmar las hipótesis de diseño sino para ratificar los procedimientos de construcción.

- Selección de las Características Geométricas :

En esta fase se establece el trazo más idóneo, elevación longitudinal y pendientes para facilitar el drenaje de agua hacia los portales. En los túneles sub-acuáticos no es posible drenar a gravedad y se requieren estaciones de bombeo que mantengan transitable el túnel. En los trenes urbanos pueden emplearse perfiles de trazo pendular que aceleren por gravedad los equipos a la salida de las estaciones y los frenen antes de llegar a la siguiente estación.

Las dimensiones y forma de la sección transversal del túnel se eligen en base a :

- a) Las tolerancias propias del túnel según su uso, así como a tolerancias especificadas.
- b) El tipo de presiones existentes en el material por excavar así como las propiedades mecánicas de éste.
- c) El procedimiento de construcción
- d) El material que formará el revestimiento del túnel, su resistencia y cargas que actuarán en él.

4.4 El Drenaje Profundo

LA REGION DEL VALLE DE MEXICO

La Ciudad de México se encuentra enclavada en la región sureste de la Cuenca del Valle de México, la cual hasta antes de la erupción de los volcanes que forman la sierra del Chichinautzin, era un valle que drenaba libremente sus aguas hasta Cuernavaca por el sur. Posteriormente a la erupción de dichos volcanes las aguas se represaron y se formó el Lago, cuya única salida posible fue por evaporación. Al paso del tiempo, el lago fue secándose y formando lagunas separadas de las que a la fecha únicamente subsisten la de Texcoco y los canales de Xochimilco - Chalco.

Por la morfología así constituida no es raro que las inundaciones hallan ocurrido continuamente en el Valle de México desde los tiempos remotos. (fig 4.1).

Las cenizas, producto de erupciones volcánicas, depositadas en el seno del lago fueron sedimentándose lentamente en forma floculenta, constituyendo a través del tiempo un suelo arcilloso sumamente comprensible y que se conoce con el nombre genérico de arcilla del Valle de México.

La estratigrafía general del subsuelo de la Ciudad de México consiste a grandes rasgos de las siguientes formaciones :

- Manto Superficial :

Ocupa generalmente los primeros cinco metros y consiste en rellenos artificiales heterogéneos con sucesión de capas arenosas, limo-arenosas y arcillo-limosas, en ocasiones cementadas con caliche y en general compactas.

- Formación Arcillosa Superior :

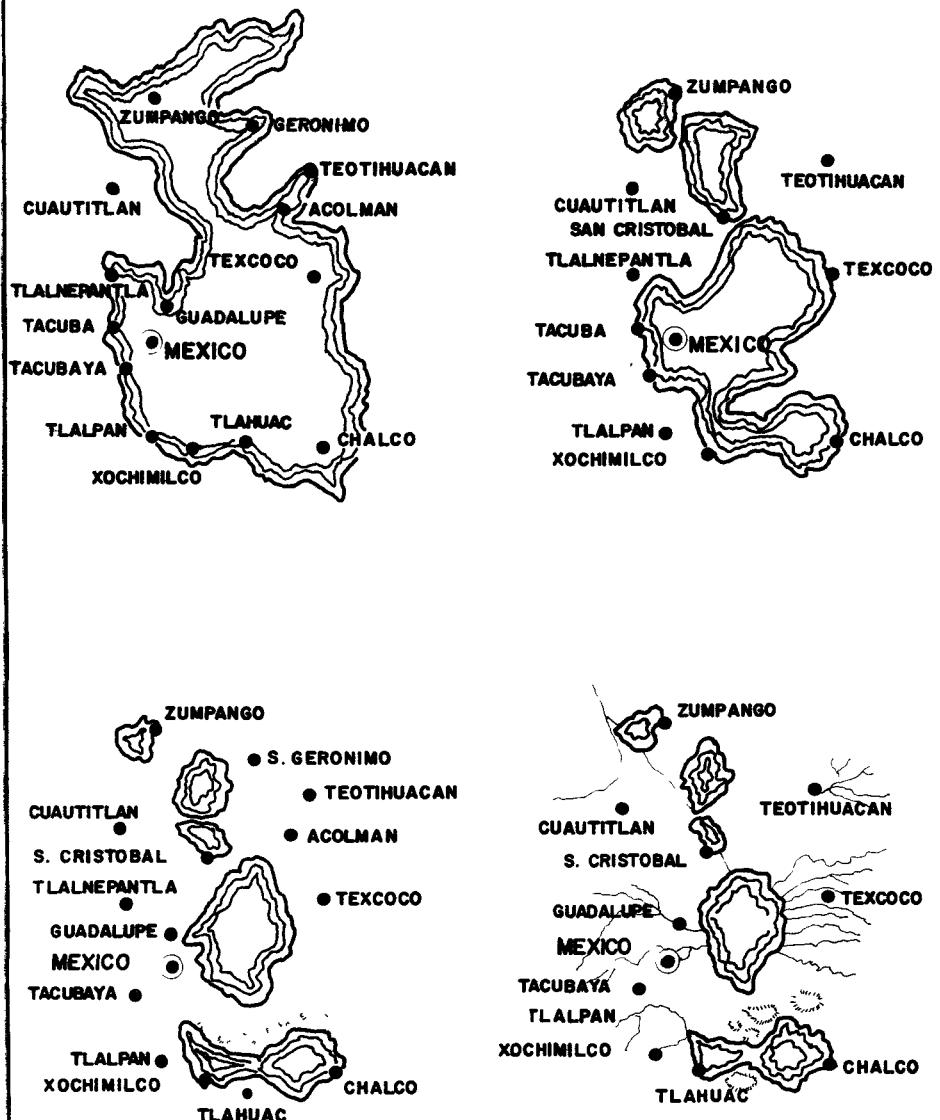
Son depósitos lacustres de ceniza volcánica de consistencia blanda a media, muy compresibles, con intercalaciones de mantos de arena; el espesor es del orden de 25 metros.

- Capa Dura :

Capa de arena limosa, limo-arenosa , muy compactas y en ocasiones cementadas; su espesor es del orden de 3.00 metros.

- Formación Arcillosa Inferior :

Son depósitos lacustres de ceniza volcánica de consistencia media a dura, compresibles, con intercalaciones de lentes de arena; el espesor es del orden de 8.00 metros.



(fig. 41)

RETROCESO DE LOS LAGOS EN EL VALLE DE MEXICO

- Depósitos Profundos :

Capas de arena, gravas arenosas, limos arcillosos, arenas limosas y en general son suelos compactos.

Algunas de las principales formaciones geológicas en la parte central del Valle de México son :

- Aluvión del Cuaternario :

Constituido por suelos, areno arcillosas, gravas y capas de pómex poco consolidadas.

- Formación Tarango :

Series Tarango Tepoztlán y Huehuetoca, que corresponden a abanicos aluviales del terciario superior y del cuaternario inferior, formadas por depósitos poco o regularmente compactos de arenas, gravas, tobas y lahares.

- Inimbritas del Terciario Medio :

Son tobas compactas soldadas

- Rocas Volcánicas del Terciario Medio Superior :

constituidas por andesitas sanas, fracturadas en ciertos tramos y rara vez alteradas.

- Rocas Volcánicas del Cuaternario :

constituidas por rocas andesíticas y lavas

Como sabemos, la resistencia y compacidad de los materiales va aumentando conforme su edad, debido a ello los depósitos aluviales son los menos compactos y a menudo los que presentan una mayor uniformidad en su permeabilidad.

ANTIGUA RED DE DRENAJE

La precipitación media anual en el Valle, de acuerdo con datos recavados en un período mayor de 50 años, es de 700 milímetros lo cual representa en toda la cuenca un volumen de 6500 millones de metros cúbicos anuales que hay que desalojar.

En 1449, Netzahualcóyotl construyó la primera obra de defensa, un dique de 16 km de longitud que se extendía desde el Cerro de la Estrella en Iztapalapa hasta Atzacalco, pasando por el Cerro del Peñón, protegiendo a la población de las aguas del norte que escurrían hacia el Lago de Texcoco (en aquel entonces, el lugar más bajo del Valle), separaba además el agua dulce de la Laguna de México de las aguas salobres del Lago de Texcoco. Mas tarde se construyeron los diques de Tláhuac y Mexicaltzingo en el sur (fig 4.2).

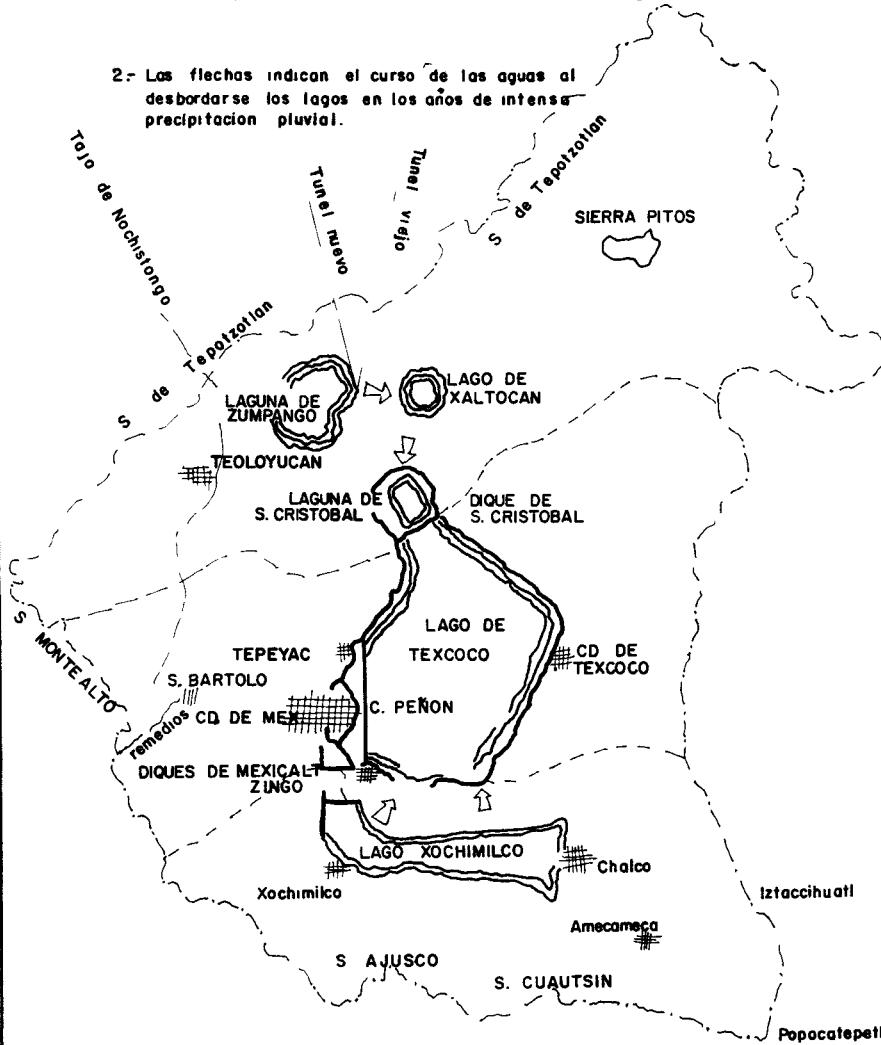
En el Virreinato se construyó el dique de San Cristóbal, evitando que las aguas de Zumpango y Xaltocan desembocaran al Lago de Texcoco.

NOTAS .

1.- Los poblados que aparecen en este plano son las principales poblaciones que existían a la llegada de los españoles en 1519

SIERRA DE PACHUCA

2.- Las flechas indican el curso de las aguas al desbordarse los lagos en los años de intensa precipitación pluvial.



ANTIGUO FUNCIONAMIENTO HIDROLOGICO DE LA CUENCA
DEL VALLE DE MEXICO

(fig. 4.2)

BIBLIOTECA
Instituto Tecnológico de la Construcción

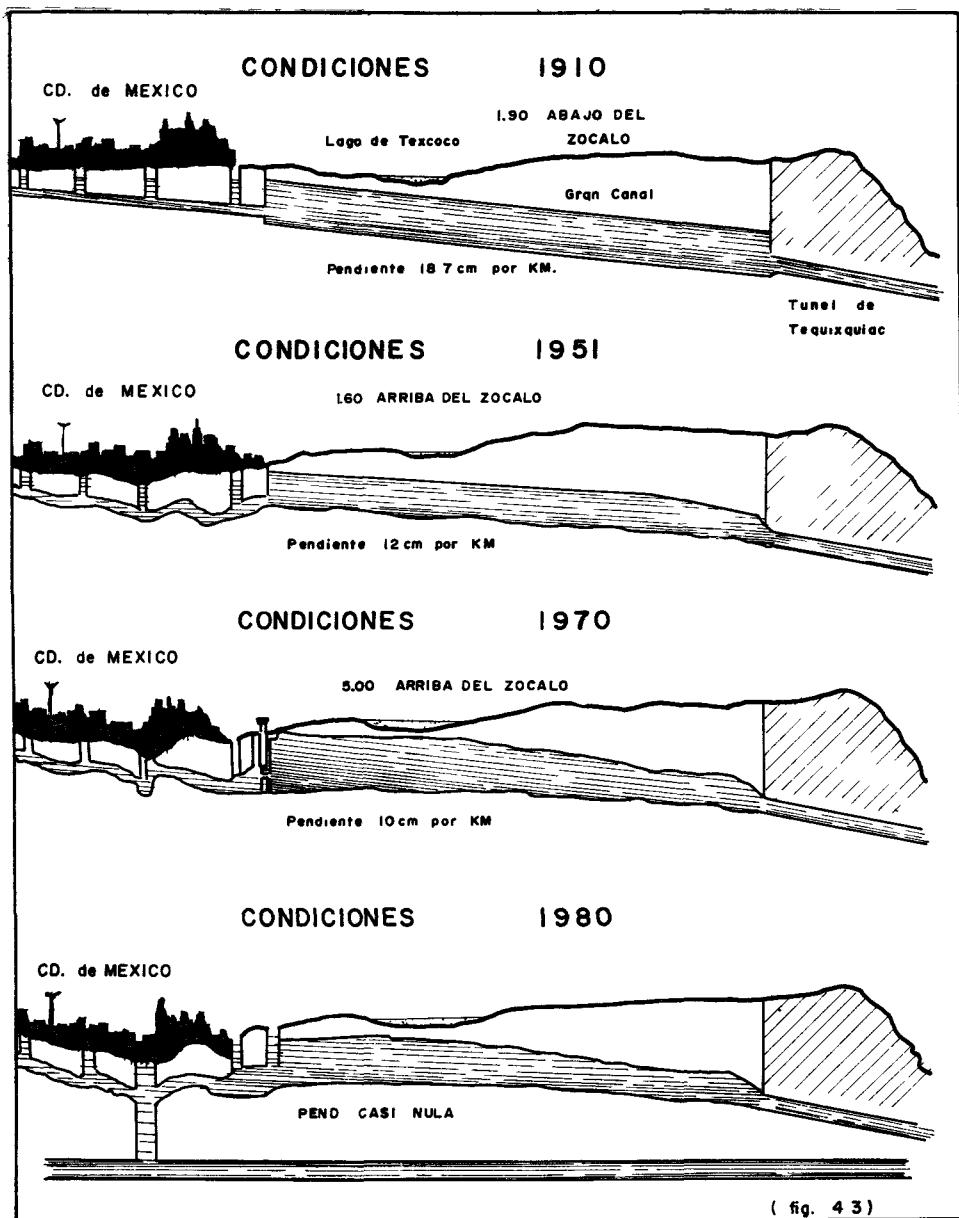
En los primeros años del siglo XVII se hizo necesaria la búsqueda de una solución drástica para evitar las inundaciones, la cual consistió en la construcción del primer túnel de Nochistongo en el noroeste de la cuenca, dejando por primera vez de ser cuenca cerrada en 1608. A los poco meses los derrumbes lo inutilizaron y fue hasta 1789 que la obra convertida en un tajo dio salida permanente a las aguas del río.

A mediados del siglo XIX se inició la construcción del Gran Canal del Desagüe y el túnel de Tequisquiac, a consecuencia de que los niveles del Lago de Texcoco habían subido

Entre 1940 y 1946 se construyó un nuevo túnel en Tequisquiac con lo cual la cuenca del Valle de México se comunica a partir de 1945, por tres vías, con la cuenca del río Moctezuma, afluente del río Pánuco que desagua en el Golfo de México.

Todas estas obras se proyectaron para trabajar por gravedad y así lo hicieron originalmente; sin embargo, la explotación de pozos de agua en la zona urbana aceleró el hundimiento del Valle debido a la consolidación de las arcillas compresibles ; con tales hundimientos era inminente el dislocamiento de la red de alcantarillado, provocándose columpios y contrapendientes en los colectores que desaguan al Gran Canal y también en este último.
(fig. 4.3)

Hasta 1969 se contaba con las siguientes obras para desalojar las aguas de la Ciudad de México :



(fig. 43)

ASENTAMIENTO DEL SUBSUELO

- 1) El interceptor del Poniente que desalojaba los escurrimientos de la zona alta del poniente de la Cuenca y los conducía al Lago de Zumpango y al Tajo de Noghistongo.
- 2) El Canal del Desagüe que drenaba por bombeo la zona baja de la ciudad. Fue construido para un gasto de 5.00 metros cúbicos por segundo en sus primeros 20.0 km y 17.5 en los restantes, en ocasiones había llegado a trabajar con 130 m. mediante la construcción y sobreelevación de bordos marginales.
- 3) El río Churubusco que funcionaba como estructura auxiliar drenando la parte sur de la ciudad y conduciendo los escurrimientos al Lago de Texcoco para encauzarlos al Gran Canal.

EL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO

En 1969 se inició la construcción de la 1^a etapa comprendida por :

- 1) El emisor Central que recoge las aguas de los interceptores profundos para enviarlas por gravedad hasta la Presa Requena en el Estado de Hidalgo. Es un túnel de 6.5 m de diámetro, 50 km de longitud y 200 m³/s de capacidad.
- 2) El Interceptor Central que desaloja los escurrimientos de la zona central de la Ciudad de México con una longitud de 8.0 km y 5.0 m de diámetro.

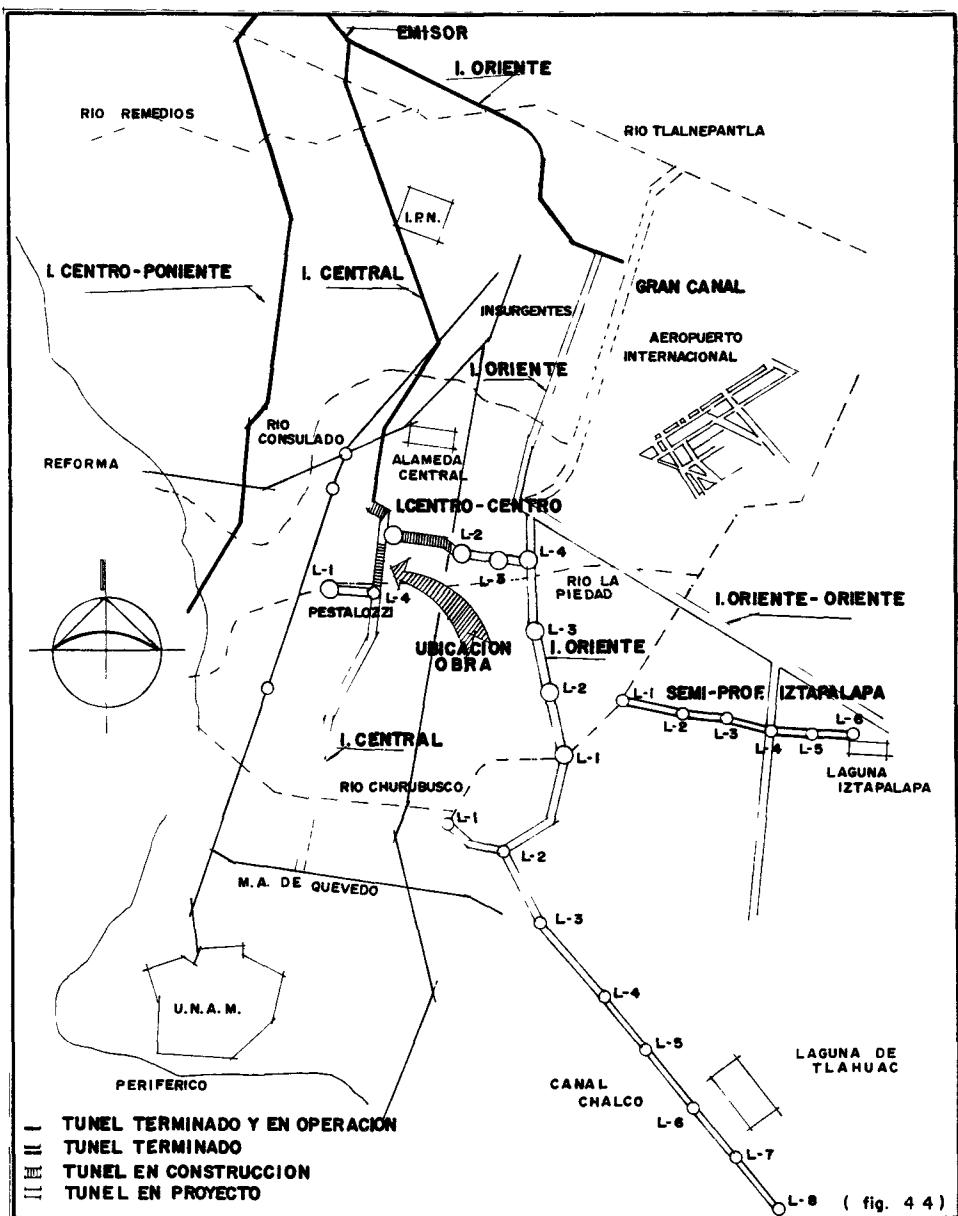
- 3) El Interceptor del Oriente que conduce por gravedad los escurrimientos de la zona oriente con una longitud de 10 km y 5.0 m de diámetro.

La segunda etapa, iniciada en 1977 incluye la prolongación de 5.5 km del Interceptor Centro-Poniente con 16.5 km. La secuencia de construcción que define el Plan Maestro del Drenaje Profundo consiste en prolongar el Interceptor Central, continuando por el Interceptor Centro -Centro y posteriormente excavando el último tramo del Interceptor Oriente; de esta manera se aliviarán los ríos Churubusco, La Piedad y el Canal Nacional. Por otro lado, se ampliará el Interceptor Oriente en un tramo paralelo al Gran Canal y se complementará de esa manera la zona Sur y Sur-Oriente de la Ciudad. Por último se continuará el Interceptor Centro-Poniente hasta la altura de la Ciudad Universitaria y se prolongará el Interceptor Central hasta rio Churubusco (fig 4.4).

El sistema de Drenaje Profundo se incluye en el Sistema General de Desagüe que consta además de las siguientes estructuras :

- 1) Conductos entubados :

Como son los ríos Churubusco, Consulado y La Piedad.



PLAN MAESTRO SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO

2) Conductos a Cielo Abierto :

Conducen principalmente aguas pluviales contaminadas con aguas negras residuales y basura. Al norte se encuentran los ríos Cuautepec, San Javier, Tlalnepantla y Remedios, al sur el San Buenaventura, el Canal Nacional y el Canal de Chalco, al noreste se localiza el Gran Canal.

3) Estructuras de Regulación :

Almacenan agua en las tormentas y después desalojan caudales menores a los colectores. Entre éstas se encuentran las presas ubicadas en las laderas del poniente, los doce tanques de tormenta y la laguna artificial de Iztapalapa.

4) Plantas de Bombeo :

Operan todo el año para desalojar las aguas pluviales de zonas bajas. Su capacidad es de 447 m³/s. A causa del hundimiento de la Ciudad su eficiencia fue bastante afectada.

5) red Secundaria de Atarjeas :

Esta red la constituyen conductos con diámetros de 30 a 45 cm, tiene una longitud de 12,000 km, es un sistema que para su ampliación requiere de colectores y componentes del sistema general de desagüe.

6) Red Primaria :

Constituida por colectores de 60 cm a 3.00 m, tiene una longitud de 1,176 km. Aprovechando el sistema original que data de principios de siglo, se ha superpuesto en la parte central de la Ciudad un segundo sistema escurre de sur a norte y descarga en los conductos instalados de poniente a oriente. La red ha tenido que corresponder al crecimiento anárquico de la Ciudad, otro problema que ha tenido que afrontar la red primaria es la continua interferencia con las obras del metro, localizadas a las mismas profundidades (4.0 a 8.0 m). Conforme el Sistema de Transporte Colectivo amplíe sus redes, la red primaria tendrá que ubicarse a mayores profundidades.

CAPITULO V

M E T O D O S D E
P E R F O R A C I O N
E N S U E L O S B L A N D O S
S E M I - B L A N D O S
Y R O C A S

5.00 METODO DE PERFORACION EN SUELOS BLANDOS - SEMIBLANDOS - Y ROCAS

5.1 OBJETIVO

La tecnología en la excavación de túneles presenta actualmente adelantos muy importantes, tanto en rapidez como en seguridad, gracias al empleo de máquinas perforadoras de túneles (MPT), llamadas usualmente escudos.

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

Así, en el caso de rocas, el empleo de barrenación y voladura es un procedimiento que tiene riesgos y demoras inherentes al sistema, por ejemplo: para excavaciones de sección completa y diámetros grandes necesitan de plataformas para la perforación, colocadas en una estructura metálica cuadrada, llamada Jumbo, que se apoya sobre vías, ruedas neumáticas o patines.

El Jumbo debe retirarse del frente no menos de 150 metros al efectuarse la voladura lo mismo que todos los demás dispositivos y maquinaria de excavación y de rezaga. Para la carga de explosivos en los barrenos ya perforados primero debe hacerse la limpieza de cada uno mediante aire comprimido y cucharillas para extraer las obstrucciones. Para esta operación se protegen los agujeros introduciendo en ellos mangüeras o tuberías de PVC para impedir que se cierren por desprendimientos.

Se introduce la dinamita con taco de madera y se colocan los estopines eléctricos cuyos circuitos deben revisarse cuidadosamente para eliminar peligrosas fallas. En esta etapa y para seguridad se retiran también lámparas de energía eléctrica, máquinas de soldar y todo artefacto que pueda causar explosiones prematuras obligando al uso de lámparas de aire para la iluminación del frente. Se necesita de una inyección especial de aire fresco y de extracción en las operaciones de barrenación para eliminación de humo, gases explosivos y polvos en suspensión. Para que el Jumbo avance nuevamente a su posición de trabajo junto al frente hace falta quitar previamente el material de excavación. Se requiere así de máquinas rezagadoras como las tipo Conway que trabajan y se mueven librando al jumbo.

Es también necesario revisar la superficie recién excavada mediante picas, para desprender materiales poco afianzados y evitar así caídos intempestivos. El proceso exige la colocación de un ademe provisional y procedimientos de estabilización mediante concreto lanzado, pernos, mallas, marcos y tornapuntas que eviten derrumbes. Posteriormente se construye el ademe definitivo necesitándose para ello de todo un complejo sistema de armado, cimbrado, vaciado del concreto y descimbrado.

Cuando el terreno lo exige y la excavación por barrenación y voladura no puede realizarse a sección completa, se recurre a la media sección a al túnel piloto, lo cual hace lento el avance de excavación, aumentando considerablemente el costo.

Con las máquinas perforadoras de túneles (MPT), los problemas descritos anteriormente se reducen al empleo adecuado de las mismas y a implementar un sistema idóneo de rezaga, aunado a una mayor seguridad en la construcción del túnel, sobretodo si éste se realiza en zonas urbanas.

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

Esta necesidad ha llevado al desarrollo diseño y fabricación de maquinaria con dispositivos para excavar desde suelos muy blandos hasta rocas, todos a sección completa. Cuando se utilizan estas máquinas casi todas las operaciones de perforación de túneles se llevan a cabo simultáneamente con la excavación, en contraste con la barrenación y voladura en la que son realizados individualmente.

5.1.1 CLASIFICACION EMPIRICA DEL TUNELERO

Indudablemente que el método empírico de aproximaciones sucesivas fue aplicado desde el principio para la construcción de túneles, acumulándose así las experiencias suficientes que permitieron eventualmente establecer una inte-relación entre los materiales excavados y su comportamiento durante el túneleo.

Sin embargo cubrir todas las posibilidades teóricas, es interesante imaginarse en términos generales que sucede con la distribución original de esfuerzos existentes en el subsuelo cuando se excava dentro de este un túnel.

Se puede iniciar una explicación sobre la premisa de que en cualquier punto bajo la superficie del terreno, existe un estado inicial de esfuerzos cuya magnitud y distribución dependen principalmente de la profundidad del punto considerado, del peso propio de los materiales que sobreyacen dicho punto de los esfuerzos tectónicos existentes en la zona y de las propiedades mecánicas del medio.

Sí las partículas de los materiales en los que actúan tales esfuerzos iniciales, no tienen manera de desplazarse, únicamente se deformarán almacenando así energía. Cuando los materiales se localizan a gran profundidad, es posible esperar, aún tratándose de roca, que los niveles de esfuerzo que se alcanzan, sobrepasen el límite elástico de aquellos y los convierte en una masa plástica confinada.

En tal situación, si ahora se excava un hueco dentro de la masa del material, la energía almacenada hará que las partículas que lo forman se desplacen ocasionándose un flujo plástico o en algunos casos el peligroso fenómeno de roca explosiva.

En cualquier caso la excavación del hueco provocará un cambio notable en la distribución original de esfuerzos del medio, tendiendo a concentrar en la vecindad de la nva superficie libre.

El material que antes ocupaba la perforación, estaba sujeto a esfuerzos de recibir y transmitir cargas inherentes a la propia masa del material, sin embargo al desaparecer (por excavación) deja de estar sujeto a estos esfuerzos y el material vecino tiene que tomar estos originándose así la mencionada redistribución de esfuerzos.

Ahora bien, si los materiales vecinos a la perforación tienen suficiente resistencia para soportar los nuevos esfuerzos debido a las cargas, puede esperarse que el hueco permanezca abierto sin problema de estabilidad, por el contrario, si el material no soporta sus nuevos esfuerzos, el hueco tenderá a cerrarse, a menos que se coloquen elementos estructurales en contacto con la masa, que al inter-actuar con ésta, convenientemente garanticen la presencia estable del hueco.

Las propiedades mecánicas de los materiales, el nivel de esfuerzos dentro de la masa en relación a la resistencia de los materiales, la forma y tamaño de la perforación, el proceso constructivo, la rigidez de su ademe, el tiempo que permanece sin soporte todo ello modifica la forma de la concentración de esfuerzos antes mencionada.

CLASIFICACION DE LAUFFER O TIEMPO LIBRE DE SOPORTE

Ademas de la clasificación empírica del comportamiento exhibido por los suelos al ser túneleados, existen otras clasificaciones como la de "Lauffer" que se basa en el tiempo que se puede permanecer abierto sin soporte, una oquedad de dimensiones dadas antes de derrumbarse o caerse. Así se forman 7 clases :

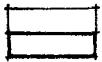
CLASE	DESCRIPCION DEL MATERIAL	LONGITUD DE SOPORTE	TIEMPO SIN DERRUMBARSE
A	ROCA SANA	4.00 M	20 AÑOS
B	ROCA ALGO FRACTURADA	4.00 M	6 MESES
C	ROCA FRACTURADA	3.00 M	1 SEMANA
D	MATERIAL DESMENUZABLE	1.50 M	5 HORAS
E	MATERIAL MUY DESMENUZABLE	0.80 M	20 MIN
F	SUELO DE EMPUJE INMEDIATO	0.40 M	2 MIN
G	SUELO DE EMPUJE INSTANTANEO	0.15 M	10 SEG

ESTABILIZACION DE LAS PAREDES	CLASIFICACION SEGUN LAUFFER									
	A	B	C	D	E	D	E	F	G	
										F
CLASIFICACION DEL TUNELERO										
POR RESISTENCIA INTRIN- SECA DEL MATERIAL	DURO 1	FIRME 2	GRANEO LENTO 3	GRANEO RAPIDO 4	EXTRUSION LENTA 5	EXPLOSIVO 6	CORRIDA COHESIVA 7	CORRIDA 8	EXTRUSION RAPIDA 9	FLUYENTE 10
ANCLAS										
CONCRETO LANZADO										
CONCRETO LANZADO Y ANCLAS										
MARCOS METALICOS Y RETRAQUE DE MADERA										
ANILLOS METALICOS Y RETRAQUE DE MADERA *										
DOVELAS DE CONCRETO *										
DOVELAS DE PLACAS DE ACERO *										
DOVELAS DE FIERRO FUNDIDO *										

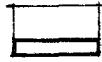
* REQUIERE EL USO DE ESCUDO



RECOMENDABLE



MODERADAMENTE
RECOMENDABLE



POCO
RECOMENDABLE

T A B L A N O 1

REVESTIMIENTO DEFINITIVO	CLASIFICACION SEGUN LAUFER									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	CLASIFICACION DEL TUNELERO									
	DURO 1	FIRME 2	GRANEOS LENTO 3	GRANEOS RAPIDO 4	EXTRUSION LENTA 5	EXPLOSIVO 6	CORRIDA COHESIVA 7	CORRIDA 8	EXTRUSION RAPIDA 9	FLUYENTE 10
DEJANDO EL MATERIAL NATURAL										
CON ANCLAS										
CON CONCRETO LANZADO										
CON CONCRETO LANZADO Y ANCLAS										
CON DOVELAS DE CONCRETO										
CON CONCRETO COLADO CON CIMBRA										

 RECOMENDABLE

 MODERADAMENTE
RECOMENDABLE

 POCO
RECOMENDABLE

T A B L A N o 2

EXCAVACION	CLASIFICACION SEGUN LAUFFER									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	CLASIFICACION DEL TUNELERO									
	DURO 1	FIRME 2	GRANEO LENTO 3	GRANEO RAPIDO 4	EXTRUSION LENTA 5	EXPLOSIVO 6	CORRIDA COHESIVA 7	CORRIDA 8	EXTRUSION RAPIDA 9	FLUENTE 10
EXPLOSIVOS										
HERRAMIENTA MANUAL NEUMATICA										
CHIFLONES DE AGUA										
REJILLAS FRONTALES										
GUILLOTINAS										
TOPO										
PRESADORA										
BRAZO EXCAVADOR										
ESTRELLA CORTADORA										
DISCO CORTADOR										

 RECOMENDABLE
  MODERADAMENTE
RECOMENDABLE
  POCO
RECOMENDABLE

T A B L A N ° 3

ESTABILIZACION FRONTAL	CLASIFICACION SEGUN LAUFLER									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
CLASIFICACION DEL TUNELEO										
	DURO 1	FIRME 2	GRANEO LENTO 3	GRANEO RAPIDO 4	EXTRUSION LENTA 5	EXPLOSIVO 6	CORRIDA COHESIVA 7	CORRIDA 8	EXTRUSION RAPIDA 9	FLUYENTE 10
POR RESISTENCIA INTRIN- SICA DEL MATERIAL										
CON AYUDA DE ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO										
CON AYUDA DE INYECCION EN EL TERRENO										
CON AYUDA DE CONGELACION										
CON NAVAJAS PERIMETRALES EN CLAVE										
CON GATOS FRONTALES										
CON AIRE COMPRESIONADO										
CON LODO A PRESION										
PRESTONANDO EL MATERIAL EXCAVADO										



RECOMENDABLE



MODERADAMENTE
RECOMENDABLE



POCO
RECOMENDABLE

T A B L A N O 4

5.2 TUNELEO EN ROCAS

Para la excavación en roca, las más importantes condiciones geológicas que se deben anticipar son las siguientes : presencia de fallas, que generalmente involucran áreas de rocas muy fracturadas; dirección y grado de la estratificación; grietas y juntas; la presencia de agua, que puede ser caliente o fría, o contener ingredientes corrosivos o irritantes; bolsones de gases explosivos o tóxicos; deformaciones en la roca. La petrografía tiene menor importancia a menos que la roca sea altamente abrasiva, y cause excesivo desgaste de las barrenas. Nunca podrá decirse que se le ha suministrado demasiada información a los ingenieros, a fin de que produzca un diseño realista y para que los contratistas preparen licitaciones firmes. Aún en el mejor de los casos son de esperarse dificultades no previstas.

Ademas de los estudios geológicos y las perforaciones, los ingenieros pueden utilizar métodos geofísicos (resistividad eléctrica) y la absorción de rayos gamma, para obtener información sobre la profundidad y características de las formaciones rocosas. También podrá obtenerse información en el U:S: Geological Survey, que ha ampliado su campo y sus estudios geofísicos más allá del campo de la minería. Donde las condiciones geológicas sean particularmente difíciles de evaluar, o sea, especialmente rigurosas, se pueden excavar túneles piloto exploratorios de unos 3.0 x 3.0 metros, un poco desde cada extremo, o en toda la longitud del túnel, antes de hacer el diseño final y decidir la construcción.

En estos túneles pilotos es posible medir los esfuerzos internos de la roca por medio de células de presión y de indicadores de deformación; estos dispositivos se insertan en barrenos transversales y, entonces se puede inspeccionar la naturaleza de la roca, foliación, fractura en bloques y la presión de las fallas y del agua.

En la época actual se han venido desarrollando excavaciones de túneles en roca, tanto con el método tradicional como con equipos de frente completo llamados topos o moles y con equipos desgarradores. El método tradicional es aquel que se realiza con el proceso cíclico cuyas actividades primordiales son :

- 1.- Barrenación
- 2.- Carga
- 3.- Voladura
- 4.- Ventilación
- 5.- rezaga

Existe otra actividad que se realiza en aquellos casos en que la roca no es autosostenible, es decir, una vez realizada la abertura, dependiendo de las condiciones de roca, se utiliza un sistema de soporte adecuado llamado comúnmente ademe.

5.2.1 METODO CONVENCIONAL

Al respecto del método tradicional o convencional de excavación en roca, lo que se ha perseguido y logrado en los últimos años ha sido optimizar los tiempos y la calidad de los trabajos en cada una de las actividades con equipos más sofisticados seguros y eficaces.

- Barrenación :

En la actividad de la barrenación básicamente se han sustituido los equipos de aire comprimido tradicionales, por equipos diesel-hidráulicos y electrohidráulicos, siendo éstos en comparación con los neumáticos más rápidos y silenciosos, además de lograr una mejor transmisión de energía de percusión al acero de barrenación, obteniéndose casi el doble de penetración en el mismo tiempo de perforación.

- Carga :

En la actividad de carga, en la actualidad son muy usados los explosivos tipo "ANFO" combinados con explosivos de mayor potencia en la carga de fondo.

Para lograr un mejor relleno de los barrenos se han venido empleando con bastante éxito los cargadores de tipo neumático que logran dar mayor densidad de explosivo por barreno y su colocación es bastante rápida y segura; también se emplean cargadores neumáticos de cartuchos cuando el explosivo se usa encartuchado.

- Voladura :

Las plantillas de perforación y las cargas para la voladura se determinan por las características de la roca, la fragmentación que se desea para facilitar el escombrar y las condiciones externas, como la cercanía de estructuras sensibles. El procedimiento lo debe efectuar un experto con experiencia en voladuras y es posible que haya que modificarlo en el transcurso de la construcción. El grupo central de huecos, que es el que se vuela primero, se barren convergentemente, de manera que se obtiene una sección cónica en la voladura. Se procede con la voladura hacia la periferia, con una pequeña demora entre cada etapa. Un centro de 6 a 8 pulgadas de diámetro, o hueco "de encender", sin carga, funciona como una abertura de desahogo, lo que mejora el efecto de la voladura. Los juegos de barrenos tienen generalmente 3.00 mts de profundidad, pero pueden tener más o menos, de acuerdo con el tipo de roca. Cuando se desea una sección tan lisa como sea posible, se usa una perforación de límite y un anillo de huecos rectos alrededor de la periferia bastante próximos entre sí.

- Ventilación :

Se han mejorado las capacidades de los equipos; los ductos empleados de preferencia son de tipo flexible, muy resistentes, que además de ser de costos más bajos que los metálicos son más maniobrables y de fácil colocación.

- Rezaga :

En los túneles de gran diámetro para la carga y acarreo se ha seguido adoptando la utilización de equipos comunmente usados en excavaciones a cielo abierto como son los cargadores sobre llantas o sobre orugas y en los acarreos los camiones normales desde camiones de volteo convencionales diesel hasta el camión fuera de carretera de gran tonelaje.

En los túneles pequeños se ha tenido gran innovación de los mismos. ya que se tiene una gran diversidad de máquinas y combinaciones. Se pueden dividir en equipos con motores de aire, motores diesel o eléctricos.

Pueden contemplarse equipos de cargas tipo frontal, lateral de manos, tipo pata de cangrejo, en algunos de ellos descargando a bandas transportadoras o transportadores de cadena que a su vez descargan el equipo de acarreo pudiendo ser éstos montados sobre vía. En otros casos estas bandas o transportadoras se utilizan hasta el exterior del túnel.

Otros de los equipos muy utilizados son aquellos cargadores llamados tipo LHD que son a su vez equipo de carga y acarreo que constan de un bote de gran tamaño y tiene balanceado el bote con el resto del equipo, para que puedan realizar velocidades importantes dentro de los túneles con el material producto de la excavación.

- Ademe :

En las actividades de ademe y soporte de las excavaciones, además de los sistemas con marcos metálicos se han llevado a combinaciones de sistemas de pernos de anclaje, anclas de fricción, anclas de tensión, mallas metálicas y concreto lanzado, pudiendo llevarse a cabo combinaciones de todos estos conceptos en función de las cargas de roca y de la calidad misma de la roca.

5.2.2 TOPOS O MOLES

Las máquinas de perforación en roca consisten de una cabeza rotativa, ya sea sólida o con rayos, en los que se montan harapientos de corte adecuad al tipo de rocas. Las máquinas se montan en grandes armazones que comprenden la maquinaria de operación y sus auxiliares, se incluyen una serie de gatos que ejercerán fuerte presión contra el frente de excavación. Los cortadores en forma de cincel sirven para roca blanda, los cortadores de disco para rocas más duras por acción de cuña y cortadoras dentadas de rodillo con insertos de carburo y tungsteno cortan las rocas más duras. El límite superior para las herramientas actuales es la roca con una resistencia a compresión de unas 35,000 lbs x pulg², aunque algunos fabricantes pretenden haber tenido éxito con granitos de hasta 45,000 lbs x pulg².

Un factor crítico al evaluar la producción es la cantidad de tiempo dedicado a mantenimiento y reemplazo de las cuchillas y su costo

Entre los métodos modernos de perforación de túneles destaca el uso de grandes perforadoras llamadas topos o moles, capaces de hacer túneles de más de diez metros de diámetro en rocas de gran dureza. Desde su introducción a mediados de la década de los 50ns estas perforadoras mecánicas o topos fueron aceptadas como una herramienta práctica para efectuar excavaciones subterráneas rápidas. Dado que un topo causa daños mínimos a la roca circundante, el peligro de desprendimientos en la clave y paredes del túnel disminuye considerablemente. Así mismo, la sobreexcavación es generalmente pequeña con el consiguiente ahorro en el concreto usado para el revestimiento y en la energía empleada para la extracción de la rezaga.

Un topo consiste en un cuerpo metálico muy robusto que se atraca contra las paredes de la excavación por medio de gatos hidráulicos y zapatas; una cabeza giratoria con un número variable de cortadores que también giran sobre su propio eje y un sistema de gatos que producen una presión de los cortadores que se está atacando. El giro de cabeza se efectúa por medio de motores eléctricos o hidráulicos, que en buena parte de los topos se encuentran colocados en su parte posterior y transmiten el movimiento de rotación a la cabeza por medio de una flecha que pasa a través del cuerpo.

Estando atracado el topo, el ataque se produce al girar la cabeza que está siendo empujada contra el frente por los gatos correspondientes.

Los filos de los cortadores provocan la fractura del material que cae en forma de esquirlas, casi siempre de tamaño reducido, las cuales son recogidas por cangilones ligados a la propia cabeza que depositan el material sobre una banda transportadora colocada en la parte posterior del topo.

Esta banda mueve la rezaga hasta la parte posterior del mismo en donde es manejada por los sistemas de apoyo para su extracción del túnel.

Los gatos de ataque, son aflojados una vez que los de empuje han agotado su carrera. A estos se les invierte el sentido del flujo y jalan ahora al cuerpo del topo al tiempo que se van cerrando. Nivelada y alineada la máquina, se atraca mediante los gatos correspondientes y se empieza un nuevo ciclo. Los avances en cada ciclo van desde 50 hasta 150 cm.

Ventajas que ofrece la perforadora de túneles o mole :

Como se mencionó con anterioridad, existen ciertas limitaciones, en cuanto a longitud de túnel y composición de la roca, que restringen el uso económico de las perforadoras de túneles. Por otra parte, utilizar una mole tiene varias ventajas.

- 1.- Avance más rápido de los túneles.
- 2.- Perforaciones redondas, lisas y libres de irregularidades
- 3.- Poca sobreexcavación; ésta representa un promedio de alrededor del 5%, en comparación con el 20% que se obtiene en el método de barrenación y voladura.
- 4.- Ahorro de concreto para revestimiento.
- 5.- Requiere menos soporte; se tiene menos caídas de roca.
- 6.- Adaptable al sistema de operación del tipo continuo, para mejoramiento continuo.
- 7.- Es menos peligroso, porque se reduce la exposición del personal a las operaciones de excavación y a la roca sin soporte; no se requieren explosivos.
- 8.- Se logra una operación uniforme que ocasiona molestias pequeñas o nulas a las instalaciones de superficie o a otras instalaciones cercanas.

5.2.3 TUNELADORAS DE PLUMA.

Estas máquinas empezaron a usarse en Europa desde 1950. Básicamente consisten en un aparato autopropulsado con motores eléctricos que tienen una pluma oscilante en todas direcciones en cuyo extremo se encuentra un cortador; el material desprendido cae en una charola en donde es empujado hacia una banda transportadora por unos brazos móviles. De la banda transportadora puede pasar a un sistema de carga de vagonetas similar al del topo o bien cargarse a vagones de otro tipo.

Se aprovechan en explotaciones de carbón, rocas fosfóricas, arcillas y otros materiales suaves.

Las mineras-pluma pueden ser de dos tipos, dependiendo del cortador :

a) Cortadora a tipo fresa.

En este caso el cortador cilíndrico o cónico gira sobre su eje que es el mismo de la pluma, en estas condiciones la fuerza cortante se ejerce principalmente a los lados, lo que impide usar el peso total de la máquina en el ataque. Cuando la roca es relativamente dura, la máquina necesita ser empujada lateralmente con gatos especiales.

El cortador de fresa arroja los trozos cortados en el frente hacia los lados, lo que complica el acarreo de la rezaga hacia la banda transportadora.

b) Cortador desgarrador :

En este caso el eje del cortador es normal al eje de la pluma, por lo que todo el peso de la máquina y el empuje dado por las garras del tránsito pueden utilizarse para efectuar el ataque.

5.2.4 NUEVO METODO AUSTRIACO

Se trata de un procedimiento de túneleo sólidamente fundamentado que tiene como objetivo principal conservar y movilizar la resistencia inherente del suelo. Así mismo usa un sistema flexible para suministrar soporte cuya característica típica es el uso de concreto lanzado. Utiliza sistemáticamente una instrumentación para controlar la performance de la estructura .

El NUEVO METODO AUSTRIACO DE TUNELEO (NATM) debe considerarse, según los expertos austriacos, como un enfoque o filosofía y no referirse a el como un conjunto de excavación específica y métodos o técnicas de soporte. En gran parte la aparente confusión y conflicto que existe en saber que es el NATM, se debe a la aplicación de éste al túneleo en suelo blando, al parecer existe una importante diferencia entre los objetivos del NATM y la práctica de instalar soportes para los túneles en roca y en suelo blando.

Debe quedar claro que el uso del concreto lanzado en un túnel no implica, necesariamente, la aplicación del NATM. Sin embargo es correcto admitir que la aplicación exitosa del NATM implica el uso de concreto lanzado.

Habiéndose aceptado que el NATM es más bien considerado como un enfoque o filosofía, tenemos que determinar cuales son las características fundamentales de esta filosofía. La primera de todas es la conservación y movilización de la resistencia del

suelo o roca y la formación de una estructura anular ampliamente autosostiene de suelo o roca alrededor del túnel. El soporte primario es colocado para que el suelo se sostenga por sí mismo.

Para que realice satisfactoriamente esta función el soporte primario debe tener apropiadas características de deformaciones bajo carga y ser colocado en el momento exacto.

La segunda característica distintiva de la filosofía del NATM es el uso de instrumentos para controlar las deformaciones de la excavación y la concentración de carga en el soporte o en los elementos de esfuerzo.

"El Nuevo Método Austriaco de túneleo depende del empleo de instrumentos y observaciones locales en los túneles"

Estas observaciones se usan no solamente para comprobar el comportamiento de la seguridad del túnel, sino también para dirigir el suministro de soportes adicionales.

Una tercera característica es el alto nivel de entendimiento y captación del método y la cooperación en la toma de decisiones y la reducción de controversias que el NATM requiere de parte de los propietarios, contratistas e ingenieros de proyecto y supervisión.

La cuarta característica del NATM que requiere de una mención espacial es su versatilidad y adaptabilidad. Esta característica está de acuerdo con la clasificación del NATM como un enfoque o

filosofía más que como un método o técnica de excavación y soporte. El enfoque del NATM ha sido usado ahora con éxito en una gama de condiciones de túneleo muy amplia. La versatilidad y adaptabilidad así demostradas son el resultado de la validez básica del concreto lanzado como material de soporte primario, en particular al ser usado junto con una amplia variedad de elementos de soporte adicionales.

Aplicación del Túneleo en Roca :

Las primeras aplicaciones del NATM fueron con túneles construidos en los Alpes en rocas sujetas a altos esfuerzos locales. En esas aplicaciones se consideraba que el soporte tenía que ser suministrado en dos partes distintas; una estructura anular exterior de roca reforzada con un revestimiento delgado auxiliar de concreto lanzado (soporte primario) y una estructura anular interna o revestimiento de concreto lanzado (soporte secundario).

La manera en que evoluciona la capacidad de carga total de la roca y del sistema de soporte y de la importancia de las deformaciones en esta evolución pueden ser mejor entendidas a través de un análisis del tipo generalmente representado por diagramas de interacción roca-soporte.

El objetivo esencial del suministro de soportes en el NATM, y otros métodos racionales de túneleo, es conservar y movilizar la resistencia disponible de la masa rocosa y, como consecuencia

minimizar las cargas directamente absorbidas por los elementos de soporte. Es evidentemente que el momento en que se cierra la estructura anular de soporte es de vital importancia para la aplicación exitosa del NATM y que este tiempo variará según el caso particular.

Se plantea entonces la necesidad de dejar un cierto tiempo para el alivio de los esfuerzos después de la excavación para permitir que se produzca el proceso de auto estabilización. En algunos casos particulares se propone que no debe de hacerse intento alguno para detener el movimiento de roca causado por redistribución de esfuerzos y que tiene cierta ventaja el esperar hasta que cese el proceso de convergencia. En otros casos, será necesario instalar el soporte primario y cerrar la estructura anular rápidamente para evitar una excesiva deformación y sobreesfuerzo de la masa rocosa.

5.2.5 OTROS METODOS

Método Norteamericano :

La excavación se inicia con una galería superior en el coronamiento del túnel, que se apoya en listones de avance, postes, y cabezales.

A continuación se amplia la excavación entre dos pórticos y se colocan los segmentos del arco superior adyacentes al coronamiento y apoyados por postes y puntales extra.

Se forman bancos de excavación a lo largo de los lados y se coloca otro segmento de las costillas a cada lado. Se unen con pernos las costillas a la parte superior y se soportan con una solera temporalmente. Se repite este proceso hasta llegar a la solera invertida. Finalmente se excava en el banco hasta alcanzar la sección total. El terreno entre costillas se mantiene en su lugar por medio de planchas de revestimiento y se rellenan las oquedades. Este método resulta apropiado en terrenos razonablemente firmes.

Método Belga :

En terreno firme se excava la mitad superior del túnel, comenzando con una galería central desde el coronamiento hasta el arranque del arco. Esto se amplía en ambos lados, y el terreno se mantiene en su lugar con estacas transversales. Estas últimas se apoyan en maderos longitudinales, apoyados, estos a su vez son soportados por puntales que se extienden en forma de abanico desde un soporte o durmiente en la galería central. A continuación se excava un corte central hasta la invertida, dejando bancos sobre los que se apoye el arco de revestimiento del túnel. Se practican perforaciones a intervalos, para poder sostener arcos.

El resto del banco se retira a continuación para completar los muros laterales, después de lo cual se cuela el concreto de la invertida.

BIBLIOTECA
Instituto Tecnológico de la Construcción

Es posible avanzar con la excavación a una distancia considerable antes de continuar con el revestimiento del túnel.

Método Ingles :

Se excava un pequeño tramo en todo el frente, que generalmente es de 20 pies, por delante del revestimiento permanente del túnel. La excavación se inicia con una galería superior. Se colocan en ella dos maderos de techo o barras de coronamiento, con el extremo de cada uno apoyado por el revestimiento terminado del túnel y el extremo frontal que descansa en postes. Se clavan estacas transversales sobre las barras de coronamiento. Después se amplía el corte hasta llegar al extremo de las estacas. A continuación se colocan tablones de madera por debajo de las estacas y a través de todo el frente, mantenidos en su lugar por maderos adicionales. Después de esta operación se colocan barras y estacas laterales para permitir ampliar la excavación. Se repite esta secuencia hasta que se llega a la invertida, el frente queda en su lugar por medio de una mampara de madera, la cual se apoya en puntales, que a su vez se apoyan en el revestimiento terminado.

Este último se extiende luego hasta el extremo de la excavación y se repite el ciclo.

Para controlar la alineación y ayudar al drenaje se construye a veces un primer túnel piloto a nivel de la invertida. Esto también permite la excavación total en varios frentes.

Método Alemán :

Se hacen avanzar dos galerías inferiores, una en cada muro lateral. En estas galerías se construyen los muros hasta llegar al techo de las mismas. Sobre estas, se excavan otras dos galerías y se continúa la construcción de los muros. Se añade una galería central superior que se ensancha hasta alcanzar las galerías laterales; el terreno sobre el arco queda apuntalado por maderos longitudinales y estacas transversales. Despues de terminado el revestimiento del arco se remueve el resto del terreno.

Método Italiano :

Se desarrolló para terrenos muy blandos en los que se excava solamente pequeñas áreas. Es muy costoso y ha sido suplantado por el método de escudo, que es el que se usa exclusivamente en este tipo de terreno.

5.3 TUNELES EN SUELO SEMI-BLANDOS

Entre los materiales, que no sean rocas, que se pueden encontrar al excavar un túnel, se encuentran las arenas de diversas compacidades y tamaño de granos; arenas mezcladas con limo o arcilla; arcillas ya sean puras o conteniendo limo o arena y que varían desde relativamente plásticas, con un alto contenido de agua hasta firmes y secas; y mezclas aluviales de arena y grava o materiales procedentes de una morrena glacial. Si no se hallan sometidos a presión hidrostática del agua libre, es posible excavar estos materiales por procedimientos de minería. Las entibaciones con madera, o acero darán apoyo temporal a las galerías, cuyas dimensiones y cantidades dependerán de las condiciones locales.

Al excavar en todos estos tipos de materiales se requieren tablestacas, apoyadas en pies derechos o postes para sostener el techo. Según avance la excavación en un frente tan regular como lo permita el material, se clavarán aún más las tablestacas, con la parte de atrás sostenida por la armazón y la delantera por el terreno. Se coloca un nuevo apoyo por debajo de la parte frontal de las tablestacas y se repite el proceso. Los lados de la galería se mantienen en su lugar por medio de tablones apoyados en los postes, según se requieran.

Se usan a menudo soportes de acero en lugar de la madera, particularmente para grandes galerías. Se pueden usar, en lugar de tablestacas, agujas de acero hechas en pequeñas vigas de ala ancha con puntas en forma de cuña.

Las agujas tiene la longitud necesaria para estar apoyadas por dos armazones; se las hinca con gatos o martillos de aire dentro del frente blando y a una distancia igual al espaciamiento de los apoyos.

En tierra suelta o arenas movedizas, el frente se apuntala por medio de una tablazón de frente. Se excava una roza poco profunda, de unos 2 pies de profundidad y un ancho equivalente a dos listones de avance o tablestacas en la parte superior del frente, y se coloca inmediatamente un corto tablazón para sostener el frente y servir de apoyo a la parte frontal del listón. Después que se haya excavado esta roza en todo lo ancho de la galería y que se hayan colocado todos los tablones verticales del frente. Se instalará un cabezal apoyado por postes cortos. Se puede entonces excavar el resto del frente, procediendo hacia abajo y manteniéndolo en su lugar por medio de un tablazón de frente

Las dimensiones de la galería de avance deben ser lo más grandes que permitan las características del terreno, pero nunca menores de 5 pies de ancho y 7 pies de altura. Los dobleces de acero, conformados al arco del túnel son preferibles a los de madera, aunque más económicos, si se considera tanto el costo como la velocidad de operación. Los listones de avance pueden ser de madera o de acero.

Las planchas de forro de acero se pueden obtener en diversas formas y tamaños pueden usarse para soportar el terreno si una área limitada de excavación del terreno o del arco resistirá el

tiempo suficiente para insertar las planchas de forro, comenzando en la parte superior del arco y procediendo hacia abajo. Se colocan los pernos a la pestaña de cada plancha que se ha montado previamente.

En túneles de menores dimensiones las planchas nervadas por corrugadas pueden ofrecer apoyo adecuado. En túneles mayores o bajo cargas más pesadas las planchas pueden apoyarse en costillas de acero, contra las que se calzan.

Las planchas de forro sin pestañas pueden usarse como revestimiento o como listones de avance. Para evitar el asentamiento o las cargas desequilibradas, deben rellenarse todos los huecos detrás de las planchas de revestimiento, inyectando confitillo o una lechada de cemento.

5.3.1 MAQUINAS PERFORADORAS EN TERRENOS SEMI- BLANDOS

Las máquinas perforadoras de túneles opera por lo general una cabeza cortadora rotativa, montada en un escudo. En suelos muy firmes que no se desmoronan, sin embargo, es más efectiva una del tipo retroexcavador. Cuando el frente necesita soporte se utiliza una cabeza cortadora sólida en la que se montan escoplos o cuchillas de arrastre.

Un cierto número de maquinas perforadoras se han usado en túneles para alcantarillado de hasta 23 pies de diámetro en las arcillas duras del subsuelo de Chicago y Detroit.

Estas máquinas tiene cabezas de corte con un centro ligeramente cónico, desde el que se extienden rayos hasta una llanta cilíndrica. Las cuchillas cortadoras se fijan en el centro y en los rayos. En arcilla muy firme las máquinas han trabajado sin escudo; de otra manera, trabajan dentro de un escudo convencional.

Calweld, California, fabrica una máquina tipo tambor con cuchillas en una rueda con rayos, dividida en cuatro segmentos que oscilan independientemente en una amplitud de 30 grados.

Las excavadoras de tambor que se utilizaron para la linea Victoria del tren subterráneo de Londres, consistía en un escudo de 14 pies de diámetro, dentro del cual giraba un tambor de 7 pies 6 pulgadas de diámetro, que llevaba seis brazos, cada uno de ellos con ocho cuchillas reemplazables.

Escudo excavador para suelos compactos utilizado en México.

La construcción de túneles para el metro de la Ciudad de México ha conducido a la búsqueda de nuevos procedimientos constructivos que permitan aprovechar la experiencia adquirida en los diversos trabajos anteriormente realizados.

Para tal efecto, las autoridades de la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano (COVITUR), decidieron adquirir un escudo de fabricación nacional en el cuál se empleará la más moderna tecnología conocida a nivel mundial.

El escudo para la excavación del túnel cuenta con un tren de equipo integrado, de manera que el proceso se ejecute con la mayor eficiencia, una vez que todo el equipo ha sido instalado en el interior del túnel.

En términos generales el proceso constructivo puede describirse en la forma siguiente : el ataque del frente se realiza por medio de dos cabezas rozadoras del tipo Alpine AM 50, las cuales se encuentran montadas sobre una estructura que gira en sentido contrario al de las manecillas del reloj, accionada por tres motores eléctricos acoplados a una transmisión.

Ambas cabezas abren y cierran mediante gatos hidráulicos cortando en forma concéntrica el frente de excavación, es decir, una ataca la parte más alejada del centro del túnel hasta permitir una sobreexcavación perimetral de 10 cm afuera de la funda circular que conforma el escudo, en tanto la otra ataca la parte central de la zona por excavar. Simultáneamente la rezaga producto de la excavación se transporta del frente del escudo hacia la parte posterior del mismo mediante una banda primaria inclinada (de racletas) alojada al centro, en la parte baja al frente del escudo. Dicha banda cuenta con dos brazos recolectores del tipo "brazos de cangrejo", los cuales fuerzan el material excavado para ser depositado en la banda. La banda primaria (con una inclinación de 28°) descarga a su vez una banda secundaria (de hule) totalmente horizontal, montada sobre el tren de equipo y deposita la rezaga en una tolva para que posteriormente sean cargadas las vagonetas que conducen la

rezaga hasta la zona de lumbreña. En la zona de lumbreña la rezaga es descargada nuevamente e izada mediante una torre de manteo hasta la superficie.

Ciclo de Excavación :

Considerando el proceso constructivo tal como fue concebido en el diseño original del sistema, se observa que las actividades principales del ciclo pueden hacerse simultáneas reduciendo notablemente el tiempo del mismo; para la capacidad teórica del diseño (20m/d como avance máximo) se requerirán 86.4 minutos para la excavación y colocación de un anillo de dovelas de 1.2 m debiendo ejecutarse simultáneamente la excavación, el rezagado, la colocación del revestimiento y las inyecciones, aun cuando se excava por etapas.

Si se incluye un factor de eficiencia o uso del 6% (que por regla se considera a nivel mundial hasta un 50%), la capacidad real podría a 12 m/d y se requerirán 144 minutos/anillo.

es importante aclarar que el ciclo aquí considerado solamente puede ser aplicado cuando se hayan superado los problemas de arranque y se cuente con todo el tren de equipo operando en el interior del túnel y para ello se haya previsto excavar 180 m de túnel.

5.4 TUNELLES EN SUELOS BLANDOS

Las primeras soluciones utilizadas con éxito en los suelos arcillosos blandos requirieron del uso de escudos. Este ingenioso mecanismo desarrollado en Inglaterra en el siglo XIX, puede describirse como un cilindro metálico abierto por ambas tapas, en cuyo interior se arma por partes una estructura anular integrada por dovelas capaces de soportar los empujes externos provocados por el medio excavado que momentáneamente son recibidos por el cilindro metálico, el cual, al avanzar mediante un sistema perimetral de gatos hidráulicos apoyados precisamente en el anillo de dovelas recién colocado, que permanece inmóvil, hace que éste entre en contacto con el terreno circundante.

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

En todos los casos, el fenómeno de extrusión tal como lo describen Broms y Bennermark, hizo su aparición en las fallas observadas, transformando el medio arcillosos relativamente continuo en una masa discontinua de aspecto granular donde la arcilla se disgregó en bloques aislados de diversos tamaños capaces de fluir varios metros.

El uso de aire comprimido en combinación con escudos de frente abierto fue una respuesta práctica al problema de inestabilidad planteado por las arcillas blandas, como lo ha sido también el uso de rejillas al frente en presencia de arcillas moderadamente blandas.

En otros países, como alternativa del aire comprimido, se han utilizado tratamientos previos mediante inyección de lechadas de cemento, productos químicos y congelación. Estos procedimientos son efectivos pero costosos. También, para arcillas muy blandas, se han ideado una serie de mecanismos teóricos de túneleo : Desde escudos de frente cerrado hasta compuertas de guillotina que aprovechen la extrusión de las arcillas, escudos de frente cónico con ranuras cerrables a voluntad, escudos con frente terrodinámicos terminando en espirales de Arquimedes, escudos con mecanismos de corte a base de cables.

5.4.1 MAQUINAS DE EXCAVACION (ESCUDOS)

El objetivo de un escudo es prevenir la deformación del terreno hacia el túnel mediante una coraza de metal, permitir una excavación segura y colocar el ademe con sus propios dispositivos a medida que avanza. Este ademe, constituido generalmente por dóvelas de concreto, ya se proyecta en varios países para que sea el definitivo y no provisional como en un principio se juzgó adecuado.

La idea fundamental del escudo es que el proceso de excavación y el montaje del revestimiento sean actividades casi simultáneas, ofreciendo esencialmente las siguientes ventajas :

- La sección del túnel puede avanzar con sus dimensiones completas
- Ofrece un soporte constante al terreno en todas direcciones.
- Facilitar el trabajo de construcción.
- Evita deformaciones excesivas del terreno y por lo tanto, reduce los asentamientos en la superficie.

El principal elemento de la estructura del escudo es el forro o camisa, que está construido de placas de acero de acuerdo a la sección del túnel y ligeramente mayores que él.

La camisa puede dividirse en tres partes principales en función de su rigidez y de acuerdo a su propósito es la manera en que se colocan :

- En el extremo delantero o cuchilla cortadora, donde se efectúa la excavación, es sumamente reforzada, su propósito principal es facilitar el avance del escudo hacia el frente.

Su segunda tarea es dar una protección adecuada a los trabajadores ocupados en la excavación del frente.

El diámetro de la cara de corte debe ser ligeramente mayor que el diámetro del escudo con objeto de disminuir la presión del terreno sobre el escudo.

- La parte central o tronco está destinada para alojar los gatos hidráulicos, mangueras, válvulas, tableros de control y plataformas deslizantes de ataque.
- La parte trasera o faldón está diseñada para soportar el terreno mientras se realiza el montaje de los segmentos del revestimiento.
- Gatos de empuje : el movimiento del escudo es efectuado por medio de gatos hidráulicos, los cuales accionan contra el revestimiento del túnel previamente erigido.

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

5.4.2 CLASIFICACION Y DESCRIPCION

Las MPT se pueden clasificar en dos grandes grupos :

- a) Escudos para suelos suaves y relativamente firmes.
- b) escudos para suelos firmes y muy duros.

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

- A) Escudos de frente abierto con diversos grados de mecanización tanto para excavación como para el transporte, a través del escudo, del material excavado.
- B) Escudos de frente cerrado, con diversos sistemas de estabilización en el frente que permite su agrupamiento en :
 - 1) Escudos con lodos de bentonita
 - 2) Escudos con cámara de aire comprimido
 - 3) Escudos de presión de tierra balanceada

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

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

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

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

En los escudos de frente cerrado de presión balanceada, detrás de la cabeza cortadora se forma un compartimiento aislado que puede someterse a presión y ocupa una distancia entre 1.00 y 2.00 metros, mientras que el resto del escudo y todo el túnel se encuentran a la presión atmosférica.

El compartimiento del frente puede someterse a presión utilizando el propio material producto de la excavación como transmisor de la presión ejercida por los gatos de avance que se apoyan en el ademe previamente colocado. Esta presión es la que mantiene en su lugar el terreno del frente que se está excavando.

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

Es importante señalar que en estos tipos de escudos es factible introducir agua o lodo de bentonita que permitan tener el material alojado en la cámara de presión en una consistencia más fluida o plástica para facilitar su remoción sin alterar la presión contra el frente. Esto es posible por que puede controlarse la presión con que se introduce el agua o el lodo.

El material plástico extraído puede ser transportado con mayor facilidad en bandas o en vehículos convencionales.

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

El material cortado por la cabeza y que se introduce en la cámara se mantiene en suspensión dentro de los lodos bentoníticos gracias a un agitador. El lodo que arrastra el material excavado se extrae de la cámara de bombeo.

A la salida de la cámara se efectúa la separación de los materiales de tamaño grande como gravas y trozos aún mayores.

El resto del material excavado, en suspensión, se bombea hacia el exterior donde en una planta especial se realiza la separación de lodo bentonítico para su nueva utilización. Las gravas y trozos grandes inicialmente separados son transportados hacia el exterior por los medios convencionales o se puede optar triturarlos dentro del túnel para luego ser bombeados con los materiales en suspensión.

Es factible suprimir la planta de separación y desechar el material junto con el lodo, pero esto aumenta el costo de la excavación.

Cuando el material es arcilloso la bentonita puede suprimirse y ser sustituida por agua para que se mezcle con el material excavado y forma un lodo semejante al bentonítico, que se sujet a los procesos de extracción antes descritos.

Los escudos con frente cerrado con presión a base de aire comprimido son los que utilizan la cámara de presión para soportar el frente mediante este sistema. En Japón se considera de alto riesgo porque puede fallar el soporte de la presión del aire cuando se presenta una fuga o se excaván suelos de alta permeabilidad. Esta es la razón por la cual ya no los utilizan.

En la perforación de material rocoso por medio de escudos los dispositivos para su operación se han estado mejorando.

Anteriormente se habían ideado máquinas de forma que se pudiera hacer retroceder el cabezal cortador para que los trabajadores pudiesen pasar al frente y cambiar los elementos de corte. Las nuevas máquinas permiten hacer el cambio desde dentro de la máquina quedando los hombres resguardados de las caídas de las rocas.

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

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

5.5 ESCUDO DE FREnte ABIERTO Y AIRE COMPRIMIDO

5.5.1 Uso del Aire Comprimido

En el año de 1830 Thomas Cochrane, patenta el uso del aire comprimido en la construcción de túneles y lumbрeras. Posteriormente, en el año de 1879, se utiliza por primera vez aire comprimido como herramienta auxiliar para construir un túnel, simultaneamente en Inglaterra y E.U.A.

A partir de esa fecha se han seguido utilizando este método en los túneles donde las condiciones de estabilidad del frente son precarias y los gradientes de filtración hacia la excavación producen situaciones peligrosas, como son el arrastre de material, tubificaciones, ebulliciones de las arenas.

La teoría de este método es muy simple : Para mejorar la estabilidad del frente y evitar o disminuir las filtraciones hacia la excavación, al túnel se le adiciona una presión en exceso de la atmosférica que actúe en todas las paredes mediante aire a baja presión.

5.5.2 Funcionamiento del Sistema

De acuerdo a las necesidades de proyecto se define la posición en el túnel de la mámpara, la cual alojará a la esclusa de personal y de materiales. Dicha mámpara delimita la zona presurizada del túnel y por medio de las esclusas es posible mantener el tráfico de personal y materiales sin la necesidad de variar la presión en el túnel.

El suministro de aire a baja presión se logra por medio de un banco de compresores, el cual debe calcularse de tal manera que se tenga una reserva del 100% en cuanto a capacidad de suministro (PCM).

Dado que el aire suministrado por dicho banco es el que prevalecerá en el medio ambiente del túnel, éste debe ser tratado para poder entregarlo en condiciones óptimas de salubridad, para tal motivo, se hace pasar previamente a través de interreenfriadores de agua, con lo cual se le disminuye la temperatura excesiva ocasionada por la compresión del mismo, posteriormente pasa a dos series de separadores de impurezas (agua y aceite en suspensión) y por último es enviado por medio de tubería hasta el frente de trabajo.

Las instalaciones principales son :

- Escudo de frente abierto.
- Mámpara.
- Esclusas de rezaga y personal
- Tablero de control.
- Lineas de conducción de aire a baja presión.
- Sistema de manteo.
- Banco de compresores de baja presión.

Cuando las condiciones de terreno ameritan que la excavación del túnel se tenga que iniciar con aire comprimido a partir de la lumbrera, entonces la mámpara y las esclusas son colocadas en posición vertical.

5.5.3 Instalaciones y Equipos Utilizados

Para llevar a cabo la excavación de un túnel con escudo y aire comprimido, es indispensable el uso de las siguientes instalaciones :

SUB-ESTACION ELECTRICA :

La sub-estación tiene una capacidad que se define de acuerdo a la demanda programada.

PLANTAS DE EMERGENCIA :

Se debe contar con un banco de plantas generadoras cuya capacidad permita desarrollar normalmente las actividades de excavación aún cuando se interrumpa el suministro de energía proveniente de la calle.

BANCO DE COMPRESORES DE ALTA PRESION .

Cuya capacidad debe satisfacer la demanda de aire que requiere la maquinaria del túnel y algunas de superficie.

SALA DE BOMBAS DEL ESCUDO .

Contiene las bombas hidráulicas con sus respectivos depósitos de aceite y los tableros maestros. Es aquí donde se genera la presión que hace funcionar todo el sistema hidráulico del escudo.

CASETA DE INYECCION :

Donde se fabrican las mezclas de cemento, bentonita, arena agua. Posteriormente son enviadas al túnel por medio de tuberías para ser utilizadas en el tratamiento de inyección de contacto entre dövelas y terreno natural.

MALACATE DE MANTEO :

Se utiliza para extraer por la lumbrera el material producto de la excavación y para introducir al túnel materiales de consumo. Es más conveniente utilizar malacate de doble tambor sencillo ya que se agiliza la operación de manteo, estando ésto condicionado por el diseño del sistema.

SERVICIO MEDICO .

Consta de una sala de espera, consultorios, oficina médica, archivo, cuarto de curaciones, laboratorio y la cámara médica así como las instalaciones auxiliares de ésta (oxígeno para tratamientos, aire comprimido de emergencia, mezcla de aire nitrógeno)

Un compresor de alta presión suministra el aire a utilizarse en la cámara médica, el cual es tratado en un enfriador y un separador de impurezas después de salir de los tanques de almacenamiento hacia la cámara.

BANCO DE COMPRESORES A BAJA PRESION :

Suministran el aire que se utiliza en el túnel para mantenerlo presurizado. Como anteriormente se dijo, este aire circula a través de inter-enfriadores de agua para reducirle la temperatura de 55° a 26° centigrados aproximadamente, dándole posteriormente un tratamiento de purificación para poder enviarlo al túnel en condiciones aceptables de pureza y temperatura. El agua utilizada en enfriar el aire se trata en una torre de enfriamiento para volverla a recircular por los mismos inter-enfriadores, formando así un circuito cerrado.

La presión de aire en el túnel es controlada en superficie por una válvula reguladora, la cual se cierra o se abre automáticamente de acuerdo a las necesidades del mismo, sin que esto implique variaciones notables en la presión.

TALLERES :

Se debe contar con taller mecánico, eléctrico, de soldadura y carpintería.

ALMACEN :

Se debe contar con las refacciones y los materiales básicos que requiere la obra por un período de un mes.

ESCLUSAS DE DESCANSO :

Cuando los tiempos de descompresión son largos resulta incómodo para los trabajadores el descomprimirse en la esclusa de personal ya que es un espacio muy reducido. Para tal efecto se debe instalar una cámara de descanso a presión, la cual cuenta con sillas acoginadas, regaderas, sanitarios, t.v., y sobre todo mayor espacio.

5.5.4. Ciclo de Operación

Antes de iniciar el ciclo de excavación, el frente del túnel está soportado por un ademe de madera sobre el cual ejercen presión los gatos frontales del escudo. El ciclo se inicia al derribar el ademe por secciones y "banquear" con herramienta neumática el frente en una longitud equivalente a un empuje. El material producto del banqueo cae a la parte inferior del escudo para posteriormente ser extraído por medio de una rezagadora o de bandas y vaciado en los trenes de rezaga, los cuales son transportados hasta el fondo de la lumbre para poder extraer hacia la superficie el material producto de la excavación. Dicho material es vaciado en camiones de volteo para ser transportado a la zona de tiro elegida.

Al terminar la rezaga todo el material producto del banqueo, se inicia el avance del escudo apoyando los gatos de empuje en el revestimiento anteriormente colocado. Posteriormente los gatos se retraen y se colocan los segmentos necesarios para formar un anillo.

Es aquí donde se cierra un ciclo de excavación con un avance equivalente al ancho de un anillo, quedando como actividades críticas la rezaga, el empuje y la colocación del anillo, simultáneamente a estas actividades se desarrollan otras tales como :

- Inyección de gravilla y lechada.
- Banqueo y ademe del frente.
- Colocación de dispositivos para mantener la geometría de los anillos
- Colocación de líneas de conducción para aire, bombeo, ventilación, hidráulico del escudo, agua, inyección, líneas para el control remoto del escudo, teléfono y alumbrado.
- Ajuste de los tornillos de las dóvelas.
- Manteo.
- Bajada de materiales.

Al realizar un empuje queda un espacio vacío entre las dovelas y el terreno natural, el cual es llenado primeramente con gravilla inyectada a presión y posteriormente con diferentes tipos de lechada, logrando así uniformizar las cargas del terreno sobre los anillos a la vez que se disminuyen las filtraciones hacia el túnel y los asentamientos en superficie.

La gravilla es colocada mediante el uso de una lanzadora neumática que se conecta a una manguera , la cual se introduce en perforaciones estratégicamente colocadas en las dóvelas.

Posteriormente se inicia la inyección de lechada de acuerdo a la siguiente secuencia :

1a etapa o tapón :

Es una inyección que se realiza en los últimos tres anillos del tramo a tratar y que tiene como finalidad evitar que la lechada de las etapas siguientes se prolongue a la zona del escudo. Esta mezcla consiste en un mortero de fraguado rápido.

2a etapa :

Es una inyección menos densa que la anterior, sigue siendo un mortero pero más fluído y sin acelerante, su función principal es llenar los huecos que han quedado entre dóvelas, terreno y gravillas.

3a etapa :

Esta inyección es más fluida y está formada de agua, cemento y bentonita, su función principal es la de sellar e impermeabilización.

5.6 ESCUDO DE FREnte ABIERTO CON 2 CABEZAS ROZADORAS

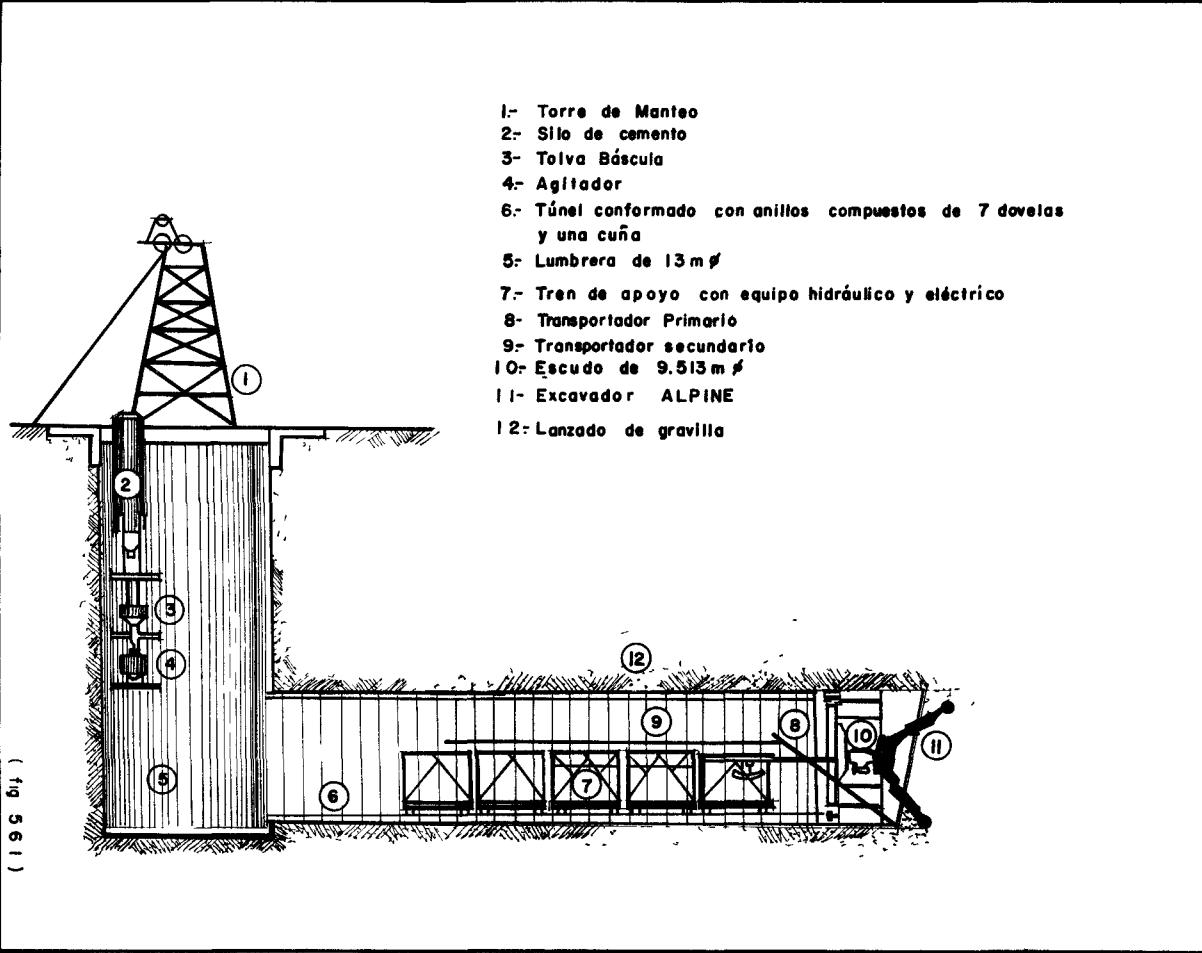
5.6.1 Procedimiento Constructivo

Para la excavación del túnel el escudo cuenta con un tren de equipo integrado,(cabe mencionar que este tipo de escudo se utiliza en la construcción de túneles del STC-Metro) de manera que el proceso se ejecuta con la mayor eficiencia, una vez que todo el equipo ha sido instalado en el interior del tunel.(fig 5.6.1 y 5.6.2)

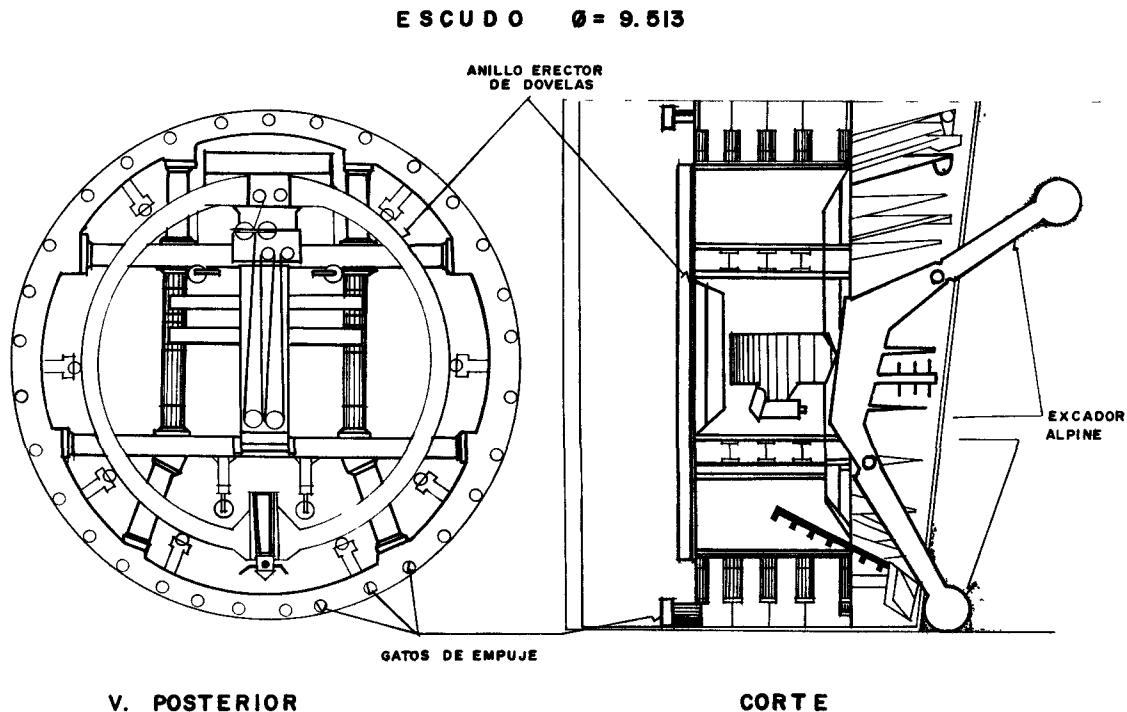
En términos generales el proceso constructivo puede describirse de la forma siguiente : El ataque del frente se realiza por medio de 2 cabezas rozadoras del tipo Alpine AM-50, las cuales se encuentran montadas sobre una estructura que gira en sentido contrario a las manecillas del reloj, accionada por 3 motores eléctricos acoplados a una transmisión.

Ambas cabezas abren y cierran mediante gatos hidráulicos cortando en forma concéntrica el frente de excavación, es decir, una ataca la parte más alejada del centro del túnel hasta permitir una sobreexcavación perimetral de 10 cm afuera de la funda circular que conforma el escudo, en tanto la otra ataca la parte central de la zona por excavar. La rezaga producto de la excavación es movida en forma simultánea del frente del escudo hacia la parte posterior del mismo mediante una banda primaria inclinada (de racletas) alojada al centro, en la parte baja, al frente del escudo.

INSTALACIONES EN LUMBRERA Y TUNEL



VISTAS EN CORTE Y POSTERIOR



(fig. 56.2)

Dicha banda cuenta con 2 brazos recolectores del tipo "brazos de cangrejo", los cuales forzan el material excavado para ser depósito en la banda. La banda primaria (con una inclinación de 28 grados) descarga a su vez a una banda secundaria (de hule) totalmente horizontal, la cual esta montada sobre el tren de equipo y deposita la rezaga en una tolva para que posteriormente sean cargadas las vagonetas que conducen la rezaga hasta la zona de la lumbre.

En la zona de la lumbre la rezaga es descargada nuevamente e izada mediante una torre de manteo hasta la superficie.

Cuando el ataque del frente se ha realizado se empuja el escudo seleccionando entre los 31 gatos de empuje, los cuales se apoyan contra el revestimiento hasta lograr avanzar 1.2 metros y se procede a la colocación del revestimiento formado con 8 dóvelas de concreto reforzado y atornilladas entre sí.

La colocación del revestimiento se realiza sin interrumpir la excavación y la rezaga mediante un anillo erector del tipo engrane con dientes interiores, el cual es accionado por 2 motores hidráulicos.

El espacio anular que se forma entre el revestimiento y el terreno natural se rellena inmediatamente; al salir las dóvelas del faldón del escudo se inyecta una mezcla de gravilla seca con tamaño no mayor de 5 mm y posteriormente se inyecta un mortero de arena fina, agua, cemento y bentonita.

Esta inyección tiene por objeto reducir los asentamientos provocados por el proceso de excavación y para garantizar su mayor eficacia se han instalado en el faldón del escudo 2 sellos perimetrales que impiden la fuga de la inyección.

El escudo cuenta con un sistema de ademe frontal a base de compuertas abatibles ubicadas en la periferia de la media sección superior. Este ademe se ha previsto únicamente para usarse en casos de emergencia puesto que el escudo excavará a través de suelos sin problemas de estabilidad.

El tren de equipo consiste en un conjunto de 10 plataformas montadas sobre una vía y que son arrastradas por el escudo.

Las primeras 5 plataformas cuentan con una estructura superior (pórticos) con objeto de soportar la banda secundaria y de alojar equipos que suministran energía hidráulica y eléctrica al escudo (2o y 3er pórtico respectivamente), así como para suministrar materiales y las dovelas que conforman el revestimiento del túnel (1er pórtico). En el 5o pórtico se alojan las 2 tolvas receptoras de la rezaga, mediante las cuáles se carga a las vagonetas montadas sobre 2 vías laterales que se han dispuesto a lo largo de las plataformas para garantizar la alimentación continua de materiales al frente de excavación.

En la parte posterior una rampa conecta a la vía central, que se va instalando a lo largo del túnel, con el tren de equipo y al frente se cuenta con suficiente espacio entre la 1^a rampa y el escudo para poder colocar la vía central.

5.6.2 Ciclo de Excavación

Considerando el proceso constructivo tal como fue concebido en el diseño original del sistema se observa que las actividades principales del ciclo pueden hacerse simultáneas reduciendo notablemente el tiempo del mismo; para la capacidad teórica del diseño (20m/día como avance máximo), se requerirán de 86.4 minutos para la excavación y colocación de un anillo de dovelas de 1.2 m debiendo ejecutarse simultáneamente la excavación, rezaga, la colocación del revestimiento y las inyecciones aún cuando se excava por etapas.

Sí se incluye un factor de eficiencia o uso del 60% (que por regla general se considera a nivel mundial hasta 50%), la capacidad real podría reducirse a 12 m/día y se requerirán de 144 minutos/anillo.

Es importante aclarar que el ciclo aquí considerado solamente puede ser aplicado cuando se hayan superado los problemas de arranque y se cuente con todo el tren de equipo operando en el interior del túnel y para ello se ha previsto excavar 180 m de túnel.

5.7 ESCUDO CON FREnte PRESURIZADO DE LODOS

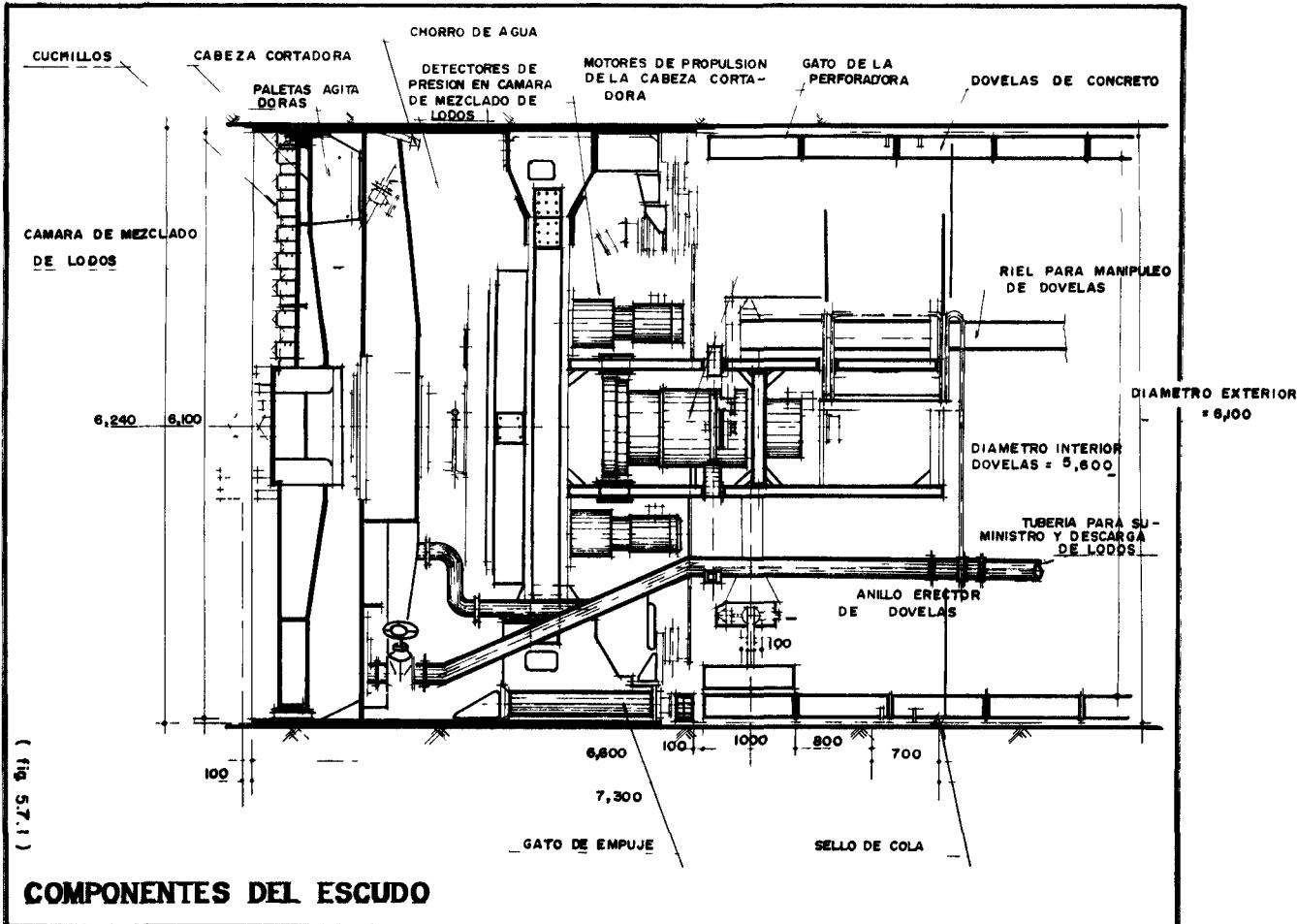
5.7.1 DESCRIPCION

los principales componentes de este equipo son :(fig 5.7.1 y 5.7.2)

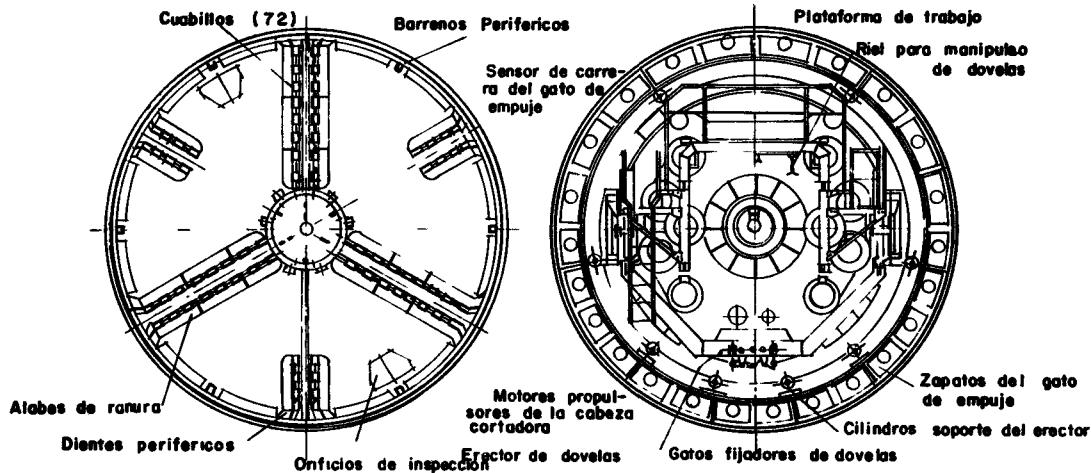
a) Cuerpo del Escudo :

Es un cilindro metálico de 6.24 m de diámetro exterior, 7.30 m de largo y espesor de la placa de 40 mm. En su interior se alojan los principales elementos que componen el equipo : cabeza cortadora, cámara de mezclado, transmisión de la cabeza, cortadora, gatos hidráulicos de empuje y anillo erector de dovelas.

A la parte posterior de éste, al igual que en todos los tipos de escudo, se le conoce como faldón, al lugar en donde precisamente ensamblan las dovelas de concreto precoladas que formarán el revestimiento primario del túnel. Además en su parte posterior, se localizan tres sellos (uno de cerdas de alambre, y dos de hule natural) que hacen posible realizar la inyección de contacto entre dovelas y terreno natural, conforme avanza la excavación.



VISTA FRONTAL Y POSTERIOR DEL ESCUDO



(fig. 5.7.2)

b) Cabeza Cortadora :

Es un disco metálico, situado al frente del escudo que tiene dos funciones principales; la primera dar el soporte mecánico al suelo para mantenerlo estable, lográndose ésto con la ayuda de un gato que se aloja en la flecha hueca de la transmisión cuya capacidad es de 360 ton, y tiene una carrera de 40 cm; la segunda, es la de efectuar el corte del suelo o excavación propiamente dicha, para lo cual cuenta con 24 compuertas de control, provistas de 72 dientes cortadores, estratégicamente ubicadas que pueden ser abiertas a voluntad.

Para que la cabeza pueda efectuar el corte, la transmisión le proporciona un torque maximo de 352 ton-m, pudiendo hacerla girar en ambos sentidos a razón de 0.6 -1 r.p.m.

c) Cámara de Mezclado :

Esta se delimita por la cabeza cortadora y una mampara metálica, en cuyo interior se alojan dos agitadores que giran haciendo que el suelo excavado se integre al lodo suministrado. Para auxiliar a los agitadores en esta actividad, el cortador cuenta con paletas metálicas en su parte posterior.

La mampara metálica está diseñada para soportar 5.0 kg/cm² de presión y tiene dos puertas de inspección, así como inclinómetros para medir el giro y pendiente de la máquina.

d) Transmisión :

Su función es la de transmitir el torque al cortador, contando para ésto con ocho motores eléctricos de 30 kw.

e) Gatos de Empuje :

Son los encargados de regular el avance al momento de la excavación, apoyándose en las dovelas correspondientes al último anillo colocado. Este equipo cuenta con 24 gatos de 120 ton, de capacidad cada uno y 1,150 mm de carrera, distribuidos en todo el perímetro del mismo.

f) Anillo Erector :

Este dispositivo se utiliza para el montaje de las dovelas y tiene la posibilidad de acoplar, deslizar, girar y colocar las dovelas en su posición final.

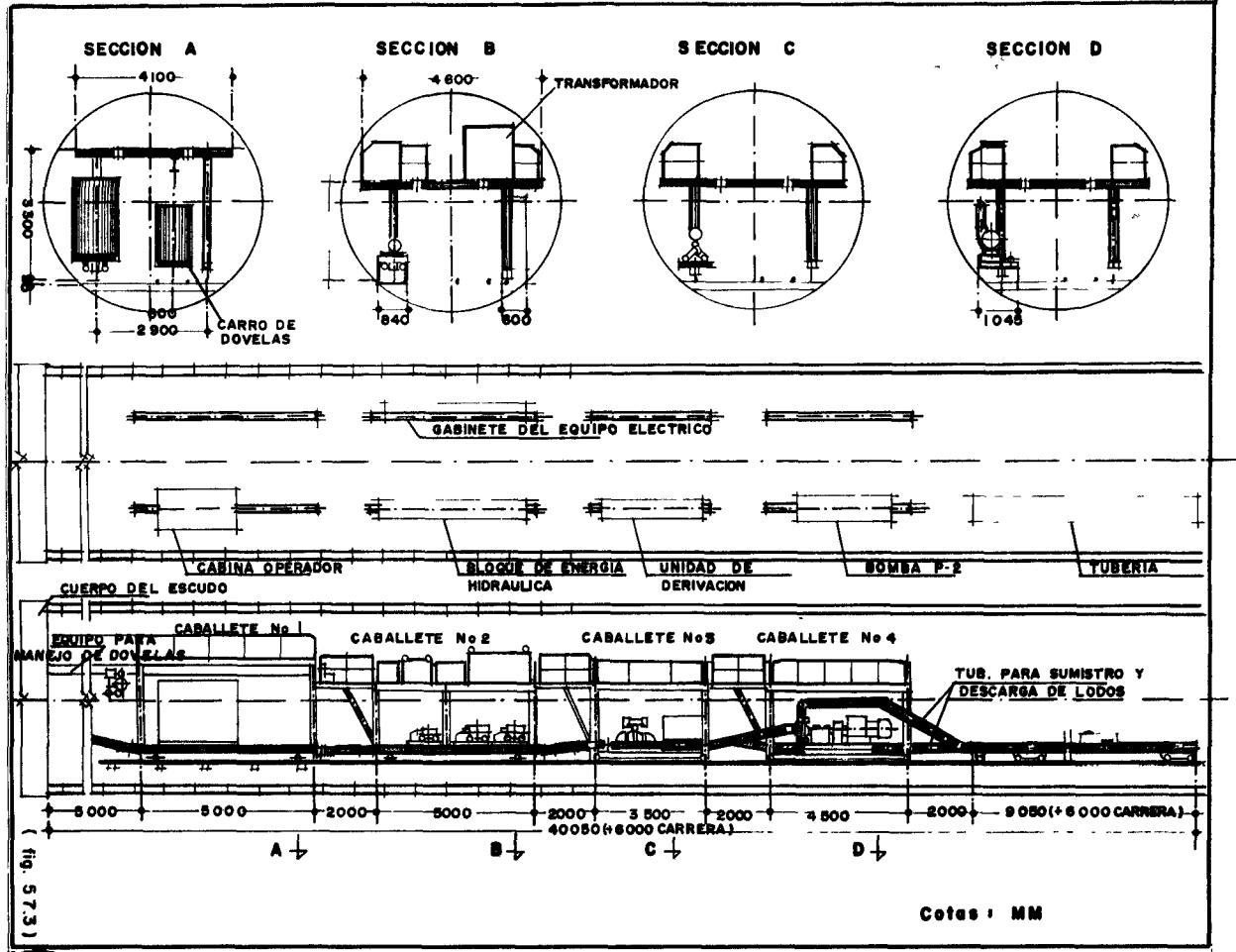
g) Tren de Equipo :

Dentro del túnel, inmediatamente atrás del cuerpo del escudo, van siendo remolcados por este mismo los equipos auxiliares, fundamentalmente para su operación, siendo : cabina del operador, unidades de potencia hidráulica, unidad neumática, sistema de válvulas de derivación (by-pass), cabina de equipo eléctrico, cabina de TC/TM (telecontrol y telemetría), bomba de descarga de lodos, transformador de corriente eléctrica almacenamiento de cable eléctrico y finalmente las tuberías telescópicas.(fig 5.7.3)

h) Sistema de Lodos :

Tiene el doble propósito de soportar el frente de la excavación, al mismo tiempo de remover el lodo mezclado de la cámara. Esto se realiza con la bomba centrífuga P1 (suministro de lodo), de 45 kw, velocidad variable y gasto máximo de 3.4 m³/min, la bomba P2 (descarga de lodo), de 75 kw, velocidad variable y gasto máximo de 3.4 m³/min, y las bombas P3, P4, P5 y P6 de 45 kw con velocidad constante y gasto máximo de 3.4 m³/min.

TREN DE ARRASTRE DEL ESCUDO



i) Cabina Central de Control :

Tiene como principal finalidad suministrar la información de los parámetros que se manejan al momento de la excavación, para lo cual cuenta con 27 registradores de funciones específicas, además de controlar la circulación de lodos.(fig 5.7.4)

Las funciones de la consola central de control, se dividen en la forma siguiente :

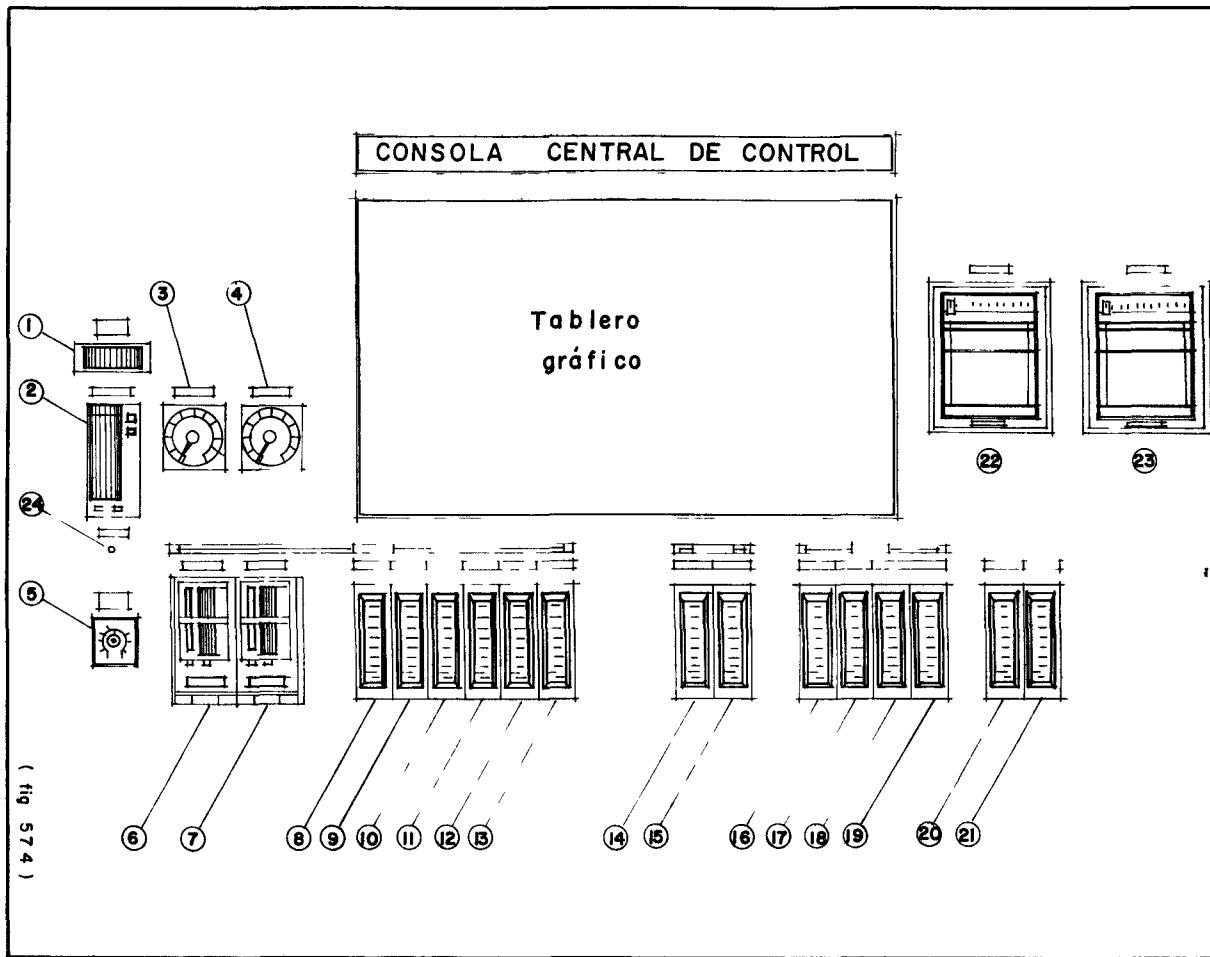
1) Información sobre el funcionamiento del escudo, dada por :

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

2) Información de la circulación de lodos, contemplando los siguientes aspectos :

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

**CONSOLA
CENTRAL**



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

3) Control de circulación de lodos :

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

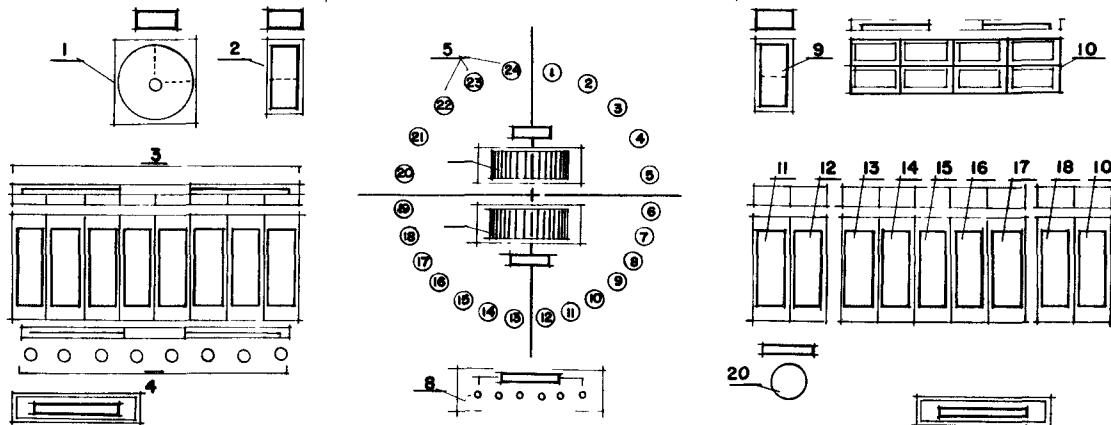
En el tablero gráfico existente, por medio de indicadores luminosos, nos podemos dar cuenta si una bomba se encuentra funcionando o está parada, si una válvula está abierta o cerrada, si hay suministro de energía eléctrica a las bombas y al compresor que acciona las compuertas de admisión de material,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

j) Cabina del Operador :

La función del operador de la cabina consiste en únicamente en controlar lo referente a la excavación (avance) y al control del escudo. Aunque también, recibe información adicional sobre el funcionamiento del sistema de lodos. Para ello cuenta con 20 indicadores que se pueden agrupar en :(fig 5.7.5)

CABINA DEL OPERADOR

TABLERO DEL OPERADOR



INDICADORES DEL TABLERO DEL OPERADOR:

- | | |
|---|---|
| 1) VOLTAJE EN LA LINEA | 11) PRESION EN EL FRENTE |
| 2) VELOC. DE ROTACION DE CABEZA CORTADORA | 12) GASTO DE DESCARGA |
| 3) CORRIENTE DE LOS 8 MOTORES DE LA CORTADORA | 13) PRESION TOTAL DEL SISTEMA DE GATOS |
| 4) SOBRECORRIENTE DE LOS 8 MOTORES | 14) CARRERA DEL GATO N° 20 |
| 5) ENCENDIDO Y APAGADO DE LOS 24 GATOS | 15) CARRERA DEL GATO N° 5 |
| 6) CABECEO DEL ESCUDO (PITCH) | 16) VELOCIDAD DE AVANCE |
| 7) GIRO DEL ESCUDO (ROLL) | 17) VOLUMEN DE ACEITE HIDRAULICO |
| 8) CARRERA DEL GATO DE LA CABEZA CORTADORA | 18) PRESION DEL GATO DE ALABE |
| (9) INDICADOR DE ENC. O APAG. DE VALV. DE DERIVACION | 19) PRESION DEL GATO DE LA CABEZA CORTADORA |
| 10) SISTEMA DE ALARMAS | 20) APAGADO DE EMERGENCIA |

(fig. 5.7.5)

1) Control del Escudo :

- velocidad de rotación de la cabeza cortadora
- Corriente de cada uno de los ocho motores de la cabeza cortadora
- Indicadores de sobrecorriente para cada uno de los ocho motores
- Encendido y apagado de cada uno de los 24 gatos
- Cabeceo del escudo (pitch)
- Giro del escudo (roll)
- Carrera del gato de la cabeza cortadora (0 a 400 mm)
- Presión total del sistema de gatos
- Carrera del gato izquierdo (# 20)
- Carrera del gato derecho (# 5)
- Velocidad de avance
- Presión de los gatos de las compuertas
- Presión del gato de la cabeza cortadora

2) Información de la circulación de lodos :

- Presión del frente (mampara)
- Gasto de descarga
- Indicador del funcionamiento de la válvula de derivación

5.7.2 ESPECIFICACIONES

ESCUDO EXCAVADOR CON FRENTE PRESURIZADO DE LODOS (SLURRY SHIELD)

D E S C R I P C I O N G E N E R A L

Propietario : D.G.C.O.H.

Fabricante : Okumura Corporation (Japón)

Geométria del Escudo :

Longitud	7 , 300.00 mm
Diámetro exterior	6 , 240.00 mm
Peso	240.00 ton

Cabeza Cortadora:

Diámetro	6 , 120.00 mm
Par	Operación 235.00 t/m
	Máximo 352.00 t/m
Dientes cortantes	72.00
Compuertas de control	24.00
Paletas batidoras	12.00
Gato	1.00
Empuje	360.00 ton
Carrera	400.00 mm
Motores eléctricos	8.00

Caja de Engranes	1.00
Diámetro del árbol final	650.00 mm
Velocidad	0.6 - 1 r.p.m.

Anillo Erector de Dovelas .

Tipo	anillo dentado
Diámetro	3,660.00 mm
Velocidad	0.5 - 0.8 r.p.m.
Movimientos	circular 330 g radial 650.00 mm axial 200.00 mm

Sistema de empuje :

Gatos	24 ton
Empuje por gato	120 ton
Fuerza total de empuje	2,880 ton
Carrera	1,150 mm

Sistema hidráulico :

Bombas	3
Motores	3 eléctricos
Tanques de almacenamiento	2,000 lts

Válvulas y Accesorios :

Válvula de control de presión de alimentación	1
Diámetro	200.00 mm
Control	manual
Válvula de diafragma de Alimentación	1
Diámetro	200.00 mm
Control	neumático
Válvula de globo en derivación (by-Pass)	1
Diámetro	150.00 mm
Control	neumático
Compresor de Aire y Accesorios	1

Sistema de Lubricación :

Bombas	2
Flecha cabeza cortadora	Forzada
Transmisión	Forzada
Reductores	Forzada

Sellos del Faldón :

Tipo	3
	neopreno (2)
	cepillo de alambre (1)

Anillo de Dovelas :

Diámetro Exterior	6,100 mm
Diámetro Interior	5,600 mm
Espesor	250 mm
Ancho	1,000 mm
Peso	2.2 ton/pza
No de segmentos por anillo	6 piezas
No de anillos en el faldón	2 1/2
f'c	350 kg/cm ²

Sistema de Inyección :

Tipo	simultánea a la salida del anillo
Volumen	2 m ³ /anillo
Proporcionamiento 1 m ³	
- cemento :	380 kg
- arena :	0.486 m
- bentonita :	100 kg
- agua :	760 lt
Peso del Escudo	W = 240 ton
Fatiga permisible del acero : (basado en normas del japón)	
material	ss41
de tensión	1,400 kg/cm ²
compresión	1,400 kg/cm ²
de flexión	1,400 kg/cm ²
de corte	800 kg/cm ²

CAPITULO VI

S I S T E M A S D E
S O P O R T E

6.00 SISTEMAS DE SOPORTE

6.1 Objetivo

Dependiendo del comportamiento del material donde se excava el túnel se instala el sistema de soporte a la velocidad y con la robustez que se requiera.

Durante la excavación del túnel se produce, cercano al frente, el efecto de media bóveda o tridimensional y después el arqueo bidimensional. Siendo el primero más favorable que el segundo en lo que a estabilidad se refiere, se aprovecha comúnmente para que al amparo de su protección se coloque el ademe primario o soporte temporal.

La acción estabilizadora del soporte sobre la masa de suelo que rodea al túnel, ha sido analizada tradicionalmente desde varios enfoques, comenzando con el proporcionado por la teoría de la elasticidad hasta los criterios empíricos de Terzaghi, Stini y otros.

Se concluye, por lo observado en casos prácticos, que el ademe o soporte aplica al terreno una presión tal, que le da confinamiento y, consecuentemente, capacidad de carga para contribuir en buena parte a su estabilización.

Es decir, el ademe raras veces se diseña para soportar todo el peso de la columna de suelo arriba del túnel, por el contrario, su misión es aplicar una presión estabilizadora que incrementa notablemente la capacidad natural de soporte del material.

El soporte puede clasificarse en temporal o definitivo atendiendo a la durabilidad del material que lo constituye o al uso final del túnel. Es así como un soporte temporal de madera requiere ser sustituido por un soporte definitivo o revestimiento de concreto, acero o tabique, que resultan más durables.

Puede ocurrir que el soporte temporal se convierta en definitivo si se integra de dovelas de concreto y no se requiere tratamiento posterior para su funcionamiento, como ocurre por ejemplo en un túnel carretero, ferrocarrilero o para un tren urbano, en los cuales se tienen una serie de acabados e instalaciones muy especiales que derivan en un diseño de revestimiento definitivo diferente.

6.1.1 Elección del Sistema de Soporte

En las obras subterráneas el trato constante y directo que se tiene con los materiales de la corteza terrestre se produce precisamente a través de la ejecución de la excavación y del soporte temporal, por lo que la selección y el diseño de los mismos debe tener una percepción clara del medio natural y especialmente de su comportamiento ingenieril bajo las condiciones en que va a ser atacado y ademado. Es por ello que, con frecuencia, esa responsabilidad corre a cargo del propio constructor; el proyectista diseña solo los ademes definitivos.

Si el diseño de los soportes provisionales corre a cargo del proyectista, éste adquiere la obligación de entender el medio natural, cuando éste está influido por el proceso constructivo, y de mantener una continua comunicación con la obra en todas sus fases. En todo caso, la selección del tipo de ademe que guarde compatibilidad con el terreno y con el procedimiento de excavación es una decisión delicada por las implicaciones que tiene en la economía y buena realización de la obra subterránea y en el comportamiento de su entorno.

Sí la construcción del túnel topa, aun en un corto tramo, con condiciones adversas a las que no se puede adaptar fácilmente ni el sistema de soporte ni el proceso de excavación elegidos la obra puede verse en la necesidad de parar completamente para reanudarse después de una larga demora necesaria para hacer radicales y costosos cambios de procedimiento. Estas situaciones pueden evitarse de dos formas :

- 1) Con la adopción para toda la obra de un sistema sobrado, no fácilmente adaptable, pero que sea capaz de hacer frente a todas las condiciones, incluyendo a las más difíciles.
- 2) Con la elección de un sistema bien ajustado a las condiciones más comunes que es dado esperar, pero a la vez fácilmente adaptable a las peores condiciones.

El optar por una u otra forma, que es en realidad una decisión que debe tomar el ingeniero, tiene una influencia principal en el costo y el desempeño de la obra. Las técnicas y problemas para tener una adaptabilidad completa no han sido hasta el presente totalmente resueltos, pero los trabajos definitivos que se realizan para proporcionar sistemas de soporte adaptables, están encaminados a minimizar el efecto de las naturales limitaciones de la predicción geotécnica.

Como se explica más adelante, así como en suelos blandos las dificultades y los altos riesgos llevan a optar por la primera alternativa, en los suelos firmes puede elegirse cualquiera de las dos, aunque es preferible optar por la segunda en función del costo esperado que se obtenga.

6.2 Distintos Tipos de Sistemas de Soporte Sistemas de Adaptabilidad Limitada

El túneleo en suelos blandos representa por lo general las mayores dificultades y los más serios riesgos por que el tiempo de autosoporte del terreno es muy corto. De ahí que en estos casos se prefiera adoptar sistemas de adaptabilidad limitada. Un sistema de este tipo lo constituye el empleo de escudos para excavar y de anillos de segmentos prefabricados o dovelas para ademar.

En suelos firmes los tiempos de autosoporte no son tan cortos como en los suelos blandos.

Pero efectos de intemperización y de descomposición pueden favorecer a veces los procesos de agrietamiento y de desgrane que reduce los tiempos de autosoporte a valores inferiores a los de las rocas.

Los sistemas de adaptabilidad límitada que más se han utilizado con buenos resultados en suelos firmes del Valle de México, han sido escudos de frente abierto para la excavación y dovelas prefabricadas de concreto apernadas entre sí para el soporte.

La baja adaptabilidad de los mismos se ha subsanado, en túneles bajo el nivel freático, con sistemas auxiliares de abatimiento de nivel freático por bombeo desde la superficie y, en casos más delicados con el empleo de aire comprimido o lodo presurizado para contrarrestar la carga de agua y la presión del suelo.

Cuando este último método es impráctico o ineffectivo se recurre al mejoramiento del terreno por inyección de lechadas o de productos químicos, en forma tal, que mejore las condiciones naturales del terreno.

Con el sistema de escudo, las áreas del terreno descubiertas en cada avance son reducidas y el soporte de dovelas se pone en contacto con el suelo tan pronto como es posible mediante la inyección de retaque.

Las características del sistema atienden a la excavación y soporte del terreno bajo condiciones no solo de seguridad sino tambien de eficiencia y su aparente sobrediseño da en realidad margen suficiente para enfrentarse a las situaciones más difíciles.

6.2.1 Dovelas de Concreto

Se emplean tradicionalmente en el sistema de excavación con escudo para suelos blandos, colocándose como soporte temporal o definitivo. Son precoladas, su tamaño y número por anillo están condicionadas por las dimensiones del túnel, por los dispositivos para su colocación y por las restricciones impuestas por el trazo del túnel.

El sistema de dovelas se ha ido perfeccionando en aplicaciones recientes (reduciendo el número de piezas por anillo y por consiguiente de pernos) para disminuir los tiempos de colocación. Por condiciones de servicio se ha exigido casi siempre colar sobre las dovelas un revestimiento secundario de concreto, caso común en los túneles del Sistema de Drenaje Profundo.

En el caso de suelos firmes y donde haya seguridad de contar con una buena capacidad de autosoporte, siempre deberá investigarse la posibilidad de utilizar sistemas de dovelas más económicos, compatibles con las condiciones del terreno y de servicio.

Tales son los que se forman a base de anillos de dovelas expandibles unidas a "hueso", sin pernos. Tambien deberá considerarse, siempre que sea posible, la opción de prescindir del revestimiento secundario.

En el primer túnel del metro de la Ciudad de México excavado con la protección de escudo de frente abierto en suelos firmes se empleó este tipo de dovelas. En la actualidad se sigue empleando este sistema, en el cual, cada anillo está formado por solo tres laterales, cuyo contacto en la clave es en forma de rótula. Durante la colocación de las dovelas expandibles y tan pronto quedan fuera del faldón del escudo, se expanden las laterales mediante gatos apoyados sobre la base y después se cuelan los nichos donde se colocaron los gatos, con lo cual se da continuidad al anillo. Se inyecta una lechada de cemento a través de las dovelas, unos diez anillos atrás del escudo, para retacar y sellar. La alta calidad del concreto exigido para estas dovelas, que las hace muy resistentes y durables, la escasa presencia de agua y el buen sellado, han hecho que no se observe en ellas ningún deterioro después de varios años de funcionar como único revestimiento del túnel.

Con su reducido espesor en comparación con su diámetro esterior, resulta ser un soporte flexible cuya deflexión permite al terreno vecino desplazarse lo suficiente para desarrollar su resistencia al corte y contribuir así a su soporte. Se logra además una redistribución de presión uniforme y de trabajo casi enteramente de compresión, con flexión nula o reducida.

La expansión de los anillos de las dovelas es uno de los aspectos más importantes. Garantiza un contacto más oportuno, efectivo y completo del ademe con el terreno y consecuentemente un menor consumo de inyección de retaque. Limita a tiempo la descompresión y los desplazamientos, con lo que se logran asentamientos mínimos en la superficie. Este túnel es un ejemplo del buen manejo de datos significativos y de detalles de diseño ingenieril del sistema suelo - soporte muy aproximadamente acorde con el desempeño deseado, en el que el ademe acciona sobre el terreno y no éste sobre el ademe.

Para túneles urbanos excavados a poca profundidad en suelos firmes, esta solución se acerca mucho a la ideal. Cabe buscar, si acaso, mejorar la eficiencia del corte del terreno, de la rezaga y de la colocación del ademe con sistemas de más alta mecanización y automatización, para que los rendimientos se incrementen y la obra se abarate. Ello lleva al empleo de escudos cortadores con sistemas automáticos o semiautomáticos que se han comenzado a emplear en México.

Sin embargo, dada la baja adaptabilidad de estos sistemas, siempre convendrá proveer de medios para extenderla o ampliarla.

La posibilidad de ingresar al frente de la excavación para observar el terreno e intervenir en él para retirar estorbos o para mejorarlo, o bien para conocerlo algunos metros más adelante, se incrementa la adaptabilidad.

Un frente cortador que pueda abrirse o cerrarse a voluntad para atacar tanto en suelos duros como en suelos más blandos, da tambien mayor adaptabilidad.

Si el tiempo de autosoporte del terreno permite colocar el ademe sin problemas, se buscará el más barato y durable que sea compatible con el método constructivo. En ese caso están los anillos de dovelas de concreto ya comentados, así como los marcos circulares de acero tambien expandibles con tablones de madera colocados entre ellos, a manera de retaque y forro. En este caso un segundo revestimiento es indispensable en tanto que en el de dovelas de concreto puede prescindirse de él si los requisitos de servicio lo permiten.

Sí los sistemas de anillos expandibles no son viables por ser corto el tiempo de autosoporte o por existir riesgos de infiltración de agua y de arrastre de suelo, se utilizarán anillos de dovelas prefabricadas de concreto, de acero o mixtas, unidas en todos los casos por pernos o pasadores. En estos sistemas, la inyección del sellado y retaque pegada al faldón del escudo, cobra importancia particular para minimizar los desplazamientos excesivos del terreno y los asentamientos consiguientes.

Para ello en ciertos casos, el faldón tendrá que ir provisto de elementos de sellado. Esta inyección, ejecutada a tiempo y a presiones compatibles con el terreno y con el ademe produce un efecto equivalente al de la expansión de anillos de dovelas no apernadas.

Para lograr esta estanqueidad sin necesidad de colar un revestimiento secundario, es indispensable una alta precisión geométrica en las caras de contacto de las dovelas sobre las que se pegan bandas de neopreno.

La precisión geométrica, la calidad de las dovelas e inyección de contacto y sello son factores de alto peso en el costo del ademe, por lo que el decidir en que grado deben intervenir en el diseño y colocación del mismo debe hacerse con el más amplio y completo conocimiento posible de las condiciones hidráulicas y de estabilidad del terreno por excavar.

6.2.2 Marcos Metalico y Retaque de Madera

Sistemas de media o alta adaptabilidad (fig 6.2.1)

Los suelos firmes del Valle de México, se han excavado en la mayoría de los túneles existentes, con sistemas de mediana o alta adaptabilidad como son: Métodos de barrenación y voladura en tepetates, tobas, conglomerados, es decir, en terrenos de frontera entre suelos y rocas; o métodos de ataque a pico y pala con rompedoras, pistolas y palas mecánicas, en terrenos muy compactos.

Recientemente se han comenzado a usar máquinas excavadoras del tipo selectivo del tipo de "rozadoras" o "rasacadoras". También ha habido casos en que se ha atacado con el mismo cucharón del equipo de rezaga (traxcavo, retroexcavadora, pala mecánica) o con martillos de impacto pesados.

Concreto lanzado
Aplicación por
Zonas
(rocas)

Concreto lanzado
Aplicación por
capas continuas
(rocas y Suelos firmes)

Marcos Metálicos
y retaque de madera
(o concreto lanzado)

Concreto lanzado
capas continuas
anclas inyectadas
(Nuevo método austriaco)

EN ROCAS Y SUELO

(fig 621)

SISTEMA DE SOPORTE DE AMPLIA ADAPTABILIDAD

B I B L I O T E C A
Instituto Tecnológico de la Construcción

Marcos Metálicos Y Retaques de Madera

Es un sistema de ademe que empieza a cargar tan pronto se colocan los marcos contra el terreno, no hay que esperar un tiempo de fraguado. Conviene mencionar sin embargo algunos de sus inconvenientes :

En grandes secciones o en túneles de geometría variable su instalación se dificulta y resulta tardada, por lo que puede dar lugar a desplazamientos excesivos y aflojamiento del suelo.

Por otra parte, su contacto con el terreno no es continuo sino puntual o zonal y a través de elementos de deformabilidad variable (tablones, vigas, cuñas), por lo general de madera. Así que la alta rigidez de las piezas metálicas, que es la que a la vista más confianza da, puede ser engañosa por que en realidad el conjunto (marcos, madera) llega a ser más deformable de lo que el terreno necesita para desarrollar su resistencia y dar cargas mínimas.

En los suelos firmes del Valle de México se ha utilizado extensamente el sistemas de marcos metálicos y retaque de madera, sobre todo en la formación Tarango y en túneles de drenaje, es decir, en secciones entre 12 y 60 m². El comportamiento de estos túneles ha sido en general satisfactorio y ha permitido observar que los suelos firmes de la Formación Tarango se sostienen bien, sufren poca alteración por intemperismo y no manifiestan procesos de aflojamiento importantes, ni fenómenos de degradación ni incrementos de cargas o asentamientos diferidos.

Donde el ademe de marcos metálicos y retaque de madera ha aprobado tener el comportamiento más satisfactorio ha sido en tramos en que el perfil de la excavación se acerca más al proyecto, de manera que la instalación del soporte es rápida y la presión de los marcos logra, a través de las cuñas y con poca madera, proporcionar un efecto muy parecido al presfuerzo que se obtiene al expandir dovelas de concreto.

Las técnicas modernas de soporte entienden mejor el trabajo de conjunto de este sistema y aprovechan sus características de rigidez y flexibilidad y sus contactos múltiples con el terreno para sacar las mayores ventajas del comportamiento combinado ademe - suelo.

6.2.3 Concreto Lanzado y Anclas de Fricción (fig 6.2.1)

La adaptabilidad del concreto lanzado es extraordinaria porque se puede aplicar prácticamente en todo tipo de terreno, salvo en arcillas blandas y en arenas sueltas. Se ajusta además a cualquier geometría, lo cual lo hace preferible a los marcos en secciones variables o complicadas. Puede colocarse tan pronto se excava, en un mínimo de espacio, lo que muchas veces permite traslapar el lanzado con otras actividades del tunelero y ahorrar así tiempo y dinero. Los menores espesores de ademe, comparados con los que requieren los marcos metálicos y la madera, llevan a secciones de excavación menores. Por otra parte, los trabajos de reparación y reademado son, con el concreto lanzado, mucho más fáciles.

Las nuevas técnicas de soporte de túneles emplean principalmente el concreto lanzado : su flexibilidad y resistencia variable con el espesor de las capas y con el tiempo, se ajustan mejor que cualquier otro sistema a las diferentes fases del tunelaje, particularmente, a las más ligadas al frente de la excavación, que es donde realmente están en juego la estabilidad y el comportamiento futuro del túnel.

La primera capa tiene una importancia primordial. Tiene de 3 a 5 cm de espesor y de hecho es una membrana plástica pegada al terreno por una alta adherencia lograda por impacto a alta velocidad y por aditivos químicos acelerantes de fraguado. Se consigue con ella una función protectora y una estructura compuesta : el terreno contiguo, por efecto del martilleo y la adherencia del concreto lanzado, sufre una compactación físico - química que constituye una capa resistente adicional, o una estructura de soporte compuesta de suelo y concreto que da continuidad y mantiene el confinamiento.

Su flexibilidad es alta así como su capacidad de fluir bajo carga, por lo que el terreno y ademe se deforman casi al unísono. La resistencia del concreto se incrementa hora a hora y la rigidez crece al añadir capas. Ello equivale a un reforzamiento paulatino que sucede casi a la par con el del terreno. Esto lo obtiene al desarrollar su resistencia por multiplicación de contactos y efectos de cuña que se producen gracias al desplazamiento controlado y en condiciones de nuevo confinamiento y de rigidización paulatina que le da el ademe al concreto lanzado.

En el Valle de México se ha utilizado, siguiendo varios criterios o filosofías ,los siguientes sistemas de soporte a base de concreto lanzado y anclas de fricción :

- a) El sueco, que sólo hace aplicación zonal de concreto lanzado para proteger áreas potencialmente alterables y sellar grietas o fracturas a modo de junteo con mortero, se aplica en rocas fracturadas y suelos muy firmes de buena calidad.
- b) El centro-europeo, que hace una aplicación de concreto lanzado en capas continuas. En Austria y en Europa Central se acostumbra incluir en el concreto una o dos capas de malla de acero como elemento de liga y refuerzo; los canadienses y suecos prefieren prescindir de la malla.
- c) El Nuevo Método Austriaco de tuneleo (NATM), que además incluye anclas (generalmente anclas de fricción o de resistencia repartida, inyectadas con lechadas o embebidas en mortero en toda su longitud) de longitudes entre 2.00 y 5.00 m y separaciones entre 1.00 y 2.50 m. Esta filosofía de sostenimiento creada por Rabcewicz, atribuye la mayor proporción de resistencia del sistema a las anclas, las cuales se diseñan para resistir esfuerzos de corte según el mecanismo de falla del túnel que se concibió.

Las anclas de fricción, llamadas también de resistencia repartida, son de uso extendido en combinación con el concreto lanzado. Son elementos que amplían la adaptabilidad del sistema al reforzar el terreno y mejorar sus características más pobres, tales como su resistencia a tensión y a corte. Instaladas lo más cerca posible del frente de excavación proporcionan una fuerza radial o en la dirección del anclaje y hacia el interior del terreno, igual por lo menos al producto de la superficie lateral por la adherencia. Pero la irregularidad de esa superficie, por una parte, y la restricción local que impone la presencia del ancla a desplazamientos del suelo, provocan una fuerza adicional superior a la que resulta del simple diseño estructural.

La restricción local al desplazamiento que ocasiona el ancla, promueve contactos y acuñamientos entre las partículas de suelo que, en desplazamientos posteriores del terreno hacia la cavidad provocan un efecto amplificador de resistencia y cohesión. Si las anclas se instalan en etapas posteriores, durante un proceso de deformación del terreno más avanzado, se pierden algunas ventajas de recuperación rápida del confinamiento pero de todos modos adquieren e irradian resistencia al ser solicitadas por los desplazamientos diferenciales del terreno que se producen entre el borde de la excavación y el extremo del anclaje.

Tienen, en suma, un efecto repartidor y uniformizador de esfuerzos, por lo que son muy útiles en zonas donde la distribución de esfuerzos es compleja (intresecciones de túneles, cambios de geometría) y donde el arqueo se produce por sobreposición de varios efectos de bóveda y domo.

Sí las anclas de fricción tienen cabeza roscada para colocar tuerca, el apriete de ésta, repartido a través de una placa, produce una compresión que incrementa el confinamiento del terreno y el efecto amplificador de resistencia antes mencionado.

En suelos firmes con tendencia a agrietarse y desgajarse, puede resultar benéfico para evitar aflojamientos y desprendimientos cuando las anclas se instalan muy atrás del frente de la excavación; también el esfuerzo de apriete cierra las grietas e incrementa por tanto la resistencia por fricción.

Si se acepta la adquisición paulatina de resistencia del concreto lanzado y su comportamiento plástico en las primeras horas de haber sido aplicado, así como su flexibilidad, no es de extrañar que responda a importantes deformaciones sin agrietarse o fallar frágilmente. Esta característica es favorable para el reacomodo del terreno a las nuevas condiciones de esfuerzo y promueve la interacción completa del suelo y el soporte.

De semejante manera, las anclas de fricción que trabajan por deformación diferencial y se ven sujetas a desplazamientos relativamente importantes para desarrollar su resistencia, pueden hallar una compatibilidad casi perfecta con el concreto lanzado y el terreno.

El concreto lanzado reparte los efectos de frontera que se producen en la pared, hacia la anclas, y éstas a su vez distribuyen estos efectos y los difunden junto con los efectos amplificadores de resistencia hacia el interior del terreno. Por su lado, los esfuerzos en el terreno se transmiten y reparten en el concreto lanzado, por fricción y adherencia, de la bóveda hacia las paredes y de éstas hacia el piso.

La fácil y rápida aplicación de estos sistemas y su amplia posibilidad de hacerse más grueso o multiplicarse y reforzarse para hacerse más rígidos y resistentes, si así se requiere, los convierte en la mayoría de los casos en sistemas de soporte de la más alta adaptabilidad de que se pueda disponer. Además el reforzamiento se obtiene sin invadir la sección de proyecto, lo cual es muy difícil de lograr con cualquier otro sistema de ademe.

Sus limitaciones :

En arcillas blandas o en arenas sueltas el concreto lanzado no tiene adherencia aunque existen técnicas para resolver el problema en ciertos casos. En estos mismos materiales, los barrenos para las anclas se cierran. Aún así hay anclas que trabajan y generan una resistencia por adherencia o por fricción, no despreciable si se hincan sin perforación previa.

6.2.4 Otros Sistemas

Marcos de Madera :

Formados por troncos de arboles o puntales aserrados de sección cuadrada o rectangular.

En un principio constituyeron el medio más económico y adecuado para soportar el material excavado. Su uso principal fue en minas y en la actualidad su uso se está restringiendo a obras pequeñas, provisionales, donde la madera compite económicamente con otros materiales de soporte.

Anclas :

Constituyen un método especial de soporte que mejora las condiciones estructurales del material natural, logrando, así su autosoporte. Su uso más común es en rocas moderadamente fracturadas. Como ya se mencionó, pueden combinarse con concreto lanzado para utilizarse en suelos blandos.

Dovelas Metálicas de Lámina Troquelada :

Comunmente llamadas "charolas" constituyen un sistema de ademé flexible, que proporciona resultados excelentes en combinación con escudos para suelos. Su tamaño y forma está condicionado por su manejo y colocación en el túnel.

Tabique y Mamposteria .

En el pasado constituía el método más común para formar revestimientos definitivos. Requería de mano de obra muy especializada para su colocación, hoy en día este sistema rara vez es utilizado.

CAPITULO VII

I N S T R U M E N T A C I O N

7.00 INSTRUMENTACION

7.1 Objetivo

El utilizar estaciones de instrumentación y estudios de mecánica de suelos, cuyos datos sirvan para controlar o mejorar las condiciones de construcción y seguridad del túnel tiene los siguientes objetivos :

- 1) Un conocimiento más completo del comportamiento de la excavación en función de los procedimientos constructivos utilizados.
- 2) Incrementar la seguridad de la excavación, permitiendo tomar medidas convenientes para mantenerla en condiciones normales de estabilidad antes de colocar el revestimiento definitivo.
- 3) Aumentar la economía del túnel al determinar con anterioridad cual será el sistema de soporte provisional que resulte más adecuado a la excavación.
- 4) Elaborar programas de construcción que sean aplicables en la excavación del túnel, en base a la experiencia obtenida en tramos donde las condiciones del suelo son semejantes.
- 5) Conocer si el comportamiento de la obra se augea de una manera satisfactoria al que puede predecirse en base a los métodos teóricos existentes, y si es congruente con el que se esperaba de acuerdo con el análisis efectuado.

- 6) Obtener información que permita mejorar el conocimiento sobre el comportamiento de las obras, a fin de poder mejorar o refinar los métodos de análisis y diseño o incluso implementar nuevos procedimientos para este propósito.

7.2 Descripción de Instrumentos

Los instrumentos, en general, miden efectos físicos y significativos como son : fuerzas, presiones y esfuerzos, o deformaciones y desplazamientos. Para ello, constan generalmente de tres partes fundamentales . un captador de la señal que se quiere medir, un transmisor de señal y un registrador. Existen diversos tipos de instrumentos, pero en todos ellos pueden identificarse los tres componentes.

Las principales características que se pueden señalar de un instrumento son :

a) rango:

Se define por los valores máximo y mínimo que puede medir el instrumento.

b) Sensibilidad :

Se define como la cantidad más pequeña que puede ser medida en el instrumento.

c) grado de aproximación :

Se define como una medida de las diferencias entre los valores medidos con el instrumento y el valor real de la magnitud que se quiere obtener. Aunque éste último no se conoce, sin embargo, con mediciones repetitivas de la misma magnitud se puede establecer el grado de aproximación de un instrumento.

A continuación se describen los instrumentos más usuales, sus partes más importantes, su funcionamiento básico y sus aplicaciones :

PIEZOMETRO

Uno de los objetivos principales que persigue la acción de conocer la evolución de las presiones de poro es determinar las condiciones hidráulicas en el interior de la masa que conforma al subsuelo.

El piezómetro registra la presión de agua existente a la profundidad en la que se instala la punta captadora de la presión. La masa del subsuelo en la cual se requiere conocer su condición hidráulica, puede estar formada por partículas gruesas o finas, para cada caso se tiene una aplicación de un cierto tipo de piezómetros, en el primero se utiliza el piezómetro abierto o Casagrande y en el segundo un piezómetro neumático.

Piezómetro abierto o Casagrande :

El bulbo piezométrico consiste en dos tuberías de PVC perforadas y telescopiadas, y entre ambas se coloca un filtro de arena de cuarzo. La longitud normal del bulbo es de 40 cm y a partir de éste se acopla una tubería de PVC en tramos hasta llegar a la superficie.

En cuanto al funcionamiento del instrumento, consiste en que la presión que está actuando al nivel del bulbo provocará que el agua se introduzca por el mismo a través de los filtros existentes, hasta formar una columna de agua en el interior de la tubería de PVC; esta columna representa la presión actuante en la profundidad escogida. La precisión de las lecturas es de ± 1.00 cm.

Habiendo registrado la profundidad del nivel de agua a partir del brocal de la tubería, la distancia obtenida se le resta a la profundidad total del piezómetro para de esta manera conocer la altura de la columna de agua. Esta distancia en metros se multiplica por el peso volumétrico del agua para transformarla a una presión, esta presión es la hidrostática actuante a la profundidad del bulbo piezométrico.

Piezómetro Neumático :

Este bulbo piezométrico consiste en un tubo de plástico perforado y relleno de arena, a través del cual la presión del agua se transmite a un diafragma habiendo pasado por una piedra porosa evitando la entrada de cualquier partícula fina que provoque un sellado deficiente del diafragama.

Este diafragma sella en el otro extremo al piezómetro. A partir de este otro extremo se encuentran dos tubos plásticos, los cuales son conducidos a la superficie protegidos por un tubo de PVC acoplado en tramos.

El funcionamiento consiste en aplicar presión de aire con un tanque neumático, a través de una de las mangueras que llegan a la superficie, llevándola hasta un valor tal que supere la subpresión actuante en la parte inferior del diafragma debido a la presión del suelo. Este diafragma se deforma hacia abajo 0.2 mm aproximadamente, permitiendo el paso del aire hacia la línea de salida, que es la otra manguera que llega a la superficie.

Esta línea se conecta al registrador de la presión, que puede ser un juego de manómetros, los cuales en este momento estarán registrando una presión mayor que la hidráulica del suelo. Para conocer esta última se disminuirá lentamente la presión aplicada, de tal manera que cuando ambas presiones se igualen, el diafragma regresará a su posición inicial sellando nuevamente los orificios de llegada de las mangueras.

Longímetro:

Para obtener los movimientos convergentes o divergentes que se producen en las paredes de un túnel inmediatamente después que es excavado, se mide la variación de la distancia a través del tiempo entre varios puntos instalados en las paredes del túnel en una distribución diametral.

Uno de los objetivos principales es utilizar la información obtenida en la revisión del diseño, así como un refinamiento de las teorías existentes.

El longímetro consiste en una cinta invar marcada a cada 5mm, con una argolla integrada a uno de sus extremos para ser colocada a uno de los puntos de referencia, normalmente la cinta tiene una longitud de 25.00 m. La otra parte integrante del instrumento es una caja de registro que tiene en uno de sus extremos un tramo de cinta invar con otra argolla que servirá para sujetar al instrumento al otro gancho de referencia. El longímetro registra la distancia entre dos puntos de referencia con una aproximación de 0.1 mm

Para llevar el control de la magnitud de las deformaciones y definir además la tendencia y comportamiento de las mismas, se construye una gráfica deformación - tiempo, de la cual se puede definir claramente la velocidad de deformación, que es uno de los parámetros más importantes en la toma de decisiones en cuanto a realizar algunas medidas correctivas en el procedimiento constructivo.

Inclinómetro :

Se utiliza para medir las deformaciones horizontales que se presentan en las paredes del túnel por el paso de la excavación del mismo. Su principal aplicación es la determinación de los desplazamientos laterales en una masa de suelo debido al cambio en su estado de esfuerzos.

Es un instrumento provisto de deformímetros eléctricos fijados a un péndulo, acoplado a un puente de medición y calibrado previamente con él, mide las desviaciones angulares del eje longitudinal del aparato con respecto al eje vertical, la integración trigonométrica de estas inclinaciones a lo largo de una longitud de medición conduce a determinar los desplazamientos laterales que se presentan en la masa del subsuelo.

Extensómetro Mecánico :

Este tipo de instrumento mide el desplazamiento relativo entre dos o mas puntos. Es ampliamente utilizado en la instrumentación de túneles excavados en suelo o roca, sobre todo si éstos son de poca profundidad. Posee una forma de lectura directa a través de un micrómetro de carátula.

El instrumento consiste básicamente de unas anclas (tantas como puntos de medición se requieran hasta 8), que se fijan en las paredes del barreno a las profundidades que se deseé conocer el movimiento del suelo.

Un alambre de acero inoxidable que se sujet a cada ancla y una bocina de registro con un nmero de cantilivers igual al de las anclas instaladas en el barreno, provista de su elemento de salida, as como de su registro y tapa.

La operación del instrumento consiste en que, cuando el suelo alrededor del túnel cambia su estado de esfuerzos y se generan desplazamientos en la masa del suelo, éstos arrastran consigo a las anclas del extensómetro, provocando una tensión adicional al cable y con ello un movimiento transmitido al cantiliver de la bocina en donde, con el auxilio de un micrómetro de carátula se registran las deformaciones.

Finalmente, las diferencias que se obtienen al comparar las lecturas posteriores a la inicial, tomada en la fecha de instalación del instrumento, permiten conocer los desplazamientos que se generan en el subsuelo provocados por la excavación del túnel.

Existen extensómetros eléctricos que tiene gran precisión de $\pm 0.001"$ en la determinación de la deformación relativa entre diferentes puntos colocados a lo largo de un barreno, en relación con un punto situado fuera de la zona afectada por la excavación, permitiendo determinar por tanto la aceleración o desaceleración de la masa de roca hacia la excavación.

Nivelaciones :

Se utilizan para registrar los asentamientos en la superficie del terreno que se presenten debido a la excavación del túnel, por medio de una serie de puntos estables distribuidos en la superficie que se nivelan topográficamente en forma periódica.

En las nivelaciones, es muy importante definir un punto de referencia fijo fuera de la zona de influencia de las excavaciones para asegurar que los movimientos que se registren sean exclusivamente de la excavación del túnel.

El registro de asentamientos ayuda a conocer y controlar el comportamiento y tendencia de los movimientos en la superficie, debidos a la excavación del túnel. Este registro puede llevarse en una gráfica con el eje vertical marcando los movimientos verticales en milímetros y en el eje horizontal el tiempo en días. De esta gráfica se puede definir claramente la tendencia del comportamiento de los movimientos a nivel del terreno natural.

Al combinar estos movimientos con los obtenidos con la extensometría, se pueden definir el movimiento total de la clave de la excavación antes, durante y después de la excavación del túnel.

Celda de Carga :

Se utiliza para determinar la carga actuante en los marcos de acero que forman parte del revestimiento de un túnel. Está diseñada para soportar condiciones adversas como puede ser la humedad, la temperatura y las explosiones. Se registra a través del tiempo la variación de la carga que están soportando los marcos debida a la redistribución de los esfuerzos en la masa del suelo, provocada por la excavación del túnel. La finalidad que persigue la medición de estas cargas establecidas en el diseño y de esta manera controlar la seguridad de la excavación desde el punto de vista de estabilidad de la misma.

El captador de la carga está constituido por dos láminas de acero de forma circular soldadas en su periferia a un anillo rígido y protegidas por dos placas de acero que son las que hacen contacto en un momento dado en la superficie de los marcos de acero, transmitiendo uniformemente la carga a la celda, el transmisor de la carga es un tubo de acero que conecta al captador con el registrador, que es un manómetro de diferentes rangos, sensibilidades y aproximaciones en su lectura, según la capacidad de la celda y los requerimientos. El aparato debe calibrarse previamente en el laboratorio por medio de gráficas donde las abscisas representan la lectura del manómetro y las ordenadas la carga aplicada a la celda.

Celda de Presión .

Se utiliza para conocer la presión de contacto existente entre el revestimiento del túnel y la masa del suelo. Ha sido diseñada para la medición de presiones en una masa de suelo, buscando una relación diámetro-espesor en la celda lo más grande posible, con objeto de reducir la influencia de la rigidez de la celda en el medio comprensible en que se instale.

Las celdas son instrumentos formados por dos láminas circulares de acero inoxidable, soldadas en su periferia a un anillo rígido de acero, que tiene por objeto reducir la sensibilidad de la celda contra cambios de presión normales al plano de aplicación de la carga. El interior de la celda se rellena con aceite hidráulico.

La presión de la celda se mide por medio de un transductor de acero inoxidable o de bronce, cuyo principio de funcionamiento es igual que el del piezómetro neumático. En el campo, las presiones se miden en un juego de manómetros de precisión.

Las celdas pueden colocarse individualmente o en juegos de varias celdas por estación de medición.

El registro de estas presiones permite definir lo que se conoce como interrelación de trabajo suelo-ademe a través del tiempo, la cual es un aspecto muy importante, ya que la forma en que trabajan el suelo y el ademe conjuntamente definirá el rango de presiones y deformaciones permisibles en el túnel.

Gato Plano .

Es una prueba de campo que se utiliza para conocer los esfuerzos reales actuantes en las paredes de un túnel excavado.

Está formado por dos láminas cuadradas de acero inoxidable soldadas. Una característica peculiar de esta celda es que dos de sus dimensiones (ancho y largo) son bastante mayores a la tercera (espesor). En su interior se coloca aceite hidráulico desairado, que es el encargado de transmitir a través de una manguera flexible, la presión captada por la celda hacia un manómetro de alta presición conectado en uno de los extremos de la misma.

La prueba se lleva a cabo instalando puntos de referencia en una distribución dada y se procede a tomar una primera serie de lecturas entre los puntos, que se toman como lecturas "cero" o de comparación para las lecturas subsecuentes. Posteriormente se realiza una perforación en forma ranurada y se realiza una segunda serie de lecturas. Se introduce el gato plano y se rellenan los espacios con mortero.

El gato plano tiene adicionalmente una válvula check de entrada, para que en cada uno de ellos se realice una serie de lecturas de la separación de los puntos, manteniendo así un control de la variación de la distancia entre puntos. La intención es llevar los valores de éstas, desde el que se definió en la segunda serie de lecturas (ya realizada la perforación), hasta los que se obtuvieron en la primera serie de

medidas. Cuando se llega a estos valores se tiene la presión final en el manómetro, la cual corresponde al valor de los esfuerzos actuantes en la masa del suelo que se tiene en la pared del túnel.

Resumen :

Habiendo tratado cada uno de los instrumentos y definida su aplicación, se ha resumido en la siguiente tabla el tipo de instrumento que se requiere para medir los diferentes parámetros necesarios en la ingeniería civil :

PARAMETRO	NOMBRE DEL INSTRUMENTO	APLICACIONES PRACTICAS
Presiones Hidráulicas	Piezómetro Abierto (hidr. y eléct.) Piezómetro neumático Piezómetro eléctrico	Se utiliza para conocer y controlar las presiones hidráulicas en el subsuelo
Presiones Totales	Celda de presión (hidr. y neum.)	Para conocer la presión total actuante en el subsuelo

PARAMETRO	NOMBRE DEL INSTRUMENTO	APLICACIONES PRACTICAS
Esfuerzos en Materiales	Celdas de esfuerzos (eléctrica)	Para conocer los esfuerzos internos en elementos estructurales de concreto
Cargas Puntuales	gato hidráulico	Para conocer las cargas en elementos estructurales. También se utiliza en trabajos de laboratorio.
Deformaciones Unitarias	Deformímetro eléctrico Whitemore (mecánico)	Se aplica normalmente para conocer la contracción del concreto, para definir directamente la deformación de diferentes circunstancias. Se utiliza para medir fisuras o grietas en elementos estructurales
Deformaciones verticales	Extensómetro bocina (mecánico) Extensómetro y contrapesos (mec. y eléc.)	es utilizado comúnmente para conocer y controlar los movimientos del subsuelo.
Deformaciones Horizontales	Inclinómetro (eléc. y electrónico)	Para definir los corrimientos horizontales en el subsuelo, transmitidos a una tubería previamente instalada
Variación de la longitud distancia entre 2 puntos	(mecánico)	Permite conocer la variación en longitud que pudiera presentarse entre dos puntos
Temperatura en diferentes materiales	Termopar (mecánico) sensor de temperatura (eléc. y electrón.)	Para conocer la temperatura de los materiales y su variación

7.3 Instrumentación en los Diferentes Sistemas de Soporte

La instrumentación permite evaluar de una manera aproximada el comportamiento de los sistemas de soporte empleados en la excavación de un túnel. Permite además obtener información para resolver los problemas que para cada tipo de soporte se presentan durante su construcción.

CONCRETO LANZADO :

Objetivo General :

Analizar el comportamiento del concreto lanzado en las formaciones geológicas en que se construya el túnel.

Datos que se Obtienen :

- a) Envoltorio de presiones : Para ello es necesario efectuar la medición de la presión del suelo contra el concreto lanzado.
- b) Incrementos y estabilización de las cargas actuantes.
- c) Definición de la zona de tensión por medio de la medición de la deformación sufrida por el suelo por efectos de excavación.
- d) Determinación de la presión hidráulica.

- e) Análisis del comportamiento estructural del concreto lanzado con el objeto de definir los espesores adecuados y corregir los efectos de un mal lanzado del mismo.
- f) Revisión del comportamiento del sistema si se colocan anclas de tensión o fricción
- g) Incremento de presión y tiempo de estabilización de las cargas

Para efectuar las mediciones anteriores se requiere instalar los siguientes instrumentos en las estaciones de medición :

- Extensómetros
- Anclas
- Celdas de Presión
- Celdas de Presión Interna
- Piezómetros
- Puntos de Referencia para Cinta Invar
- Caja de Medición
- Selector de Puntos
- Puente de Medición

MARCOS DE ADEME :

Objetivo General :

Analizar el comportamiento del ademe en las distintas formaciones geológicas

Datos que se Obtienen :

- a) Envoltorio de presiones
- b) Aceleración o Desaceleración del suelo hacia la excavación
- c) Incrementos y Tiempo de Estabilización de las Cargas en los Marcos
- d) Definición de la Zona de Tensión
- e) Efectos de la Velocidad de la Excavación en el Comportamiento del Suelo
- f) Determinación de las Propiedades Índice y Mecánicas de los Materiales en la Zona
- g) Determinación de las Presiones de Agua

Los instrumentos en la estación son los siguientes :

- Celdas de presión para túneles
- Medidores de cuerda vibrante
- Extensómetros eléctricos
- Puntos de referencia para cinta invar
- Anclas de perno
- Celdas de presiones para medir las variaciones de tensión
- Caja de mediciones
- Puente de lecturas
- Puente osciloscópico de lecturas

DOVELAS DE CONCRETO :

Objetivo General :

Analizar el comportamiento de las dovelas en la zona lacustre y estudiar la estabilidad de la excavación; la formación geológica en arcilla con capas lenticulares de grava y arena.

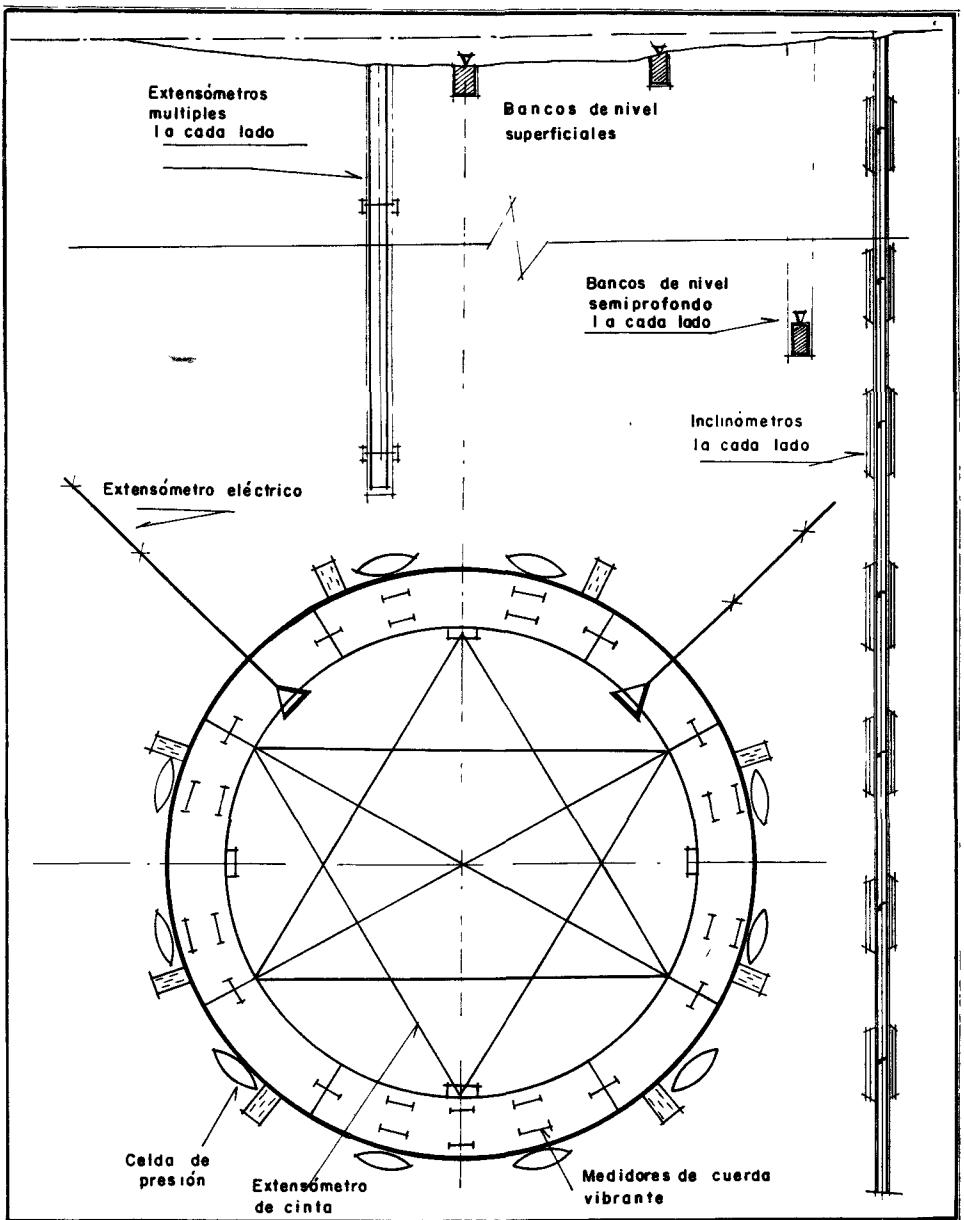
Datos que se obtienen :

- a) Envoltorio de Presiones del Suelo
- b) Variación del Diámetro Interno de los Anillos

- c) Incremento y Estabilidad de la Presión del Suelo Actuando Sobre el Recubrimiento
- d) Aceleración y Desaceleración del Suelo hacia la Excavación
- e) Variación de la Presión del Agua
- f) Variación del Esfuerzo Cortante entre las Juntas de las Dovelas
- g) Variación de los Esfuerzos Internos de las diferentes Piezas del Anillo de Dovelas
- h) Análisis de las Condiciones de Estabilidad de la Excavación

Los instrumentos necesarios en la estación son los siguientes:(fig 7.3.1)

- Extensómetros
- Anclas
- Celdas para anclas
- Celdas de presión
- Piezómetros
- Celdas de presión interna
- Puntos de referencia cinta invar
- Caja de medición
- Selector de puntos
- Puente de medición



ESTACION DE INSTRUMENTACION

(fig. 7.3.1)

CAPITULO VIII

**A P L I C A C I O N
P R A C T I C A**

8.00 APLICACION PRACTICA

8.1 Método de perforación

La excavación del túnel, se logra mediante el rebanado del suelo por la cabeza cortadora del escudo y la introducción de éste a la cámara de presión donde se mezcla con el lodo de suministro, para posteriormente ser expulsado a la superficie por medio de bombeo y depositado en grandes estanques que permiten la sedimentación de las partículas gruesas, las cuales son eliminadas mediante draga con cucharón de almeja y depósitadas en camiones.

El revestimiento primario del túnel está formado por anillos de dóvelas prefabricadas de concreto reforzado con un $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ que constan de 6 dovelas cada uno, de 17.5 cm de espesor y 100 ccm de ancho: las cuales se arman dentro del faldón del escudo al terminar la fase de excavación.

El espacio anular dejado por el faldón del escudo entre el anillo y el terreno, es inyectado conforme avanza el escudo.

El revestimiento definitivo es de concreto reforzado con un espesor de 30 cm y con un $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

Requerimientos en la Construcción del Túnel

Para la excavación del túnel debe contarse con una serie de servicios auxiliares que intervienen directa o indirectamente.

Entre los principales tenemos .

- a) Ventilación durante la construcción
- b) Achique y extracción del agua mediante bombeo
- c) Suministro de corriente eléctrica para iluminación de los trabajos y operación de equipos
- d) Suministro de aire comprimido para operación de las perforadoras, rezagadoras, bombas de achique y lo que se necesite
- e) Suministro de aceite a presión para operar los gatos hidráulicos del escudo
- f) Sistema para evacuación de la rezaga
- h) Lumbрeras o portales de acceso al túnel
- i) Sistema de inyección
- j) Campamentos para personal

La trayectoria del túnel debe conocerse en todo momento, para asegurar que cumpla con la alineación y pendientes del proyecto.

Debido a requisitos de programa el túnel se ataca desde varios frentes, bien sean portales de entrada y salida o lumbreeras intermedias, por lo que el control topográfico es primordial para el buen desarrollo de los trabajos.

Además del control topográfico es necesario colocar instrumentos de medición en el túnel y en la superficie del terreno (en zonas urbanas), a fin de conocer el comportamiento real del medio por efecto del túnel excavado, el empuje sobre el revestimiento primario, sus deformaciones y desplazamientos.

8.1.1 Túnel Lumbrera 4A del Interceptor Central a la Lumbrera 1 del Interceptor Centro- Centro.

UBICACION .

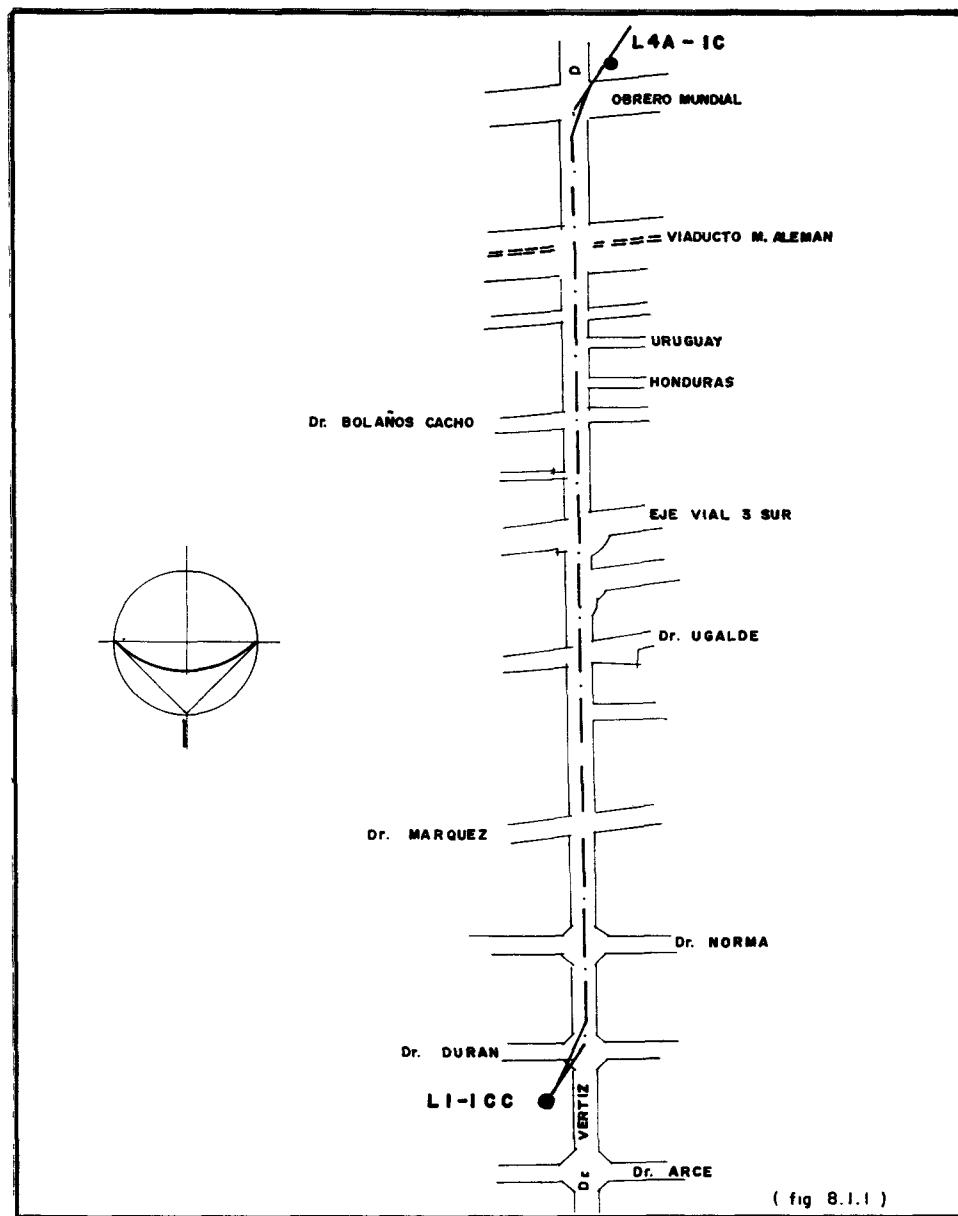
El tramo de túnel que comprende de la L4A del Interceptor Central a la L1 del Interceptor Centro-Centro, se localiza en la zona central de la Ciudad de México, siguiendo el trazo de Dr Vertiz entre las avenidas Obrero Mundial y Dr Arce (fig 8.1.1).

TIPO DE SUELO :

El suelo que corresponde al tramo en cuestión es un suelo de extrusión rápida, cuyas condiciones generales de trabajo son : el terreno avanza rápidamente hacia el túnel excavado en forma de flujo plástico. El soporte lateral y el del frente de trabajo deben colocarse simultáneamente con la excavación.

Los tipos de suelo representativos son las arcillas blandas, limos muy blandos y suelos altamente compresibles.

En la zona el tipo de suelo se debe al proceso de depósito y de alteración fisicoquímica de los materiales aluviales y de las cenizas volcánicas en el ambiente lacustre donde existían abundantes colonias de microorganismos y vegetación acuática; el proceso sufrió largas interrupciones durante los períodos de intensa sequía, en los que el nivel del lago bajó y se formaron costras endurecidas por deshidratación o por secado solar.



LOCALIZACION DEL EJE DEL TRAZO DEL TUNEL

Las violentas etapas de actividad volcánica cubrieron la cuenca con mantos basálticos o arena pumítica y en algunas ocasiones se formaron costras duras cubiertas por arenas volcánicas (fig 8.1.2 y fig 8.1.3).

EVOLUCION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS :

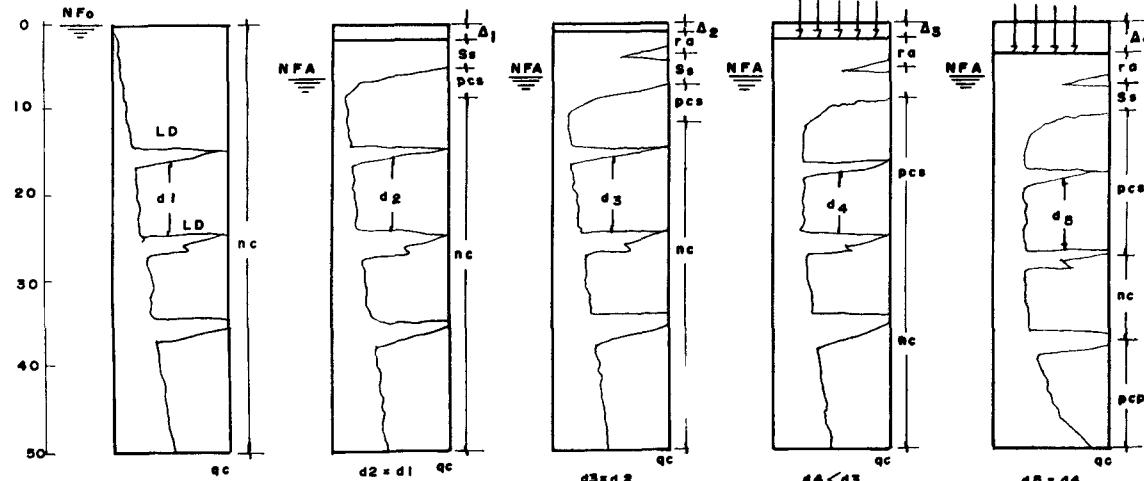
a) Consolidación natural :

El proceso de formación de los suelos implicó que se consolidarán bajo su propio peso, excepto en las costras duras que se preconsolidaron fuertemente por deshidratación o por secado solar y que en su parte inferior formaran una zona ligeramente preconsolidada. Considerando que la masa de suelo predominante era muy blanda y normalmente consolidada, la variación de su resistencia al corte con la profundidad debió ser lineal y seguramente muy similar en cualquier punto del lago .

b) Consolidación Inducida :

El desarrollo urbano en la zona lacustre de la cuenca del Valle de México ha ocasionado un complejo proceso de consolidación, en el que se distinguen los siguientes factores de influencia :

EVOLUCION DE LA RESISTENCIA AL CORTE



(A) CONDICION

Q = Sobrecargas superficiales
 NFO = Nivel freático inicial
 NFA = Nivel freático abatido
 qc = Resistencia de punto del cono
 d1 = Espesor de un estrato de arcilla

(B) FORMACION DE LA COSTRA SECA

Diferencias de nivel por asentamientos y rellenos.
 ra = Relleno artificial
 LD = Lentes duros

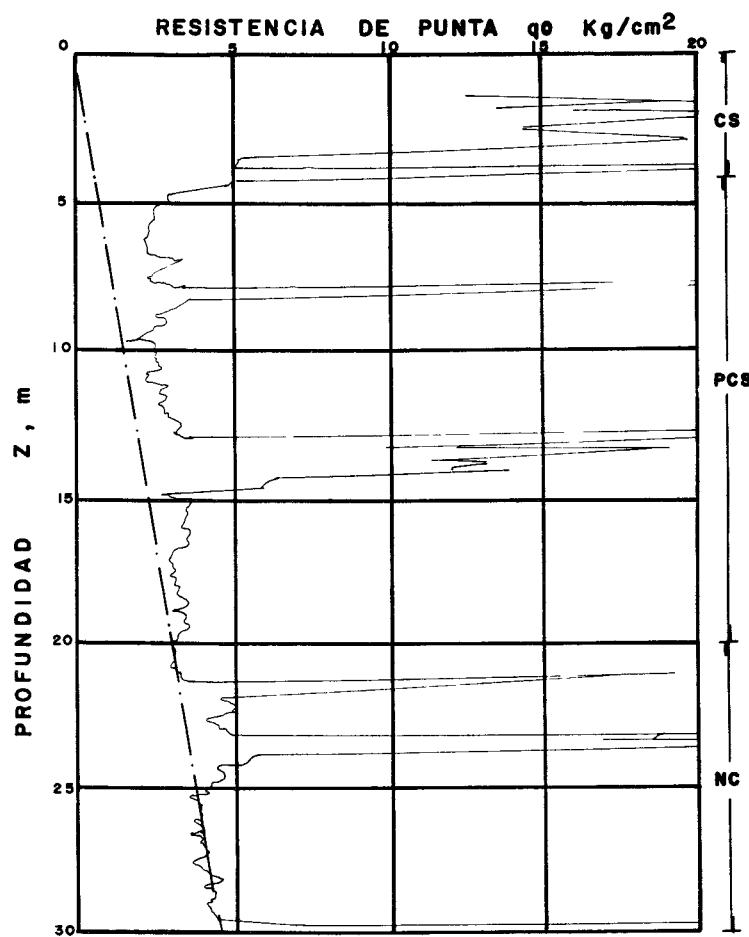
(C) FORMACION DEL RELLENO ARTIFICIAL

ss = Costra seca por exposición al sol
 PCS = Suelo preconsolidado superficial
 NC = Suelo normalmente consolidado
 PCP = Suelo preconsolidado profundo

(D) APLICACION DE SOBRECARGA

(E) EFECTO DEL BOMBEO PROFUNDO.

(fig. 8.1.2)



(fig. 8.1.3)

**SONDEO DE CONO ELECTRICO EN LA SUBZONA
LAGO CENTRO I**

- La colocación de rellenos desde la época precortesiana, necesarios para la construcción de viviendas y pirámides, así como para el desarrollo de zonas agrícolas.
- La apertura de tajos y túneles para el drenaje de aguas pluviales y negras que provocó el abatimiento del nivel freático, lo que a su vez, incrementó el espesor de la costra superficial y consolidó la parte superior de la masa de arcillas.
- La extracción de agua del subsuelo, que ha venido consolidando progresivamente a las arcillas desde los estratos más profundos a los superficiales.
- La construcción de estructuras

c) Resistencia al Corte :

Las etapas del proceso de consolidación implican la evolución de los suelos descrita esquemáticamente en la fig 8.1.2

CARACTERISTICAS ESTRATIGRAFICAS :

A) Costra Superficial (cs) :

Este estrato está integrado por tres sub-estratos que constituyen una secuencia de materiales naturales cubiertos con un relleno artificial heterogéneo a saber:

- Relleno Artificial (RA) : Se trata de restos de construcción y relleno arqueológico varía entre 1.00 y 7.00 m.
- Suelo Blando (SB) : Se le puede describir como una serie de depósitos aluviales blandos con lentes de material eólico intercalados.
- Costra Seca (sS) : Se formó como consecuencia de una disminución del nivel del Lago, quedando expuestas algunas zonas del fondo a los rayos solares.

b) Serie Arcillosa Lacustre Superior :

El perfil estratigráfico de los suelos del lago, entre la superficie y la llamada capa dura, es muy uniforme; se pueden identificar cuatro estratos principales, acordes con su origen geológico y con los efectos de la consolidación inducida por sobrecargas superficiales y

bombeo profundo; estos estratos tiene intercalados lentes duros, que se pueden considerar como estratos secundarios.

A esta parte se le identificará como una serie arcillosa superior y tiene un espesor que varía entre 25 y 50 m. La estratigrafía anterior se resume a continuación :

ESTRATIGRAFIA ENTRE LA SUPERFICIE Y LA CAPA DURA.

a) Estratos principales :

- 1- Costra Superficial
- 2- Arcillas Preconsolidadas
- 3- Arcillas Consolidadas
- 4- Arcillas Preconsolidadas profundas

b) Estratos Secundarios :

- 1- Capa de Secado Solar
 - 2- Lentes de Arena Volcánica
 - 3- Lentes de Vidrio Volcánico
- Arcilla Preconsolidada Superficial (PCS) : En este estrato superficial, las sobrecargas y rellenos provocaron un proceso de consolidación que transformó a los suelos normalmente consolidados, localizados por debajo de la costra superficial CS, en arcillas preconsolidadas

- Arcilla normalmente Consolidada (NC) : Se localiza por debajo de la profundidad hasta la que afectan las sobrecargas superficiales y por arriba de los suelos preconsolidados por el bombeo profundo abajo indicados. Es importante aclarar que estos suelos se han identificado como normalmente consolidados para las sobrecargas actuales, porque aún estas arcillas no han sufrido un proceso de consolidación a partir de su condición inicial.
- Arcilla Preconsolidada Profunda (PCP) : El bombeo para abastecer a la Ciudad de agua potable ha generado un fenómeno de consolidación más significativo en las arcillas profundas que en las superficiales.
- Lentes Duros (LD) : Los estratos de arcilla están interrumpidos por lentes duros que pueden ser costras de secado solar, arena o vidrio (pómez) volcánicos; estos lentes se utilizan como marcadores de la estratigrafía.

c) Capa dura

Es un depósito de limo arenoso con algo de arcilla y ocasionales gravas, con una cementación muy heterogénea, su espesor es variable, desde casi imperceptible en la zona central del lago que no llegó

a secarse hasta alcanzar unos cinco metros en lo que fueron orillas del lago. Desde el punto de vista geológico este estrato se desarrolló en el período interglacial Sangamon

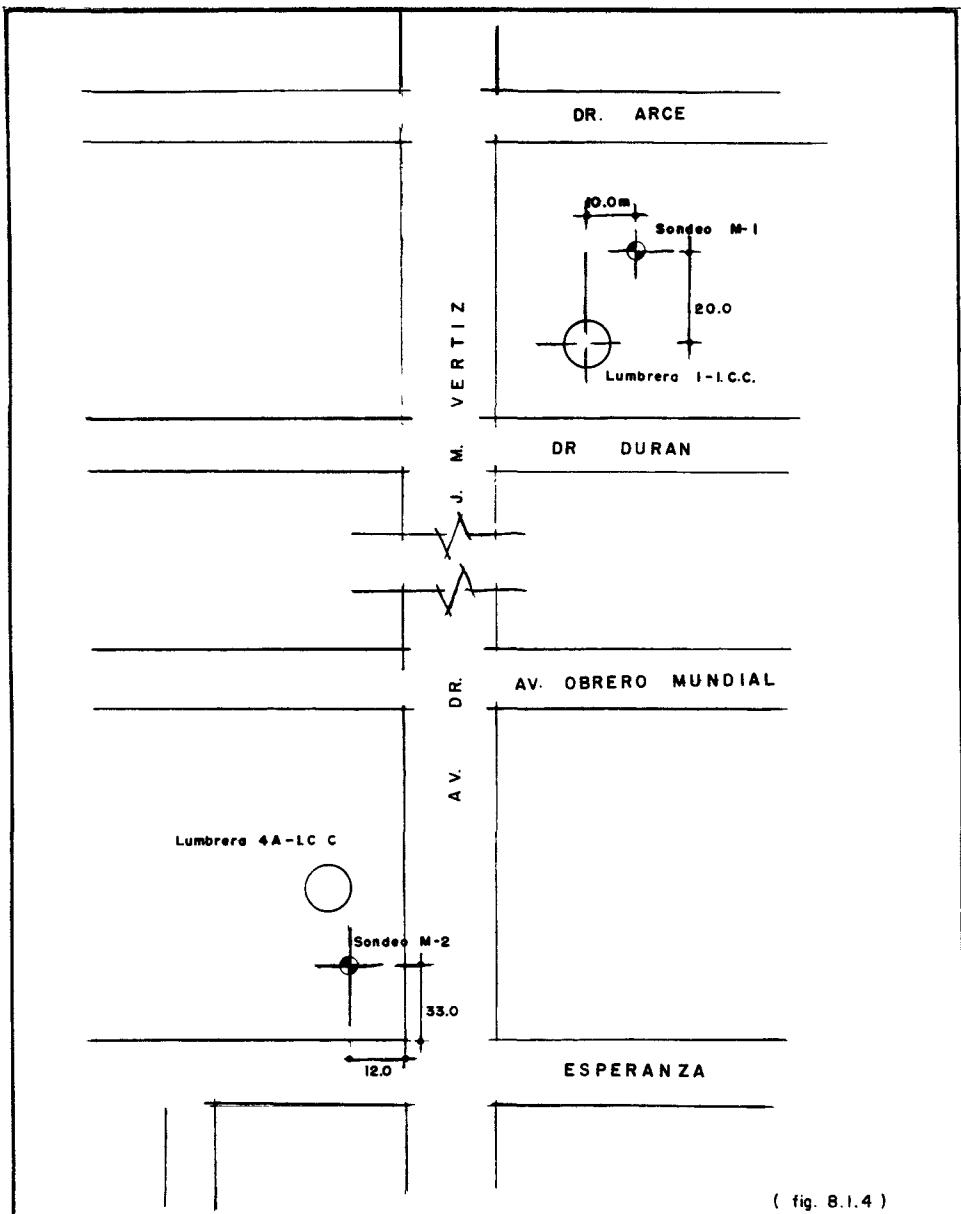
d) Serie Arcillosa Lacustre Inferior :

Es una secuencia de estratos separados por lentes duros, en un arreglo semejante al de la serie superior; el espesor de este estrato es de unos 15 metros al centro del lago y prácticamente desaparece en las orillas.

e) Depósitos Profundos :

Es una serie de arenas y gravas aluviales limosas, cementadas con arcillas duras y carbonatos de calcio, la parte superior de estos depósitos, de unos cinco metros, está más endurecida, abajo de la cual se encuentran estratos menos cementados y hasta arcillas preconsolidadas.

En las figuras 8.1.4 a 8.1.5 se presentan la localización y los resultados mas generales de los sondeos realizados por la compañía contratista para la construcción del tramo L4IC - L1ICC.



(fig. 8.1.4)

CROQUIS DE LOCALIZACION DE SONDEOS M-1 Y M-2

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS :

Se ha hecho una zonificación del área urbana en las propiedades de compresibilidad y resistencia de los depósitos característicos de la cuenca. La zonificación se complementa con la información estratigráfica típica mencionada con anterioridad.

De acuerdo a esta zonificación el tramo del túnel L4AIC a L1ICC se ubica en la zona del lago, caracterizada por los grandes espesores de arcillas blandas altamente compresibles, que subyacen a una costra endurecida superficial de espesor variable; esta zona se ha dividido en tres sub-zonas atendiendo al espesor y propiedades de la costra superficial y a la consolidación inducida en cada sitio.

La sub-zona que corresponde a este tramo es la del lago centro I.

Esta sub-zona está asociada al sector no colonial de la ciudad, que se desarrolló desde principios de siglo y a estado sujeta a las sobrecargas generadas por construcciones pequeñas y medianas.

La estratigrafía y propiedades de esta sub-zona se resumen en la siguiente tabla :

RESUMEN DE LA ESTATIGRAFIA

ESTRATO	ESPESOR	τ (T/M³)	C (T/M²)	ϕ (GRADOS)
COSTRA SUPERFICIAL	4 A 6	1.6	4	25
SERIE ARCILLOSA SUP	20 A 30	1.2	1 A 2	
CAPA DURA	3 A 5	1.5 A 1.6	0 A 10	25 A 26
SERIE ARCILLOSA INF	8 A 10	1.3 A 1.35	5 A 8	

τ = PESO VOLUMETRICO
C = COHESION
 ϕ = GRADOS

SONDEO M-1

PROF M	DENSIDAD DE LOS SOLIDOS Ss	CONTENIDO NATURAL DE AGUA W	RESISTENCIA A LA COMPRESION KG/CM2	PESO VOLUMETRICO	
				H KG/M3	S KG/M3
5.70	2.38	130.80	0.87	1,230.00	533.00
6.90	2.30	370.40	0.39	1,176.00	250.00
8.85	2.06	436.50	0.38	1,109.00	207.00
13.55	2.33	239.30	0.19	11,183.00	349.00
16.15	2.18	211.80	0.93	1,222.00	392.00
17.35	2.13	383.90	0.64	1,126.00	233.00
18.55	2.35	369.30	0.70	1,110.00	237.00
20.15	2.29	209.90	0.86	1,225.00	395.00
22.55	2.29	229.70	0.41	1,196.00	363.00
23.70	2.30	219.50	0.62	1,176.00	368.00
25.30	2.28	335.80	0.77	1,157.00	256.00
27.30	2.17	330.20	0.63	1,151.00	267.00
28.30	2.22	244.50	1.05	1,180.00	342.00
29.40	2.33	128.50	1.03	1,303.00	570.00
30.60	2.41	256.50	0.67	1,176.00	330.00
31.80	2.24	328.70	1.31	1,142.00	266.00
33.00	2.12	261.80	1.57	1,181.00	327.00
34.20	2.23	309.20	1.36	1,149.00	281.00
35.20	2.14	77.00	0.71	1,450.00	819.00
36.95	2.55	64.20	1.80	1,509.00	919.00
38.15	2.18	55.80	0.81	1,552.00	996.00

SONDEO M-2

9.15	2.06	359.30	0.33	1,119.00	244.00
13.40	2.18	368.50	0.32	1,128.00	241.00
15.60	2.30	206.30	0.30	1,221.00	399.00
18.00	2.17	371.30	0.21	1,125.00	239.00
19.60	2.39	183.40	0.83	1,251.00	441.00
20.60	2.25	256.60	0.96	1,185.00	332.00
22.00	2.23	349.20	0.72	1,133.00	252.00
23.80	2.35	235.20	0.33	1,169.00	349.00
25.20	2.31	270.80	0.62	1,197.00	323.00
26.60	2.26	413.20	0.61	1,099.00	214.00
27.60	2.25	219.80	0.62	1,210.00	378.00
30.20	2.22	298.10	1.13	1,158.00	291.00
31.60	2.12	294.50	1.08	1,168.00	296.00
33.00	2.06	307.50	0.98	1,158.00	284.00
34.20	2.03	107.00	1.71	1,351.00	650.00
35.60	2.02	97.80	1.71	1,367.00	691.00
36.92	2.31	143.00	0.46	1,292.00	532.00
37.92	2.31	145.80	2.31	1,313.00	534.00
39.80	2.52	160.70	1.32	1,280.00	491.00

CONDICIONES DE DISEÑO :

El método de diseño y el análisis de esfuerzo en este tramo están basados en el manual de diseño de la Asociación de Obras de Desagüe en Japón. Con respecto a los detalles de las propiedades del suelo y la geología se adoptarán los valores y conceptos dados por las normas para la adquisición de escudos excavadores con presión en el frente para la construcción de túneles del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

Las propiedades del suelo y la carga son :

Sobrecarga	$q = 1.00 \text{ ton/m}^2$
Terreno de recubrimiento	$H = 23 \text{ m}$
Nivel de aguas (desde la sup)	$h = 5.00 \text{ m}$
Densidad de la Masa	$\gamma = 1.29 \text{ t/m}^3$
Coeficiente de presión lateral	$F = 0.64$
Coeficiente de Reacción Lateral	$K = 0.0$

EQUIPO DE EXCAVACION :

El equipo de excavación utilizado en este tramo es un escudo excavador con frente presurizado de lodo (Slurry Shield). Este escudo fue fabricado por Okumura Corporation (Japón) y el propietario es la DGCOH.

8.1.2 Método de perforación

La excavación del túnel, se logra mediante el rebanado del suelo por la cabeza cortadora del escudo y la introducción de éste a la cámara de presión donde se mezcla con el lodo de suministro, para posteriormente ser expulsado a la superficie por medio de bombeo y depositado en grandes estanques que permiten la sedimentación de las partículas gruesas, las cuales son eliminadas mediante draga con cucharón de almeja y depositadas en camiones.

El revestimiento primario del túnel está formado por anillos de dovelas prefabricadas de concreto reforzado con un $f'c = 350$ kg/cm² que constan de 6 dovelas cada uno, de 17.5 cm de espesor y 100 cm de ancho: las cuales se arman dentro del faldón del escudo al terminar la fase de excavación.

El espacio anular dejado por el faldón del escudo entre el anillo y el terreno, es inyectado conforme avanza el escudo.

El revestimiento definitivo es de concreto reforzado con un espesor de 30 cm y con un $f'c = 300$ kg/cm²

Requerimientos en la Construcción del Túnel

Para la excavación del túnel debe contarse con una serie de servicios auxiliares que intervienen directa o indirectamente.

Entre los principales tenemos .

- a) Ventilación durante la construcción
- b) Achique y extracción del agua mediante bombeo
- c) Suministro de corriente eléctrica para iluminación de los trabajos y operación de equipos
- d) Suministro de aire comprimido para operación de las perforadoras, rezagadoras, bombas de achique y lo que se necesite
- e) Suministro de aceite a presión para operar los gatos hidráulicos del escudo
- f) Sistema para evacuación de la rezaga
- h) Lumbрeras o portales de acceso al túnel
- i) Sistema de inyección
- j) Campamentos para personal

La trayectoria del túnel debe conocerse en todo momento, para asegurar que cumpla con la alineación y pendientes del proyecto.

Debido a requisitos de programa el túnel se ataca desde varios frentes, bien sean portales de entrada y salida o lumbрeras intermedias, por lo que el control topográfico es primordial para el buen desarrollo de los trabajos.

Además del control topográfico es necesario colocar instrumentos de medición en el túnel y en la superficie del terreno (en zonas urbanas), a fin de conocer el comportamiento real del medio por efecto del túnel excavado, el empuje sobre el revestimiento primario, sus deformaciones y desplazamientos.

8.1.3 Descripción General del Método Constructivo

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

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

Cuando los gatos de empuje se han extendido totalmente, el movimiento del cortador se detiene y se cierran las compuertas de las ranuras para evitar que el material del frente fluya hacia la cámara de mezclado.

La recirculación de lodos a través del frente se mantienen hasta que la densidad del lodo de descarga se iguala a la del lodo de suministro. Esto garantiza que ha sido desalojado de la cámara de mezclado todo el material producto de la excavación.

Simultáneamente a la excavación y al empuje, se realiza la inyección del hueco dejado entre el endovelado y el terreno natural, que se origina al salir los anillos del faldón.

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

Para evitar la falla por extrusión del terreno, la estabilidad del frente se logra mediante la combinación de dos elementos :

1 - La cabeza cortadora como elemento mecánico que ejerce presión al frente por medio de un gato hidráulico.

2.- Un elemento fluido que es el lodo a presión

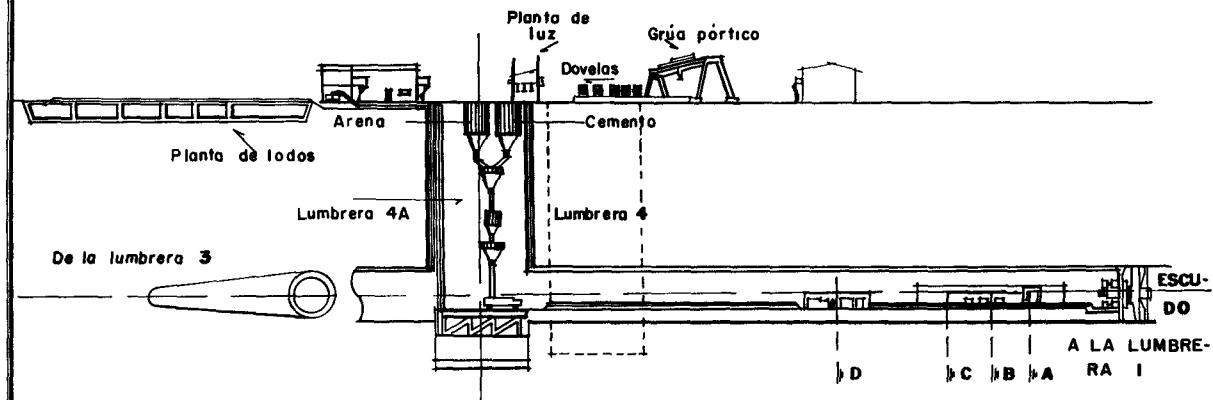
Dadas las características del proyecto, al concluir la excavación de este tramo el escudo iniciará en la lumbrera uno del interceptor Central, la excavación de un nuevo túnel. Es por esto que es necesario girarlo 90 grados. En el supuesto de que la excavación concluyera en la lumbrera mencionada, el escudo sería desmantelado en el fondo de la misma y cada pieza extraída a la superficie fig 8.1.3.1.

Lumbreras :

Una vez definido el proyecto definitivo del túnel, se inicia de inmediato la construcción de las lumbreras (fig 8.1.3.2), (excavaciones verticales de sección circular) con el fin de

L4 AIC - LI ICC

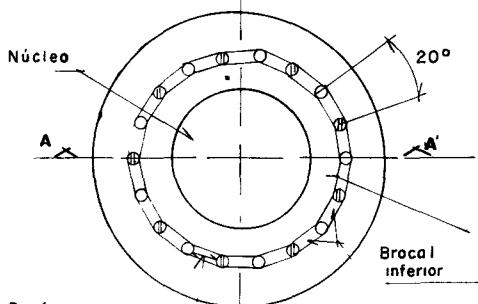
CORTE ESQUEMATICO DEL TUNEL EN EL TRAMO



(fig 8.1.3.1)

Primera Etapa .

Perforaciones secantes y de zanja
Demolición del brocal inferior
Excavación del n úcleo

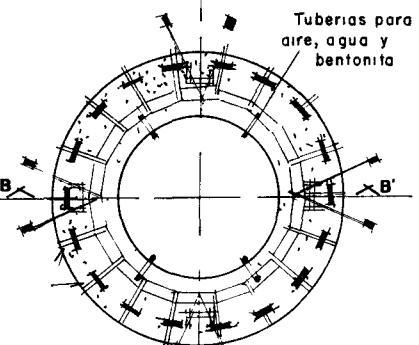


Perforaciones
secantes $d = 60$ cms

O=nones = las
Ø=pares = 2 as

Segunda Etapa :

Fabricación y bajada de la lumbreña



Viguetas
de anclaje

Plumas

Perforaciones
de zanja

0 0

5 0

10 0

15 0

20 0

25 0

30 0

Profundidad en (m)

CORTE A - A'

Lumbreña
flotante

Tanque de
flotación

Mortero
cemento
arena

Lodo
bentonítico

CORTE B - B'

(fig 8132)

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERAS (MÉTODO DE FLOTACIÓN)

disponer de los accesos adecuados para los equipos, materiales y personal que se requieran en la construcción del túnel.

La construcción de las lumbreras puede ser realizada de distintas formas, dependiendo de la naturaleza del terreno y de la profundidad que se deba alcanzar. Para ello existen diversas técnicas, algunas de ellas desarrolladas y empleadas en nuestro País, siendo el procedimiento elegido el llamado "Método de Flotación".

Se ha encontrado que el sistema de construcción de lumbreras flotadas aventaja notablemente a otros procedimientos en ejecución y costo.

Una ventaja de importancia es la nula alteración del terreno alrededor de la lumbrera, por lo tanto este procedimiento puede usarse aún en la inmediata vecindad de estructuras existentes.

. El procedimiento de su construcción y sus etapas se describen a continuación :

a) brocales :

Se excava una zanja perimetral y se construyen 2 estructuras de concreto armado llamadas brocales, denominados exterior e interior separados 70 cm entre sí. El primero será permanente y circumscribe al segundo que será provisional.

Cada brocal estará constituido por 2 elementos denominados Alero y Faldón y están diseñados para guiar la excavación que se realiza posteriormente y para evitar caídos de terreno adyacentes a la excavación.

b) Excavación Perimetral :

En el área comprendida entre los brocales se efectúan 18 perforaciones a cada 20 grados de 60 cm de diámetro; uniformemente distribuidas y hasta una profundidad de 4.00 m bajo el paño inferior del nivel de proyecto de la losa de fondo, 36.5 m aproximadamente (fig 8.1.3.2).

El suelo comprendido entre las perforaciones se excava usando almeja guiada, teniendo como apoyo a los brocales. Se recomienda que no se excavé más de 1.00 m antes de sustituir el material extraído por lodo bentonítico para evitar que el terreno fluya sobre la excavación. Una vez terminada la excavación, se efectúa un sondeo con el objeto de verificar su profundidad y verticalidad.

c) Excavación del Núcleo :

Se demuele el brocal interior y se excava el núcleo central hasta 4.00 m bajo el paño inferior del nivel de proyecto de la losa de fondo.

(36.5 m de profundidad que equivale a 4,000 m³ de excavación aproximadamente).

Esta excavación se realiza mediante una almeja mecánica cuidando que no se excave mas de 1.00 m antes de sustituir el material excavado por lodo bentonítico.

d) Tanques de Flotación .

Simultáneamente a la realización de los trabajos anteriormente descritos se fabrica un tanque de flotación el cual es una estructura hueca de acero con forma cilíndrica con una tapa únicamente en su parte superior. Adicionalmente, se le instalan válvulas que permiten la entrada o salida de aire comprimido, consiguiendo con esto que la estructura sea capaz de ascender o descender dentro de la excavación previamente realizada.

e) Losa de Fondo y Muros :

Terminada la excavación se coloca el tanque de flotación en su posición inicial, apoyándolo perimetralmente sobre viguetas de sujeción de acero. Cuando el tanque queda perfectamente nivelado, se procede a colar sobre él 60 cm de la losa de fondo, mas 1.80 m de muro.

Después de descimbrar este primer tramo de muro se inyecta aire al tanque para anular la carga transmitida por éste a las viguetas metálicas.

En este momento es posible retirar las viguetas, y el tanque queda flotando sobre el lodo, y mediante el escape controlado de aire, puede hacerse descender hasta que el nivel de las muescas coladas con anterioridad lleguen a apoyarse sobre las viguetas de sujeción

Para nivelar el tanque durante su descenso en las etapas de construcción, se colocan 4 malacates apoyados en el brocal exterior.

En la segunda y tercera etapa, se cuelan 60 y 80 cm de losa de fondo mas 1.80 y 1.60 m de muro respectivamente y se inyecta aire al tanque de flotación, siguiendo el procedimiento descrito anteriormente. En las etapas siguientes se cuelan 2.40 m de muro y se repite el proceso de colado, inmersión y sujeción hasta que la losa de fondo llegue a su nivel de proyecto. Cuando el empuje de flotación es mayor que el peso de la lumbrera colada ésta se lastra con agua hasta lograr la inmersión. En ningún momento los malacates que sujetan la lumbrera.

Trabajos Finales :

Una vez que la lumbreña ha alcanzado el nivel de proyecto, se procede a sustituir los lodos bentoníticos que han quedado bajo el tanque, entre la pared y el suelo natural con una inyección de una mezcla de mortero : agua - cemento - arena, cuya resistencia sea ligeramente mayor a la del suelo extraído.

El último colado de muro de lumbreña se ligará al brocal exterior mediante el colado de las trabes de anclaje.

8.1.3.1 Equipo, Instalaciones de Superficie y Trabajos Previos

En el predio de la obra se cuenta con una serie de instalaciones generales que se resumen a continuación :

Campamento :

Existen entre otras las siguientes instalaciones

- Almacén general y área para el acomodo de materiales y equipo.
- Oficinas técnico - administrativas y supervisión
- Subestación de energía eléctrica.

El suministro de energía eléctrica es por medio de 3 hilos, 23 kv, 23 w. En la subestación se localizan 3 transformadores 1500, 1000, y 750 kva; cada uno de los cuales genera una linea de distribución para túnel, superficie y túnel y superficie respectivamente.

- Planta de luz para emergencias
Consta de un generador con capacidad de 100 kva, con salida de 220 v. Se utiliza para la bomba de drenaje de la lumbreña y la iluminación de la misma. La otra línea se utiliza para la iluminación del túnel y de las casetas en superficie. Por tanto, la excavación no puede continuar al fallar el suministro de energía eléctrica; al restablecerse este, se recomienda esperar aproximadamente 15 min hasta que se estabilice el suministro.
- Grúa Pórtico
Es una grúa de 7.5 ton de capacidad que se desliza sobre rieles y se utiliza para suministrar dovelas y otros materiales necesarios para la construcción del túnel.
- Área para Talleres
- Entre los que se tienen : Carpintería, Soldadura, Mecánico y eléctrico.
- Trincheras para alojar los cables eléctricos del escudo.

Sistemas de lodos (Suministro-Descarga-Rezaga)

- Planta de tratamientos de lodos.

En general la planta de tratamientos de lodos (fig 8.1.3.1), se compone de :

a) Cárcamo de Descarga :

Es el lugar donde se recibe el lodo proveniente del frente de excavación y donde se inicia la sedimentación de los grumos de arcilla que han sido acarreados por el lodo proveniente del frente.

b) Cárcamo de Sedimentación :

Sitio en el cual continúa el proceso de sedimentación de la arcilla en suspensión y en el que se toma parte del lodo para ser enviado a la desarenadora.

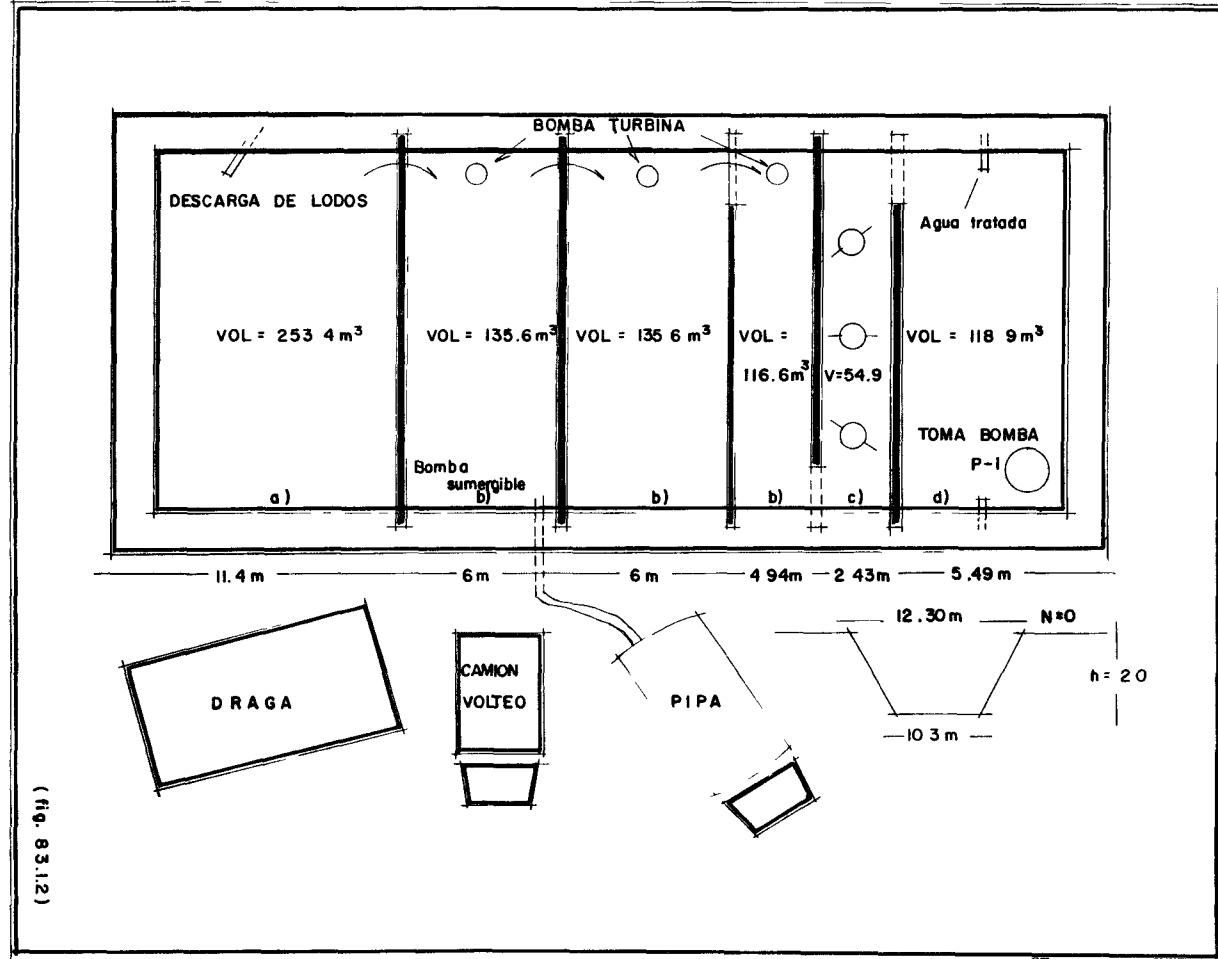
c) Desarenadora :

Equipo con el que por medio de centrifugación (hidrociclos) se separa la arena que se ha incorporado en el frente de excavación.

d) Cárcamo de Ajuste y Suministro :

Una vez tratado el lodo de descarga (sedimentado y desarenado) es necesario reducir aún mas su densidad, lo cual se logra adicionando agua, previamente almacenada en su estanque respectivo, para ser enviado nuevamente al frente de excavación.

ESQUEMA DE PLANTA DE TRATAMIENTO LODOS



- Bombas :

a) Bomba sumergible :

Localizada en el cárcamo de sedimentación, utilizada para rezagar lodo hacia las pipas. Su capacidad es de 2.0 m³/min, altura de bombeo de 5.00 m y motor de 11 kw.

b) Bomba turbina :

Se utiliza para transportar lodo de un cárcamo a otro cuando el nivel de lodo es bajo y no puede pasar por gravedad. Con capacidad de 2.0 m³/min, altura de bombeo de 5.00 m y motor de 11 kw

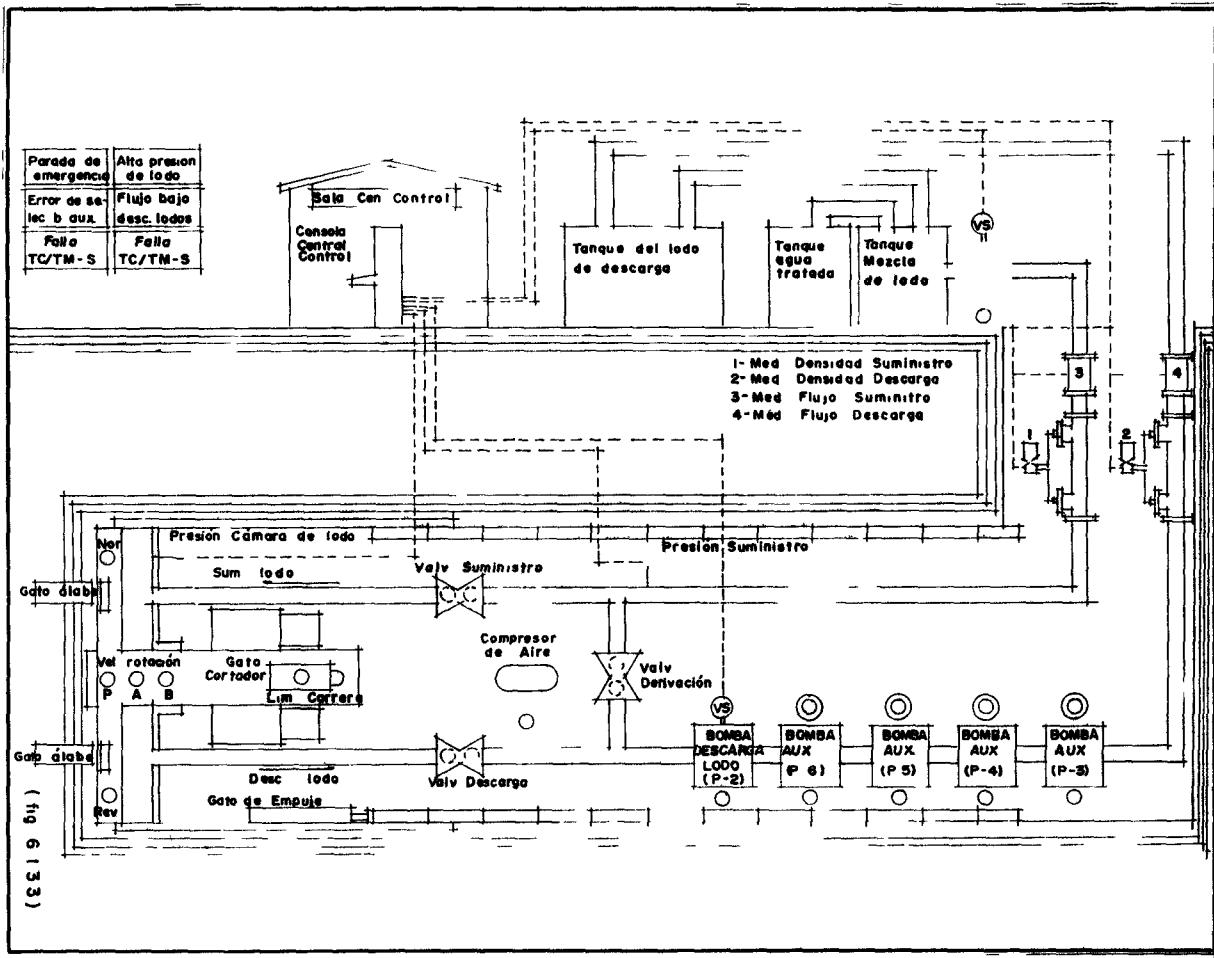
c) Bomba P1 :

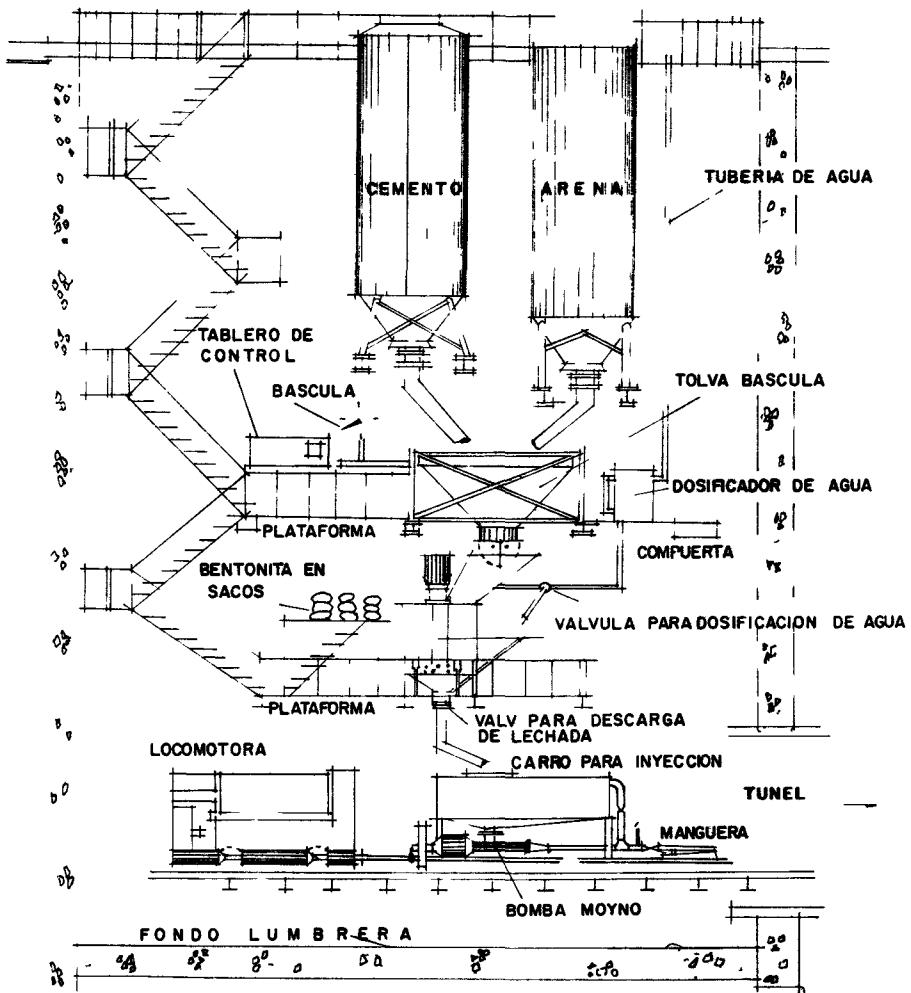
Se utiliza para suministrar lodo desde la superficie hasta el frente de la excavación. Con capacidad de 3.4m³/min, altura de bombeo de 27 m, motor de 55 kw y velocidad variable de 1200 r.p.m. máxima.

d) Bomba P2 :

Se utiliza para bombear el lodo desde el frente hasta la superficie con ayuda de bombas reforzadoras P3 a P6 instaladas a cada 500 m en el túnel. Con capacidad de 3.4 m³/min, altura de bombeo de 40 m, motor de 90 kw y velocidad variable de 1350 r.p.m. máxima

**TABLERO GRAFICO DE CONTROL DE LODOS EN LA
CONSOLA CENTRAL DE OPERACION**





(fig 8134)

INSTALACIONES DE LUMBRERA

- Tuberías :

a) suministro :

Va de la bomba P1 al tren de arrastre, 200 mm diam (8"), y del tren de arrastre al escudo tubería flexible, 150 mm diam (6").

b) Descarga :

Va desde el escudo hasta la bomba P2 (tubería flexible), 200 mm diam (8"), y bomba P2 a superficie 150 mm diam (6").

c) Tubería telescópica :

Localizada en el tren de arrastre del escudo, 200 mm diam (8") x 6.00 m de tipo bastidor.

- Draga tipo HC-68 con cucharón de almeja de 1/4 yd³ :

Se utiliza para rezagar lodo a camiones de volteo (fig 8.1.3.3A)

- Casetas de Control :

En esta se localiza la consola central de operación que controla principalmente el Sistema de Lodos (fig 8.1.3.3).

Instalaciones en Lumbrera

- 2 elevadores con capacidad para 10 personas como máximo
- Planta dosificadora para inyección. (fig 8.1.3.4)

Las capacidades de los elementos que forman el sistema de inyección son :

Tolva de cemento : 2.5 m³ (7.9 ton).

Tolva de arena : 5.5 m³ (10.2 ton).

Tanque de almacenamiento del carro para inyección :

2.0 m³ y con bomba para dar una presión de 2.0 a 3.0kg/cm²

8.1.4 Tratamiento de Suelo a la Salida y Llegada a una Lumbreña

A) Mejoramiento de suelo por el Método de Inyección de Manguitos

Antes de iniciar la excavación del túnel o al terminar ésta se realiza un tratamiento en el suelo circundante a la salida del escudo para que aumente su resistencia y confinamiento, evitando así que el material fluya hacia el interior de la excavación durante el lapso de tiempo que transcurre entre la demolición de la pared de la lumbreña y cuando empiece el escudo a ejercer presión para abrir la excavación o cuando sale del túnel.

El tratamiento se realiza en cada lumbreña, a la llegada y a la salida del escudo, cubriendo un volumen con dimensiones 1.5, 2 y 3 veces el diámetro del escudo; largo, ancho y profundidad respectivamente.

Para realizar el tratamiento de inyección mencionado, se sigue el sistema puntual, utilizando alta presión, que provoca rompimiento y consolidación de la estructura arcillosa del subsuelo, depositando mezclas resistentes de cemento-bentonita en las fracturas que la presión provoca.

Para la ejecución del trabajo se perforan una serie de barrenos verticales de 10 cms de diámetro (4") dispuestos a cada metro.

En cada barreno se colocan tubos de 3.8 cm (1 1/2") de diámetro, perforados en la zona de inyección a cada 50 cm cada perforación será tapada con un obturador de hule ("manguito").

Los tubos colocados en la perforación previa, se inyectan con una mezcla de bentonita -cemento (vaina), cuyo proporcionamiento sea adecuado para darle una resistencia a la compresión simple a los 28 días de 6.00 kg/cm², lo que se logra agregando 400 kg de cemento en 1.00 m³ de lodo bentonítico preparado al 13% previamente hidratado, no menos de 24 horas.

En forma ordenada se ubicará el doble obturador de inyección en todos los puntos previstos en cada tubo perforado (a cada 50 cm), ejecutando dos etapas en cada estación, separadas entre sí un lapso de tiempo no menor de 48 horas.

En la primera etapa se inyecta a presión la mezcla bentonita - cemento con una proporción tal que permita alcanzar una

resistencia a la compresión simple a los 28 días de 4.00 kg/cm², lo cual se logra agregando 350 kg, de cemento por cada m³ de lodo bentonítico preparado al 8% previamente hidratado, no menos de 8 horas.

En esta primera etapa, las presiones de inyección no deben ser mayores de 5.00 kg/cm². El punto se considera tratado cuando se alcanza la presión máxima establecida, o bien cuando el volumen inyectado llegue a 0.25 m³.

En la segunda etapa de inyección, las presiones máximas serán de 10 kg/cm², considerando que el punto ha quedado tratado cuando se alcance la presión máxima establecida, o bien cuando el volumen inyectado llegue a 0.25 m³.

En caso necesario se aplicará una tercera etapa de inyección en los puntos donde los volúmenes de inyección resulten escasos. Al terminar el tratamiento deben retirarse todos los tubos utilizados para efectuar la inyección que interfieren con el paso del escudo, tapando los huecos que dejen con mortero de bentonita-cemento.

B) Mejoramiento del Suelo por Sustitución

Este método consiste en la sustitución de suelo por columnas inyectadas de una mezcla de cemento-arena-bentonita, con una resistencia de 20 kg/cm². Este es el método utilizado en la lumbreña 1 I.C.C.

Inicialmente se debe excavar la zona delimitada a mejorar, aproximadamente 2.5 o 3.0 m. de profundidad, esta zona se rellena y compacta con tepetate, previo abatimiento del NAF.

Se realiza el trazo físico de las pantallas o tableros, en este caso de 0.8 x 2.5 m. Estos tableros son excavados con equipo guiado a una profundidad de tres metros.

Se introduce un brocal metálico que sirve de guía para la excavación así como garantizar la verticalidad de la misma.

La excavación continúa pero se adiciona lodo bentonítico conforme ésta avanza. El lodo bentonítico será sustituido al inyectarse mortero en el tablero.

Finalmente pasadas 24 horas se procede a retirar el brocal metálico y se realiza el relleno superficial.

8.1.5 Lanzamiento del Escudo y Excavación de los Primeros 50 Metros.

a) Preparativos

CUÑA :

La cuña es una estructura de concreto reforzado cuya finalidad es proporcionar apoyo al escudo y conformar un elemento de continuidad del túnel en la lumbrera. Sus dimensiones están dadas en función de los datos del proyecto y del escudo en sí.

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

Así mismo, se dejan preparaciones a base de placas de acero estructural localizadas en los hombros de la cuña, las que posteriormente servirán de apoyo a la estructuración necesaria para la construcción de una plataforma de trabajo en lumbrera.

La cuña se construye en dos secciones dejando un pasillo entre éstas para comunicarlas formando un cárcamo de captación del agua proveniente del túnel, la cual se bombea a superficie.

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

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

ATRAQUE :

Este elemento es una estructura de concreto reforzado que está situado en la pared de la lumbreña, orientado transversalmente respecto al eje del túnel; teniendo como finalidad el servir de apoyo a los semianillos de dovelas, sobre los cuales reaccionan los gatos de empuje del escudo en el momento de efectuar los primeros metros de excavación de túnel.

SELLO DE SALIDA :

Este dispositivo tiene como objetivo proporcionar un elemento de contención que no permita la circulación de lodos, del frente hacia la lumbreña a través de la pared externa del escudo cortador, al inicio de la excavación del túnel.

Consiste en un conjunto de anillos metálicos y de hule de diferentes diámetros que atornillados entre sí forman uno solo, permitiendo por su interior el paso del escudo.

Los anillos que lo conforman son los siguientes :

- a) Anillo metálico formado por un canal rolado de 6.24 metros de diámetro interior.
- b) Anillo de hule natural de 3/4" de espesor y 30 cm de ancho.
- c) Anillo metálico de placa de acero estructural de 3/4" de espesor y diámetro interior de 6.24 m.

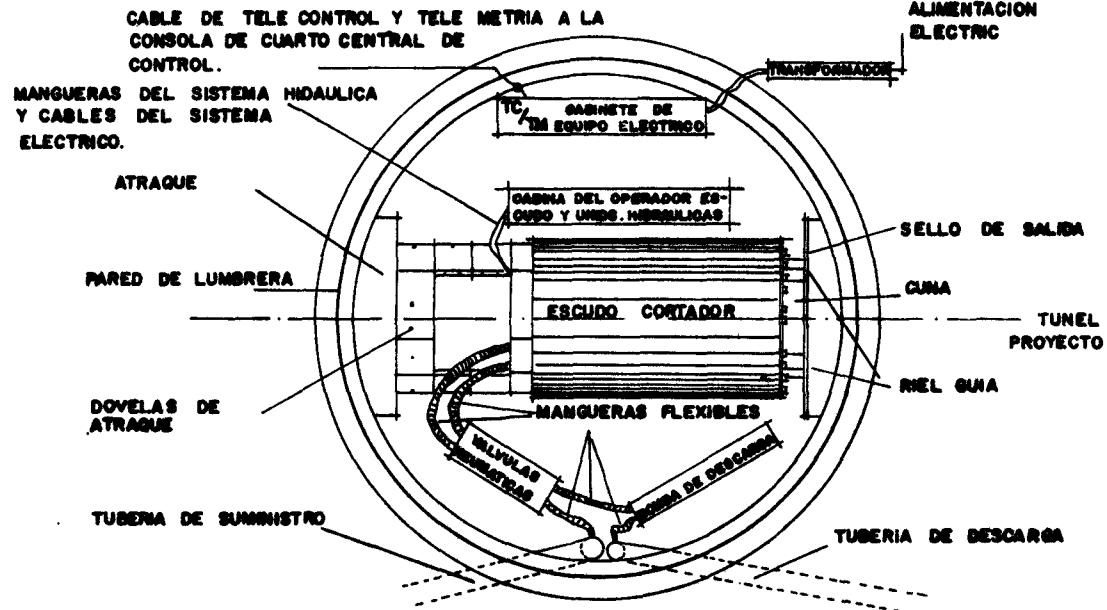
8.1.5.1 Lanzamiento e Inicio de Excavación

Debido a que la longitud de todo el tren de equipo es de aproximadamente 50 m; para poder iniciar la excavación del túnel desde la lumbreña inicial, se hace necesario un arreglo o acomodo especial de los carros que lo integran (fig 8.1.5.1).

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

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

**INSTALACION PROVISIONAL DEL TREN DE ARRASTRE
EN LA LUMBRERA AL INICIO DE LA EXCAVACION**



(fig. 8.1.5.1)

Simultáneamente a la operación de demolición, en la parte trasera del escudo se colocan las dovelas de atraque para formar el primer apoyo del mismo. Al terminar ambas operaciones se inicia el avance del escudo cuando los gatos de empuje reaccionan sobre los anillos de dovelas de atraque, comenzando éste a deslizarse sobre la cuña e introduciéndose en el suelo excavado a mano, en ese momento, el sello de hule se deforma sobre la camisa del escudo en todo su perímetro.

Cuando la cabeza cortadora del escudo hace contacto con el terreno inyectado, el avance se detiene para proceder a presurizar la cámara con lodo estabilizador. Es importante mencionar que al construir la estructura del sello de salida, se suelda una válvula en la parte superior del anillo metálico, cuya función es la de liberar el aire atrapado al momento de iniciar la presurización con lodo de la cámara frontal del escudo.

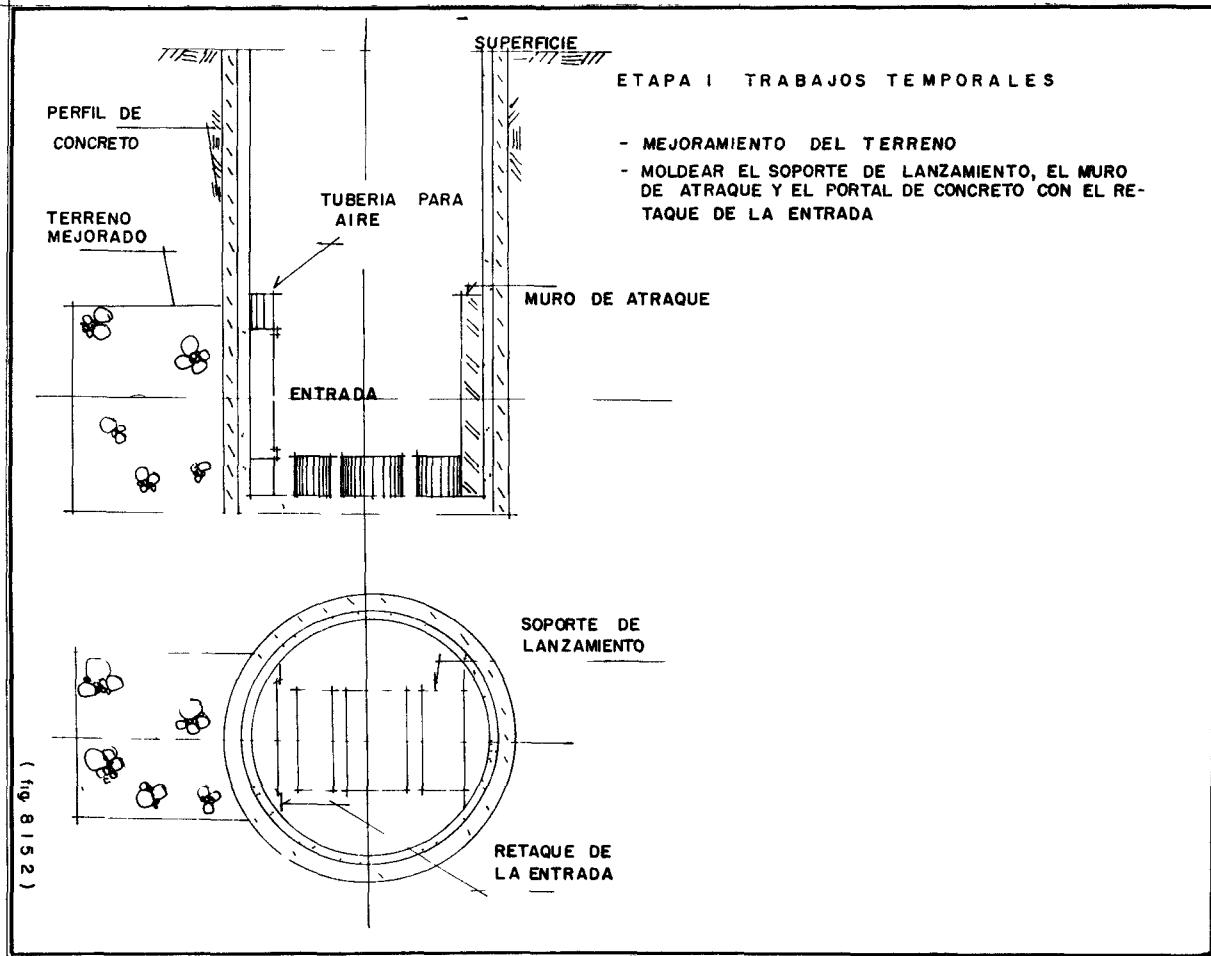
Conforme el escudo va penetrando en el terreno, el espacio que deja atrás es aprovechado para ir colocando en su posición la cabina del operador y todos los demás carros de equipo, a medida que el espacio aumenta. Esto ocurre durante los primeros 50 m. de excavación, en los cuales se tienen que realizar una serie de maniobras para unir el escudo con su tren de equipo, acoplando el sistemas de tuberías y mangueras.

Todo lo anterior hace que el avance no sea continuo, interrumpiéndose al momento de introducir al túnel cada uno de los componentes del mismo tren.

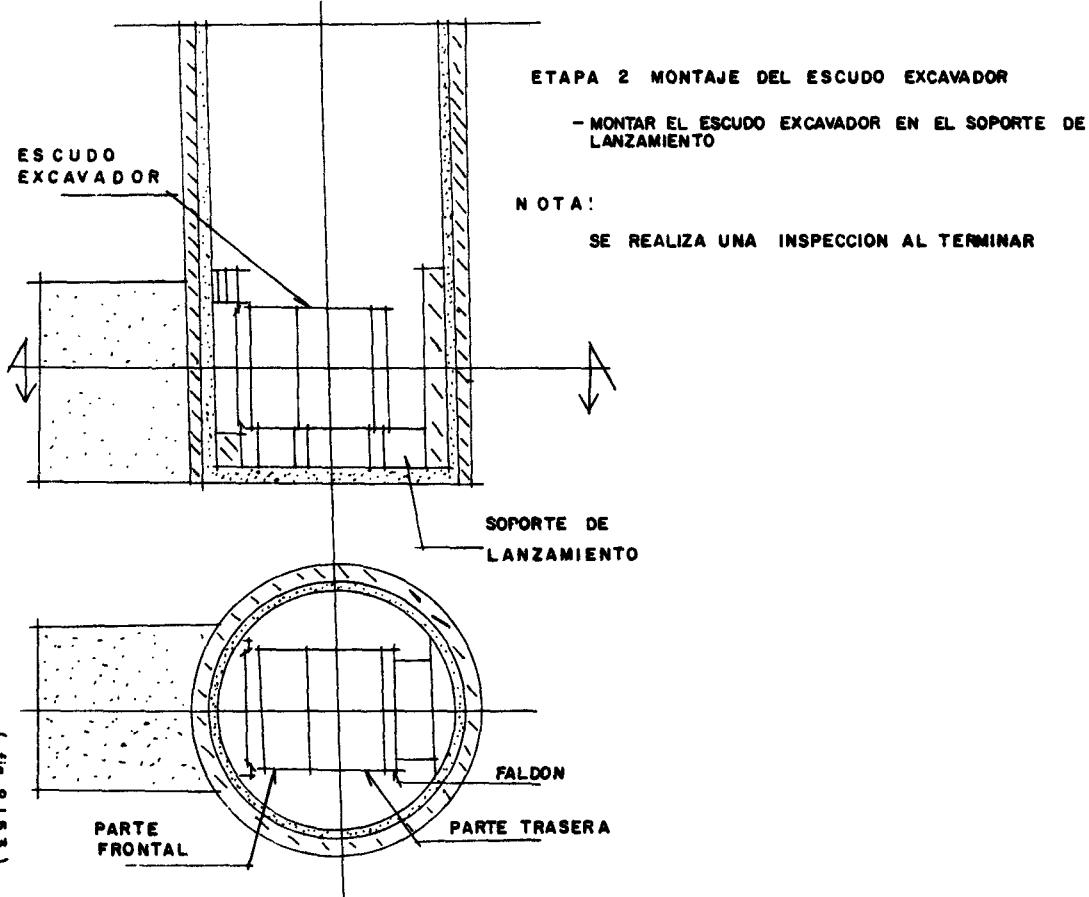
En resumen se describe la secuencia del lanzamiento del escudo, comprendida en las etapas 1 a 7. Dichas etapas son las siguientes : -fig 8.1.5.2 a fig 8.1.5.8).

- 1) Trabajos Temporales.
- 2) Montaje del Escudo Excavador
- 3) Preparación del Equipo e Instalación de la Dovelía
- 4) Apertura de la Entrada
- 5) Entrada del Escudo
- 6) Excavación Primaria
- 7) Instalación del Equipo de Arrastre

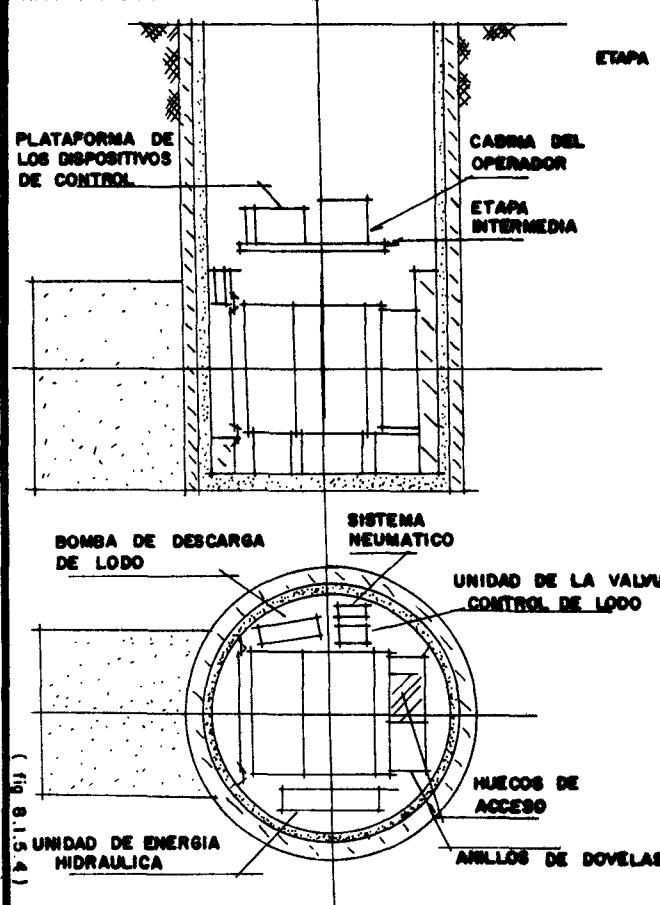
TRABAJOS TEMPORALES



MONTAJE DE ESCUDO EXCAVADOR

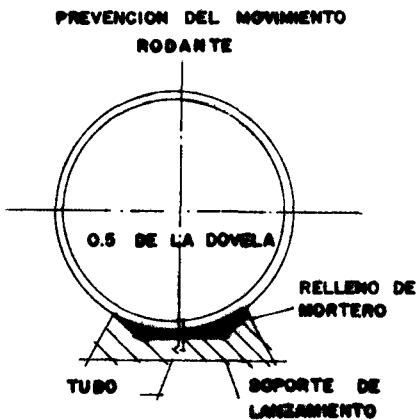


PREPARACION DEL EQUIPO E INSTALACION DE LA DOVELA DE ATRAQUE

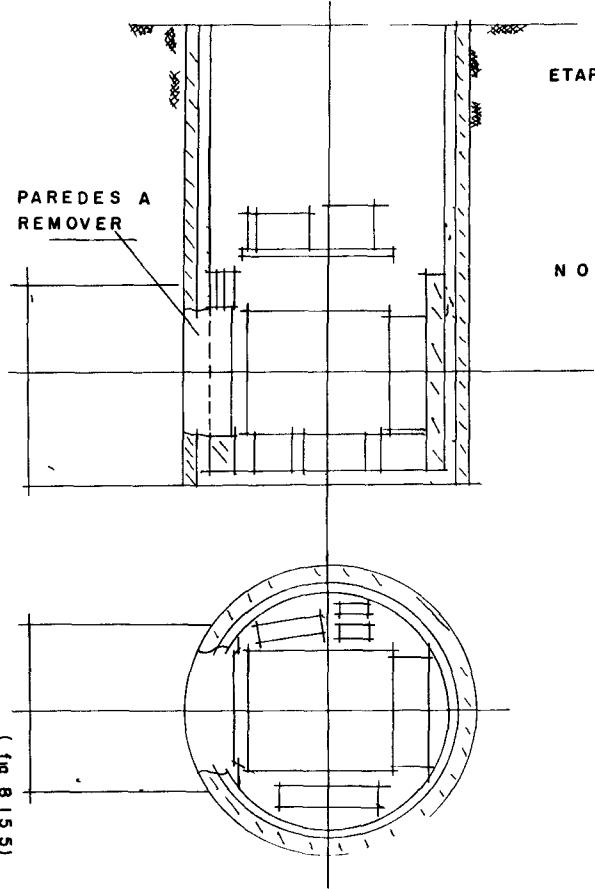


ETAPA 3 PREPARACION DEL EQUIPO E INSTALACION - DE LA DOVELA.

- INSTALAR LOS ANILLOS DE DOVELA DE CONCRETO DETRAS DEL ESCUDO SIN COLOCAR LA DOVELA SUPERIOR DE TIPO K Y UNA DE LAS DOVELAS DE TIPO S PARA MANTENER UN ACCESO LIBRE AL ESCUDO.
- COLGAR LOS ECRAPOS EN LAS ETAPAS INTERMEDIA Y DEL FONDO.



APERTURA DE LA ENTRADA



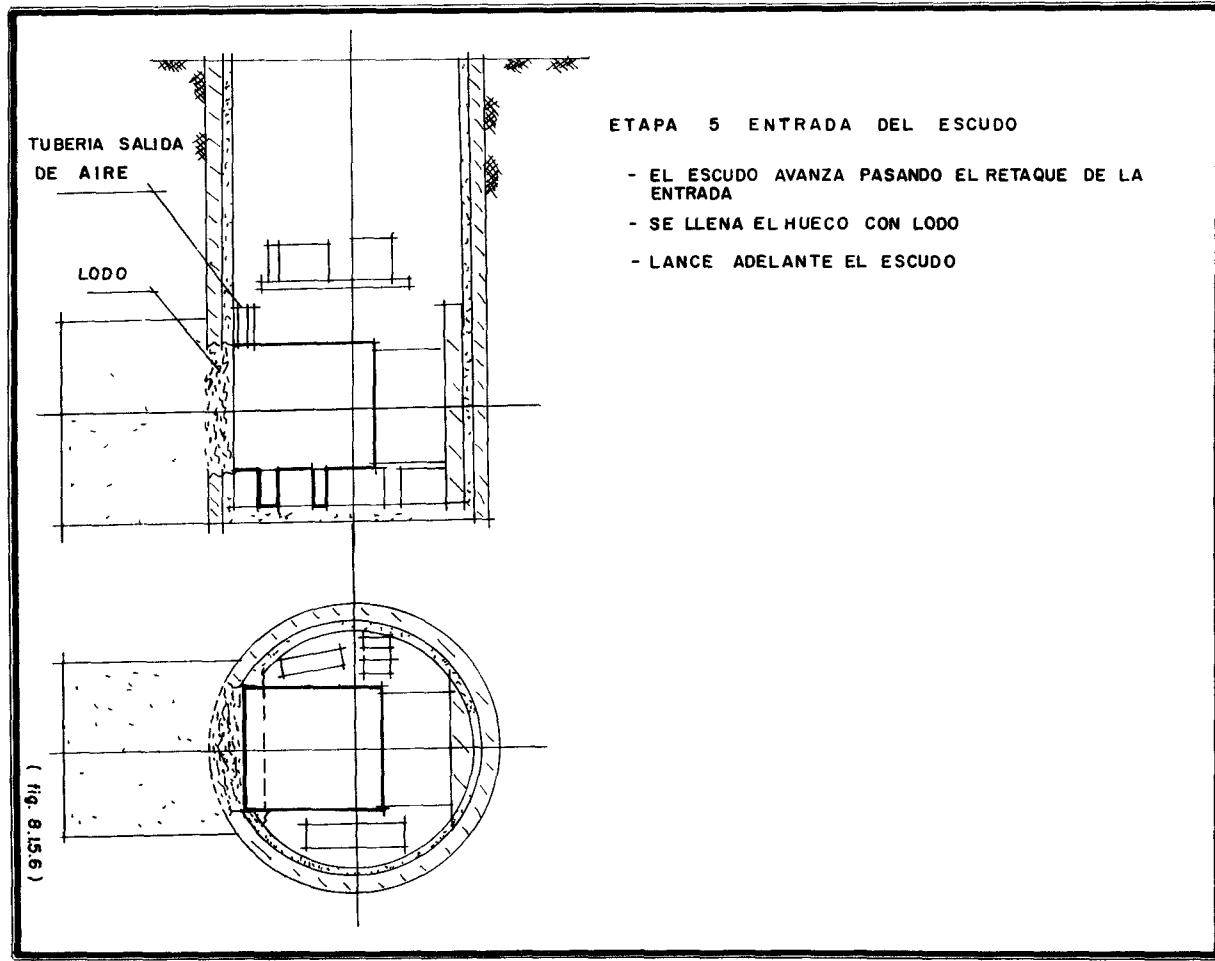
ETAPA 4 APERTURA DE LA ENTRADA

- ROMPER Y QUITAR LA PARED DE CONCRETO ARMADO DEL POZO EN EL LUGAR DE LA ENTRADA
- ROMPER Y QUITAR LA PARED DE MORTERO A LA ENTRADA

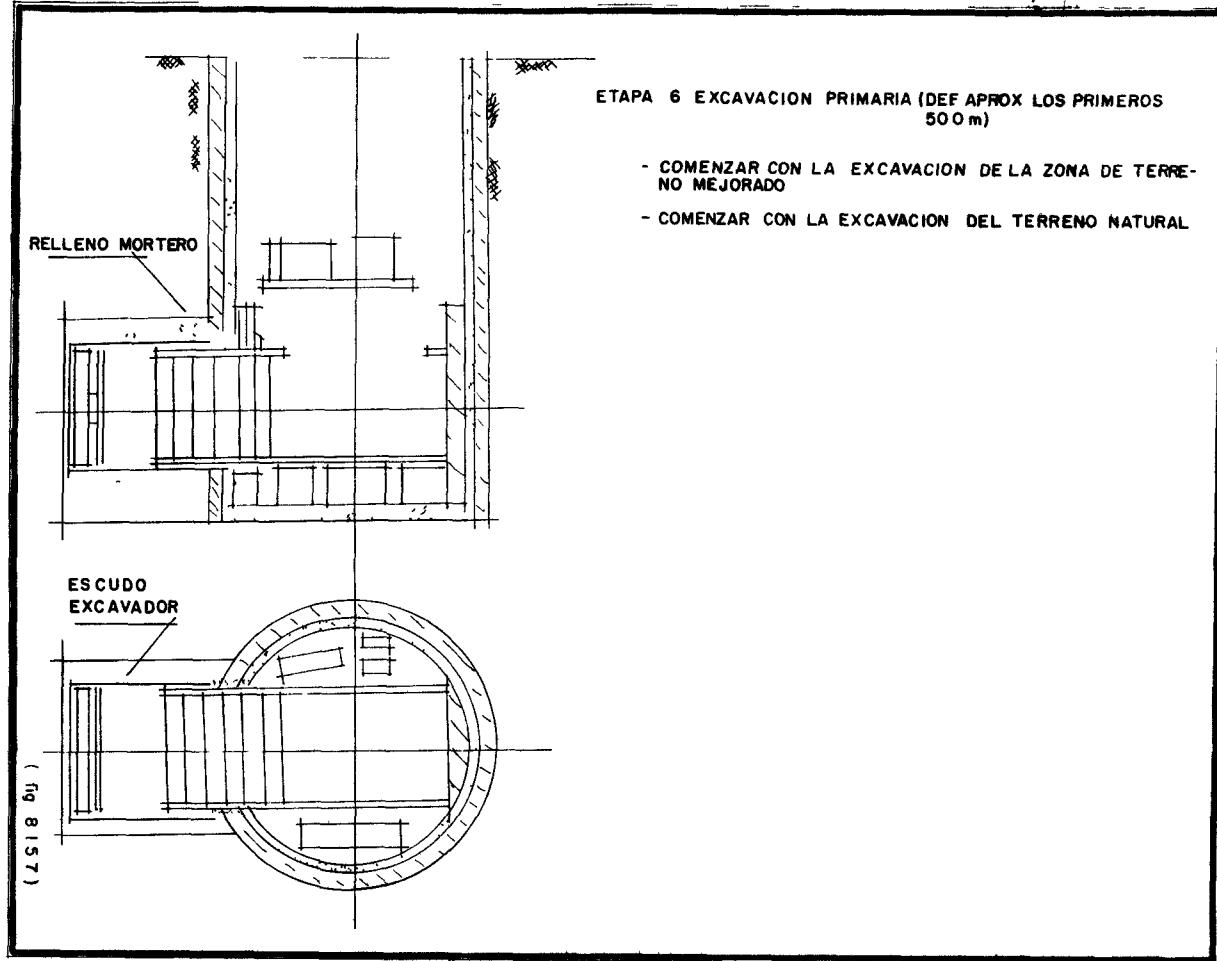
NOTA

LA TIERRA DE LA PORCIÓN MEJORADA A LA ENTRADA
DEBE SOSTENERSE SOLA, SIN SOPORTES, CUANDO SE --
QUITEN LAS PAREDES DE MORTERO

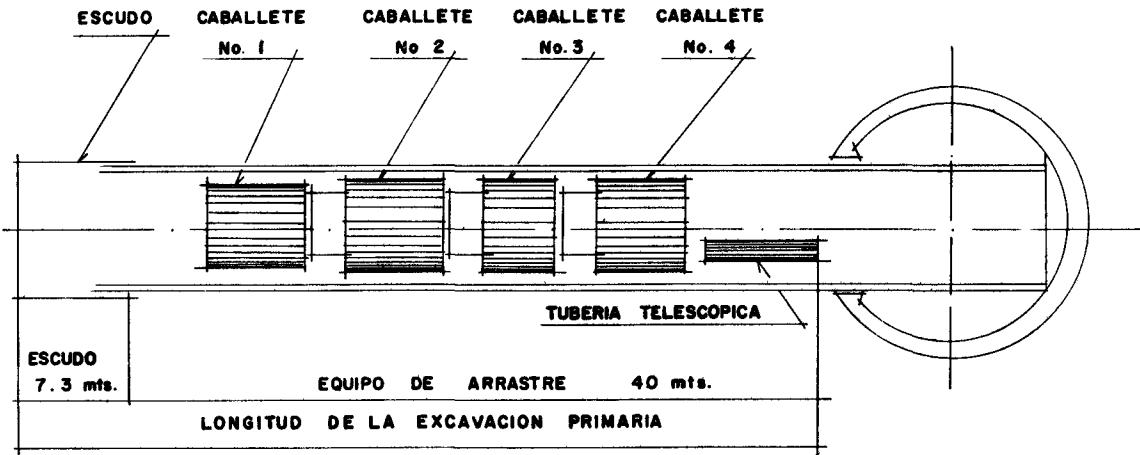
ENTRADA DEL ESCUDO



EXCAVACION PRIMARIA



INSTALACION DEL EQUIPO DE ARRASTRE



ETAPA 7 Instalacion del equipo de arrastre.

COMPLETAR LA EXCAVACION PRIMARIA

PARADA DEL EQUIPO EXCAVADOR

QUITAR LAS DOVELAS DE LA PARTE SUPERIOR DE LOS ANILLOS DEL POZO

ENSAMBLAR EL CABALLETE No.1 EN EL POZO

INSTALAR LOS EQUIPOS DE ARRASTRE EN LOS CABALLETES No. 1,2,3 y 4

EN ESE ORDEN

INSTALAR LA TUBERIA TELESCOPICA

(fig. 8.1.5.8)

8.1.6 Excavación de los Metros Subsecuentes

Ciclo de Trabajo (fig 8.1.6.1)

Al terminar las labores correspondientes a los primeros 50 m. de excavación se procede a ejecutar de manera cíclica todas las actividades correspondientes a la excavación de los metros subsecuentes.

El ciclo de trabajo contempla las siguientes actividades :

- 1) Excavación, empuje e inyección simultáneamente
- 2) Colocación del anillo de dovelas

Aunado a este ciclo, se tienen las siguientes actividades que no se consideran críticas :

- 1) Prolongación de vía y andador
- 2) Prolongación de tuberías (suministro y descargas de lodos, ventilación, aire a alta presión y bombeo de agua)
- 3) Prolongación de líneas eléctricas para alumbrado y alimentación del equipo
- 4) control topográfico

a) Excavación :

La excavación se efectúa de acuerdo al siguiente orden de actividades :(fig 8.1.6.2)

C I C L O D E T R A B A J O

ACTIVIDAD \ TIEMPO	: 10 :	20 :	30 :	40 :	50 :	60 :	70 :	80 :	90 :	100 :
: ACTIVIDADES PRINCIPALES										
:1.- PREPARACION EXCAVACION*	[]									
:2.-RECIRCULACION DE LODOS*		[]								
:3.- EXCAVACION 1 ^a ETAPA (600 mm)			[]							
:4.- VERIFICACION (HOLGURAS Y CARR. GATOS)				[]						
:5.- EXCAVACION 2 ^a ETAPA (1150 mm)					[]					
:6.- RECIRCULACION*						[]				
:7.- VERIFICACION*							[]			
:8.- TOPOGRAFIA							[]			
:9.- TRANSP. DOVELAS DE PATIO A FRENTE*							[]			
:10.- PREP. PARA COLOCACION DE ANILLOS								[]		
:11.- COLOCACION DE ANILLOS									[]	
:12.- APRIETE DEFINITIVO DE TORNILLOS*	[]									
:13.- PREP. Y TRANSPORTE DE INYECCION*	[]								[]	
:14.- INYECCION DE LECHADA							[]			
:15.- TRANSPORTE DE DURMIENTES										
:16.-COLOCACION DE DURMIENTES					[]					
:17.- CARGA DE LODOS A CAMIONES										
: ACTIVIDADES PERIODICAS										
:18.- TRANS. DE TUBERIA (C/6 ANILLOS)										
:19.- TENDIDO DE TUBERIA (C/6 ANILLOS)										
:20.- TRANS. Y COLOC DE LAMPARAS(C/10 ANI)										
:21.- TRANS. RIEL DE 4.00 m (C/6 ANILLOS)										
:22.- COLOC. RIEL DE 4.00 m (C/4 ANILLOS)										
:23.- TRANS. DE RIEL DE 9.00 m(C/9 ANILLOS)										
:24.- COLOC RIEL DE 9.00 m (C/9 ANILLOS)										

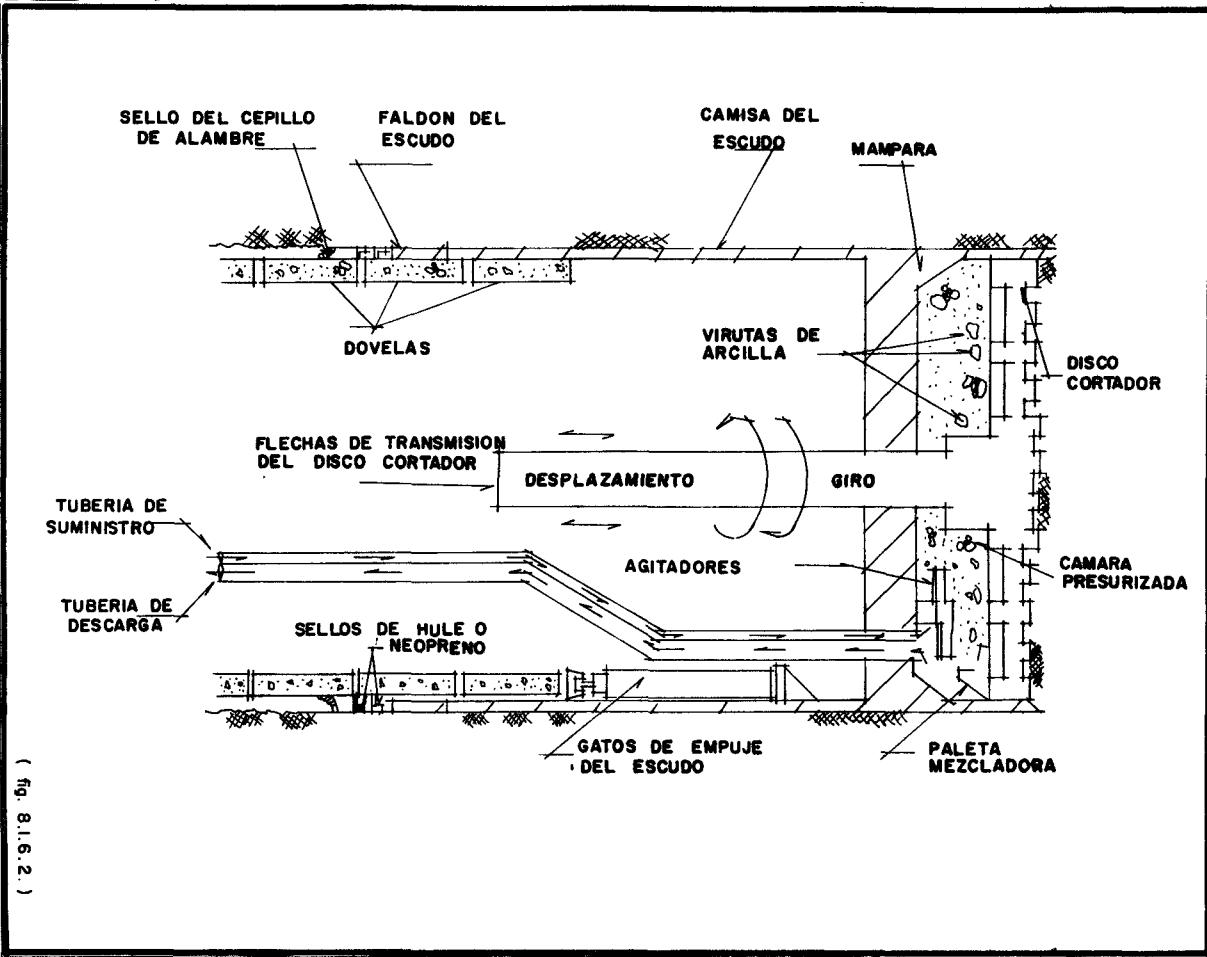
* VER OBSERVACIONES PAG. SIGUIENTE

FIG. 8.1.6.1

O B S E R V A C I O N E S

ACTIVIDAD	INCLUYE
PREPARACION DE EXCAVACION	APOYO DE GATOS VERIFICACION DE LA CARRERA DE LOS GATOS
RECIRCULACION	ENCENDIDO DE BOMBAS APERTURA DE VALV. Y CIERRE DE VALV. DE DERIVACION
RECIRCULACION	APERTURA DE VALV. DE DERIVACION, CIERRE DE VALV. Y APAGADO BOMBAS
VERIFICACION	VERIFICACION DE CARRERA DE GATOS
TRANS. DE DOVELA DE PATIO A FREnte	MANIOBRAS EN SUPERFICIE, LUMBRERA Y A-CARREO EN TUNEL
APRIETE DEFINITIVO TORNILLOS	REVISION DE LA DOBLE ANTERIOR
PREP. Y TRANS. DE INYECCION	DOSIFICACION, CARGA A CARRO BOMBA Y A-CARREO EN TUNEL

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO (EXCAVACION)



- a) Establecida la recirculación de lodo a través de la cámara presurizada y controlada la presión de suministro y el gasto de descarga, se hace girar el cortador para iniciar la excavación
- b) Se abren las compuertas de las ranuras de admisión de material, permitiendo su entrada a la cámara de mezclado
- c) Simultáneamente a la apertura de las compuertas, se comienzan a extender los gatos de empuje previamente seleccionados para controlar la línea y nivel del escudo.

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

- d) El material que penetra a través de las ranuras es mezclado y enviado a la superficie para su tratamiento inmediatamente con el fin de volver a enviarlo al frente, estableciendo así un ciclo
- e) Cuando la carrera de los gatos es de aproximadamente 600 mm se procede a realizar una verificación manual, la cual consiste en checar que la holgura entre el faldón y las dovelas se encuentre en un rango entre 10 y 15 mm; así como la de medir la carrera de cada gato.

Después de esta verificación se reanuda la excavación

- f) Cuando la carrera de los gatos de empuje es de 1.15 m aproximadamente, se para el avance del escudo y el giro de la cabeza cortadora procediendo a cerrar las compuertas de las ranuras
- g) Se mantiene la recirculación de lodo por el frente, hasta que las densidades de los lodos de suministro y descarga se igualen, parando entonces la circulación del mismo, con lo que se da por terminada la excavación

La inyección de lechada se realiza en el antepenúltimo anillo colocado, puesto que es éste el que acaba de abandonar el faldón del escudo.

Por especificaciones de diseño para cada revolución (bacha) de 0.5 m. se necesitan :

Cemento :	190.000 kg
Arena :	0.243 m ³
Bentonita :	75.000 Kg
Aqua :	380.000 lts

La capacidad de las tolvas de cemento y arena deberá ser suficiente para inyectar 10 anillos.

La empresa contratista decidió que la inyección debería hacerse con la siguiente dosificación :

Cemento :	190.000 kg
Arena :	0.228 kg
Bentonita :	75.000 kg
Aqua :	380.000 lt

La presión de la inyección varía de 0.7 a 1.5 kg/cm² en la boquilla y de 1.5 a 2.5 kg/cm² en el carro bomba.

La presión de inyección se controla para evitar bufamientos del terreno.

b) Giro del Escudo :

Como consecuencia de la rotación de la cabeza cortadora, el escudo normalmente tiende a girar en el sentido opuesto a la rotación del cortador.

Sin embargo, al ser muy pequeña la fricción del terreno el escudo ha girado hasta 3 grados en el sentido del cortador, para corregir este giro, en condiciones normales bastaría invertir el sentido de rotación del cortador; en el tramo por las condiciones del terreno esto no ocurrió y el escudo por sí solo fue recobrando su posición original.

Otra forma de corregir el giro del escudo es por medio de 6 gatos que el escudo posee para este fin o bien con el control automático. "Cabe mencionar que estos procedimientos hasta ahora no han sido utilizados."

c) Colocación de anillos :

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

Las dovelas son suministradas desde la superficie una vez que el carro bomba empleado en la inyección de contacto ha llegado a la lumbrera. La grúa pórtico traslada las dovelas del patio de almacenamiento a la lumbrera y las baja por la misma hasta los carros de transporte, los cuales llevan en uno 3 dovelas tipo "A" y en otro 2 tipo "B" y una tipo "K".(fig 8.2.1)

Estos carros son arrastrados por la locomotora hasta el frente en donde un polipasto colocado en el tren de arrastre transporta y coloca cada una en el sistema elevador de alabes.

La primera dovela en colocarse es la de la plantilla del túnel, evitando siempre que se formen planos de cortante. Para la colocación de las dovelas es necesario retraer los gatos que ocupen el lugar que le corresponde. La unión entre dovelas y anillos se efectúa por medio de pernos con apriete manual.

Antes de proceder a la colocación del anillo, los topógrafos verifican la posición del escudo respecto al trazo del proyecto.

d) Recirculación y rezaga de lodos :

El proceso de recirculación antes de una excavación tiene la finalidad de igualar los flujos en la tubería de suministro y rezaga.

El ciclo es el siguiente :

PLANTA DE LODOS -----> BOMBA P1 ---> TUBERIA DE SUM. --->
VALV. DE DERIVACION -----> BOMBA P2 ---> TUB DESCARGA----->
BOMBAS AUXILIARES -----> PLANTA DE LODOS

El tiempo que dura este proceso depende de si la tubería fue o no alargada, ya que pudiera existir aire en la tubería.

Para iniciar la excavación, la recirculación de lodos se debe hacer hasta el frente de ataque, para lo cual se abre la válvula

de suministro, unos segundos después se abre la válvula de la tubería de descarga y finalmente se cierra la válvula de derivación.

Al terminar la excavación se abre la válvula de derivación y se cierran indistintamente la válvula de suministro o descarga una a continuación de la otra hasta que las densidades de suministro y descarga sean semejantes garantizando así que todo el material excavado sea extraído.

En teoría el volumen de material producto de la excavación es de 30.581 m³, pero se ha visto que el factor de abundamiento (cantidad de lodo para remover la excavación) es aproximadamente de 2.8.

Para la rezaga se emplean :

a) Sólidos :

Draga con cucharón de almeja que carga en camiones de volteo el material que se deposita en el cárcamo de descarga y en el de sedimentación.

b) Líquidos :

Bomba sumergible que descarga en pipas el lodo del cárcamo de sedimentación.

e) Control topográfico :

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

Los resultados obtenido sirven de base para seleccionar los gatos a usar en el próximo avance. Para efectuar los empujes programados del escudo se va tomando como guía la longitud de los vástagos de cada gato.

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

Existen dos trayectorias en que se puede realizar la excavación recta o en tangente y curva. Cuando la excavación es en tangente, la elección de los gatos se hace en base a la línea y el nivel topográfico, considerando que por las condiciones del terreno el retirar o adicionar gatos puede provocar que el escudo tienda a salirse del trazo del proyecto. Cuando la excavación es en curva, la elección de los gatos de empuje es mas compleja, puesto que además de cuidar el trazo del proyecto hay que considerar la colocación de anillos correctivos.

El uso de anillos correctivos es con el fin de darle la orientación adecuada a la curva, ya sea a la derecha o a la

izquierda; dependiendo de esto, se coloca el lado máximo del anillo del lado contrario a la dirección de la curva, es decir, curva a la derecha, lado máximo a la izquierda y viceversa.

Para colocar un anillo normal en curva, debe existir una diferencia entre la carrera de los gatos izquierdo y derecho de aproximadamente 40 mm del lado de la máxima dimensión del anillo correctivo anterior. En cambio, cuando se coloca un anillo correctivo se debe dejar una diferencia de 80 mm aproximadamente, puesto que en estos anillos, la dimensión máxima es 5 cm mayor que la mínima.

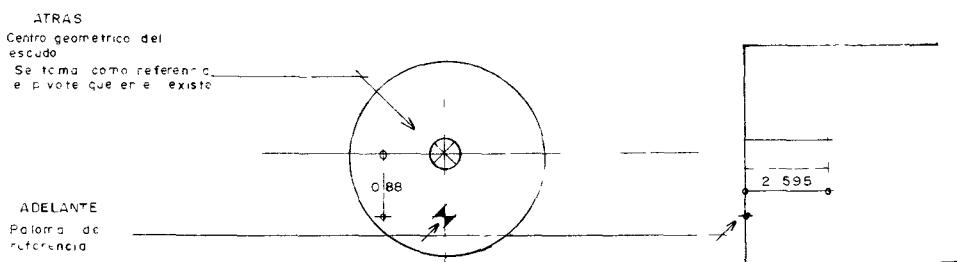
Para seguir el trazo de una curva de 250 m de radio, como las que existen en el tramo, se requiere colocar un anillo correctivo por cada anillo normal.

El reporte topográfico consiste en los siguientes datos :

- comparación entre la elevación real y la proyectada para que junto con la información del cabeceo del escudo sirva como parámetro para la elección de los gatos que empujarán en el siguiente ciclo de la excavación en la parte superior o inferior del escudo.
- La desviación (adelante y atrás) del escudo respecto al eje del trazo para determinar los gatos que empujarán en la parte izquierda o derecha del escudo.

La selección de los gatos es en base a la experiencia y al criterio del jefe de frente, y se revisa a mitad de la carrera la posición de los gatos para saber si el criterio ha sido el correcto, es necesario aclarar que la respuesta del escudo es aproximadamente hasta el cuarto o quinto empuje.

- Comparación entre la pendiente real y la pendiente proyectada
- Holgura entre el faldón y el anillo medidas a cada 45 grados en todo el perímetro del túnel.
- Para determinar la desviación adelante y atrás del escudo, se realizan dos mediciones:



Por una desviación trigonométrica se obtiene la desviación al principio y al final del escudo.

8.1.7 Operación del Escudo

Las actividades que debe desarrollar el operador son las siguientes :

- Activar los gatos que realizarán el empuje
- Hacer circular el aceite hidráulico para gatos y compuertas
- Seleccionar el sentido y velocidad de rotación de la cabeza cortadora
- Estar al tanto de la circulación de lodos
- Ajustar el flujo hidráulico para los gatos de empuje
- Arrancar los ocho motores de la cabeza cortadora y revisar la corriente de los mismos
- Abrir las compuertas de la cabeza cortadora
- Tomar lecturas del cabeceo del escudo, el giro y la carrera de los gatos de empuje
- Ordenar la inyección cuando la carrera de los gatos sea mayor de 220 mm
- Suspender la excavación a los 600 mm para verificar holguras y carrera
- Reiniciar la excavación hasta los 1150 mm
- Detener el empuje parando motores, cerrando compuertas y las bombas del sistema hidráulico
- Ordenar la verificación de la carrera de los gatos para comprobar si hay suficiente espacio para colocar el anillo

Cuidados que el Operador debe tener con el escudo :

- Estar atento a ruidos y vibraciones anormales en el escudo
- Estar al tanto de la presión del frente y de la tubería de suministro
- Evitar que dos anillos estén alineados para evitar plano de corte
- Seleccionar la correcta orientación de los anillos correctivos
- Que se mantenga por lo menos 2 minutos, la presión en el frente al terminar la excavación

8.1.8 Sistema de Control

Casetas de Control :

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

Este sistema de Control está constituido por una consola en la que se encuentra un tablero gráfico en el que se representan esquemáticamente los elementos importantes que intervienen en el funcionamiento del escudo y en el sistema de circulación de lodos (fig-3.7.4)

Del Esquema :

CONTROL DE LODOS :

- 1) Relación VE/VD (Vol Excavado/Vol Desplazado) [%]
Debe tratarse de mantener una relación de volumen excavado igual a volumen desplazado
- 2) Medidor de volumen excavado y volumen desplazado (Acumulado) en metros.
- 3) Velocidad de la bomba de suministro 300-1,600 rpm
- 4) Velocidad de la bomba de descarga 300-1,600 rpm
- 5) Peso específico natural del terreno valor con el cual se han realizado los cálculos de diseño y es generalmente constante (1.2)
- 6) Presión de suministro de la bomba 1.2-1.4 kg/cm²
- 7) Gasto de descarga en la bomba 3.0-4.2 m³/min
- 8) Presión del frente : se recomiendan valores de 1.2-1.4 kg/cm²
- 9) Presión de suministro en tuberías 1.2-1.4 kg/cm²
- 10) Gasto de suministro 2.5-4.0 m³/min
- 11) Gasto de descarga en tubería 3.0-4.2 m³/min
- 12) Densidad de suministro . se recomienda un valor promedio de 1.05 y como máximo 1.10
- 13) Densidad de descarga : se recomienda un rango de 1.05-1.20

CONTROL DEL ESCUDO :

- 14) Corriente total de los ocho motores del cortador :
se recomienda un valor entre 272.8 y 385.6 Amp
- 15) Presión del gato del cortador 60-120 kg/cm²
- 16) Presión total del sistema : Es igual ala suma de los valores de las presiones de los gatos individuales
- 17) Carrera del gato izquierdo (nº20), cuyo desplazamiento varía de 0 a 1,150 mm
- 18) Carrera del gato derecho (Nº5), cuyo desplazamiento varía de 0 a 1,150 mm
- 19) Velocidad de avance : se recomiendan valores entre 2 y 5 cm por minuto
- 20) Presión de los gatos de la cámara
- 21) Medidor del cabeceo del escudo (pitch), medida en grados
- 22) 23) graficadores
- 24) Interruptor de botón (calculador)

A continuación se muestran los valores de los parámetros registrados en la excavación del anillo N° 988

Cabina del Operador .

En la cabina del operador, ubicada en el tren de arrastre del escudo, se registran todas y cada una de las variables del sistema de gatos de empuje, motores, y en general del control del avance del escudo, recibiendo información adicional del sistema de lodos.

Este sistema de control está constituido por una consola en la que se encuentra un tablero luminoso en el que representan los 24 gatos de empuje. (fig-3.7.5)

- a) Línea de voltaje
- b) Velocidad de rotación de la cabeza cortadora
- c) Corriente de c/u de los 8 motores de la cabeza cortadora
- d) Indicador de sobre corriente para c/u de los 8 motores
- e) Encendido y apagado de c/u de los 24 gatos
- f) Indicador del cabeceo del escudo (pitch)
- g) Indicador del giro del escudo (roll)
- h) Carrera del gato de la cabeza cortadora (0-400 mm)
- i) Indicador del funcionamiento de la válvula de derivación
- j) Sistemas de alarmas
- k) Presión del frente
- l) Gasto de descarga
- m) Presión total del sistema de gatos
- n) Carrera del gato izquierdo

- o) Carrera del gato derecho
- p) Velocidad de avance
- q) Volumen de aceite en el Sistema Hidráulico
- r) Presión de los gatos de las compuertas
- s) Presión de los gatos de la cabeza cortadora
- t) Apagado de emergencia

8.1.8 Excavación de los Ultimos 9.00 metros y Llegada del Escudo a la Lumbreña 1 del Interceptor Centro-Centro

En los últimos 9.00 metros de la excavación del túnel, el suelo, a consecuencia del tratamiento de mejoramiento es un suelo tratado a base de columnas inyectadas de una mezcla de cemento - arena - bentonita, lo cual hace que su resistencia al corte sea mayor. Es por esto que a la cabeza cortadora se le adicionan un par de accesorios de corte (dientes sobreexcavadores) con el fin de que éstos corten el espacio de suelo tratado que queda entre la cabeza cortadora y la camisa del escudo.

Para colocar los sobreexcavadores de tungsteno es necesario vaciar la cámara de lodos, como es obvio la excavación se detiene. La razón es que la colocación debe hacerse desde la cámara de mezclado y fijarlos manualmente.

Cuando la excavación se reinicia se presentan problemas de obstrucción de tuberías pues el tamaño promedio de los grumos de suelo es de unos 8 centímetros aproximadamente.

La excavación se detiene a unos 600 mm de la pared de lumbreña y simultáneamente desde la lumbreña se demuele el portal de salida con perforadoras neumáticas y se prepara una cuña metálica que permitirá el giro del escudo.

En el túnel se procede, mientras tanto, a retirar tuberías, bombas, etc. puesto que el avance del escudo será ya sin rotación de la cabeza cortadora.

En la lumbreña a la que llega el escudo, se estará construyendo el portal de entrada y el muro de atranque para la excavación del túnel en el siguiente tramo. Así como también se instalarán las plataformas que soportarán provisionalmente el tren de arrastre en forma similar al proceso descrito en la sección de lanzamiento del escudo y perforación de los primeros 50 metros.

Se ha utilizado en este caso una cuña metálica en lugar de una cuña de concreto para facilitar el deslizamiento sobre los rieles embebidos en la losa de fondo.

8.2 SISTEMA DE SOPORTE

Revestimiento Primario (Dovelas de Concreto) fig 8.2.1

El revestimiento primario se forma con anillos de dovelas prefabricadas con concreto de $f'c=350$ kg/cm². Cada anillo está formado por 6 dovelas de 25 cm de espesor y 1.00 metro de ancho.

Para la unión de las dovelas que forman el anillo y de las dovelas entre sí, se emplean pernos de acero de alta resistencia de 1 1/8" de diámetro. En la fotografía de la página siguiente se observa como la unión entre dos anillos consecutivos se realiza desfasando un anillo respecto al otro para evitar que coincidan las uniones y, por, lo tanto, evitar la formación de planos de cortante.

Cada anillo está formado por 3 tipos de dovelas : 3 tipo "A", 2 tipo "B" y 1 tipo "K", cuya distribución y las dimensiones se muestran en la (fig 8.2.1)

Para evitar filtraciones del terreno hacia el túnel se utilizan dos tipos de material sellante : "neopreno" y el "Vynon Hidrotita", los cuales son selladores de goma que se expanden cuando absorben agua del terreno y/o mezclas inyectadas de relleno. El Vynon Hidrotita se utiliza únicamente en lugares donde es necesario lograr que las filtraciones sean mínimas para evitar posibles asentamientos superficiales. Tal es el caso en la intersección con el eje del Viaducto Río de la Piedad y con el eje del cajón de la línea 9 del metro.

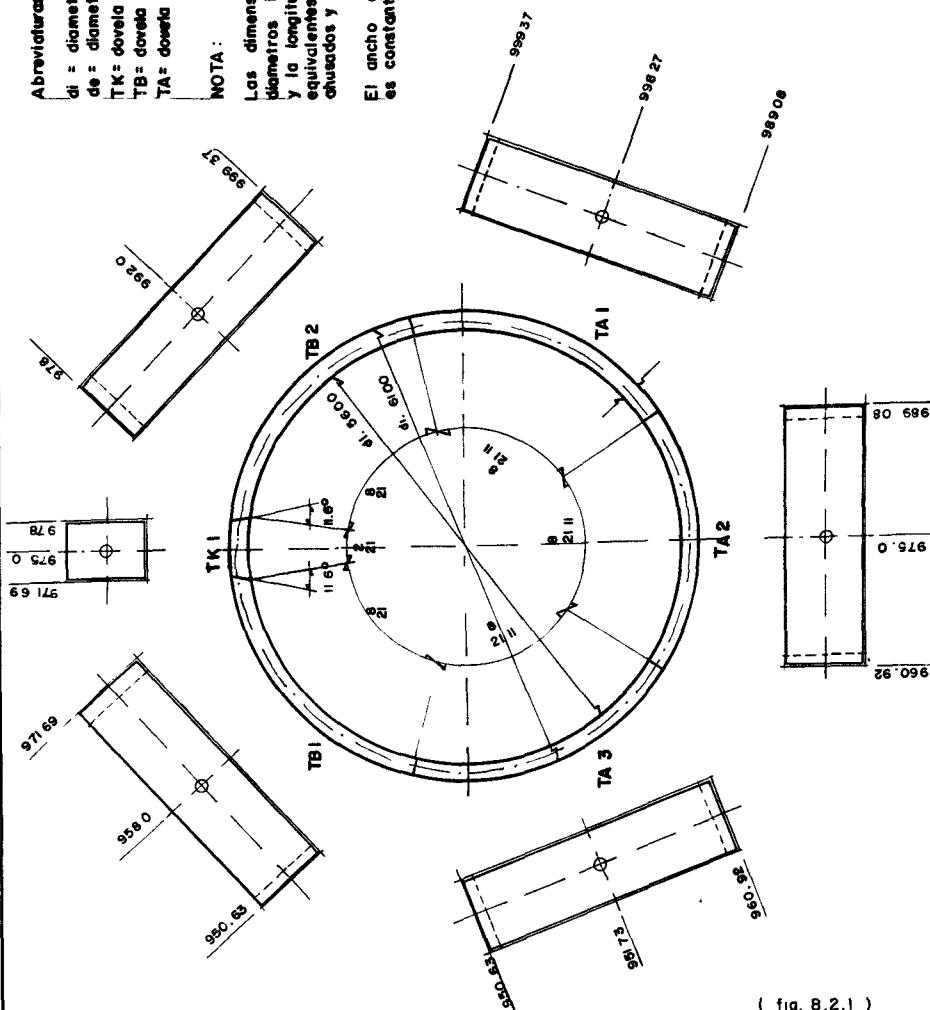
Abbreviations:

di = diâmetro interior
 de = diâmetro exterior
 TK = dovela chave chusada
 TB = dovela chusada tipo B
 TA = dovela chusada tipo A

NOTA:

Las dimensiones como los diámetros interior o exterior y la longitud de arco son equivalentes en los agujos ensillados y en los normales.

El ancho de un anillo normal es constante de 1000 mm.



(fig. 8.2.1)

DIMENSIONES DE LOS ANILLOS AHUSADOS (CORRECTIVOS Y NORMALES)

Cuando el trazo del túnel presenta curvas es necesario colocar anillos correctivos, que son anillos que presentan una disminución gradual del ancho nominal (1.00m) hasta un ancho de 95 cm. Estas dimensiones, máxima y mínima, se encuentran diametralmente opuestas.(fig 6.2.2). El número y frecuencia de los anillos correctivos es función del radio de la curva.

Para la fabricación de las dovelas se diseñó una planta en donde se utilizan moldes metálicas de alta precisión que garantizan la calidad del producto. Ahí mismo se almacenan y se les da el tratamiento de curado mientras alcanzan su resistencia de diseño.

ESPECIFICACIONES DE LAS DOVELAS :

Resistencia de los Materiales

1) Concreto :

Resistencia de diseño (f'_c)	350 kg/cm ²
Esfuerzo de compresión permisible	117 kg/cm ²
Esfuerzo de Corte Permisible	8 kg/cm ²
Esfuerzo de adhesión permisible	18 kg/cm ²

2) Refuerzo de Acero :

Resistencia a la Fluencia (f_y)	4,200 kg/cm ²
Esfuerzo a tensión permisible	1,400 kg/cm ²

3) Pernos :

Esfuerzo a tensión permisible kg/cm ²	1,400
Esfuerzo de corte permisible	800 kg/cm ²

Dovelas de Concreto Armado :

Diámetro ext del anillo de dovelas	6,100 mm
Diámetro int del anillo de dovelas	5,600 mm
Ancho de la dovela	1,000 mm
Grosor de la dovela	250 mm

Cantidad de concreto según tipo de pieza :

3 dovelas tipo "A"	0.855 m ³ /pza
2 dovelas tipo "B"	0.861 m ³ /pza
1 dovela tipo "K"	0.198 m ³ /pza

Cantidad de refuerzo (barras #5 y #3) 0.730 ton/ani

Placas de unión entre anillos y
entre dovelas 170x140x19.04 mm

pernos unión entre dovelas (1 1/8" diá)
33 N°/ani

Concreto (resistencia nominal f'c= 350 kg/cm²) :

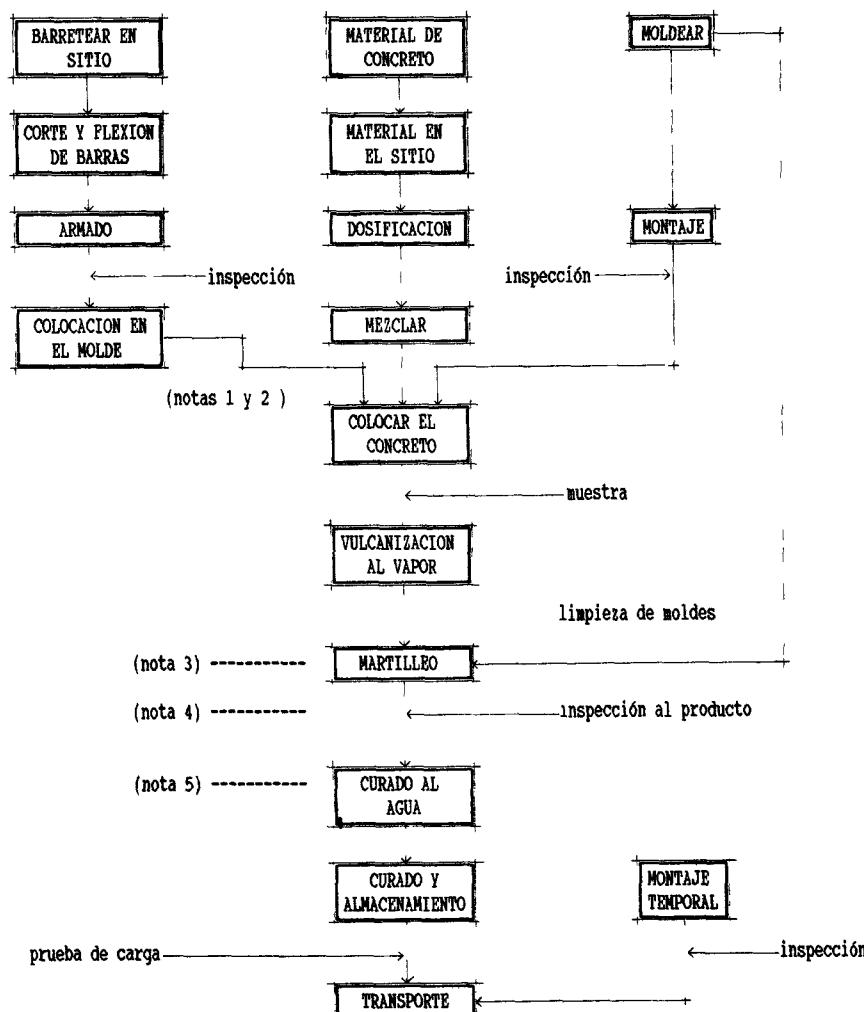
Agregado grueso :	máximo 20 mm
Revenimiento :	2.5 +/- 1.5 cm
Relac. agua/cemento :	44 %

Mezcla proyectada por metro cúbico :

Cemento :	450 kg
agua :	200 kg
Agregado grueso :	845 kg
Agregado fino :	601 kg
Aditivo (pozzolan 322)	1.8 lt

Fabricación :

El proceso de fabricación de dovelas se realiza bajo la siguiente secuencia de actividades, que se resumen en forma de diagrama de flujo :



Notas :

- 1) El concreto se coloca en un molde instalado en la tabla vibradora con una vibración de 2300 rpm y una amplitud de 1 mm. Además la tabla vibradora debe usar un vibrador portátil del tipo varilla.
- 2) El acabado manual de la superficie superior del concreto debe realizarse después de ventilar el concreto aproximadamente dos horas luego de su colocación
- 3) El golpeo del molde no puede comenzar hasta que la resistencia de compresión del concreto llegue a 150 kg/cm² o más
- 4) Cada pieza de dovela de concreto debe estar claramente identificada con los siguientes detalles pintados indeleblemente en su superficie:
 - Número de fabricación (# de anillo)
 - Nombre del fabricante
 - Tipo de anillo (normal o correctivo)
 - Nº de pieza en los anillos correctivos
 - Tipo A, B o K
 - Fecha de fabricación

- 5) El curado por agua debe realizarse de tal manera que las dovelas de concreto estén totalmente sumergidas dentro del agua. La cura por agua debe durar por lo menos una semana.

8.2.2 Revestimiento Definitivo :

El revestimiento definitivo usado en este tramo corresponde al revestimiento que en general debe aplicarse al Interceptor Central.

La empresa Okumura Corporation marco unos lineamientos generales para dicho revestimiento :

- 1.- El revestimiento secundario (concreto moldeado en el lugar) será colocado entre las lumbreras luego de completar el primer revestimiento (dovela de concreto premoldeado).
- 2.- El revestimiento secundario será una unidad de forma cilíndrica de diámetro exterior 5.010 m. El concreto con el que se fabrique será trasladado sobre unidades montadas sobre ruedas de goma.
- 3.- Especificaciones del concreto moldeado en el lugar :

concreto de 240 kg/cm² nominal (con resistencia de compresión de 240 kg/cm² y curación de 28 días)

Revenimiento	18 cm
Cantidad de aire	4 %
Agregado máximo	20 mm

Mezcla calculada (por metro cúbico):

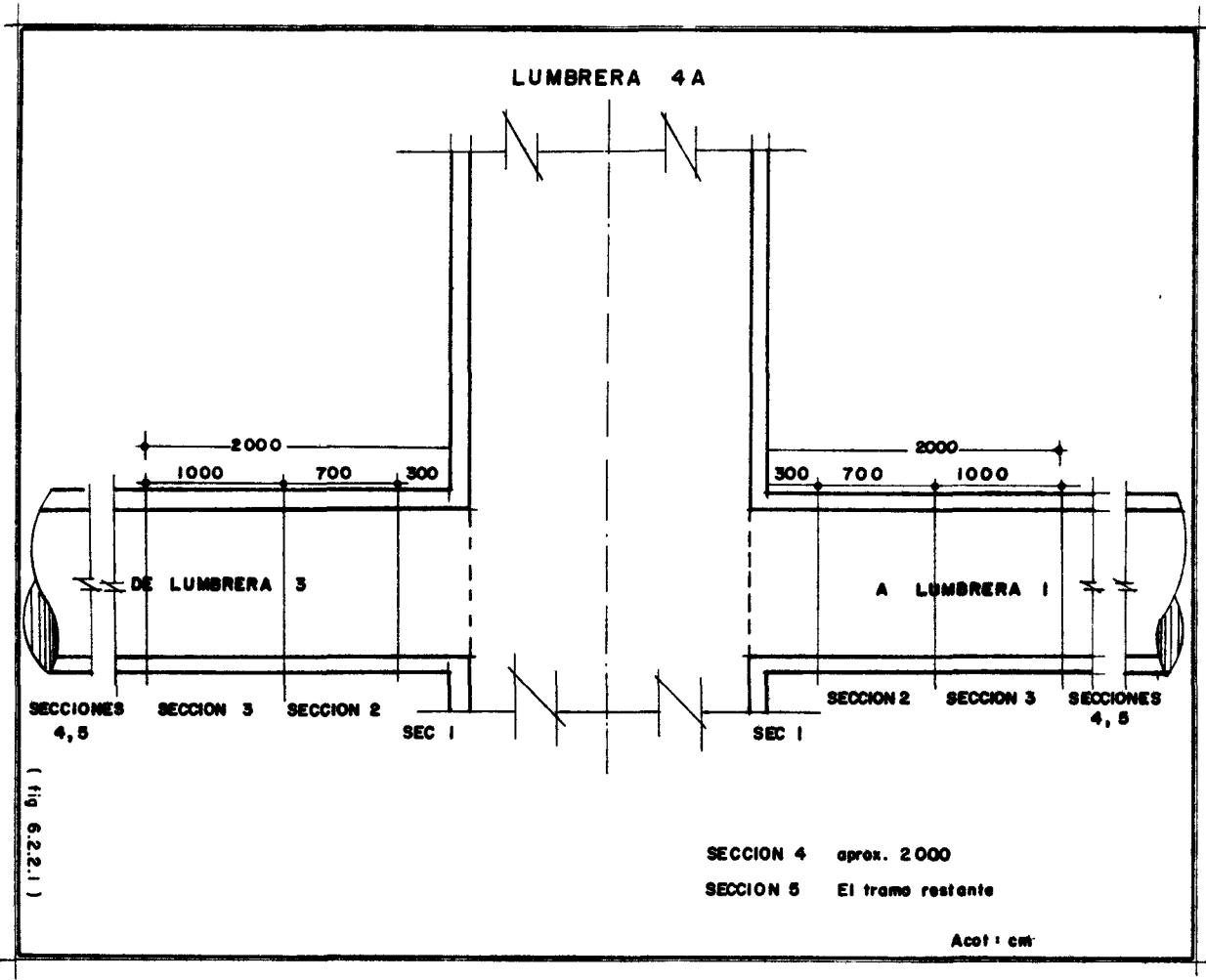
Cemento	371 kg
Arena	756 kg
Agregado	948 kg
Adicionante	(pozzolan)
Relac agua/cemento	52%

Una vez realizado el diseño del revestimiento definitivo se consideran, a lo largo del túnel, cinco secciones armadas con diferentes cuantías de acero. El armado se ilustra en las (fig 6.2.2.1, 6.2.2.2 y 6.2.2.3)

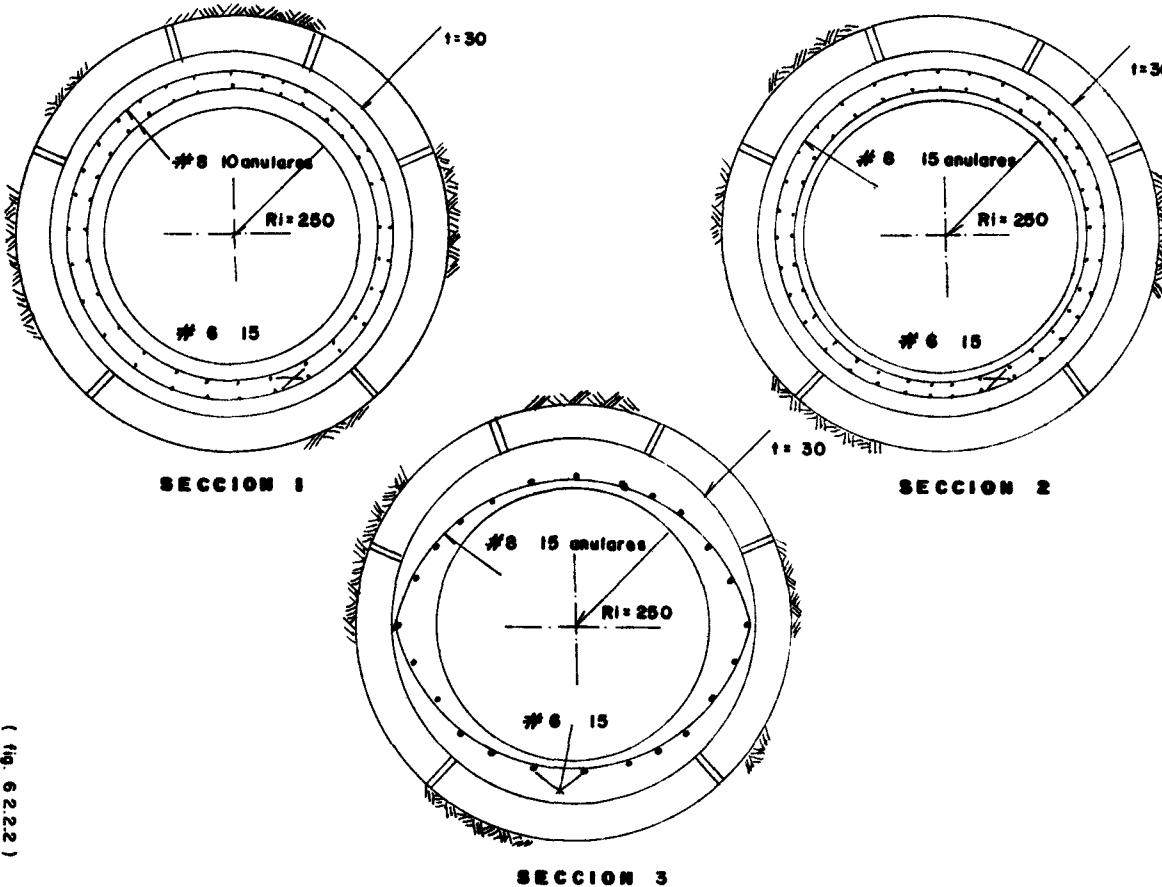
8.2.3 Ciclo de Actividades

Al finalizar la excavación del túnel se inician las actividades correspondientes a la colocación del revestimiento definitivo de concreto reforzado de 30 cms, de espesor, para obtener finalmente un diámetro interior del túnel de 5.00 m. Para este propósito, se utiliza una cimbra metálica telescópica (fig 6.2.3.1) de 36.60 m. de longitud formada por 15 anillos de 2.43 m de longitud cada uno, estos anillos sirven como moldes y como mecanismo de avance.

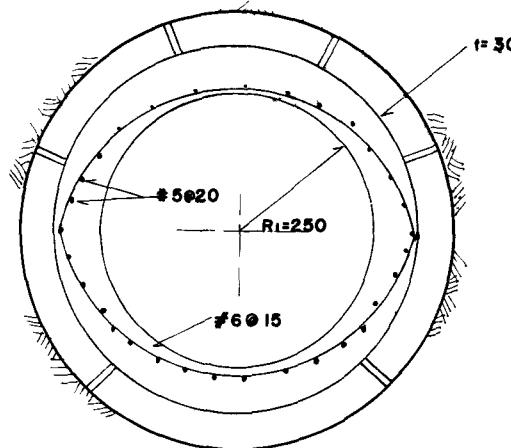
SECCIONES PARA ARMADO DE REVESTIMIENTO DEFINITIVO



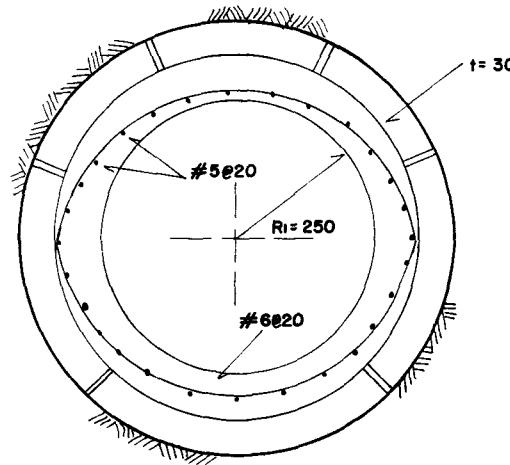
**ARMADO DE SECCIONES PARA REVESTIMIENTO
DEFINITIVO**



(fig. 6.2.2.2)



SECCION 4

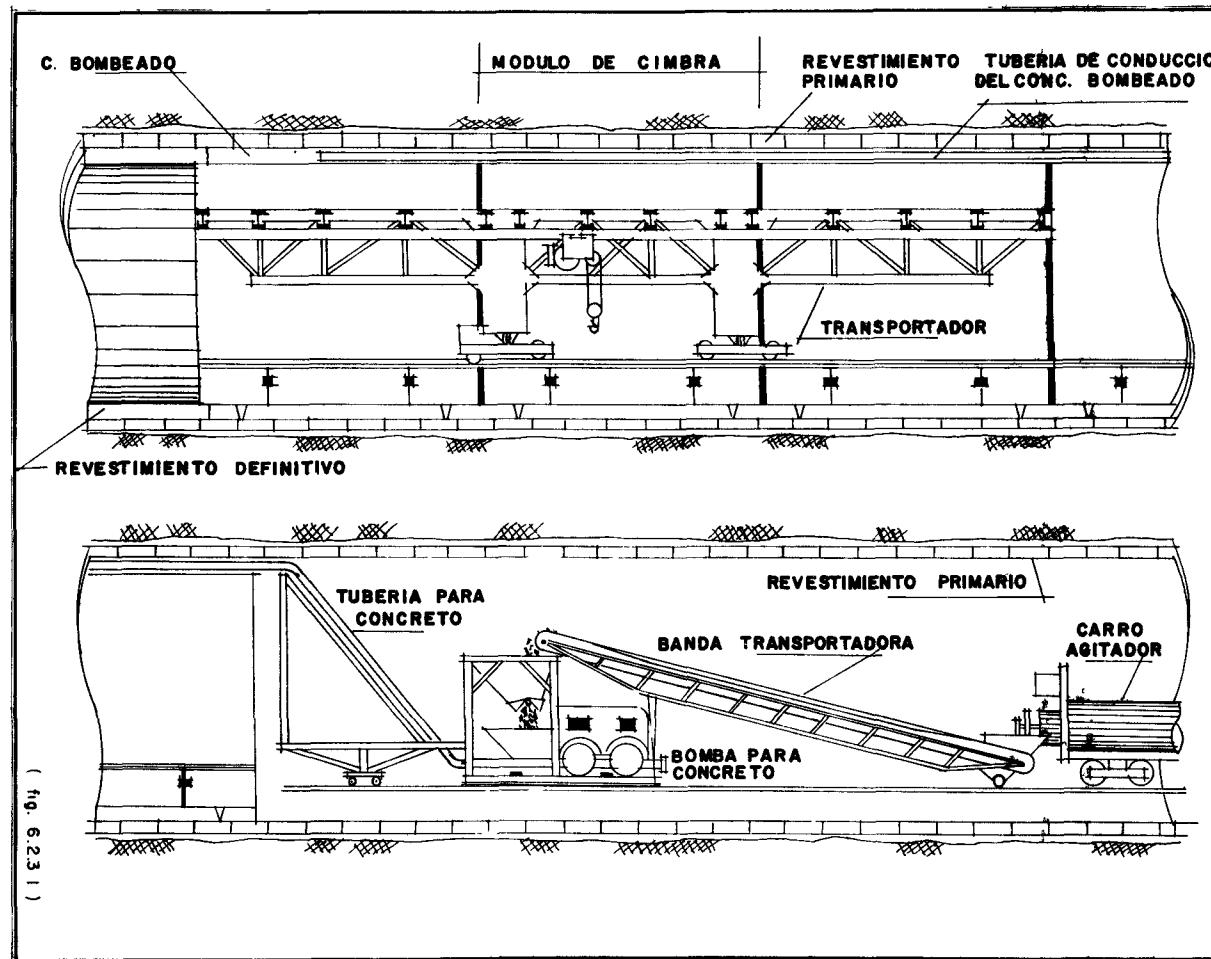


SECCION 5

Acot cm (fig 6223)

ARMADO DE SECCIONES PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO

CIMBRA TELESCOPICA



Cada anillo esta compuesto por cinco piezas metálicas de forma similar a las dovelas, de tal suerte que mediante una serie de gatos el anillo puede ser retraído y expandido, según sea el caso de transportar mediante un balancín el anillo para avanzar con la cimbra o servir de cimbra para el colado.

En el túnel tramo L 4A IC-L 1 ICC, se han obtenido rendimientos hasta de 18 m/día, la dosificación que se ha seguido, para cumplir con las especificaciones es :

Cemento	445 kg
Grava	850 kg
Arena	650 kg
Agua	200 lt

Un ciclo completo de actividades contempla los siguientes pasos :

- Limpieza del tramo por revestir
- Habilitación y armado del acero de refuerzo
- Colocación de la cimbra telescopica
- Elaboración del concreto en superficies y transporte al frente de trabajo
- Colocación del concreto en el espacio delimitado por la cimbra y las dovelas que forman el revestimiento primario
- Descimbrado y transporte de la cimbra a su nueva posición

8.2.4 Inyección entre Dovelas y Revestimiento

Esta inyección tiene como objetivo sellar probables oquedades menores que se hayan presentado al colocar el concreto correspondiente al revestimiento definitivo

El tratamiento se lleva a cabo en el interior y a lo largo de todo el túnel de acuerdo al siguiente procedimiento que corresponde a especificaciones particulares dadas :

a) Localización de barrenos primarios :

Primeramente se marcan los cadenamientos a cada 2.00 m a lo largo del túnel (tresbolillo) para distribuir los barrenos quedando de la siguiente manera : tres barrenos para la primera fase de inyección y un barreno para la segunda fase de la misma.

b) Barrenación :

Se ejecutan una serie de barrenos verticales de 2" de diámetro en todo el espesor del revestimiento definitivo (30 cm) en donde se inicia el tratamiento.

c) Elaboración de la mezcla :

Se elabora la lechada de acuerdo a especificaciones y se transporta al frente de inyección en un tanque móvil

d) Instalación de boquillas .

Se colocan en los barrenos perforados las boquillas de tubo de acero de 1" de diámetro y 30 cm de longitud con un extremo roscado e integrada una válvula macho. Esta boquilla es sujetada con cuñas de madera a presión y calafateada para evitar fugas de la mezcla a inyectar

e) Inyección de 1^a fase :

Se empieza la inyección en la primera fase, en el barreno del nivel mas bajo, utilizando los más altos como testigo, a una presión de 0.5 kg/cm², durante un lapso de 5 a 10 min.

f) Inyección de 2^a lechada :

Una vez realizada la inyección de la 1^a fase, se procede a inyectar la segunda, esperando un lapso de tiempo no menor de 48 horas, aplicando la misma presión y tiempo que la utilizada en la fase anterior.

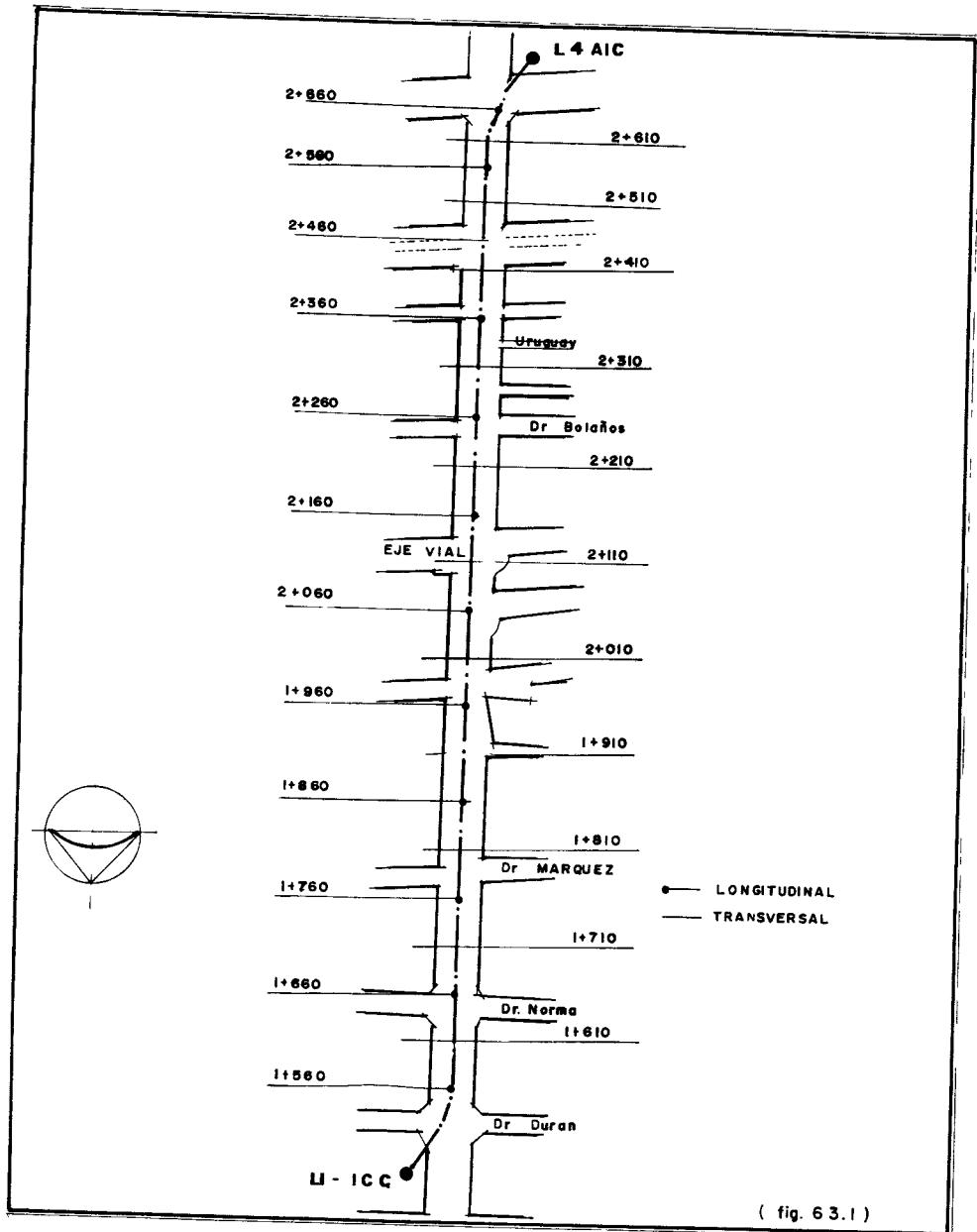
8.3 INSTRUMENTACION

8.3.1 Nivelaciones Superficiales

Para observar la influencia del método constructivo en los movimientos superficiales, es necesario instalar puntos de control a lo largo del trazo del túnel que permitan obtener información acerca del hundimiento o bufamiento que está ocurriendo antes, durante y después del paso del escudo.

En el caso del túnel tramo L4A IC-L1 ICC, se han instalado referencias de nivel superficial, que se colocan sobre un trazo perpendicular al eje del túnel a cada 100 m. (fig 6.3.1), con el objeto de tener un conjunto de secciones transversales que permitan definir claramente el comportamiento de la superficie bajo la cual se construye el túnel. Cada sección transversal abarca 15 m a cada lado del eje del trazo del túnel (debido a la restricción que representan las construcciones a uno y otro lado de la avenida) y consta de 7 bancos de nivel con una separación entre uno y otro de 5.00 metros.

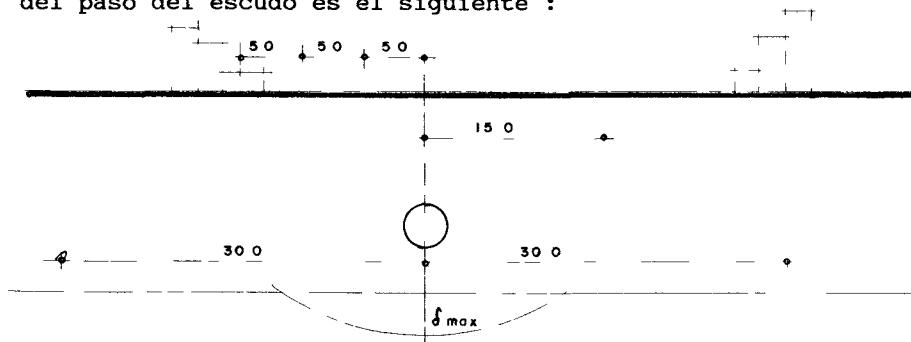
Las lecturas se efectúan con un nivel convencional de +/- 1mm de error. Las frecuencias con que se realizan estas lecturas dependen de la posición del escudo respecto al banco de nivel con el que se esté trabajando. Las lecturas se realizan diariamente si el escudo se encuentra a +/- 50 m de la sección y semanalmente o cada quince días si el escudo está a mas de 50 metros.



LOCALIZACION DE SECCIONES PARA NIVELACION Y CONVERGENCIA

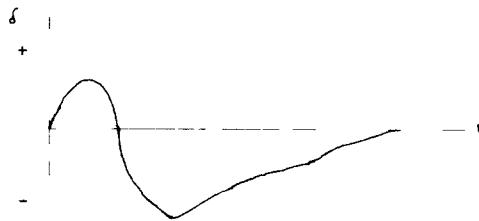
Las lecturas se suspenden cuando se observa que la sección se ha establecido, es decir, que después de una serie sucesiva de lecturas, la variación entre éstas sea cero o despreciable.

El comportamiento que se ha observado generalmente después del paso del escudo es el siguiente :



La secuencia de movimientos que se presentan en el túnel con el tiempo son : Un pequeño bufamiento inicial cuando el escudo se acerca a la sección, hundimiento acelerado después del paso del escudo y finalmente una recuperación al paso del tiempo.

La curva desplazamiento vertical (δ) - tiempo (t), que describe el comportamiento antes mencionado tiene la siguiente forma :



Para la construcción de los bancos de nivel (extremos y central) de cada sección, se realiza una perforación de 15 a 30 cms de profundidad, la cual se rellena con concreto simple de baja resistencia y se coloca una varilla de 1/2" de 50 cm de longitud, dejando un centímetro libre sobre la superficie del concreto.

Por las características del tránsito vehicular de la zona, no fue posible que todos los bancos de nivel se construyeran de la misma forma, por lo que, para los bancos de nivel localizados sobre la avenida fue necesario sustituir los bancos tradicionales por clavos colocados a presión con una pistola neumática.

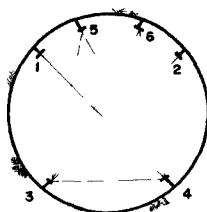
8.3.2 Secciones de Convergencia

Para evaluar las deformaciones que se presentan durante la excavación dentro del túnel, es necesario instalar lo que se conoce como secciones de convergencia.

Las secciones de convergencia dentro del túnel tienen la finalidad de permitir evaluar los movimientos que sufre el anillo de dovelas en el que está instalada, al quedar sujeto a las cargas que le produce el terreno.

Cuando un anillo cualquiera se encuentra dentro del faldón del escudo, éste lo protege de las cargas del terreno; es en este momento cuando se colocan los puntos de referencia que consisten

en pequeñas placas "T" fijadas mediante clavos al concreto. Se coloca una placa por cada dovela del anillo con la siguiente distribución :



Las secciones de convergencia se localizan a cada 50 metros a lo largo del túnel (fig 6.3.2.1).

Las mediciones se realizan durante el tiempo en que la sección tarde en estabilizarse y se utiliza para ello un longímetro con cinta invar y un instrumento de medición con una aproximación de +/- 0.01 mm, la tensión que se emplea para la cinta es siempre 20 kg, la facilidad que tienen los anillos de dovelas para adaptarse a las condiciones del terreno y de la carga se deben al tipo de conexión entre las dovelas (pernos de alta resistencia).

Piezómetros :

Para verificar la posición del nivel de aguas freáticas (NAF) y su variación con la construcción del túnel se instalaron a lo largo del eje del túnel 2 piezómetros abiertos.

Cabe mencionar que según las lecturas tomadas, el NAF se localiza en promedio a 2.5 m de profundidad, mientras que en las especificaciones se utilizó para el diseño una profundidad de 5.00 m.

CAPITULO IX

C O N C L U S I O N E S

C O N C L U S I O N E S

El empleo de un escudo excavador con frente presurizado de lodos ofrece las siguientes ventajas :

- a) Durante el proceso de excavación sólo es necesaria la presión en el frente proporcionada por el sistema de lodos y por el empuje de la cabeza cortadora, dado que el faldón del escudo proporciona el revestimiento temporal en las paredes laterales.
- b) El suelo por excavar, a excepción de la zona cercana a la lumbrera, no necesita de un tratamiento especial para mejorar sus características mecánicas.
- c) El ambiente y entorno de trabajo son más adecuados al no existir polvo, ruido y vibraciones excesivas. Permite además una ventilación adecuada y un aspecto notable de limpieza.
- d) Reduce notablemente el problema de las deformaciones excesivas y el riesgo de falla al frente.

Esto es, al existir un tiempo muy corto entre la salida de un anillo de dovelas del faldón del escudo y la inyección del mortero de contacto, no se permite que el frente fluya hacia la excavación reduciendo notablemente las deformaciones en la superficie

- e) El empleo de dos sistemas de control, la consola central y la cabina del operador, permiten una supervisión continua y oportuna al estar perfectamente definidas las actividades en cada uno, por un lado el control del sistema de lodos y por otro el control de la excavación; además con los dispositivos adicionales que permiten una comunicación entre ambos se logra una mayor seguridad.
- f) El manejo del material producto de la excavación es con mucho, más eficiente que en los métodos tradicionales, siempre y cuando el material que se excave pueda mezclarse en la cámara de lodos con los lodos de suministro para bombearse a la superficie.
- g) Con este método se logra uno de los ideales de las técnicas de túneleo en suelos blandos : el ademado y soporte del túnel en forma simultánea a la excavación.

Cómo desventajas del escudo cortador con frente presurizado de lodos pueden mencionarse :

- a) Por el manejo del material producto de la excavación mediante bombeo, no puede excavarse en terrenos con roca, al igual que en terrenos mejorados con inyecciones de cemento (alrededor de la lumbreña) dado la constante obstrucción de las tuberías.

- b) Para el buen funcionamiento del sistema en general, se requiere en superficie de un lugar amplio para ubicar la planta de tratamiento y los patios de almacenamiento, lo que en zonas densamente pobladas podría generar problemas de espacio.
- c) Para regiones en donde es importante la generación de empleo por los beneficios económicos que ésto representa, la automatización del sistema puede dar lugar a conflictos de carácter social.

De acuerdo a lo observado y aprendido en este trabajo podemos concluir que :

- Con este sistema pueden tenerse avances hasta de 20 m por día (dos turnos), con lo cual pueden hacerse programas de obra bastante agresivos
- En general el comportamiento del escudo ha sido satisfactorio, salvo en la excavación de tramos en curva en donde se han presentado pequeños problemas de control de linea; además de pequeños giros del escudo sobre su propio eje, los cuales se han corregido conforme al avance.

CAPITULO X

8

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

BIBLIOGARFIA

1.- JUAREZ BADILLO Y RICO DEL CASTILLO

MECANICA DE SUELOS TOMO II

MEXICO 1984, ED. LIMUSA

2.- SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS A. C.

TUNELES EN SUELOS BLANDOS Y FIRMES

MEXICO 1985

3.- SOLIS GARCIA S

EXCAVACION DEL TUNEL PARA EL DRENAJE PROFUNDO TRAMO

L 4A IC - L1 ICC

MEXICO 1987 (Trabajo no publicado)

4.- TAMEZ GONZALEZ E.

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y GEOTECNICAS DEL VALLE DE

MEXICO

MEXICO 1986, COVITUR

5.- VARIOS :

c

A) PRINCIPIOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE TUNELES

ING RAUL CUELLAR BORJA

ASESOR TECNICO C.F.E.

B I B L I O T E C A
Instituto Tecnológico de la Construcción

- B) PROCEDIMIENTOS DE EXCAVACION DE TUNELES EN SUELOS
BLANDOS CON EL USO DE ESCUDO DE FREnte ABIERTO Y AIRE
COMPRIMIDO
ING. MANUEL LOPEZ PORTILLO
SOLUM S.A.
- C) MECANICA DE ROCAS APLICADA A LA INGENIERIA
ING. GUILLERMO BOTAS ESPINOSA
CENTRO DE EDUCACION CONTINUA UNAM
DIRAC 1978
- D) TRATAMIENTOS DE AMCIZOS ROCOSOS
ING RAUL CUELLAR BORJA
AUXILIAR TECNICO C.F.E.
MEXICO 1981
- E) DESIGN OF UNDERGROUND OPENINGS IN COMPETENT ROCK
ING. LEONARD OBERT Y ROBERT H. MERRILL

6.- CONFERENCIA : ING. JUAN MANUEL MARTINEZ GARCIA

CONFERENCIA SOBRE EL SISTEMA DE DRENAGE PROFUNDO DE LA
CIUDAD

7.- VISITAS TECNICAS AL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO DE LA CIUDAD DE
MEXICO
D.G.C.O.H.

9.- SCHMITTER J.

TUNELES URBANOS

10.- RODRIGUEZ Y FRAUSTRO

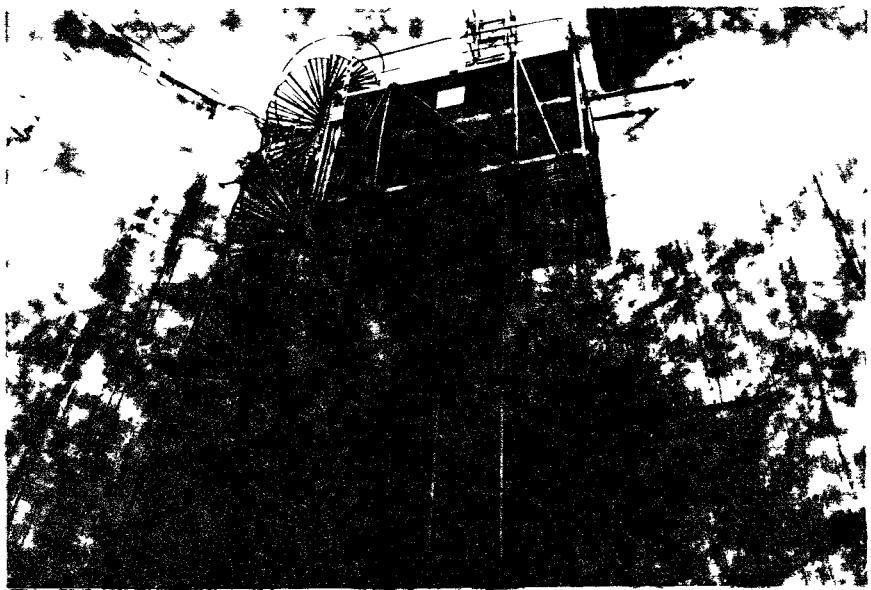
DISEÑO DEL TUNEL DEL TRAMO SAN JOAQUIN-POLANCO DE LA LINEA
7 DEL METRO DE LA CIUDAD DE MEXICO

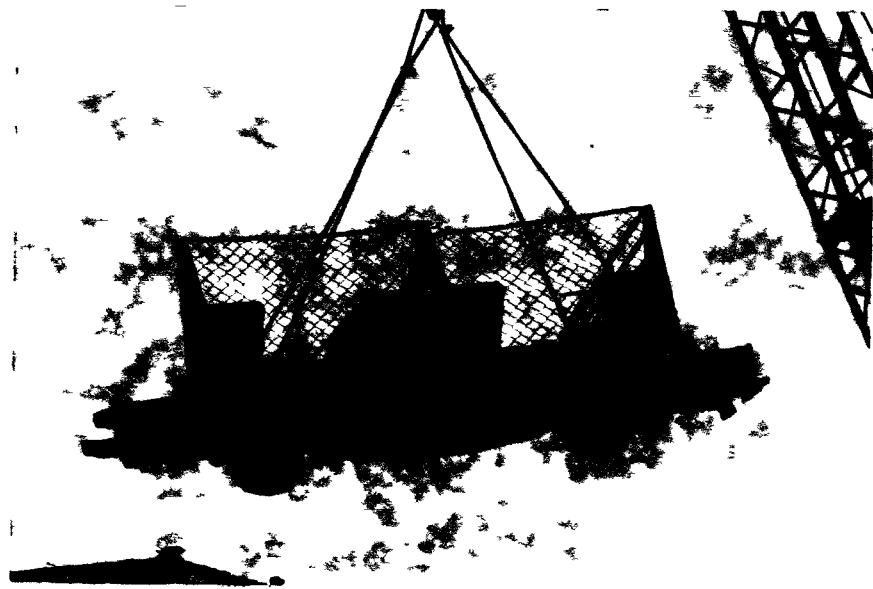
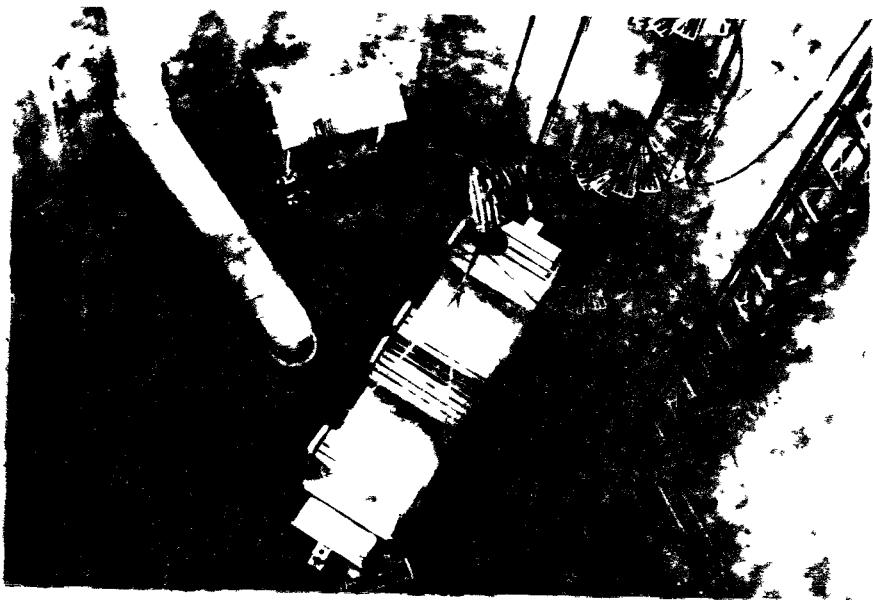
11.- ANAYA MORA E.

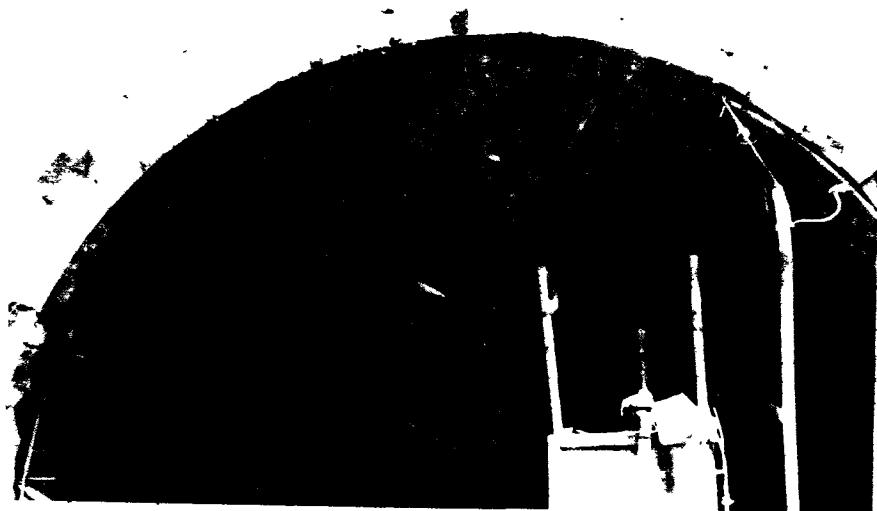
INSTRUMENTACION QUE SE UTILIZA EN LA EXCAVACION DE TUNELES

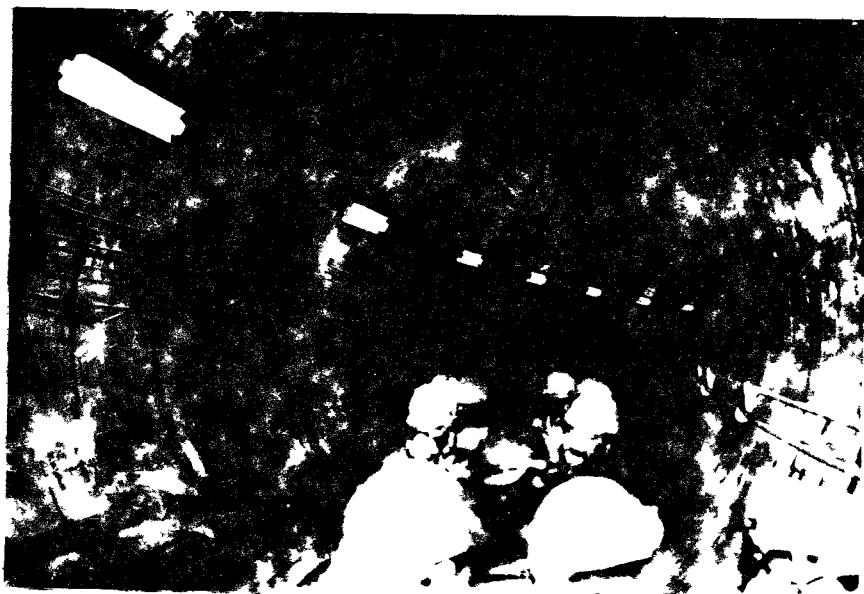
CAPITULO XI

A N E X O
F O T O G R A F I C O

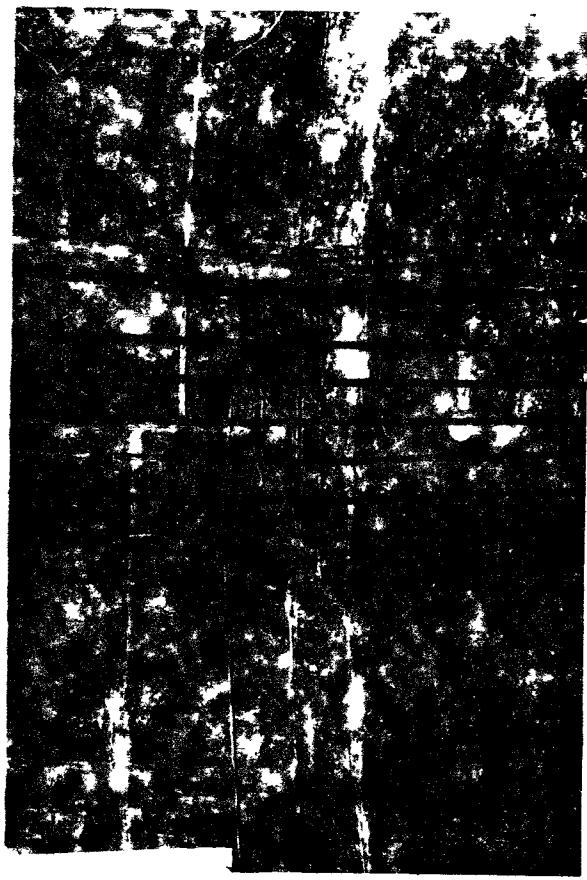


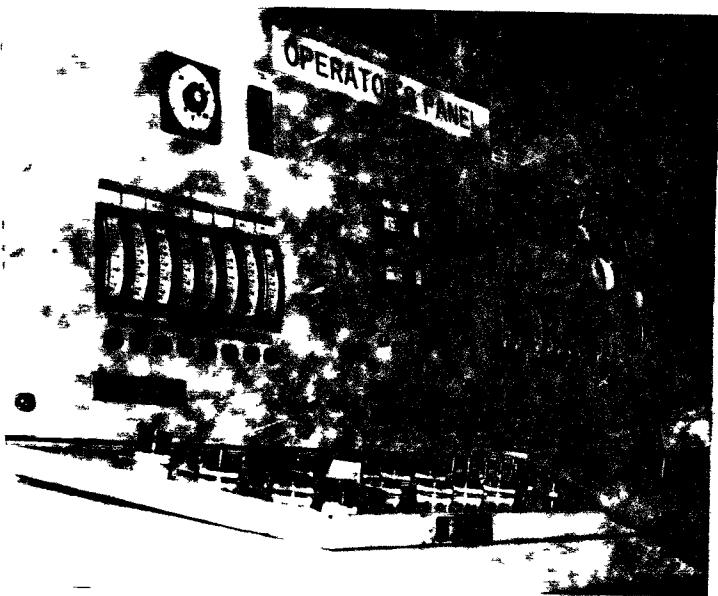












II

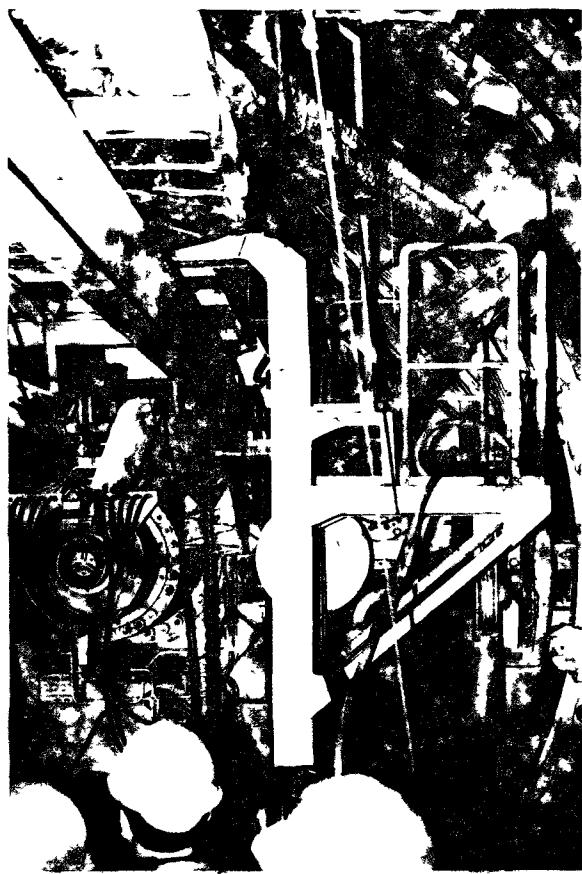


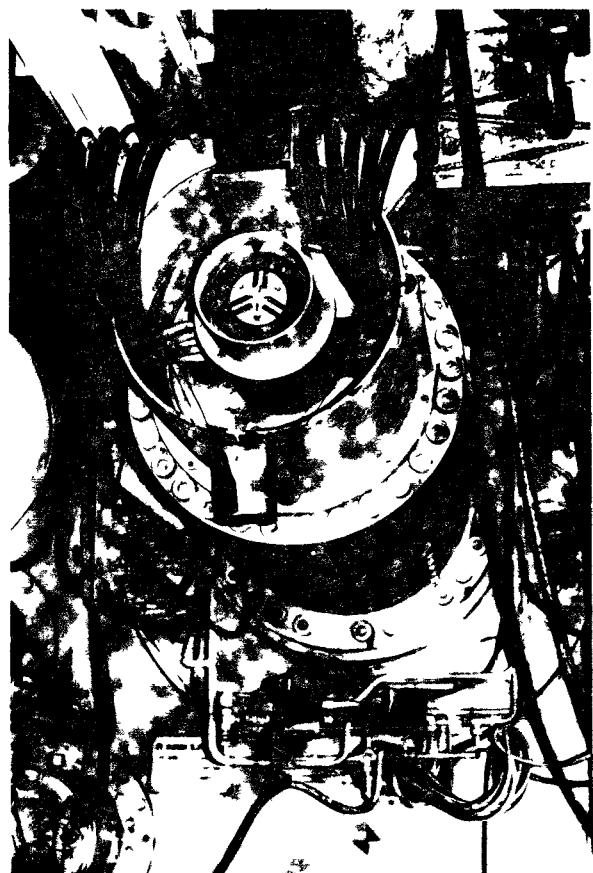






















BIBLIOTECA
Instituto Tecnológico de la Construcción

