



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ACATLAN"

7957874-7

CONSTRUCCION DE LA TERCERA ETAPA DE LA  
LINEA 3 SUR DEL METRO  
(EXCAVACION SUBTERRANEA)

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :  
LEONARDO HERNANDEZ PEREZ



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 esta 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.

CONSTRUCCION DE LA TERCERA ETAPA DE LA LINEA 3 SUR DEL METRO  
(EXCAVACION SUBTERRANEA)

INDICE

	Págs.
INTRODUCCION. . . . .	1
I.- DESCRIPCION.	
1.1.- TRAZO DE LA LINEA. . . . .	3
1.2.- SELECCION DEL TIPO DE LINEA. . . . .	6
1.3.- DESCRIPCION DEL TRAMO. . . . .	11
1.4.- SECCIONES GEOMETRICAS. . . . .	15
II.- ESTRATIGRAFIA.	
2.1.- TIPO DE SUELO. . . . .	16
2.2.- PIEZOMETRIA. . . . .	18
2.3.- ESTABILIDAD DEL FRENTE Y LAS PAREDES. . . . .	21
2.4.- DETERMINACION DE CARGAS SOBRE EL ADEME A LARGO PLAZO..	22
2.5.- INSTRUMENTACION. . . . .	24
III.- TRAZO Y LOCALIZACION DE LUMBRERAS	
3.1.- TRAZO Y LOCALIZACION DE LUMBRERAS. . . . .	27
IV.- CONSTRUCCION DE LUMBRERAS Y EQUIPO UTILIZADO	
4.1.- CONTROL E INYECCIONES PARA ELIMINAR FILTRACIONES. . .	31

4.2.- EXCAVACION Y CONSTRUCCION DE LUMBRERAS. . . . .	37
V.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO Y EQUIPO UTILIZADO EN TUNEL.	
5.1.- INSTALACIONES EXTERIOES E INTERIORES. . . . .	43
5.2.- CONTROL TOPOGRAFICO DEL TUNEL. . . . .	44
5.3.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EMPLEADO EN TUNEL. . . .	44
5.4.- EXCAVACION FRENTE DE ATAQUE: VIVEROS, UNIVERSIDAD Y DALIAS. . . . .	55
VI.- REVESTIMIENTO.	
6.1.- PRIMARIO. . . . .	85
6.2.- DEFINITIVO. . . . .	95
6.3.- INYECCIONES DE CONTACTO. . . . .	101
CONCLUSIONES. . . . .	106

\* \* \*

## INTRODUCCION.

En la presente Tesis realizaremos una amplia exposición del procedimiento constructivo que se empleó para la excavación en el túnel de la tercera etapa de la Línea 3 Sur, del Sistema de Transporte Colectivo Metro.

Esperando que sea de gran ayuda o motivo de consulta, a las personas que tengan el interés de conocer este tipo de obras, que por su naturaleza reviste gran importancia en Ciudades cuyo transporte masivo es tan conflictivo como en la nuestra.

Es importante mencionar que en esta Tesis se realizará una descripción del túnel, esto es con el fin de que el lector tenga un mejor panorama de la gran envergadura de una construcción de este tipo.

Asimismo se estudiarán las diferentes alternativas para los diferentes tipos de línea, y de esta forma conocer el porque la selección túnel.

Para la construcción de una obra, por medio del procedimiento constructivo en túnel, es importante conocer el lugar donde se localizarán las lumbreras, esto lo exponemos en el presente trabajo, así como el procedimiento constructivo empleado.

Por último daremos a conocer lo referente al procedimiento constructivo empleado en el túnel, así como se mencionará la secuencia empleada para el revestimiento.

Esta Tesis fue realizada con el mayor esfuerzo posible, para conocer

a fondo este procedimiento constructivo, y de esta forma aprovechar al máximo las experiencias que se hayan tenido en este tipo de construcciones en el futuro, para beneficio de la comunidad en general.

### 1.1.- TRAZO DE LA LINEA.

Primeramente hablaremos para comprender mejor el trazo de la Línea - 3 Sur Tercera Etapa, las dos que la antecedieron.

#### Primera Etapa.

Con trazo de norte a sur va del conjunto habitacional Tlatelolco a Hospital General, contaba con 6 Km, de extensión totalmente subterránea y 7 estaciones.

#### Segunda Etapa.

Dentro de esta segunda etapa, la línea se amplió al Norte y al Sur.

La Línea 3 Norte con una extensión de 5.4 Kms., va de la estación -- Tlatelolco a los Indios Verdes, tiene 4 estaciones, de las cuales la Estación La Raza fué construída a cielo abierto y las siguientes estaciones -- que son "Potrero", "Basílica", e "Indios Verdes", en donde se construyeron los talleres "Ticomán" de mantenimiento mayor y menor, se construyeron superficiales.

Como ya se mencionó antes, dentro de esta segunda etapa la línea tuvo una ampliación al Sur, la cual mencionaremos a continuación.

Esta ampliación fue construída con una extensión de 5.3 Km. una de la Estación Hospital General a la Estación Zapata en solución totalmente subterránea a cielo abierto, la cuál contaba con 5 estaciones que son:

Centro Médico, Etiopía, Eugenia, División del Norte y por último la Estación Zapata.

Después de hablar de la secuencia de la Línea 3 en sus dos etapas anteriores procederemos a describir el trazo de la tercera etapa.

Para el trazo de esta Tercera Etapa se apoyó en los fundamentos básico del Plan Maestro del Metro, el cual es sin duda la columna vertebral del Sistema de Transporte Colectivo en la Ciudad de México.

El propósito del Plan Maestro, es tener una base de ordenación del área urbana, que sea el punto de partida del desarrollo ininterrumpido que resuelva por una parte, la deficiente transportación actual y que por otra plantea acciones a mediano y largo plazo, adaptándolas a la dinámica de una urbe que se perfila como la más grande del mundo, en razón de su crecimiento demográfico, económico y social.

#### Trazo de la Línea 3 Sur.

La línea 3 Sur del Metro, sigue la Dirección Norte-Sur, desde la Estación Zapata que actualmente funciona como terminal provisional, hasta la Ciudad Universitaria. Este nuevo tramo tendrá 6.5 km. y las estaciones: Centro Bancomer, Viveros, Miguel Angel de Quevedo, Copilco y Universidad.

En aproximadamente 3.5 kms. de esta prolongación se utilizará el sistema de construcción en túnel desde la estación Viveros hacia el Sur, a 23 Mts., de profundidad. Los 30 Kms. restantes están a profundidades de 8 a 14.00 mts. y se realizará en forma convencional mediante el cajón subterráneo con muros Milán.



El trazo de la línea se inicia en Av. Universidad y la Calle de -- Progreso, se alojará bajo la Av. Universidad. A la altura de la calle de Tuera, da vuelta hacia el sureste, siguiendo paralela a la Calle de Copilco, cruza Av. Cerro del Agua para tomar la Calle Acacias y Dalias hacia el Sur, llegando a los terrenos de Ciudad Universitaria.

Este trazo de la línea cumple con los siguientes objetivos del - - Plan Maestro como son:

Por Uso del Suelo

Se aprovecha el corredor tradicional de transporte colectivo, como es Av. Universidad.

Por Densidad Demográfica.

El sector donde se ubica el trazo corresponde a zonas cuya densidad es de más de 250 habitantes por hectárea, que es de las más altas de la - Ciudad.

Por origen y destino.

Se comunican grandes núcleos habitacionales con importantes centros de trabajo.

Así como proporciona el acceso a un importante centro de estudios - como es la U.N.A.M.

La transportación se realizara de una forma más rápida y cómoda en beneficio de la comunidad universitaria.

Otra de las causas por la que fué elegido el presente trazo fue -- porque la línea es lo más recta posible y por lo tanto permite a los - - usuarios un ahorro de tiempo en sus recorridos.

## 1.2.- SELECCION DEL TIPO DE LINEA.

Para determinar el tipo de Línea que se emplearía en la ampliación de la Línea 3 se estudiaron los diferentes tipos de líneas que se emplean en la construcción del Sistema de Transporte Colectivo Metro, las cuales son:

Solución Superficial.

Solución en Cajón Subterráneo.

Solución Elevada

Solución túnel

Para tener un mejor conocimiento de la selección tipo túnel en esta Línea, describiremos a continuación los diferentes tipos de solución que se nos presentan y de esta forma conocer las ventajas y desventajas que ofrece cada una de ellas, así como las condiciones específicas para su aplicación.

Solución Superficial.

La decisión de construir ciertas líneas del Metro, superficialmente fue tomando en cuenta las avenidas o calzadas que la planeación del metro reportó factible localizarlas, ya que contaban con una sección transversal de más de 40 Mts., lo cual permitía ubicar esta vía rápida de transporte colectivo con otras vías rápidas de transporte individual. La continuidad que esta vía requiere obliga a soluciones viales de paso a desnivel en las cruces de tránsito transversal; y en una Ciudad como la de México, este tipo de obras debe aparecer cuando menos a cada kilómetro con pasos peatonales elevados y a desnivel aproximadamente a cada-

500 Mts.

Este tipo de línea resulta conveniente por su bajo costo y su corto tiempo de ejecución.

Solución Subterránea.

Este tipo de línea es más costosa que la superficial y la elevada dado que en esta capital, las condiciones del subsuelo, cuyo nivel de aguas freáticas aparece a poca profundidad y también se presenta el problema del desvío de múltiples instalaciones subterráneas. Esta vía resulta de evidente aplicación en calles estrechas, de 12.00 a 15.00 Mts., y en las zonas céntricas, cuya densidad urbana tiene un porcentaje muy alto.

Solución Elevada.

La construcción de este tipo de solución es más costosa que la superficial y su implementación se restringe a avenidas con un mínimo de 30 Mts., de ancho con el objeto de permitir una adecuada integración del contexto urbano. Sus principales ventajas consisten en que no afecta mayormente a la vialidad y reduce los problemas de interferencia con las instalaciones subterráneas.

Solución Túnel.

Este tipo de línea se implementa cuando es necesario tener el menor número posible de interferencia con la superficie. A pesar de que su costo inicial resulta más elevado que en los casos previamente tratados; se ha confirmado que con el paso del tiempo lo invertido se recupera a gran escala, pues no se afectan los terrenos, calles, tránsito ni insta-

laciones municipales.

Después de conocer las diferentes alternativas que tenemos para la construcción de la ampliación de la Línea 3, se tomaron en cuenta los siguientes factores en términos generales para la selección túnel.

- \* Costo de Obra Civil por Km.
- \* Tiempo de ejecución de la Obra Civil.
- \* Obstrucción de la Vía Pública durante la ejecución.
- \* Interferencias con los servicios municipales.
- \* Conservación de Obras y Equipo
- \* Mantenimiento de la Vía.
- \* Paisaje urbano: Aspecto estético y barrera física.
- \* Futura disponibilidad vial.
- \* Libramientos viales perpendiculares inducidos.
- \* Selección adecuada del procedimiento para la construcción del túnel.

La posibilidad de construcción del metro en túnel, resultó una necesidad ya que esta línea se localiza sobre una avenida de mucha importancia con una alta densidad vehicular. Por eso una solución subterránea en cajón no era conveniente, ya que originaría desvíos de tránsito y se incrementarían el ya caótico problema de tránsito en la Ciudad.

Por lo que respecta al costo de la obra civil, este tipo de solución es muy alto, pero además nos ahorraríamos en las afectaciones que pudieran haberse realizado en la construcción en cajón, así como al no efectuar gasto alguno por concepto de pasos peatonales y a desnivel.

Por esta razón Av. Universidad seguirá teniendo la fluidéz con la que se cuenta antes de la construcción del túnel.

Muy importante es mencionar que ha partir de la intersección de la Av. Miguel Angel de Quevedo con Av. Universidad, la solución túnel fue la más viable por el tipo de suelo que se nos presentó hasta la rampa de salida.

Otro motivo por el cuál se seleccionó el túnel, es que con este tipo de obra, el paisaje urbano no se altera por ningún motivo en cuanto a su aspecto estético, que es un factor muy importante preservarlo en zonas como Coyoacán.

Además que la selección túnel de la línea 3 Sur, evitará el desvío de colectores así como de redes de distribución de agua.

Por lo que respecta a la conservación y mantenimiento de los equipos, este tipo de solución presenta las mejores condiciones, debido a que los equipos no están expuestos a la intemperie.

Es importante mencionar el hecho, que la Línea 3 Sur construída en túnel es la primera que se realiza de gran magnitud, pues anteriormente se construyó un pequeño tramo en la primera etapa de la Línea 2.

En cuanto a las estaciones en túnel como es el caso de Viveros y Miguel Angel de Quevedo son las primeras que se construirán con este procedimiento constructivo.

Una vez conocido el tipo de Línea procederemos a conocer la profun-

dad en la cual se alojarán los túneles.

La profundidad de los túneles fué definida por dos conceptos fundamentales de gran interrelación; el techo mínimo para llevar a cabo un buen procedimiento constructivo seguro, según el tipo de suelo; y la ubicación adecuada de los accesos a las estaciones, de tal manera que los usuarios no recorran grandes profundidades.

Con el fin de poder conocer las propiedades mecánicas del subsuelo en las zonas donde se construirá el metro, se procedió a efectuar sondeos de exploración a cada 100 mts., de las cuales se extrajeron 2 tipos de muestras alteradas e inalteradas.

Las muestras alteradas se obtuvieron hincando a presión tubos muestreadores de pared gruesa de 3.5 cm. de diámetro y 5 cm. de diámetro exterior.

Las muestras inalteradas se obtuvieron hincando a presión tubos muestreadores de pared delgada tipo Shelby de 10 cm. de diámetro interior. Cuando la consistencia del subsuelo no permitió el hincado de los tubos anteriores se utilizó denison, hincado a presión y rotación, con el cual se tomaron muestras de 10 cm. de diámetro.

El estudio estratigráfico decidió alojar el túnel en los suelos duros, estableciéndose una distancia mínima entre la clave y nivel del terreno natural de 1.0 a 1.5 veces el diámetro de sección excavada.

### 1.3.- DESCRIPCION DEL TRAMO.

La construcción de la tercera etapa de la Línea 3 Sur, se iniciará a partir de la Estación Zapata a la Estación Universidad, en esta ampliación se encuentran localizadas las siguientes estaciones.

Centro Bancomer

Viveros

Miguel Angel de Quevedo

Copilco

Universidad

El tipo de construcción en las estaciones es el siguiente:

Para la estación Centro Bancomer la solución que se empleó fue por medio de cajón subterráneo, por lo que respecta a la Estación Viveros como Universidad se empleará el método de túnel para su construcción, la siguiente Estación que es Copilco utilizaremos el mismo procedimiento empleado en la Estación Centro Bancomer que fue por cajón subterráneo.

Por último, la Estación Universidad será por medio de la solución superficial.

El tramo de la Línea 3 Sur proyectado en túnel se inicia en la cabecera norte de la Estación Viveros situada en Av. Universidad y la Calle de Progreso en Coyoacán. (Fig. 1.1)

Para el efecto de la excavación del túnel fue necesario construir una lumbrera de acceso llamada lumbrera viveros. Esta lumbrera servirá pa

ra la construcción de dos túneles gemelos separados 9.00 mts., uno del otro con una sección herradura de excavación de  $39.41 \text{ m}^2$ .

Estos túneles funcionarán como conducciones del metro, en un sentido y en sentido contrario.

La longitud de cada uno de ellos es de 820 mts., hasta conectar con la estación Miguel Angel de Quevedo, estación subterránea que estará situada en Av. Universidad y Av. Miguel Angel de Quevedo.

En el tramo Viveros-Miguel Angel de Quevedo, para tener un acceso de un túnel a otro a 10.00 Mts., de la Lumbrera Viveros, perpendicularmente se construirá una Galería de Interconexión de  $24.18 \text{ m}^2$  de sección, según se indica en la Fig. 1.2

La razón por lo que se procedió a construir lo anterior fue por lo siguiente:

Como la lumbrera Viveros la tenemos localizada aproximadamente a 20.00 mts., de la Cabecera Sur de la Estación Viveros, además esta lumbrera se encuentra localizada sobre el eje de un túnel de una vía, nos servirá únicamente para la extracción de la rezaga producto de la excavación del túnel donde se encuentra localizada.

En cambio en el otro túnel se tendría que recorrer hasta la Lumbrera Margaritas, en cuya zona se localiza una galería de interconexión, la cual comunica los dos túneles con la Lumbrera Margaritas, para extraer la rezaga a la superficie, este fue el motivo por lo que se construyó el acceso el cual nos permitirá extraer el material por la Lumbrera Viveros sin nece-



sidad de realizar un gran recorrido.

La estación Miguel Angel de Quevedo, como se dijo anteriormente, es subterránea y consistirá en dos túneles para andenes con área cada uno de ellos de  $64.95 \text{ m}^2$  y tendrá una longitud de 150 mts., de la Cabecera Norte a la Sur.

Estas mismas condiciones en cuanto a los túneles para andenes serán con las que contaremos en la Estación Viveros.

Los dos túneles de la Estación Miguel Angel de Quevedo, al salir de esta en el tramo Miguel Angel de Quevedo-Copilco, se unirán por medio de un "Pantalón".

Este pantalón es la unión paulatina de los dos túneles hasta formar un sólo túnel de dos vías, con una sección de excavación de  $64.95 \text{ m}^2$ , la longitud del pantalón es de 90.00 mts. (Fig. 13).

Para la construcción de la Estación Miguel Angel de Quevedo se tienen proyectadas dos lumbreras, una de cada lado de Av. Universidad. Las dimensiones de estas lumbreras son iguales a la de Viveros.

La construcción del tramo de túnel de la Estación Miguel Angel de Quevedo a la Estación Copilco se hará por dos frentes de ataque, por esto se proyecta una lumbrera auxiliar. Partiendo de esta lumbrera, por un túnel de sección de dos vías llegará al punto del trazo del túnel principal a partir de donde se atacarán los dos frentes de excavación; uno hacia la Estación Miguel Angel de Quevedo en una longitud de 462.00 Mts., el otro hacia la siguiente estación que es Copilco a 743.00 mts.

La Estación Copilco se construirá a cielo abierto.

El último tramo de túnel de la Línea 3 Sur tiene una longitud de - - 913.00 Mts. El cuál se tiene programado atacar por la lumbrera que se encuentra después de la Estación Copilco hacia el sur, así como por la rampa de salida del túnel. Para éello es necesario excavar la rampa de trabajo -- con una longitud de 190.00 mts., y pendiente del 6.71% de promedio; el volumen por excavar es de 9,000.00 mts.<sup>3</sup>



AMPLIACION DE LA LINEA 3 DEL METRO DE LA CD. DE MEXICO

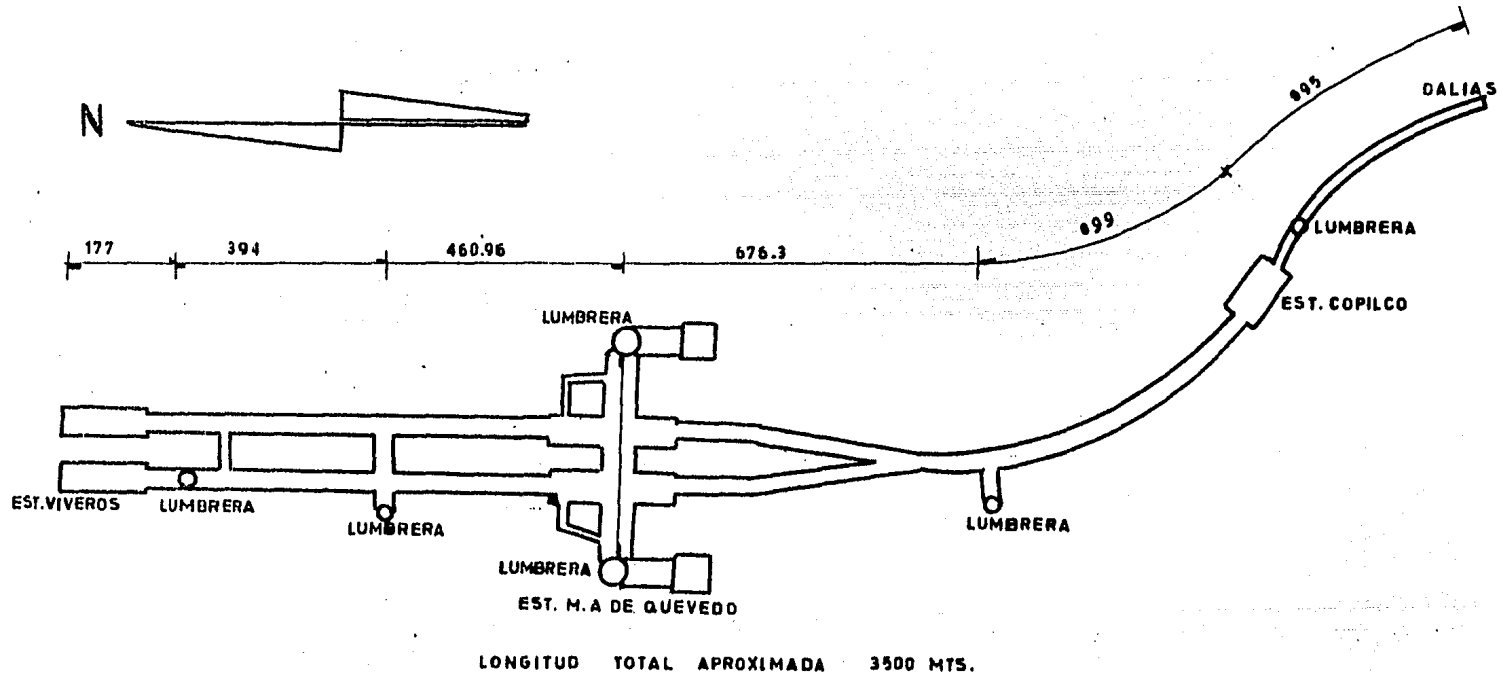


FIG.1.1 LOCALIZACION DE LA TERCERA ETAPA DE LA LINEA 3 SUR DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO

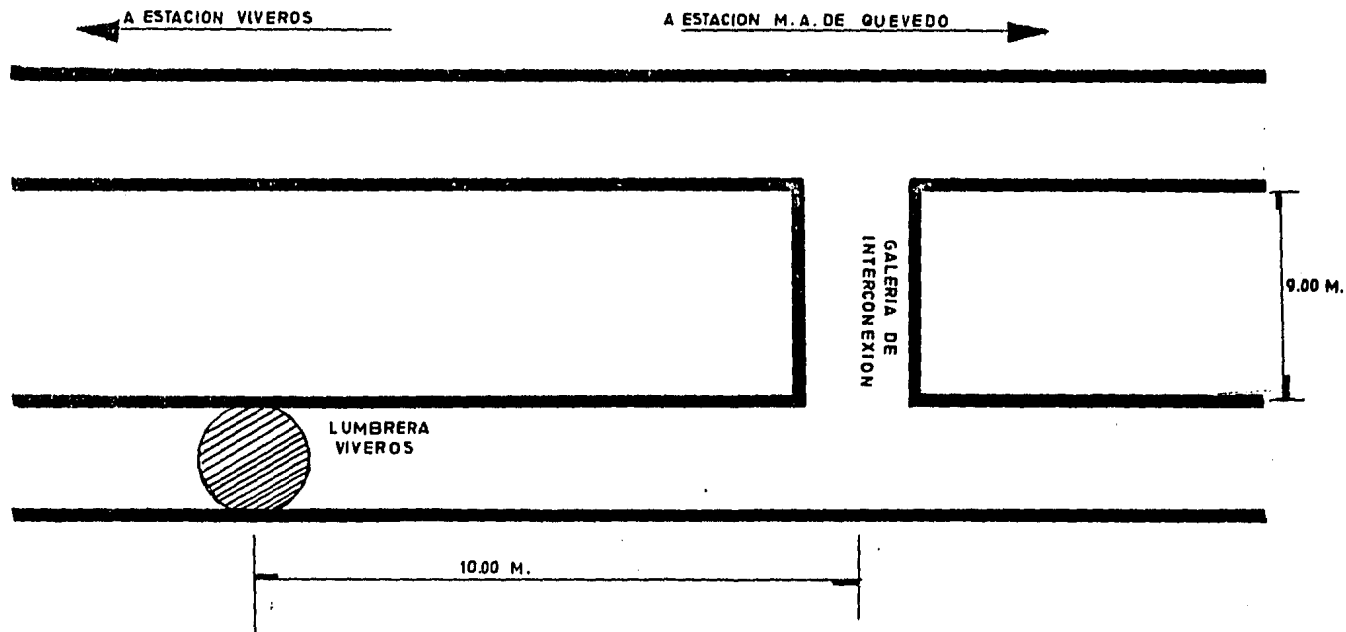


FIG.1.2 GALERIA DE INTERCONEXION EN EL TRAMO VIVEROS—MIGUEL ANGEL DE QUEVEDO

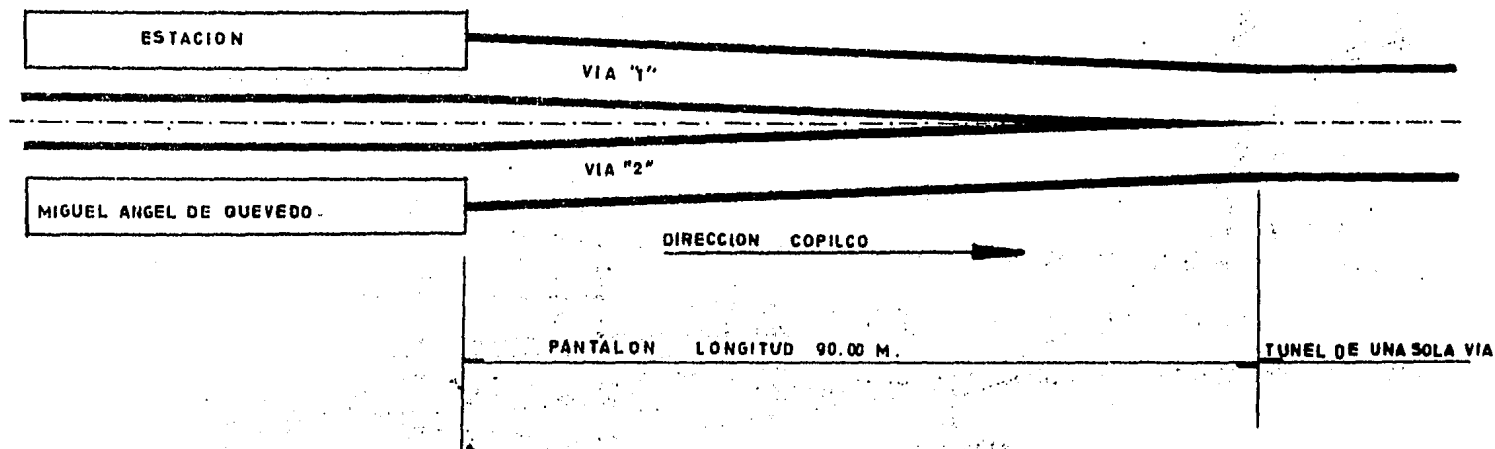


FIG.13 LOCALIZACION DE LA UNION DEL PANTALON CON TUNEL DE UNA VIA EN EL TRAMO M.A. DE QUEVEDO - COPILCO.

#### 1.4.- SECCIONES GEOMETRICAS.

La sección de los túneles de una sola vía de la Línea Tres Sur son en herradura de 6.81 m. de altura y de 7.20 de ancho (Fig. 1.4). La sección que se proyectó para los túneles de dos vías fué de 8.43 m., de altura y de 9.34 m., de ancho, también de Sección Herradura con arcos de circunferencia en la Clave. (Fig. 1.5)

Para las estaciones se decidió que el proceso constructivo necesario para asegurar la estabilidad estaba constituido por dos túneles empalmados uno de los cuáles deberá ser construido antes que el otro, por lo que la sección estuvo constituida por dos secciones en Herradura empalmadas, de 14.30 m., de ancho total y 10.00 mts., de altura aproximada.

Para llegar a la estación es necesario abrir gradualmente las vías hasta llegar a los andenes, lo cual hizo necesario el proyectar una sección especial de transición de 40.00 mts., de longitud antes y después de las estaciones, la sección de esta transición fue ligeramente mayor a la del tramo de dos vías.

La cual tiene 10.70 mts., de ancho y de altura tiene 8.177 (Fig. 1.6)

Para las galerías de interconexión se proyectó la siguiente sección de 4.90 mts., de ancho y con altura de 5.27 mts. (Fig. 1.7).

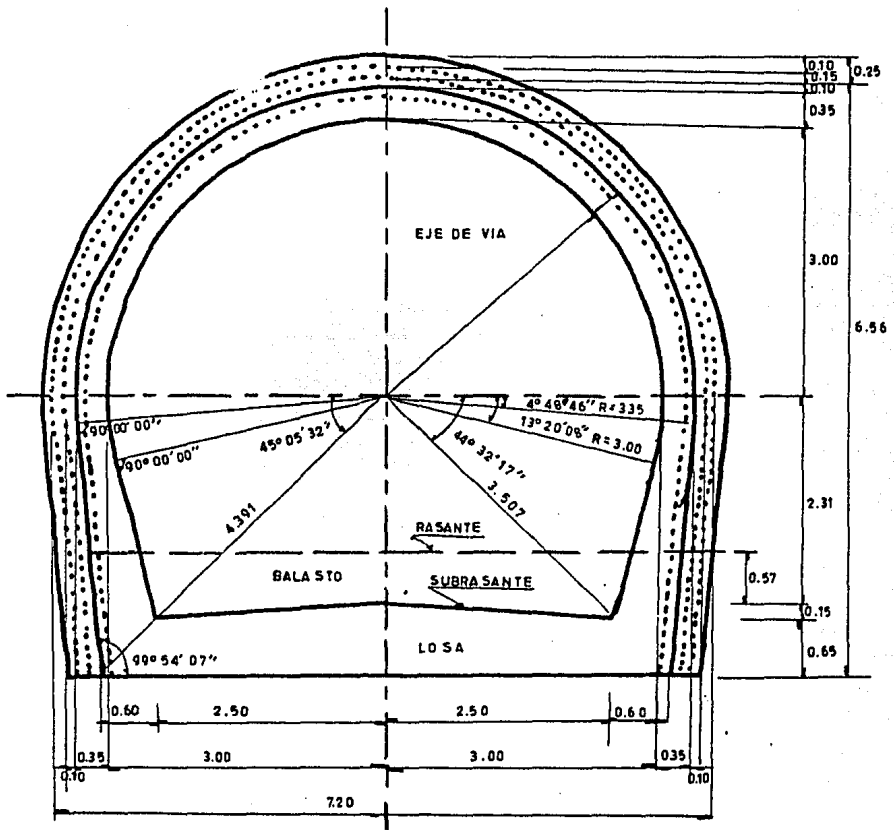


FIG.1.4 SECCION DE UNA VIA



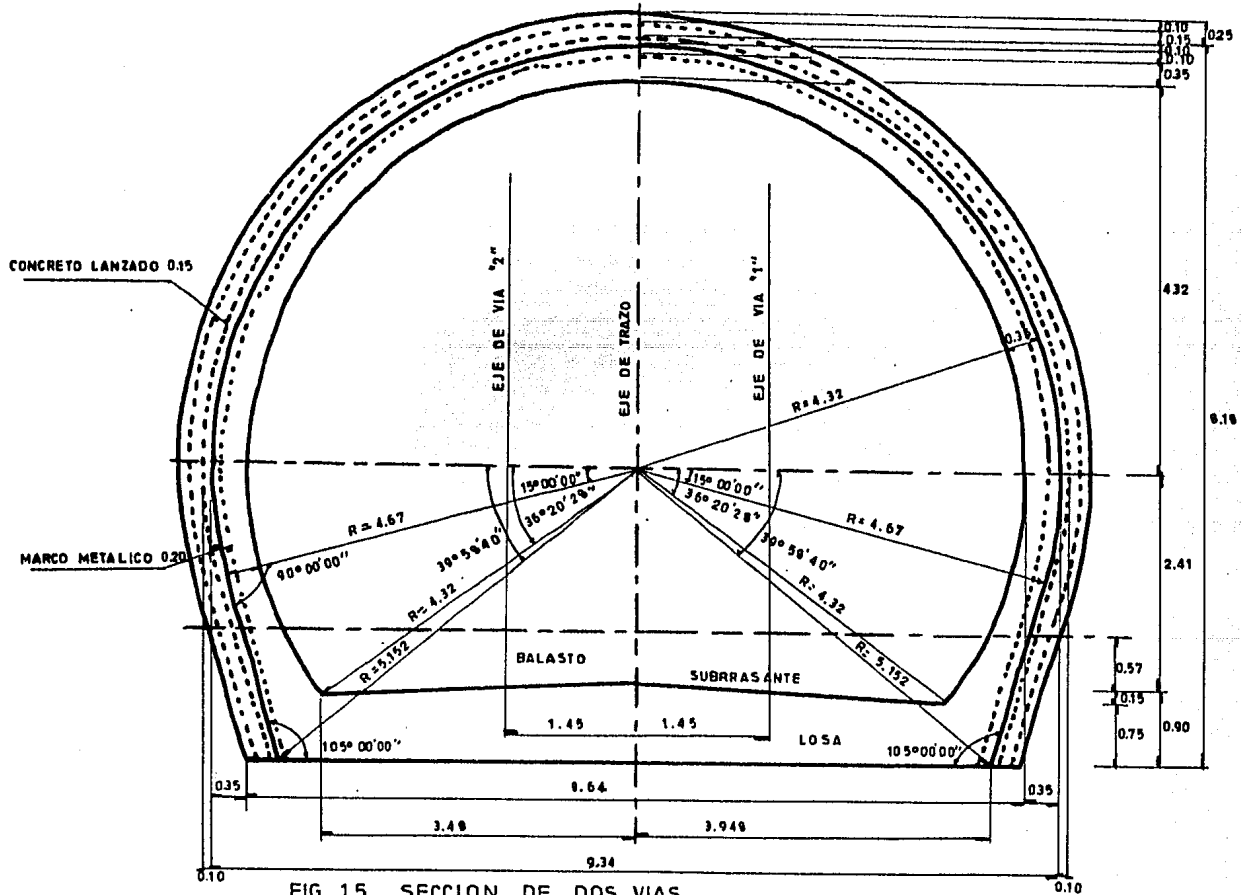


FIG. 1.5 SECCION DE DOS VIAS

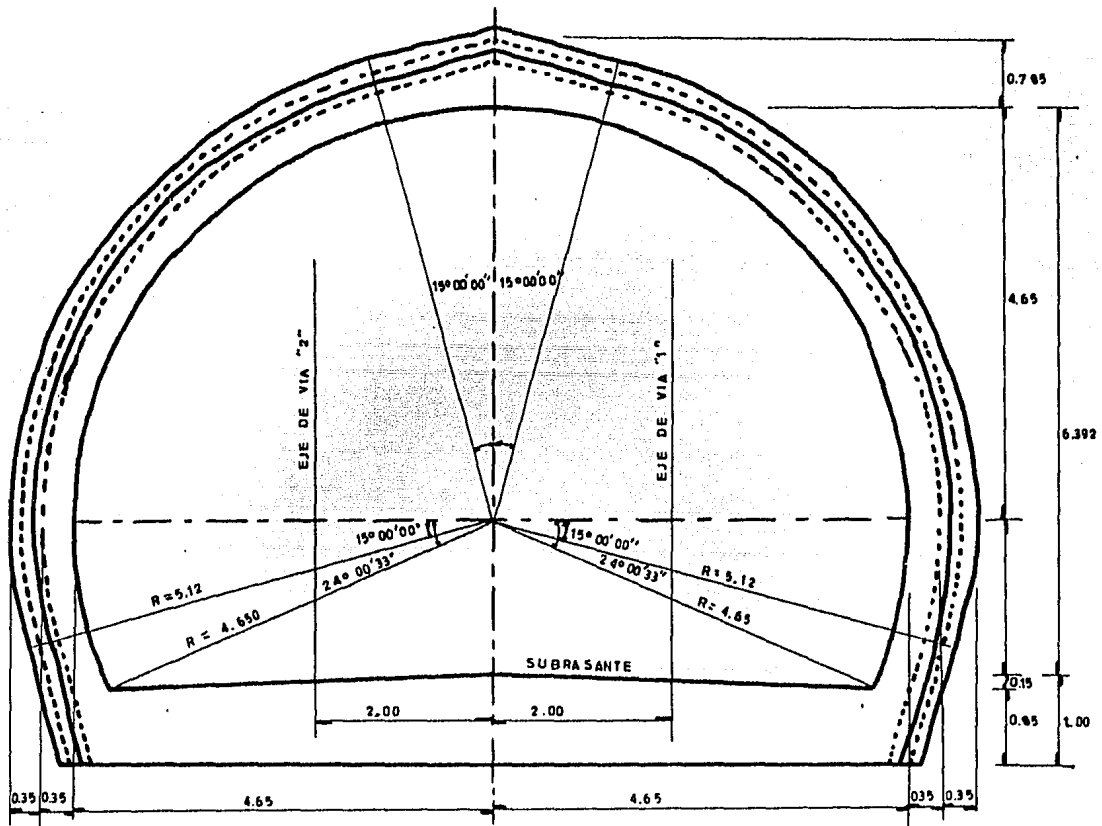


FIG. 1.6 SECCION ESPECIAL DE TRANSICION

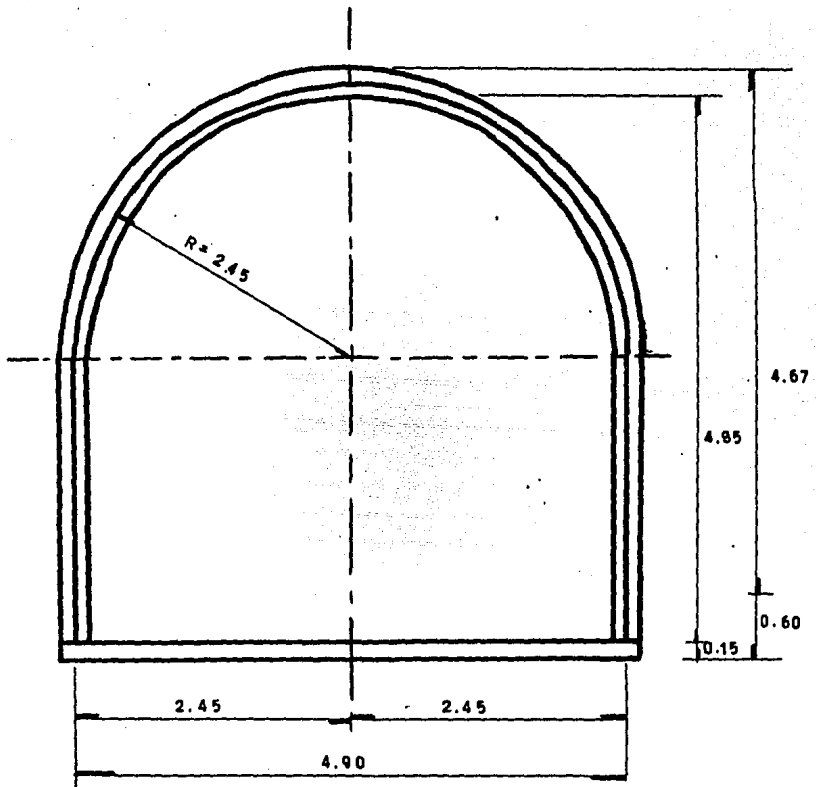


FIG.1.7 SECCION PARA GALERIA DE INTERCONEXION DE TUNELES

## 2.1.- TIPO DE SUELO.

En términos generales puede decirse que los túneles de la Línea 3 - Sur están alojados desde el punto de vista estratigráfico, en la llamada zona de lomas, caracterizada principalmente por la ausencia de arcilla -- volcánica blanda compresible.

En el tramo Viveros-M.A. de Quevedo entre los primeros 6.0 a 8.0 m. se encuentran unos limos arenosos y arenas limosas de capacidad media cuya resistencia a la penetración estándar varía entre 20 y 40 golpes. Abajo de esta profundidad estos mismos materiales se presentan muy compactos y con una resistencia a la penetración de más de 60 golpes. En algunas -- zonas abajo de los 8.0 m., de profundidad existen gravas y boleos empacados en arenas limosas.

A la altura de la calle Panzacola y en un tramo de 150 m., de longitud aproximadamente, se han detectado arenas y gravas limosas sueltas desde la superficie, lo que obligó a decidir usar dos túneles paralelos de la sección necesaria para alojar un carro de metro con objeto de lograr un proceso constructivo más seguro.

Asimismo, de acuerdo con esta estratigrafía se decidió que la profundidad a la que se alojarán los túneles tuviera un techo de 1.5 a 1.7 veces el ancho del túnel.

Hacia la Estación M.A. de Quevedo se detectó una lente de basalto -- ubicada entre la superficie hasta una profundidad de 4 a 7.0 m., que aparece desde la Av. M.A. de Quevedo hasta la Calle de Oxtopulco hacia el Sur.

Esta lente de basalto le proporciona un techo rígido a los túneles - que formarán la estación M.A. de Quevedo.

Hacia la Estación Copilco y C.U. la estratigrafía encontrada está -- constituida por arenas y limos muy compactos, en algunos casos cementados; se detecta la presencia de lentes aisladas de basalto y riolitas. La resistencia al corte de estos materiales determinados a partir de pruebas triaxiales consolidadas no drenadas arrojan ángulos de fricción interna variables entre  $38^{\circ}$  y  $45^{\circ}$  y cohesiones variables entre 10 y 20  $\text{ton/m}^2$ .

En el tramo M.A. de Quevedo-Copilco los túneles se convierten en uno solo de una sección mayor para alojar los dos carros del metro a la vez en vista de que el material del subsuelo mejora notablemente sus características de resistencia al corte. Asimismo se decidió que el techo del túnel -- fuera de 1.2 veces el ancho.

La salida del túnel a la superficie se ubicó en el tramo Copilco-C.U. a la altura de la Calle Dallas. En esta zona el túnel atraviesa una formación de basalto fracturado en toda la sección que hará necesario implementar un proceso de excavación especial para este tipo de materiales.

## 2.2.- PIEZOMETRIA.

Con objeto de conocer las presiones de agua a las que se va a estar sujeto el túnel durante y después de su construcción, se procedió a instalar varias estaciones piezométricas constituidas por piezómetros abiertos tipo casagrande a 6,10,14,20,28,30 y 40 mts., de profundidad a lo largo de la Línea 3 Sur.

En la (Fig. 2.1) se muestra una gráfica de la piezometría para un tramo típico de la línea.

La figura anterior indica que no existirán ni a corto ni a largo plazo, presiones de poro sobre el túnel.

Para cada estación piezométrica se instalarán cinco piezómetros abiertos desplantados a 6.00, 10.00, 16.00, 23.00 y 35.00 m., a partir del terreno natural, la separación entre piezómetros será de 1.00 m.

Estos piezómetros se alojarán dentro de perforaciones de 6" de diámetro y estarán embebidos en un filtro de arena bien graduada.

Arriba del filtro se colocará un sello de 1.00 m., de espesor constituido por bolas de bentonita, sobre el cuál se colocará un material de relleno producto de la excavación.

Los piezómetros se alojarán dentro de un ademe metálico o de P.V.C. de 2" de diámetro (Fig. 2.2). Las perforaciones, deberán realizarse sin usar lodo bentonítico y deberá colocarse un registro con tapadera en cada uno de los instrumentos para su protección. Cada piezómetro deberá insta-

larse dentro de una sola perforación.

Es importante que los piezómetros deberán calibrarse antes de su colocación.

Una vez instalados los piezómetros, deberán leerse una vez cada diez días durante un tiempo de 6 meses a partir de la fecha de su instalación. Simultáneamente a la toma de lecturas deberá construirse una gráfica presión piezométrica contra tiempo.

Estas lecturas deberán efectuarse con un manómetro calibrado tipo bourdon o de mercurio. Las gráficas de las mediciones se deberán llevar sin retraso.

Para algunas estaciones piezométricas se instalará un banco de nivel profundo, colocado a la profundidad de la estación más profunda o sea 35 mts., y a 1.00 mts., de la estación piezométrica número cinco.

El banco estará constituido por un tubo de 1" de diámetro y encamisado con un tubo galvanizado de los usados para bajada de agua pluvial de 3" de diámetro; el cual quedará fijo en el fondo de la perforación en que se instale. (Fig. 2.3).

Será necesario darle cota al banco de nivel profundo que se instalará por lo que se deberá traer la nivelación desde un banco de cota conocida.

La frecuencia de las lecturas en los bancos será de una vez por quincena, durante un período de 8 meses.

Las lecturas obtenidas de los bancos de nivel profundo se dibujarán en gráficas tiempo contra movimientos.



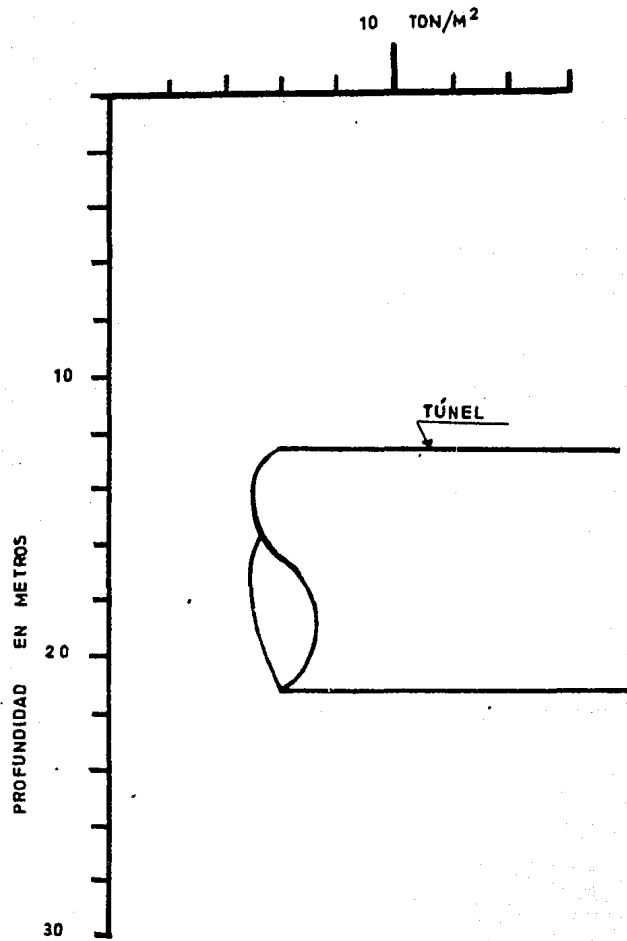


FIG. 2.1 PIEZOMETRIA

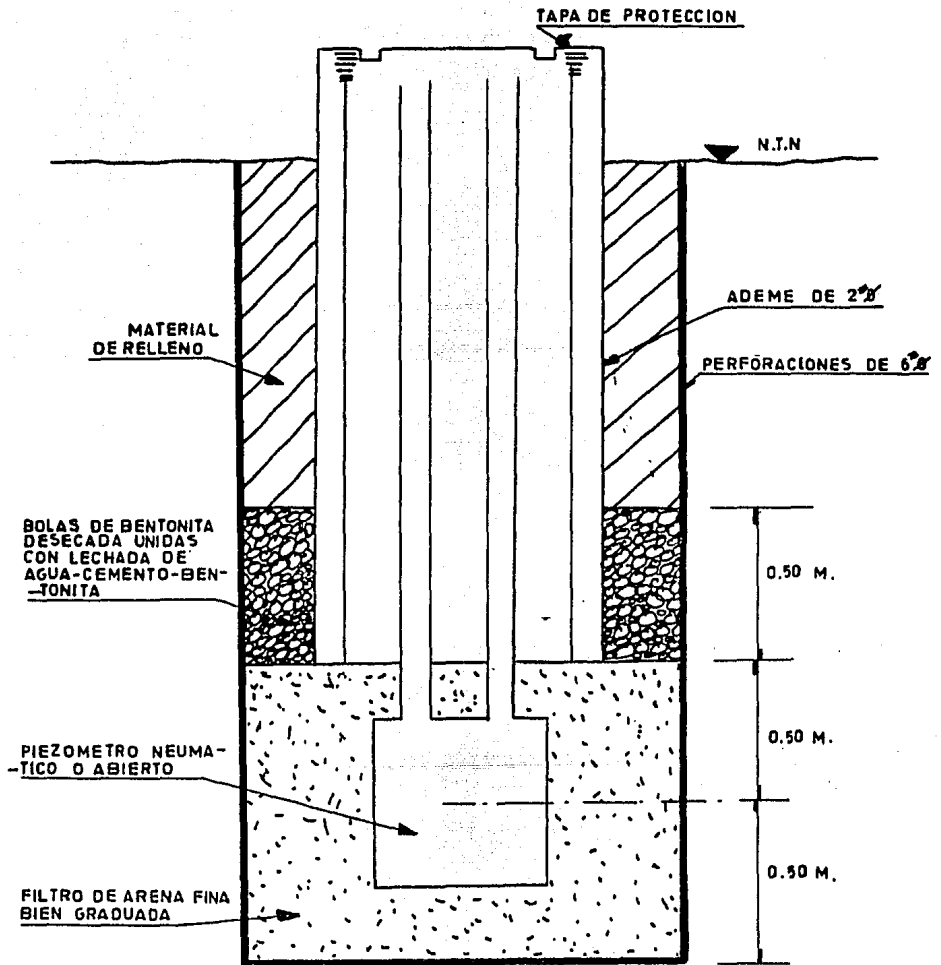


FIG.2.2 PIEZOMETRO NEUMATICO O ABIERTO

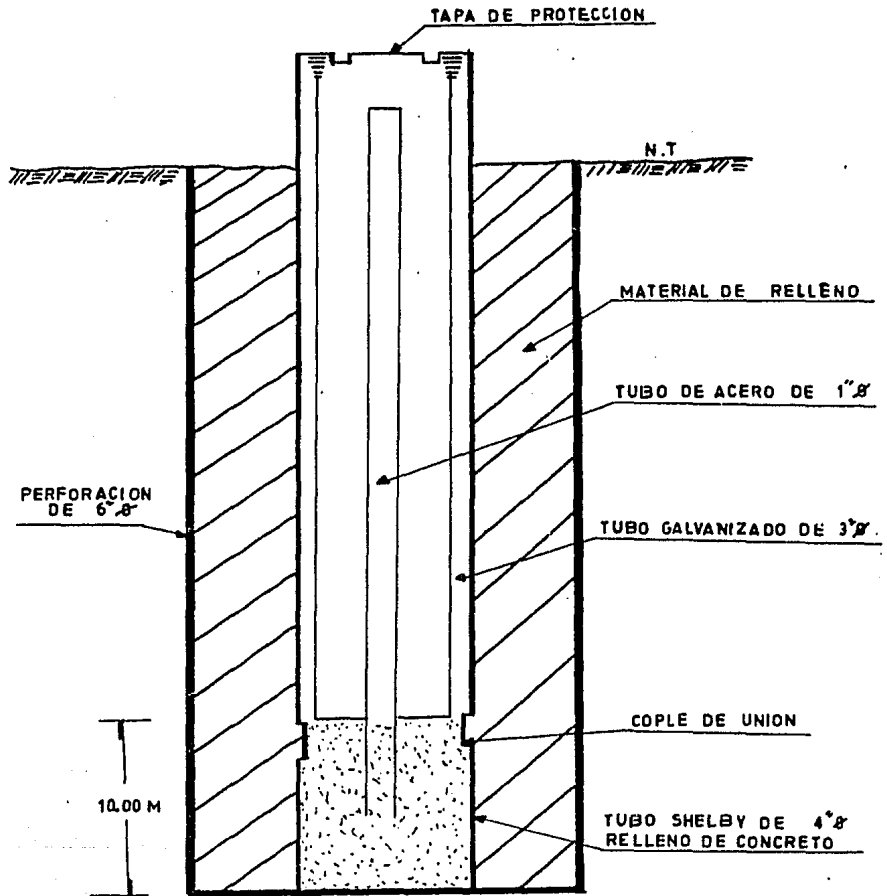


FIG.2.3 BANCO DE NIVEL PROFUNDO

### 2.3.- ESTABILIDAD DEL FRENTE Y DE LAS PAREDES:

Mediante los parámetros de resistencia al corte se analizó la estabilidad de las paredes y del frente del túnel usando las expresiones propuestas por la teoría de elasticidad como sigue:

A) Para las paredes debe cumplirse que el esfuerzo no rebase el siguiente valor:

$$\frac{2C \cos \phi}{1 \text{ Sen } \phi}$$

Donde:

C = Cohesión

$\phi$  = Angulo de fricción interna.

B) Para el frente se propuso un análisis simplista que consiste en considerar toda la carga del bloque del terreno sin suponer ningún arqueamiento y contrarrestando por la resistencia al corte de las paredes del bloque que pueda deslizar.

Los resultados de estos análisis arrojaron factores de seguridad favorables.

Sin embargo, en los procesos constructivos se ha considerado un ademe primario constituido por concreto lanzado y anclas y se ha previsto el uso de marcos metálicos y madera como medida de emergencia.

A largo plazo se ha previsto un revestimiento definitivo constituido por una pared de concreto reforzado cuyo espesor varía aproximadamente entre 0.40 y 0.80 mts., según el tipo de túnel.

## 2.4.- DETERMINACION DE CARGAS SOBRE EL ADEME A LARGO PLAZO.

Para la determinación de las cargas que ocurrirán sobre el revestimiento se consideraron varias teorías como sigue:

A) Análisis Elásticos.- Esta teoría da un valor del esfuerzo radial en función del ángulo que forma el centro del túnel con el punto donde se desea conocer el esfuerzo.

$$\sigma_r = \frac{1}{2} \sigma_z \left[ (1 + K_0) \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) + (1 - K_0) \left(1 + 3 \frac{a^2}{r^2}\right) \cos 2\theta \right]$$

Donde:

$\sigma_z$  = Presión total vertical

$K_0$  = Coeficiente de empuje en reposo

$a$  = Radio del túnel

$r$  = Distancia a la que se desea conocer el esfuerzo.

$\theta$  = Angulo al punto considerado.

B) Análisis Plástico.- En esta teoría el esfuerzo sobre el ademe está dado por la siguiente expresión:

$$\sigma_r = -c \cot \phi + (\sigma_i + c \cot \phi) \left(\frac{r}{a}\right)^{\frac{2 \sin \phi}{1 - \sin \phi}}$$

Donde:

$c$  = Cohesión del suelo arriba del túnel.

$\phi$  = Angulo de fricción interna del suelo arriba del túnel.

$\sigma_i$  = Presión interior (cero en nuestro caso)  $r$  y  $a$  ya se indicaron.

C) PROTODIAKONOV.- En esta teoría el esfuerzo vale:

Donde:  $\nabla v = \frac{1}{3} \gamma \frac{B}{f}$

$\gamma$  = Peso volumétrico del material

$B$  = Ancho del túnel.

$$f = \frac{c}{\gamma \mu} + \tan \phi$$

$\gamma \mu$  = Resistencia a la compresión axial sin confinar.

$c$  = Cohesión definida con prueba triaxial.

$\phi$  = Ya se indicó.

D) TERZAGHI.- Para terzaghi, la carga sobre el ademe está dado por -  
la siguiente expresión:

$$H \text{ mín.} = 0.27 (B+H_t)$$

$$H \text{ máx.} = 0.6 (B+H_t)$$

Donde:

$H$  = Altura del suelo que carga sobre el ademe.

$B$  = Ancho del túnel

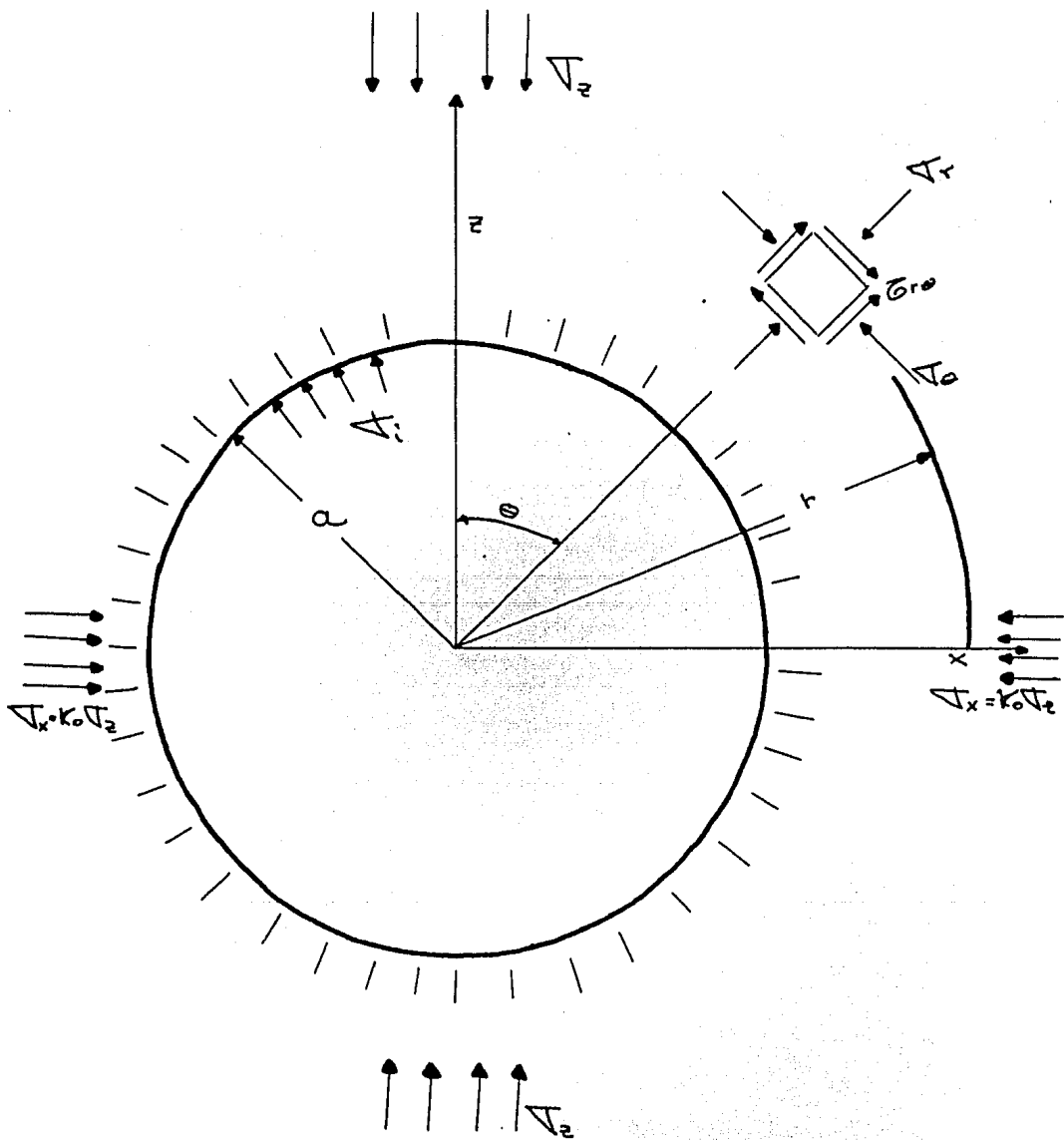
$H_t$  = Altura del túnel

$$\nabla v = H \gamma'$$

$\gamma'$  = Peso volumétrico del suelo.

Para los túneles se consideró el caso de Terzaghi intermedio entre--  
el  $H_{\text{mín.}}$  y  $H_{\text{máx.}}$ .

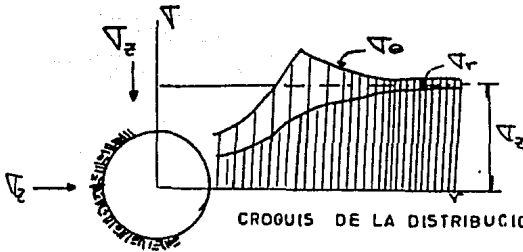
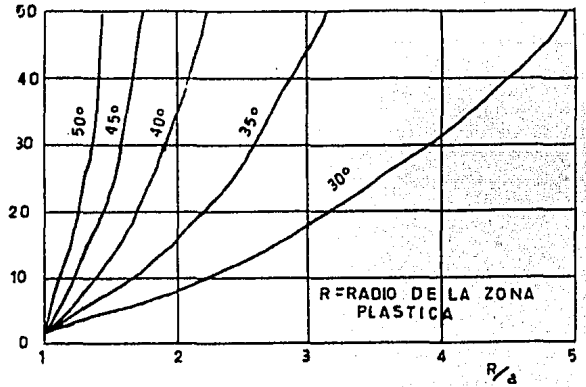
Estos valores serán confirmados con la instrumentación que se reali-  
zará a medida que se construyan los túneles.



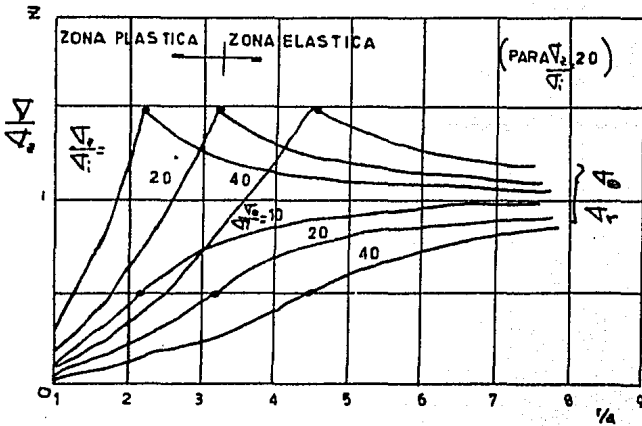
NOMENCLATURA CORRESPONDIENTE A LA SOLUCION DE KIRSCH, DENTRO DE LA TEORIA DE ELASTICIDAD

$$\frac{\sqrt{2} + \text{Cor. } \phi}{\sqrt{1} + c \text{ Cor. } \phi}$$

RADIO DE LA ZONA PLASTICA EN  
FUNCIÓN DE LOS VALORES DE  $c$  Y  $\phi$   
PARA DIFERENTES COMBINACIONES  
DE VALORES DE  $\sqrt{1}$  Y  $\sqrt{2}$



CROQUIS DE LA DISTRIBUCION DE LOS ESFUERZOS



DISTRIBUCION DE ESFUERZOS TANGENCIAL  
( $\sigma_\theta$ ) Y RADIAL ( $\sigma_r$ )



## 2.5.- INSTRUMENTACION.

El proyecto y la construcción del túnel de la Línea 3 plantea muchos problemas que merecen instrumentación específica; los principales son:

- . La magnitud y la distribución de la presión de tierra sobre el túnel.
- . Las cargas que se ejercen sobre ademes y revestimientos temporales.
- . Los movimientos del suelo en la vecindad del túnel durante la construcción.
- . Los movimientos del suelo en puntos relativamente alejados del túnel, consecuencia de su excavación.
- . Los movimientos en la superficie del terreno sobre el túnel.

Cuando se construye el túnel, el material tiende a fluir hacia la excavación, produciéndose movimientos en el terreno adyacente; éstos pueden causar daños a edificios o estructuras cercanas, si los hubiere. Durante el funcionamiento del túnel ocurren también pequeños movimientos. En todos los casos, resulta prever e interpretar los movimientos por medio de las teorías existentes, que frecuentemente no son capaces de tomar en cuenta las heterogeneidades geológicas y complejidades de cada caso particular; por todo ello, la medición de comportamiento en el campo es importante.

El programa de instrumentación de la Línea 3 perseguirá uno o varios de los siguientes objetivos:

- . Medición de las presiones de tierra o de roca.
- . Medición de los esfuerzos actuantes en ademes y revestimientos.

- . Medición de los movimientos en el terreno influenciados por el túnel, así como las presiones de poro en dicho terreno.
- . Medición de movimientos en el túnel como un conjunto.

Con el objeto de conocer las deformaciones sobre el túnel y su comportamiento a corto y largo plazo, así como la distribución de presiones sobre el ademe, se están instalando los siguientes aparatos:

A) Extensómetros.- Se colocan sobre el túnel en una perforación vertical y en dos perforaciones a  $45^\circ$  con cuatro anclas a cada perforación -- con objeto de conocer las deformaciones antes y después del proceso de excavación.

B) Bancos de Nivel en la Superficie.- Con objeto de conocer las deformaciones antes, durante y después del proceso de tuneleo.

C) Inclínómetros.- Se colocan a los lados del túnel para medir deformaciones horizontales durante el tuneleo.

D) Medidas de Convergencia.- Dentro del túnel para medir los cambios en la sección del túnel después de excavado.

Toda esta información nos proporcionará los valores de deformación su ficientes para poder cambiar los procesos de construcción, o tomar medidas de urgencia ante fallas inminentes o afinar el diseño del revestimiento primario y definitivo.

Comportamiento a Largo Plazo.

Transcurrido cualquier lapso de tiempo en el revestimiento de la sec

Del túnel, el cuál es flexible, sólo puede estar en equilibrio si -- los esfuerzos normales radiales que actúan son iguales en todas direcciones, para que esto se cumpla, el esfuerzo normal horizontal producido por la tierra debe de crecer, en tanto que los esfuerzos normales deben disminuir. A esta situación sólo puede llegarse por medio de la deformación -- del revestimiento.

Si el anillo del revestimiento tolera los esfuerzos radiales uniformes que se producen, alcanzará una condición satisfactoria de equilibrio, siempre y cuando el monto de la deformación necesaria para ello no exceda de límites tolerables, de acuerdo con las condiciones efectuadas con el -- criterio de diseño.

Cantidad de deformación que haya de sufrir el anillo antes de alcanzar su condición de equilibrio depende de las características del suelo que lo rodea y de cómo varíen con el tiempo, así como de las dimensiones del túnel y de la profundidad a lo que éste se encuentre.

### 3.1. TRAZO Y LOCALIZACION DE LUMBRERAS.

Para la construcción de la línea 3 Sur en túnel se proyectaron las siguientes lumbreras.

- 1.- Viveros
- 2.- Margaritas
- 3.- Poniente
- 4.- Oriente
- 5.- Tierra
- 6.- Copilco

El razonamiento que se utilizó para la localización de tales lumbreras, fue por un lado dar acceso de los usuarios al sistema de transporte, así como también reducir al máximo los tiempos de recorrido de lumbrera a lumbrera, y de esta forma tener un óptimo ciclo de trabajo.

Otro de los motivos en cuanto a la localización de estas lumbreras; fué el de satisfacer la demanda de ventilación requerido para la construcción del túnel, así como también llevar a un buen fin el programa trazado para la excavación y construcción del túnel.

#### CARACTERISTICAS DE LUMBRERAS:

Lumbrera Viveros.- Esta localizada en la intersección de la Av. Minerva y Av. Universidad, se encuentra aproximadamente a 20 mts. de la cabecera Sur de la Estación Viveros y esta situada sobre el eje del túnel de una sola vía, ya que en este tramo Viveros-Miguel Angel de Quevedo tenemos dos túneles gemelos.

Es importante mencionar que esta lumbrera será de paso, la cual al término de la construcción se procederá a sellarla, pues tenemos la vialidad de Av. Universidad, la cual se encuentra interrumpida.

A partir de esta lumbrera atacaremos los túneles de anden de la -- Estación Viveros, por lo cual contaremos con una torre de manteo así como también los diferentes trabajos a realizar en el túnel.

Lumbrera Margaritas.- Esta lumbrera la tenemos localizada en una zona intermedia de las lumbreras Viveros y Oriente-Poniente, se encuentra a la altura de la calle Margaritas, esta lumbrera es de un Diámetro menor a la de Viveros.

La tenemos localizada aproximadamente a 15.00 mts. del eje del túnel de una sola vía, esta lumbrera se encuentra desfasada porque al construirla sobre el eje del túnel se vería afectada la vialidad de Universidad y por lo tanto la construcción del túnel no llenaría una de sus principales características que es la de afectar lo menos posible la vialidad.

Esta lumbrera al igual que la de Viveros es de paso y por la cual se extraerá la rezaga de los túneles gemelos, para lo cual, se construyó una galería de interconexión, ésto es para tener conectado al otro túnel con la lumbrera.

Lumbreras Oriente y Poniente.-Estas dos lumbreras se encuentran sobre un mismo cadenamiento, localizadas a los lados de la estación Miguel - Angel de Quevedo.

Estas lumbreras se encuentran fuera de los ejes de los dos túneles

esto es por una parte no interferir el tránsito y por otra que funcionaran como accesos al sistema de transporte.

De estas lumbreras se atacarán los trabajos de excavación de los accesos, túneles de distribución así como los túneles de anden de la estación.

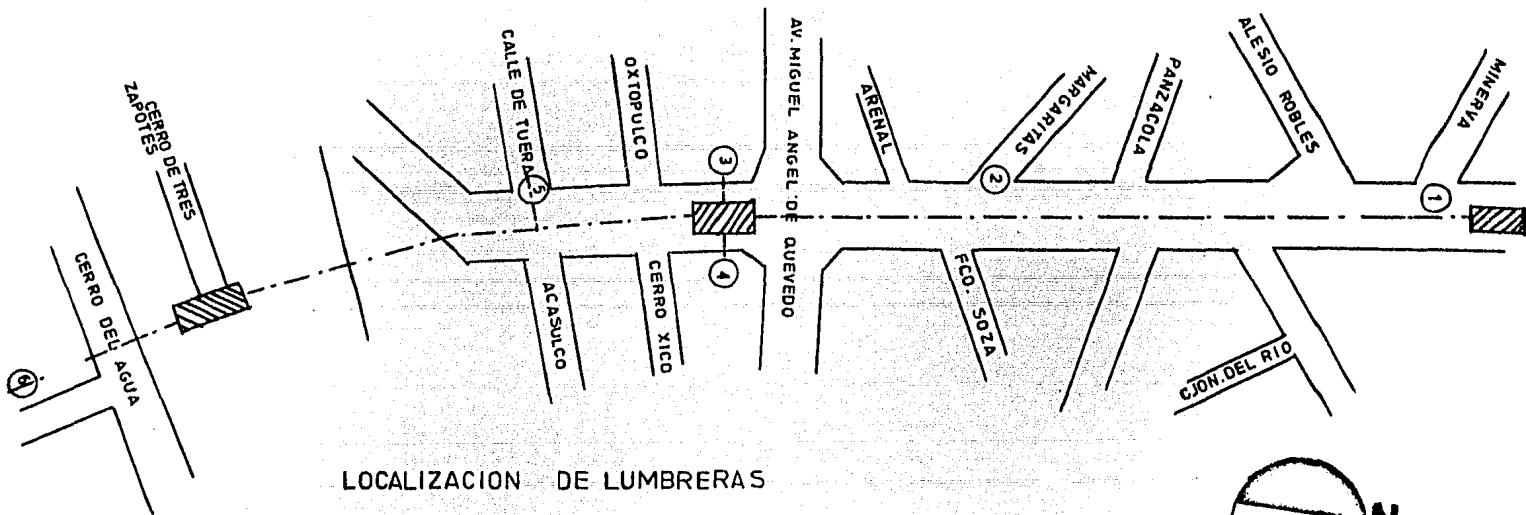
Lumbrera de tuera.- Esta lumbrera la tenemos localizada en una zona intermedia de las estaciones Miguel Angel de Quevedo y la de Copilco, esta lumbrera tiene un trabajo similar a la lumbrera Margaritas, esto es -- que al no tener un acceso a la superficie desde Miguel Angel de Quevedo - a Copilco el ciclo de trabajo de excavación aumentaría considerablemente y por lo tanto se verían afectados los trabajos de construcción del túnel, - por tal motivo se construyó esta lumbrera, así como también tal lumbrera - estará fuera del eje del túnel, esto es como ya se ha mencionado anteriormente para no causar problemas al ya de por sí caótico problema de vialidad. Por último mencionaremos que esta lumbrera será exclusivamente de paso.

Lumbrera Copilco.- Esta lumbrera se constuyó para atacar el tramo - Copilco- Rampa de salida. Se encuentra aproximadamente a 40.00 mts. de - la cabecera sur de la estación Copilco, y esta sobre el eje del túnel.

Esta última lumbrera será únicamente de paso.

Trazo de Lumbreras.- Una vez localizado el lugar donde se cons- -- truirán las lumbreras, las brigadas topográficas señalaran dimensiones de las mismas así como su trazo, una vez realizado lo anterior procederemos - a la excavación y construcción de las mismas.

Las lumbreras de la línea 3 Sur fueron diseñadas para poder introducir por ellas el equipo necesario para la excavación, el revestimiento y el tendido de vía, instalaciones especiales etc, por lo que se decidió hacerlas circulares y con diámetro interior de aproximadamente 10.20 mts.



LOCALIZACION DE LUMBRERAS

- 1.- VIVEROS
- 2.- MARGARITAS
- 3.- PONIENTE
- 4.- ORIENTE
- 5.- TUERA
- 6.- COPILCO





#### 4.1.- CONTROL E INYECCION PARA ELIMINAR FILTRACIONES

Con el fin de extraer rezaga producto de la excavación y poder introducir el equipo necesario para la construcción del túnel a lo largo de la línea 3 Sur en túnel del metro, será necesario la excavación y construcción de lumbreras.

##### CONTROL DEL FILTRACIONES.

Con el fin de controlar las filtraciones en el interior de la lumbrera durante el proceso de excavación, será necesario construir cárcamos de 0.30 x 0.30 x 0.30 m, comunicados entre sí por medio de zanjas, desde donde se extraerá el agua producto de las filtraciones por medio de un bombeo de achique.

Este procedimiento se seguirá en cada tramo de excavación.

Cuando el bombeo de achique resulte insuficiente para abatir el agua producto de las filtraciones, se intalarán pozos de bombeo de acuerdo con los siguientes lineamientos ( Fig. 4.1)

##### A).- Profundidad de pozos de Bombeo

La profundidad a la que se perforaran los pozos de bombeo será especificada para cada lumbrera en forma particular.

##### B).- Perforación de los pozos de bombeo

Los pozos tendrán un diámetro de 22" y se perforan con broca triconica o broca de dientes.

Con cualquiera de las dos herramientas que se use, se deberá utilizar en el lavado y limpieza de la perforación exclusivamente agua a presión; en ningún caso se empleará en la perforación herramienta que no utilice agua a presión en el lavado.

Por ningún motivo debiera usarse lodo para hacer la perforación de los pozos.

C).- Limpieza de las perforaciones.

Para tener las perforaciones en estado de poder instalar el ademe, se considera limpia esta, hasta que el agua retorne libre de partículas.

D).- Ademes de los pozos de bombeo.

Antes de ademar la perforación, será necesario mantenerla llena de agua hasta rebozar, para evitar que sus paredes se cierren. Los ademes de los pozos de bombeo serán tubos de fierro de 12" de diámetro, lisos de 0.00 a 12.00 m y ranurados, conforme a lo indicado a continuación, de 12.00 m a la profundidad de bombeo, el ademe será a base de rejilla filmont.

E).- Ranurados de los ademes

Los ademes se deberán suministrar ranurados con el objeto de que el agua por bombear penetre libremente a su interior o las ranuras serán del tipo de rejilla con una abertura de 1.5 a 3.00 mm del tipo II.

F).- Filtro

Entre las paredes del pozo y las del ademe, se colocará un filtro de

arena comprendida entre la malla 4 y la malla 10, el cuál debe quedar entre las curvas indicadas en la figura 4.2.

El material empleado deberá contener partículas de todos los tamaños intermedios y deberá estar libre de finos con un porcentaje máximo del 5% de finos.

G).- Desarrollo del flujo hidráulico.

Con el fin de establecer el flujo hidráulico en el pozo y hacer con ello más eficaz el bombeo, después de colocado el ademe y el filtro, se sifoneara el interior del ademe con el sistema de aire lipt (Doble tubería).

H).- Bombas

Las bombas que se emplearan serán del tipo sumergible KSB del diámetro necesario y con capacidad suficiente para abatir y mantener el nivel dinámico separado 1.00 m durante la operación, en base a electro-niveles.

I).- Operación de las bombas

Las bombas se operaran de tal forma que el bombeo mantenga la mayor-continuidad posible durante el abatimiento, controlando con válvulas en la salida.

J).- Control.

Para el control del abatimiento del nivel freático, se registrarán - en cada turno, el gasto de extracción y el nivel dinámico en cada po

zo, y con los datos registrados se elaborarán gráficas tiempo Vs. --  
gasto extraído y tiempo Vs. nivel dinámico.

#### K).- Tiempo de Bombeo

El inicio del bombeo será simultáneo a la excavación del núcleo de -  
la lumbrera. La ubicación y número de pozos se encuentra indicado en  
la figura 4.1.

El bombeo se suspenderá cuando se cuele la losa de piso de la lumbre  
ra.

Inyección para eliminar las filtraciones en las lumbreras de la línea 3 -  
Sur.

El procedimiento de inyección para eliminar las filtraciones que --  
se presentan en las lumbreras es el que se expone a continuación.

#### PERFORACION

En zonas donde se localizan las filtraciones se efectuaran perfora  
ciones con diámetro de 2", distribuidas según se indica en la figura 4.2'

Estas perforaciones deberan penetrar 2.00 m. colocándose en ellas-  
segmentos de tubo galvanizado (boquillas) por los cuales se inyectará la  
mezcla sellando previamente la parte superior del tubo alrededor de la  
perforación para evitar fugas durante la inyección.

#### MEZCLA DE INYECCION.

La mezcla a utilizar deberá prepararse con los materiales y propor  
ciones siguientes:

Agua - Cemento

Bentonita - 3% máximo en peso

Sika - 2 a 4 % peso

Estos materiales deberán cumplir con los requisitos que se indican a continuación :

1.- El agua no deberá contener materia orgánica o sedimentos que resulten nocivos o perjudiciales a la mezcla.

2.- La Bentonita deberá usarse con una relación agua-bentonita que no exceda del 3% de su peso, considerando una relación entre agua cemento de 2 a 1 con un tiempo mínimo de hidratación de 8.00 hrs. El cemento a utilizar será tipo I

#### VOLUMEN Y PRESION DE INYECCION

Se iniciará la inyección de la mezcla especificada y se suspenderá cuando se haya inyectado un volumen máximo de  $10 \text{ m}^3$  o bien cuando se alcance una presión de  $0.30 \text{ Kg/cm}^2$  como máximo.

#### SECUENCIA DE INYECCION

La letra asociada a cada barreno indica la secuencia o el orden en que debiera realizarse la inyección. El número encerrado en un círculo lo muestra el orden en que se inyectarán los diferentes anillos de barrenos según se indica en la fig. 4.2'

#### NOTAS IMPORTANTES

1.- En caso de que después de haber inyectado el volumen aproximado indi-

cado continúen las filtraciones, será conveniente agregar a la mezcla algún obturante como mica o material similar cuya proporción se definirá de acuerdo a la magnitud de las filtraciones.

2.- Cuando durante el proceso de inyección las filtraciones hayan sido selladas, aún sin alcanzar el volumen máximo o la presión especificada, la inyección se suspenderá.

DETALLE 1

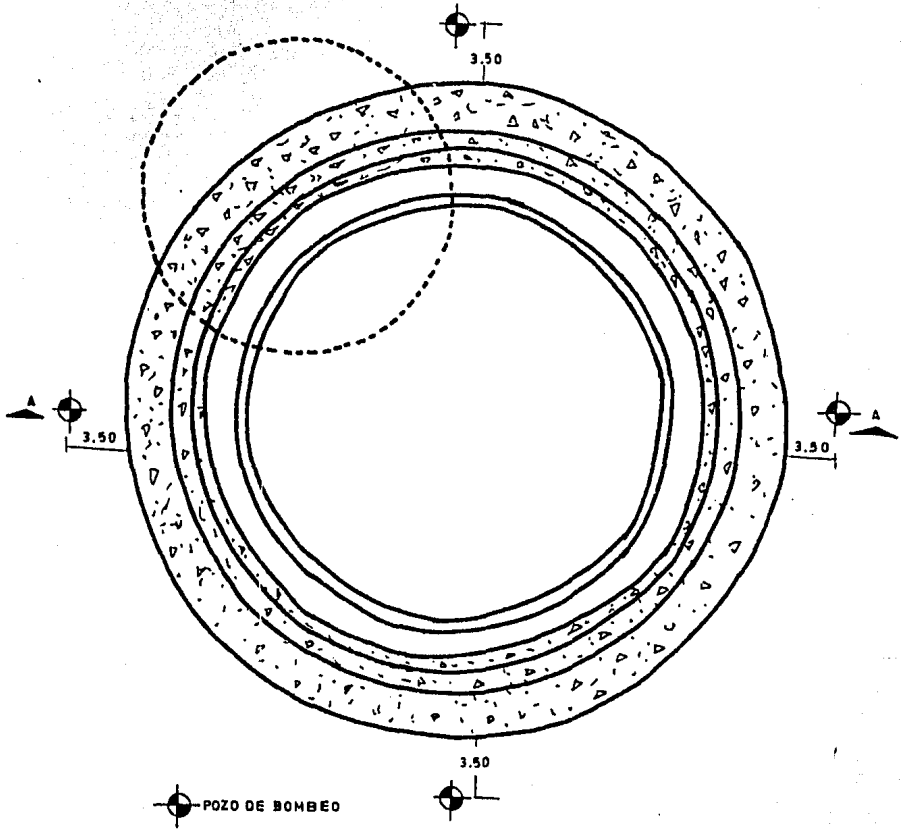


FIG.4.1 LOCALIZACION DE POZOS DE BOMBEO

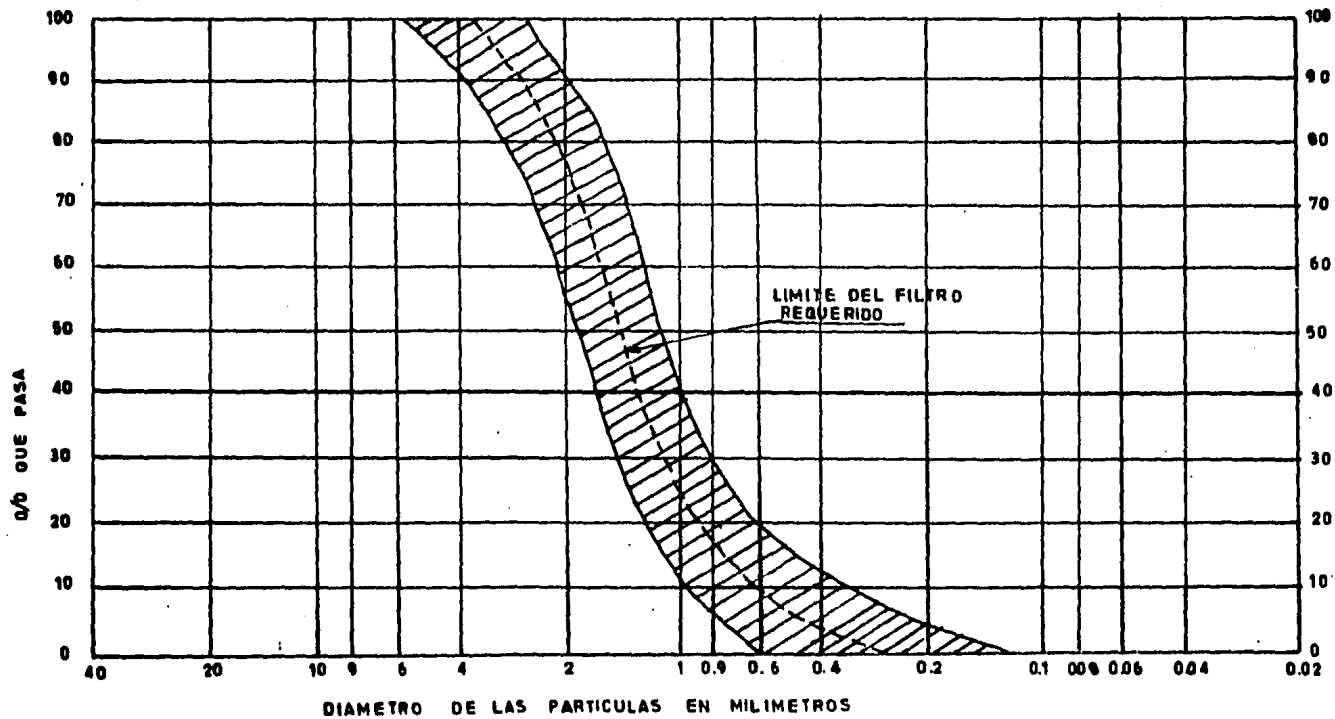
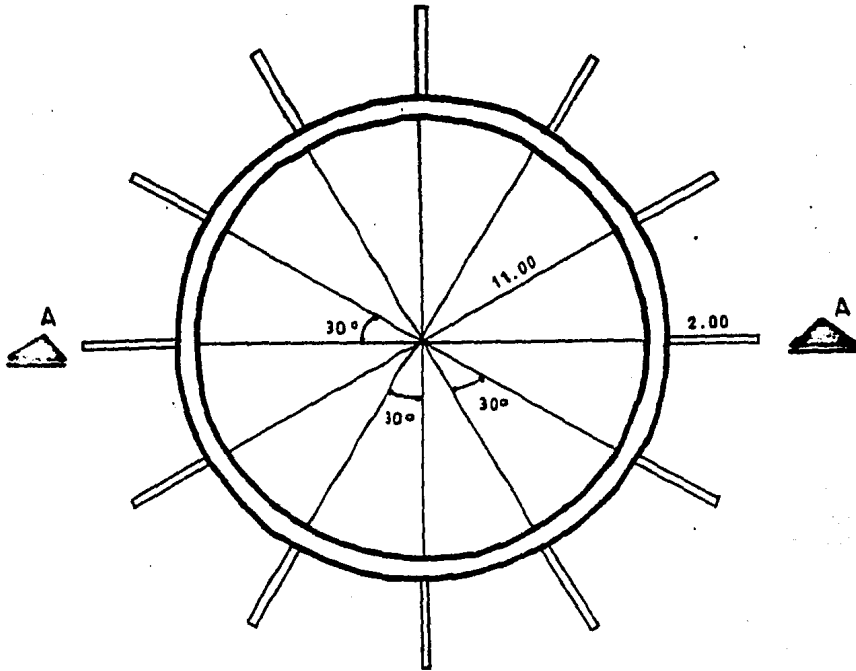


FIG. 4.2 CURVAS GRANULOMETRICAS



DISTRIBUCION DE BARRENOS EN PLANTA



DISTRIBUCION DE BARRENOS EN CORTE A-A

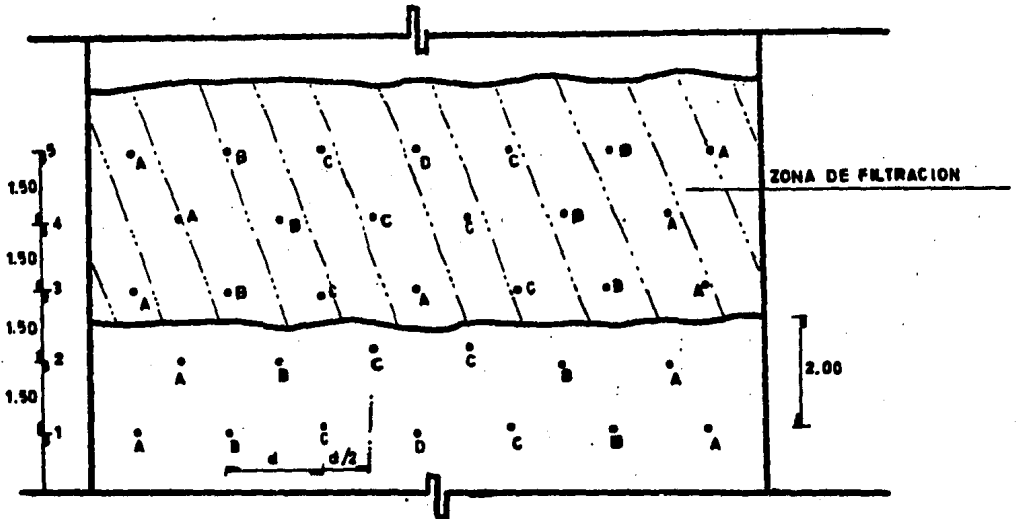


FIG.4.2' PERFORACION DE BARRENOS

#### 4.2.- EXCAVACION Y CONSTRUCCION DE LUMBRERAS.

En base al perfil estratigráfico que se nos presento en la línea 3 - Sur, se encontraron dos casos de excavación, los cuales son los siguientes.

- A) La excavación en suelos granulares desde la superficie hasta el final.
- B) Parte de la excavación superficial en roca y parte en suelos.

Para el primer caso de excavación, tenemos localizadas las lumbreras de Viveros y Margaritas.

Las lumbreras que se construirán en el segundo caso de excavación son la Oriente y Poniente así como la de tuera.

#### PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION Y CONSTRUCCION

##### EXCAVACION

La excavación para la construcción de la lumbrera se efectuará a cielo abierto, utilizando una estructura de contención constituida por concreto lanzado con espesor de 15 cm. reforzado con malla electroforjada.

##### CONSTRUCCION DEL BROCAL.

Una vez que sobre el terreno, se haya definido el trazo de la lumbrera, se iniciará la excavación del brocal de la lumbrera con martillos neumáticos, pico, palas y carretillas o en su defecto con maquinaria.

El equipo con que debe contar para esta primera etapa es:

Compresor Portatil de 600 pies cúbicos por minuto, martillos rompe-

dores, y alguna máquina para cargar el producto de la excavación a camiones de volteo.

El área de excavación del brocal es de  $86.42 \text{ m}^2$  y su volumen es -- de  $99.90 \text{ m}^3$  con 0.65 m. de espesor, 2.65 M. de profundidad y 2.10 M. de -- ancho, donde quedarán construídos los faldones del brocal.

Una vez terminada la excavación del brocal se procede al armado del fierro de refuerzo, cimbrado y posteriormente al colado con un concreto - de  $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$  y agregado máximo de  $1 \frac{1}{2}''$ .

Los faldones se colarán por medio de una cimbra apoyada contra el - terreno de excavación.

La rama horizontal del brocal (alero), constituye una pequeña losa, la cual servirá para que la máquina de excavación pueda rodar libremente sin peligro de que se produzca algún caído en la superficie de la lumbrera. Este brocal se construirá únicamente en el perímetro exterior de la -- lumbrera. La sección del brocal se indica en la fig. 4.3

Después del fraguado del concreto se procede a descimbrar e iniciar la excavación del núcleo, hasta los 2.65 mts. de profundidad del brocal.

A partir de esa cota y conforme se excava, se lleva un soporte temporal que de acuerdo a las condiciones del terreno puede ser concreto lanzado en combinación con una malla electroforjada del tipo  $6'' \times 6'' \frac{6}{6}$ , el - espesor del concreto lanzado es de 15 cm. o anillos metálicos  $1-6''$  con -- retaque de madera.

Cuando se observan signos de inestabilidad en las paredes de la lumbrera deberán colocarse anillos metálicos constituídos por viguetas  $1-6''$ -

separados como se indica en la siguiente tabla.

Profundidad	Separación entre uno y otro anillo
De 0.00 a 5.00 M.	1.00 M
De 5.00 a 10.00 M	0.70 M
De 10.00 en Adelante	0.40 M

#### Colocación de los anillos

Inmediatamente después de colocado el concreto lanzado se procederá a colocar tablonces de madera de 2" de espesor y encima de estos se colocaran tres segmentos de viguetas 1-6" las cuáles se acuñaran y soldarán de acuerdo como se observa en la Fig. 4.4.

Una vez fijado el primer anillo, se continuará colocando los tablonces y los anillos subsecuentes, de la misma forma como se colocó el primero. En caso de que se presente algún problema con la colocación de los anillos estos se anclarán al terreno por medio de varillas de  $s/8"$  soldándolas a la parte inferior del patrón del anillo. El número de varillas de fijación será de 8 y se colocarán a cada uno de los anillos. Se colocarán viguetas 1-6" separadas 3.0 M entre sí alrededor de todo el anillo, las cuales funcionarán como sujetadores.

El equipo a utilizar para la excavación de lumbreras, ubicadas en el primer caso es:

Compresor Portatil de 600 pies cúbicos por minuto, martillos rompedores.

Cargador sobre orugas de descarga lateral .

Botes de 1.0 m<sup>3</sup> de Capacidad.

Grúa para izar los botes en superficie

Camiones de volteo.

El material se excava con los martillos neumáticos siendo cargado - éste a los botes de manto que son izados por la grúa hasta el camión que posteriormente lo llevará a los lugares designados para su almacenamiento.

Para el ademe por concreto lanzado se debe contar con un carro mezclador tipo trixer de 6.0 m<sup>3</sup> de capacidad que revolverá de acuerdo al proporcionamiento especificado los agregados con el cemento.

Esta revoltura pasa a una máquina lanzadora Aliva con salida de 2" - de diámetro y por una manguera de igual diámetro hasta un chiflón en donde se le agrega el agua y aditivo.

En caso de la colocación de ademe metálico será como se mencionó anteriormente.

La excavación y ademe continúa hasta una profundidad de aproximadamente 10 M más del nivel de piso de túnel. Esto es en el caso de lumbreras que contarán con sistema de manto de, torres y Botes de 4.5 m<sup>3</sup>: Como es el caso de las lumbreras de viveros y Universidad. El exceso de profundidad de lumbreras es para alojar la tolva de recepción de rezaga dejando el espacio para este fin.

Se construye un piso falso apoyado en columnas y viguetas de acero - para permitir el tránsito de los vehículos de rezaga, maniobras, control --

topográfico, etc:

Terminada la excavación y ademe de la lumbrera, se procede de inmediato al colado de una plantilla de 0.20 M y una vez que esta haya fraguado se procedera al armado y colado de la losa de fondo cuyo espesor es de 0.60 M. con un concreto de  $f_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$  y agregado máximo de  $11/2''$ . El bombeo se suspenderá cuando se haya colado la plantilla.

El concreto puede ser bajado al fondo de la lumbrera utilizando tubería de  $8''$  de diámetro y tanque amortiguador para reintegrar el concreto -- por la segregación que pudo haber tenido en la bajada. Otra forma es utilizando una bacha que sería llevada al fondo por medio de una grúa. Una vez colocado el concreto, éste deberá ser compactado correctamente por vibradores de gasolina, eléctricos o neumáticos.

El siguiente paso es el armado del fierro de refuerzo en el cuerpo de la lumbrera.

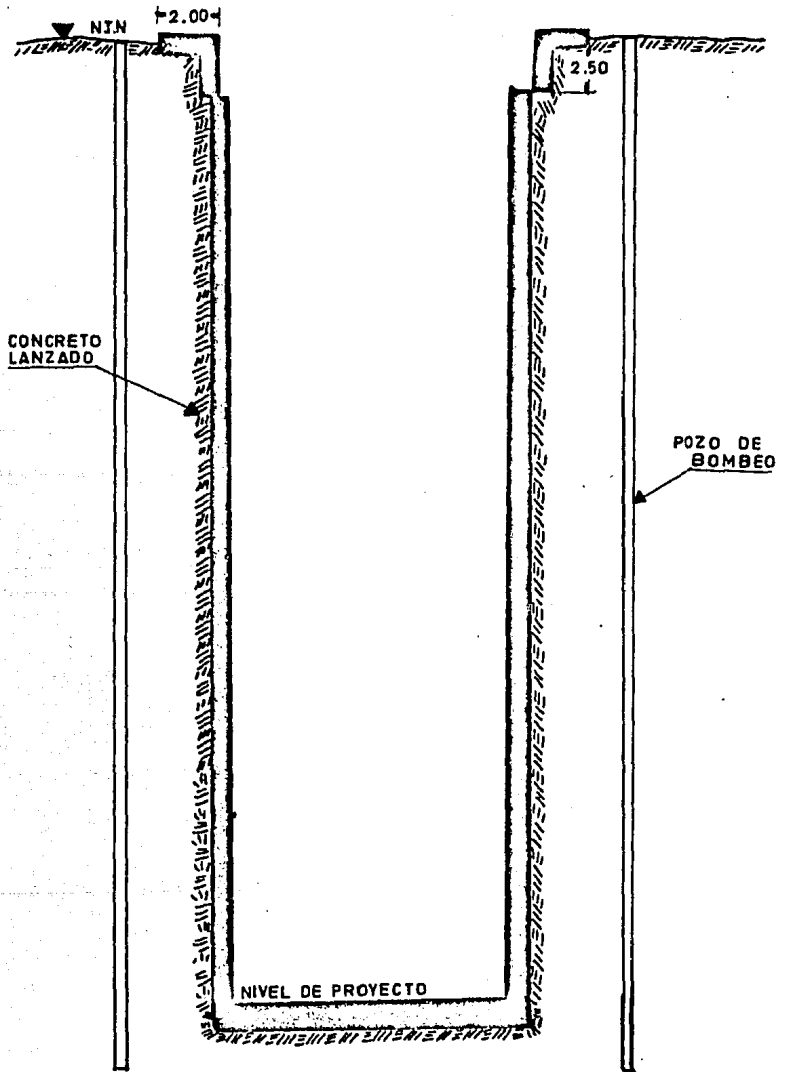
Por último, el revestimiento definitivo es efectuado con el sistema de cimbra deslizante y colocando un concreto de  $f_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$  con un espesor de 25 cm.

Hablando ahora del 2o. caso de excavación de lumbrera, como es el caso de las lumbreras Oriente y Poniente de la estación Miguel Angel de Quedo y en las cuales se tienen 7.00 M. de roca basáltica, la excavación -- del brocal se efectúa por medio de explosivos barrenando con pistolas neumáticas.

El explosivo a usar es tovox x 100 en cartuchos de  $1'' \times 8''$  y los detonantes, estopónes eléctricos de tiempo. El consumo de explosivos de --

acuerdo a las condiciones de la roca, fué calculado en  $700 \text{ gr/m}^3$  en promedio.

Una vez excavado el Brocal se coloca el armado, se cimbra y se procede al colado. La siguiente actividad es la extracción del núcleo utilizando explosivos de nuevo. Al terminar de excavar la roca, el procedimiento a seguir es el mencionado como excavación de la lumbrera en suelos.



CORTE A-A

FIG. 4.3 SECCION DEL BROCAL



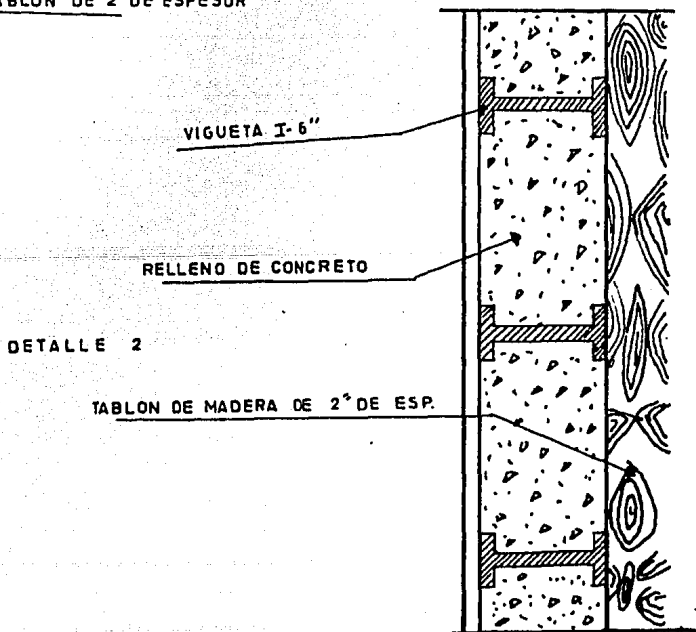
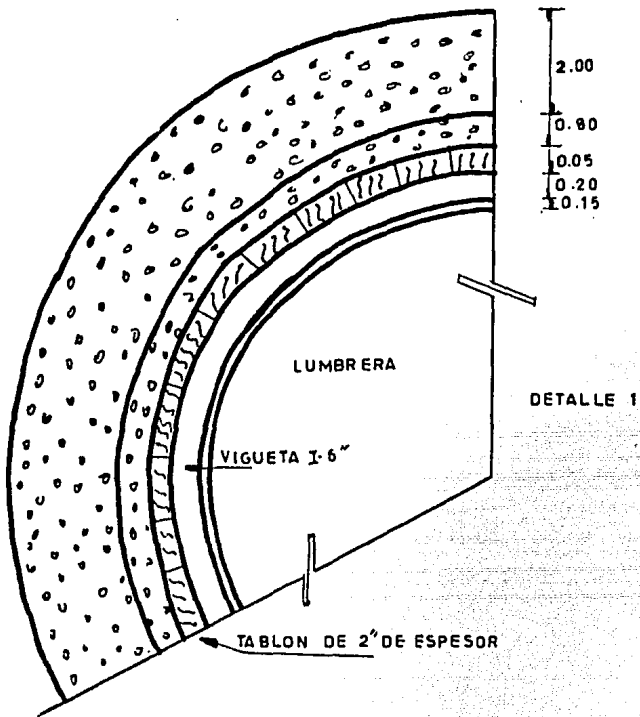


FIG. 4.4 COLOCACION DE ANILLOS

## 5.1.- INSTALACIONES EXTERIORES E INTERIORES

A continuación hablaremos de las instalaciones necesarias en cualquiera de los frentes de construcción de túnel.

### A) INSTALACIONES EXTERIORES.

Las instalaciones exteriores son:

4 compresores eléctricos de 600 pies cúbicos por minuto cada uno conectado a un manifold de 20" de diámetro que conecta a su vez a un tanque regulador de 4 m<sup>3</sup> de capacidad. La presión de trabajo con aire comprimido es de 90 a 110 libras por pulgada cuadrada. Del tanque regulador, después de una válvula de compuerta, sale una línea de 8" de diámetro con tubería de acero de cédula 80 la cual bajará al túnel una vez construída la lumbrera.

Una subestación eléctrica que recibe corriente a 23000 voltios y la transforma hasta 440 voltios para motores, y 220 voltios para alumbrado.

Una torre que llamaremos de manteo junto con un malacate de capacidad suficiente para izar el bote de 4.5 m<sup>3</sup> que extraerá la rezaga del túnel a superficie en donde vaciará a una tolva que a su vez descargará en camiones de volteo que llevarán el material a los tiros de rezaga.

Un tanque para agua de 10,000 Lts. de capacidad para el concreto lanzado.

Un tanque para silicato de sodio de 10,000 litros de capacidad también para el concreto lanzado. Un tanque para almacenamiento de diesel con salida de 1" hacia el fondo de la lumbrera.

Una tolva para recibir agregados para concreto lanzado con salida - de 10' de diámetro para un tubo que bajará al túnel.

Un almacén, oficinas técnicas de supervisión, tomaduría de tiempo, - oficinas de topografía y por último casetas para lockers y baños de los -- trabajadores. Todas las instalaciones anteriores quedan dentro de una bar- da que limita la zona de trabajo.

Es importante mencionar que las instalaciones deben ser programadas - de tal suerte que al terminar de construir la lumbrera y estar en condicio- nes de atacar los frentes de túnel, estén totalmente terminadas.

#### B) INSTALACIONES INTERIORES.

Como instalaciones interiores se debe contar con una tolva de recep- ción de rezaga bajo el nivel de piso de túnel y en la zona de lumbrera. - Se deberán llevar líneas de corriente eléctrica para 440 voltios, líneas - de 220 voltios para alumbrado, tubería para agua de 2' de diámetro, tube- ría para aire de 8' de Diámetro, tubería de ventilación de 36' de diámetro y en caso de un frente aguas abajo, proveer tubería de bombeo de un diáme- tro suficiente para llevar el caudal esperado en caso de que los estudios - Geohidrológicos así lo indicaran.

En el caso de un frente aguas arriba, si se esperan filtraciones de agua, se irá construyendo un dren también calculado de acuerdo al gasto es- perado.

Por la caída de voltaje y de acuerdo a la demanda de energía eléctri- ca de algunas máquinas como veremos más adelante, se hace necesario cons- truir subestaciones interiores calculadas a cada 450 metros una de otra.

Todas las instalaciones anteriores nos servirán para la excavación y soporte temporal del túnel que puede ser por concreto lanzado ó por ademe metálico y de madera.

Para el revestimiento definitivo de concreto se deberá contar con -- una tolva receptora de concreto en el exterior con tubería de bajada de 8" ó 10" de diámetro hasta un tanque amortiguador a nivel de clave de túnel, que reintegrará los componentes del concreto antes de pasar a la bomba que lo colocará en el frente de trabajo.

## 5.2.- CONTROL TOPOGRAFICO DEL TUNEL:

Con objeto de controlar topográficamente el trazo durante la excavación de los túneles de la línea 3 sur del metro, será necesario la instalación de pozos de control topográfico, en la forma como se indica a continuación:

### I. LOCALIZACION

Todos los pozos estarán localizados sobre el eje de los túneles la ubicación exacta se presenta en los planos correspondientes del departamento de vía y topografía.

### II. PERFORACION DE LOS POZOS

Los pozos se perforarán desde la superficie del terreno natural hasta la profundidad que se indica más adelante; para la perforación se utilizará una máquina tipo Caldwell o rotatoria de 20" de diámetro (50.80 cm)

II-A) Si el pozo por perforar se localiza en una zona donde el túnel ya -- fué construido la perforación correspondiente al pozo se efectuará hasta -- una profundidad de 3.00 M. por arriba de la clave del túnel.

Una vez terminada la perforación hasta la profundidad antes mencionada se procederá a limpiar la perforación y a colocar el ademe correspondiente y se cementará el espacio anular comprendido entre el ademe y la perforación tal como se describe en párrafos posteriores.

Efectuada la cementación del pozo se continuará con la perforación del mismo hasta la profundidad de la clave del túnel. El diámetro de la perforación será de 14" y que se efectuará por dentro del ademe previamente colocado. Posteriormente se colocará un ademe de 10" de diámetro en el

tramo faltante y se cementará desde la superficie.

11.B) Si el pozo por perforar se localiza en una zona donde aún no se ha construído el túnel, la perforación se realizará hasta la profundidad correspondiente a la clave del túnel posteriormente se efectuará la limpieza, colocación del ademe y cementación del mismo.

#### LIMPIEZA DE LAS PERFORACIONES

Para tener las perforaciones en estado de poder instalar el ademe de los pozos, se deberán encontrar limpias y libres de azolve. Para la limpieza del pozo se usará grava a presión.

#### ADEME DE LOS POZOS

El ademe de los pozos será a base de tubos ciegos de 14" de diámetro y un espesor de 3/8". El espacio anular se cementará con una lechada de agua-cemento, en una relación de dos partes de cemento por una de agua; esta lechada se colocará por gravedad a través de un tubo de 1" de diámetro, el cuál llegará hasta el fondo de la perforación y se ira sacando conforme vaya aumentando el espesor de la lechada.

Apróximadamente a cada 200 mts. de separación se tiene proyectado -- construir pozos de control topográficos ademados a 12" con tubería de acero y que posteriormente nos servirán para bajar concreto al túnel.

### 5.3.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EMPLEADO EN TUNEL.

Existen como se vió, dos secciones de excavación de túnel en la línea 3 sur.

Además también existen dos tipos de material por excavar, ésto es de la lumbrera Víveros hasta 650 M. después de la estación Copilco, los estudios Geológicos indican arcillas y tobás. El resto (370 M), es roca basáltica. Comenzaremos por el equipo a utilizar:

#### a) EQUIPO PARA EXCAVACIÓN:

Máquina excavadora Westfalia para 40 M<sup>3</sup>/ Hr.

Martillos neumáticos rompedores

Camiones diesel de volteo

Tolva receptores bajo lumbrera

Torre y Malacate de manteo.

Bote de manteo

Tolva receptora sujeta a la torre

Camiones de volteo para el acarreo a los tiros de rezaga.

Compresores.

Subestación eléctrica.

#### b) EQUIPO PARA ADEME POR CONCRETO LANZADO:

Compresores

Carro mezclador de agregados y cemento.

Lanzadora de concreto.

C) EQUIPO PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO:

Hacemos mención de que el concreto será máquillado y suministrado -- hasta la tolva receptora por lo tanto, el equipo necesario para la colocación es:

Tanque amortiguador

Bomba de 15 m<sup>3</sup>/ hr.

Cimbra de 6.10 M. de longitud con carro transportador.

Vibradores de inmersión y de contacto.

El procedimiento de construcción del túnel en el tramo de tobas, para ambas secciones es el siguiente:

1.- Emportalamiento en túnel.

Una vez terminada la construcción de las lumbreras, se procede al -- emportalamiento del túnel, el cual en términos generales consiste en reforzar el inicio de la excavación, en la zona de la clave para evitar fallas o caídos del subsuelo.

Con objeto de dar continuidad a la lumbrera, en la zona donde se va a iniciar la excavación del túnel, se construye en las paredes de la lumbrera una estructura de concreto reforzado llamada trabe de borde, siguiendo la geometría de la sección correspondiente a dicho túnel.

Con el apoyo de ésta trabe se empieza a excavar la media sección superior con martillos rompedores, hasta tener un avance de 0.5 M., posteriormente se colocará una primera capa de concreto lanzado con un espesor de 5 cm. cubriendo toda la media sección superior excavada.



Una vez colocada la primera capa de concreto, se colocarán dos rastras formadas por viguetas IPR 10" x 5 3/4" (47.4 Kg/m). Las rastras estarán apoyadas en el banco de la media sección inferior, estas servirán de apoyo para la colocación de la parte superior del marco.

Instaladas las rastras, se colocará la parte superior del marco el cual está formado por dos semiclaves IPR 8" x 5 1/4" (29.8 Kg/M) soldadas en sus tres puntos de unión. Esta media sección se acunará contra el concreto lanzado por medio de polines de madera de 4" x 4" y sobre éstos se colocará una placa metálica que servirá de apoyo a la sección del marco.

Una vez instaladas las rastras, se colocarán los postes metálicos -- constituidos por viguetas IPR 8" x 5 1/4" (29.8 Kg/M) los cuales completan la sección del marco. Estos se soldan en sus dos puntos de apoyo.

El ciclo continúa de la misma manera colocando marcos a cada 0.5 M.- Entre un marco y otro se colocarán largueros formados por polines de 4" x 4" separados entre sí 1.50 M., la colocación de los largueros entre cada marco quedará desfasada 0.50 M. Estos largueros funcionan como separadores tomando los esfuerzos de compresión, por otra parte, es necesario hacer perforaciones con el fin de colocar varillas de 3/8" de diámetro en el alma de las viguetas, las cuales trabajan como tensores entre los marcos.

Colocados los largueros se procederá a fijar una malla de acero de 6" x 6" - 4/4, sobre la cuál se lanzará una segunda capa de concreto lanzado de 10 cm. de espesor.

En esta misma forma, se procede en varios avances de 5.0 M.

Una vez alcanzada esta longitud de túnel, se introduce por la lumbrera la máquina rozadora Westfalia la cual tiene una capacidad teórica de 40 m<sup>3</sup>/ Hr.

## 2.- EXCAVACION Y ADEME

Terminado el emportalamiento del túnel, el cual se atacó a media sección, se inicia la excavación del tramo a sección completa por medio de la Westfalia, ésta ataca el frente hasta lograr un avance de 2.40 M., y una vez alcanzado este avance los perforistas con los martillos rompedores perfilan adecuadamente la sección.

El material de rezaga producto de la excavación es descargado al camión de volteo por medio de la Westfalia; la que además de la cabeza rozadora, cuenta con una banda transportadora en un brazo, la cual transporta el material producto de la excavación hasta una segunda banda, que finalmente descarga el material al camión de volteo colocado detrás de la máquina.

El camión acarrea dicho material hasta la lumbrera donde descarga la rezaga al canalón bajo nivel de piso de túnel.

De ahí pasa al bote de manteo, que será izado a superficie por el malacate.

Una vez en el exterior, el bote es vaciado a la tolva receptora de rezaga la que a su vez descargará en los camiones de volteo para que éstos lleven la rezaga a los tiros correspondientes. Mientras tanto un segundo camión se debe encontrar en el frente de ataque. Después de avanzar los 2.40 metros lineales, se coloca el soporte temporal que en este caso cons-

ta de dos capas de concreto lanzado.

La primera de un espesor de 5 cm. se coloca una malla electrosoldada de acero como refuerzo, y posteriormente se lanza la segunda capa de concreto de 10 cm. de espesor.

El ciclo de excavación continúa de la misma manera, en los dos túneles gemelos del frente Viveros- Miguel Angel de Quevedo y de Miguel Angel de Quevedo - Copilco.

Por lo que respecta al frente de la rampa de la calle Dalias en donde los estudios geológicos encontraron un tramo de 350 m. de roca basáltica con la presencia de agua en el contacto roca-suelo.

El procedimiento de excavación fué a base de explosivos y ademe con marcos metálicos y concreto lanzado.

La excavación se realizará a media sección, ésto es, se excavará la media sección superior por medio de explosivos después se procederá a efectuar el banqueo de la media sección inferior, con el mismo procedimiento. Las voladuras irán desfasadas 5 cm.

El ademe metálico y el concreto lanzado se colocan de la misma manera que en los emportalamientos de túnel.

El concreto lanzado se colocará alternadamente, es decir, al terminar la excavación de la media sección superior se lanza concreto desde la clave hasta el banco, y se procede a colocar el ademe metálico con su retaque de madera. Posteriormente se ataca el banco de la media sección inferior y se lanza concreto en las paredes del túnel, continuando con la

terminación de la sección del marco metálico. Una vez que está colocado el marco se tiende la malla electrosoldada y se lanza una segunda capa de concreto de 10 cm. de espesor.

El ciclo de excavación es el siguiente:

Barrenación

Carga

Conexión

Tronada

Ventilación

Rezaga.

Las instalaciones en superficie son iguales a las de cualquiera de las lumbreras enunciadas con anterioridad.

La barrenación se hace por medio de perforadoras neumáticas de pierna, y esta se lleva a una profundidad de 2.40 M.

La carga de explosivos se hace con dinamita Tovex 100 en cartucho de 1" x 8" calculando para ello un consumo promedio de 800 grs. por metro cúbico.

En las conexiones se utilizaron estopines eléctricos con intervalos de diferentes milisegundos para el disparo.

Los alambres de los estopines, una vez conectados en los circuitos finales, se conectan a dos alambres de mayor calibre hasta donde se accionará el detonador o Switch de disparo, a una distancia mínima de 200 M. -- como medida de seguridad contra la proyección de las rocas.

Después de la voladura, se tendrá que efectuar la ventilación del frente, ya que los gases producidos por la explosión son sumamente tóxicos, para lo cual se utilizan ventiladores de 28,000 pies cúbicos por minuto con una tubería de 36 pulgadas de diámetro. El tiempo de ventilación es de 30 minutos.

Una vez terminado el tiempo de ventilación, el personal regresa al frente para efectuar la rezaga de las voladuras. Esta se efectúa por medio de un cargador sobre orugas que llenará camiones de volteo los que saldrán por la rampa de trabajo hasta el sitio de descarga.

Debido a la presencia de agua, hubo necesidad de instalar dentro del túnel, estaciones de bombeo a cada 200 m. con bombas de 20 H.P. con salida de 4", para poder transpalar el agua del frente hasta la rampa de salida y de ahí por medio de una bomba eléctrica extraerla a la superficie.

Las líneas de aire comprimido, agua, corriente eléctrica y ventilación, deberán ser llevadas igual que en los otros frentes.

Para la construcción del par de túneles que formarán las zonas de acceso y descanso de pasaje en la estación Miguel Angel de Quevedo, se utilizarán las lumbreras al Oriente y al Poniente de la Av. Universidad.

El procedimiento de excavación es similar al del frente Víveros- Miguel Angel de Quevedo con la variante de que se utilizó una máquina rozadora más pequeña, y siendo las distancias de acarreo menores de 200 M. se empleó un cargador neumático.

5.4.- EXCAVACION FRENTE DE ATAQUE:  
VIVEROS, UNIVERSIDAD Y DALIAS

EXCAVACION FRENTE VIVEROS

Area de la sección a Línea "B" =  $43.76 \text{ m}^2$

Material por Excavar: Arena Limosa.

Coefficiente de Abundamiento: 40 %

En el túnel oriente se cuenta con una excavadora Westfalia Dachs -- con rendimiento igual a  $20 \text{ m}^3/\text{Hr.}$  y camiones de volteo de  $6 \text{ m}^3$  de capacidad.

En el túnel poniente se cuenta con una excavadora Westfalia Luchs de rendimiento igual a  $25 \text{ m}^3/\text{Hr.}$  y camiones de volteo de  $6 \text{ m}^3$  de capacidad.

Las alternativas de excavación en éstos frentes son:

I.- Excavación y ademe por concreto lanzado.

II.- Excavación y ademe por marcos metálicos y madera, cada una de -- las alternativas anteriores., para los rendimientos de ambas ro-zadoras.

I.- Excavación y ademe por concreto lanzado en el túnel Oriente.

En este caso se excavarán 2.00 M. de profundidad. Por lo tanto el tiempo de excavación es:

$$T = \frac{43.76 \text{ M}^2 \times 2.00 \text{ M.}}{20 \text{ M}^3/\text{hr.}} = 4.38 \text{ Hr.}$$

El volúmen de rezaga es de:

$43.76 \text{ M}^2 \times 2.00 \text{ M} \times 1.4 \text{ Abund.} = 122.53 \text{ M}^3$  Que deben extraerse del frente en 4.38 Hrs. El rendimiento requerido es de:

$$\frac{122.53 \text{ M}^3}{4.38 \text{ Hrs.}} = 28 \text{ M}^3/\text{Hr.}$$

El ciclo del camión es:

$$\text{Carga} = \frac{6 \text{ M}^3 \times 60}{20 \text{ M}^3/\text{Hrs.}} = 18 \text{ Min.}$$

$$\text{(V = 10 Km/Hr) (IDA (400 M))} = \frac{400 \text{ M} \times 60}{10,000 \text{ M/HR.}} = 2.4 \text{ Min.}$$

$$\text{Maniobras} = 2.0 \text{ Min.}$$

$$\text{Descarga} = 3.0 \text{ Min.}$$

$$\text{Retorno} = \frac{400 \text{ M} \times 60}{12,000 \text{ M/hr.}} = 2.0 \text{ Min.}$$

$$\text{Acomodo} = 6.0 \text{ Min.}$$

$$\text{Total} = 28.0 \text{ Min.}$$

$$\text{No. de ciclos} = \frac{60}{28} = 2.14 \text{ Ciclos/Hr.}$$

$$\text{Rendimiento} = 2.14 \text{ Ciclos / Hr.} \times 6 \text{ M}^3/\text{Hr.} = 12.8 \text{ M}^3/\text{Hr.}$$

$$\text{No. de camiones} = \frac{28 \text{ M}^3/\text{Hr.}}{12.8 \text{ M}^3/\text{Hr.} / \text{Camión}} = 2.18 \text{ camiones}$$

$$= 3 \text{ camiones.}$$

El concreto lanzado en bóveda será efectuado después de la excavación:

Perímetro por lanzar = 11.00 M.

Volumen colocado = 11.00 M. x 0.15 M X 2.00 = 3.3. M<sup>3</sup>.

Para colocar este volumen se requiere lanzar 3.3. x 1.7 = 5.6/ M<sup>3</sup> de mezcla.

Rendimiento lanzadora = 2 m<sup>3</sup>/Hr.

$$\frac{5.61 \text{ M}^3}{2.0 \text{ M}^3/\text{Hr.}} = 2.8 \text{ Hrs.}$$

Las paredes serán lanzadas de concreto en el momento de la excavación.

Por lo tanto el ciclo para esta condición I será:

Topografía	0.25 Hr.
Excavación ( 2.00 Ml.)	4.38 Hr.
Ademe por conc. Lanz.	2.80 Hr.
	7.43 Hr.

Si consideramos una eficiencia de 85 %:

$$\text{Ciclo Real} = \frac{7.43 \text{ Hr.}}{0.85} = 8.74 \text{ Hr.}$$

$$\text{Ciclos por día} = \frac{24 \text{ Hrs.}}{8.74 \text{ Hr./ciclo}} = 2.75 \text{ Ciclos/día}$$

Avance por ciclo = 2.00 M.

Avance por día = 2.75 x 2 = 5.5.0 M./día.

11.- Excavación y ademe por concreto lanzado en el túnel Poniente.

El rendimiento de excavación aumenta en este frente con la rozadora



luchs. A 25 M<sup>3</sup>/Hr.

$$\text{Tiempo de Excavación} = \frac{43.76 \times 2.00}{25} = 3.50 \text{ Hrs.}$$

$$\text{Ademe} = 2.80 \text{ Hrs.}$$

$$\text{Topografía} = \frac{0.25 \text{ Hrs.}}{}$$

$$6.55 \text{ Hrs.}$$

$$n = 85 \% \quad \therefore \quad \text{T. Ciclo real} = 8.18 \text{ Hrs.}$$

$$\text{No. ciclos} = \frac{24}{8.18} = 2.93 \text{ ciclos/día}$$

$$\text{Avance: } 2.93 \times 2.00 = 5.86 \text{ M/día}$$

Revisemos la capacidad de manteo tomando en cuenta que se tuvieron los avances sumados de las condiciones I y II

$$5.50 + 5.86 = 11.36 \text{ M/día.}$$

$$11.36 \text{ M/día} \times 43.76 \text{ M}^2 \times 1.4 \text{ Abund.} = 696 \text{ M}^3/\text{día.}$$

El bote de 4.0 M<sup>3</sup> de capacidad tiene un ciclo real de 5 minutos.

$$\text{No. Ciclos} = \frac{60}{5} = 12$$

$$\text{Rendimiento} = 12 \text{ ciclos/Hr.} \times 4 \text{ M}^3/\text{ciclos} = 48 \text{ M}^3/\text{Hr.}$$

$$\text{Se requieren} = \frac{696 \text{ M}^3/\text{día}}{24 \text{ M}^3/\text{día}} = 29 \text{ M}^3/\text{Hr.}$$

$$48 \text{ M}^3/\text{Hr.}$$

Por manteo no hay restricción en el avance aún tomando en cuenta las dos condiciones de avance más alto.

III.- Excavación y ademe por marcos metálicos y madera en el túnel oriente.

En este caso se excavará 1.00 M. de profundidad. tiempo de excavación = 2.29 Hrs. (de acuerdo a lo analizado en la condición I), pero al colocar marcos es por tener suelos más blandos y suponemos que el rendimiento bajará un 50 %.

Por lo tanto  $T_{exc\ real} = 2.19 \times 1.5 = 3.28$  Hr.

Para la colocación del marco es necesario tener los materiales cerca del frente.

Topografía = 0.5 Hr.

Colocación Restras = 0.33 Hr.

Colocación postes = 0.5 Hr. Con tensores y separadores

Colocación Curvas = 1.5 Hr.

Ademe de Madera = 1.0 Hr.

Por lo tanto el ciclo teórico es:

3.28
0.50
0.50
1.50
<u>1.00</u>
6.78 Hrs.

Si consideramos una eficiencia del 85 %

$T_{ciclo\ real} = \frac{6.78}{0.85} = 7.97$  Hrs./ ciclo

$$\text{Ciclos por día} = \frac{24}{7.97} = 3 \text{ ciclos/día}$$

$$\text{Avance/ciclo} = 1.00 \text{ M.}$$

$$\text{Avance/día} = 1.00 \text{ M.} \times 3 = 3.00 \text{ M/día.}$$

IV.- Excavación y ademe por marcos metálicos y madera en el túnel Poniente.

Igual que en el caso anterior, la excavación será de 1.00 M. de profundidad, pero el rendimiento varía, a 1.75 Hr./Metro.

Suponiendo también un decremento el 50 %

$$\text{T. exc. Real} = 1.75 \times 1.5 = 2.63 \text{ Hrs.}$$

El tiempo para colocación del ademe es igual al de la condición II.- Por lo tanto tenemos como tiempo del ciclo:

2.63

0.50

0.50

1.50

1.00

5.13 Hrs.

Si n = 85%

$$\text{T ciclo real} = \frac{5.13}{0.85} = 6.03 \text{ Hrs/Ciclo}$$

$$\text{No. de ciclos} = \frac{24}{6.03} = 3.98 \text{ ciclos/día}$$

Avance/ ciclo = 1.00 M.

Avance/ día = 1.00 x 3.98 = 4.00 M/día.

Si se especifica concreto lanzado entre los marcos de las condiciones III y IV, éste puede ser efectuado 20 M. atrás del frente, no ocasionando demoras en el ciclo.

El revestimiento de concreto irá a 200 M. del frente de excavación no ocasionando interferencias en la excavación.

Para lograr una eficiencia máxima en la excavación y trabajo en general, deberá contarse con condiciones tales como:

- 1.- Alumbrado suficiente a lo largo del túnel por medio de lámparas fluorescentes.
- 2.- Iluminación suficiente en los frentes de trabajo.
- 3.- Una organización adecuada del personal para lo cual es sumamente importante:
- 4.- Vigilancia y supervisión constante del Jefe de frente así como conocimiento perfecto del ciclo.
- 5.- Registro de demoras que al final del día, el Jefe de frente deberá analizar para anularse con soluciones efectivas.
- 6.- Gráficas del ciclo que el Jefe de obra deberá analizar diariamente para ordenar las correcciones en caso de falla.
- 7.- Previsión en el suministro de materiales tanto del Jefe de frente como del Jefe de obra.

- 8.- Mantenimiento preventivo de la maquinaria por parte del Ingeniero Mecánico, por lo que deberá elaborar y cumplir sus programas en coordinación con el Jefe de obra.
- 9.- Mantenimiento correctivo de la maquinaria para lo cual deberá contarse con las principales refacciones de desgaste.
- 10.- Mantenimiento predictivo de la maquinaria para lo cual deberán tomarse muestras de aceite de las máquinas semanalmente, y enviarlas al análisis de laboratorio.
- 11.- Ventilación suficiente en el frente de trabajo, analizando el flujo de aire fresco requerido, tenemos lo siguiente:

Por Frente:

3 Camiones de volteo diesel para excavación	$134 \text{ HP} \times 3 = 392 \text{ HP}$
1 Camión diesel con tolva para concreto lanzado.	$134 \text{ HP} \times 1 = 134 \text{ HP}$
1 Rozadora (Motor diesel para - el tránsito)	$120 \text{ HP} = \frac{120 \text{ HP}}{646 \text{ HP}}$

En el frente habrán como máximo 25 personas.

La cantidad de aire necesario entonces es el siguiente:

Por equipo diesel, 70 P.C.M./ min/ HP

Por personal. 200 P.C.M/min/Hombre

$$70 \times 646 = 45,220 \text{ p.c.m.}$$

$$25 \times 200 = \underline{5,000 \text{ p.c.m.}}$$

$$50,220 \text{ p.c.m.}$$

Se cuenta con ventiladores de 28,000 p.c.m. y cuya presión es de 4'' de agua.

La fricción en la tubería de 36'' es de 0.22 M/M. por lo que la distancia máxima a que hay que colocar los ventiladores es de 400.M.

Ya que el gasto requerido es de 50,220 p.c.m., y se cuenta con ventiladores de 28,000 p.c.m., se hace necesario instalar 2 líneas para cada frente.

EXCAVACION EN FRENTE UNIVERSIDAD

Area de la sección a línea "B" = 71.08 M<sup>2</sup>

Material por excavar: Arena Limosa con arcillas.

Coefficiente de abundamiento ; 40%

Se tienen dos frentes de excavación, uno hacia Miguel Angel de Quevedo y el otro hacia Copilco.

Se cuenta en el frente Norte con martillos rompedores y cargador - 955 K, así como camiones de 6.00 M<sup>3</sup>.

Se cuenta en el frente Sur con una excavadora.

Westfalia Luchs de rendimiento igual a 25 M<sup>3</sup>/Hr. y camiones de volteo de 6 M<sup>3</sup> de capacidad.

Las alternativas de excavación en esta lumbrera son:

- I.- Excavación con Westfalia y Ademe por Concreto lanzado.
- II.- Excavación con Westfalia y Ademe por Marcos Metálicos.
- III.- Excavación con Martillos y Ademe por Concreto Lanzado.
- IV.- Excavación con Martillos y Ademe por Marcos Metálicos.

Analizaremos cada una de estas alternativas para conocer el avance diario así como los tiempos de los ciclos de trabajo.

I.- Excavación con Westfalia y Ademe por Concreto Lanzado.

En este caso se excavarán 2.00 M. de profundidad. Por lo tanto el tiempo de excavación es:

$$T = \frac{71.08 \text{ M}^2 \times 2.00 \text{ M}}{25 \text{ M}^3/\text{Hr.}} = 5.68 \text{ Hrs.}$$

Volúmen de rezaga :  $71.08 \text{ M}^2 \times 2.00 \text{ M} \times 1.4 \text{ abund} = 199 \text{ M}^3$ .

El rendimiento de extracción de la rezaga del frente deberá ser:

$$\frac{199 \text{ M}^3}{5.68 \text{ Hr.}} = 35 \text{ M}^3/\text{Hrs.}$$

El ciclo del camión es:

$$\text{Carga} = \frac{6 \text{ M}^3 \times 60 \text{ min./Hr.}}{25 \text{ M}^3/\text{Hr.}} = 14.4 \text{ min.}$$

$$r = 10 \text{ Km/Hr. (ida)} = \frac{500 \text{ M} \times 60 \text{ Min/Hr.}}{10,000 \text{ M/Hr.}} = 3.0 \text{ min.}$$

$$D = 500 \text{ M}$$

$$10,000 \text{ M/Hr.}$$

$$\text{Maniobras} = 2.00 \text{ min}$$

$$\text{Descarga} = 2.00 \text{ min.}$$

$$\text{Retorno} = \frac{500 \text{ M.} \times 60 \text{ min/Hr.}}{12,000 \text{ M/Hr.}} = 2.5 \text{ min.}$$

$$\text{Acomodo} = \frac{0.6 \text{ min.}}{24.5 \text{ min.}}$$

$$\text{No. de ciclos/Hr.} = \frac{60}{24.5} = 2.44 \text{ ciclos/Hr.}$$

$$\text{Rendimiento} = 2.44 \text{ ciclos/Hr.} \times 6 \text{ M}^3/\text{Ciclo} = 14.64 \text{ M}^3/\text{Hr.}$$

$$\text{No. de camiones} = \frac{35 \text{ M}^3/\text{Hr.}}{14.64 \text{ M}^3/\text{Hr.} / \text{Camión}} = 2.39 = 3 \text{ camiones}$$

El concreto lanzado en bóveda es efectuado después de la excavación.



$$\text{Perímetro por lanzar} = \frac{1}{2} (\pi \times 9.24) = 14.5 \text{ M.}$$

$$\text{Volúmen colocado} = 14.5 \text{ M.} \times 0.15 \text{ M.} \times 2.00 \text{ M.} = 4.35 \text{ M}^3.$$

Para colocar este volúmen se requiere lanzar:

$$4.35 \times 1.7 = 7.4 \text{ M}^3.$$

$$\text{Rendimiento de la lanzadora} = 2 \text{ M}^3/\text{Hr.}$$

$$\frac{7.4 \text{ M}^3}{2.0 \text{ M}^3/\text{Hr.}} = 3.7 \text{ Hrs.}$$

Las paredes serán lanzadas de concreto durante la excavación.

Resúmen del ciclo:

Topografía	0.25 Hrs.
Excavación (2.00 M)	5.66 Hrs.
Ademe por Conc. Lanz.	<u>3.70 Hrs.</u>
	9.63 Hrs./Ciclo

$$\text{Ciclos por día} = \frac{24 \text{ Hrs.}}{9.63 \text{ Hrs./Ciclo}} = 2.5 \text{ ciclos.}$$

$$\text{Avance por ciclo} = 2.00 \text{ M.}$$

$$\text{Avance por día} = 2.00/\text{Ciclo} \times 2.5 \text{ ciclos/día} = 5.00 \text{ M/día}$$

11.- Excavación con Westfallia y Ademe por Marcos Metálicos.

En este caso se excavará 1.00 M. de profundidad.

Por lo tanto el tiempo de excavación se convierte en la mitad del tiempo de la alternativa I:

$$\frac{5.68 \text{ Hrs.}}{2} = 2.84 \text{ Hrs.}$$

Si consideramos que existe un grado más alto de dificultad de la -- excavación, y además por eso se colocan marcos metálicos:

$$\text{Tiempo de excavación} = 2.84/\text{Hrs.} \times 15 = 4.26 \text{ Hrs.}$$

Tiempos para la colocación del ademe metálico:

Topografía	=	0.50 Hrs.	
Colocación de Rastras	=	0.33 Hrs.	
Colocación de Postes	=	0.50 Hrs.	
Colocación de Curvas	=	1.50 Hrs.	Con tensores y separadores
Ademe de madera	=	<u>1.00 Hrs.</u>	
		3.83 Hrs.	

Resumén del ciclo de excavación con marcos:

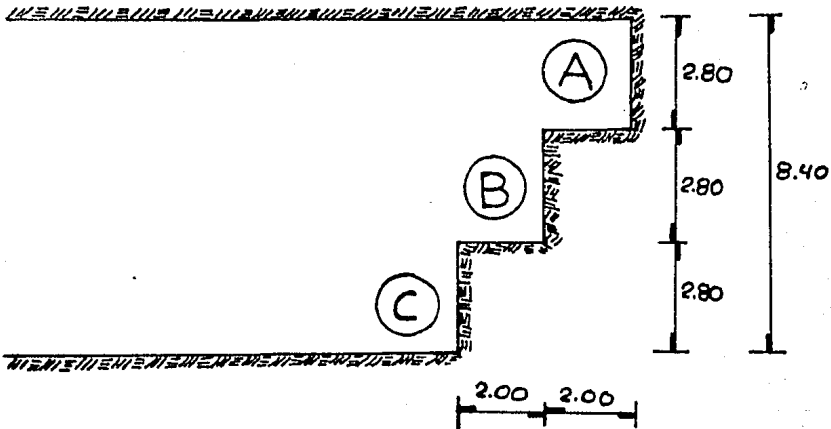
Topografía	0.25 Hrs.
Excavación (1.00 M)	4.26 Hrs.
Ademe	<u>3.83 Hrs.</u>
	8.34 Hrs./ciclo
Ciclos por día =	$\frac{24 \text{ Hrs.}}{8.34 \text{ Hrs./Ciclo}} = 2.88 \text{ ciclos/día}$

$$\text{Avance/ciclo} = 1.00 \text{ M.}$$

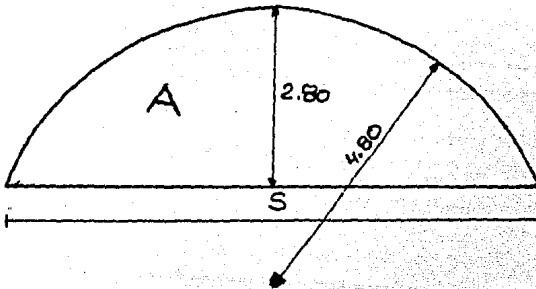
$$\text{Avance/día} = 1.00 \text{ M} \times 2.88 = 2.88 \text{ M/Día.}$$

III.- Excavación con Martillos y Ademe por concreto Lanzado.

La excavación será efectuada con martillos neumáticos accionados por "Perforistas" quienes tendrán que labrar 2 bancos de ataque de 2.80 M. de altura por 2.00 M. de profundidad:



El ciclo se inicia con la excavación en la zona "A" cuyo volumen -- es de:



$$A = \frac{H}{65} (3H^2 + 4s^2)$$

$$S = \frac{\sqrt{16 RH - 8 H^2}}{2}$$

$R = 4.80 \text{ M.}$        $H = 2.80 \text{ M.}$

$$S = \frac{16 \times 4.80 \times 2.80 - 8 \times 2.80^2}{2} = 6.17 \text{ M.}$$

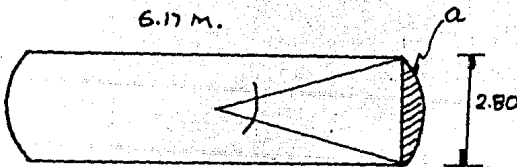
$$A = \frac{2.80}{6 \times 6.17} (3 \times 2.80^2 + 4 \times 6.17^2) = 13.29 \text{ M}^2$$

$$V_A = 13.29 \text{ M}^2 \times 2.00 \text{ M} = 26.58 \text{ M}^3.$$

Se excavará con 4 perforistas cuyo rendimiento unitario con martillo neumático Tex II se estima en  $2 \text{ M}^3/\text{Hr.}$

$$\therefore \frac{26.58 \text{ M}^3}{5 \times 2 \text{ M}^3/\text{Hr.}} = 2.66 \text{ Hrs.}$$

El volumen de excavación de la zona "B" será:



$$S = 2 R \text{ sen } \frac{\alpha}{2}$$

$$S = 2.80$$

$$R = 4.80$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$S = 2.80 = 2 \times 4.80 \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$2.80 = 9.60 \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{2.80}{9.60} = 0.2916$$

$$\frac{\alpha}{2} \text{ Ang } \sin 0.2916$$

$$\alpha = 33.9155^\circ$$

$$A = \frac{H}{65} (3H^2 \times 4s^2)$$

$$H = \frac{S}{2} \tan \frac{\alpha}{4} = \frac{2.80}{2} \tan \frac{33.9155^\circ}{4}$$

$$H = 0.208 \text{ M.}$$

$$A = \frac{0.208}{6 \times 2.80} (3 \times 0.208^2 + 4 \times 2.80^2) =$$

$$A = 0.39 \text{ M}^2 \times 2 = 0.78 \text{ M}^2$$

$$A_t = 6.17 \times 2.80 + 0.78 = 18.056 \text{ M}^2.$$

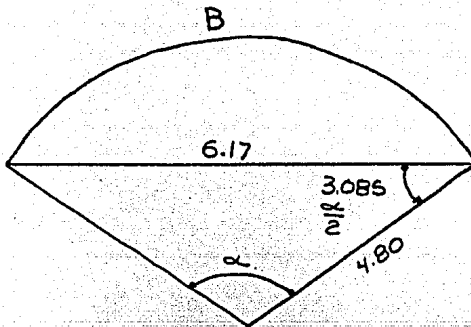
$$V_B = 18.056 \times 2 = 36.11 \text{ M}^3.$$

Rendimiento perforistas =  $2 \text{ M}^3/\text{Hrs.}$

$$\frac{36.11 \text{ M}^3}{5 \times 2 \text{ M}^3/\text{Hrs.}} = 3.6 \text{ Hrs.}$$

Al terminr de excavar este banco "B" e iniciar la excavación del -  
Banco "C", se puede lanzar concreto en la zona A.

El tiempo de concreto lanzado es el siguiente:



$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{3.085}{4.80} = 0.643$$

$$\alpha = 2 \text{ Ang. } \sin 0.643$$

$$\alpha = 80^\circ$$

$$B = \frac{4.80 \times \pi \times 80}{180} = 6.70 \text{ M.}$$

$$\text{Volúmen por colocar} = 6.70 \text{ M.} \times 2.00 \text{ M.} \times 0.15 = 2.01 \text{ M}^3$$

$$\text{Volúmen por lanzar} = 2.01 \times 1.7 = 3.42 \text{ M}^3.$$

$$\text{Rendimiento lanzadora} = 2 \text{ m}^3/\text{Hr.}$$

$$T \text{ Lanzado} = \frac{3.42 \text{ m}^3}{2 \text{ M}^3/\text{Hr.}} = 1.71 \text{ Hrs.} < 3.6 \text{ Hrs.}$$

Por lo tanto el lanzado en "A" no interfiere con la excavación en "C"

Vemos ahora el tiempo requerido para lanzar la zona B (paredes).

Regresando al cálculo de excavación en la zona "B" calcularemos la longitud por lanzar en las paredes:

$$L = \frac{R \times \pi \times \alpha}{180} = \frac{4.80 \times \pi \times 34^\circ}{180} = 2.85 \text{ M.}$$

$$2.85 \times 2 = 5.70 \text{ M.}$$

$$\text{Volúmen por colocar} = 5.70 \text{ M.} \cdot 2.00 \times 0.15 = 1.7/\text{M}^3$$

Volúmen por lanzar:

$$1.7/\text{M}^3 \times 1.7 = 2.9 \text{ M}^3.$$

$$\text{Rendimiento Lanzadora} = 2 \text{ M}^3/\text{Hr.}$$

$$T = \frac{2.9}{2} = 1.45 \text{ Hrs.}$$

Sumando este tiempo con el tiempo de lanzado en bóveda tenemos un tiempo total de lanzado en zonas A y B de:

$$1.7/\text{Hrs.} + 1.45 = 3.16 \text{ Hrs.} < 3.6 \text{ Hrs. que es el tiempo de excavación de la zona "C"$$

Ahora bien, el tiempo necesario para lanzar concreto en la zona "C", es el mismo que en la zona "B" por tener las mismas dimensiones.

Veamos ahora que sucede con la razaga.

$$\text{El volúmen por rezagar es de } 71.08 \text{ M}^2 \times 2.00 \times 1.4 \text{ Abund.} = 199 \text{ M}^3.$$

La máquina utilizada es un cargador sobre orugas 955 K cuyo rendimiento de carga es de :

$$30 \text{ M}^3/\text{Hr. tomando en cuenta las condiciones en túnel.}$$

Por lo tanto el tiempo para rezagar es de:

$$\frac{199 \text{ M}^3}{30 \text{ M}^3/\text{Hr.}} = 6.68 \text{ Hrs.}$$

$$30 \text{ M}^3/\text{Hr.}$$

Sumando los tiempos de excavación de las zonas A, B y C. así como el de lanzado en C, tenemos:

2.99 (En A) Exc.

3.60 (En B) Exc.

2.50 (Algo menor que en A) Exc.

1.45 (En C) Lanzado

10.21 Hrs. < 6.63 Hrs..

Con una eficiencia del 85%, el tiempo real del ciclo será:

10.21 = 12 Hrs/ciclo

8.85

No. de ciclos/día =  $\frac{24}{12}$  = 2

Avance/ciclo = 2.00 M.

Avance/ día = 2.00 M x 2 ciclos/ día = 4.00 M/día.

#### IV.- Excavación con Martillos y Ademe por Marcos.

El tiempo de excavación será la mitad del tiempo de excavación en la alternativa III ya que será con cuele 1.00 M.

Además el tiempo de colocación del marco metálico con ademe de madera es igual al de la alternativa II.

Los tiempos del ciclo son:

Excavación para 1.00 M. en zona A                      1.33



Excavación para 1.00 M. en zona B	1.80
Excavación para 1.00 M. en zona C	1.25
Ademe metálico y de madera	<u>3.83</u>
	8.21

$$n = 0.85$$

$$\text{Tiempo real del ciclo} = \frac{8.21}{0.85} = 9.65 \text{ Hrs./ciclo}$$

$$\text{No. de ciclos} = \frac{24}{9.65} = 2.48 \text{ ciclos/día}$$

$$\text{Avancé por ciclo} = 1.00 \text{ M}$$

$$\text{Avance por día} = 2.48 \times 1.00 = 2.48 \text{ M/día}$$

Revisando la capacidad de manteo.

Si tenemos en un momento dado la alternativa 1 en ambos frentes, --  
ésto es, que por alguna situación rara se contara con 2 Westfallias en es-  
ta lumbrera, el avance diario máximo sería.

$$5.00 \times 2 = 10.00 \text{ M/día}$$

Volúmen por rezagar/día:

$$10.00 \text{ M/día} \times 71.08 \text{ M}^2 \times 1.4 \text{ abund.} = 995.12 \text{ M}^3$$

El tiempo del ciclo del bote de  $4.0 \text{ M}^3$  es de 3.5 minutos.

$$\text{No. de ciclos/ hr.} = \frac{60}{3.5} = 17.1$$

$$\text{Rendimiento horario} = 17.1 \text{ ciclos/Hrs.} \times 4.0 \text{ M}^3/\text{ ciclo} = 68.4 \text{ M}^3/\text{Hr.}$$

$$\text{Rendimiento requerido} = \frac{995 \text{ M}^3}{24 \text{ Hrs.}} = 41.45 \text{ M}^3/\text{Hr.}$$

Por lo tanto no tenemos problemas de manteo.

## EXCAVACION DEL FRENTE DALIAS

(Tramo en Basalto)

Area de la sección a línea "B" = 71.08 M<sup>2</sup>

Material por excavar = Basalto fracturado

Coefficiente de Abundamiento ; 50%

Equipo de perforación: 5 perforadoras Gardner Denver D 93 AR con brazos hidráulicos montadas en un camión Euclid.

Equipo de carga: Cargador 955 Descarga lateral.

Equipo de acarreo: Camiones de volteo de 7.00 M<sup>3</sup>

El procedimiento de excavaciones es por ciclos de voladura en túneles de roca con la extracción de rezaga por medio de una rampa de trabajo.

Cálculo del ciclo.

(Se adjunta diagrama de barrenación).

Como barrenación, ésta será efectuada con profundidad de 2.40 M. - debido a que a mayor cuele se tienen problemas por el grado de fracturación de la roca.

La cuña a usar es una cuña Grounlond paralela con barrenos vacíos del mismo diámetro.

Utilizando dinamita Tovex 100 de 1"  $\emptyset$  con una potencia del 40%. -- Acero de barrenación del 1 1/4"  $\emptyset$  = 32 MM.

1.- Barrenación.

a). Cálculo del No. de barrenos

a.1). Barrenos de piso.

Para 32 MM. de diámetro de la barrenación y 2.40 M. de profundidad de Barrenación, el bordo es:

$$V = 0.90 \text{ M.}$$

Quitando 10 cm. de desviación de los barrenos (ésto será en todos los barrenos perimetrales).

$$V \text{ real} = 0.90 - 0.10 = 0.80 \text{ M.}$$

$$\text{Espaciamiento} = 1.00 \text{ M.}$$

$$\text{No. de espacios} = \frac{6.05}{1.00} = 6 \text{ espacios.}$$

$$\text{No. de barrenos de piso} = 6 + 1 = 7$$

$$\text{Espacio entre barrenos} = 1.00 \text{ M.}$$

a.2). Barrenos de pared.

$$V = 0.9 \text{ M.}$$

$$V \text{ real} = 0.90 \text{ M} - 0.10 \text{ M} = 0.80$$

$$\text{Espaciamiento} = 1.00 \text{ M.}$$

$$\text{No. de espacios} = \frac{6.00}{1.00} = 6$$

$$\text{No. de barrenos de pared} = 2 ( 6 + 1 ) = 14$$

$$\text{Espacio entre barrenos} = 1.00 \text{ M.}$$

a.3) Barrenos de techo.

$$V = 0.80$$

$$V \text{ real} = 0.80 - 0.10 = 0.70 \text{ M.}$$

$$\text{Espaciamento} = 0.95$$

$$\text{No. de espacios} = \frac{8.00}{0.95} = 8$$

$$\text{Espacio entre barrenos} = \frac{8.00}{8} = 1.00 \text{ M.}$$

$$\text{No. de barrenos} = 8 + 1 = 9 - 2 (\text{ de pared}) = 7$$

a.4) Barrenos de cuña

Como se vió, la cuña a usar es tipo Grounlun cuyo número de barrenos es de 13 de los cuales son 9 cargados y 4 vacíos.

El tamaño de la cuña es de 0.42 m. y 0.42 M. El bordo de los barrenos perimetrales de cuña es de:

$$\frac{\text{Prof. de Barrenación} - 0.8}{2} =$$

$$\frac{2.40 - 0.8}{2} = 0.80 \text{ M.}$$

Con los datos de bordos de barrenos perimetrales y de cuña, haremos un diagrama para conocer las distancias que nos quedan para barrenos ayudantes de cuña, con salida hacia arriba y con salida hacia abajo, y de acuerdo a sus espaciamentos, calcular distancias entre ellos. (Ver fig. 1).

La figura 2 nos muestra el diagrama de barrenación final tomando en cuenta que los bordos fluctúan en 0.80 y 1.20 M. sin considerar en este caso desviación de barrenos ya que solamente en el perímetro de la sección, las perforadoras ocasionan dicha desviación.

Resumen

No. de barrenos vacíos = 4

No. de Barrenos cargados:

De piso = 7

De pared = 14

De techo = 7

De cuña = 9

Ayudantes con sálida

Arriba = 14

Ayudantes con sálida

Horizontal = 26

Ayudantes con sálida

Hacia abajo = 13

Total 94

Longitud de barrenación = 2.40 M. x 94 barrenos = 226.60 M.

T. Barrenación -  $\frac{225.60 \text{ M}}{5 \text{ perfs.} \times 15 \text{ M/Hr.}}$  = 3.00 hrs.

2.- Carga.

Utilizaremos la siguiente tabla de acuerdo al diámetro de los barre

nos, profundidad de barrenación, y material por excavar y  $\phi = 1 \frac{1}{4}'' = 32$  M.M.

Explosivo. Tovex 100 de 1''  $\phi$  x 8'' p = 2.40 M. basalto fracturado.

BARRENOS	CARGA Kg	KG/M	No. de Billos	KG	Kg/M	No. de Billos	No. de Barre- nos	No. de Bombi- llos	Carga Total
De piso	0.80	1.00	6	1.00	0.70	6	7	84	14.615
De pared	0.40	1.00	3	0.65	0.40	4	14	98	17.052
De techo	0.40	1.00	3	0.50	0.30	3	7	42	7,308
De cuña	0.20	0.25	2	0.40	0.60	3	9	54	9,396
Ayudantes	0.40	1.00	3	0.65	0.40	4	54	371	64,554

649 112,926

Peso de Bombillo = 0.174 Kg.

Kg. Totales de Tovex 100 = 112,926 Kg.

Area de la sección = 71.08 M<sup>2</sup>

Prof. Barrenación = 2.40 M.

Volúmen por ciclo = 71.08 x 2.40 = 170.592 M<sup>3</sup>

Consumo de explosivos =  $\frac{112,926 \text{ Kg}}{170,592 \text{ M}^2} = 0.662$

Cada caja de Tovex 100 trae 143 bombillas y pesa 25 Kg.

No. de cajas = 4.5 cajas/voladura.

Regresando a nuestro diagrama de barrenación tenemos la siguiente-  
tabla de detonadores eléctricos a usar (estopínes milisegundos de Instan-  
táneo al 300 y estopínes de tiempo del 3 a 9).

Estopínes	Cantidad
Instantáneo	1
25 Ms	2
50 Ms	2
75 Ms	4
100 Ms	4
125 Ms	4
150 Ms	2
200 Ms	12
250 Ms	12
300 Ms	19
No. 3	1
No. 4	4
No. 5.	4
No. 6	6
No. 7	6
No. 8	6
No. 9	1
Total	90

Para calcular el tiempo de carga tomaremos un rendimiento de 50 bombillos/poblador/hora como promedio.

Los 5 perforistas funcionarán como dobladores por lo tanto tenemos:

$$\frac{649 \text{ Bombillas}}{50 \text{ Bombillas/poblador/Hora} \times 5 \text{ perfs.}} = 2.6 \text{ Hrs.}$$

$$T \text{ carga} = 2.6 \text{ Hrs.}$$

### 3.- Ventilación.

Contamos con ventiladores de 36"  $\emptyset$  cuya capacidad es de 28,000 p.c.m.

Se utilizarán camiones de volteo para la rezaga de motor con 134 HP.

El requerimiento de aire fresco es de 70 p.c.m/HP y para el personal, de 200 p.c.m./hombre

Por explosivos

$$\text{de } \frac{1260 \text{ S}}{T}$$

En donde T = tiempo de ventilación

y S = Kg. de explosivos/ voladura.

Consideraremos 30 min. de ventilación.

Revisemos.

Por gases de explosivos y personal:

$$\text{Requerido: } \frac{1260 \times 112.926 + 15 \times 200}{T} = 4842 \text{ p.c.m.}$$



$$4842 \text{ pcm} < 28,000 \text{ p.c.m.}$$

Por camiones diesel y personal:

$$\text{Requerido} = 2 \times 70 \times 134 + 200 = 21,760 \text{ pcm.}$$

$$21,760 \text{ pcm} < 28,000 \text{ pcm.}$$

$$T \text{ vent.} = 30 \text{ min.}$$

4.- Rezaga

Volúmen por voladura:

$$71.08 \text{ M}^2 \times 2.40 \text{ M} \times 0.85 \times 1.15 \text{ sobre Excav.} \times 1.5 \text{ abund.} = 250.13 \text{ M}^3.$$

El rendimiento del cargador es el siguiente:

$$\text{Capacidad del cucharón} = 2.25 \text{ yd}^3 = 2.00 \text{ M}^3$$

Factor de llenado para rezaga de tamaño promedio de 30 cm. = 80%

$$\text{Capacidad real del cucharón} = 1.60 \text{ M}^3 \text{ sueltos}$$

Tiempo de carga = 1.00 min. (para cada botazo)

$$\text{No. de botazos/min} = \frac{60}{1.00} = 60$$

$$\text{Producción} = 60 \times 1.60 = 96 \text{ M}^3/\text{Hr.}$$

Cada camión tiene una capacidad de 7.00 M<sup>3</sup>.

$$\text{Tiempo para cargar 1 camión} = \frac{7.00 \text{ M}^3}{96 \text{ M}^3/\text{Hr.}} \times 60 = 4.4 \text{ min}$$

Tiempo para cambiar 1 camión lleno por 1 vacío:

Suponiendo el libradero a 300 M. del frente:

y  $V = 10$  Km/Hr.

$$T = \frac{0.300 \text{ Km} \times 60}{10 \text{ Km/Hr.}} = 1.8 \text{ min}$$

$$T \text{ ciclo camión} = 4.4 + 1.8 = 6.2 \text{ min.}$$

$$\text{No. de ciclos/hora} = \frac{60}{6.2} = 9.67 \text{ ciclos/hora.}$$

$$\text{Rendimiento real} = 9.67 \times 7 = 67.7 \text{ M}^3/\text{Hr.}$$

$$t \text{ rezaga} = \frac{250.13 \text{ M}^3}{67.7 \text{ M}^3/\text{Hr.}} = 3.7 \text{ horas.}$$

#### 5.- Ademe

El ademe será por concreto lanzado.

El volumen por lanzar en bóveda es de:

$$1/2 (\pi \times 9.24) \times 0.15 \times 2.40 \times 0.85 = 4.44 \text{ M}^3$$

Se considera que al estar rezagando, se puede lanzar una parte de la bóveda mientras el lanzador de concreto alcanza parado sobre la rezaga que se estima en un 40% del tiempo total de rezaga.

$$3.7 \text{ Hrs.} \times 0.4 = 1.48 \text{ Hrs. que se pueden utilizar para lanzar concreto.}$$

El volumen real por lanzar es de  $4.44 \text{ M}^3 \times 1.7 = 7.54 \text{ M}^3$  en bóveda.

Si el rendimiento de la lanzadora es de  $2.00 \text{ M}^3/\text{Hr.}$  se necesitan.

$$\frac{7.54 \text{ M}^3}{2.0 \text{ M}^3/\text{Hr.}} = 3.77 \text{ Hrs.}$$

3.77 Hrs. - 1.48 Hrs. = 2.29 Hrs. que se utilizarían después de la rezaga para terminar el concreto lanzado en bóveda. El concreto lanzado en paredes se puede efectuar durante las etapas de barrenación y carga a una distancia del frente de 10 M.

Resumen del ciclo:

Topografía	0.25 Hrs.
Barrenación	3.00 Hrs.
Carga y voladura	2.60 Hrs.
Ventilación	0.50 Hrs.
Rezaga	3.70 Hrs.
Ademe	<u>2.30 Hrs.</u>
	11.35 Hrs.

$$\text{No. de ciclos} = \frac{24}{11.35} = 2.11 \text{ ciclos/día}$$

$$\text{Avance por ciclo} = 2.40 \times 0.85 = 2.04 \text{ M.}$$

$$\text{Avance por día} = 2.04 \text{ M} \times 2.11 \text{ ciclos/día} = 4.30 \text{ M/día ciclo.}$$

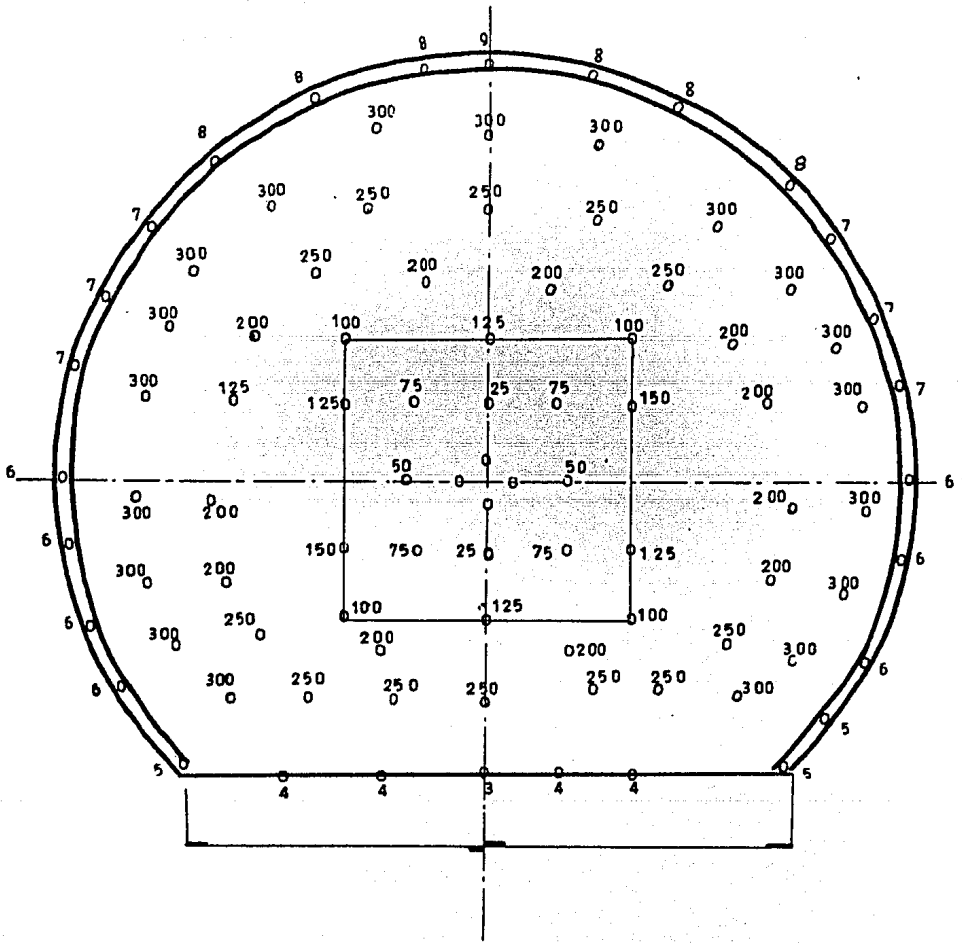


FIGURA 1

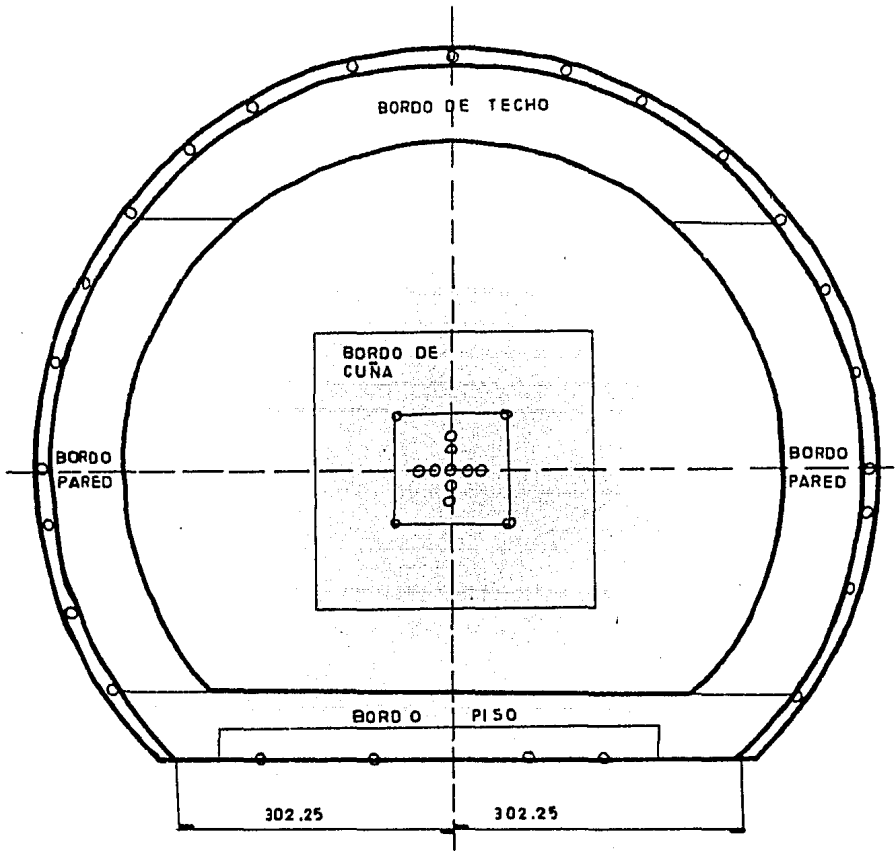


FIGURA 2

### 6.1.- REVESTIMIENTO PRIMARIO

Este sistema de ademe estará constituido por marcos metálicos y concreto lanzado, generalmente los marcos estan seccionados en cuatro partes, el proceso de colocación es el siguiente:

- 1a. Etapa. Se iniciará la excavación de la parte media superior, en una longitud de 1.00 M., posteriormente se procederá a colocar -- una primera capa de concreto lanzado con un espesor de 5 cm.
- 2a. Etapa. Una vez colocada la primera capa de concreto lanzado se colocará una malla electrosoldada del tipo 6"x 6"- 114 dejando -- una longitud de 30 cm. en exceso con el objeto de trasladarla con una malla que se colocará en la sección media inferior -- ver Fig. No.1
- 3a. Etapa. Colocada la malla se colocará una rastra formada por dos vi-guetas IPR- 8" x 5 1/4" (29.8Kg/M) soldadas patín con patín, como se observa en la figura No.2  
Estas rastras se colocarán en las paredes del tunel ya que -- servirán de apoyo para la colocación de la parte superior --- del marco.
- 4a. Etapa. Una vez instaladas las rastras, se colocará la parte superior del marco, el cuál estará formado por dos viguetas IPR 8 x 5-1/4" (29.9 Km/M) soldadas en sus tres puntos de unión. Una - vez colocada la parte superior del marco deberá castigarse -- con cuñas de madera de tal manera que se asegure el contacto- con la primera capa de concreto lanzado.

5a. Etapa. Colocada la parte superior del marco se procederá a colocar una segunda capa de concreto lanzado con un espesor tal que cubra hasta la mitad del alma de las viguetas que forman los marcos tal como se observa en la fig. 2

El espesor de la segunda capa de concreto lanzado será como mínimo de 10 cm.

6a. Etapa. Se iniciará la excavación de la parte media inferior del túnel con la longitud ya indicada, y se colocará inmediatamente la primera capa de concreto lanzado de 5 cm. de espesor.

7a. Etapa. A continuación se colocará la malla de refuerzo, ligándola con la malla colocada en la parte superior del túnel y dejando las preparaciones para ligarla con la de refuerzo de la zapata.

8a. Etapa. Se excavará una zanja en la zona de unión de las paredes y el piso del túnel con unas dimensiones en planta 0.80 x 1.00 M (longitud de avance) y una profundidad de 0.40 M. contados a partir del nivel de desplante de la loza de piso del túnel, tal como se muestra en las figuras Nos. 2 y 3

9a. Etapa. Se realizará el traslape y amarre de la primer malla colocada con la malla que constituye el refuerzo de la zapata y se procederá al colado o lanzado de la misma.

10a. Etapa. Colada la zapata se colocará una placa metálica que se utilizará como apoyo a la pata del marco, tal como se observa en la fig. 2. La placa metálica antes mencionada deberá calzar

se con cuñas metálicas o de madera.

11a. Etapa. Sobre la placa colocada en la etapa anterior se colocará la pata del marco uniéndola con la rastra superior.

12a. Etapa. Colocada la pata del marco se procederá a realizar dos perforaciones adyacentes a la misma, con el fin de alojar en ellas las anclas que tomarán las fuerzas horizontales de coceo; Estas perforaciones serán de  $1\frac{3}{4}$ " de diámetro de 4.00 M. de longitud y se realizarán a 0.40 M. sobre el nivel máximo de excavación del túnel con una inclinación de  $15^\circ$  según se muestra en la figura No. 3 realizadas las perforaciones, se colocarán las anclas, las cuales serán varillas de  $\frac{3}{4}$ " ( $F_y = 4200 \text{ Kg/m}^2$ ); Posteriormente se inyectará una mezcla de agua-cemento en proporción de dos partes de cemento por una de agua a una presión de  $4 \text{ Kg/cm}^2$ .

Cuando hayan quedado colocadas las anclas, se procederá a soldar una placa metálica a los extremos de las anclas, de tal forma que sirve de apoyo al marco.

13a. Etapa. Una vez que se hayan fijado las anclas a la pata del marco se efectuará un segundo lanzado de concreto de 10 cm.

Colocada la última capa de concreto lanzado, en la parte media inferior, se podrá iniciar la excavación de la siguiente etapa.



## ELABORACION Y APLICACION DEL CONCRETO LANZADO.

La elaboración y aplicación del concreto lanzado para el revestimiento primario del túnel se hará de acuerdo con lo que se indica a continuación.

### I.- METODO

El método o procedimiento para la aplicación del concreto lanzado será el de mezcla seca. El cual consistirá en mezclar perfectamente el cemento y los agregados, para introducir la mezcla resultante en un recipiente y de éste conducirla neumáticamente a través de una manguera hasta la boquilla de expulsión, añadiendo en la boquilla misma el agua de hidratación inmediatamente antes de lanzar la mezcla.

### II.- DOSIFICACION Y MEZCLADO

#### A) Agregados

El tamaño máximo de los agregados será de 5/8" y su curva granulométrica que deberá cumplir con la granulometría que se indica en la figura.

La humedad natural del agregado ya dosificado y antes de mezclarlo con el cemento deberá estar comprendida entre el 3 y 6%.

La relación, cemento-agregados deberá ser aproximadamente 1 a 4 -- (400 Kg/M<sup>3</sup>).

#### B) Cemento

El cemento por emplearse será del tipo I

C) Agua

El agua utilizada para la elaboración del concreto deberá estar libre de desechos orgánicos.

D) Relación Agua-Cemento

La relación agua-cemento será de 0.56, siendo importante señalar que la relación agua cemento con la cual se logra la máxima resistencia, se presenta en el punto de máxima densidad. Para lograr esto el material debe ser colocado con la consistencia estable más húmeda posible es decir, el punto de abolsamiento o cedencia incipiente.

La condición anterior se detecta cuando en la superficie del concreto fresco aparece un lustre de humedecimiento ligero.

E) Aditivos

Se deberá agregar a la mezcla un aditivo en polvo del tipo signita, rapidur, silicato de sodio, proconsa o similar, o aditivo líquido del tipo rapidur, stabillorapid o similar. En el caso que se utilice en polvo deberá ser del 2 a 6 % del peso de cemento; cuando se utilice líquido deberá ser del 25 a 35% del volumen del agua.

Si el aditivo a utilizar viene en polvo, se deberá añadir directamente al recipiente de mezclado, si viene líquido, se deberá mezclar con el agua y deberá tomarse en cuenta su volumen para sustituirlo por el volumen correspondiente del agua de mezcla.

F) Mezclado

Se puede ejecutar por volumen o por peso en el caso de que se uti-

lice por peso, se mezclará en una revolvedora adecuada, por un tiempo mínimo de 2 minutos. Cuando se mezcle por volumen se utilizará un mezclador a base de tornillo sin fines del tipo trixer, las velocidades de los tornillos se calibrarán adecuadamente.

#### G) Tiempo de fraguado

El fraguado inicial debe ser de 20 minutos y el final de 10 horas.

#### H) Densidad de los componentes de la mezcla.

La densidad de los materiales a emplear en la elaboración de la mezcla será aproximadamente la siguiente:

Material	Densidad
Cemento	3.10
Agregado	2.38
Agua con aditivo	1 a 1.17*

\*Cuando se utilice aditivo en polvo

#### I) Protección

La mezcla seca deberá protegerse por completo del viento, corrientes de aire, lluvia y luz solar por cualquier medio posible.

#### III) Resistencia

La resistencia a la compresión axial del concreto ( $t_c$ ) a los 7 - - días deberá ser de 150 Kg/cm<sup>2</sup> como mínimo.

#### IV) Colocación.

A) Calidad de lanzado.

En la colocación del concreto lanzado se empleará personal debidamente capacitado y entrenado.

La constancia en los flujos de aire, agua y agregados-cemento hacia la máquina lanzadora y a través de la boquilla de expulsión de la mezcla, son de suma importancia para lograr una buena calidad del concreto lanzado.

En caso de que se presenten interferencias en cualquiera de los flujos mencionados en el párrafo anterior, se deberá desviar la boquilla de la superficie de lanzado hasta que haya sido corregida la deficiencia.

El concreto lanzado deberá presentar una superficie uniforme libre de bolsas, huecos, abolsamientos y otros defectos.

El concreto lanzado que no se adhiera a las paredes de la excavación de la lumbrera o que no cumpla con las características indicadas anteriormente o que sufra daños durante el desarrollo del trabajo, deberá ser retirado y reemplazado por concreto lanzado nuevo.

Por ningún motivo se aceptarán reparaciones mediante concreto aplicado a mano.

B) Presión de lanzado.

Las presiones de aire y agua deben mantenerse a presiones constantes entre 2.5 y 4 Kg/cm<sup>2</sup> en la lanzadora del aire y entre 4.5 y 5 Kg/cm<sup>2</sup> la del agua. No deberán tener intermitencias los suministros de aire y agua a presión para lo cual deberá contarse con el equipo adecuado y necesario para cumplir con esta condición.

La presión de aire deberá aumentarse  $0.3 \text{ Kg/cm}^2$  por cada 15 M. de manguera en exceso de los primeros 30 M.

C) Posición de lanzado

La boquilla siempre debe estar ubicada en una posición desde la que se pueda lanzar en dirección normal a la superficie del muro. Es importante recalcar que el lanzado debe efectuarse siempre en una posición normal a la superficie del muro, para lo cual deberá contarse con andamios portátiles o equivalentes para evitar posiciones de lanzado inclinados diferentes a la indicada.

Para garantizar una buena compactación y calidad del concreto con un mínimo de rebote, el lanzado deberá efectuarse a una distancia que varíe entre 1.00 M y 2.00 M. de la superficie del muro.

D) Forma de lanzado.

El lanzado del concreto se efectuará moviendo rítmicamente la boquilla en una serie de vueltas de lado a lado y de arriba hacia abajo con objeto de lograr una capa uniforme durante el lanzado.

E) Espesor de las capas

El concreto lanzado se aplicará en capas no mayores de 15 cm. de espesor.

Deberán instalarse "maestras" o elementos sobre el muro que indiquen al operador el espesor a que debe llegarse.

V) Preparación de la superficie.

Con objeto de lograr una correcta adherencia entre la superficie -

de las paredes de la excavación y las capas de concreto lanzado, las paredes de la excavación deberán quedar libres de materias extrañas y de material de rebote del propio concreto lanzado, la superficie que recibirá el concreto lanzado deberá estar húmeda.

Para limpiar la superficie es recomendable usar la boquilla de lanzadora conectada a las líneas de aire y agua a presión.

Si alguna superficie de la pared de la excavación se encuentra en estado suelto o dañada, deberá ser removida hasta una profundidad suficiente con objeto de obtener una base adecuada para el concreto lanzado.

#### VI) Rebote

Debe cuidarse que el rebote se mantenga siempre abajo del 40 % por lo que deberá cuidarse los siguientes aspectos que influyen en el incremento del rebote.

- a) Calidad pobre del lanzado
- b) Mala graduación del agregado
- c) Angulo incorrecto de lanzado
- d) Distancia incorrecta del lanzado
- e) Presión de aire insuficiente o pulsante
- f) Mala operación de la máquina lanzadora
- g) Segregación del agregado de la mezcla.

Por ningún motivo podrá usarse el material de rebote.

#### VII) Control de calidad.

Deberán efectuarse pruebas de resistencia y calidad de agregados, -

así como pruebas de resistencia en cilindros elaborados con la mezcla por usarse a edades de 3,7 y 28 días

Asimismo, deberá verificarse en el laboratorio, la dosificación de las mezclas anteriormente citadas con objeto de confirmarlas o modificarlas para que cumplan con los requisitos indicados en los incisos anteriores.

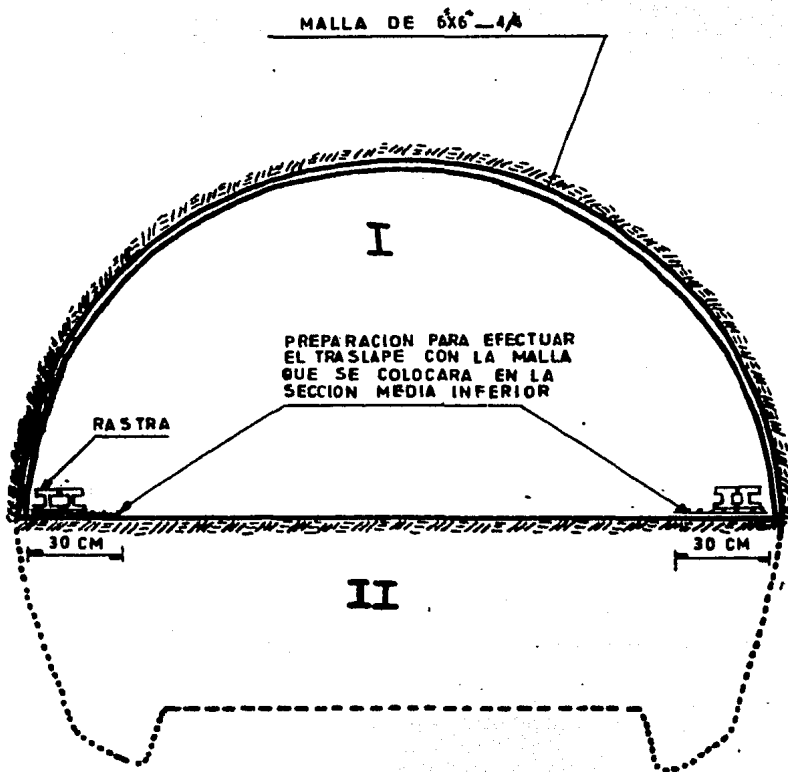


FIGURA A.



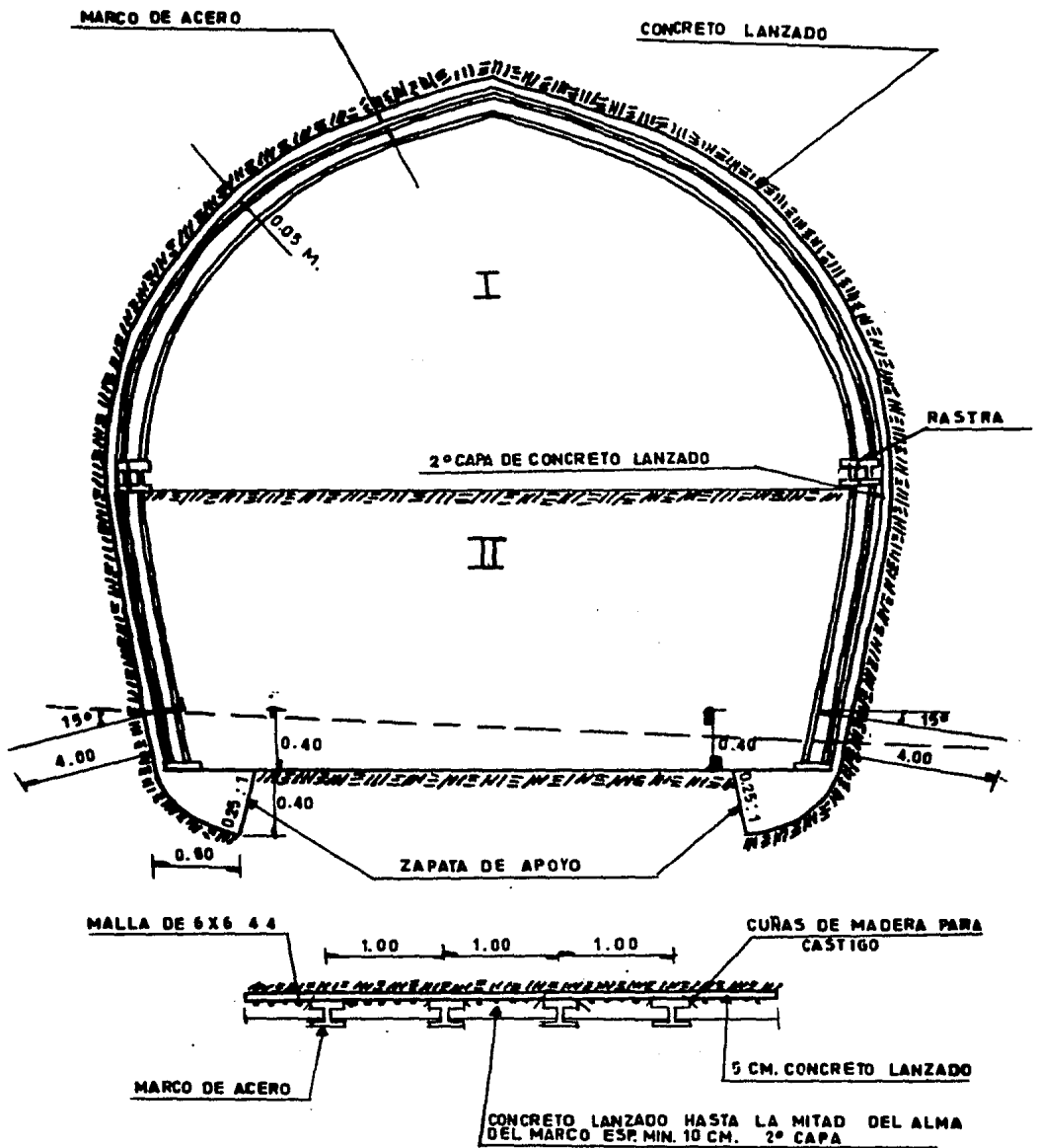


FIGURA 2

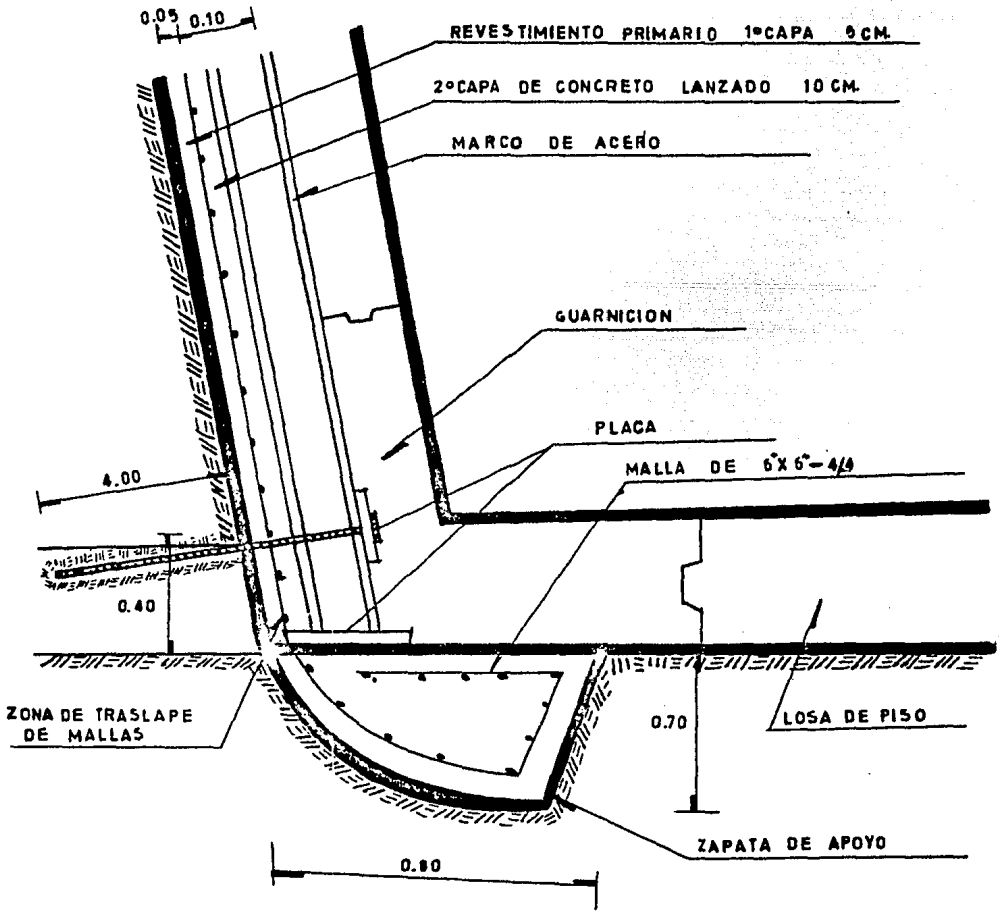
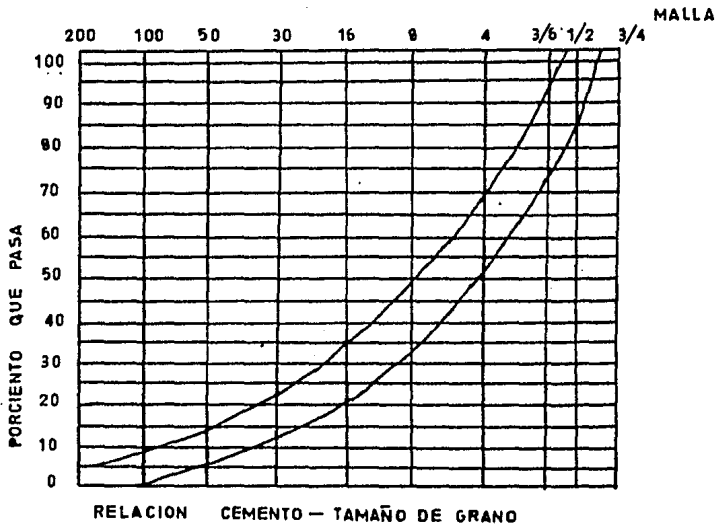


FIGURA 3

**LIMITES DE GRANULOMETRIA ESPECIFICADOS PARA EL  
CONCRETO LANZADO**



**CONCRETO LANZADO LIMITES GRANULOMETRICOS**

## 6.2.- REVESTIMIENTO DEFINITIVO.

El diseño del revestimiento definitivo de los túneles, se llevó a cabo mediante el uso de un modelo de interacción "Suelo-Estructura" considerando las cargas de aflojamiento que obran sobre la clave de los túneles y las cargas dinámicas que actuarán a corto y largo plazo.

Se investigaron los diferentes criterios para valuar las cargas verticales que actúan. Se tomó en cuenta que para las propiedades del suelo y las características de la sección del túnel, el más adecuado era el de Terzaghi.

Las cargas verticales sobre el túnel, calculadas mediante este método, para las (distancias) distintas zonas varían entre 12 y 18 toneladas por metro cuadrado, obteniéndose esta última donde la distancia entre el terreno natural y la clave era mayor, el suelo y subsuelo presentaba poca cohesión.

Las cargas horizontales se calcularon entre 9 y 12.5 toneladas por metro cuadrado considerando el empuje del suelo en reposo.

La sección del túnel se dividió en dovelas, y mediante el empleo de computación se analizó la estructura propuesta bajo la acción de las cargas anteriores sumando el peso propio de la misma.

Dicho análisis se realizó considerando que la estructura se deforma horizontalmente hacia el terreno, empujando sobre él y que verticalmente la loza de piso se deforma más en su zona central que en sus extremos.

Esas deformaciones implican que el suelo lateral reaccione con car

gas mayores a la del empuje en reposo y que el suelo del piso tenga una reacción mayor en los extremos que en la zona central.

Estos aspectos, al ser considerados, disminuyen el trabajo de la estructura y con ello el acero de refuerzo.

#### INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA

Se procedió a realizar el análisis considerando la interacción -- "suelo-estructura", idealizando al suelo perimetral como un conjunto de barras verticales y horizontales que rodean a la estructura y con una rigidez igual a la del mismo suelo.

Los resultados del análisis en que se considera la interacción -- "suelo-estructura", muestran una distribución de la reacción diferente a las consideraciones tradicionales de distribución uniforme en los extremos de la sección del túnel y en la mitad de su altura.

Con los elementos mecánicos así obtenidos, el esfuerzo de la sección se calculó empleando el criterio de diseño por carga última para piezas de concreto en flexocompresión, siguiendo los lineamientos marcados en la sección de diseño y construcción de estructuras de concreto de las normas técnicas complementarias del reglamento de construcción para el D. F.

Con el objeto de cumplir con los programas de construcción que establecían la entrega de la obra civil terminada a fines de 1981, se hizo necesario excavar y revestir el túnel simultáneamente.

Por lo cual se determinó que se llevarían dos frentes a la misma -

velocidad de avance, por una parte la excavación del túnel, y a una distancia conveniente para no producir interferencias, el revestimiento definitivo del túnel, esta distancia se estimó a 200 M. aproximadamente.

Para que el revestimiento definitivo no obstaculice las maniobras de rezaga, la estructura de la cimbra debe permitir el paso a través de ella a los vehículos que transportan el material producto de la excavación.

La longitud del equipo a utilizar en el revestimiento definitivo, en virtud de que se contempla el mismo ritmo de avance que la excavación, deberá ser similar a la establecida en los programas para la excavación.

El equipo de rezaga que se tiene es sobre llantas neumáticas, por lo que se debe implementar una superficie uniforme que soporte el transportador de la cimbra y que a su vez no interfiera el tránsito de vehículos dentro del túnel.

Por esta razón y por la necesidad de apoyar el equipo se hace necesaria una guarnición de anclaje, con objeto de deslizar y soportar firmemente la cimbra.

En esta virtud, el colado del túnel se realizará en tres etapas:

- a) Primer colado: De guarniciones laterales para anclaje y rodamiento.
- b) Segundo colado: clave y paredes laterales del túnel.
- c) Tercer colado: Losa de piso o cubeta del túnel.

## DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO Y EQUIPO A UTILIZAR.

### Primer colado ( Guarniciones)

Para llevar al cabo esta etapa del colado se utilizará una cimbra de la misma longitud que la que usará en clave y paredes.

Cabe destacar, que la topografía del túnel se resolverá en este colado, por lo que la cimbra de las guarniciones cuenta con mecanismos para facilitar su alineación y nivelación.

Este equipo cuenta con soportes para colocar el anclaje de la segunda etapa de colado.

### Segundo Colado

Esta etapa se realizará con una cimbra y un transportador para su movimiento.

La cimbra está constituida por tres paredes de contacto articulados entre sí, es totalmente autosoportable lo que significa que no requiere del transportador para resistir las cargas del concreto y su peso propio para alinearse, nivelarse y anclarse se apoya en la guarnición colada de antemano.

La función del transportador es la de llevar al cabo los trabajos de desmoldado, movimiento e instalación de la cimbra en la siguiente posición de colado.

Este equipo cuenta con mecanismos para desmoldar las paredes, alinear y nivelar la cimbra y ruedas metálicas de doble ceja para deslizarse sobre vía y durmientes.

Siendo la longitud de la cimbra de 6.10 M, el desplazamiento longitudinal de esta se logra por medio de equipos existentes en la obra tales como tirfords o malacates.

### Tercer colado

Este colado se llevará a efecto con el empleo de una regla deslizante que se apoyará sobre las guarniciones ya coladas en la primera etapa.

Este equipo está integrado por un deflector delantero para una buena distribución del concreto, una plataforma para el apoyo de los obreros que darán el acabado final en la parte posterior, y se tiene la posibilidad de instalar vibradores de contacto para mejorar el acabado.

### Secuencia de las operaciones de colado.

En esta línea, el concreto será maquilado en plantas de producción ajenas a la obra y transportado al sitio de descarga por ollas revolvedoras.

Al llegar la olla revolvedora, descargará el concreto a una tolva receptora en superficie, la cual estará ubicada en las bocas de las lumbreras o en los pozos de control topográfico de 12" de diámetro localizados a cada 200 mts. aproximadamente.

De ahí el concreto es suministrado al túnel por gravedad y es recibido a nivel de techo de túnel, por un tanque amortiguador cuya función es la de restituir al concreto la segregación que se -



le indujo en la caída.

El tanque amortiguador a su vez descarga a una bomba de concreto -- la cual lo impulsa por un dispositivo de tuberías al frente de colado. Es este dispositivo es conocido como "Garza".

El acomodo del concreto en la cimbra se realiza por vibradores de inmersión que se introducen a la forma a través de ventanas previstas para el efecto, independientemente de vibradores de pared localizados estratégicamente en la cimbra.

Cuando el colado se termina se espera el tiempo de fraguado y se -- procede a las operaciones de decimbrado, transporte, nivelación y alineación, Extensión de tuberías de bombeo de concreto y colocación del tapón -- para evitar que el concreto rebase la longitud de la cimbra.

Quedaría por colar unicamente la cubeta del túnel lo que puede hacerse los fines de semana o al terminar la excavación con afán de no interrumpir el paso de vehículos.

Si este revestimiento se realiza al final de la excavación los rendimientos resultarán altísimos ya que ésta será la única actividad dentro del túnel.

Toda vez que se especifica que el túnel debe ir armado se debe de contar con el acero de refuerzo habilitado y colado en su posición por lo menos en un tramo de longitud igual a la de la cimbra y adelante de ésta.

### 6.3.- INYECCION DEL CONTACTO.

Con objeto de rellenar todos los vacíos existentes entre el revestimiento primario a base de concreto lanzado y el revestimiento definitivo, por efecto de contracción del concreto durante el fraguado, se deberá realizar una inyección de contacto, cuyos materiales que la constituyen y presión de inyección se indican a continuación.

#### Procedimiento de Inyección.

En este proceso de inyección se utilizarán dos tipos de secciones, - unas llamadas "impares" que son las que tienen tres barrenos en la parte - media superior y otras llamadas "pares", que tienen solamente dos barrenos en la misma zona, según se muestran en las figuras 1 y 2

Durante el colado del revestimiento definitivo se deberán dejar preparaciones a base de segmentos de tubos de PVC de 2" de diametro, con el fin de poder efectuar la inyección. En caso de que no se hayan dejado dichas preparaciones, será necesario realizar las barrenaciones desde el revestimiento definitivo.

La perforación deberá tener en todos los casos una profundidad tal que penetre 5 cm. dentro del revestimiento primario para detectar la presencia del mismo.

En todas las etapas de inyección se tendrá, aparte de la sección -- que se esta inyectando, un minuto de 4 secciones adelante equipadas con - sus respectivas válvulas de paso.

La inyección de contacto se efectúa en dos etapas, siguiendo los -- lineamientos que se describen a continuación.

## 1.- Primera Etapa.

Esta etapa se realizará cuando el concreto del revestimiento haya alcanzado por lo menos el 75% de la resistencia de proyecto y se deberá -- utilizar en esta primera etapa el tipo de sección llamado "impar"

El orden de inyección de la sección impar se iniciará por el barreno No. 1, al llenarse este se seguirá con el barreno No. 3 y se terminará con la sección inyectando al barreno No. 2, localizado en la clave.

La inyección se realizará por tramos, los cuales tendrán una longitud mínima de 80.0 M, por lo que se tendrán perforadas un minuto de 11 secciones impares, ya que estas secciones estarán a cada 8.0 M, según se observa en la figura No. 1

Si al estar inyectando una sección impar se presenta una comunicación con los barrenos de las secciones de adelante, éstos se deberán obtener y continuar con la inyección; si la comunicación se hiciera entre los barrenos de la misma sección impar, éstos se perforaran para efectuar la inyección.

Inyectadas las 11 secciones impares como mínimo, se podrá efectuar la inyección de las secciones pares de la segunda etapa.

## II. Segunda Etapa.

Este proceso se realizará cuando la inyección de la primera etapa - tenga 3 días de edad. En esta segunda etapa se utilizará el tipo de sección llamada "par".

Se deberán perforar un mínimo de 10 secciones pares, una menos que el número de secciones impares ya inyectadas.

La secuencia de inyección de una sección "par" se iniciará por el barreno No. 1 y se continuará con el barreno No. 2; la siguiente sección "par" se empezará en el barreno No. 2 y se terminará por el barreno No. 1 y así sucesivamente.

Al presentarse comunicación de la mezcla al estar inyectando una sección "par" con los barrenos de la siguiente sección, se procederá a cerrar las válvulas de paso y se continuará con la inyección normalmente; al llegar a los barrenos de la sección comunicada, éstos se deberán perforar e inyectarlos, de acuerdo con lo especificado para esta etapa.

### III.- Mezcla para la inyección.

Los tipos de mezclas para efectuar la inyección de contacto se utilizarán de acuerdo al volumen que se tenga por inyectar en el barreno, que será de  $1/3$  del volumen total para cada barreno de la sección "impar" y de  $1/2$  para cada barreno de la sección "par".

Si el volumen total de inyección no sobre pasa en ningún caso de  $4.0 \text{ M}^3$ , se utilizará una lechada de agua-cemento en proporción 2:1 en peso.

En el caso de rebasar el volumen de  $4.0 \text{ M}^3$ , se deberá cambiar la lechada por un mortero, el cual deberá prepararse con los materiales y proporciones siguientes.

Agua - cemento en relación 1:1 en peso.

Arena 4% máximo del cemento en peso.

Los materiales que se emplearan para la mezcla deberán cumplir con los requisitos siguientes:

Agua: Deberá estar libre de sedimentos, materia orgánica o impurezas que resulten nocivos a la mezcla.

Cemento: Se deberá utilizar cemento tipo I o a falta de este se podrá utilizar tipo V.

Arena: Deberá estar constituida por partículas redondeadas, de preferencia de río, con dimensiones máximas de las partículas inferiores a 1.5 mm.

Los límites granulométricos son los sig:

Malla No.	% Que pasa por la malla
8	100%
10	90 - 100%
30	50 - 85%
50	20 - 25%
100	10 - 30%

#### IV. Presión de Inyección.

La presión de inyección no deberá sobrepasar en ningún caso el valor de 2 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### V.- Condiciones para considerar un Barreno Sellado.

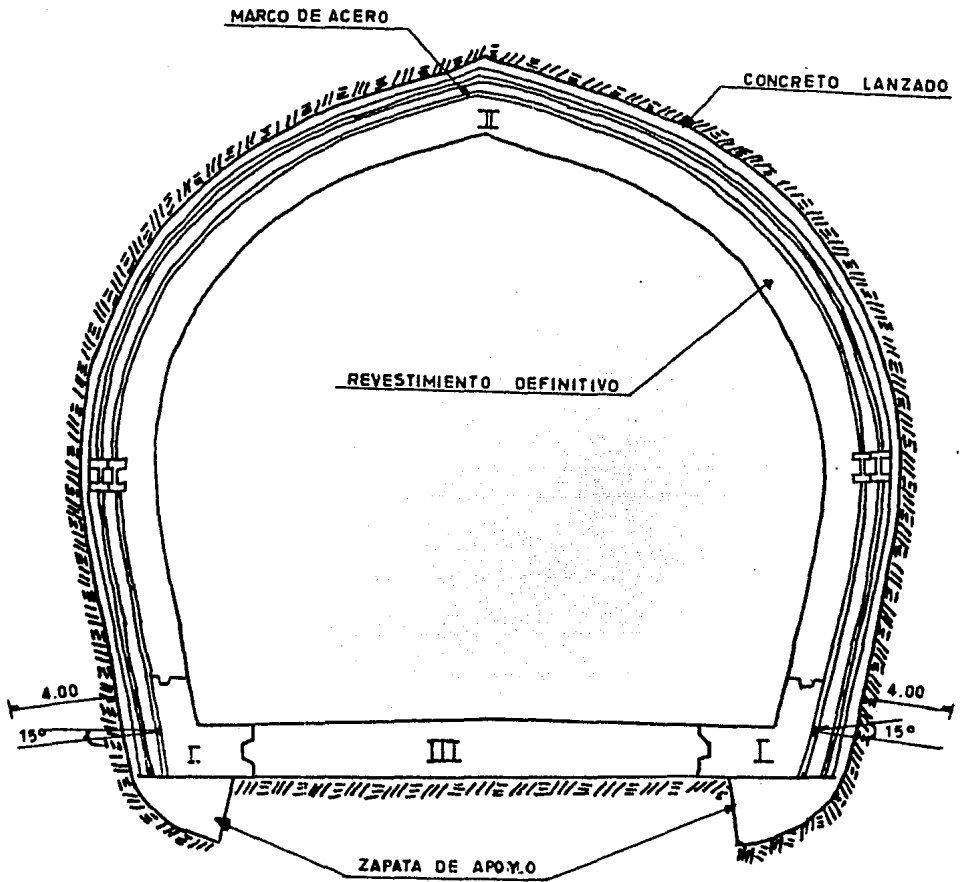
Se considera un barreno cuando se presente cualquiera de las condi-

ciones siguientes:

- a) Cuando se haya inyectado un volúmen total de  $6.0 \text{ m}^3$
- b) Cuando no exista absorción con cualquier tipo de mezcla a  $2 \text{ Kg/cm}^2$  de presión en un lapso de 15 min.

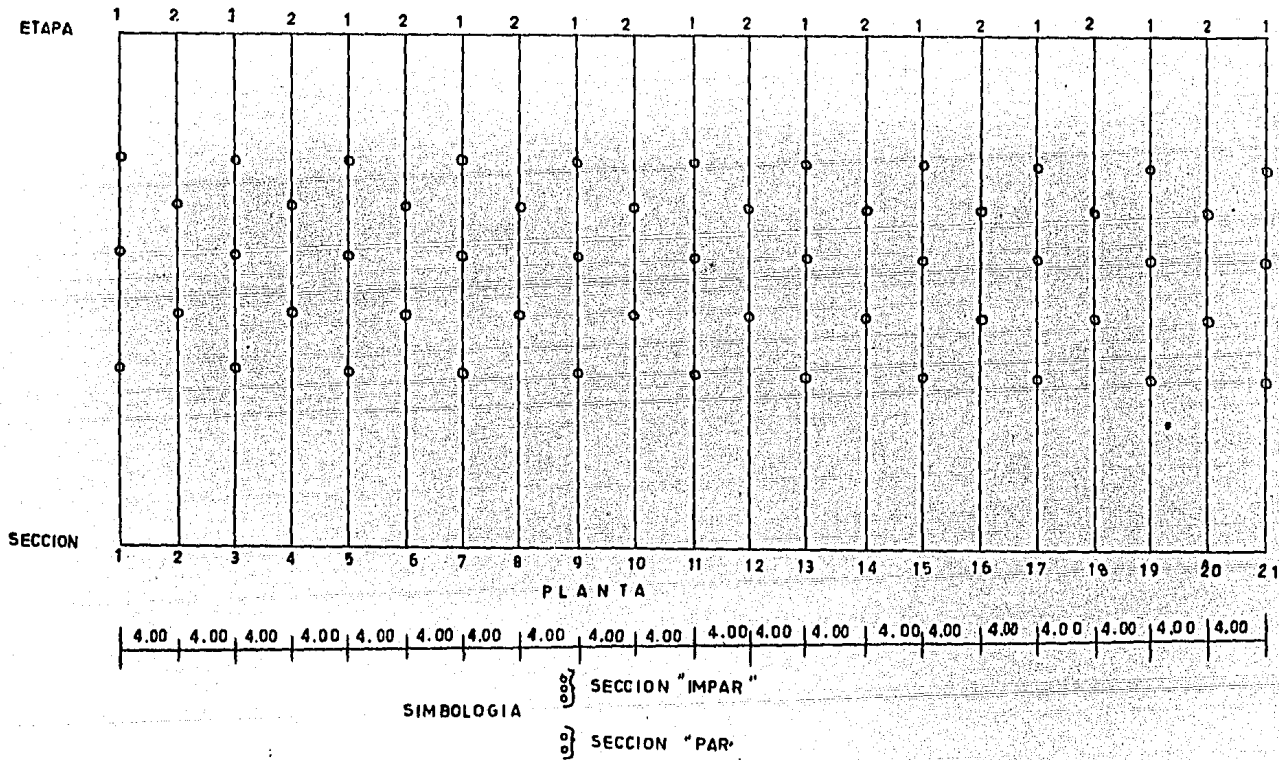
Es de gran importancia lo siguiente:

- 1.- La inyección de contacto no se efectuará en zonas de túneles con revestimiento definitivo a base de concreto lanzado.
- 2.- En caso de que los barrenos se localicen en sitios donde está colocado algún marco metálico, se podrán desplazar los barrenos hasta liberar los mismos.
- 3.- Después de efectuar la barrenación y antes de iniciar la inyección, se deberá de realizar el lavado de la perforación para remover el material demolido producto de la barrenación.



- I COLADO DE GUARNICION
- II COLADO DE ARCO
- III COLADO DE LOSA DE PISO

ETAPAS DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

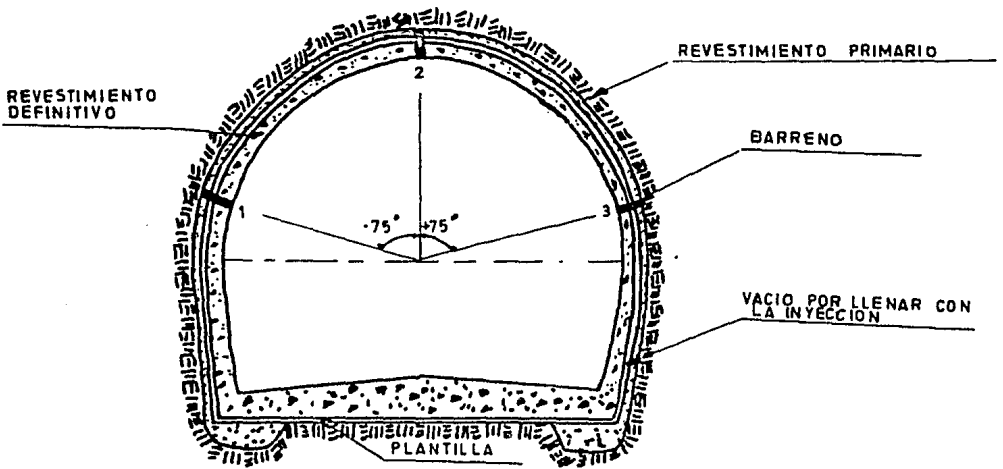


INYECCION DE CONTACTO ENTRE EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO Y EL PRIMARIO

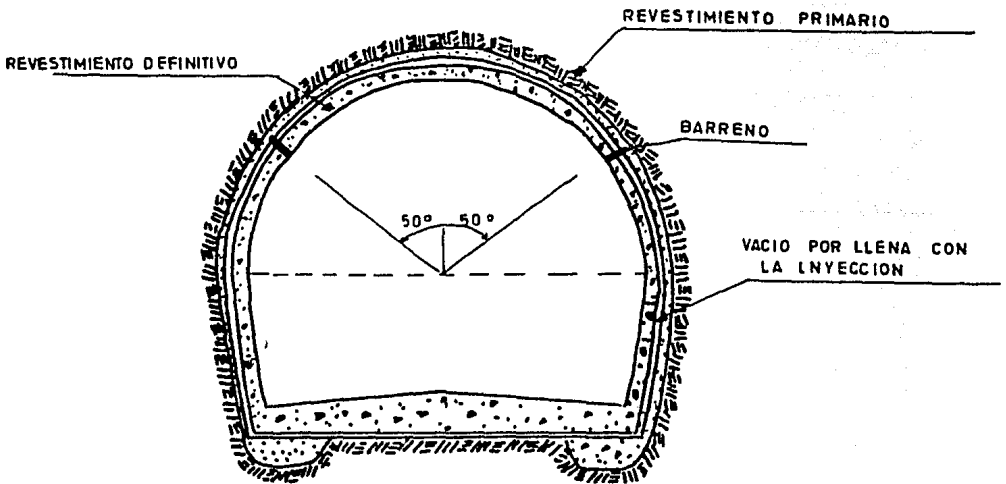
FIGURA 1



# PRIMERA FASE



# SECCION IMPAR



# SECCION PAR

FIGURA 2

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

Es motivo de satisfacción haber realizado este trabajo, ya que para mí es el punto de la deflexión del estudiante con el profesionista, además quiero recalcar que lo anterior realizado sirva como un apoyo para mis -- compañeros como también para todas las personas que se interesen sobre -- el tema.

La construcción del procedimiento constructivo en túnel del Sistema de Transporte Colectivo Metro en el tramo de Viveros a la Ciudad Universitaria fue la solución más viable, después de haber estudiado las otras -- tres soluciones que son: construcción en cajón, superficial y elevado.

La construcción del túnel nos evitó serios problemas para la comunidad que vive en la zona sur, así como para los que asisten a la Universidad.

Después de conocer el trazo de la Línea y saber por que lugares pasaría, se procedieron a realizar trabajos de localización de lumbreras, - esto es muy importante porque dependiendo de la ubicación de las lumbreras se formarían los diferentes frentes de ataque para la excavación y -- construcción del túnel.

El tipo de construcción en túnel para metro, así como las estaciones Viveros y Miguel Angel de Quevedo, son las primeras en las cuales se empleó este procedimiento constructivo.

Al respecto de las estaciones en túnel diremos que el tipo de terre

no que se nos presentó en estos lugares nos favoreció para que se construyeran de esta forma, pues se cuenta aproximadamente con 8.00 mts., -- de roca, la cuál nos forma un techo rígido, además para no tener un sólo túnel de dos vías que para el caso de las estaciones sería de gran dimensión y se fuera a tener problemas, se construyeron túneles gemelos, los cuales el procedimiento constructivo nos marcó construir uno antes del otro, esto es porque al estar construyendo los dos al mismo tiempo se -- nos pueden presentar problemas de desplome de material.

Este procedimiento de excavación uno antes que el otro, también -- fué realizado en el tramo Viveros-Miguel Angel de Quevedo, el cuál es de dos túneles gemelos.

En la construcción de esta Línea, tenemos un tramo que se construyó el túnel de dos vías, este tramo es de Miguel Angel de Quevedo hacia la rampa de salida de Universidad.

Para el revestimiento del túnel se siguieron las experiencias que se han tenido en el drenaje profundo, esto es teniendo la sección de excavación al descubierto realizamos el revestimiento primario, el cual es de concreto lanzado, y éste nos sirve para que cuando se este trabajando evitar que el material que con la excavación perdió su adherencia y caiga.

Después de haber realizado el revestimiento primario, se procede a colar el revestimiento definitivo que en este caso es la losa maciza la cual nos servirá de techo.

Y como lo mencioné al principio, espero que este trabajo haya servido para conocer un poco más de los distintos procedimientos constructivos que se emplean en la construcción del Sistema de Transporte Colectivo Metro.

Para aplicar los procedimientos constructivos más idóneos para beneficio de los mexicanos y para los mexicanos.

Pués me permito opinar que la responsabilidad que nos corresponde a esta generación es no escatimar esfuerzo alguno para imaginar -- y prever constructiva y racionalmente, una vida libre, sana, confortable y más fructífera en todos sentidos para quienes habiten en el futuro la Ciudad de México, que en su dimensión metropolitana, debe recuperar la ejemplar fisonomía y admirable imagen que le caracterizó desde su fundación hasta su intempestivo crecimiento en la segunda mitad del presente siglo.

Esta es la tarea y el reto que debemos afrontar.