



11
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales
"ACATLÁN"

"Construcción de Túneles para el Metro de la
Ciudad de México con el uso de un Escudo de
Frente Abierto de 9.513-M. de Diámetro Tramo
Aguiles Serdán - Camarones - Refinería"



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
ARMANDO FONSECA PEÑA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Santa Cruz Acatlán, Méx.

1992



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ESQUEMA

INTRODUCCION

I.- ANTECEDENTES

- 1.- DATOS HISTORICOS
- 2.- CLASIFICACION DE TUNELES
- 3.- ESCUDOS DE FRENTE ABIERTO UTILIZADOS EN MEXICO

II.- ESTUDIOS PREVIOS DEL TUNEL

- 1.- ASPECTOS GEOLOGICOS A CONSIDERAR EN LAS OBRAS SUBTERRANEAS.
- 2.- PROPIEDADES DEL SUBSUELO Y ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TUNEL.
- 3.- ESTRATIGRAFIA.

III.- INSTALACIONES NECESARIAS Y EQUIPO UTILIZADO

- 1.- EN SUPERFICIE
- 2.- EN TUNEL
- 3.- SELECCION DE EQUIPO
 - 3.1. ESTRUCTURA DEL ESCUDO
 - 3.2. EQUIPO DEL ESCUDO
 - 3.3. EQUIPO DE REZAGA
 - 3.3.1. DE CARGA
 - 3.3.2. DE ARRASTRE
 - 3.4. EQUIPO EXCAVADOR
 - 3.5. EQUIPO DE VACIADO
 - 3.6. EQUIPO DE MANTENIMIENTO
 - 3.7. EQUIPO DE VENTILACION

IV.- PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL

- 1.- CRITERIOS DE SELECCION DEL PROCESO CONSTRUCTIVO
- 2.- EXCAVACION DEL FRENTE
- 3.- ELIMINACION DEL MATERIAL PRODUCTO DE EXCAVACION
- 4.- EMPUJE DEL ESCUDO
- 5.- DATOS QUE TOMA EL PERSONAL DE TOPOGRAFIA PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO DEL ESCUDO.
- 6.- COLOCACION DE LAS DOVELAS QUE FORMAN UN ANILLO

- V.- INYECCIONES EN TUNEL Y SUPERFICIE
- 1.- INYECCION DE CONTACTO ENTRE DOVELA Y TERRENO
 - 2.- INYECCION A BASE DE TUBERIA DE MANGUITO CON PRODUCTOS QUIMICOS.
- VI.- REVESTIMIENTO DEFINITIVO
- VII.- CONTROL TOPOGRAFICO DURANTE EL PROCESO
- 1.- INTRODUCCION DEL EJE DE PROYECTO AL INTERIOR DEL TUNEL.
 - 2.- ALTIMETRIA (NIVELACIONES)
 - 2.1. LOCALIZACION DE BANCOS DE NIVEL DE TRABAJO EN SUPERFICIE.
 - 2.2. INTRODUCCION DE LA NIVELACION EN EL TUNEL.
 - 3.- GIRO Y PENDIENTE
 - 4.- CONTROL DEL ESCUDO POR MEDIO DEL RAYO LASER
 - 5.- ASENTAMIENTOS.
- VIII.- PROBLEMAS PRESENTADOS DURANTE LA CONSTRUCCION DEL TUNEL Y SOLUCIONES DADAS.
- 1.- TIPO DE MATERIAL NO IDENTIFICADO EN PROYECTO.
 - 2.- ESTRATOS ARENOSOS INESTABLES (CAIDOS).

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

I. - ANTECEDENTES

DATOS HISTORICOS

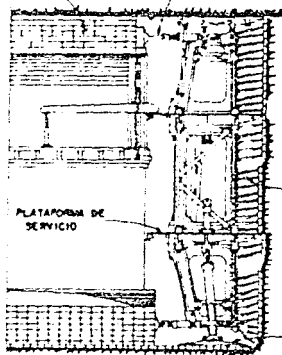
Muchos y variados han sido los problemas a que la ingeniería ha tenido que enfrentarse antes de lograr y desarrollar los actuales sistemas y procedimientos para la construcción de túneles, el reto siempre lo ha constituido ese afán de vencer lo desconocido mediante el ingenio basado en los conocimientos rudimentarios que sobre el caso se tenían, y más adelante, por la necesidad apremiante de construir más túneles en zonas y terrenos considerados problemáticos por las características poco confiables del suelo.

El excavar túneles en suelos blandos o poco estables con aportación de agua freática, llevó a la ingeniería a adentrarse en la resolución de este problema, encontrándose ante la alternativa de construirlos mediante tratamientos de inyección o consolidación en el frente, lo que resultaba antieconómico. Por lo lento o idear otro sistema que permitiera abatir ambos problemas.

Esta necesidad nos remonta al año de 1824, fecha en que el ingeniero francés MARC. ISAMBARD BRUNEL, ideó para ser utilizado en la construcción de un túnel bajo el río TAMESIS una estructura móvil de protección de sección rectangular, en cuya parte frontal presentara celdas de 1.0 mts. de ancho que se deslizaban sobre rodillos mediante gatos de tornillo aplicados contra el revestimiento del túnel, construido con tabiques, fig. (I.1).

REVESTIMIENTO DE TABIQUE

BATOS DE ENJUNJE
DE TORNELLO



PLATAFORMA DE
SERVICIO

CORTE LONGITUDINAL

TABLEROS DE
MADERA

BATOS DE
TORNELLO

ZAPATE DE
APOYO



VISTA FACIAL DESDE
SU INTERIOR

ESCUDO USADO BAJO EL TAMESIS

FIG. I.1.

El mayor avance registrado mediante este procedimiento alcanzó los 4.3 mts. por semana, lo que obviamente lo hacía incosteable, exponiendo así mismo los problemas y dificultades a que el personal tuvo que enfrentarse. Este túnel fué terminado en 1842 después de 18 años de arduo trabajo. Los problemas afrontados por el francés BRUNEL, así como la lentitud con que fueron ejecutados estos trabajos desalentó el desarrollo de nuevos técnicos, siendo hasta el año de 1869, en que el inglés HENRY GREATHER, utilizando el primer escudo de sección circular, de una sola pieza, construyó un segundo túnel bajo el río TAMESIS de 2.0 mts. de diámetro. El cual avanzaba uniformemente con la ayuda de gatos de tornillo, apoyados en el revestimiento primario formado por anillos de charolas de fierro unidas con soldadura.

Más adelante GREATHER utilizó por vez primera gatos hidráulicos para el avance del escudo.

Es conveniente hacer hincapie en que las primeras incursiones de túneles con escudos de frente abierto se realizaron a poca profundidad y en terrenos relativamente consistentes o de cierta cohesión. Actualmente todos los conceptos originales de los escudos prototipos se mantienen habiéndose perfeccionado solamente; la coraza protectora con soluciones al soporte frontal. El sistema de ademe metálico o de concreto evitando el desconfinamiento alrededor del túnel y los consecuentes asentamientos superficiales, o por lo menos,

a que mantenga a estos en límites aceptables.

A partir del año de 1876, se enfatizó en mecanizar la excavación y el manejo de la rezaga a fin de obtener un mejor rendimiento, sin embargo, fué hasta 1896 cuando operó el primer escudo mecanizado de frente abierto, fabricado por J. PRICE encargado de construir un tramo de la línea central del metro en Londres. Dicho escudo presentó muchos problemas con el alineamiento y el giro debido a que la cabeza cortadora y el cuerpo del escudo eran independientes.

El inmenso número de túneles existentes en todo el mundo desde los más antiguos construidos en la edad de piedra hasta los más modernos, algunos de ellos aún en proceso de excavación, hace que la tarea de enlistarlos y describirlos sea abrumadora y a todas luces imposible, aun circunscribiéndose a los más notables, es por ello que únicamente se presentarán unos cuantos casos, con la idea de mostrar el enorme campo que estas estructuras han cubierto y cubren dentro de la actividad humana.

Probablemente el túnel más antiguo, construido con el propósito de comunicar y del cual se tienen noticias, es el túnel construido bajo el reinado de SEMIRAMIS, para pasar bajo el río EUFRATES en la antigua BABILONIA, dos mil años antes de cristo, su longitud era de 1.0 km. con una medida vertical de 4.5 mts. y una medida horizontal de 3.5 mts. El río fué desviado durante el periodo de construcción y el

túnel alojado en una excavación a cielo abierto. Cuenta con muros de mampostería de ladrillo y arco en la clave, aglutinados con un mortero asfáltico que le proporcionaba impermeabilidad, la grandeza de esta magna obra de ingeniería destaca al recordar que el siguiente túnel subacuático no fue construido si no hasta 1843, bajo el RIO TAMESIS en Londres.

I.2.- CLASIFICACION DE TUNELES

Los túneles, entendidos como pasos subterráneos, pueden clasificarse y agruparse de muy diversas formas, según el propósito que se le persiga.

De acuerdo con su uso pueden clasificarse en:

- Túneles para el tráfico de personas a pie o en vehículo.
- Para el transporte de bienes y mercancías.
- Para la conducción de agua potable o su eliminación;
- Para la extracción de minerales.
- Para usos militares.

De esta manera los túneles pueden agruparse en las siguientes categorías.

TUNELES DE TRANSITO

Túneles ferroviarios

Túneles carreteros

Túneles peatonales

Túneles para la navegación

Túneles para el metro

TUNELES DE CONDUCCION

Túneles hidroeléctricos

Túneles de conducción de agua potable.

Túneles para instalaciones públicas (Telmex., conducción eléctrica, conducción de gas combustible, etc...)

Túneles de drenaje

Túneles para bandas transportadoras.

Adicionalmente, otros criterios importantes que sirven de base para la clasificación de túneles pueden ser:

SU POSICION

Túneles en montaña.

Túneles en ladera.

Túneles verticales o de lumbreras.

Túneles inclinados.

SU UBICACION

Túneles subacuáticos

Túneles urbanos.

SU GEOMETRIA

Túneles rectos o curvos.

Túneles en espiral.

Túneles largos o cortos.

Túneles pequeños, de gran diámetro o galería.

SU MODO DE EXCAVACION

Túneles falsos (excavaciones y rellenos)

Túneles propiamente nichos. (excavaciones a través del

propio túnel).

Desde el punto de vista de los problemas geomecánicos que plantean las excavaciones subterráneas pueden agruparse en cuatro categorías principales.

1.- Túneles y Excavaciones mineras, generalmente en rocas antiguas a gran profundidad; por lo menos parte de las excavaciones son de carácter, provisional o temporal.

2.- Túneles para Transporte o Conducción. Aunque algunos pueden ser muy profundos, generalmente son someros y se excavan en formaciones recientes, de rocas blandas o alteradas e incluso de suelos.

3.- Túneles y Galerías de uso militar. Difieren de la categoría anterior en que su profundidad se define en función de la protección que deben proporcionar y en que pueden ser de grandes dimensiones, como en el caso de refugios antiaéreos e incluso fábricas subterráneas.

4.- Túneles para el aprovechamiento del espacio subterráneo en las grandes ciudades, con el fin de alojar instalaciones, conductos, almacenar mercancía y vehículos, casas de máquinas (turbinas), etc...

Además de los problemas de la vecindad con otras estructuras desde un punto de vista geotécnico, es usual que los túneles se agrupen en tres grandes categorías, los túneles en roca sana, que no se requiere soporte temporal aunque se revisitan por razones funcionales, los túneles en roca suave, que requieren de sistemas de soporte sustanciales para

garantizar, su permanencia por un periodo igual o mayor a su vida útil y finalmente, los túneles en suelos duros o blandos, cuya excavación requiere de complicados sistemas que provean soporte inmediato.

Como puede apreciarse, las posibilidades de clasificación de túneles, son muy amplias, lo que indica que, en general, cada túnel, ha de ser considerado, estudiado, diseñado, construido y operado de una manera particular, constituyendo en sí una obra particular y en muchos aspectos única, por lo que no se repite nunca esta característica muy particular de los túneles, probablemente es lo que proporciona ese halo de novedad e interés que los hace tan atractivos para los profesionales de diversas especialidades que a ellos se dedican.

I.2.1.- CLASIFICACION EMPIRICAS DEL TUNELERO

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

Sin pretender 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. Si 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 concentrarlos en la vecindad de la nueva superficie libre.

El material que antes ocupaba el hueco, tenía la responsabilidad de recibir y transmitir cargas inherentes a la propia masa del material, sin embargo al desaparecer (por excavación) tiene que trasladar sus responsabilidades al

material vecino, originándose así la mencionada redistribución de esfuerzos.

Ahora bien, si los materiales vecinos al hueco tienen suficiente resistencia para soportar su nueva responsabilidad de carga, puede esperarse que el hueco permanezca abierto sin problema de estabilidad, por el contrario, si el material no soporta sus nuevas responsabilidades, el hueco tenderá a cerrarse, a menos que se coloquen elementos estructurales en contacto con la masa, que al interactuar 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 del hueco, el proceso constructivo, la rigidez de su ademe, el tiempo que permanece sin soporte etc., todo ello modifica la forma de la concentración de esfuerzos antes mencionada.

1.2.2.- CLASIFICACION DE LAUFFER

O TIEMPO LIBRE DE SOPORTE.

Además de la clasificación empírica del comportamiento exhibido por los suelos al ser tuneados, 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 siete 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 MINUTOS
F	SUELO DE EMPUJE INMEDIATO	0.40 M	2 MINUTOS
G	SUELO DE EMPUJE INSTANTANEO	0.15 M	10 SEGUNDOS

1.2.3.-PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS Y LA CLASIFICACION DEL TUNELERO.

Con el fin de establecer una primer idea entre el comportamiento de los materiales al ser excavados en túnel y su probable procedimiento constructivo. por lo tanto se han preparado cuatro tablas en cuya confección se han tomado las experiencias de muchos tuneleros para identificar las relaciones entre "clasificaciones" y procedimientos constructivos, se ha dividido la información en cuatro conceptos fig. (I.2,I.3,I.4,I.5).

En cada concepto así marcado, se han puesto 10 columnas correspondientes a cada una de las categorías establecidas por la clasificación del tunelero y entre 6 y 10 renglones indicando el posible procedimiento constructivo a una o varias categorías. Se incluye además la clasificación Lauffer, se indica además en cada figura, 3 posibilidades de aplicar el procedimiento constructivo, particular de cada renglón según sea recomendable, poco recomendable, moderadamente recomendable, por otro lado se han enlistado los más notables procedimientos constructivos del momento sin aceptar que sean los únicos ya que el futuro avanza continuamente dando paso a nuevas tecnologías.

En lo relativo a estabilización de las paredes se han insinuado con un asterisco, que procedimientos requieren por lo general además el uso de un escudo.

ESTABILIZACION DE LAS PAREDES	CLASIFICACION SEGUN LAUFFER									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	CLASIFICACION DEL TUNELERO									
	DURO 1	FIBRE 2	GRANOS LENTO 3	GRANOS RAPIDO 4	EXTRUSION LENTA 5	EXTRUSION RAPIDA 6	COMPAÑIA CONCRETA 7	COMPAÑIA MADERA 8	EXTRUSION MADERA 9	PLASTICO 10
POR RESISTENCIA INTRINSECA DEL MATERIAL	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE								
ANCLAS	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE							
CONCRETO LANZADO		RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE						
CONCRETO LANZADO Y ANCLAS		RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE						
MARCOS METALICOS Y RETAQUE DE MADERA		RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE						
ANILLOS METALICOS Y RETAQUE DE MADERA *			MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	
DOVELAS DE CONCRETO *			MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE
DOVELAS DE PLACAS DE ACERO *			MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	MODERACAMENTE RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE
DOVELAS DE FIERRO FUNDIDO *									MODERACAMENTE RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE

* REQUIEREN EL USO DE ESCUDO



RECOMENDABLE




MODERACAMENTE RECOMENDABLE




POCO RECOMENDABLE

FIG. I. 2

REVESTIMIENTO DEFINITIVO	CLASIFICACION SEGUN LAUFFER										
	A	B	C	D	E	E	F	F	G	F	G
	CLASIFICACION DEL TUNELERO										
	JUNO 1	FIENE 2	GRANCO LETO 3	GRANCO RAPIDO 4	ESTRUSION LETA 5	CONALIVE 6	CONALIVE CONESHA 7	CONFEN 8	ESTRUSION RAPIDA 9	ALUENTE 10	
DEJANDO EL MATERIAL NATURAL	RECOMENDABLE										
CON ANCLAS		RECOMENDABLE									
CON CONCRETO LANZADO			RECOMENDABLE								
CON ANCLAS Y CONCRETO LANZADO				RECOMENDABLE							
CON DOVELAS DE CONCRETO					MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	
CON CONCRETO COLADO CON CAMERA					RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	

 RECOMENDABLE

 MODERADAMENTE RECOMENDABLE


 POCO RECOMENDABLE

FIG. I. 3

EXCAVACION	CLASIFICACION SEGUN LAUFFER											
	A		B		C		D		E		F	
	CLASIFICACION DEL TUNELERO											
	BRDO 1	FIBRE 2	GRANOS LENTO 3	GRANOS RAPIDO 4	ESTRUCO LENTA 5	EXPANSIVO 6	COMPACTO CON SANG. 7	COMPACTO 8	ESTRUCO RAPIDA 9	ALMENTE 10		
EXPLOSIVOS	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE									
HERRAMIENTA MANUAL MECANICA			RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE						
CHIFLONES DE AGUA							RECOMENDABLE	RECOMENDABLE				
REJILLAS FRONTALES					RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE					
GILLOTINAS									RECOMENDABLE	RECOMENDABLE		
TOPO	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE									
FRESADORA			RECOMENDABLE	RECOMENDABLE								
BRAZO EXCAVADOR			RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE						
ESTRELLA CORTADORA			RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE						
DISCO CORTADOR						RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE		




 RECOMENDABLE
  MODERADAMENTE RECOMENDABLE
  POCO RECOMENDABLE

FIG. I. 4

ESTABILIZACION FRONTAL	CLASIFICACION SEGUN LAUFFER										
	A	B	C	D	E	E	E	F	G	F	G
	CLASIFICACION DEL TUNELERO										
	EXPLO. 1	FRIO 2	GRANDE LENTO 3	GRANDE RAPIDO 4	EXPLOSION LENTA 5	EXPLOSION 6	COMPRESION CON LAVA 7	EXPLOSION 8	EXPLOSION RAPIDA 9	ALUMINATO 10	
POR RESISTENCIA INTRINSECA DEL MATERIAL	RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	
CON AYUDA DE ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	
CON AYUDA DE INYECCION EN EL TERRENO	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	
CON AYUDA DE CONGELACION	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	RECOMENDABLE	
CON NAVAJAS PERIMETRALES, EN CLAY	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	
CON GATOS FRONTALES	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	
CON AIRE COMPRIMIDO	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	
CON LODO A PRESION	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	
PRESIONANDO AL MATERIAL EXCAVADO	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE	



RECOMENDABLE



MODERADAMENTE RECOMENDABLE



POCO RECOMENDABLE

FIG. I 5

1.3.- ESCUDOS DE FRENTE ABIERTO UTILIZADOS EN MEXICO.

Los escudos de frente abierto tienen como característica principal el proveer un sistema de soporte mecánico parcial del frente de excavación, dejando la posibilidad de observar el comportamiento del subsuelo en el frente, durante las actividades normales del ciclo de excavación.

Al ser la primera versión de los escudos se han desarrollado notablemente, quizá dicho desarrollo haya sido originado en gran parte por las limitaciones tecnológicas de la época que obligaron inicialmente al empleo de escudos simples en cuanto a su construcción y manejo. Además su gran versatilidad para utilizarse en proyectos de túneles en suelos en combinación con otros procedimientos para garantizar la estabilidad del subsuelo atravesado, tales como:

INYECCIONES

CONGELAMIENTO

AIRE COMPRIMIDO

BOMBEO

Además de estar provistos de un sistema de soporte para ademar el frente de excavación, su versatilidad permite fácilmente la adaptación de otros aditamentos, así como efectuar cambios y mejoras para la solución de un problema

especifico.

Por la causa anterior existe una gran variedad en tipos y tamaños que satisfacen a un sin número de proyectos fig.(I.6, e I.7).

C A M P O D E A P L I C A C I O N

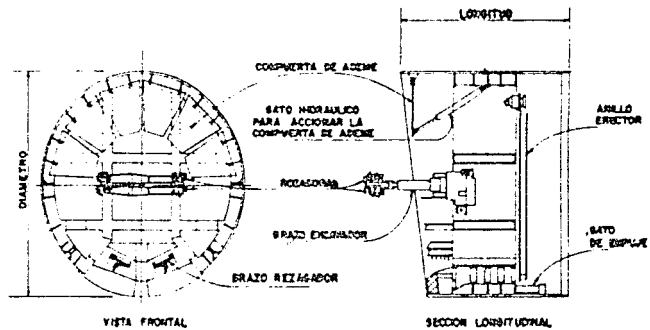
El rango de empleo de estos escudos termina con los suelos blandos o difíciles en los cuales ya no es posible controlar en forma eficiente y económica las precarias condiciones del subsuelo mediante el empleo del sistema de soporte frontal del escudo, considerando además el uso de métodos auxiliares para el mejoramiento del subsuelo.

Por otro lado pueden emplearse en suelos compactos con presencia de boleos e inclusive hasta mantos rocosos (frente mixto con roca en la parte inferior) en cuyo caso se combinan con el uso de explosivos.

Los escudos de frente abierto, al igual que el resto de los escudos son diseñados para proyectos específicos, tomando en cuenta un estudio cuidadoso de las propiedades del subsuelo en el que está construido el túnel y toda la información relativa a las características del proyecto, con objeto de evitar una desagradable sorpresa que haga fracasar su uso en dicho proyecto.

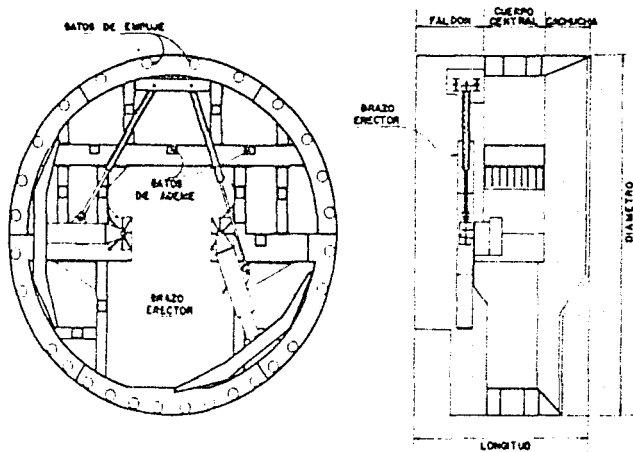
TIPOS DE ESCUDO DE FRENTE ABIERTO

Básicamente estos escudos pueden dividirse en tres grandes grupos, atendiendo únicamente a la mecanización lograda en:



ESCUDO DE FRENTE ABIERTO MECANIZADO

FIG. I. 6.



ESCUDO MANUAL DE FRENTE ABIERTO

FIG. I. 7.

MANUALES
SEMI-MECANICOS
MECANIZADOS

Escudos Manuales: Son aquellos que no cuentan con herramientas para ataque del frente, estando provistos fundamentalmente de los gatos de empuje, soporte frontal y colocación de revestimiento. Actualmente su uso es reducido y tiende a disminuir considerando las limitaciones en cuanto a eficiencia que pueden existir en dicho procedimiento, sin embargo los escudos manuales constituyen el soporte de un procedimiento constructivo seguro y sumamente versátil dentro de su campo de aplicación.

Escudos Semimecanizados: Son prácticamente una ligera variante de los manuales, cuentan con herramienta para ataque parcial del frente, con objeto de lograr una mayor eficiencia, sin embargo adolecen problemas similares a los escudos manuales debido a que siempre será mejor con un sistema de excavación total del frente. Generalmente el mecanismo adecuado para la excavación se compone por medio de un brazo retroexcavador o equipo similar, por las limitaciones naturales de espacio. Al incrementarse la eficiencia en la excavación del frente estos escudos son equipados con la maquinaria para la extracción rápida del material excavado así como para el manejo del revestimiento en forma eficiente.

Escudos Mecanizados: Tienen la particularidad de contar con herramienta para el ataque total del frente dicha herramienta puede tener formas muy variadas, en la actualidad las principales son: Cabeza cortadora giratoria, Brazo retroexcavador deslizante y Brazo rozador.

Dependiendo del tipo de herramienta de ataque, los escudos mecanizados pueden destinarse a trabajos en suelos cuyas condiciones estratigráficas sean las más adecuadas, generalmente la cabeza cortadora giratoria es la herramienta adecuada para la excavación en suelos blandos o difíciles debido a que pueden proveer un soporte mayor del área del frente, sin embargo en suelos con presencia de boleos pueden presentarse problemas.

El resto de las herramientas anteriormente mencionadas tienen mayor aplicación en suelos con pocos problemas de estabilidad y es deseable que el frente del escudo este libre de los obstáculos que podría representar un ademe frontal muy denso, con objeto de facilitar el ataque al frente.

Como resultado de la mecanización total del ataque del frente estos escudos cuentan con todos los equipos necesarios para mecanizar totalmente las actividades restantes del ciclo de excavación hasta la extracción del material excavado. Para lograr el manejo eficiente del material excavado estos escudos arrastran una estructura conocida como tren de equipo la cual consta de una plataforma en la que se alojan los diferentes equipos auxiliares para la correcta operación del

escudo (Hidráulico y Eléctrico), así como el sistema de transportadores que descargan el material excavado a las unidades del sistema de transporte y las que se encargan de retirarlo a las lumbreras o a los portales de salida.

Como puede mencionarse, estos escudos son de alta eficiencia si el sistema de excavación es compatible con el subsuelo excavado. En los últimos años la mecanización de los escudos está ocasionando cambios y empiezan a ser conocidos con términos tales como; Máquinas perforadoras de túneles o escudo perforador de túneles.

Los diámetros más usuales de los escudos ya sean estos de frente abierto o cerrado, no siguen un patrón preestablecido ya que en la mayoría de las ocasiones (por lo menos en México) no se cuenta con una gran variedad en cuanto a diámetros, de los escudos con que cuentan las diferentes empresas, dedicadas a este tipo de trabajo.

Algunos de los diámetros de los escudos de frente abierto que se han utilizados en México son: (ver fig. I.8.1 e I.8.2).

DIAM.	LONG	TIPO	RELACION	REVEST. UTILIZADO
M	M		L/DIAM	
13.0	4.0	FRENTE ABIERTO	1.33	DOVELAS METALICAS
14.0	4.0	FRENTE ABIERTO	1.00	DOV. MET. O CONCR.
16.24	6.34	FRENTE ABIERTO	1.02	DOVELAS CONCRETO
19.15	4.70	FRENTE ABIERTO	0.51	DOVELAS CONCRETO
19.51	7.60	FRENTE ABIERTO	0.80	DOVELAS CONCRETO
		(**)		

** DE RECIENTE ADQUISICION POR " COVITUR "

FIG. I.8.1

EXPERIENCIA NACIONAL CON ESCUDOS

TUNEL	AÑO	DEPEN- DENCIA	DIAM	PROF. A EJE	LONA	TIPO DE ESCUDO	SUELO
EMISOR- PRINC.	61-62	DGCOH	4.15	10	2050	ABIERTO C/REJI.	ARCILLA BLANDA
PROLONG. G. CANAL	62	DGCOH	4.15	9	2040	ABIERTO C/REJI.	ARCILLA BLANDA
COLECTOR NUM. 5	63-64	DGCOH	3.15	13	1820	ABIERTO C/REJI.	ARCILLA BLANDA
COLECTOR 5 DE MAYO	68-69	DGCOH	3.15	13	2482	ABIERTO C/REJI.	ARCILLA BLANDA
SIFONES Y CAPTA- CIONES	67-74	DGCOH	3.04	13	1201	ABIERTO C/EXCA- VADOR	ARCILLA BLANDA
METRO TUNEL TACUBAYA	70-71	STC	9.15	12	1139	ABIERTO C/JUMBO	LIMO- ARENOSO
INTERCEP- TOR DE ORIENTE	72-73	DGCOH	6.24	27	1823	ABIERTO C/JUMBO	ARCILLO- LIMO- ARENOSO
INTERCEP- TOR CENTRAL	71-74	DGCOH	6.24	29	7885	ABIERTO C/JUMBO	ARCILLO- LIMO- ARENOSO
INTERCEP- TOR CENTRAL	73-83	DGCOH	6.24	29	5570	ABIERTO C/AIRE COMPRIMI	ARCILLA BLANDA
METRO DESVIDOS	77-78	COVITUR	3.15	11	897	ABIERTO	ARCILLA BLANDA
METRO PCC	82	COVITUR	4.15	9	1000	ABIERTO	ARCILLA BLANDA
METRO	82-84	COVITUR	9.15	13.5	1665	ABIERTO	ARCILLA LIMO-ARE NOSO
METRO	84-88	COVITUR	9.52	20	4080	ABIERTO C/EXCAVA DOR	ARCILLA LIMO-ARE NOSA

FIG. I. B. 2

II.-ESTUDIOS PREVIOS DEL TUNEL

II.1.- ASPECTOS GEOLOGICOS A CONSIDERAR EN LAS OBRAS SUBTERRANEAS

En este capítulo se mencionan los aspectos geológicos más importantes que se deben considerar para la localización, diseño y construcción de una obra subterránea.

En primer lugar se presenta un listado con los datos geológicos requeridos para el estudio geotécnico completo de una obra subterránea de acuerdo con el manual de diseño de obras civiles de la C.F.E., sección Geotécnica, B1 (1979) en el cual se proporciona una lista completa de los datos a obtener de acuerdo con la etapa de exploración del sitio.

DATOS GEOLOGICOS

1.- LITOLOGIA

1.1.- Suelos

Espesor en metros

Extensión

Clasificación

Composición

Textura

Estructura

Porosidad

Permeabilidad

1.2.- Rocas

Profundidad roca sana

Clasificación

Textura

Estructura

Porosidad

Permeabilidad

Recuperación

Indice de calidad de la roca (RQD)

2.- DISCONTINUIDADES

2.1.- Fallas y juntas

Presencia

Tipo

Frecuencia

Rumbo y echado

Características

- amplitud

- relleno

- paredes

2.2.- Pliegues

Presencia

Intensidad

Tipo

Rumbo

2.3.- Discordancias

Tipo

Magnitud

2.4.- Cambio de facies

3.- ESTRATIGRAFIA

Formaciones

Espesores

Distribución

Posición en la secuencia entre diferentes unidades

Ambientes a depósito

4.- GEOMORFOLOGIA

Génesis de las formas de relieve

Evolución de las formas del relieve

Interrelación de las formas del relieve con otros accid.

Topografía

Corsticidad

5.- HIDROLOGIA

5.1.- Flujo de agua superficial

5.2.- Acuíferos

Niveles piezométricos

Artesianismo y materiales

Composición del agua

Temperatura del agua

Flujo de agua subterránea

6.- GEODINAMICA EXTERNA

Erosión e intemperismo

Transporte

Acumulación

Movimiento en masa del terreno

- Soliflujión
- Creep (flujo plástico)
- Deslizamiento
- Avalanchas
- Perturbaciones ciclónicas

7.- GEODINAMICA INTERNA

Vulcanismo

Sismicidad y focos sísmicos

Esfuerzos técnicos

Terreno expansivo

Terreno explosivo

Presencia de gases o vapores y gradientes geotérmicos

8.- MATERIALES DE CONSTRUCCION

Agregados

Enrocamientos

Suelos finos

Calidad de los materiales

Volumen de los materiales

9.- Modificación del medio natural debido a la acción del hombre.

II.2.- PROPIEDADES DEL SUBSUELO Y ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TUNEL DEL METRO.

Para conocer con más detalle las características del subsuelo y sus propiedades mecánicas, se llevaron a cabo una serie de

sondeos ejecutados sobre el trazo del eje de proyecto del túnel a las profundidades y cadenamiento a continuación.

Estas propiedades índice y mecánicas del subsuelo se obtienen de 3 etapas de estudios de exploración; Preliminar, investigación de proyecto y por los problemas durante la construcción.

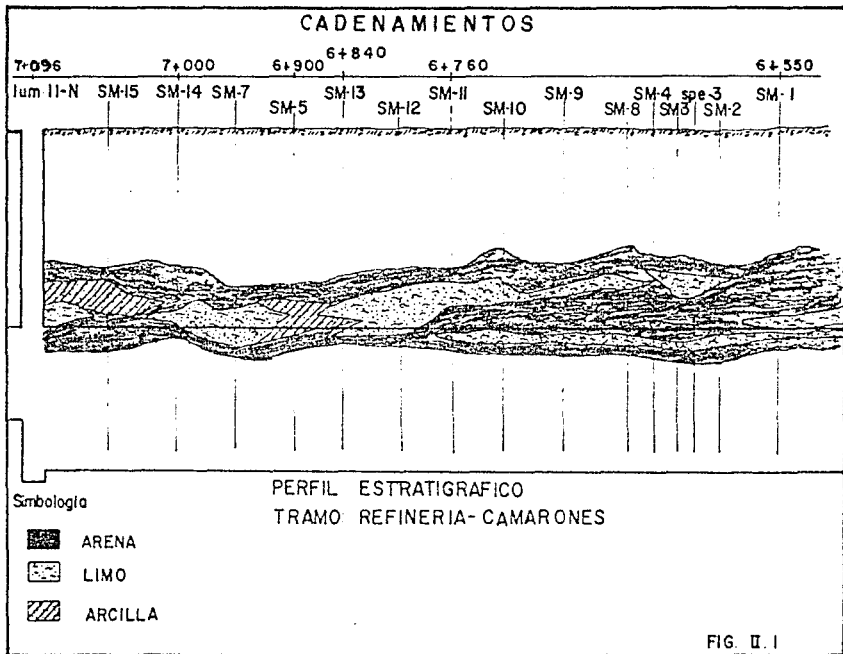
En la sección de excavación del túnel se encontraron constituyentes de suelo de tipo arenoso y limo-arenoso en diferentes proporciones dentro de un rango semejante.

(ver fig.II.1)

Analizando en primera instancia el tramo comprendido entre el cadenamiento 6+550 al 6+760 en donde se localizan los sondeos del SM-1 al SM-11. Se observa el predominio de arenas, estableciendo entonces 3 estratos de espesores diferentes en la media sección del túnel (superior), así como una 4a. capa en donde se aloja la sección media inferior del túnel y de los cuales se determinan las siguientes propiedades.

num.estrato	1o	2o	3o	4o
espesor (m)	1.0-2.0	1.0-2.5	1.0-1.5	1/2sec.inf
W%	15-16	20-61	15-98	10-40
G%	1-15	---	3-7	2-17
S%	---	11-51	17-77	71-74
F%	35-77	49-89	16-83	9-35
C%	10-35	9	-----	6
O°	38-41	37	-----	38

El 2do. tramo comprendido entre el cadenamiento 6 + 760 al 6 + 840 del sondeo sm-13, también se observa el predominio de arenas estableciendo 2 estratos en 1/3 de la sección del



túnel y otro estrato en 2/3 inferiores de la sección del túnel.

ESTRATO	1o	2o	3o
espesor (m)	0.0-0.75	1.75-3.5	4.0-6.0
W %	50-55	30-55	28-60
G %	-----	0-1	1-2
S %	34-83	82-83	55-83
F %	17-66	17	11-63
C ton/m2	-----	-----	-----
D °	-----	-----	-----

El tercer tramo entre los cadenamientos 6 + 840 al 6 + 900 del sm-13 al sm-5.

ESTRATO	1o	2o
espesor (m)	2.0-3.0	6.0-9.0
W %	45-55	12-45
G %	-----	1-32
S %	54-83	3-89
F %	17-46	11-58
C ton/m2	2.5	-----
D °	46	-----

El cuarto tramo entre los cadenamientos 6 + 900 al 7 + 000 del sm-5 al sm-14, se encontraron 3 capas.

ESTRATO	1o	2o	3o
espesor (m)	2.50	1.0	6.0-7.0
W %	20-35	15-25	5-40
G %	1-2	1-3	11-73
S %	19-67	26-77	19-93
F %	33-81	10-74	7-61
C ton/m2	3.0	12.0	8.0-19.0
D °	34	38	30.36

El Sto tramo entre los cadenamientos 7 + 000 al 7 + 900 donde el túnel comunica con Lumbreira 11-N del cadenamiento 7 + 096 (comprende el sondeo SM-15).

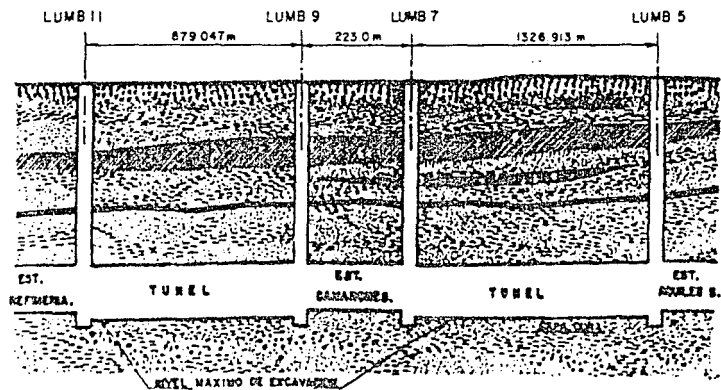
ESTRATO	1o	2o
espesor (m)	2.50	7.0
W %	22-32	15-30
G %	2-6	2-59
S %	47-51	30-93
F %	41-47	10-47
C ton/m2	40	14-50
O °	27.3	40

II.3.- ESTRATIGRAFIA

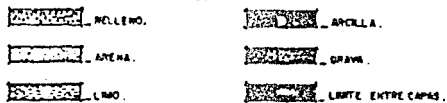
El trazo del túnel quedará alojado dentro de la zona denominada de transición según la terminología usada por Marshal y Mazari, y formada por materiales Limo-Arenosos y Areno-Limosos de consistencia medianamente compacta e interestratificada. De acuerdo a los estudios realizados, el perfil estratigráfico puede resumirse de la siguiente manera. (ver fig. II.2)

DE 0.0 mts. a 7.0 mts. Depósitos aluvio lacustres.

Formados por suelos arcillosos limosos o arenosos que clasifican como CL, MH, ML, SC, de consistencia firme dado que su número de golpes en penetración estandar es de 14. Su contenido natural de agua es en promedio 53%, su límite líquido 59% y su límite plástico 33%, la cohesión determinada



SIMBOLOBIA



**PERFIL ESTRATIGRAFICO
LUMBRERA 5 A LUMBRERA II**

FIG. II.2.

en compresión simple es del orden de 5.0 ton/m², en prueba axial el ángulo de fricción interna varía de 3 a 13 con cohesiones de 2.8 a 4.5 t/m² respectivamente su peso volumétrico es del orden de 1.51 t/m³.

El nivel freático se encontró dentro de estos depósitos a las profundidades de 2.8 a 4.4 mts.

DE 7.0 a 10.0 mts Depósito Lacustres.

Formados por los suelos limosos, arcillosos y arenosos cuya clasificación corresponde a MH, CH, SM, de consistencia blanda (NH). Su contenido natural de agua del orden de 180%, su límite líquido de 245% y límite plástico 121%. La cohesión medida en compresión simple es del orden de 2.3 t/m² y peso volumétrico y prueba triaxial al ángulo de fricción interna es de 7° con una cohesión de 2.5 t/m² y peso volumétrico del orden de 1.56 t/m³.

Estos materiales actúan como capa impermeable reuniendo el nivel freático del agua en los depósitos Aluvio lacustres.

DE 10.0 a 13.0 mts. transición de los depósitos lacustres a los depósitos profundos.

Formados por los suelos limosos y arenosos, ML, SM, de consistencia firme (N 15). Su contenido natural de agua es del orden de 98%; Límite líquido 197%, Límite Plástico 68% la cohesión medida en compresión simple muestra los valores del orden 6.0 t/m² en prueba triaxial, el ángulo de fricción interna de 7° con cohesiones de 6.0 t/m² y su peso

volumétrico es del orden de 1.62 t/m³.

DE 13.0 m a 35.0 m que es la máxima profundidad explorada
DEPOSITO PROFUNDO

Formados por los suelos areno arcillosos y limosos con gravilla que se clasifican como SC,ML,SM, muy compactos cuyo número de golpes es predominante arriba de 50, su contenido natural de agua es del orden de 19%, su límite líquido 34%, y su límite plástico 18%, la cohesión medida en compresión es simple, de muestras cúbicas extraídas durante la excavación de La Lumbreira No. 1 ubicada en la calle de Tierra Caliente, es de 35.0 t/m², en pruebas triaxiales consolidadas rápidas realizadas en el mismo tipo de muestras, arrojó valores del ángulo de fricción interno de 22° a 34° para cohesiones de 20.0 a 28.0 t/m² y su peso volumétrico fue de 1.80 t/m³. Como túnel de excavación de estos materiales compactados se considerarán los siguientes valores promedio para diseño del revestimiento del propio escudo excavador.

Cohesión	20 ton/m ²
Angulo de fricción interna	32 °
Peso volumétrico promedio	1.8 ton/m ³
Módulo de deformación	470 Kg/cm ²
Módulo de reacción del terreno, tomando como superficie de carga un rectángulo de 6.7 m de altura y longitud infinita (en sentido ho	0.5kg/cm ³

rizontal) representado lo que -
sería el túnel ya construido.

En general no se encontró agua a presión en estos depósitos profundos, salvo en los piezómetros ubicados en la futura estación donde se acusan presiones de 2 a 3 t/m² respecto a la posición de los bulbos ubicados a 14.5, 27.0 y 35.0 m de profundidad.

Ahora analizando el problema de la estabilidad del frente de ataque se sabe que cuando se excava un túnel se produce una alteración al estado de esfuerzos iniciales. En el frente los esfuerzos son tridimensionales, transformados bidimensionales a medida en que la zona que los produce va quedando atrás. Asimismo con la excavación se producen cambios en la presión de poro del suelo en su entorno, debido a que el túnel representa, en la mayoría de los casos, una zona a presión atmosférica.

La adaptación de las presiones del agua, en suelos de permeabilidad relativamente baja a los nuevos estados de esfuerzos no es instantánea, por lo que el tiempo es un elemento importante en el mecanismo de evolución de las presiones de poro. La aparición de presiones efectivas donde se van disipando las presiones de poro, generan nuevos esfuerzos cortantes y nuevas deformaciones del medio.

III.-INSTALACIONES NECESARIAS Y EQUIPO UTILIZADO

III.- INSTALACIONES NECESARIAS Y EQUIPO UTILIZADO

EN SUPERFICIE

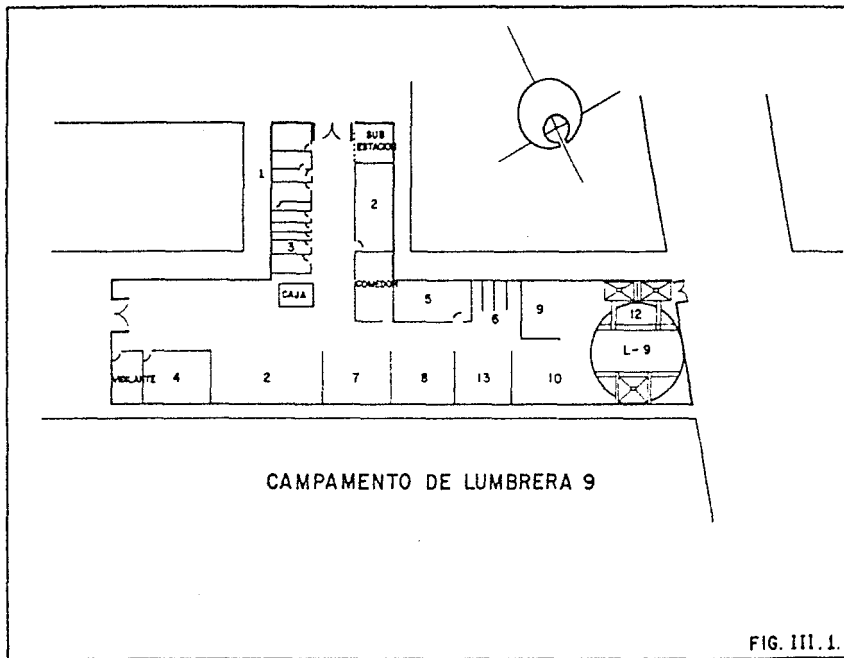
Para la excavación de un tramo de túnel, es necesario la construcción de un campamento en el cual se alojen los equipos e instalaciones auxiliares debidamente adecuadas a la magnitud de la obra (ver fig. III.1)

Es recomendable contar entre ellas con un mínimo necesario por lo que de manera general podríamos enumerar las siguientes:

- 1.- Oficinas técnico-administrativas
- 2.- Almacén y patio de almacén
- 3.- Servicio médico y personal de seguridad de la obra.
- 4.- Caseta de supervisión
- 5.- Vestidores de personal de campo
- 6.- Talleres (soldadura, mecánico, eléctrico, carpintería)
- 7.- Subestación eléctrica
- 8.- Planta de emergencia
- 9.- Sala del malacate
- 10.- Planta de inyección
- 11.- Sistema de manto en superficie
- 12.- Sistema de manto bajo lumbrera
- 13.- Sala de compresores

ALMACEN Y PATIO DE ALMACEN:

En el cual se tienen todas las refacciones necesarias para la reparación y mantenimiento del escudo y de toda la maquinaria



que trabaja en la construcción del túnel. Además se cuenta con todos los materiales básicos y equipo de protección para el personal de la obra por periodo de un mes.

SERVICIO MEDICO:

Consta de un consultorio donde se tienen los medicamentos y utensilios necesarios para cualquier emergencia que ocurra durante el periodo de trabajo, además consta con personal médico durante las 24 horas tanto en consultorio como en campo. El personal de seguridad de la obra está siempre atento a cualquier maniobra o movimiento de estructuras y equipo por si hay alguna anomalía poder corregirla con tiempo.

TALLERES:

Se debe contar con talleres mecánicos, eléctricos de soldadura y carpintería, en los cuales se hacen las fabricaciones y las reparaciones que sean necesarias en los trabajos del túnel.

SUBESTACION ELECTRICA:

Cuya capacidad se define de acuerdo a la demanda programada. Para la construcción de este túnel se necesitaba que la subestación proporcionara una carga de 2500 Kva. con la cual trabajará toda la maquinaria y el escudo.

PLANTA DE EMERGENCIA:

Se recomienda generalmente contar con una planta de emergencia para el caso de que se presente alguna interrupción del servicio ordinario de energía y así no causar retrasos por este motivo en el avance o provocar accidentes en el interior del túnel. La capacidad de dicha planta debe calcularse en base a la suma de los requerimientos de los equipos que se consideran prioritarios para los trabajos tanto en el interior del túnel como en superficie, tomando en cuenta que las interrupciones son generalmente por periodos cortos.

Es de suma importancia la correcta definición de la capacidad de este equipo, ya que ello incide directa y sensiblemente en el costo de la obra. Para este caso la capacidad de la planta de emergencia es de: 2500 KVA.

SALA DE MALACATE:

El cual se utiliza para extraer por la lumbrera el material producto de la excavación. Es más conveniente utilizar malacate de doble tambor, que de tambor sencillo ya que, se agiliza la operación de manto. La capacidad de este malacate es de 50 TON. y es de doble tambor.

PLANTA DE INYECCION:

Es indispensable así mismo, proyectar una zona destinada al almacenamiento y la dosificación de los agregados para la

inyección de contacto, ésta es recomendable localizarla lo más cerca posible del brocal de la Lumbreira para facilitar y acortar la longitud de bombeo de la mezcla hacia el frente.

SALA DE COMPRESORES:

Es indispensable asimismo, destinar una zona a los compresores para el suministro de aire comprimido a los distintos equipos neumáticos que operan en el interior del túnel y el sistema de manto. El equipo consta de tres compresores de motor eléctrico de 600 ft³/min. de capacidad c/u.

SISTEMA DE MANTEO EN SUPERFICIE:

Este sistema consta de una torre de manto inglesa y de dos skip's de 4.5 m³ c/u, los cuales extraen el material producto de excavación del túnel a la superficie, incorporadas a la torre de manto se cuenta con dos tolvas de almacenamiento de la rezaga de 50 m³ c/u, dichas tolvas cuentan con un mecanismo de compuerta para permitir la carga del material a los camiones de volteo.

SISTEMA DE MANTEO BAJO LUMBRERA:

En el fondo de la Lumbreira existe un dispositivo que consta de dos gatos hidráulicos que se encargan del volteo de las vagonetas hacia las tolvas, que conducen el material a los skip's. Y en caso de descompostura de estos cilindros

hidráulicos, también existe una estructura metálica que es auxiliada por un malacate neumático, que puede voltear las vagonetas a las tolvas.

EN TUNEL:

Las instalaciones en el túnel constan de: vías centrales con riel de 58lb/yd, estas van instaladas a lo largo de todo el túnel en la parte central, y sirven para acarrear la rezaga producto de la excavación, del frente de trabajo hasta la lumbrera, son utilizadas para transportar las dovelas y todos los materiales necesarios para la excavación, se utilizan para el deslizamiento del equipo complementario del escudo (plataformas) (ver la fig. III. 2)

LINERS ELECTRICAS:

De energía para la alimentación del escudo y de todos los equipos del túnel (ventiladores, bombas moyno), y el alumbrado del mismo. (ver fig. III.2)

2 LINEAS DE TUBERIAS DE 36" DE DIAM.

Para la ventilación del frente de trabajo, que se comunican con los ventiladores instalados en superficie, y a lo largo del túnel se instalaron parejas de ventiladores a cada 150 mts. para mantener constante el volumen y la presión del aire inyectado al frente. (ver fig .III.2)

LAMPARAS FLUORESCENTES: Tipo Industrial a cada 8 mts. para el alumbrado, cada lámpara cuenta con 2 tubos de 74 watts. a

220 volts. (ver fig III.2)

DOS LINEAS DE 6" DE DIAM.

De acero, que sirven para determinada función cada una; La primera se encarga de suministrar el aire comprimido para la operación de los equipos neumáticos en el túnel, y la otra línea es de bombeo. (ver fig. III.2)

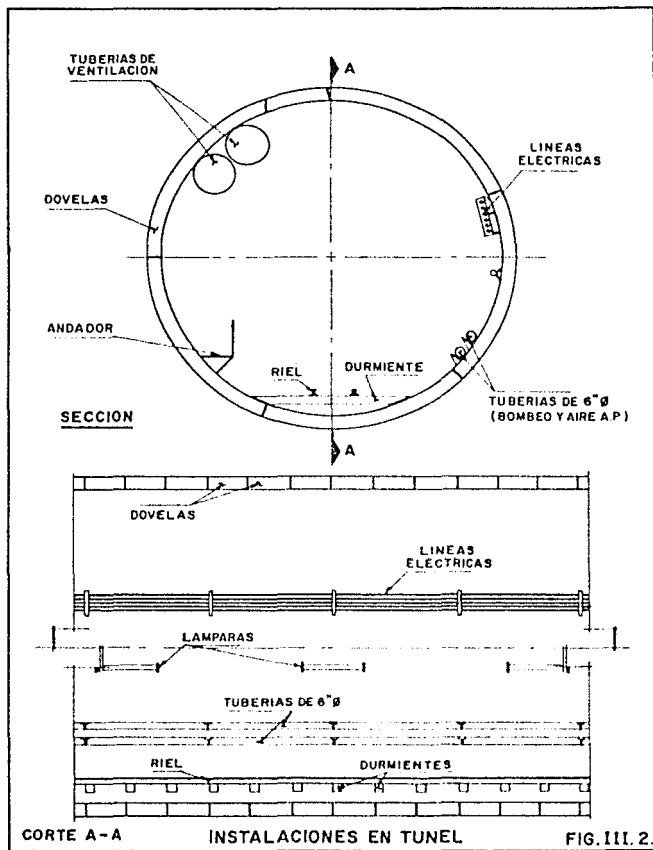
Además es de suma importancia instalar un elevador para la introducción del personal al túnel.

III.3.- SELECCION DE EQUIPO

Para llevar a cabo un buen desarrollo y ejecución del proyecto, es primordial la elección del equipo idóneo que permita realizar un procedimiento de construcción acorde a la dimensión del túnel y al espacio interior disponible, a la longitud total por excavar, al tipo de terreno que se espera encontrar según el estudio previo de mecánica de suelos, y finalmente al tiempo establecido en el programa de obra correspondiente.

III.3.1.- ESTRUCTURA DEL ESCUDO

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



La camisa puede dividirse en tres partes principales en función de su rigidez interior y del arreglo de acuerdo a su propósito.

A.- El extremo delantero de la camisa, donde se efectúa la excavación, es sumamente reforzada, generalmente con piezas fundidas para formar la cara de corte y su rigidez interna se incrementa con anillos atizados, su propósito principal es facilitar el posible avance uniformemente y conducción del cuerpo del escudo cortando el frente, y proveer una distribución hasta donde sea posible de las importantes presiones inducidas que lo forzan hacia atrás.

Su segunda tarea es dar una protección adecuada a los trabajadores ocupados en la excavación, además de proporcionar un soporte continuo al frente.

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

B.- La parte intermedia o tronco está destinada para el alojamiento de la maquinaria de empuje (gatos hidráulicos, tablero de operaciones, equipo cortador, motores eléctricos, etc.)

C.- La parte trasera o faldón del escudo está diseñado para soportar el túnel mientras se realiza el montaje de los segmentos del revestimiento. Algunos diseñadores piensan que el faldón debe cubrir el ancho de dos anillos completos más unos pocos centímetros del tercer anillo, sin embargo debe

La camisa puede dividirse en tres partes principales en función de su rigidez interior y del arreglo de acuerdo a su propósito.

A.- El extremo delantero de la camisa, donde se efectúa la excavación, es sumamente reforzada, generalmente con piezas fundidas para formar la cara de corte y su rigidez interna se incrementa con anillos atezados, su propósito principal es facilitar el posible avance uniformemente y conducción del cuerpo del escudo cortando el frente, y proveer una distribución hasta donde sea posible de las importantes presiones inducidas que lo forzan hacia atrás.

Su segunda tarea es dar una protección adecuada a los trabajadores ocupados en la excavación, además de proporcionar un soporte continuo al frente.

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

B.- La parte intermedia o tronco está destinada para el alojamiento de la maquinaria de empuje (gatos hidráulicos, tablero de operaciones, equipo cortador, motores eléctricos, etc.)

C.- La parte trasera o faldón del escudo está diseñada para soportar el túnel mientras se realiza el montaje de los segmentos del revestimiento. Algunos diseñadores piensan que el faldón debe cubrir el ancho de dos anillos completos más unos pocos centímetros del tercer anillo, sin embargo debe

considerarse que las secciones del faldón largo puede deformarse fácilmente. (ver fig. III.3)

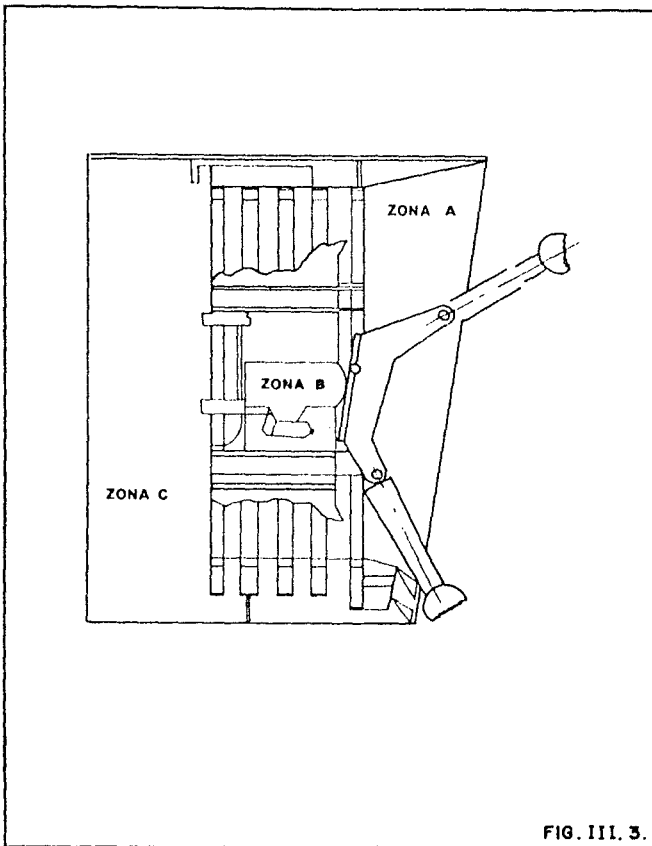
Además, algunos elementos suplementarios importantes son incorporados en el interior del escudo, la mayoría en combinación con elementos rigidizadores, tales como plataformas de trabajo montadas sobre postes atiesadores horizontales, verticales y vigas o gatos para soportar el frente (plataformas de ademe) montados sobre las paredes divisorias de las plataformas de trabajo.

La adecuada construcción del escudo se complementa con maquinaria especial para la excavación, rezaga y transporte del material, montaje e inyección, todo lo indispensable en el tunelaje del núcleo con escudos.

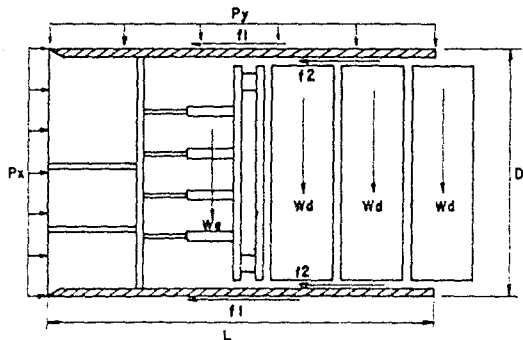
III.3.2.- EQUIPO DE ESCUDO

A.- Gatos de empuje; el movimiento del escudo es afectado por medio de gatos hidráulicos colocados a la estructura del escudo que reaccionan contra los anillos del revestimiento del túnel previamente erigidos, para mover el escudo deben ser tomadas en cuenta las siguientes resistencias:

- a.- La fricción del terreno sobre la superficie exterior de la camisa del escudo.
- b.- La fricción del anillo de dovelas en el faldón del escudo.
- c.- La resistencia del terreno que no había sido excavado en el frente del escudo. (ver fig. III.4)



GATOS
HIDRAULICOS



ANILLO PARA DISTRIBUCION
DE PRESIONES

- P_y = PRESION VERTICAL
 P_x = PRESION HORIZONTAL DEL TERRENO
 L = LONGITUD DEL ESCUDO
 D = DIAMETRO DEL ESCUDO
 W_g = PESO PROPIO DEL ESCUDO
 W_d = PESO DE ANILLOS DE DOVELAS
 f_1 = COEFICIENTE DE FRICCION ENTRE LA CAMISA DEL ESCUDO Y EL TERRENO
 f_2 = COEFICIENTE DE FRICCION ENTRE LA CAMISA DEL ESCUDO Y ANILLOS DE DOVELAS COLOCADAS

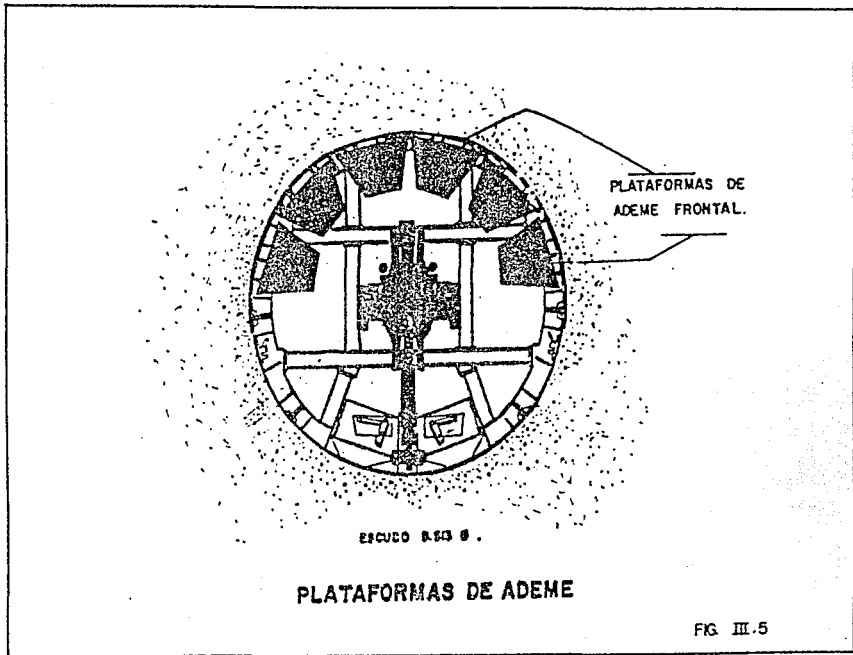
FUERZAS RESISTENTES AL EMPUJE DEL ESCUDO

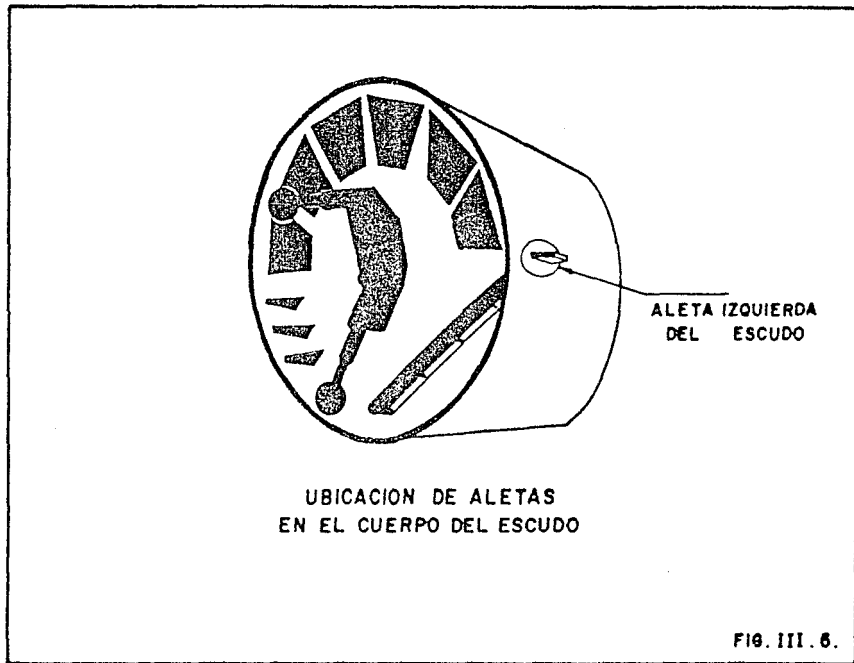
FIG. III. 4.

En cuanto a la distribución de los gatos de empuje generalmente es mayor en la mitad inferior del escudo, pues este tiende a clavarse.

B.- GATOS FRONTALES; El mejor método para soportar el frente mientras el escudo avanza, es mediante gatos al frente, los cuales ejercen presión constante y uniforme. Los gatos frontales deben llegar más allá de la cara de corte y su carrera debe ser al menos igual al ancho de un anillo de dovelas.

C.- PLATAFORMAS DESLIZANTES; Son para proveer áreas de trabajo acercándolas al frente de excavación. (ver fig. III.5) Existen una variedad de escudos, pero los escudos circulares generalmente son los que ofrecen la mejor resistencia a las presiones externas. La experiencia en el diseño de los escudos circulares, indica que para mayor facilidad en el manejo, la relación, longitud a diámetro debe ser 0.75 o menor, ya que a menor longitud es mayor la dificultad de mantenerlo alineado, pero es más fácil girarlo. Los escudos más largos requieren presiones más elevadas en sus gatos de empuje, es experiencia común para los escudos el girar alrededor de su eje longitudinal esto se debe a la estratificación oblicua a presiones externas asimétricas o a una excavación no uniforme, la corrección de este giro se hace mediante el uso de estabilizadores (aletas) cuya colocación se hace por tanteos. (Ver fig. III.6).





III.3.3.- EQUIPO DE REZAGA

Los equipos de rezaga los podemos subdividir en dos tipos de acuerdo a la función que se va a desempeñar:

1.- DE CARGA: Que consta de dos bandas transportadoras, una inclinada y la otra horizontal, la primera es la que se encarga de sacar el material del frente de excavación y colocarlo en la segunda banda. Las características y la capacidad de esta banda es:

Transportador primario o Banda primaria (inclinada)

ANCHO	0.676 mts.
Longitud	17.6 mts.
Inclinación (respecto a la horizontal)	20°
Rendimiento	118.69 m ³ /hrs.
Velocidad máxima	220 pies/min.
Marca	Voest-alpine
Motores Eléctrico	15 HP c/u
(2 piezas)	

La segunda banda transportadora deposita el material excavado en las tolvas, las cuales tienen compuertas en las partes inferiores, que se abren con gatos hidráulicos para vaciar el material excavado en las vagonetas. Las características y la capacidad de esta banda son:

Transportador secundario o Banda secundaria (horizontal)

Ancho	0.914 mts.
Longitud	39.915 mts.
Vel. Máxima	300 pies/min.
Capacidad	640 ton/hrs.
Marca	Voest-alpine
Motores eléctricos	15 H.P.

(1 pieza)

(ver fig. III.7)

2.- DE ARRASTRE: Este sistema se logra mediante vagonetas de rezaga de capacidad de 6 yd³. cada una, que son jaladas por locomotoras diesel. El total de este equipo son:

4 Locomotoras Diesel Plymouth.

20 Vagonetas de 6 yd³.

EXCAVACION DE TUNEL CON ESCUDO DE 9 513 Ø. ..

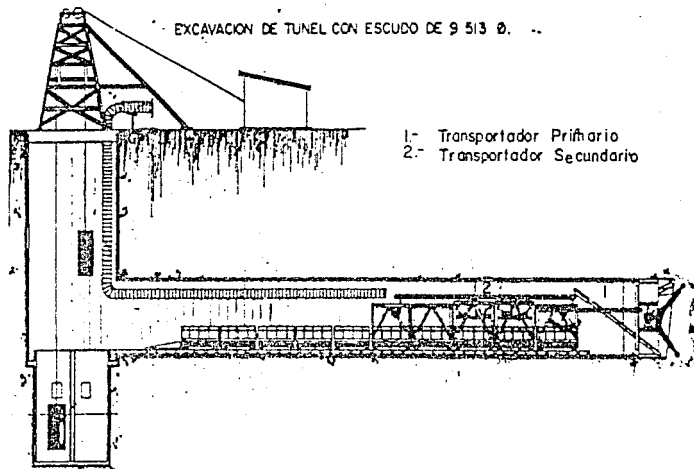


FIG. 0.7

III.-3.4.- EQUIPO EXCAVADOR

Está directamente definido por la dureza del material y en congruencia con el espacio libre que se dispone para atacar el frente, existe en el mercado una gran diversidad de equipos de las más variadas dimensiones y capacidades, neumáticas o hidráulicas con los que se pueden disgregar suelos duros o bien consolidados como los de la zona de transición del Valle de Méx. donde es recomendable utilizar rompedoras neumáticas, manuales o montadas sobre jumbos, rozadoras de diversos tipos y tamaños, retroexcavadoras, palas mecánicas, etc.

En suelos blandos el equipo que puede usarse va desde el simple pico y pala hasta las propias rezagadoras, retroexcavadoras, etc.

Para este caso se utilizaron brazos rozadores que tienen las siguientes características;

BRAZOS ROZADORES (2 piezas)

Gatos hidráulicos (3 pzas)	90 ton. c/u
Gatos hidráulicos (desplazamiento longitudinal).	1.35 mts.
Número de brazos	2 pza.
Cabezas de corte por brazo	118.69 m3/hrs.

BRAZO CORTO:

Longitud	2.70 mts.
Picas en la cabeza de corte	100 pzas.
Motor eléctrico (134 H.P.)	1 pza. mov. de cabeza.
Gato hidráulico (60 ton)	1 pza. mov. de brazo

BRAZO LARGO:

Longitud	3.25 mts.
Picas en la cabeza de corte	64 pzas.
Motor eléctrico (134 H.P.)	1 pza. mov. de cabeza

Marca de las picas	Kennamex
Modelo de las picas	U-47

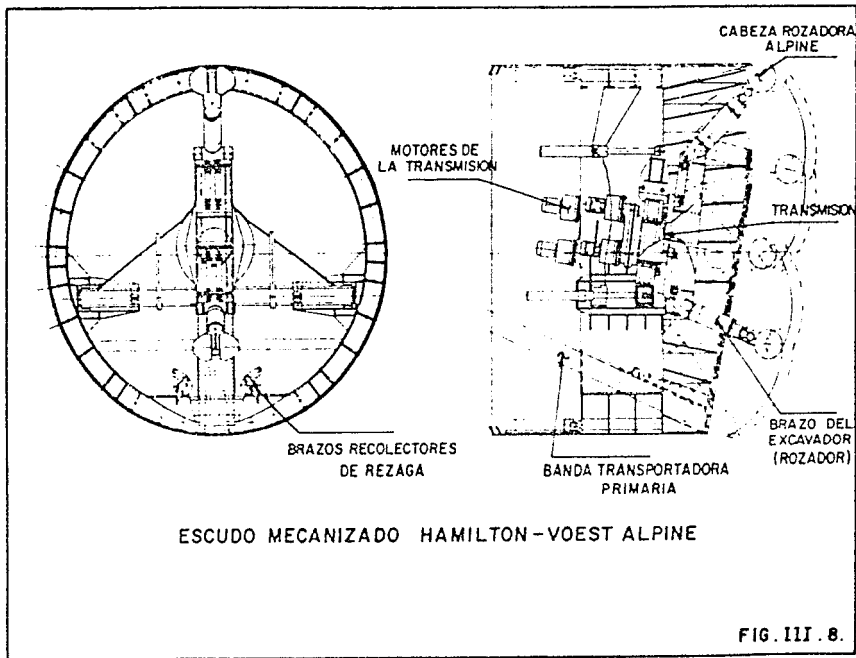
BRAZOS CARGADORES; una vez que el equipo de excavación comienza a trabajar, en la parte inferior del escudo existen dos brazos cargadores, los cuales tienen estas características;

Motor hidráulico (1 pza.)	40.23 H.P.
Marca	Voest-Alpine
(ver figura III.8)	

III.3.5.- EQUIPO DE VACIADO

Este sistema que se utiliza en este lugar consiste en dos formas; Neumático e Hidráulico.

El sistema Hidráulico consiste en un gato hidráulico de doble



acción, con un mecanismo para poderse acoplar a las vagonetas el cual voltea la concha y vacía la rezaga a una tolva de descarga al skip's.

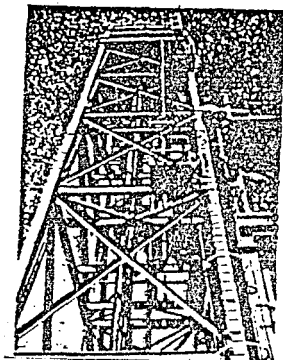
El sistema Neumático consiste en una estructura metálica para el volteo de vagonetas en la zona de las tolvas. El volteo se efectúa utilizando un malacate neumático de 2 ton. de capacidad y una polea fija en la estructura metálica.

III.3.6.- EQUIPO DE MANTEO

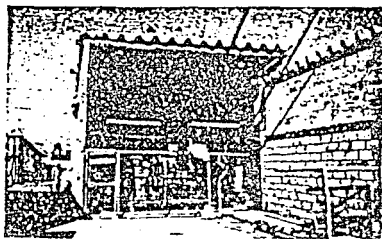
El manto se efectúa con la ayuda de una torre metálica (inglesa) adecuada sus dimensiones a las necesidades de la obra, la extracción del material, se lleva a cabo con la ayuda de un malacate eléctrico. Es recomendable la instalación de guías en toda la longitud de la lumbrera, sobre las que se deslizan los botes que contienen la rezaga, es una buena manera de evitar al máximo los accidentes e incrementar los rendimientos. (ver. fig.III.9 y III.10)

III.3.7.- EQUIPO DE VENTILACION

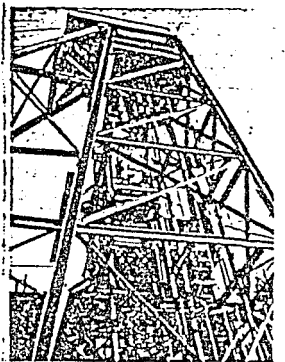
Esta es una condición indispensable en la construcción de túneles ya que es necesario sustituir el aire contaminado mediante algún tipo de ventilación que tenga la capacidad necesaria para proporcionar aire fresco a todo el túnel y principalmente al frente de trabajo.



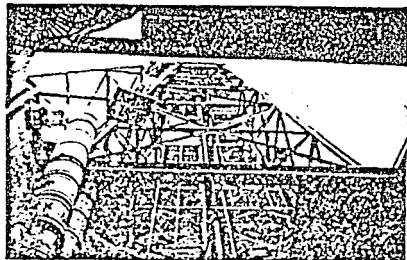
TORRE DE MANTLO.



MALACATE DE MANTLO.

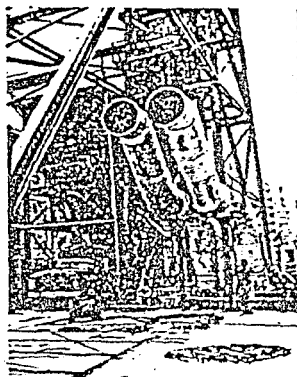


TORRE DE MATEO, NOTESE EN SUELO.



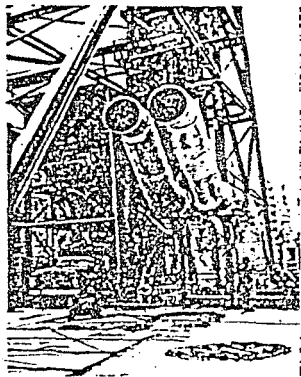
TORRE DE MATEO, NOTESE LAS LINEAS DE VENTILACION.

El suministro de aire fresco debe ser del orden de 3 m³/min. por trabajador, ya que se usa equipo de combustión interna. La ventilación del área de trabajo es por medio de impulsión, ya que absorbe aire del ambiente y es transportado al interior del túnel, por medio de tuberías, produciendo una sobre presión en el frente que hace que el aire contaminado circule hacia el exterior. En este caso se instalaron ventiladores de 36" de diám. distribuidos de esta manera, dos están colocados en superficie, dos a la entrada del túnel, y dos a cada 150 mts. en el interior del túnel hasta el frente de trabajo, las líneas de ventilación llegaban a 30 mts. del frente de excavación. (Ver fig. III.11)



TOLVAS DE ALMACENAMIENTO DE REZAGA Y
TUBERIAS DE VENTILACION 36" Ø EN SU-
PERFICIE. APARECE TAMBIEN LA TORRE
"DE MANTED."

FIG. III 11



TOLVAS DE ALMACENAMIENTO DE REJAGA Y
TUBERIAS DE VENTILACION 36" Ø EN SU-
PERFICIE. APARECE TAMBIEN LA TORRE
"DE HANTED.

FIG. III 11

IV.-PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL

IV.- PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL

IV.1.- CRITERIOS DE SELECCION DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

ASPECTO GEOLOGICO Y GEOTECNICO; La validez y la confiabilidad en el diseño de un túnel dependerán en gran medida de la calidad de las exploraciones geológicas y geotécnicas. La geología es la única variable independiente que interviene en el costo y las características de la obra, pero también es la más difícil de caracterizar o definir.

Con la selección del trazo y el perfil del túnel, se fija la geología del material que se va a excavar, que a su vez determina el método constructivo a seguir y por lo tanto el costo (cuya precisión está relacionada con la predicción geológica). Por ello el proyecto de un túnel debe ser tan aceptable como sea posible a condiciones geológicas imprevistas.

Se debe hacer una buena selección del sistema de ademe y del procedimiento de excavación, tal que guarden compatibilidad con el terreno tratando de lograr economía y comportamiento adecuado en el entorno de la obra subterránea.

La etapa más importante en el trabajo preliminar de las operaciones del túnel, es una exploración cuidadosa de las condiciones geológicas, geohidrológicas, tectónicas y vulcanológicas, ya que éstas afectan de manera importante tanto las cargas que actúan en el túnel, como la selección del método constructivo más adecuado.

Los objetivos de las exploraciones GEOLOGICAS y GEOTECNICAS son las siguientes:

- 1.- La determinación del origen y Las condiciones reales del suelo.
- 2.- La obtención de información hidrológica, la existencia de gases y la temperatura existente en el subsuelo.
- 3.- La determinación de las propiedades física mecánica y de resistencia del suelo a lo largo de la línea propuesta del túnel.
- 4.- La determinación de las características geológicas que pueden afectar la magnitud de las presiones en el túnel.

ASPECTO ESTRUCTURAL Y GEOMETRICO: El comportamiento estructural de un túnel está íntimamente ligado con su geometría, ya que de ésta depende en gran medida la carga que deberá soportar el revestimiento.

Entre los diversos aspectos que ejercen influencia en el comportamiento estructural de un túnel, está el geométrico. Si la sección de un túnel está formada por curvas sin aristas pronunciadas. El trabajo estructural será semejante al de un arco en donde los elementos mecánicos actuantes más importantes son los de compresión. La flexión y el cortante existen pero no ejercen efectos tan importantes en el comportamiento del túnel, desafortunadamente no siempre es posible tener secciones con estas características sin embargo se debe tratar de ajustar la geometría del túnel para tener un comportamiento estructural satisfactorio.

ASPECTO ECONOMICO: Los parámetros que intervienen en el aspecto económico son principalmente el procedimiento constructivo, la geología, las propiedades físicas y mecánicas del suelo, el sistema de soporte, el equipo a utilizar, el tiempo, la geometría del túnel, el área excavada, los tiempos en los ciclos constructivos, etc.

Una consideración importante en cualquier obra civil y de manera muy especial en los túneles es la relación COSTO-TIEMPO sobre todo durante procesos inflacionarios en los cuales es muy importante terminar una obra lo antes posible, por lo anterior se hace necesario una evaluación cuidadosa de los recursos con que se cuenta para poder proyectar una obra económica.

En la planeación de cualquier obra civil, es necesario empezar por un análisis económico. Esto es especialmente importante en el caso de túneles, ya que son las más costosas de las obras civiles, pues el costo por unidad de longitud de un túnel es varias veces mayor que para una obra vial superficial, llegando a relaciones de costo del orden de seis a uno. Por lo anterior el ahorro en distancias en un túnel y el volumen de tráfico manejado por este debe ser tal que represente ahorro sustancial en relación con el costo que tendría una alternativa superficial.

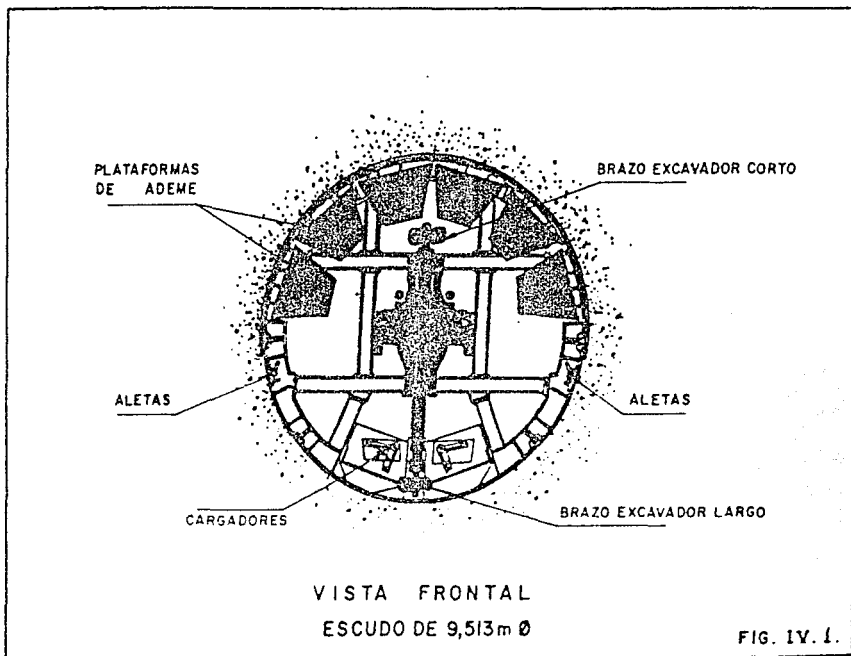
El rápido desarrollo de la urbanización a nivel mundial ha provocado una importante necesidad en cuanto a la construcción de varios tipos de túneles urbanos en los cuales

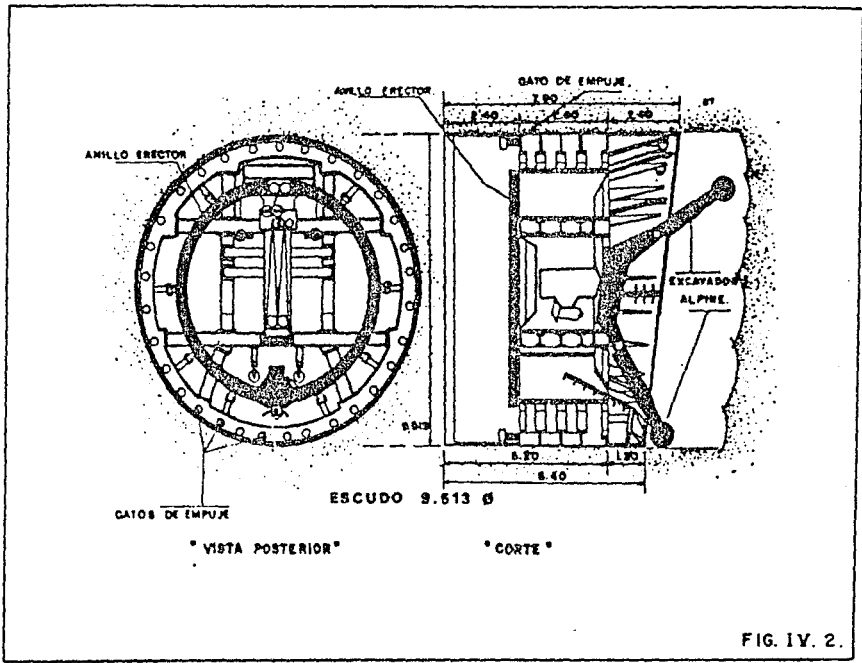
uno de los puntos principales a considerar, paralelamente al factor económico, es el costo indirecto que implica la suspensión o de desvío de tráfico en avenidas importantes así como las repercusiones económicas en los comercios localizados en las avenidas en las cuales se construye una obra civil superficial y en general las molestias al público. Por lo anterior es común la construcción de túneles urbanos aun cuando el costo directo de la obra sea mayor al de la alternativa superficial, pero se justifica por las implicaciones antes mencionadas.

La construcción de túneles en el metro de la ciudad de México, particularmente en el caso de los túneles excavados a través de las formaciones compactas de la línea 7 del metro, se ha visto la necesidad de emplear un procedimiento de excavación con escudo de frente abierto totalmente mecanizado, con el cual las excavaciones pueden deslizarse rápidamente.

Para tal efecto, las autoridades de la comisión de vialidad y transporte urbano (covitur), decidieron adquirir un escudo de fabricación nacional en el cual se combinará el empleo de la más moderna tecnología conocida a nivel mundial. Tal decisión estuvo apoyada en una investigación previa que hubo de realizarse con los principales fabricantes de escudos de todo el mundo. (Ver. fig. IV.1, Y IV.2)

En el presente trabajo se describe el proyecto del túnel que se excavó con un escudo de frente abierto totalmente





mecanizado, en la línea 7 norte-norte del metro, entre las Lumbreras 5 y 11, cuya longitud total será de 2182 mts. aproximadamente. (Ver fig. IV.3.)

PLANO DE LOCALIZACION.

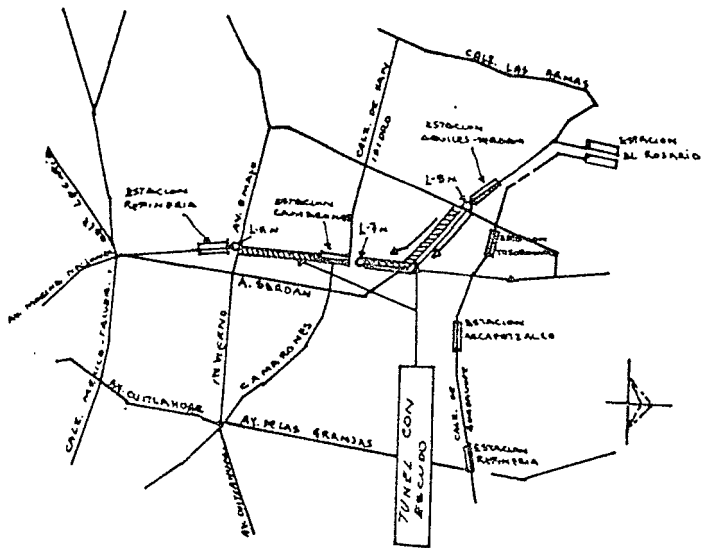


FIG. IV. 3.

CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO

La línea 7 norte-norte es la prolongación de la línea 7, que une las estaciones TACUBA Y ROSARIO mediante un túnel semiprofundo. En esta línea se construyeron 4 estaciones denominadas, "REFINERIA, CAMARONES, AQUILES SERDAN y la terminal el ROSARIO". (Ver fig. IV.4)

El túnel que se excavó con escudo de frente abierto consta de 2 tramos; el primero, que unió las Lumberas 5 y 7 (entre las estaciones Aquiles Serdán y Camarones), con una longitud de 1315.91 mts.

El segundo unió a las Lumberas 9 y 11 (entre las estaciones Camarones y Refinería), con una longitud de 866.05 mts.

DATOS COMPLEMENTARIOS

AQUILES SERDAN - CAMARONES

Longitud	1315.91 mts.
Lumberas	3 (Lumb. 5, 6, 7)
Túnel de ventilación	1
Nichos de Subestación	4
Puntos de resistividad (P.R.)	1
Pozos de control Topográfico	10

CAMARONES - REFINERIA

Longitud	866.05 mts.
Lumberas	3 (Lumb. 9, 10, 11)
Túnel de ventilación	1

Nichos de Subestación	4
P.R.	1
Pozos de control topográfico	6

CONSTRUCCION DE LUMBRERAS

CONSTRUCCION DEL BROCAL:

Una vez que sobre el terreno se haya definido el trazo de la Lumbreira, se excava a mano o con maquinaria hasta una profundidad de 1.50 mts. y en un ancho de 1.0 mts. en los sitios de donde quedarán alojados los faldones del brocal, los cuales se colarán utilizando una cimbra apoyada contra el terreno por puntales de madera de 4" X 4" (polines).

Los puntales se colocan a cada 2.50 mts. de separación horizontal y en un sentido vertical se colocan dos niveles separados 1.20 mts. entre sí.

La rama horizontal del brocal (alero) está formado por una losa. La sección del brocal se indica en la (fig. IV.5)

EXCAVACION Y CONSTRUCCION DE LA LUMBRERA:

En cuanto el brocal haya alcanzado su resistencia de proyecto se está en condiciones de iniciar la excavación para la construcción de la lumbreira.

La excavación se realizará en toda el área de la lumbreira y en tramos de avance de 1 ó 2 mts. de profundidad según sea el caso. Una vez alcanzada la profundidad de excavación en el tramo en cuestión se procede a colocar una estructura de retención, formada por un revestimiento primario, el cual está constituido por dos capas de concreto lanzado, reforzado con una malla electrosoldada tipo 6" X 6" - 6/6 y cuyo espesor total será de 0.15 mts.

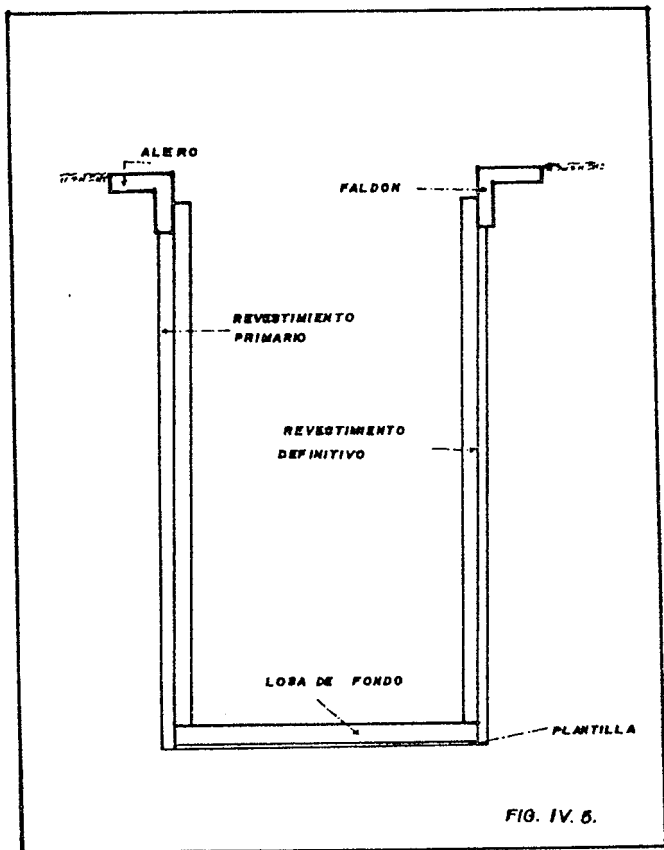


FIG. IV. 5.

La malla de acero electrosoldada deberá tener un traslape de 0.20 mts. como mínimo entre avances consecutivos. El proceso de excavación y revestimiento primario se realizará tantas veces sea necesario para llegar a la máxima profundidad de proyecto.

CONSTRUCCION DE LOSA DE PISO:

Una vez que haya alcanzado la profundidad de proyecto de la Lumbreira se procede inmediatamente a colar una plantilla, de concreto simple de 10 cm. de espesor provisto de un aditivo acelerante de fraguado en toda el área de la excavación.

Dos horas después de colada la plantilla se iniciará el armado y colado de losa de piso dejando las preparaciones necesarias para la liga estructural con el revestimiento definitivo, así como también la losa de piso del túnel de ventilación.

CONSTRUCCION DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

Veinticuatro horas después de colada la losa de piso de la Lumbreira, se iniciará la construcción del revestimiento definitivo de la misma, el cual consistirá de un muro de concreto armado, empleado para su colado, cimbra convencional o cimbra deslizante.

Durante el armado y colado del revestimiento definitivo deberán dejarse las preparaciones necesarias para efectuar la liga estructural con la cubierta de la Lumbreira.

El revestimiento definitivo de la Lumbreira con dirección al túnel de ventilación deberá ser eliminado, dejando una

preparación mediante una caja de madera de tal forma que quede únicamente el revestimiento primario.

CONSTRUCCION DE LA CUBETA:

Una vez de haber terminado de colar el revestimiento definitivo. En la losa de fondo se comienza con el armado y el colado de la estructura en donde se armará el escudo, además esta estructura tiene la forma circular igual a la del escudo.

Contiene cuatro rieles ahogados en el concreto para que se deslice el escudo hacia el túnel. (Ver fig. IV.6)

ARRANQUE INICIAL DEL ESCUDO

Para iniciar la excavación del túnel, el escudo se apoya en una estructura de atraque integrada por anillos incompletos, constituidos por cinco dovelas de tipo B (Ver fig. IV.7), y complementadas por un atraque metálico el cual está formado por dos dovelas metálicas de diferente longitud de las cuales la menor quedó fija y la mayor se retiró y se colocó tantas veces como fué necesario para permitir el manto tanto de la extracción, como de alimentación, estas dovelas se apoyaron en el anillo inicial colado en sitio. En los anillos incompletos, éstos se apoyaron en troqueles de 3" Ø. Todo este conjunto constituye la estructura de atraque que transmite el empuje de los gatos a una sección adosada al revestimiento definitivo del túnel de transición (sección "si").- opuesto al frente de ataque del escudo.

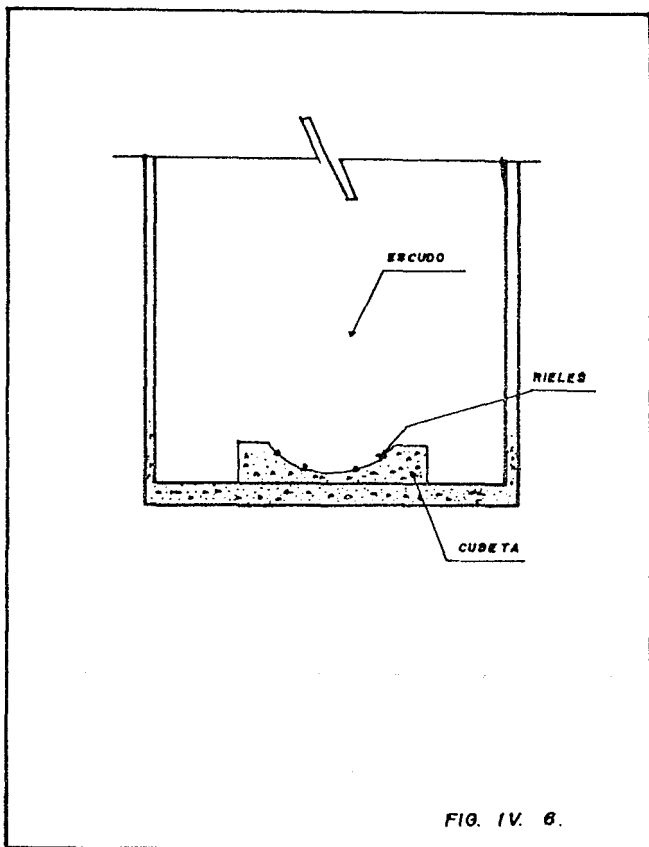
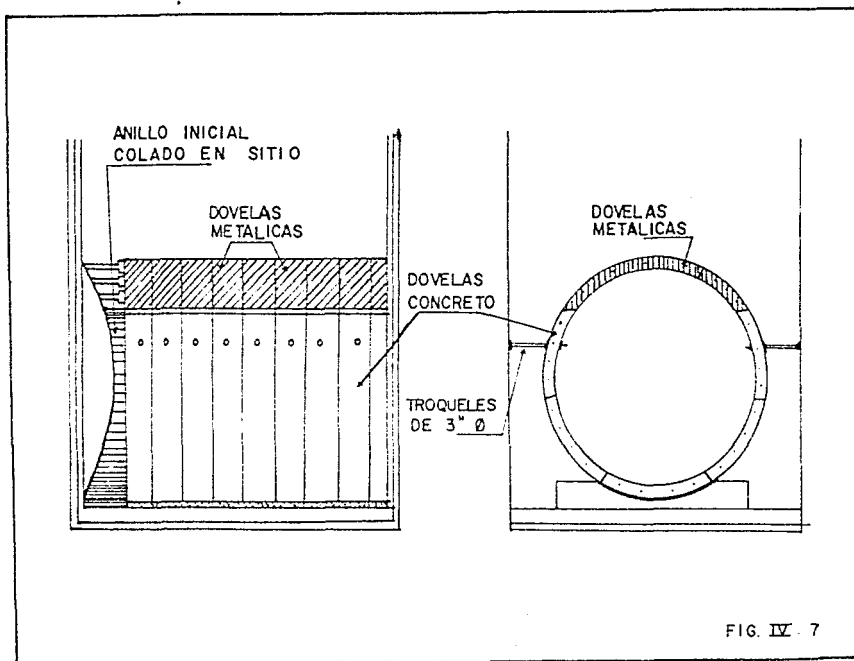


FIG. IV. 6.



Una vez que el escudo esté ensamblado y probado bajo Lumbreira, se inicia la demolición del muro de Lumbreira (revestimiento primario), al mismo tiempo se empieza a colocar el primer semianillo dentro de la camisa del escudo, una vez colocados los dos primeros semianillos, se efectúa la demolición del muro y se realiza el avance del escudo en tramos de acuerdo a la longitud disponible de los vástagos de los gatos de empuje (1.35 m), para que den oportunidad a la colocación de los semianillos subsecuentes.

La colocación de anillos completos se inicia en el anillo 9, esto es, cuando el escudo está prácticamente a punto de desaparecer de la Lumbreira.

AVANCE DEL ESCUDO 9.513 M DE Ø A TRAVES DE LA LUMBRERA 5 NN (ARRANQUE DEL ESCUDO).

- 1.- Etapa: - Inyección de gravilla de 13.5 mm sobre la cubeta para el primer semianillo.
 - Colocar segundo semianillo
 - Excavación y extracción de rezaga
 - Colocar las estructuras desmontables 2 y 1
 - Ejecutar empuje

- 2.- Etapa: - Quitar estructuras desmontables 1 y 2
 - Colocar dovelas del tercer semianillo, previa colocación de gravilla al semianillo 2.
 - Excavación y extracción de rezaga

- 3.- Etapa: - Bajar y colocar estructura desmontable 3, 2, 1
- Ejecutar el empuje
- 4.- Etapa: - Quitar estructura desmontable 3, 2, 1
- Colocar dovelas para el cuarto semianillo, previa colocación de gravilla al semianillo anterior.
- Excavación y extracción de rezaga
- 5.- Etapa: - Bajar y colocar estructura desmontable 4, 3, 2 y 1
- Ejecutar empuje
- 6.- Etapa: - Quitar estructura desmontable 4, 3 y 2
- Bajar y colocar dovelas para el semianillo 5
- Excavación y extracción de rezaga
- 7.- Etapa: - Bajar y colocar estructura desmontable 5, 4, 3 y 2
- Ejecutar empuje
- 8.- Etapa: - Quitar estructura desmontable 5, 4 y 3
- Bajar y colocar dovelas para el semianillo 6
- Excavación y extracción de rezaga

Se continúa con el mismo proceso hasta completar 16 etapas y a partir de este momento el escudo ya se encuentra introducido en el terreno y en la siguiente etapa se coloca el primer anillo completo. (Ver dibujos de etapas IV.8)

ЭТАПА

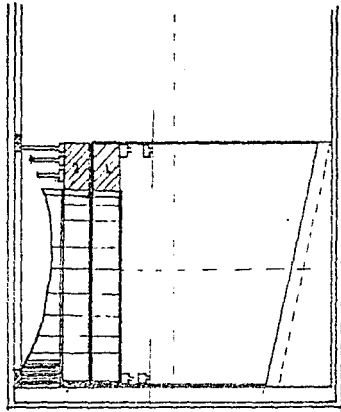


FIG IV 8

2 ETAPA

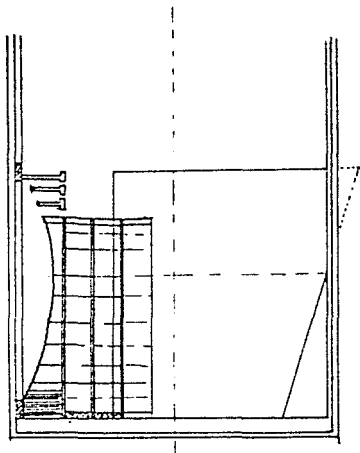


FIG. IV 8

3 ETAPA

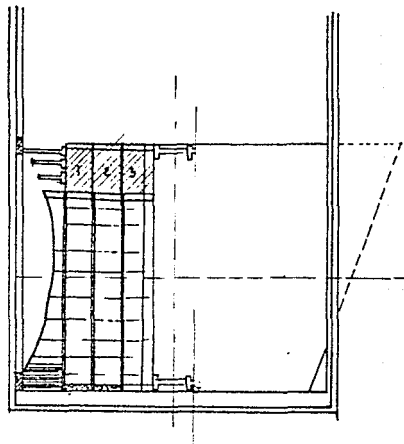


FIG IV 8

4 ETAPA

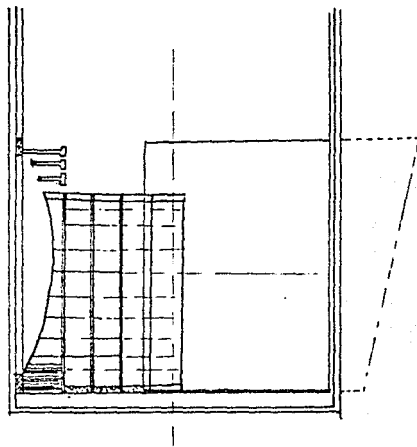


FIG IV 8

5 ETAPA

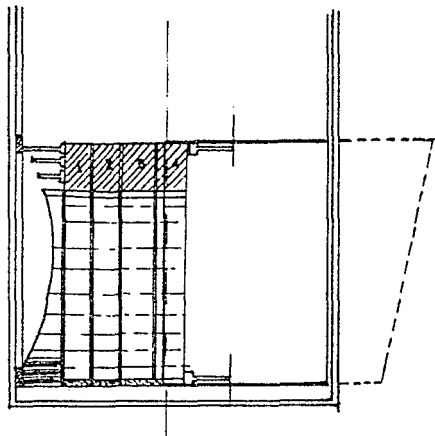


FIG IV 8

6 ETAPÁ

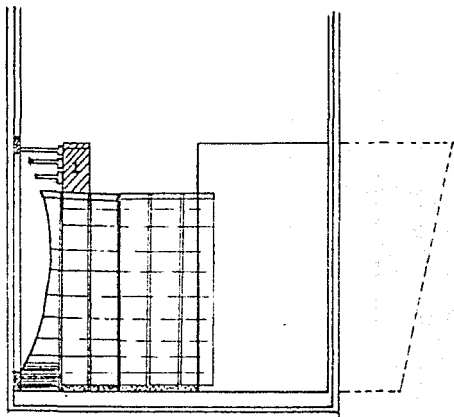


FIG IV 8

7 ETAPA

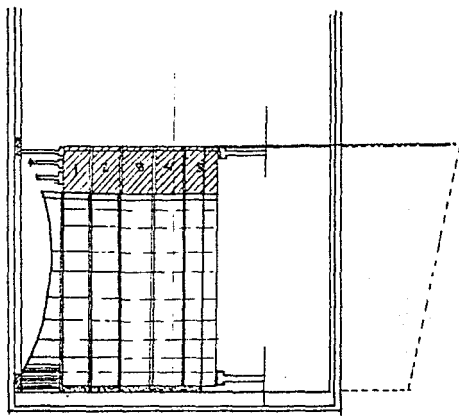


FIG. IV 8

6 ЭТАП

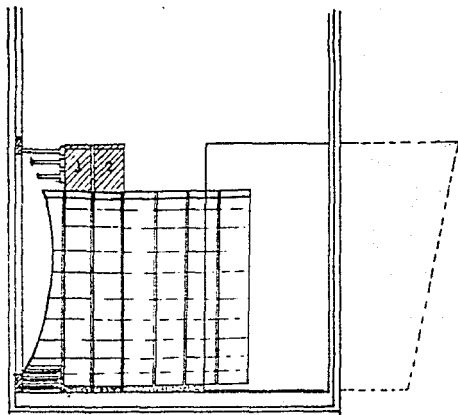


FIG IV 8

IV.2.- EXCAVACION DEL FRENTE

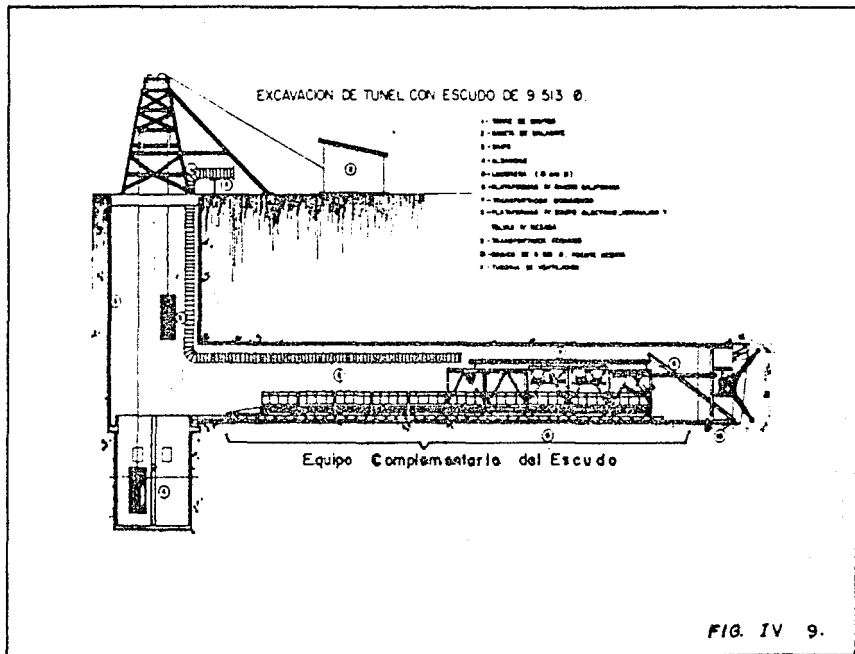
Para la excavación del túnel, el escudo cuenta con un tren de equipo integrado, de manera que el proceso se ejecuta con la mayor eficiencia, una vez que todo el equipo ha sido instalado en el túnel. (Ver fig. IV.9).

En términos generales el proceso constructivo puede describirse de la forma siguiente: el ataque de frente abierto se realiza por medio de dos cabezas rozadoras del tipo ALPINE AM 50, las cuales se encuentran montadas sobre una estructura que gira en ambos sentidos, accionadas 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 la sobre-excavación perimetral de 10 cm. afuera de la funda circular conforme al escudo, en tanto la otra excava la parte central de la zona.

Antes de realizar cualquier avance del escudo, se procede a efectuar el corte del material existente en todo el frente definido por el perímetro interior del escudo, en una longitud de 1.35 mts. la cual se realiza en una o más etapas, hasta alcanzar dicha longitud.

Para las zonas de curva en el trazo, la excavación de la sección puede permitir ligeras sobre-excavaciones que no deben exceder de 15 cm. con el fin de facilitar el control topográfico del escudo evitando de esta manera posibles daños



previamente colocados, debido a empujes forzados.

El ataque del frente se hace con el equipo implementado para ello en el escudo, o bien con equipo neumático y herramienta manual, esto se realiza cuando las características del material por atravesar así lo requiera.

IV.3.- ELIMINACIÓN DEL MATERIAL PRODUCTO DE EXCAVACION

Al inicio de la excavación del túnel y hasta los primeros 100 mts. de construcción de túnel, la extracción de la rezaga se desalojará de la siguiente manera.

Cuando se inicie la excavación del frente al mismo tiempo se comienza a retirar la rezaga, que es movida en forma simultánea del frente del escudo hacia la parte posterior del mismo mediante una banda inclinada primaria (de regletas), alojada al centro en la parte bajo al frente del escudo; Dicha banda cuenta con 2 brazos de recolección del tipo "Brazos de cangrejo" los cuales forzan el material excavado para ser depositados en la banda. Una vez que la banda primaria transporte la rezaga a la parte posterior del escudo, la rezaga se desalojará del túnel por medio de un cargador frontal de descarga lateral, el cual formará con el material, primero una plataforma de trabajo para el tránsito del equipo a utilizar y posteriormente descargará directamente a vagonetas montadas en trucks para vía, cuando se haya llenado una corrida de vagonetas se lleva jalándola con una locomotora hasta la lumbrera, para ser izados por una draga que descargará directamente el material a los camiones

los cuales se llevarán el material al tiradero. Después de los 100 mts. de túnel, ya construidos la rezaga se desalojará de esta manera;

1.- Primero se suspenderá la construcción del túnel para llevar a cabo la implementación del tren de equipo de rezaga y suministro propio con que cuenta el escudo.

2.- Se retiran las vías laterales y el relleno (plataforma de trabajo del cargador).

3.- Se coloca una sola vía en el centro del túnel.

4.- Se baja y se arma el equipo complementario del escudo

- Parte faltante del transportador primario

- Plataformas de trabajo

- Se arma el transportador secundario

5.- Se arma todo el sistema de mantén

Una vez teniendo todo el equipo armado y probado continuamos con los ciclos de excavación. Por lo tanto cuando el material es transportado por la banda primaria, esta a su vez descarga a una banda secundaria (de hule), totalmente horizontal, la cual esta montada sobre el tren de equipo, depositando la rezaga en las tolvas para que posteriormente sean cargadas las vagonetas que conducen la rezaga hasta la zona de la lumbrera.

En la zona de la lumbrera la rezaga es descargada a los

skip's de la torre de manto, para que inmediatamente sea sacado el material a la superficie, que serán vaciados a una tolva receptora que a su vez, cargará los camiones de volteo y enviada al tiradero.

IV.4.- EMPUJE DEL ESCUDO

Cuando se ha finalizado la excavación y se haya retirado toda la rezaga del frente, se procede a dar un avance con una longitud de 1.35 mts. con el objeto de facilitar las maniobras de ensamble de dovelas dentro del faldón del escudo.

Antes de realizar el empuje se procede a hacer el análisis de la posición del escudo como quedó en el empuje anterior, si se encuentra arriba o abajo, si se tiene giro izquierdo o derecho, o bien si está fuera del eje de proyecto, ya sea a la izquierda o a la derecha, esta serie de posiciones se puede normalizar de la siguiente manera.

- Si el escudo se encuentra abajo o arriba se procede a hacer el empuje con los gatos superiores o inferiores respectivamente.

- Si el escudo tiene giro (izquierdo o derecho), se hace la instalación de las aletas en la posición que la pida el escudo, para la instalación de las aletas en ambos costados del escudo, se deja una preparación en forma de " X ".

- Cuando se va a introducir la aleta primeramente antes del empuje se hace una caverna a la altura donde se encuentre la preparación y de profundidad de 1.0 m por 1.0 m de espesor

que a la hora de empujar quedará en posición de la preparación lista para ser introducida la aleta.

- Cuando el escudo se encuentra fuera de su eje de trazo, ya sea izquierdo o derecho, se procede a empujar con los gatos laterales contrarios al desplazamiento.

El avance del escudo, se logra mediante la operación de los gatos, ubicados en la parte trasera, las cuales se apoyan por medio de sus zapatas en los anillos ya colocados.

Cuando la presión en los gatos de empuje, para un avance cualquiera, rebasa a los 350 kg/cm² (5000 Lb/pulg²) se realiza en la superficie de contacto de la camisa del escudo con el terreno la inyección de una mezcla compuesta por lodo bentonítico, al cual se le agrega el 5% de aceite soluble, la inyección antes mencionada, se realiza a través de las preparaciones existentes en el escudo. La presión máxima de inyección es de 3.0 kg/cm².

El objeto de la inyección antes mencionada es el de reducir las fuerzas de fricción que se generan en la superficie de contacto entre la camisa del escudo y el suelo circundante evitando de esta manera presiones excesivas en los gatos de empuje que pudieran dañar a los anillos previamente colocados; en caso de que en un determinado tramo se mantengan altas las presiones de empuje, se efectúa la inyección ya mencionada a cada 10 mts. medidos en el sentido de avance del escudo.

IV.5.- DATOS QUE TOMA EL PERSONAL DE TOPOGRAFIA PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO DEL ESCUDO.

1.- ANTES DEL EMPUJE.

a.-) Colocar la plomada en el escudo y verificar el giro y la pendiente del reporte anterior. El procedimiento para conocer la pendiente y el giro del escudo, se obtiene con la plomada que se colocó en la parte superior y que pende de un hilo (ver fig. IV.10), y que cae a la placa que se encuentra en el escudo (ver fig. IV.11).

De acuerdo a su posición se toman las medidas y obtenemos la posición del escudo, si la plomada cae atrás de la línea central (b) de la placa, la pendiente será positiva, lo cual quiere decir que tiene tendencia a subir y a la inversa si la plomada cae adelante, la tendencia será de ir bajando.

2.- EN EL TRANCURSO DEL EMPUJE

Cuando se está realizando un empuje es necesario suprimir algun(os) gato(s) o accionar otros gatos extras, para ocasiones en que el ingeniero de frente considere necesario, para dirección del escudo. Estos gatos se consideran "gatos usados ocasionalmente".

2.1.- Vigilar la presión del manómetro para tomar la mínima y la máxima, en caso de no tener oportunidad de vigilar la presión directamente o desconocer la misma, se solicitará la

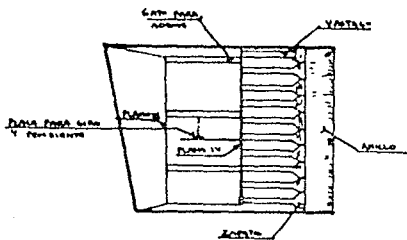


FIG. IV. 10

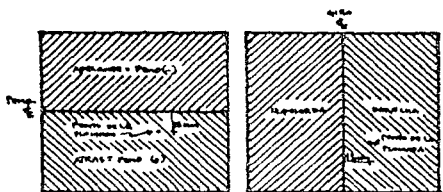


FIG. IV. 11

información al operador del escudo (ambas presiones).

2.2.- Medir la longitud de vástago de los gatos que el ingeniero de frente considere necesario para el control del escudo, y dejar el espacio suficiente para la colocación de la dovela, tomando en cuenta el ancho total de la dovela incluyendo la ceja (+ 120 cm.), el vástago del gato deberá tener como mínimo 130 cm. de carrera.

3.- TERMINADO EL EMPUJE

3.1.- Medir la longitud de los vástagos de los gatos 15, 9 y 1, izquierdos y derechos.

3.2.- Medir el giro y la pendiente del escudo en la placa

3.3.- Conocer el laser y medir en las tarjetas la posición del escudo. El procedimiento para obtener las medidas en la tarjeta es la siguiente.

La "Y" se mide vertical a la tarjeta, si la luz del rayo laser queda arriba del eje de las "X" serán positivas y si queda abajo serán negativas. (Ver fig. IV.12)

Ejemplo: $Y = 95 \text{ mm (+)}$

La "X" se mide horizontalmente a la tarjeta si la luz del rayo laser queda a la izquierda, serán negativas y si queda a la derecha serán positivas (Ver fig. IV.12).

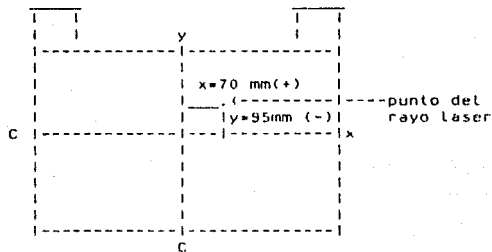


FIG. IV. 12

Ejemplo: $X = 70 \text{ MM}(+)$

4.- DESPUES DE LA COLOCACION DEL ANILLO:

4.1.- Al terminar de colocar el anillo (completo) se procede a medir la distancia que separa el paño de escudo (plano IV) al paño del anillo colocado a la altura de los gatos con numeración 16, 15, 13, 11, 9, etc.

4.2.- Tomar la hora en que se termina de colocar el anillo. Una vez obtenidos estos datos por el departamento de topografía, son analizados y comparados con tablas ya elaboradas de los cuales se obtienen los resultados, se vacian a los reportes que son entregados al jefe de frente, para saber la posición del escudo y así lograr mantener el escudo lo más cerca al eje de proyecto.

IV.6.- COLOCACION DE LAS DOVELAS QUE FORMAN UN ANILLO.

Al terminar el avance del escudo, los gatos se retraen, dejando el espacio necesario para armar un nuevo anillo. Los nuevos anillos de concreto están formados por 8 piezas, de las cuales son tres tipo de dovelas, cinco piezas del tipo B, dos piezas del tipo C y una pieza del tipo A o cuña.

Cada una de las piezas es bajada de una plataforma especial y tomada por un polipasto (5 ton) el cual está montado en la viga, que va desde el escudo hasta la primera plataforma, y cuya función es tomar cada uno de los elementos y colocarlos hasta su posición dentro del faldón. Una vez que ya está colocada la dovela dentro del faldón, esta pieza es colocada en su posición definitiva mediante un anillo erector de tipo engrane con dientes interiores, el cual es accionado por dos motores hidráulicos. Las características de este anillo son las siguientes:

SISTEMA ERECTOR.

Anillo erector

Velocidad de Rotación

0 a 1 RPM

Desplazamiento Angular

320

GATOS DE IZAJE Y DESCENSO

Presión de trabajo

100 Kg/cm²

Carrera

798 mm.

GATOS DESLIZANTES

Presión de trabajo	140 Kg/cm ²
Carrera	375 mm.

GATOS ESTABILIZADORES

Presión de trabajo	140 Kg/cm ²
Carrera	291 mm.

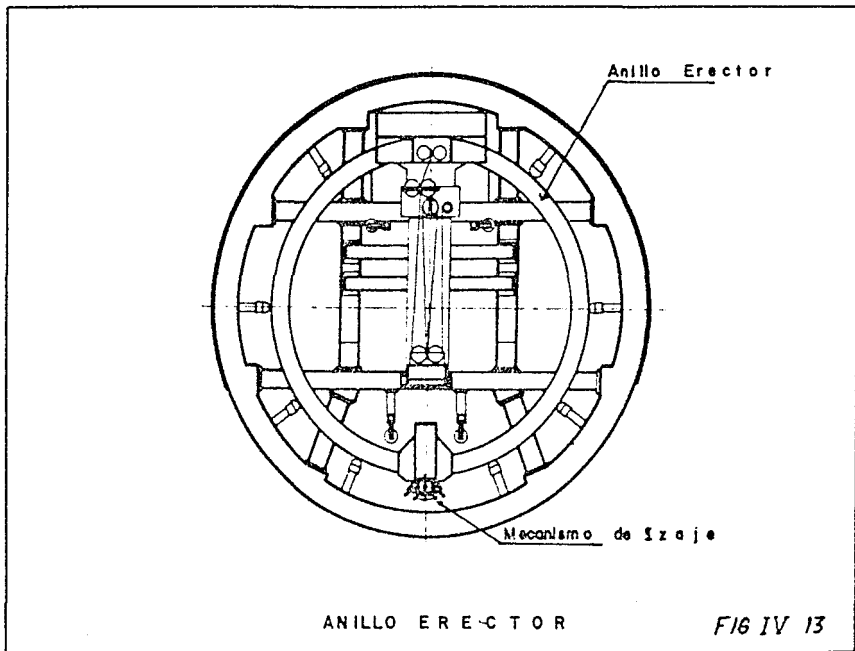
MOTORES DEL ERECTOR

Número de motores	2 pzas.
Presión de operación	200 Kg/cm ²
Operación del sistema	control remoto
Peso máximo por dovela	3.35 ton.

(Ver fig. IV.13)

El orden de la colocación será el siguiente, seguirá una secuencia ascendente, esto es, se instalarán en primer lugar las dovelas de tipo "B" que son las que formarán la cubeta, posteriormente se colocarán en su sitio las dovelas de tipo "C", y para terminar colocando la dovela de tipo "A" o cuña. Esta colocación del revestimiento se realiza sin interrumpir, la excavación, ni la rezaga.

A medida que el anillo se va ensamblando, los gatos de empuje se van retirando. A continuación se aprieta la tornillería que une los segmentos entre sí y con el anillo anterior, cuando se termine de armar el anillo, se cierra un ciclo de excavación con avance de 120 cm.



Simultáneamente a las actividades de excavación, rezaga, y colocación de anillo, se ejecutan las siguientes actividades;

- Tendido de líneas de conducción

- a) Tuberías de aire de alta presión
- b) Tuberías de ventilación
- c) Tuberías de bombeo
- d) Tuberías de líneas de alumbrado
- f) Tuberías de teléfonos
- g) Tuberías de colocación de vía para las plataformas y locomotoras.
- h) Lanzado de gravilla
- i) Inyección de lechada
- j) Mantéo bajo lumbrera
- k) Mantéo en superficie
- l) bajada de materiales.

La colocación de los anillos se va realizando de tal manera que la cuña de cada anillo esté a tres bolillo (Ver fig. IV.14.)

ENRAMBLE DE LAS DOVELAS

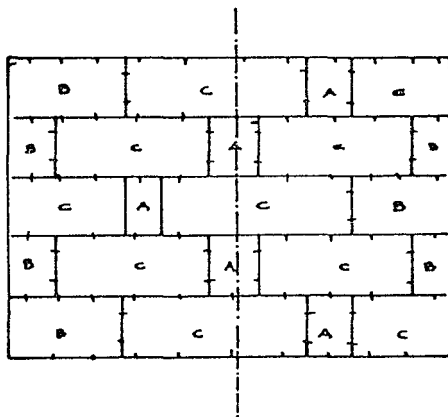


FIG IV. 14

V.- INYECCIONES EN TUNEL Y SUPERFICIE

V.- INYECCIONES EN TUNEL Y SUPERFICIE

V.1.- INYECCION DE CONTACTO ENTRE DOVELA Y TERRENO.

La inyección es un conjunto de técnicas que pone en práctica la ingeniería, para hacer penetrar los fluidos con características especiales en el interior de fisuras, fracturas, fallas, conductos vacíos de terreno, para lograr uno o varios de los siguientes objetivos.

- Reducir la filtración de agua hacia excavaciones subterráneas a cielo abierto, o bajo presas situadas debajo del nivel freático.
- Lograr estancar en grandes depósitos subterráneos, agua o combustible y así evitar la fuga de ellos.
- Controlar la subpresión y el exceso de presión de poro bajo estructuras o bien en el apoyo de presas.
- Rellenar cavernas o huecos en formaciones naturales de roca o en derrumbes.
- Consolidar las cimentaciones o apoyo de presas o de otras estructuras pesadas.
- Sellar y consolidar el terreno débil adelante del túnel o rellenar espacios anulares, o en derrumbes de excavación.
- Reparar daños excesivos por voladura en roca, alrededor de túneles y excavaciones.
- Transmitir esfuerzos al terreno vacío alrededor de túneles o tuberías de presión.
- Preesforzar el revestimiento de túneles y excavaciones para reducir su espesor.

- Cuando una roca se encuentra alterada o descompuesta la inyección modifica totalmente la estructura, dejándola estable.
- Ligar revestimientos, anclas y demás elementos de refuerzo de excavaciones o túneles al terreno vecino, para que trabajen en combinación con éste como un todo.

INYECCION SIMPLE

Este método de inyección, consiste principalmente en llevar la perforación a la longitud deseada, lavar el terreno por circulación de agua, emboquillar el orificio e inyectar, todo en una sola operación.

Este tipo de inyectado, deberá usarse sólo en pozos de poca profundidad, y en terrenos con pocas juntas o grietas y se deberá utilizar presiones altas para garantizar el relleno de dichos huecos. Si el terreno tiene grietas y fisuras en el plano de la boca del barrenado, no es conveniente este método ya que tendremos fugas al exterior.

Este procedimiento también es recomendable para la inyección de contacto alrededor de túneles y en el relleno de cavernas o grandes huecos. Con el objeto de reducir los asentamientos superficiales que pueden presentarse durante la excavación del túnel y reducir las filtraciones de agua freática hacia el interior de éste. Debió efectuarse en cada uno de los anillos, un proceso de inyección el cual consistió de varias fases, introduciendo inicialmente un relleno de gravilla, éste consta de partículas de un diámetro de 3/8" como máximo,

dicha gravilla se inyectó en todo el perímetro de la sección excavada, a través de las perforaciones implementadas para tal efecto en las dovelas (insertos) para maniobra (ver fig. V.1). Esto se llevó a cabo utilizando una aliva 250 y para alimentar dicha máquina, se uso un carro morán o similar que cumplan con las mismas características.

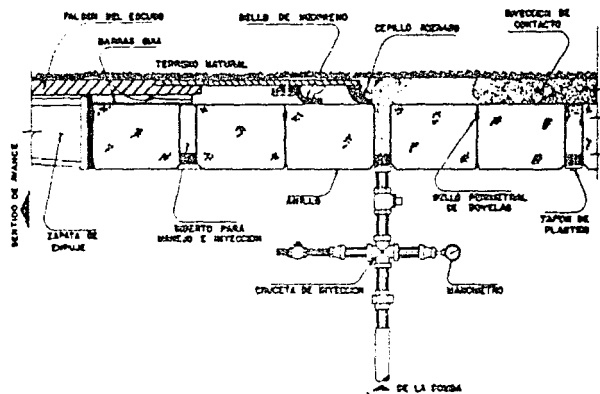
El orden de la inyección de este relleno primario se muestra en (ver fig. V.2) y se realiza en todos los insertos.

Una vez que los insertos de la última dovela salieron del faldón del escudo después de efectuar un empuje el volumen correspondiente a inyectar en cada inserto fue de 0.70 m³, excepto en el de la cuña, en el que se inyectó 0.2 m³. En ambos casos se debería obtener una presión de inyección de 0.5 Kg/cm².

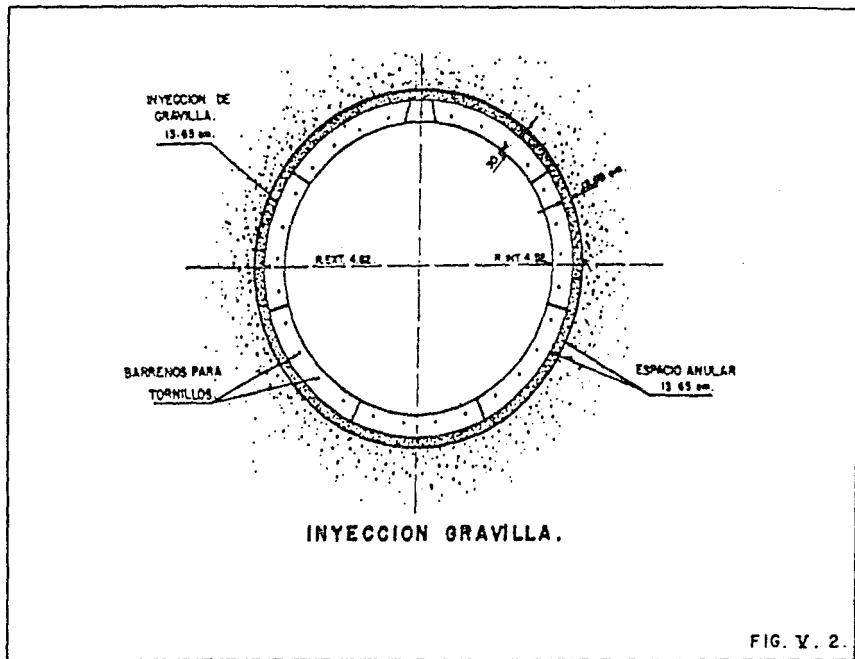
El proceso de inyección complementaria se aplicó en tres fases de acuerdo con las indicaciones que se describen en los párrafos siguientes.

La inyección de primera fase se realizó en todos los anillos y las inyecciones de segunda fase y de tercera fase se efectuaron en anillos alternados tal como se muestra en la (fig. V.3).

Conforme se realizó en cada inserto la inyección de la gravilla se colocaron en estos, tapones provisionales, los cuales se retiraron para la inyección de las fases siguientes descritas a continuación:



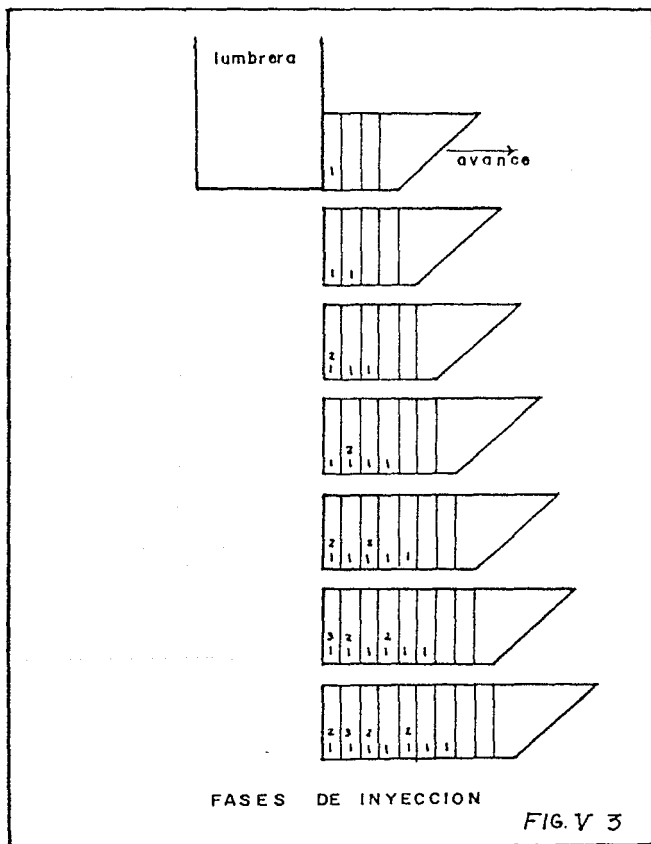
INYECCION DE CONTACTO ENTRE ENDOVELADO Y TERRENO



INYECCION DE 1a. FRSE

Esta inyección se realizó a través de cada uno de los insertos que tienen las dovelas. Y su ejecución se llevó a cabo en todos los anillos, una vez que salgan del faldón del escudo, inmediatamente se deberá ejecutar dicha inyección por los barrenos de cada anillo (ver fig. V.3).

El volumen máximo a inyectar por anillo será de 2.0 m³ y la presión de inyección variará de 0.5 a 1.5 Kg/cm², suspendiendo cuando se alcance el volumen máximo indicado o antes si alcanza la presión máxima.



INYECCION DE 2a. FASE

Para realizar la inyección de segunda fase, el anillo por inyectar, debió contar con la inyección de primera fase y tener entre este anillo y el faldón del escudo, una distancia igual a cuatro anillos, es decir, el quinto anillo localizado atrás del faldón, sería el que se esté inyectando en segunda fase, (ver fig. V.3).

El volumen máximo a inyectar por anillo durante esta fase es de 1.0 m³ y la presión de inyección será entre 1.5 y 1.7 Kg/cm² suspendiéndose cuando alcance el volumen máximo o cuando alcance la máxima presión.

INYECCION DE 3a. FASE

Para efectuar la inyección de tercera fase a un anillo, éste deberá contar con la inyección de primera fase y tener entre él y el faldón del escudo siete anillos, el máximo acercamiento de la inyección de la tercera fase al faldón del escudo será una distancia equivalente a siete anillos así como la distancia al anillo más alejado de dicho faldón en que se realizó la inyección de tercera fase no debió exceder de 26 anillos (ver fig. V.3).

Las proporciones de cada una de las inyecciones se indica a continuación:

Material	1a. fase	2a. fase	3a. fase
Agua (lts)	136	160	152
Cemento (Kgs)	250	250	250
Lodo bentonítico (lts.)	67	42	50.2
Arena (lts.)	160	150	- -
Acelerante de fraguado (Kgs)	2.6	- -	- -

La bentonita cumplió con el proporcionamiento indicado para cada fase con un tiempo mínimo de hidratación de 6 a 8 horas. Con el objeto de obtener una eficiencia mayor en el llenado del espacio anular comprendido entre el paño exterior de la dovela y el terreno natural y para reducir o controlar los movimientos que se registraron en los bancos de los niveles superficiales localizados a lo largo del eje del trazo se modificó la inyección de la 1a. fase quedando de la siguiente manera:

	1a. fase	2a. fase
Agua (lts)	125	
Cemento (Kgs)	250	no se modificó
Bentonita (lts)	5	
Arena (lt)	175	
Acelerante de fraguado (Kg)	5	

Para tratar de evitar posibles caídos del terreno fue convenientes reducir los avances del escudo a 60 cm. y abatir las compuertas de ademe de tal forma que éstas tuvieran contacto directo con el terreno, re-inyectando cada anillo, aumentando la longitud de perforación.

V.2.- INYECCION A BASE DE TUBERIA DE MANGUITO CON PRODUCTOS QUIMICOS.

V.2.1.- Antecedentes

La utilización de inyecciones de productos químicos es otra alternativa para modificar las propiedades del material existente y hacerlo capaz de cumplir mejores requerimientos.

La inyección de suelos se inicia a principios del siglo XIX, 1802 en Francia, su inventor fue Berigny, él inyectó con éxito morteros de cemento, eventualmente asociados con puzolanas. Posteriormente, el primer procedimiento descrito claramente fue inventado por Jeziorsky, cuya patente fue concedida en 1887.

Desde 1886 se viene utilizando el silicato de sodio patentado en aquella fecha y mejorado después. En 1910 surge la patente de un mortero basado en la mezcla de una sustancia lignosulfática y Bicromato, aunque a la fecha su empleo está poco extendido. Posteriormente y debido a los plásticos, aparecieron los morteros constituidos con resinas orgánicas, las cuales son muy caras en comparación con los silicatos.

Para tratar de evitar posibles caídos del terreno fue convenientes reducir los avances del escudo a 60 cm. y abatir las compuertas de ademe de tal forma que éstas tuvieran contacto directo con el terreno, re-inyectando cada anillo, aumentando la longitud de perforación.

V.2.- INYECCION A BASE DE TUBERIA DE MANGUITO CON PRODUCTOS QUIMICOS.

V.2.1.- Antecedentes

La utilización de inyecciones de productos químicos es otra alternativa para modificar las propiedades del material existente y hacerlo capaz de cumplir mejores requerimientos.

La inyección de suelos se inicia a principios del siglo XIX, 1802 en Francia, su inventor fue Berigny, él inyectó con éxito morteros de cemento, eventualmente asociados con puzolanas. Posteriormente, el primer procedimiento descrito claramente fue inventado por Jeziorsky, cuya patente fue concedida en 1887.

Desde 1886 se viene utilizando el silicato de sodio patentado en aquella fecha y mejorado después. En 1910 surge la patente de un mortero basado en la mezcla de una sustancia lignosulfática y Bicromato, aunque a la fecha su empleo está poco extendido. Posteriormente y debido a los plásticos, aparecieron los morteros constituidos con resinas orgánicas, las cuales son muy caras en comparación con los silicatos.

La adición a un silicato de sodio de una proporción conveniente de reactivos; Electrolito, ácido u otra solución coloidal, constituye un sol que, al cabo de un tiempo más o menos largo, se transforma en un Gel, éste último puede ser, según los casos, duro o plástico.

La idea de rellenar los pozos de un suelo con un líquido de esta clase es antigua. A partir de entonces se inyecta separadamente en el terreno una solución de silicato de sodio y después una solución de cloruro de calcio. El silicato da un gel resistente que consolida el terreno impermeabilizándolo.

Lemaire y Dumont (1909) patentaron el proceso en el cual se mezcla el silicato de sodio con un ácido y esta solución única, inyectada en el terreno coagula al cabo de cierto tiempo.

Con lo anterior, se pueden mencionar dos métodos de inyección por productos químicos;

- Uno que provoca la formación instantánea de un gel resistente, utilizando para consolidación. El silicato y su reactivo entran en contacto con el suelo.

- Otro, que con una mezcla inicial de silicato y de su reactivo da al cabo de un tiempo determinado, una masa gelatinosa que no permite más que la impermeabilización o un Gel resistente destinado a las consolidaciones.

Existen varios métodos de inyección con productos químicos en los cuales podemos mencionar algunos:

Procedimiento Francois

Procedimiento Jeziorsky-Joosten

Procedimientos Oletanche-Nobel-Bozel y D. Alkali

La característica común a estos procedimientos es la introducción en el silicato puro o ligeramente diluido de un reactivo orgánico que no tiene acción inmediata sobre el sodio del silicato. Este reactivo orgánico debe transformarse lentamente en nuevos cuerpos que sean reactivos coagulantes del silicato.

Con el acetato de etilo se obtiene una saponificación que libera el ácido y el alcohol, los dos, reactivos de silicato; con el clíoxal se obtiene una reacción que le transforma en ácido clícolico y con la formamida se obtiene una hidrólisis que le transforma en formiato de amonio, que reacciona sobre el sodio del silicato.

Estas 3 clases de transformaciones son suficientemente lentas para que el reactivo orgánico de base pueda introducirse en el silicato sin correr el riesgo de una coagulación prematura en el periodo de agitación o durante la conducción.

En los 3 procedimientos, el Gel obtenido se caracteriza por su gran resistencia mecánica (del orden de 20 Kg/cm² con geles puros y de 30 Kg/cm² en mezclas de geles-arenas).

Existen otros productos químicos que pueden emplearse en la inyección de suelos entre los que pueden mencionarse los siguientes:

- Geles duros de Lignocromo

- Geles plásticos de silicato de sodio y bentonita desfloculada.

- Resinas orgánicas.

Morteros a base de aglomerantes Hidrocarbonados.

Debido a la diversidad de productos químicos que pueden utilizarse en la inyección de suelos es importante conocer previamente el empleo de algunos de ellos para un trabajo determinado, la estructura del suelo por tratar, el objetivo de la inyección las características detalladas y el costo de los productos que se deseen emplear.

PROCESO DE INYECCION CON TUBO DE MANGUITO

- Perforación: ésta se realiza hasta la profundidad de proyecto y es necesario el uso de perforaciones que permitan dejar el barreno lo más recto posibles y se logra a veces con el uso de ademes (bentonita, espumantes, o metálico).

- Colocación del tubo de manguito: el tubo de manguito, se habilita con tubería PVC o metálica, la cual se perfora en secciones a cada 33 ó 50 cm. Cada sección tiene 3 ó 4 barrenos según el diámetro de la tubería, estos barrenos son de 6 u 8 mm. de \emptyset . Sobre las secciones perforadas se coloca una banda de hule de 3 mm. de grueso y de 5 a 10 cm. de ancho, las cuales son fijadas al tubo por medio de alambre, cinta de polivinilo o ambos, estas bandas reciben el nombre de manguitos. En un extremo del tubo se acondiciona una punta que servirá de guía al introducirlo al barreno.

Se deberá llevar un estricto control en distancias que hay de la boca del tubo a las secciones de manguitos, ya que ahí se colocará el centro del obturador al estar inyectando.

- Emboquillado: Se coloca tela de ixtle forzada entre el tubo a las secciones de manguitos y la pared del barreno, en un tramo de un metro a partir de la boca de la perforación.

Posteriormente se inyectará la tela de ixtle lo que nos formará un "tapón" para evitar que existan fugas de lechada entre la pared del tubo, hacia el exterior.

- Colocación del obturador: El tipo de empaque recomendable para este procedimiento es el obturador doble con copas de neopreno de cuero.

Este obturador es de acero y la distancia que hay entre las copas extremas, es igual a la distancia entre las secciones de manguitos, que en general es de 33 ó 50 cm. en el eje del obturador entre las copas internas van de 3 a 4 perforaciones por donde saldrán las mezclas o lechadas, las cuales se bombean a través de la lanza o tubería de inyección. Esta tubería deberá estar graduada para poder garantizar una cierta posición del obturador dentro del tubo de manguitos.

Para introducir dicho obturador en el tubo y tener facilidad en los movimientos dentro de éste, todas las copas y los separadores serán totalmente engrasados.

- Inyección de vaina: Esta inyección de vaina consiste en rellenar el vacío entre la pared del tubo de manguitos y la pared de la perforación con el propósito de fijar dicho tubo. La forma de inyectado es ir colocando el centro del obturador en las secciones de manguitos, o sea, cambiándolo cada 33 ó 50 cm. e inyectando el volumen predeterminado para cada progresión.

La secuela de inyección depende de la dirección de la pendiente del barreno, si esta va hacia arriba con respecto a la horizontal, la inyección va de la boca de la perforación al fondo y viceversa si el barreno va hacia abajo se inyecta del fondo a la boca.

- Reperforación: Se elabora una reperforación en el interior del tubo de manguitos y a toda la longitud por inyectar, con la finalidad de limpiar todos los residuos de la mezcla utilizada en la vaina.

- Inyección: Se introduce el obturador con la línea de inyección hasta el nivel del tramo por tratar y se procede a inyectar moviendo el obturador después de haber logrado una presión o un volumen inyectado predeterminado así se continúa hasta cubrir la longitud de tubo por inyectar.

Es oportuno señalar que la gran ventaja de este método sobre cualquier otro, es que por el corto espacio entre progresiones se obtiene el dato de las zonas más débiles y por lo tanto las que necesitarán varias etapas de inyectado.

Lo cual es posible también con este método, sin necesidad de perforaciones o reperfectoraciones.

El espaciamiento de los barrenos del tratamiento, está en función del medio por impermeabilizar o consolidar, debiéndose proceder por ensayos e interpretación de los resultados que se van obteniendo en el curso de la inyección.

Este fue el procedimiento que se utilizó para consolidar el terreno en el tramo Camarones - Refinería, en el cual se emplean mezclas de dos tipos para la inyección;

- En primer lugar, del cadenamiento 6 + 637.00 al 6 + 787 se utilizó una mezcla de agua-cemento-bentonita;

Cemento	1 partes
Agua	1 1/2 partes
Bentonita	8% (en peso del cemento)
Sika	3% (en peso del cemento)

El volumen por inyectar es el siguiente;

En los barrenos laterales 1.5 m³ por progresión

En los barrenos centrales 2.0 m³ por progresión

- En segundo lugar del cadenamiento 6 + 783.00 al final del tramo, se utilizó la mezcla con productos químicos.

Silicato de sodio	50 Lt.
Agua	50 Lt.
Acetato de etilo	5 Lt.
Estabilizador (Lydet)	1.5 Lt.

Este proporcionamiento variará en función de los resultados obtenidos en campo.

Los volúmenes serán los siguientes:

1.0 m³ por cada progresión tanto en barrenos laterales como en los centrales.

Los resultados totales de estas inyecciones se mencionan en el último capítulo.

VI.-REVESTIMIENTO DEFINITIVO

VI.- REVESTIMIENTO DEFINITIVO

El revestimiento definitivo de los túneles excavados con escudos de frente abierto consiste en dovelas o segmentos que forman anillos, los cuales pueden o no estar ligados entre sí.

Estas dovelas pueden ser de:

- Fierro fundido
- Acero
- Una combinación de marcos metálicos con madera.
- Concreto.

Dichas dovelas deben tener las siguientes características.

- Capacidad de carga suficiente para soportar la presión total (suelos más agua) sin que existan deformaciones excesivas y filtraciones abundantes.
- Resistencia a los esfuerzos ocasionados por un manejo brusco en su transporte y colocación.
- Resistencia a los esfuerzos producidos por los gatos de empuje durante el avance del escudo.
- Resistencia a la humedad y a los efectos del agua del terreno sobre el segmento mismo, así como resistencia a la corrosión.
- Economía en construcción y mantenimiento.

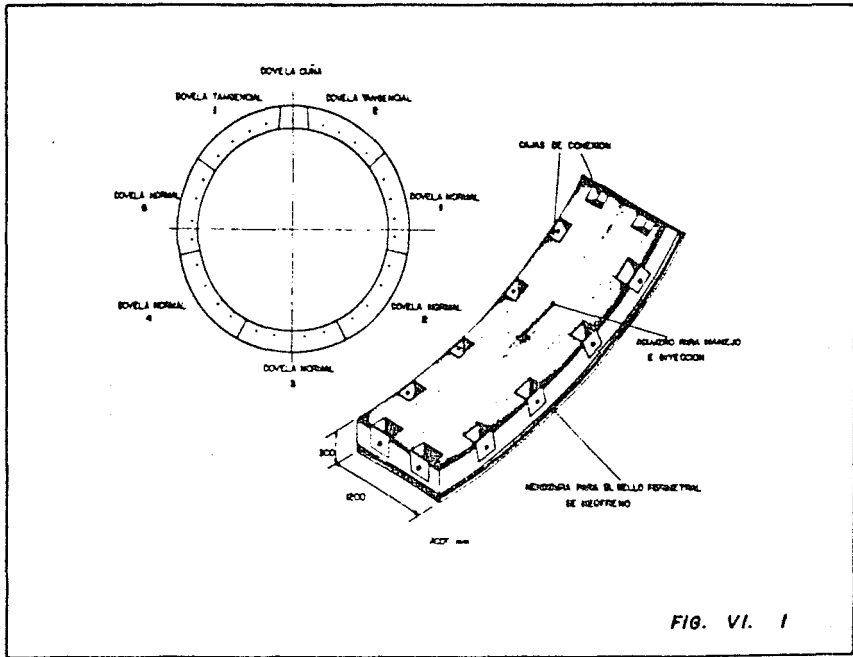
El análisis de los diferentes factores a que estarán sujetas

Las dovelas, en condiciones naturales y de trabajo, se llegó a la siguiente conclusión, para el diseño del armado de la dovela.

- Hacer análisis de la presión de los gatos en las dovelas.
- Cuando la dovela fuera levantada por el anillo erector del escudo.
- Presión del terreno sobre la dovela.
- Análisis de las deformaciones del anillo bajo la presión del terreno.
- Analizar cada uno de los miembros que componen el anillo (dovelas) bajo las condiciones de presión.
- Analizar la dovela como si fuera una columna.

El revestimiento del túnel está constituido por una serie de anillos, los cuales están integrados, cada uno por siete dovelas y una cuña prefabricadas de concreto armado, cada anillo cuenta con cinco dovelas de tipo B y dos dovelas de tipo C y una dovela de tipo A funcionando como cuña, la disposición de estos elementos se muestra (fig. VI.1).

La dovela de tipo A se debe colocar a " Tres Bolillo " en forma alternada con respecto al eje de trazo tal y como se muestra. (fig. IV.14).



Las dovelas tienen un ancho de 1.2 mts. y un espesor de 0.30 mts. salvo en las correctivas, que dependen de la curvatura del túnel, pero sus medidas son de: ancho mínimo 1.12 mts. y ancho máximo 1.2 mts. el espesor es el mismo.

Características de las dovelas.

Dovela tipo "A" 0.868 m X 0.30 m X 1.20 m.

Dovela tipo "B" 4.0 m X 0.30 m X 1.20 m.

Dovela tipo "C" 4.07 m X 0.30 m X 1.20 m.

Las dovelas tipo B y C tienen un peso aproximado de
3000 Kg.

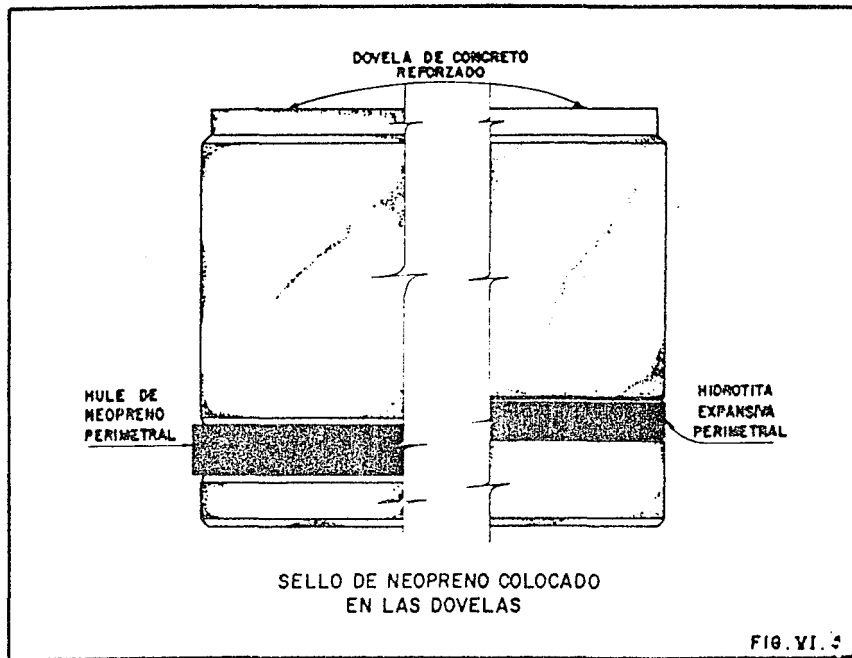
La dovela tipo A tienen un peso aproximado de
1000 Kg.

y se elaboraron con un concreto $F'c = 400 \text{ Kg/cm}^2$.

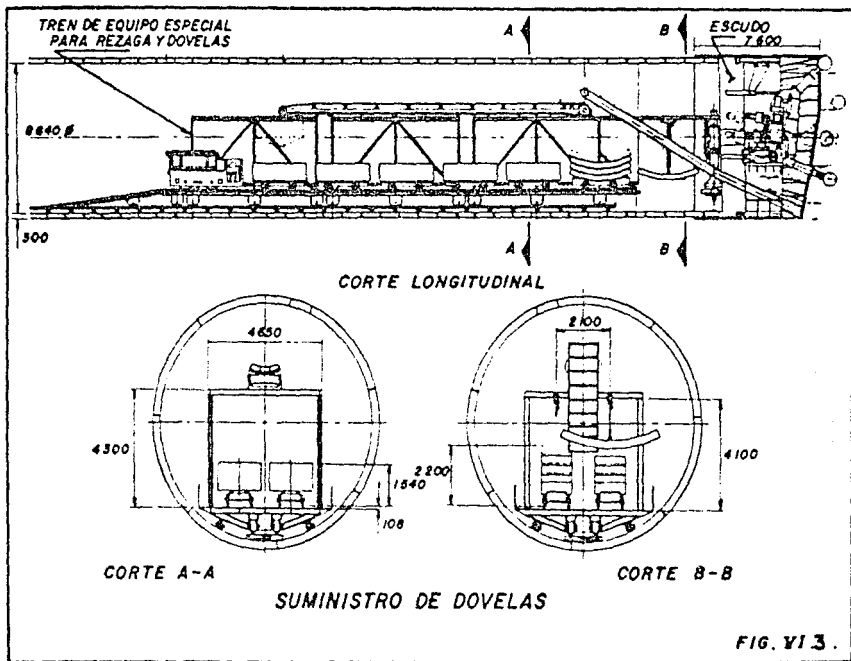
Además cada una de las dovelas tiene una ranura perimetral la cual sirve para colocar un sello de neopreno, que sirve para que una vez colocada la dovela en el túnel, este sello impida las filtraciones del terreno hacia el túnel y también evite la fuga de lechada de la inyección.

Este sello es colocado en superficie, con pegamento que el mismo sello lo tiene (ver fig. VI.2).

Esta fabricación de dovelas se llevó a cabo en la planta de



producción ubicada en " Indios Verdes ", de ahí se trasladaron al sitio de la obra en un " Camión Tractor, Cama Baja ". Y con el auxilio de una draga sobre orugas de LS-110 se descargan y son bajadas al fondo de la Lumbreira y colocadas sobre Truck para vía, el cual es remolcado por una locomotora al interior del túnel. (ver fig. VI.3).



VII.-CONTROL TOPOGRAFICO DURANTE EL PROCESO

VII.- CONTROL TOPOGRAFICO DURANTE EL PROCESO

Antecedentes: La topografía en túneles, por su característica esencial difiere substancialmente de los procesos ordinarios, los cuales, debido a su condición a "cielo abierto", son más favorables para su ejecución, por lo tanto y en consecuencia, la topografía en control de túneles estará más limitada en cuanto a espacio y recursos para el desarrollo o aplicación de métodos para resolver algún o algunos problemas topográficos en particular.

La conducción topográfica deberá ejecutarse con procedimientos que por sistemas, garanticen logros óptimos de tiempo, economía y precisión.

VII.1.- INTRODUCCION DEL EJE DE PROYECTO AL INTERIOR DEL TUNEL.

Originalmente en la conducción topográfica horizontal de túneles, se emplearon varios métodos, algunos de los cuales por las condiciones de acceso a la obra (acceso en portales de entrada y salida en tajos a "cielo abierto" o con lumbreras o tiros como es este caso).

Al ejecutarse, ya sea en la introducción del eje básico de proyecto por los portales o lumbreras al núcleo de la obra, la precisión lograda no satisfacía las necesidades de exactitud requeridas, por su naturaleza exigían instrumental y condiciones de visibilidad y acceso especial, otro tanto, se requería en los recursos humanos (Topógrafo, Auxiliares)

lo suficientemente capacitados para la ejecución en sí de los trabajos, lo cual no siempre era totalmente lograda, con la creación construcción de oculares acodados (equipo, accesorios de los tránsito actuales) que no es más que un juego de prismas de 45° convenientemente dispuestos, se evitó la intervención del recurso tradicional de las plomadas, el cual en longitudes o profundidades de lumbreras muy grandes (más de 20 m). Por su oscilación propia además del movimiento terrestre (perturbación de la verticalidad por la rotación de la tierra hacia el este sobre su eje), obstáculos en el tiro de la lumbrera etc., era muy limitado su rango de precisión.

Este accesorio de prismas acodados, se monta directamente en el ocular del tránsito, teniendo así una proyección vertical.

- Visual de $\frac{2}{3}$ del movimiento del eje vertical del aparato, es decir la posibilidad de observación hacia el zenit lo cual en este caso es requerido.

Pasos a seguir para la introducción del eje básico de proyecto al interior del túnel;

- Se trazó convenientemente el eje de proyecto sobre el brocal del tiro de la lumbrera y/o en los paños (cama interiores) de la misma si es factible.

- Se colocó un hilo a reventón apoyándose en estas referencias

- Ya estando en la parte inferior del tiro de la lumbrera (boca del túnel), se intercepta visualmente este cruce de

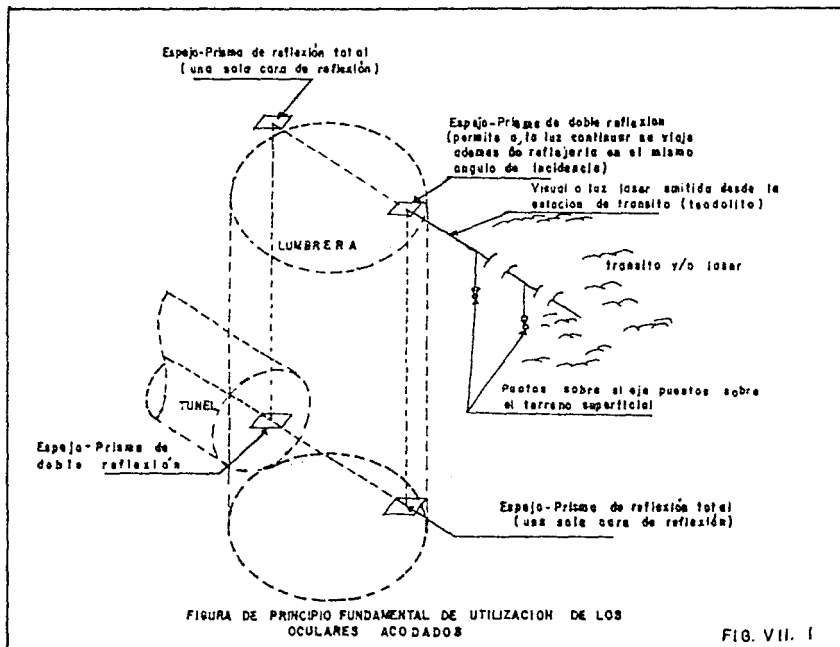
hilos con la reticula de la visual del aparato en dos posiciones (para evitar un posible desajuste mecánico del aparato en el eje de colimación) y se traza la proyección visual-vertical del promedio de las dos punterías (aparato directo e inverso) en dos puntos. (ver fig. VII.1)

- Se cambia la ubicación del aparato, a una posición $\pm 90^\circ$ en relación al primer eje visual obtenido, ejecutándose los mismos pasos que en la misma línea por interceptar.

- Obtenida la intersección de las dos visuales, presumiblemente se tiene la intersección de la proyección vertical del cruce de los hilos en el brocal de la lumbrera.

- Se centra el tránsito de esta intersección y se visualiza nuevamente a la parte superior de la lumbrera para comprobar que se está en la proyección vertical de eje-intersección. Comprobando esto se toma puntería dentro del campo visual de la lumbrera al desarrollo del hilo sobre el eje principal (que es el eje horizontal de proyecto) para proceder así al trazo del mismo en la zona inferior y/o interior de la lumbrera y/o túnel por construir.

En caso, de que en la primera comprobación de la intersección, la visual al elevarse no coincida con el cruce de hilos, se efectúa un tanteo moviendo el aparato en el sentido transversal del eje hacia el lado y desviación estimadas. Esto se ejecuta tantas veces como sea posible, hasta que se logre la coincidencia en forma exacta.



Aún cuando este sistema, por experiencias pasadas, ha logrado precisiones casi perfectas; al ya tenerse ejecutada una longitud tal de túnel; se efectúa una orientación Giróscopo-Astronómico para garantizar que el rumbo de la línea introducida al túnel sea el mismo al correspondiente en superficie.

Giróscopo; este equipo es en si un busca meridiano de sistema mecánico, el cual, por fabricación y diseño está exento de perturbaciones ajenas al propio aparato en el medio de trabajo. Trabaja por efecto dinámico producido por un Biromotor que al actuar mueve un sistema de cintas sobre el cual va suspendiendo el giróscopo.

Su diseño teórico es la aplicación inversa del efecto de una peonza (perinolo), la cual al realizar el movimiento rotatorio propio producido por efecto mecánico o manual siempre mantiene en su eje por principio de Inercia la proyección vertical de la gravedad, así en este caso, la rotación del motor anexo, le produce al giróscopo la velocidad necesaria (22000 RPM) para lograr también por inercia, la posición norte sur del meridiano del lugar de asiento del aparato.

El diseño de este equipo para su aplicación en la Ingeniería, va montado sobre un tránsito (teodolito), con el que se obtienen las mediciones angulares o azimutes de la línea respecto del meridiano en forma directa y leyendo el limbo y vernier en forma convencional.

Cabe hacer notar también, que por construcción, el dispositivo de montaje del giróscopo, está fabricado con hierro dulce, lo que lo mantiene ajeno a atracciones o perturbaciones magnéticas exteriores.

La aplicación en la guía de túneles consta en sí de tres partes básicas:

- 1.- Medición del azimut astronómico de la línea superficial del proyecto.
- 2.- Medición del azimut astronómico de la línea introducida al interior del túnel.
- 3.- Corrección del rumbo (si existiera diferencia) entre el azimute medido en superficie y el obtenido en el interior del túnel.

VII.2.- ALTIMETRIA (NIVELACIONES)

Antecedentes: El control altimétrico (elevación) de construcción de túneles, difiere sensiblemente por sistemas del convencional o "a cielo abierto" dado que el primero está limitado en su ejecución en áreas de menor espacio y visibilidad, no así el segundo. Al establecerse por razones de proyecto original, la utilización de un banco de nivel, muestra u origen, queda por lo tanto condicionado, que todos los puntos que abarca el control topográfico - altimétrico están siendo regidos por la elevación origen del estudio básico.

En el caso del sistema de transporte colectivo metro el cual es nuestro tema, se utiliza en sus varias etapas el banco de nivel profundo localizado en Atzacolco, D. F. que tiene una elevación nominada media de 2245.478 m SNM.

Este banco en su construcción básica consta de 3 tubos de acero galvanizado, dispuestos telescópicamente (a manera de camisa-ademe) de aproximadamente 87 m. de profundidad o sea hincado en la corteza hasta su tope con estratos de naturaleza basáltica lo cual por sus características y localización no sufre los fenómenos telúricos del Valle de México (Hundimientos, movimientos transversales y verticales, etc.) o por lo menos no en grado notable.

Para el traslado de la elevación desde este banco hasta los bancos de trabajo en las zonas de lumbreras, se utilizó el sistema francés (doble o varias alturas del aparato), que aunque aparentemente lento por sus cualidades de lecturas a "doble altura" (o varias según el caso) de aparato, ofrece sin embargo, la situación de checar o comprobar si la primera lectura o desnivel entre los P.L. (puntos de lisa) fue efectuada correctamente.

Dicho sistema consta en si de los siguientes pasos:

- Lectura del estadal de atrás (B.S.)
- Lectura del estadal de adelante (F.S.)
- Cambio de posición o altura del aparato (nivel)
- Lectura del estadal de atrás (B.S.)
- Lectura del estadal de adelante (F.S.)

- Comprobación aritmética del desnivel entre los dos P.L. situados.
- En caso de no existir coincidencia aritmética en el 6to paso, se cambió a otra posición o altura, el aparato (nivel), hasta la obtención de la coincidencia correcta.

VII.2.1.- LOCALIZACION DE BANCOS DE NIVEL DE TRABAJO EN SUPERFICIE.

En la zona de trabajo (campamento) de Lumbreira se construyen "mojoneras" de concreto y varilla de acero, en los lugares que tanto por su ubicación (fuera de área de movimientos de equipo y material pesado) y visibilidad (control visual desde varios puntos) garantizaron que la determinación original de su elevación es su utilización posterior fuera fidedigna.

También para efectos de control de movimientos verticales se establecieron B.N.s en puntos estratégicos sobre el eje superficial del túnel, sobre los cuales se observaron lecturas contra el avance de la obra en forma periódica, su ubicación también dependió directamente (en cuanto a su frecuencia) en la cercanía o alejamiento de los parámetros de las construcciones (casas, edificios, etc.) respecto al eje del túnel en su desarrollo tanto transversal como longitudinalmente.

Se localizó también en forma inamovible un B.N. sobre el brocal de las Lumbreras, mismo que sirvió de apoyo en cada caso para la introducción de elevación (niveles) al interior de la Lumbreira o túnel.

Este B.N. también fue observado con periodicidad para efecto de control en posibles movimientos verticales.

VII.2.2.- INTRODUCCION DE LA NIVELACION EN EL TUNEL.

Partiendo de la elevación tomada como base en el banco del brocal (previamente checada), se procedió a la introducción de la elevación en el interior de la lumbrera o túnel, ejecutándose para este fin los siguientes pasos:

- Se determinó convencionalmente la cota o elevación al borde del brocal de la lumbrera, en un sitio tal que garantizara la visibilidad sin obstáculo y "a plomo" sobre el paño de la lumbrera hasta el fondo de la misma.

- Se ubicó lo más al fondo de la lumbrera (o aceras del piso de la misma) y en un lugar asignado para tal efecto, un punto o niveleta (paloma), en su caso, que pudiera ser utilizado formalmente como B.N.

- Se midió con cinta directamente desde el borde del brocal hasta la parte superior de la niveleta para así en consecuencia y aritméticamente determinar la elevación del B.N. en el interior del túnel. (ver fig.VII. 2)

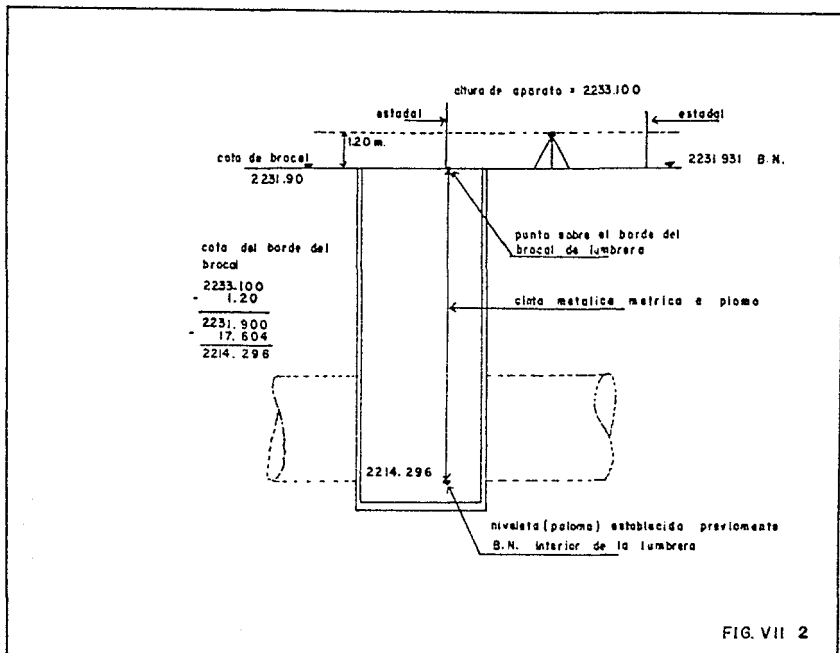


FIG. VII 2

- Ya determinada la elevación del B.N. interior de lumbrera, se prosiguió en lisa con la elevación para establecimiento de B.N.5. a lo largo del túnel y a la distancia entre uno y otro lo más adecuadamente cerca o lejos posible que previera asimismo la visibilidad necesaria.

- La ubicación de los B.N. de trabajo en el interior del túnel fue también restringido o supeditada a la geometría tanto de la sección del túnel como a la del trazo de proyecto, ya que en zonas de curva la frecuencia de la instalación fué más continua debido a que por razón lógica al ir "curvando" en el túnel, los B.N.S. anteriores quedaban ocultos a la visibilidad en tramos relativamente cortos (+ 40 ms.) de acuerdo al radio de curvatura en cuestión.

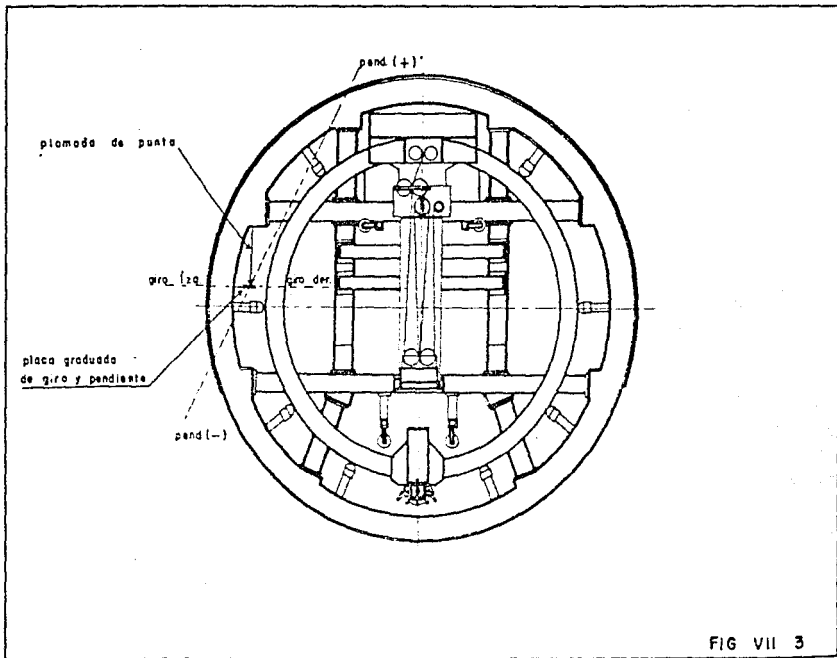
La posición en relación a la sección de túnel regularmente fué la misma, es decir, se ubicaron los bancos a una altura accesible en relación al piso de túnel, pero lo suficientemente lejos de la zona de paso de personal y equipo.

Otro punto que se consideró para la localización de los B.N. en su posición o distancia respecto del frente excavándose fué la limitación a colocarlos en una distancia no menor a 150 m. atrás del mismo, para evitar la exposición a movimientos propios del asentamiento de los anillos, recuperación del terreno excavado, tránsito de locomotoras y vagonetes cargadas, inyección de contacto, etc.

VII.3.- GIRO Y PENDIENTE

El procedimiento para conocer la pendiente y el giro del escudo conste de los siguientes pasos:

- Con una plomada pendiendo libremente de alguna estructura del escudo (punto asignado para este propósito), hacia la placa graduada en el piso del compartimiento del operador o en el lugar más adecuado de acuerdo a las características del escudo se toman medidas en sistema coordenado, para lo cual, en la placa misma, se ubica el centro de este sistema, siendo en este caso considerado como eje de las abscisas: el eje origen del control de la pendiente y las ordenadas consecuentemente las del giro. (ver fig. VII.3)



FUNCIONAMIENTO TEORICO-PRACTICO DE LA PLACA

Dimensiones y características de la placa de control:

Placa de 1/2" de espesor de aluminio, bronce, cobre

Longitud 30 cm.

Ancho 20 cm.

(ver fig. VII.4)

Las dimensiones de las graduaciones para el giro, obedecen la base trigonométrica de la tangente, es decir, para el caso de una longitud de plomada de 1.0 m y un giro en el escudo de 1° 00' sobre su eje se obtiene.

(ver fig. VII. 5)

Fórmula:

$$\text{TAN} = \frac{A}{B}$$

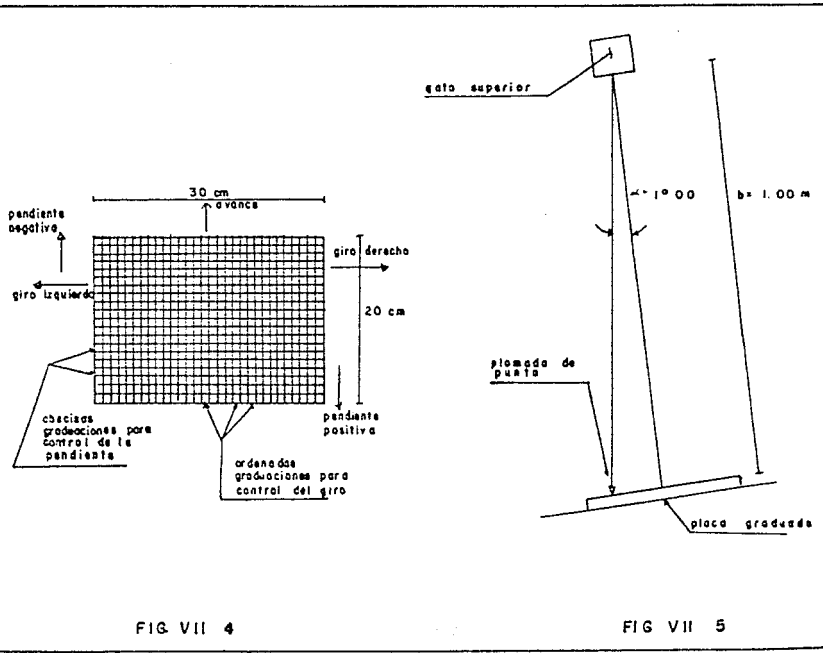
$$A = \text{TAN} \times B = 0.017453 \times 1.00 = 17.4$$

para el caso de las pendientes (inclinaciones longitudinales del escudo), en el cual el desplome porcentual es requerido: esto, se advierte que obedeciendo así a la gravedad de la plomada en un metro de longitud (1.0) al inclinarse el escudo, una unidad de por ciento (1.00 %), el desplazamiento a observarse de la plomada en la placa, de acuerdo a su longitud es:

$$\frac{1}{100} = 0.01 \text{ m} = 10 \text{ mm.}$$

Durante y después del empuje:

La medición de los datos de la placa (giro y pendiente), se ejecutará midiendo, ya sea, desde el centro de la placa o



bien desde la graduación más cercana al punto de proyección de la plomada en reposo.

Realizada la medición directa, se procede a evaluarla de acuerdo con la tabla-proporción de las equivalentes de giro y pendiente, elaborada previamente en base al raciocinio teórico explicado anteriormente (ver tabla No. 1).

De los datos de giro y pendiente, ya evaluados, el ingeniero responsable tomará las consideraciones pertinentes para la programación de los "empujes" subsecuentes del escudo, para lo cual, tomará como base, la posición del escudo actual en relación a la elevación del proyecto del escudo, ya que de mantener una pendiente negativa en el escudo, la obligaría a bajar respecto a la elevación establecida o viceversa.

Tabla de compensación y Equivalencias de giro y pendiente del escudo en base a los principios trigonométricos aplicados al desplazamiento de la plomada sobre la placa en el escudo afectada por la gravedad.

Unidades de conversión; Giro (grados) = 0° 00" 00"

Pendiente (porcentaje) = 1

VALOR MEDIDO EN PLACA (M.M.)		EQUIVALENCIAS		VALOR MEDIDO EN PLACA (M.M.)		EQUIVALENCIAS	
		GIRO	PENDIENTE			GIRO	PENDIENTE
1	10° 02' 00"	0.058	%	28	10° 55' 57.8"	1.628	%
2	10° 03' 59.8"	0.116	%	29	10° 57' 57.7"	1.628	%
3	10° 05' 59.6"	0.174	%	30	10° 59' 57.6"	1.686	%
4	10° 07' 59.7"	0.233	%	31	11° 01' 57.6"	1.744	%
5	10° 09' 59.6"	0.291	%	32	11° 03' 57.5"	1.802	%
6	10° 11' 59.5"	0.349	%	33	11° 05' 57.4"	1.860	%
7	10° 13' 59.5"	0.407	%	34	11° 07' 57.3"	1.919	%
8	10° 15' 59.4"	0.465	%	35	11° 09' 57.2"	1.977	%
9	10° 17' 59.3"	0.523	%	36	11° 11' 57.1"	2.035	%
10	10° 19' 59.2"	0.581	%	37	11° 13' 57.1"	2.151	%
11	10° 21' 59.1"	0.639	%	38	11° 15' 57"	2.209	%
12	10° 23' 59.1"	0.698	%	39	11° 17' 56.9"	2.267	%
13	10° 25' 59"	0.756	%	40	11° 19' 56.9"	2.326	%
14	10° 27' 58.9"	0.814	%	41	11° 21' 56.8"	2.384	%
15	10° 29' 58.8"	0.872	%	42	11° 23' 56.7"	2.442	%
16	10° 31' 58.7"	0.930	%	43	11° 25' 56.6"	2.500	%
17	10° 33' 58.7"	0.988	%	44	11° 27' 56.5"	2.558	%
18	10° 35' 58.6"	1.047	%	45	11° 29' 56.5"	2.616	%
19	10° 37' 58.5"	1.105	%	46	11° 31' 56.4"	2.674	%
20	10° 39' 58.4"	1.163	%	47	11° 33' 56.3"	2.733	%
21	10° 41' 58.3"	1.221	%	48	11° 35' 56.2"	2.791	%
22	10° 43' 58.2"	1.279	%	49	11° 37' 56.1"	2.849	%
23	10° 45' 58.1"	1.339	%	50	11° 39' 56.1"	2.907	%
24	10° 47' 58.1"	1.395	%	51	11° 41' 56"	2.965	%
25	10° 49' 58"	1.453	%	52	11° 43' 55.9"	3.023	%
26	10° 51' 57.9"	1.512	%	53	11° 45' 55.8"	3.081	%
27	10° 53' 57.9"	1.570	%	54	11° 47' 55.7"	3.140	%

TABLA NUM. 1

VII.4.- CONTROL DEL ESCUDO POR MEDIO DEL RAYO LASER

El uso de sistemas laser en la construcción de túneles sirve no sólo para reducir costos, sino para mejorar la exactitud, reducir pérdidas y proporcionar mayor seguridad.

En túneles con escudo en suelos blandos, el uso de un laser con tarjetas computadas elimina mucho tiempo de chequeo después de cada empuje ayudándole a acelerar el ciclo. El escudo puede ser dirigido únicamente por el operador, y el turno de topógrafos debe concentrar su atención a comprobar constantemente la colocación del laser, tarjetas, puntos intermedios (o puntos de control), sin presión de ninguna especie y sin interferir con las actividades del ciclo.

El corazón de un laser consiste en un tubo de plasma helio-Neón que produce una poderosa monocromática viga de luz concentrada. El tubo está sellado de fábrica, protegiéndolo así contra basura, polvo, humedad, vibración y otros problemas asociados con el uso bajo del terreno. Los lasers pueden operarse con corriente eléctrica en 12 volts. A.C.

Una multitud de lasers y montajes se consiguen comercialmente pero la combinación más conveniente proyecta la luz del laser a través del sistema óptico de un teodolito, de manera que algunos horizontales y verticales pueden girarse convenientemente con precisión.

La combinación del laser-teodolito se monta en un soporte especialmente diseñado, fijo al revestimiento primario. El

soporte se diseña de manera que el laser-teodolito se coloque en tres dimensiones y la luz laser precisamente orientada en azimut (dirección), y deflexión (pendiente), la posición del laser teodolito y la orientación de la luz laser se calculan con equipo de procesamiento electrónico de datos y es registrado en una computadora.

La luz laser se dirige continuamente a dos tarjetas fijas en el escudo, en las intersecciones de la luz de las tarjetas aparecen puntos rojos brillantes, conforme el escudo se mueve los puntos rojos trazan trayectorias en las tarjetas.

La posición relativa de la trayectoria marca por el punto comparada con la trayectoria calculada, indica la desviación del escudo de la posición deseada.

En una sección del túnel en tangente o en línea recta, la trayectoria calculada es la línea recta inclinada. En la sección del túnel en curva, la trayectoria calculada se aproxima a una hipérbola. A lo largo de la trayectoria graficada, se marcan estaciones a ciertos intervalos para referencias.

En el techo del compartimiento del operador del escudo, se montan 2 tarjetas, se usan dos tarjetas en lugar de una, por la misma razón que un rifle tiene la mira trasera y delantera. Las tarjetas se colocan en soportes con pasadores y pueden moverse lateralmente alrededor del centro del escudo para compensar el giro del mismo.

Si por alguna razón el laser se mueve, debido a movimientos

del revestimiento o por accidente la luz no pasa a través de los puntos de control y el operador no verá el punto rojo. Un punto de control es una placa perforada que se coloca entre el laser y el escudo; la luz del rayo debe pasar en todo momento a través del orificio y se colocan normalmente tres puntos de control.

Ocasionalmente la luz puede alcanzar las tarjetas debido al movimiento de los puntos de control. En cualquier caso, ambos el laser y los puntos de control deben ser revisados para corregir la adecuada posición y orientación.

VII.5.- ASENTAMIENTOS

La excavación de túneles en suelos blandos involucra pérdidas de suelos inherentes al método constructivo utilizado, entendiéndose por pérdidas de suelo a todo el volumen de suelo excavado en exceso al volumen propio del túnel.

Las pérdidas de suelo durante la excavación de un túnel son de gran importancia, pues se traducen en asentamientos en la superficie que perturban construcciones y otras de utilidad vecinas al eje del mismo.

Se pueden distinguir algunas causas posibles de asentamientos durante la construcción de un túnel en suelos blandos siendo una de las de mayor repercusión, la siguiente:

- Asentamientos ocasionados por pérdidas de material hacia el espacio anular.

Entre la superficie del revestimiento primario y el terreno queda un espacio conocido como espacio anular. Este espacio anular es una consecuencia del empleo de escudos para la excavación de túneles y comunmente se rellena en una primera etapa con gravilla, la cual se inyecta tan pronto como los anillos que forman el revestimiento abandonan el faldón del escudo, sin embargo antes de la inclusión de gravilla, la masa de suelo queda temporalmente sin soporte y se deforma hacia el interior del espacio anular originando asentamientos en la superficie.

El efecto anterior se ve acentuado por la fricción desarrollada entre la superficie del escudo y el suelo circundante. Esta fuerza tiende a jalar el suelo con el escudo desarrollando por tanto esfuerzo de tensión que originan un remoldeo de la masa del suelo.

INSTRUMENTACION A BASE DE SECCIONES TRANSVERSALES DE: BANCOS DE NIVEL SUPERFICIAL.

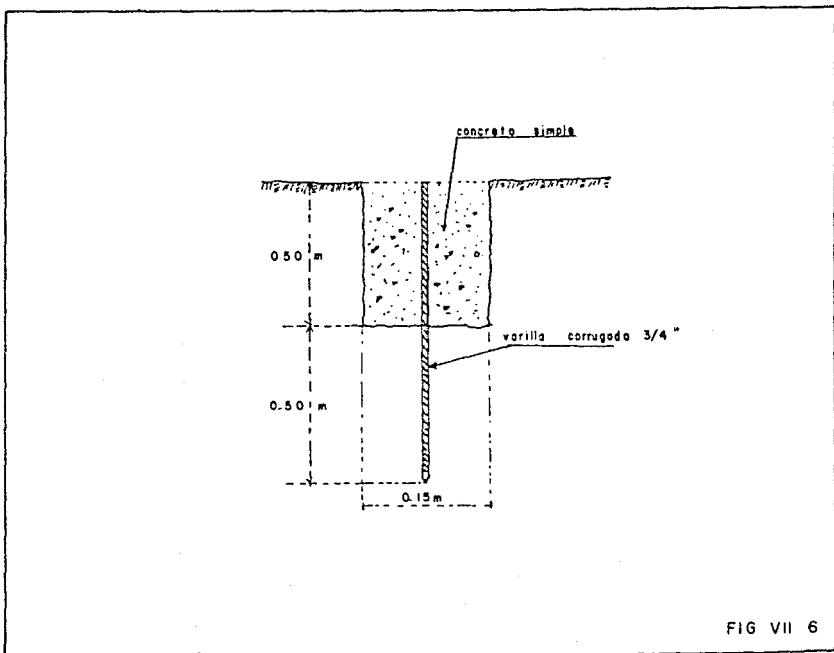
Entre los tramos L-5 a L-7 y L-9 a L-11 de la línea 7 no se efectuaron instalaciones de instrumentación, las cuales tenían como función principal la de cuantificar los movimientos verticales provocados por la excavación del túnel con los bancos de nivel superficial, instalados en la mayor parte de las secciones sobre el eje a 15, 30, 60 y 120 mts.

DESCRIPCION DEL BANCO DE NIVEL SUPERFICIAL.

La instalación de los BNS, se hace mediante perforaciones de 6" de \emptyset a 0.50 m. de profundidad; en dicha perforación se hincan una varilla de 3/4" de \emptyset en la parte central a 1.0 m. de profundidad. (ver fig.VII. 6), inmediatamente después se rellena el barrenado de concreto dejando al descubierto aproximadamente 1 cm. de la varilla para para tomarla como punto de referencia para su nivelación.

PRESENTACION DE RESULTADOS

Con el objeto de observar los asentamientos provocados por la excavación del túnel, las nivelaciones en los BNS, se hace diariamente cuando el frente del escudo se encuentra a 50 mts. antes de llegar a la sección y 50 mts. después de haber pasado por la sección, el banco que sirve como referencia dará las nivelaciones de las secciones. Debe estar +0.50 mts. del eje donde la influencia de la excavación no la afecte.



VIII.- PROBLEMAS PRESENTADOS DURANTE LA
CONSTRUCCION DEL TUNEL Y SOLUCIONES
DADAS

VIII.1.- TIPO DE MATERIAL NO IDENTIFICADO EN PROYECTO.

Grandes boleos: entre los cadenamientos.

Aparecieron en la sección de excavación grandes bloques de roca las cuales variaban en tamaño de 10 a 60 pulg. de ϕ . Dichos bloques se encontraron en la sección media inferior, como las rocas eran bastante grandes y no pasaban por la banda transportadora, la solución para retirarlas del frente de excavación fue el siguiente:

- Se colocaron poleas en la estructura del escudo.
- Se instaló un malacate neumático en la primera plataforma del tren de arrastre del escudo.
- Y con cable de acero se amarraban las rocas para que posteriormente fueran jaladas por el malacate neumático y colocarlas en la estructura del escudo.
- Después con los polipastos del escudo eran sujetadas las rocas y eran colocadas en los truck para dovelas, los cuales las llevaban hacia la lumbrera para que las sacaran con la grúa y depositarlas en los camiones de volteo.

VII.2.- ESTRATOS ARENOSOS INESTABLES (CAIDOS)

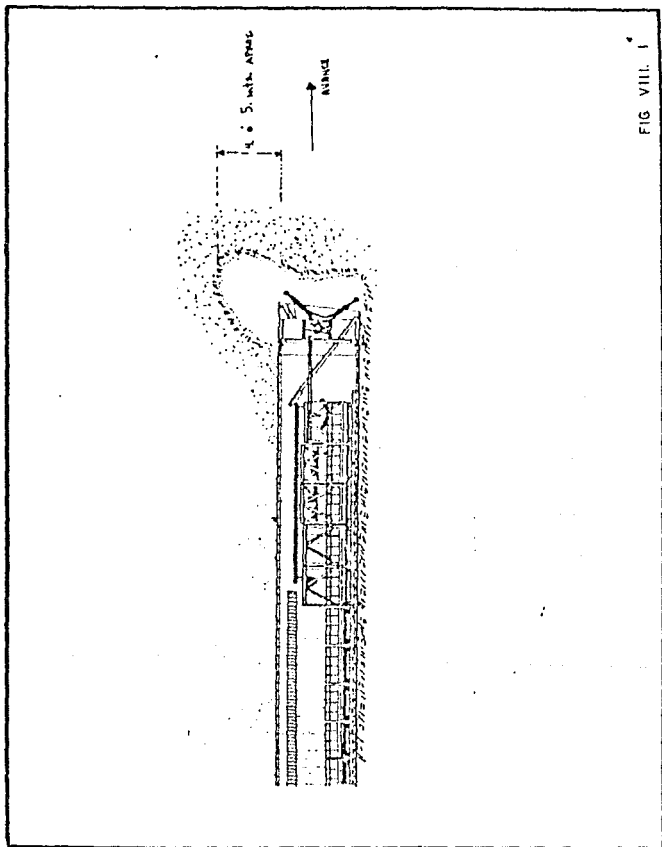
Durante la construcción del túnel de la línea 7 nn del metro entre los cadenamientos 6 + 543.00 al 6 + 555.00 aproximadamente del tramo Camarones - Refinería, se registró un caído causado por la presencia de arenas finas, que se localizaban de la parte media superior hasta 4.0 ó 5.0 mts. aproximadamente arriba de la clave del escudo.

(ver la fig.VIII.1)

La presencia de estos materiales dentro de las tobas Limo-arenas que constituyen el material que se está excavando en el túnel, es debido a antiguos cauces sepultados ya que se encontraron en la excavación, arcilla y raíces de árboles. Cabe mencionar que la cohesión de este material era nulo, ya que con cualquier movimiento del escudo, era suficiente para que el material se estuviera desprendiendo. Por lo tanto el corte del material no se hacía (en la parte media superior) ya que el escudo, cuando se realizaba un empuje, lo iba cortando.

SOLUCION DADA:

Como consecuencia de los desprendimientos que se presentaron en forma sistemática sobre la clave del escudo, así como de los hundimientos registrados en los bancos de nivel superficial localizados sobre el eje de trazo y de la arraticidad de los materiales que se observaron en el frente de ataque, se propuso efectuar un tratamiento de



consolidación del suelo en un tramo de prueba a base de inyecciones de lechadas de agua-cemento-bentonita.

La aplicación del tratamiento antes mencionado se vio obligado por la presencia de un primer caído importante en el cadenamamiento 6 + 543.00, lo que obligó a ademar el frente y a suspender la excavación como medida de seguridad, para evitar que éste adquiriera consecuencias más graves.

Con la finalidad de iniciar los trabajos de recuperación del frente y asegurar el reinicio de la excavación, se indicó colocar bentonita con aceite soluble en el perímetro exterior del escudo para posteriormente iniciar la perforación de barrenos de inyección desde el interior del mismo con la finalidad de inyectar el suelo suelto producto del caído que se localizaba adelante del escudo. La perforación de estos barrenos se realizó aproximadamente a 45° con respecto a la horizontal, a través de las compuertas del sistema de ademe frontal, con un diámetro de 2" Ø y una longitud variable entre 2.5 m y 13.0 m.

El tratamiento se realizó con una mezcla agua-cemento-bentonita-arena incluyendo acelerante de fraguado, iniciando la inyección de los barrenos de menor longitud, y a bajas presiones para concluir con los barrenos de mayor longitud, inyectando la mezcla a una presión máxima de 3 Kg/cm².

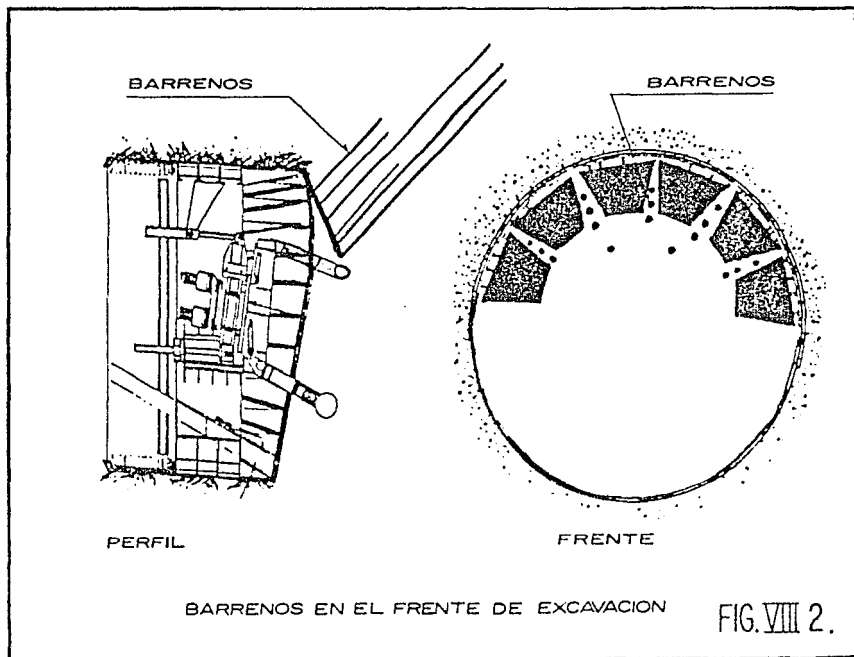
Se perforaron un total de 17 barrenos desde el frente del túnel inyectándose un volumen aproximado de 90 m³, con lo cual se consideró satisfactorio el tratamiento del frente.

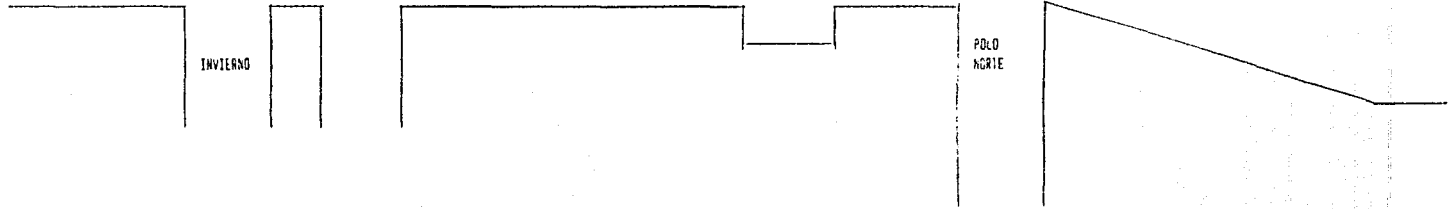
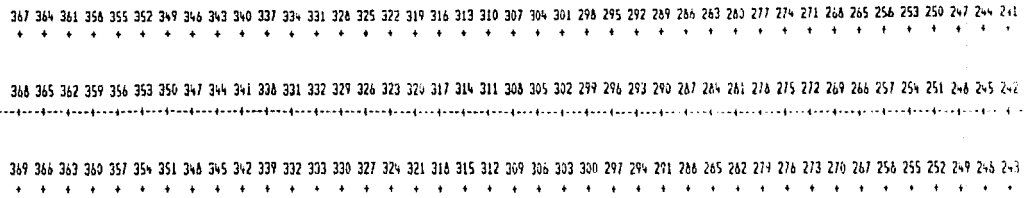
(fig. VIII.2)

Simultáneamente con estos trabajos y con la finalidad de consolidar los estratos arenosos que se presentaron, se consideró necesario efectuar el tratamiento del subsuelo desde superficie, de tal manera de interferir lo menos posible con el proceso de excavación y que éstos fueran frentes independientes.

En lo subsecuente, para la ubicación, distribución y nomenclatura de barrenos ver fig. VIII.3

La mezcla de inyección que se empleó para el tratamiento del subsuelo en el tramo Camarones - Refinería fue a base de agua cemento-bentonita y acelerante, que se definió en función, como primera instancia, de la experiencia que ya se tenía en suelos con características similares y, en segundo término de las condiciones existentes en la estratigrafía particular del tramo.





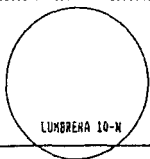
S I M B O L O G I A

-
- o BARREROS CON TRATAMIENTO A BASE DE LECHADA
- * BARREROS CON TRATAMIENTO A BASE DE PRODUCTOS QUÍMICOS
- BARREROS CON TRATAMIENTO A BASE DE LODO FRABUADO

P L A N T A

-
- LOCALIZACION DE BARREROS
- "TRATAMIENTO DE CONSOLIDACION"
- TRAMO: REFINERIA-CANARONES

FIG. VIII. 3



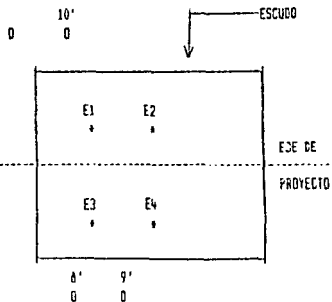
0 0 0

64 61 58 55 52 49 46 43 40 37 34 31 28 25 22 19 16 13 10 7 4 1 1' 4'
 0

65 62 59 56 53 50 47 44 41 38 35 32 29 26 23 20 17 14 11 8 5 2 2' 5"
 -0

66 63 60 57 54 51 48 45 42 39 36 33 30 27 24 21 18 15 12 9 6 3 3' 6"
 0

7'
 0



A
 Q
 U
 I
 L
 E
 S

FIG. VIII. 3

El proceso de inyección que se solicitó fué el de manguitos con progresiones ascendentes de 0.50 m. de espesor, estimando un radio de acción de 2.0 m, el cual, dados las características granulométricas del suelo se consideró como aceptable.

Con base en lo anterior y en función del ancho a tratar, se determinó analizar líneas de barrenos separados a cada 4.0 m. en los sentidos longitudinal y transversal, con lo que se lograba tener una zona inyectada hasta 1.25 m. a ambos lados del escudo como resultado de considerar radios de acción entre barrenos de 2.0 m.

Con la finalidad de evitar movimientos en la zona del caído por efecto de las presiones de inyección, se decidió iniciar la perforación de las líneas de barrenos a partir de 15.0 m. adelante de la cachucha del escudo (cad. 6 + 558). Las primeras tres líneas se perforaron del nivel de terreno natural hasta los 24.5 m. de profundidad (4.5 m. por abajo de la clave del escudo), y el resto (10 al 60) hasta 23.5 m. con progresiones a cada 0.5 m. comprendida desde los 16.50 m. hasta la profundidad final del barreno (24.50 m).

El proporcionamiento inicial tentativo para la mezcla de inyección especificada por el proyecto fué el que cumplía con una relación agua-cemento 2:1 con el 5% de bentonita, adicionando del 2 al 4% de acelerante de fraguado en relación al peso del cemento, inyectándose a una presión máxima de 7 Kg/ cm².

Por la incertidumbre de la magnitud y progreso del caído, el volumen a inyectar por progresión se planteó en forma libre hasta alcanzar la presión especificada.

Para acelerar los trabajos de inyección y en busca de la dosificación más adecuada partiendo de la inicial, se realizaron pruebas directas en campo, llegándose a la conclusión de que la mezcla que penetraba satisfactoriamente en el terreno era la que cumplía con una relación agua cemento de 3:1 manteniendo constantes la bentonita y el acelerante de fraguado.

Concluidos los trabajos de inyección desde el interior del escudo, se decidió reforzar la zona comprendida entre la cachucha del escudo y la primer línea a barrenos localizada a 15.0 m. de éstas, para lo cual se perforaron dos líneas adicionales de 3 barrenos cada una (del 1' al 6') a 11.0 m. y 7.0 m. de distancia de la cachucha del escudo, asimismo se solicitó la perforación de barrenos que se localizarían en forma lateral a la posición del escudo (del 7' al 10'), que se inyectarían posteriormente al arranque del escudo con la finalidad de reforzar el suelo una vez que se hubiera revestido el túnel en dicha zona.

La secuencia de inyección que se planteó, fue la de tratar en primer término los barrenos laterales de tal forma de crear una frontera, para posteriormente inyectar los barrenos centrales con la finalidad de tratar de evitar consumos excesivos de mezcla de inyección.

Por otra parte, con el propósito de rellenar la oquedad del caído, se propuso la perforación de cuatro barrenos (E1 a E4) que se perforaron en dos etapas: La primera correspondió del nivel de terreno natural hasta 11.0 m. de profundidad, para efectuar la cementación y evitar que el nivel freático se comunicara con la oquedad; y la segunda etapa consistió en la reperfusión de los 11.0 m. de profundidad, continuando hasta llegar a 1.0 m. por arriba de la clave del escudo.

Al efectuar la perforación del barreno E1, se detectó la presencia de una oquedad entre los 4.0 m. y los 7.0 m. de profundidad, planteándose la alternativa de rellenarla o continuar con la perforación, optando por esta última ya que en caso de que existiera por debajo de aquella la oquedad producto del caído, con el relleno se podría crear un colapso del techo de dicha oquedad, que sería muy riesgoso y el problema podría adquirir consecuencias mayores a las ya existentes. La perforación de este barreno se concluyó sin detectar la oquedad del caído, lo que hizo suponer que la oquedad original había progresado hasta 4.0 m. por abajo del nivel de terreno natural.

Para verificar lo anterior, se realizó la perforación del barreno E2, que confirmó la progresión del caído, detectándose nuevamente la oquedad entre los 4.0 m. y los 7.0 m. de profundidad, lo que obligó a suspender la perforación para efectuar el relleno de la oquedad existente, consumiendo un total aproximado de 260 m³.

Rellenada la oquedad se perforaron los barrenos E3 y E4, reperforando el E2 para la inyección del lodo fraguante sobre el escudo, consumiendo un total de 15.5 m3.

La inyección en los primeros sesenta barrenos se efectuó en la forma indicada, anteriormente, con la observación que en algunas progresiones el terreno tomaba demasiada lechada lo que obligó que a partir del barreno 61 se limitara el volumen en los barrenos laterales a 3.0 m3 máxima por progresión o alcanzar la presión especificada de 7 Kg/cm2, lo que ocurriera primero, tratando de esta forma de evitar de que la mezcla de inyección corriera fuera de la zona especificada de tratamiento. Asimismo, la profundidad de los barrenos se modificó a 22.0 m, efectuando el tratamiento entre esta profundidad y los 17.0 m.

Posteriormente, y debido al excesivo consumo de mezcla en los barrenos centrales se limitó su volumen a 4.0 m3 máximo por progresión o alcanzar la presión especificada, lo que ocurriera primero.

Al reiniciar los trabajos de excavación del túnel no se permitió retraer las compuertas y la excavación se efectuó con rompedoras neumáticas ya que en el material no se observa mezcla de inyección y existía la presencia de agua lo que orillo a tomar todas las precauciones necesarias. Para este momento el frente de inyección se localizaba aproximadamente a 67 m. adelante del escudo lo que permitía que entre la fecha de inyección y el tiempo que tardara en pasar el

escudo, la mezcla adquiere cierta resistencia.

La recuperación del frente fue lenta pero segura y una vez que se detectó terreno natural sano, se dió la aprobación para utilizar el brazo excavador largo en la sección media inferior utilizando las rompedoras neumáticas en la sección media superior.

La presencia de la mezcla de inyección en el terreno se observó en posición horizontal formando láminas de espesor variable, hasta de 15 cm.

El proceso de excavación se modificó parcialmente suprimiendo el uso de rompedoras neumáticas en la sección media superior, cortando exclusivamente con el brazo largo el material de la sección media inferior, provocando que durante el empuje del escudo y la retracción independiente de cada una de las compuertas el material se desprendiera por sí solo.

La excavación se realizó en la forma antes citada hasta el cad: 6 + 657, presentándose nuevamente arenas finas poco cementadas, donde la lechada no penetró por lo cerrado de la estructura propia del terreno, ocasionándose nuevamente un segundo caído aunque de consideraciones menores al anterior, lo que se puede atribuir a la presencia de mezcla de inyección en el terreno que se localizaba sobre la clave del escudo ayudando a evitar que el caído progresara.

En este momento se estudiaron las alternativas de solución variables para evitar que en el tramo aún no excavado se presentaran riesgos que pudieran retrasar la entrega de la

obra.

Como primera medida se solicitó ademar el frente para proceder a rellenar la oquedad creada como consecuencia del caído y reforzar el suelo mediante una reinyección de los barrenos ya tratados, para lo cual cada progresión debería contar con el volumen máximo especificado (3 m³ para barrenos laterales y 4 m³ para barrenos centrales) modificada la presión de inyección a 15 Kg/cm² o bien forzar el suelo con la presión necesaria para tal efecto.

Como medida de seguridad, se perforaron seis barrenos adicionales (del 13' al 19') ubicados a tresbolillo con los ya existentes, creando de esta forma condiciones aptas para el reinicio de actividades. El espesor de tratamiento en la reinyección se modificó quedando comprendido entre los 14.0 y los 22.0 m. Para el relleno de la oquedad se siguió un proceso similar al indicado para el primer caído, perforando nuevamente barrenos desde el interior del escudo apoyados con dos barrenos desde superficie (11' y 12').

Apoyados en los resultados de los estudios de exploración (3a. etapa) del subsuelo se planteó la necesidad de efectuar un tratamiento a base de productos químicos, con el propósito de impregnar los mantos arenosos y mejorar sus propiedades mecánicas, con lo que se estimaba lograr un mejoramiento de dichas propiedades además de incrementar la seguridad en el proceso de excavación.

Por lo anterior se definió el proporcionamiento tentativo

para la mezcla a base de productos químicos, especificándose:

Material	proporcionamiento
Silicato de Sodio	70:1
Agua	30:1
Acetato de Etilo	5:1
Estabilizador	2.5:1

Con el propósito de observar el comportamiento del suelo tratado con productos químicos, se efectuaron barrenos de prueba (identificados con los No. 22' a 27'), donde se inyectó un volumen de 0.7 m³ por progresión a 10 Kg/cm² máximo de presión en un tramo comprendido entre los 19.0 y los 23.5 m. de profundidad.

Exclusivamente en los barrenos 26' y 27' se incrementó el volumen de inyección a 1.5 m³ por progresión con la finalidad de obtener un parámetro de comparación. En estos barrenos de prueba, la profundidad quedó comprendida entre los 19.0 y 23 m. ya que su finalidad era la de observar directamente en el frente de avance el efecto y comportamiento del suelo tratado.

Debido a que en los primeros cuatro barrenos de prueba el producto químico gelaba y taponeaba las tuberías de conducción se decidió modificar el proporcionamiento antes citado, variando la cantidad de agua y el estabilizador sin perder de vista los efectos de cambio de temperatura y tipo

de suelo a tratar: de ésta forma el proporcionamiento definitivo se estableció así:

Material	Proporcionamiento
Silicato de Sodio	50:1
Agua	50:1
Acetato de Etilo	5:1
Estabilizador (Lidet)	1.5:1

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, determinándose que el volumen recomendable a inyectar sería de 4.0 m³ por progresión estimando un espesor de tratamiento de 7 m. comprendido entre los 15.0 y los 22.0 m de profundidad.

Al observar el radio de impregnación del producto químico se consideró necesario cerrar el espaciamento transversal de los barrenos de 4.0 m. a 3.0 m, a partir del barreno 178, lo que aseguraba un buen tratamiento y la posibilidad de utilización eficiente del equipo de excavación del escudo.

Por condiciones de tiempo, eficiencia y resultados obtenidos se solicitó reforzar la inyección de lechada entre los barrenos 139 a 162 con un tratamiento de productos químicos, para lo cual se perforaron los barrenos 28' a 41', ubicados a tres bolillo con los ya existentes, con el criterio antes citado.

La perforación e inyección con productos químicos se

estableció a partir del barreno 163, hasta 2.0 m. aproximadamente antes del paño exterior de la Lumbreira 11-N. Es necesario aclarar que en el cruce de Las Avenidas Ferrocarriles y 5 de Mayo, la plantilla de barrenos tuvo que ser modificada por la existencia de un número indefinido de tuberías de PEMEX, por lo que la perforación se llevó a cabo en sitios donde previamente se realizaron calas y existía la certeza de no crear un problema de consecuencias graves.

CONCLUSIONES

-Dadas las condiciones geológicas de la Ciudad de México, es de vital importancia el uso de escudo como herramienta de excavación.

-El escudo de 9.513 mts de Diam. es una recopilación de mecanismos que lo convierten en el unico en su tipo en el cual destaca la Ingeniería Mexicana que participó en su construcción desde su proyecto hasta su constitución material y operación de obra.

-El uso de escudos de excavación se justifica económicamente ya que se reduce el tiempo de construcción de la obra por realizar.

-Con el uso del escudo en la construcción de túneles, los asentamientos generados durante la excavación se reducen al mínimo por el soporte del escudo, así como la instalación realizada del revestimiento definitivo formada por dovelas prefabricadas de concreto armado, y la inyección de contacto correspondiente. Logrando de esta manera la estabilización de la masa del suelo.

-Reduce los daños que pudieran ocasionarse a construcciones cercanas.

-Los daños a vialidades son menores que en otro tipo de excavaciones.

-Con el Escudo de 9.513 m de diam. se reduce la cantidad

de mano de obra empleada en comparación con otros métodos.

-Su costo es comparable al de otros métodos, observando un resultado de mayor rendimiento.

-Se cuenta con el personal directivo, técnico y operativo con la preparación y experiencia necesaria, para la más adecuada operación de este tipo de proyectos y uso de tecnología.

-Con el uso de escudos en la construcción de túneles, se tiene una mayor seguridad para el trabajador.

-Este equipo proporciona la ventaja de ser un equipo de una alta rentabilidad por su gran resistencia al desgaste.

-La facilidad que ofrece el escudo en trabajo de construcción se traduce directamente en un índice económico favorable.

-El costo de inversión en el diseño e instalación del escudo es recuperable.

-En el campo del avance, éste se realiza con mucha más rapidez que un método convencional.

-Aporta la oportunidad de ser un tipo de obra, que siendo una fuente de trabajo, para un segmento de la población, ofrece a la par, al trabajador el ir adquiriendo una experiencia que lo lleve a desarrollar habilidades

especializadas, contribuyendo con esto, a un ingreso personal, y a la formación de recurso humano calificado, lo cual es una contribución al valor social: que se genera en el país por concepto de implementación de sistemas educativos acordes con la población de escasos recursos económicos incorporados al sistema productivo y con un nivel mínimo de escolaridad.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- BITACORA INTERNA DE LA OBRA
- 2.- ESPECIFICACIONES Y PLANOS DE LA OBRA
- 3.- CURSO VICTOR HARDY 87
" TUNELES Y EXCAVACIONES SUBTERRANEAS "
AMITOS
TOMO I Y II
- 4.- UTILIZACION DE ESCUDO DE FRENTE ABIERTO 9.15 MTS. DIAM.
-EN LA CONSTRUCCION DEL TUNEL PATRIOTISMO-TACUBAYA PARA
LA LINEA 9 PONIENTE DEL METRO DE LA CD. DE MEXICO.
TESIS
- 5.- EXCAVACION DE TUNELES EN SUELOS BLANDOS DE LA CD. DE
MEXICO BAJO AMBIENTE HIPERBARICO.
TESIS
- 6.- PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION DE TUNELES EN SUELOS BLANDOS
CON EL USO DE ESCUDO DE FRENTE ABIERTO YA AIRE COMPRIMIDO
TESIS