



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ACATLAN**

**“PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA  
ESTACION AUDITORIO DEL STC  
LINEA 7”**

**T E S I S**

**Que para obtener el Título de  
INGENIERO CIVIL**

**p r e s e n t a**

**EVARISTO GUZMAN TORRES**

*11-0078693*

**Acatlán, Edo. de México**

**1984**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.



VIVERIDAD NACIONAL  
ANIMADA

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN  
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

CI/128/1984

SR. EVARISTO GUZMAN TORRES  
Alumno de la Carrera de Ingeniería Civil.  
P r e s e n t e .

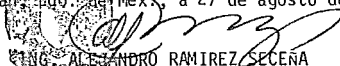
De acuerdo a su solicitud presentada con fecha, 19 de enero de 1982, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Proceso Constructivo de la Estación Auditorio del S. T. C. Línea 7", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Antecedentes, Descripción y Localización de la Línea 7 y la Estación Auditorio.
- II.- Descripción General sobre los Sistemas de Excavación de Túneles.
- III.- Planeación del Proceso de la Obra.
- IV.- Construcción de la Lumbre.
- V.- Construcción del Acceso a la Estación.
- VI.- Construcción del Túnel para Estación.
- Conclusiones.

Asímismo fué designado como Asesor de Tesis el señor Ing. - Salvador Acevedo Márquez, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar - examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. - Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

Atentamente,  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Acatlan, Edo. de Mex., a 27 de agosto de 1984.

  
ING. ALEJANDRO RAMIREZ SECENA  
Coordinador del Programa de  
ENEF Ingeniería  
COORDINACION DEL  
PROGRAMA DE INGENIERIA

ARS/rcm.

A MI MADRE, una gran mujer que siempre me ha brindado lo mejor de ella  
y al recuerdo de mi PADRE. A mis hermanos: Teresa, Chela, Yuli, Rosa y  
Chava; mis cuñados y sobrinos por el cariño y apoyo que me han brindado.

**A mi esposa por su apoyo que me ha dado en todo momento y mis hijos:**

**Christian y M.Ivan.**

A mi cuñado Homero y Yuli mi hermana, por todas las atenciones que me han proporcionado y sus valiosos consejos. A todos muchas gracias.

# I N D I C E

	<u>Pag.</u>
INTRODUCCION .....	1
<b>CAPITULO I ANTECEDENTES, DESCRIPCION Y LOCALIZACION DE LA LINEA 7 Y LA ESTACION AUDITORIO. SOLUCION DE TUNEL.</b>	
<i>Generalidades</i> .....	4
<i>Solución túnel profundo</i>	
I.- <i>Estudios previos</i> .....	12
II.- <i>Criterios de diseño</i> .....	13
III.- <i>Instrumentación</i> .....	14
<i>Comportamiento a largo plazo</i> .....	14
<b>CAPITULO II DESCRIPCION GENERAL SOBRE LOS SISTEMAS DE EXCAVACION DE TUNELES.</b>	
<i>Introducción</i> .....	15
<i>Procedimientos convencionales</i> .....	17
<i>Procedimientos con escudos</i> .....	21
<i>Comparación de los distintos métodos</i> .....	30
<b>CAPITULO III ORGANIZACION, PLANEACION, PROGRAMACION ADMINISTRACION Y CONTROL DE CALIDAD.</b>	
<i>Organización para ejecución de obra civil</i> .....	31
<i>Planeación de una obra</i> .....	35
<i>Programación</i> .....	35
<i>Administración de la obra</i> .....	37
<i>Control de calidad</i> .....	39

<b>CAPITULO IV CONSTRUCCION DE LA LUMBRERA Y SECUENCIA DE EXCAVACION Y CONSTRUCCION DE TUNELES QUE CONSTITUYEN LA ESTACION</b>	
I.- Dimensiones generales de la lumbrera .....	40
II.- Construcción de brocal .....	40
III.- Excavación de la lumbrera .....	40
IV.- Construcción de la losa de piso y ademe definitivo .....	43
V.- Filtraciones .....	43
VI.- Secuencia de excavación lado poniente .....	43
VII.- Secuencia de excavación lado oriente .....	46
<b>CAPITULO V CONSTRUCCION DE ACCESOS A LA ESTACION</b>	
Túnel de conexión .....	49
Túneles de distribución .....	52
Excavación a cielo abierto .....	55
Túnel inclinado .....	55
<b>CAPITULO VI CONSTRUCCION DEL TUNEL PARA ESTACION</b>	
Túnel de conexión en intersección con túnel de andén .....	57
Excavación túnel de andén .....	65
Ademe primario .....	66
Construcción de la zapata de apoyo .....	78
Revestimiento definitivo .....	80
Inyección de contacto .....	83
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>89</b>



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

*El Plan Rector de Vialidad y Transporte del Distrito Federal que es el documento oficial con que cuentan las autoridades del Departamento del Distrito Federal, para realizar todas las acciones tendientes a operar tanto la vialidad existente y la futura, así como el transporte en nuestra gran metrópoli, contempla para su realización y grandes planes:*

- 1.- Plan de Metro.*
- 2.- Plan de Vialidad.*
- 3.- Plan de Transporte de Superficie.*
- 4.- Plan de Estacionamiento.*

*Dentro de estos planes, el de Metro es el que por su naturaleza es de mayor importancia, debido a que es El Metro, el único sistema de transportación masiva que puede transportar el mayor número de pasajeros en buenas condiciones de seguridad y confort que cualquier otro sistema, y los demás deben de servir como complementarios para proporcionar un servicio eficiente para los usuarios.*

*No fué sino hasta el año de 1967, después de muchos estudios cuando se inició la primera etapa de construcción de Metro que culminó con la puesta en operación de 41.52 Km.*

*Desgraciadamente la construcción de más líneas de este sistema, se suspendió por 6 años, por diversas razones de tipo político y económico, lo que significó su atraso en el servicio de la transportación masiva de nuestra ciudad, y aumentó considerablemente uno de los más grandes problemas de nuestra metrópoli: "EL TRAFICO".*

*Posteriormente en el mes de septiembre de 1977, se inició la segunda etapa de construcción del Metro, y en el año de 1980 la tercera, ambas a través de la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano del Departamento del Distrito Federal.*

*El sistema está constituido por estructuras de tipo subterráneo, bien sea en cajón o en túnel, superficial y elevado. Para la selección de cada uno de estos tipos, se tomaron en cuenta los siguientes factores en términos generales:*

- 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 construcción de un túnel.

Por lo que respecta al costo de la obra civil, el más alto corresponde a la línea subterránea, bien sea con cajón o por medio de un túnel, en tanto que el costo de la línea superficial es cercano al de la solución elevada. Parecería que la línea superficial sería bastante más económica que la elevada, sin embargo al adicionar a ésto el costo de los desvíos, de la limitación del derecho de vía de 10 mts. de ancho, de la construcción de las estaciones cuyas áreas de servicio son subterráneas, y de los pasos a desnivel perpendiculares cuya frecuencia fue en promedio de un paso por kilómetro aproximadamente, su costo resulta cercano al de la línea elevada.

Por lo que respecta a los tiempos de construcción, la velocidad para la solución subterránea es del orden de 90 a 110 mts. por mes, en tanto que para la solución elevada es de 70 a 90 mts. por mes, por lo que se puede observar que para la solución subterránea la velocidad de construcción es ligeramente mayor que la de la elevada. Por lo que toca a la solución superficial, los rendimientos que se alcanzan son de 130 a 150 mts. por mes. Las velocidades antes mencionadas son desarrolladas por un solo frente de trabajo.

En cuanto a la obstrucción de la vía pública durante la construcción, la solución que causa mayores problemas es la subterránea, reduciéndose éstas en la solución elevada.

Las interferencias con instalaciones municipales son totales en el caso del subterráneo, obligando en ocasiones a desvíos importantes de grandes colectores o de redes de distribución de agua. Estas interferencias causan menos problemas en los tramos elevados y superficial.

Por lo que respecta a la conservación y mantenimiento de los equipos, la solución subterránea presenta mejores condiciones que la superficial y la elevada debido a que los equipos no están expuestos a la interperie.

Tal vez uno de los factores más importantes es el del paisaje urbano; ya que el aspecto estético se altera de acuerdo con el tipo de solución elegido. La magnitud de la alteración del paisaje urbano depende primordialmente del ancho de la calle, así por ejemplo, el problema causado por la línea elevada se acentúa en calles de anchura menor de 40 mts., en tanto que en la solución superficial se requiere una anchura mínima de 50 mts. para lograr soluciones satisfactorias. En estas consideraciones se debe tomar en cuenta, además, el tipo de zona por la que atraviesa la línea, industrial, comercial o residencial, el tipo de usuarios a quienes beneficiará y la formación de una barrera continua que no existe para el tipo de soluciones elevadas o subterráneas.

En relación con la futura disponibilidad vial, la solución subterránea no la afecta, en tanto que la solución superficial ocupa un ancho equivalente a tres carriles de circulación y la elevada ocupa solamente dos.

Por lo que respecta a libramientos perpendiculares inducidos, la solución superficial genera problemas en cruceros importantes, cuyas soluciones viales repercuten en la construcción de estructuras subterráneas o elevadas para salvar el obstáculo que representa la línea.

En lo referente a la selección adecuada del procedimiento para la construcción de un túnel, es necesario hacer los estudios geotécnicos necesarios y suficientes, para elegir en primer lugar un trazo adecuado de una línea de Metro, y posteriormente seleccionar el adecuado procedimiento constructivo y maquinaria a emplear, es decir, excavar el túnel -- por métodos convencionales o la posibilidad de utilizar alguna máquina integral de perforación de túneles (escudos). Es importante destacar que para una línea profunda de Metro hay que prever algunos aspectos importantes tanto para comodidad del usuario como de operación como son: Escaleras mecánicas en las estaciones y adecuados sistemas en casos de alguna falla.

## CAPITULO I

### ANTECEDENTES, DESCRIPCION Y LOCALIZACION DE LA LINEA 7 Y LA ESTACION AUDITORIO. SOLUCION DE TUNEL

*El plan maestro del metro como parte del plan rector de vialidad y transporte, elaborado por el Departamento del Distrito Federal, viene a constituir lo que se ha llamado la columna vertebral del sistema de transporte colectivo en la Ciudad de México.*

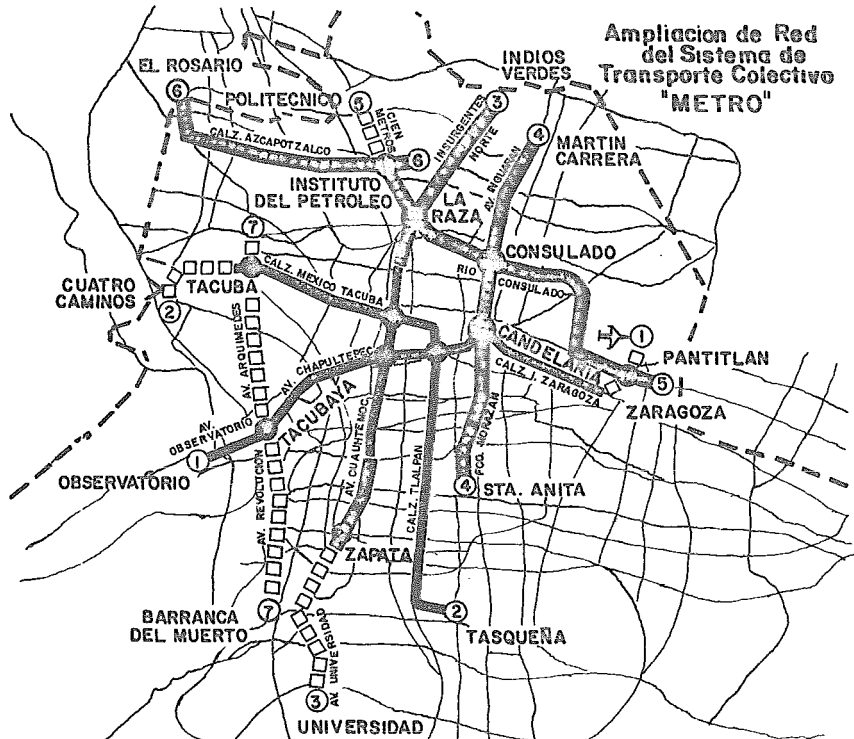
*El metro con sus grandes ventajas por sí solo, no resuelve el problema del transporte urbano, forma parte de un todo constituido por el transporte de superficie: autobuses, trolebuses, tranvías y taxis.*

*El gobierno de la ciudad por instrucciones del señor presidente José López Portillo ha impulsado de manera definitiva el transporte colectivo y especialmente el metro, cuyas obras de ampliación estuvieron detenidas durante un lapso de 6 años.*

*Fue en 1965 cuando el presidente Gustavo Díaz Ordaz tomó la decisión de construir el metro de la ciudad de México, partiendo de estudios iniciados en 1958; se analizaron los problemas técnicos, económicos y financieros apoyados en una investigación colectiva de otras tantas ciudades, para conocer sus orígenes, desarrollo y experiencias acumuladas con objeto de definir lo más conveniente para el Distrito Federal adaptándolas a sus características propias.*

*Después de analizar 30 alternativas de trazo propuestas, se seleccionó una que cubriera las necesidades más urgentes de transporte colectivo y solucionará al mismo tiempo los problemas de congestamiento del primer cuadro y zona central de la ciudad*

*Se construyeron dos líneas básicas y un tramo de una tercera línea. La construcción fue mixta, combinando vías de tipo superficial y subterráneo. Se pusieron en servicio en los años 1969 y 1970.*



**Ampliacion de Red  
del Sistema de  
Transporte Colectivo  
"METRO"**

LINEAS	1a. ETAPA KM.	2a. ETAPA KM.	3a. ETAPA KM.	SUMA K.M.
1	16.99	—	1.90	18.89
2	18.82	—	3.36	22.18
3	5.71	10.75	6.51	22.97
4	—	10.74	—	10.74
5	—	14.81	0.98	15.79
6	—	8.32	—	8.32
7	—	—	12.63	12.63
<b>TOTAL</b>	<b>41.52</b>	<b>44.62</b>	<b>25.38</b>	
<b>LONGITUD DE LA RED</b>				<b>111.52 Km.</b>

**SIMBOLOGIA:**  
 1a. ETAPA [Solid line]  
 2a. ETAPA [Dashed line]  
 3a. ETAPA [Dotted line]

LA LÍNEA 1.- Con un recorrido de oriente a poniente va desde la calzada Ignacio Zaragoza hasta la Av. Observatorio en Tacubaya, con una extensión de 17 Kms., esta línea con excepción de la terminal Observatorio es subterránea y cuenta con 19 estaciones

LA LÍNEA 2.- Con una proyección poniente-orienta conecta Tacuba con el Zócalo para continuar al sur hasta Taxqueña. Tiene una extensión de 19 Kms. de los cuales 9 son de vía superficial y el resto subterráneo; cuenta con 22 estaciones.

LA LÍNEA 3.- Con trazo de norte a sur va del conjunto habitacional Tlatelolco a Hospital General, contaba con 6 Km. de extensión totalmente subterráneas y 7 estaciones.

El total de la primera etapa suma 41.52 Km. con 48 estaciones, de los que 3 son de correspondencia: Pino Suárez, (Línea 1 con Línea 2), Balderas (Línea 1 con Línea 3), e Hidalgo (Línea 2 con Línea 3).

Con estas primeras líneas se estimó que podía transportarse un máximo de un millón 550 mil pasajeros al día. Esta cifra fue registrada en 1973, o sea en los tres primeros años de operación del sistema. Se tenía el inconveniente de que la línea 3 por su corta longitud no daba un servicio adecuado, y existía una sobrecarga por falta de una estación más de correspondencia en el primer cuadro, causando muchos problemas. Esto se solucionó aumentando el número de trenes, iniciándose así la fabricación del equipo rodante en las instalaciones de Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril (CNCF) en Ciudad Sahagún, Hgo., con un porcentaje cada vez mayor de integración de partes.

El número de pasajeros siguió en aumento llegando en 1977 a transportar 2 millones 300 mil al día, cifra récord que saturó aún más el sistema, por lo que se inició su ampliación el 27 de agosto de 1977.

En 1978 la administración, actualizó el Plan Maestro del Metro que prevee la dotación a los habitantes de la Ciudad de México en el año 2010 de una red con 378 Km. de longitud en la que operarían 807 trenes en 21 líneas y con intervalos mínimos de 100 segundos en las horas de máxima demanda, teniendo una capacidad de transportación de 24 millones de pasajeros al día. Sin embargo se ha visto la conveniencia de aumentar los alcances del Plan Maestro del Metro y construir sistemáticamente 15 Km. por año para

conformar una red de 444 Km., que estará acorde con las expectativas de desarrollo de la ciudad, especialmente de la zona poniente.

En estas condiciones, la capital del país contará con una estructura básica de transportación colectiva equiparable a las que existen en otras capitales del mundo como Londres, París, Moscú, Tokio, etc.

#### OBJETIVOS DEL PLAN MAESTRO DEL METRO:

- Definir una Política de ampliación de las líneas que induzca a la utilización del transporte masivo.
- Definir las reservas territoriales, destinadas a las edificaciones necesarias para una adecuada operación del sistema y preservar los derechos de vía.
- Propiciar la reestructuración urbana y el ordenamiento del uso del suelo.
- Disminuir la contaminación ambiental.
- Crear más opciones de traslado a los centros de trabajo, recreación y servicio.
- Impulsar el desarrollo de la tecnología y de la industria nacional, relacionados con la operación del sistema a fin de sustituir importaciones o generar empleos.
- Elaborar una planeación económica y financiera que equilibre la operación y administración del sistema.
- El propósito del Plan Maestro del Metro, 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 con otra, plantee acciones a mediano y largo plazo, adoptándolas a la dinámica de una urbe que se perfila como la más grande del mundo en razón de su crecimiento demográfico, económico y social.

#### ESTADO DE LA RED. PROGRAMA ACTUAL.

A efecto de continuar la ampliación de la red del Metro de la ciudad de México, en 1977, se procedió al análisis y actualización de los problemas de vialidad y transporte tomando en cuenta el conocimiento demográfico, territorial y el número de vehículos acaecido de 1965 a 1977, así como también las obras viales realizadas durante ese período. Se estableció así un diagnóstico de la problemática urbana que se puede resumir en la forma siguiente:

- Crecimiento incontrolado de la mancha urbana.
- Desplazamientos de población a lugares cada vez más alejados entre sí, debido a la segregación de la vivienda, los lugares de trabajo y los de servicio.

- Escasez de áreas verdes.
- Inmigrantes que se acumulan en la periferia de la ciudad.
- Densidades de población inadecuada que provocan sobre o subutilización de la infraestructura urbana.

Con base en estos puntos y contando con la experiencia obtenida en la construcción y en los años de operación de las líneas iniciales del Metro y a la vista del Plan Maestro, la selección de las líneas de la segunda y tercera etapas, se definió en base a los siguientes principios:

- Cubrir las zonas con mayor densidad demográfica y de escasos recursos económicos.
- Permitir a los usuarios un ahorro de tiempo por medio de rutas e interconexiones.
- Intercomunicar los principales centros de actividad.
- Permitir la reestructuración progresiva de los transportes de superficie en coordinación con el Metro.
- El trazo de las líneas no debe perjudicar o anular la vialidad existente.
- En donde la latitud de la avenida permita la integración de la solución vial con el Metro se deberá implementar.
- El trazo de las líneas debe dar servicio en los lugares donde la demanda sea mayor de 10 mil pasajeros por hora.
- Evitar la entrada de autobuses foráneos y suburbanos al centro de la ciudad.
- Posibilidades físicas para la construcción de las estructuras.

## SEGUNDA ETAPA DE CONSTRUCCION

La segunda etapa actualmente en construcción y parte ya en servicio, contempla las siguientes obras: Prolongación de la Línea 3 al norte y al sur, las nuevas Líneas 4, 5 y 6.

**LA LINEA 3 NORTE.**- Con una extensión de 5.4 Km. va de la estación Tlatelolco a Los Indios Verdes, tiene 4 estaciones, la estación subterránea "LA RAZA" de correspondencia con la Línea 5 inaugurada el 27 de agosto de 1978 y las estaciones superficiales "POTRERO", "BASILICA" e "INDIOS VERDES". Esta línea se puso en servicio el 1o. de diciembre de 1979.



LA LINEA 3 SUR.- Con una extensión de 5.3 Km. va de la estación Hospital General a la estación Zapata en solución totalmente subterránea tiene 5 estaciones: La estación Centro Médico inaugurada el 7 de junio de 1980 y las estaciones Etiopía, Eugenia, División del Norte y Zapata que entraron en operación el 25 de agosto de 1980.

LA LINEA 4.- Con una extensión total de 10.7 Km. en dirección Norte-Sur. Su primer tramo entre las estaciones superficiales Martín Carrera que es la terminal al norte y Candelaria de correspondencia con la Línea 1, entró en operación el 29 de agosto de 1981 con una extensión de 7.6 Km. de línea elevada, la primera de su tipo en México. El resto de la línea, 3.1 Km. y 3 estaciones de tipo elevado denominadas Fray Servando, Jamaica y Santa Anita.

LA LINEA 5.- Con una extensión total de 15 Km. de los cuales son 5 de vía subterránea y el resto de tipo superficial. Tendrá 12 estaciones, la terminal definitiva Pantitlán de correspondencia con la Línea 1 y las estaciones de paso: Hangares, Terminal Aérea, Oceanía, Aragón, Eduardo Molina y Consulado de correspondencia con Línea 4, este tramo se puso en servicio el 19 de diciembre de 1981. El resto de la línea que comprende las estaciones Valle Gómez, Misterios, La Raza (de correspondencia con la Línea 3), Autobuses del Norte e Instituto del Petróleo (de correspondencia con la Línea 6) fueron puestas en operación en 1982.

La Línea 5 va de oriente a poniente, de Pantitlán en los límites con Cd. Netzahualcoyotl, sigue por la Av. Hangares, continúa por Boulevard Aeropuerto, toma el curso del Circuito Interior (Río Consulado) y finalmente se dirige al norponiente por la Av. de los 100 Metros.

LA LINEA 6.- Tendrá 8.3 Km. de longitud y 7 estaciones: La estación terminal El Rosario de tipo superficial y las estaciones subterráneas Tezozomoc, Azcapotzalco, Ferrería, Vallejo, Norte 45, e Instituto del Petróleo, de correspondencia con la Línea 5.

El curso de la Línea es de poniente a oriente en la parte norte de la ciudad, en la estación El Rosario se construirán talleres de pequeña revisión y naves de depósito.

Esta etapa en su conjunto tiene un desarrollo de 44.62 Kms. de longitud que sumados a los 41.52 Kms. de la Primera Etapa dan un total de 86.14 Kms. La operación inicial

se hará con 143 trenes y tendrá capacidad para transportar a 5 millones de pasajeros por día, sin embargo no es suficiente para resolver o siquiera aliviar a corto plazo el problema que vive la ciudad por falta de un transporte colectivo suficiente y eficiente, por lo que se autorizó una Tercera Etapa para transportar millón y medio de pasajeros más por día.

### TERCERA ETAPA DE CONSTRUCCION

LINEA 1.- La ampliación de la Línea 1 será en un tramo entre la estación Zaragoza y la estación Pantitlán de la Línea 5. Tendrá una extensión de 1.9 Km. de vía subterránea y seguirá un curso paralelo al Río Churubusco.

LINEA 2.- Se prolongará al poniente de la estación Tacuba construida en la Primera Etapa, en solución subterránea con una longitud de 3.3 Km., tendrá 2 estaciones: Panteones y Cuatro Caminos. El trazo será por la Calzada México-Tacuba seguirá por la Calzada San Bartolo hasta llegar a los terrenos de la Escuela de Transmisiones en donde construirá la estación terminal y una nave de depósito para trenes.

LINEA 3.- Partirá de la estación Zapata hacia el sur, siguiendo el trazo de la Av. Universidad, continuará por la Av. Copilco, la calle de Dalias hasta llegar a la parte noroeste de la Universidad Nacional Autónoma de México. Tendrá una longitud de 6.5 Km. será subterránea con excepción de la estación "Universidad", en solución superficial.

LINEA 5.- Incluye la prolongación de un tramo hacia el norte a partir de la estación "Instituto del Petróleo", en vía superficial, en una longitud de 980 mts. hasta la estación Politécnico que será terminal Provisional. Seguirá el curso de la Av. de los 100 Metros hasta la altura de la calle Poniente 150.

LINEA 7.- Tendrá una longitud de 12.6 Km. en sentido norte-sur, en la parte poniente de la ciudad. Será subterráneo en su totalidad en solución de túnel profundo. Partirá de la estación Tacuba de la Línea 2, seguirá por las calles de Lago Hielmar, Arquímedes, Molino del Rey, Parque Lira y Av. Revolución. Tendrá 10 estaciones: Tacuba, de correspondencia con la Línea 2, San Joaquín, Polanco, Auditorio, Constituyentes, Tacubaya (de correspondencia con la Línea 1), San Pedro de Los Pinos, San Antonio (Mixcoac) y la estación terminal provisional "Barranca del Muerto".

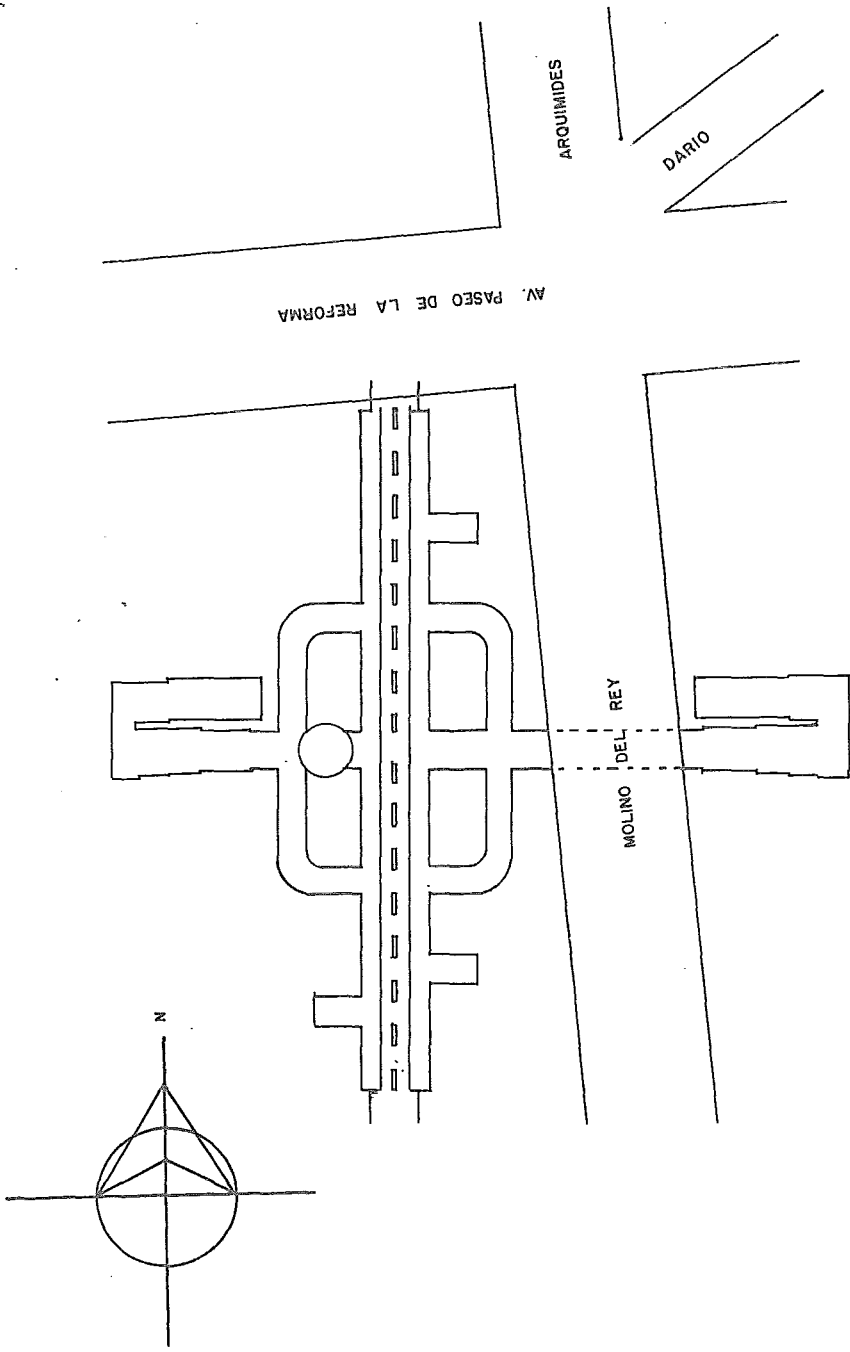


Fig. No. 1

CROQUIS DE LOCALIZACION " ESTACION AUDITORIO "

La red al concluirse la Tercera Etapa de ampliación de 25.38 Km. tendrá un total de 111.52 Km. con 102 estaciones de las cuales 10 serán de correspondencia, capaces de transportar un volúmen diario de 6.5 millones de pasajeros.

## SOLUCION TUNEL PROFUNDO

### I.- ESTUDIOS PREVIOS.

Con el fin de poder conocer las propiedades mecánicas del subsuelo en las zonas donde se construirá la Línea 7 del Metro, se procedió a efectuar sondeos de exploración a cada 100 mts., de los cuales se extrajeron dos tipos de muestras: alteradas e inalteradas.

Las muestras alteradas se obtuvieron hincando a percusión tubos muestreadores de pared gruesa de 3.5 cms. de diámetro interior y 5 cms. de diámetro exterior.

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

Con este tipo de exploración se pudo determinar la profundidad de excavación del túnel, procurando dejar alojada la sección del mismo, en materiales limo-arenosos con gravas, variando desde medianamente compactos hasta muy compactos.

Posteriormente en la zona comprendida entre las estaciones Auditorio y Tacubaya, donde se encontraron "cavernas" o "minas de arena" a una profundidad de 6.5 mts. hasta 13 mts., se realizaron sondeos geoelectricos y donde las curvas de isorrestividad mostraban algún indicio de posibles cavernas, se procedió a realizar sondeos directos, algunos con y otros sin recuperación de material, efectuándose algunos de ellos a distancias de 5 mts. de separación.

## II.- CRITERIOS DE DISEÑO

*Uno de los criterios de valuar las presiones actuantes en los túneles antes y después de excavados o antes y después de ser revestidos es el método empírico o semi-empírico, realizado con el fin de llegar a determinar las presiones que van a actuar sobre la sección del túnel y que puedan aplicarse con la información usualmente disponible y que concuerden y recojan las experiencias de construcciones y las mediciones de comportamientos antes efectuados.*

*El Método Empírico tiene como fin estimar las cargas exteriores que van a gravitar sobre el ademe ya sea temporal o definitivo.*

*El Método que más se ha apegado a la realidad de acuerdo con la experiencia con que se cuenta hasta esta fecha es el llamado "Método de Terzaghi", el cual se describe a continuación:*

### **METODO DE TERZAGHI**

*Este método se basa en su concepción teórica, principalmente en los fundamentos del arqueo de los suelos. Define la carga vertical de suelo sobre el túnel como la masa de material que tendería a caer desde el techo de no ser soportada. La carga que actúa sobre el ademe depende de cierta medida del estado de esfuerzos existente en la masa de suelo, antes de excavar la sección del túnel.*

*Otros métodos para valuar la presión vertical actuante sobre la sección del túnel es el desarrollado por Protodyakonov y por Bierbaumer.*

### **METODO DE PROTODYAKONOV**

*Este método de valuación de fundamento también en ideas de arqueo ha sido desarrollado para materiales granulares, si bien su utilización se ha extendido a rocas y a otros tipos de suelos con buenos resultados para la práctica rusa, que es la que mayor uso ha hecho del método.*

### **METODO DE BIERBAUMER**

*Este método se ha desarrollado durante la construcción de grandes túneles alpinos y su teoría consistente en considerar que la carga que actúa sobre el túnel, corresponde al peso del material que queda comprendido en el interior de una parábola.*

### III.- INSTRUMENTACION

*Con el objeto de certificar la magnitud y variaciones de los movimientos horizontales y verticales que se provocarán en el subsuelo antes, durante y después de realizar la excavación del túnel, en la zona inmediata a la excavación y las áreas adyacentes se implantó una instrumentación que permitió determinar la magnitud, variaciones de dichas deformaciones y presiones del subsuelo. Para ello se instalarán tres tipos de aparatos de instrumentación, a saber:*

- A).- **EXTENSOMETROS**      *Para proporcionar deformaciones durante la excavación del túnel.*
- B).- **INCLINOMETROS**      *Para medir los movimientos horizontales en la zona inmediata a la excavación del túnel.*
- C).- **BANCOS DE NIVEL**      *Para registrar los asentamientos del subsuelo y en las áreas adyacentes a la excavación de la sección.*

### COMPORTAMIENTO A LARGO PLAZO

*Transcurrido cualquier lapso de tiempo en el revestimiento de la sección del túnel, el cual 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 verticales 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.*

*La 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.*

## CAPITULO II

---

### DESCRIPCION GENERAL SOBRE LOS SISTEMAS DE EXCAVACION DE TUNELES

#### INTRODUCCION

*Para la construcción de túneles tenemos que resolver una serie de problemas, como: Disposiciones a adoptar en las obras; elección del método de excavación; equipo necesario; etc.*

*Las soluciones dependen principalmente de la naturaleza del terreno, de su resistencia y de la posible presencia de agua.*

*Por lo anterior es necesario hacer una serie de estudios que se denominarán ESTUDIOS PRELIMINARES y que constan de:*

- 1).- Estudio geológico del terreno.*
- 2).- Sondeos*
- 3).- Túneles de reconocimiento.*

*Estos estudios son de gran importancia, pero debemos tener en cuenta que los estudios geológicos no dan más que probabilidades y no certezas, por lo que no debemos prescindir de la mayor prudencia en la ejecución de las obras.*

*Conocido el proyecto y definido un trazo del túnel, dependiendo de su función (carretero, conducción de aguas, metro, etc.) y una vez efectuados los estudios geológicos en esta Primera Etapa, se elige el trazo más conveniente; el proyecto debe definir claramente la ubicación de los portales de entrada y salida del túnel, así como de las Lumbreras.*

*Para el caso de túneles muy largos, es conveniente llevar a cabo una triangulación para su trazo correcto.*

Para poder iniciar la excavación se deberán conocer los puntos de referencia para el trazo, como son: mojoneras de vértices y bancos de nivel, estos puntos deben ser entregados en campo al Constructor por la Proyectista, la Supervisión deberá verificar de que ésto se lleve a cabo, conociendo con precisión todos los datos del proyecto. Para seguridad de la obra, la Supervisión verificará los trazos y niveles más importantes, con su propia brigada de topografía.

Tratándose de túneles construídos en áreas urbanas, las áreas de trabajo, como son: instalaciones, almacén, oficina, almacén abierto, talleres de carpintería, herrería y eléctrico, oficinas para la Supervisión y área de maniobras, deben de estar previamente establecidos por el proyecto.

Para facilitar los controles durante el proceso de excavación y para el caso de trabajos por Administración, se requiere llevar un control estricto de la mano de obra, material y equipo, todo lo cual quedará comprendido dentro de los costos directos de la obra, costos indirectos y bonificaciones, entendiéndose como costos directos: los costos de mano de obra, de material, las herramientas y la operación del equipo de construcción, como costo indirecto se pueden considerar los costos de mantenimiento, contabilidad, de oficinas administrativas, así como papelería, oficinas técnicas y de servicios, etc.

Para el caso en que sea responsabilidad de la Supervisión el cuantificar y efectuar la revisión de las Estimaciones, se deberá tener cuidado de analizar qué conceptos son los que intervienen en los Precios Unitarios, para evitar la duplicidad en el pago, lo cual únicamente se podrá lograr si tienen los alcances y los análisis de los conceptos que intervienen en el Precio Unitario.

Para poder iniciar la excavación de Lumbreras o túneles, es necesario estudiar la selección del equipo de acuerdo a la magnitud de la obra y a las condiciones del terreno para que de acuerdo a ello se defina el proyecto de construcción más adecuado, que sea consistente con las cantidades de obra a realizar, así como con el tiempo fijado en el programa, garantizando en lo posible la terminación de la obra en el tiempo previsto.

Dado lo heterogéneo del material por encontrar que puede ser desde roca sólida, sana o con poco fisuramiento, hasta suelos limosos, arcillosos o arena suelta, obligará a que la combinación de las operaciones durante el proceso de tuneleo variará de acuerdo a las necesidades constructivas, a las herramientas de trabajo, al equipo y a los medios de



rezaga. De acuerdo al tiempo y a las operaciones que se requieran pueden agruparse los métodos constructivos en los siguientes:

#### Procedimientos convencionales

- a) *Excavación total en el frente, con ademe de concreto lanzado o marcos metálicos, o método inglés.*
- b) *Excavación a media sección, o método belga.*
- c) *Excavación a media sección y con ranura o método austriaco.*
- d) *Excavación a media sección y con túnel piloto o túneles piloto, o método alemán.*

#### Procedimientos con escudos (cerrado o abierto)

- a) *Excavación con escudos.*
- b) *Excavación con escudo y aire comprimido.*

El orden en que se podrían enumerar los equipos necesarios para efectuar la excavación en un túnel, es el siguiente:

- 1.- *Equipo de barrenación.*
- 2.- *Equipo de carga de explosivos.*
- 3.- *Equipo de voladura.*
- 4.- *Equipo de ventilación*
- 5.- *Equipo de rezaga.*
- 6.- *Equipo de arrastre.*
- 7.- *Equipo de vaciado.*
- 8.- *Equipo de manteo.*

#### a) EXCAVACION TOTAL EN EL FRENTE CON ADEME DE CONCRETO

##### LANZADO O MARCOS METALICOS

*Este tipo de procedimiento de excavación a sección completa se utiliza principalmente cuando el material es roca o material tepetatoso cementado, como es el caso del Emisor Central prácticamente en su longitud total y en el Interceptor Centro Poniente, (tramo L-7 a L-9), respectivamente.*

*Para el primer caso en que el material es roca sana o fisurada, se utilizan diferentes tipos de perforadoras, como pueden ser la de plataforma de barrenación consistente*

en una YUMBO, formando un marco cuadrado con dos pasos guiados sobre la vía, en el que se montan de cuatro a seis perforadoras automáticas y una perforadora central semi-fija, para hacer el barreno central o barreno quemado; otra variante del mismo tipo es la plataforma que en lugar de contar con las perforadoras automáticas montadas sobre el Yumbo, se trabaja como perforadoras de piernas manuales, barrenando tanto la sección superior como la media sección, la inferior se perforaba apoyándose en el piso del túnel.

Estas plataformas se mueven sobre unas vías, sobre ruedas neumáticas o sobre patines o bien sobre una combinación de ellas. Estos Yumbos o plataformas avanzan hacia el frente durante la barrenación del mismo y se retiran 150 m. aprox. al momento de la voladura, de tal manera que la explosión no afecte al equipo.

Los barrenos normalmente se perforan de 1.50 m. a 3.0 m. de profundidad, dependiendo del material encontrado; asimismo la plantilla de barrenación varía, de acuerdo también con el tipo de roca. Para tener una idea del rendimiento en la perforación en roca poco fisurada, se puede tomar la de 10 a 14 m/h.

**VOLADURA.**- Para cargar de explosivos los barrenos, se utiliza el procedimiento estándar manual, consistente en limpiar el barreno con aire comprimido, y cuando esto no se logra del todo se necesita emplear las llamadas cucharillas, introduciendo mangueras o tubería de P. V. C. para impedir que los barrenos se cierren; después de efectuada la barrenación se introduce la dinamita en el barreno mediante el taco de madera, a continuación se introducen los estopines eléctricos, alambrándolo con la longitud necesaria. Las marcas de dinamita más empleadas son: Grelafina Extra y Grelamey al 60 y al 40 por ciento.

Es conveniente elegir estopines de tiempo, de tal forma que se retarde la explosión en varias zonas empezando generalmente con la zona central o corazón y continuando con la zona de transición alrededor de la primera y al final la zona de fracturamiento. La cantidad de explosivos empleados depende del tipo de material encontrado, pero podemos decir que varía de 0.4 Kg/m<sup>3</sup>. en los materiales más suaves en donde se trata únicamente de quebrar el terreno o aflojarlo (moneo), hasta de 1.2 Kg de dinamita por m<sup>3</sup>. de material excavado, cuando se trata de roca sana. Véase diagrama tipo de una plantilla de barrenación.

Es conveniente poner los estopines eléctricos en corto circuito, para evitar cualquier accidente, checando que todos los circuitos se encuentren en paralelo y verificando que todas las puntas queden activadas, los circuitos se activan con corriente alterna de 110 a 120 Volts., dependiendo de la corriente que se tenga en el frente de trabajo.

Una vez comprobado todo el sistema y retirado el equipo del frente, como son: el cargador o la rezagadora, el Jumbo de barrenación o plataforma de barrenación, se efectúa la explosión mediante un activador eléctrico, permitiendo realizar la explosión a control remoto.

**VENTILACION.-** Es posible realizar la etapa de ventilación mediante los siguientes procesos:

- 1.- Inyección de aire fresco al frente del túnel, durante las operaciones de barrenación y rezaga. Extracción del aire durante las operaciones de carga y voladura, lo cual es posible invirtiendo el sentido de los ventiladores.
- 2.- Extracción del aire viciado durante todo el tiempo, desde el interior del túnel hacia la superficie.
- 3.- Inyección de aire desde la superficie hasta el frente de excavación, durante todo el tiempo.

Este último proceso es el normalmente usado.

La elección del tipo de ventiladores que se empleen depende del gasto necesario para eliminar el humo y los gases producidos por la explosión, así como de la cantidad de gases producto de la combustión del diesel en los equipos, el número de personas que trabaja en el frente de excavación y más que nada de las condiciones geológicas y de las dimensiones del túnel.

Este sistema de ventilación se encuentra normado por las especificaciones dadas por "Seguridad del túnel".

**REZAGA.-** La rezaga es efectuada mediante tres operaciones principales:

- 1.- Carga del material en el frente, posterior a la voladura.
- 2.- Transporte del material hasta la Lumbrera.
- 3.- Extracción del material por la Lumbrera, para descargar a la tolva receptora y de ahí a los camiones de volteo. Esta operación es comúnmente conocida como "manteo"

**ADEMADO.**- Efectuada la excavación y retirada la rezaga, se efectúa el ademado del frente, mediante la colocación de marcos metálicos y retaque de madera o bien mediante el concreto lanzado. La finalidad del ademe (temporal) es garantizar la estabilidad del túnel, desde el momento de la excavación hasta el colado del Revestimiento Definitivo.

Este último paso completa el ciclo de avance entre barrenación, voladura, rezaga y ademe.

b) EXCAVACION A MEDIA SECCION

Cuando por las características del terreno es posible que se produzcan desprendimientos, el procedimiento a seguir será a media sección. Inicialmente se abre la mitad superior del túnel, haciendo un banco de material y colocando marcos metálicos apoyados en unas rastras metálicas, localizadas en la parte media de la sección del túnel; en cierto momento estas rastras metálicas trabajan soportando las presiones que introducen los arcos metálicos sobre las mismas, es decir, trabajan en cantiliver.

Una vez colocados los marcos (arcos) superiores, se excava o se banquea el material de la sección superior, tronando y rezagando al mismo tiempo parte de la sección inferior.

Este procedimiento de excavación en cuanto a su secuencia es prácticamente el mismo que el descrito para la excavación a sección completa, es decir, primero se barreña el frente de la media sección superior, se hace la voladura, retirando previamente el equipo de excavación y a continuación se retira el material de la voladura, excavando la media sección inferior, rezagando el material y colocando el ademe provisional, consistente, principalmente, en marcos metálicos y ademe de madera.

Puede existir el caso de que se usen medios mecánicos para rezagar el material de la media sección superior, tronando al mismo tiempo la sección superior y la inferior.

c) EXCAVACION A MEDIA SECCION CON RANURA AL FRENTE

Tratándose de materiales cementados, como pueden ser areno-arcillosos, areno-limosos o fácilmente deleznable, este procedimiento es el más adecuado sufriendo

variaciones en el uso del equipo y en la forma de atacar el frente, es decir, se usan herramientas manuales para excavar el frente abriendo una ranura de aprox. 1.0 m. de profundidad siguiendo el contorno del marco circular que servirá para colocar el marco en la media sección superior, excavando el resto de la media sección con rompedoras neumáticas principalmente.

En la media sección inferior se excava también abriendo una ranura de 1.0 m., para colocar las patas de los marcos, colocando cuando es necesario y si el terreno lo amerita, tornapuntas para cerrar el marco, evitando el pateo de las patas de los marcos por efecto de las presiones laterales. Posteriormente se puede recubrir el túnel con concreto lanzado y un firme en el piso para dar mejor apoyo al sistema de ademe a base de marcos metálicos.

#### d).- EXCAVACION A MEDIA SECCION Y CON TUNEL PILOTO O TUNELES PILOTO

Este método es una variante del procedimiento de excavación a media sección y consiste en unas excavaciones pequeñas que se efectúan en la media sección superior de más o menos de 3.00 a 4.00 m<sup>2</sup>. Estos túneles piloto se construyen cuando se tiene un terreno de características dudosas y tienen por objeto en la mayoría de los casos determinar con anticipación las aportaciones de agua por las que el túnel atraviesa y en segundo lugar, observar el tipo de terreno por encontrarse durante la excavación, anticipándose a los problemas que pudieran presentarse.

La excavación lograda mediante estos túneles, es de gran utilidad para prevenir tanto los problemas de canalización como los de desalojo del agua de los frentes de excavación. Una utilidad más de estos túneles piloto es la de poder ser usados como barreno de cuña quemado.

Es conveniente aclarar que, en los túneles en que se usa este sistema, los avances del túnel son menores, debido a las actividades que representan los ciclos de trabajo.

#### EXCAVACION CON ESCUDOS

Esta herramienta se emplea para excavar en suelos blandos (limo, arcilla) y pueden ser de dos tipos: de frente abierto y de frente cerrado.

ESCUDO DE FRENTE ABIERTO.- Este equipo consta de un cilindro de lámina de acero rolada con las dimensiones del túnel por excavar; en su parte frontal tienen

una serie de gatos que operan a baja presión para que conjuntamente con tablonos de madera poder troquelar el frente de ataque en caso de requerirse de acuerdo a las necesidades del túnel; además sirven de plataforma para efectuar la excavación de arriba hacia abajo con ayuda de martillos neumáticos (con cucharón); en la parte media y en su interior se alojan las camisas, tanto de los gatos para el avance de las plataformas delanteras, como la de los gatos para el avance del escudo; también en esta zona se localizan los tableros para el manejo del escudo, el cual es a base de un sistema hidráulico; asimismo se localiza el brazo erector que se emplea para armar y formar los anillos de concreto prefabricado (dovelas) o de acero.

En la parte posterior del escudo se encuentra el faldón del escudo, el cual se diseña para alojar los anillos de doveles dentro de la coraza de metal. En esta forma la única parte descubierta del terreno sin soporte, es el frente de ataque, el cual ocasionalmente se mantiene adomado con madera; la longitud de este faldón es de 1.75 m. aprox. La cachucha frontal que es el borde de corte del escudo, está formada por una placa de acero con soldadura de carburo de tungsteno en su extremo y en forma de flecha, y es ligeramente de mayor diámetro que el resto del escudo, de tal manera que proporciona una disminución de la resistencia al deslizamiento entre el escudo y el terreno.

El tuneleo con escudo ofrece las siguientes ventajas:

- a) La excavación del terreno puede hacerse a sección completa.
- b) Ofrece en todas direcciones un soporte constante al terreno.
- c) Facilita el trabajo de excavación, evitando deformaciones excesivas del terreno y reduciendo los asentamientos en superficie.

El tuneleo con escudo requiere de excavar la sección completa, lo cual no es tarea fácil si se considera que los escudos se utilizan en terrenos de baja resistencia y en los que se requiere estabilizar áreas importantes; la herramienta empleada para la excavación del frente depende del grado de dureza del suelo, siendo la más usual el martillo neumático.

#### PROCESO DE EXCAVACION CON ESCUDO DE FRENTE ABIERTO

Durante el trabajo de excavación con escudo es necesario efectuar los siguientes pasos:

1. *Empuje de los gatos para el avance del escudo; estos gatos hidráulicos se apoyan en el anillo de dovelas colocado en el faldón del escudo. El avance en cada ciclo es de 75 cm. que corresponde al ancho de las dovelas que forman los anillos; al mismo tiempo que se accionan los gatos de empuje se retraen los gatos frontales manteniendo siempre una presión de los mismos, contra el ademe de madera localizado al frente de la excavación.*
- 2.- *Existe una mampara localizada en la parte posterior del escudo que retiene el material producto de la excavación, la cual se baja para permitir el acceso de la máquina rezagadora con banda transportadora. Esta banda transporta y deposita el material en botes o cajas especiales que posteriormente se llevan con locomotoras a la Lumbrera, donde son izadas por un malacate hasta la superficie para ser vaciadas en una tolva y de ahí a los camiones de volteo.*
- 3.- *El ciclo de excavación se inicia efectuando una ranura perimetral, la cual es necesaria para iniciar el avance del escudo; la excavación en el frente del escudo se hace en forma de punta de flecha de 75 cm. de profundidad y 80 cm. de ancho, aprox. El objeto de esta ranura es disminuir la resistencia del terreno a la penetración del escudo, tratando de evitar con esto el remoldeo del material y desprendimientos del mismo. Una vez terminada la excavación y la rezaga, colocado el ademe en el frente, se cierra la compuerta de la rezaga para llevar a cabo el avance del escudo. Esta es una operación muy delicada, ya que de la buena ejecución de la misma depende el alineamiento y los niveles proyectados, por lo tanto, es muy importante realizar el avance con la presión y con los gatos hidráulicos adecuados. Terminado el avance se limpia la plantilla (cubeta) dentro del faldón del escudo para poder efectuar el montaje del revestimiento primario (dovelas).*

**COLOCACION DEL ANILLO DE DOVELAS.-** Cada una de las piezas conocidas como dovelas son colocadas por medio de un brazo erector de accionamiento hidráulico montado en la parte posterior del escudo, éste puede girar alrededor de su eje horizontal en cualquier posición que se requiera y puede extenderse o retraerse teniendo en su extremo un dispositivo especial para sujetar la dovela por instalar. El anillo se va ensamblando, comenzando por las dovelas más bajas y se continua hacia arriba con las dovelas laterales, cerrando el anillo completo con una dovela especial conocida como cuña; terminado el anillo de dovelas se procede a apretar la tornillería que las une entre sí.

A medida que el anillo se va ensamblando, los gatos de empuje se van retirando, estos anillos montados tienden a adoptar una forma oval y no circular, debido al peso propio, por lo que en algunos casos se hace necesario colocar un par de puntales dotados con gatos mecánicos o con rosca para su ajuste; este apuntalamiento se conservará hasta después de inyectado.

EXCAVACION DEL FRENTE.- De acuerdo a lo anterior, la excavación del frente se efectúa en tres etapas; se inicia con la parte superior mientras se baja la compuerta o mampara, se continúa con el segundo tercio (parte media) y por último con el tercer tercio (parte inferior). Es importante que el anillo que queda fuera del faldón del escudo sea inyectado con gravilla y mortero y que los anillos cercanos a éste sean inyectados con lechada lo más pronto posible, garantizando con esto el contacto entre el terreno natural y las dovelas.

INYECCION ENTRE DOVELAS Y TERRENO.- Se puede decir que esta inyección depende del tipo de terreno, de las dovelas, del Proyectista o de la Supervisión.

Aproximadamente 6.00 m atrás del faldón del escudo se procede a efectuar una inyección de contacto a base de cemento, entre el revestimiento de dovelas y el terreno, que servirá para llenar los espacios que deja la gravilla; esta gravilla es introducida por unos agujeros dejados expreso en las dovelas. Las ventajas que se logran con la inyección de gravillas son las siguientes:

- a) La gravilla puede efectuarse hasta el faldón del escudo.
- b) Se puede ir colocando simultáneamente con el avance del escudo.
- c) Es más barata que una inyección de cemento.
- d) Forma un relleno efectivo contra la deformación del suelo, favoreciendo su trabajo como anillo.

Los objetivos de la inyección de gravilla son:

1. Establecer un relleno compacto.
2. Estabilizar el terreno, al impedir deformaciones importantes debidas a la presión del suelo contra el ademe del túnel.



3. Actúa como un sello para las filtraciones del agua. Existe una inyección secundaria cuyo objetivo es sellar filtraciones y estabilizar movimientos, por lo que se requiere generalmente esperar a que los movimientos del terreno provocados por la excavación del túnel se estabilicen, es decir, que los asentamientos en superficie alcancen su condición de equilibrio. El avance máximo obtenido con escudo en México (Interceptor Central), ha sido de 9.00 m diarios aprox. y el promedio generalmente es de 5.50 m/día aprox.

**ABATIMIENTO DE NIVELES PIEZOMETRICOS EN SUPERFICIE.-** Previo al paso del escudo y de acuerdo con los estudios de mecánica de suelos, se pueden llevar a cabo abatimientos piezométricos a base de pozos de bombeo en superficie, los cuales generalmente se localizan alternados (en tres bolillos). Estos tienen como finalidad evitar problemas de arrastre de material hacia la excavación provocada por flujos de agua y presiones hidráulicas en ciertos sitios.

Con el objeto de conocer los movimientos superficiales a lo largo del eje del túnel, así como para conocer las deformaciones del interior en el túnel, se colocan deformaciones del interior en el túnel, se colocan estaciones de instrumentación de acuerdo a las deformaciones y características del terreno.

Para el caso de instrumentación en superficie ésto se logra a base de bancos de nivel superficiales y profundos referidos a bancos auxiliares distantes a más de 100.00 m del eje del túnel; en algunos casos se instalan a ambos lados del túnel inclinómetros para conocer los desplazamientos horizontales que sufren las capas del terreno en todo el espesor del techo del túnel, sin embargo, estos instrumentos de medición resultan poco prácticos, debido a que la magnitud de dichos desplazamientos son muy pequeños y no fácilmente detectables, por lo que se ha optado por colocar exclusivamente bancos de nivel en secciones transversales al eje del túnel.

Para la medición de las deformaciones dentro del túnel, estas pueden ser medidas con extensómetros a base de cinta "IMBAR" y otro equipo similar, las deformaciones en estos casos son del orden de centímetros.

### **EXCAVACION CON AIRE COMPRIMIDO**

Este sistema de excavación con escudo abierto y aire comprimido, se utiliza para excavar en suelos blandos, es decir, cuando el subsuelo está formado por capas de

arcilla del lago de espesores importantes.

*Las pruebas de resistencia al esfuerzo cortante realizadas en los estratos de arcilla antes mencionados, arrojan resultados típicos de las arcillas de la zona del lago.*

*La cohesión determinada en estos materiales fué en promedio del orden de 6 ton/m<sup>2</sup> cifra que comparada con la presión total que actúa sobre el túnel a esa profundidad (32 ton/m<sup>2</sup>) indican factores de seguridad contra extrusión de los materiales cercanos a la unidad (FS-1.06); para corroborar los datos se efectúan pruebas de extrusión en el laboratorio, este fenómeno sumado al que pueden presentar ciertos tramos que consiste en la presencia de lentes de arena muy permeable y en estado suelto, donde aún con la ayuda del bombeo exterior no es posible abatir las presiones, por encontrarse estos lentes combinados entre estratos muy impermeables.*

*Esta situación ocasiona problemas de estabilidad en el frente de ataque, debido principalmente al arrastre de materiales granulares, provocado por la presión de agua remanente y en mayor escala por la poca capacidad de estos materiales granulares para soportar la presión del terreno generada durante la excavación. El abatimiento del nivel freático tiene por objeto disminuir las presiones actuantes en el túnel durante el proceso de excavación, el cual se puede lograr en algunos casos prácticamente en seco.*

*Las presiones remanentes en los mantos arenosos son controladas mediante aire comprimido, este sistema tiene por objeto crear un flujo de aire hacia el frente que en el caso de las arenas le produzca tensiones capilares, evitando su arrastre y en el caso de arcillas extruibles las haga estables; el empleo del escudo como herramienta de excavación tiene por objeto evitar el riesgo que cargue y ceda sirviendo como refugio protector para la persona que trabaja en el frente y permitirá en un momento dado y en caso de ser necesario ademar la excavación para el caso de inestabilidad del frente.*

*Teniendo todos los datos como son las pruebas de laboratorio y en suma toda la información del subsuelo, conocidas las propiedades de resistencia de deformación de los diferentes estratos, se estudia la alternativa para la excavación del túnel tomando como punto de partida básico los problemas de estabilidad del frente.*

*Las soluciones pueden ser las siguientes:*

- a) *Excavar con escudo abierto, aire comprimido en el túnel y pozos de abatimiento.*
- b) *Excavación con escudo abierto y aire comprimido.*

**DESCRIPCION DEL SISTEMA PARA AIRE COMPRIMIDO.**- *Es conveniente hacer la aclaración que, la Ciudad de México es la primera Ciudad en la que se ha utilizado el sistema de aire comprimido a una elevación de 2,240 m sobre el nivel del mar, ya que todas las experiencias existentes han sido a nivel del mar.*

*El sistema de aire comprimido a baja presión se diseñará en base a las condiciones de estabilidad del frente, equipo disponible y las dimensiones del túnel. En consecuencia, puede decirse que el sistema consiste de las siguientes partes:*

1. *Planta de compresores.*
2. *Sistema de enfriamiento.*
3. *Tubería de alimentación de aire comprimido y múltiples.*
4. *Tanques recibidores.*
5. *Esclusas de personal y de rezaga.*
6. *Cámara médica.*
7. *Mampara.*

*El aire entregado por cada compresor es tomado del medio ambiente, eliminando las partículas de polvo, por medio de filtros de admisión. El aire al ser comprimido se calienta, por lo que es necesario llevarlo a un intercambiador de calor y posteriormente a un separador de aceite. El aire en esas condiciones, libre de las impurezas, polvo y aceite, se entrega en condiciones óptimas de temperatura y pureza; con objeto de regular la presión de aire que llega a las cámaras de trabajo en el túnel, es*

necesario instalar una válvula automática reguladora de presión FISHER. Esta válvula tiene por objeto mantener la presión constante en el túnel, es decir, que si se tiene una disminución de presión por pérdidas a través del terreno o por las válvulas de ventilación, el mecanismo de la válvula regula la entrada del aire al túnel hasta tener la presión establecida, cerrando automáticamente dicha válvula.

Por otra parte, dentro del túnel se debe tener alguna forma de mantener el volumen de aire a presión, con el fin de desarrollar la función que se le ha destinado; la solución es instalar una placa de acero que en su periferia tenga un sello perfecto y mantenga por tanto las condiciones de hermeticidad, a estas placas se les conoce con el nombre de "mamparas".

En tales condiciones no se puede tener acceso directo a la cámara de trabajo (túnel), por tanto el personal no puede pasar directamente de la condición de presión atmosférica a otra diferente, sin sufrir molestias o lesiones en sus organismos. La solución a este problema se logra utilizando un recipiente denominado esclusa de personal, la cual se encuentra empotrada o adosada a la mampara y tiene dos compuertas localizadas en sus extremos, con el fin de permitir el acceso desde la zona de presión atmosférica hasta la cámara de trabajo y viceversa, caso semejante es el de la rezaga del material producto de excavación; el cual no puede tener acceso directo de la zona de presión atmosférica a la cámara de trabajo o viceversa; por tal motivo es necesario utilizar una nueva esclusa conocida como esclusa de rezaga, más larga y de mayor diámetro que la del personal y la cual se empotra también en la mampara en forma similar a la esclusa de personal. El funcionamiento de dicha esclusa, es idéntico a la de personal.

**EQUIPO EMPLEADO.**- Para poder excavar y construir utilizando el aire comprimido, se requiere del siguiente equipo:

- a) Equipo para aire comprimido a baja presión y tuberías para llevarlo a la cámara de trabajo.
- b) Equipo para aire comprimido en alta presión para rompedoras, equipo de inyección, bombas, etc.
- c) Planta de potencia del sistema hidráulico.

- d) *Suministro de agua para limpieza y otros servicios.*
- e) *Equipo de alumbrado en el túnel (plantas de emergencia).*
- f) *Sistema de comunicaciones de los servicios desde la superficie al interior del túnel (Banco de compresores, Planta de emergencia, malacate, servicio médico, superintendencia, etc.).*
- g) *Equipo de bombeo.*
- h) *Transportación para el equipo.*
- i) *Equipo de excavación.*
- j) *Plataforma de trabajo inmediatamente después del escudo.*
- k) *Equipo utilizado para apretar la tornillería de los segmentos prefabricados.*
- l) *Equipo para inyectar gravilla.*
- m) *Equipo para inyectar lechada de cemento.*
- n) *Mamparas y esclusas.*
- o) *Dispositivos de seguridad para usarse en aire comprimido.*

#### **ASPECTOS MEDICOS.**

*La vigilancia médica de los trabajadores que laboran bajo el aire comprimido, es necesaria e indispensable, para lo cual es importante un servicio médico que realice las siguientes tareas:*

- a) *Seleccionar el personal.*
- b) *Vigilar el estado de salud de los trabajadores que laboran tiempo completo en aire comprimido.*
- c) *Servicios médicos o de tratamientos causados por el aire comprimido, principalmente por descompresión.*

## COMPARACION DE ESTOS METODOS

*El método inglés con ataque a plena sección es raro su utilización, cuando el túnel es de gran dimensión, pero cuando es posible emplearlo, es el más económico y rápido.*

*El método belga, y el austriaco pueden utilizarse en la mayoría de los terrenos. El método austriaco es más costoso que el belga pero es más rápido.*

*El método alemán, es aún más costoso, pero es seguro en mal terreno.*

*El método austriaco puede ser utilizado en túneles largos y con una dificultad en su ejecución.*

*El método belga se usa mucho en túneles cortos, en los que la evacuación y el transporte de los escombros no es un problema importante, como en los largos túneles. Es el método clásico de ejecución de los túneles del metro en París.*

### CAPITULO III

#### ORGANIZACION, PLANEACION, PROGRAMACION, ADMINISTRACION Y CONTROL DE CALIDAD.

##### ORGANIZACION PARA EJECUCION DE OBRA CIVIL

*La Comisión de Vialidad y Transporte Urbano (COVITUR), entre sus diversas funciones, tiene a su cargo la construcción de la obra "METRO" así como las nuevas obras viales o modificaciones de las que hay actualmente.*

*Covitur tiene a su cargo la Dirección, Coordinación y Control de las obras en sus distintas fases de planeación, proyecto y construcción.*

*La Dirección de Construcción está a cargo de la Vocalía Ejecutiva y comprende la Gerencia de Ingeniería Vial, Gerencia de Obra Civil, Gerencia de Obras Electromecánicas, Gerencia de Obras Inducidas y la Gerencia de Construcción de Estacionamientos, contando con el apoyo de la Gerencia de Normas y Precios Unitarios.*

*La Gerencia de Obra Civil está compuesta por dos partes ejecutivas que son las Subgerencias de Obra Metro y de Obras de Vialidad y una parte de Coordinación que es la Oficina de Control de Calidad.*

*La Subgerencia de Obra Metro tiene una estructura con forma piramidal, de Jefaturas de Residentes en campo, que le es asignada una Línea completa o algún tramo; asimismo, debido a la obra tan grande esta Jefatura de Residentes, tiene Residentes Generales y Residentes de Frente. El jefe de Residentes tiene la representación de COVITUR en calidad de dirección de obra, en el campo.*

*COVITUR, con el objeto de llevar a cabo la realización física de la obra "METRO" ha establecido una organización que se puede ver en la figura No. 1a. Este esquema mostrado en la anterior figura nos da una idea en términos generales, como están distribuidas las tareas de Dirección, Coordinación y Control, Proyecto, Supervisión y Ejecución de Obra.*

*Ingeniería de Sistemas de Transporte Colectivo, S. A. (ISTME) tiene la tarea de realizar el proyecto de obra civil y electromecánica del METRO, además las obras inducidas que son causadas por las obras del Metro.*

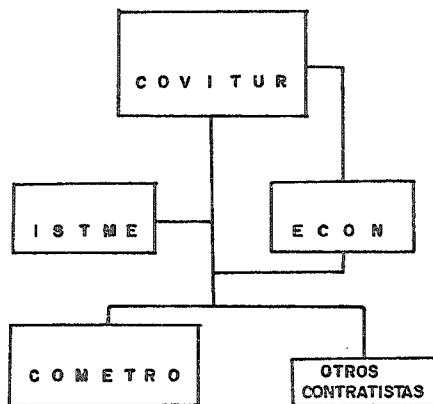


Fig. No. 14

ORGANIGRAMA PARA LAS OBRAS DE AMPLIACION  
DE LAS LINEAS DEL METRO



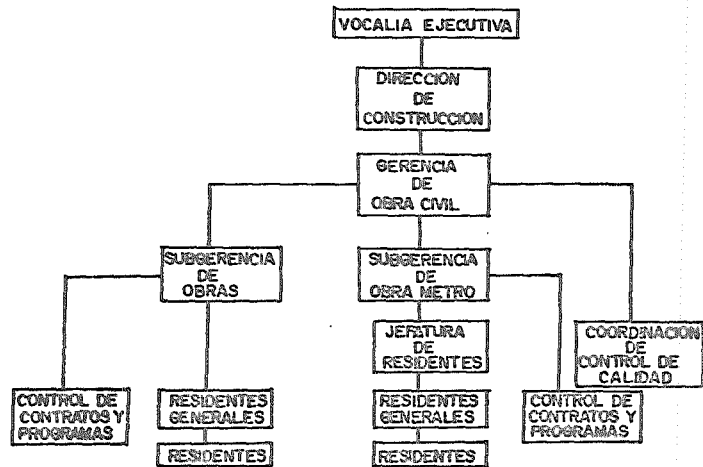


Fig. No. 16

ORGANIGRAMA DE LA GERENCIA DE  
 OBRA CIVIL  
 COVITUR

La Supervisión, está a cargo de Empresas Consultoras, S. A. (ECON). Además tiene a su cargo la cuantificación de obra ejecutada, así como el proporcionar servicios de laboratorio de materiales para el control de calidad, y la actualización de los programas y avances de obra.

La Ejecución de la obra civil está bajo el cargo de Constructora Metro, S. A., de C. V. (COMETRO). Para los trabajos complementarios como: jardinería, señalamiento, reubicación de vías ferreas, se acude a contratistas especializados de cada ramo.

En la Organización antes mencionada, se le delego a la Supervisión la responsabilidad y autoridad necesaria para el desempeño de sus labores, por parte de COVITUR, mediante la implantación de un instructivo de operación, que lo podemos resumir como sigue:

- COVITUR ejerce la Dirección, Coordinación y Control de construcción de la obra, mediante planos, especificaciones, escritos y programas giradas a la Supervisión y que se anotan en la Bitácora de Dirección que es el documento oficial de comunicación COVITUR-ECON.
- COVITUR solamente puede hacer cambios en planos, especificaciones y programas.
- Supervisión se compromete a que la obra se haga de acuerdo al proyecto aprobado en COVITUR, de acuerdo a los Programas de Obra, y está facultada para dictar disposiciones para llevar a feliz término los trabajos. ECON es la línea directa entre COVITUR-CONSTRUCTOR para asuntos que esten relacionados con el trabajo físico, a través de la Bitácora de Obra.

Para la organización de una obra se toma en cuenta lo siguiente:

- Localización de la Obra
- Tipo de Obra por ejecutar
- Clima y vías de comunicaciones
- Características geológicas del subsuelo
- Características arquitectónicas de la obra
- Financiamiento de la obra
- Materiales y elementos constructivos para ejecutar la obra
- Bodegas de almacenamiento
- Lugares de aprovisionamiento y su distancia
- Mano de obra
- Tiempo disponible
- Personal de vigilancia y seguridad (dependiendo de la magnitud de la obra)

## PLANEACION

*Es el proceso de seleccionar un método y orden, dentro de todas las posibilidades y secuencias en que podría efectuarse un proyecto, señalando su forma de realizarse. De lo anterior se deduce que la planeación consiste en analizar y coordinar todos los elementos y actividades que intervienen en una obra, para ejecutarlas en el menor tiempo posible, al menor costo y con las condiciones de seguridad adecuadas.*

*Cuando se planea un proyecto se determinan las operaciones o actividades necesarias que se van a desarrollar en la obra, debiendo establecerse las secuencias lógicas razonables de cada una de las actividades a realizar, debe observarse qué actividades son necesarias y el orden en que deben ejecutarse para obtener un resultado satisfactorio, teniendo cuidado de no omitir actividades, tomar en cuenta en donde se van a llevar a cabo éstas y por quién, y en qué fecha y cómo deben hacerse. Tomando en cuenta estos factores y conjuntándolos en una forma racional se obtendrá una planeación conveniente y adecuada.*

## PROGRAMACION

*En cualquier obra de ingeniería, el tiempo en que se lleve a cabo ésta es de suma importancia, puesto que la mayor o menor rapidez con que se lleve a efecto su construcción redundará en el costo final de la misma, como consecuencia una adecuada programación ordena los esfuerzos y señala la posición relativa de las actividades que se habrán de desarrollar, y además dispone quién habrá de desempeñarlas llegando a su terminación en una forma conveniente.*

*Cuando se hace una buena programación, se eliminan trabajos innecesarios y los contratiempos en la realización de las actividades se reducen al mínimo. En esta forma se logran los objetivos, utilizando los mejores medios, conservando esfuerzos y ahorrando energías.*

*El programa de obra de la Estación Auditorio se hizo mediante el diagrama de Gantt o diagrama de barras. Este diagrama consta de los siguientes pasos:*

- a).- *Se determinan las actividades principales del proceso.*
- b).- *Se hace una estimación de la duración efectiva de cada actividad.*
- c).- *Se representa cada actividad mediante una barra en el eje horizontal a cierta escala, cuya longitud es la duración efectiva de la actividad.*
- d).- *Se hace una lista de actividades, de manera que a cada actividad corresponda un*

renglón de la lista, y estableciendo un orden de ejecución de las actividades, se sitúa la barra que representa a cada actividad a lo largo de una escala de tiempos efectivos, que se coloca en la misma dirección de los renglones y que es común a todas las actividades.

- e).- Se convierte la escala de tiempos efectivos en una escala de "días calendario", haciendo coincidir el origen de la escala con la fecha de iniciación del proceso. Se ajustan en seguida las posiciones de las barras que representan a las actividades, teniendo en cuenta los días no laborables, y el estado probable del tiempo en las diferentes épocas del año, si dicho factor es importante en la ejecución del proceso. El diagrama resultante de los pasos anteriores, será el diagrama de barras para el proyecto.

Para el caso de la obra "Metro", la constructora elabora el programa general de cada Línea, indicando volúmenes de obra de las actividades más importantes, importes respectivos, consignando el tiempo necesario para realizarlo en un diagrama de barras, el cual se somete a consideración de COVITUR.

COVITUR procede al análisis del programa, y comparándolo con el programa de proyecto, adquisición de terrenos, liberación de las obras inducidas mayores y, con mayor énfasis el programa de ejecución de la obra electromécanica. Finalmente, sopesando los factores de tiempo y recursos, COVITUR establece, de común acuerdo con el Constructor un programa rector para la puesta en servicio de cada Línea.

A partir de este programa rector, la Constructora tiene que presentar un programa detallado para efecto de planeación y control de la construcción de la Línea y los subprogramas necesarios para obras inducidas, tramos, Estaciones, vialidades, etc. Para ésto, se ayuda de la ruta crítica, ya que tiene la ventaja de poder definir claramente la interdependencia de actividades e identificar las holguras disponibles. Además, se presta para su procesamiento electrónico, permitiendo analizar rápidamente diferentes alternativas; los resultados son vaciados en programas de barras para controlar el avance de obra.

Para el caso concreto, del programa de obra de la estación Auditorio que se tenía originalmente y donde la obra comenzaba en el año de 1980 no se llevo a cabo completamente, sino que únicamente se hizo la parte poniente de la estación, quedando inconclusa la obra por falta de presupuesto y razones políticas, teniendo pendiente la reanudación de la obra hasta nuevo aviso.

Fue hasta mediados de febrero de 1983, cuando se reanuda la obra y se tiene pensado concluirla hasta enero de 1985, en caso de que no haya problemas. El programa de obra nuevo lo podemos ver a continuación: (ver plano A).

## ADMINISTRACION

El proceso está constituido en tres partes que son: cuantificación de obra, determinación de precios unitarios y sus alcances, y elaboración de estimaciones.

### a).- Cuantificación de obra.

La cuantificación de obra terminada es conciliada entre la constructora y la supervisión y es base para la elaboración de las estimaciones mensuales, para lo cual se sigue un proceso que es:

- a.1) Cometro y Econ hacen sus cuantificaciones diarias por separado las cuales se confrontan para llegar a un acuerdo.
- a.2) Se llevan a cabo juntas de cuantificaciones semanalmente con la participación de Cometro y Econ presididas por COVITUR que actuará como juez en los desacuerdos que pueda haber entre constructora y supervisión.
- a.3) Cada semana se lleva a cabo una Junta de Coordinación de Estimaciones y Precios Unitarios para toda la Línea 7, presidida por el Gerente o Subgerente de Obra Civil, el Jefe de Residentes y los representantes del Area Técnica de COVITUR y de la Comisión Interna de Precios Unitarios del D.D.F., por Cometro asiste personal del Area de Control y los Superintendentes de Obras y por la Supervisión, los Gerentes de Zona y de cuantificación. Se plantean problemas que no fueron resueltos en campo, se aclaran los alcances de los precios unitarios, claves de frentes y conceptos y por último se entregan catálogos de precios unitarios actualizados incluyendo sus alcances.
- a.4) La cuantificación diaria es vaciada en formatos especiales que son generadores en donde se anota la línea, tramo, ubicación, contratista, fecha, clave y descripción de concepto, referencia al plano, localización específica, dimensiones, unidades y observaciones. A continuación, se hace la acumulación por concepto y un reporte semanal que contiene todos los conceptos ejecutados en ese período, anotándose la clave del frente, la del concepto y los dígitos del control para su procesamiento electrónico. También en cada frente de trabajo se lleva un concentrado de obra ejecutada para formar un acumulado mensual.



- a.5) *Es utilizado un procesamiento electrónico para la cuantificación de obra por la gran cantidad de conceptos y tener una mayor rapidez para integrar las estimaciones mensuales. Este procesamiento consta de tres áreas: captura, actualización y proceso de información y la estructura de cada área es la siguiente:*

<i>Captura:</i>	<i>Creación de archivos.</i>
<i>Actualización</i>	<i>Mantenimiento a conceptos, cantidades de obra y frentes.</i>
<i>Proceso</i>	<i>Generación de reportes.</i>

*De los reportes obtenidos por el sistema podemos mencionar:*

- Avance de obra semanal.*
- Avance de obra complementaria.*
- Avance de archivo maestro.*
- Avance de obra mensual.*
- Acumulada del archivo maestro.*
- Validación de cinta.*
- Formulación de estimación mensual.*

*Esta información es archivada, indentificándose por el mes y año en que fue ejecutada.*

- b).- *Precios unitarios.*

*De este concepto se encarga la Comisión Interna de precios unitarios del Departamento del Distrito Federal (CIPU) mandando catálogos al área de cuantificación y al archivo de la computadora de COVITUR.*

- c).- *Integración de estimaciones.*

*Partiendo de la cuantificación mensual, debidamente clasificada y aprobada por las partes que intervienen (COMETRO y ECON) en la misma, se le entrega a COVITUR, que se encarga de hacer la edición de las estimaciones, utilizando la memoria de precios unitarios.*

## CONTROL DE CALIDAD

Cuando se está construyendo se verifica el cumplimiento de los requisitos contemplados en el proyecto como son: trazo, nivel, dimensiones, cantidad de materiales, propiedades de los materiales, etc., además se le proporciona a Covitur información para el control de los programas y subprogramas de obra. Llegando a un acuerdo con la Gerencia de Obra Civil de Covitur, se definen los controles de calidad para los materiales, mano de obra y procedimientos constructivos utilizados por la constructora.

Supervisión se encarga de evaluar los resultados de los ensayos y comparándolos con las especificaciones del proyecto o con las normas oficiales (ASTM, SAHOP, ACI, AWS, etc.), los resultados son comunicados a la constructora y a la Oficina de Control de Calidad de Covitur. Entre los ensayos efectuados a distintos materiales podemos mencionar:

- **CONCRETO NORMAL.**- Se hacen pruebas para determinar las características físicas de los agregados y del cemento, midiendo su revenimiento y del concreto endurecido con la ayuda de cilindros o corazones se obtiene la resistencia a compresión simple, módulos de elasticidad y resistencia a tensión por flexión para pavimentos.
- **CONCRETO LANZADO.**- Se efectúan análisis de granulometría, efectividad de aditivos acelerantes midiendo tiempos de fraguado y resistencias en pastas de cemento y resistencia a compresión de los corazones extraídos de las artesas, coladas durante el lanzamiento del concreto.
- **ACERO DE REFUERZO Y DE PRESFUERZO.**- Se muestrean y determinan las propiedades físicas de varillas, cables y torones.
- **TUBERIAS DE ACERO Y CONCRETO.**- Que son utilizados cuando es afectada alguna instalación de agua potable. Para las de acero se determinan sus propiedades físicas y son examinadas mediante gramagrafías, las uniones soldadas de taller y de campo, se le hace una prueba de hidrostática para su aceptación final. Para las tuberías de concreto utilizadas en el drenaje se le verifica su calidad comprendiendo su geometría, resistencia del concreto, absorción, resistencia a la ruptura del tubo.
- **MATERIALES DIVERSOS.**- Se lleva control de calidad de otros materiales tales como: pintura, adoquín, mármol, etc.

M-0028695



## CAPITULO IV

### CONSTRUCCION DE LA LUMBRERA Y SECUENCIA DE EXCAVACION Y CONSTRUCCION DE TUNELES QUE CONSTITUYEN LA ESTACION.

*La construcción de la lumbrera, será con la finalidad de poder introducir el equipo necesario para la excavación y construcción del túnel del metro correspondiente a la Línea 7; así como para extraer la rezaga producto de la excavación.*

#### I.- DIMENSIONES GENERALES DE LA LUMBRERA

*La lumbrera será de sección circular con un diámetro libre de 10.20 mts. La sección excavada tendrá un diámetro aproximado de 11.00 mts., ver fig. No. 2.*

*El nivel máximo de excavación en la lumbrera contará con 28.80 mts. fig. No. 3.*

#### II.- CONSTRUCCION DEL BROCAL

*Una vez que sobre el terreno se haya definido el trazo de la lumbrera, se hace una zanja de 1.0 mts. de ancho y 3.15 mts. de profundidad en el perímetro exterior de la misma, dicha zanja servirá para la elaboración del faldón del brocal, mediante una cimbra apoyada contra el terreno de la excavación.*

*La rama horizontal del brocal (alero) constituye una pequeña losa, la cual servirá para que la máquina pueda rodar libremente sin peligro de que produzca algún caído en la superficie de la lumbrera. Las dimensiones del brocal se ven con mayor detalle en la figura No. 2.*

#### III.- EXCAVACION Y CONSTRUCCION DE LA LUMBRERA

*Una vez que fue construido el brocal y el concreto haya alcanzado la resistencia de proyecto (250 Kg./cm<sup>2</sup>), se procederá a iniciar la excavación para la construcción de la lumbrera.*

*La excavación se hará en toda el área de la lumbrera en tramos de 2.0 mts., de profundidad, y una vez que se alcanzó dicha profundidad se procede a colocar una estructura de contención formada por un recubrimiento provisional, el cual es de concreto lanzado de 15 cms. de espesor y reforzado con una malla electrosoldada del tipo 6 x 6<sup>8/16</sup>.*

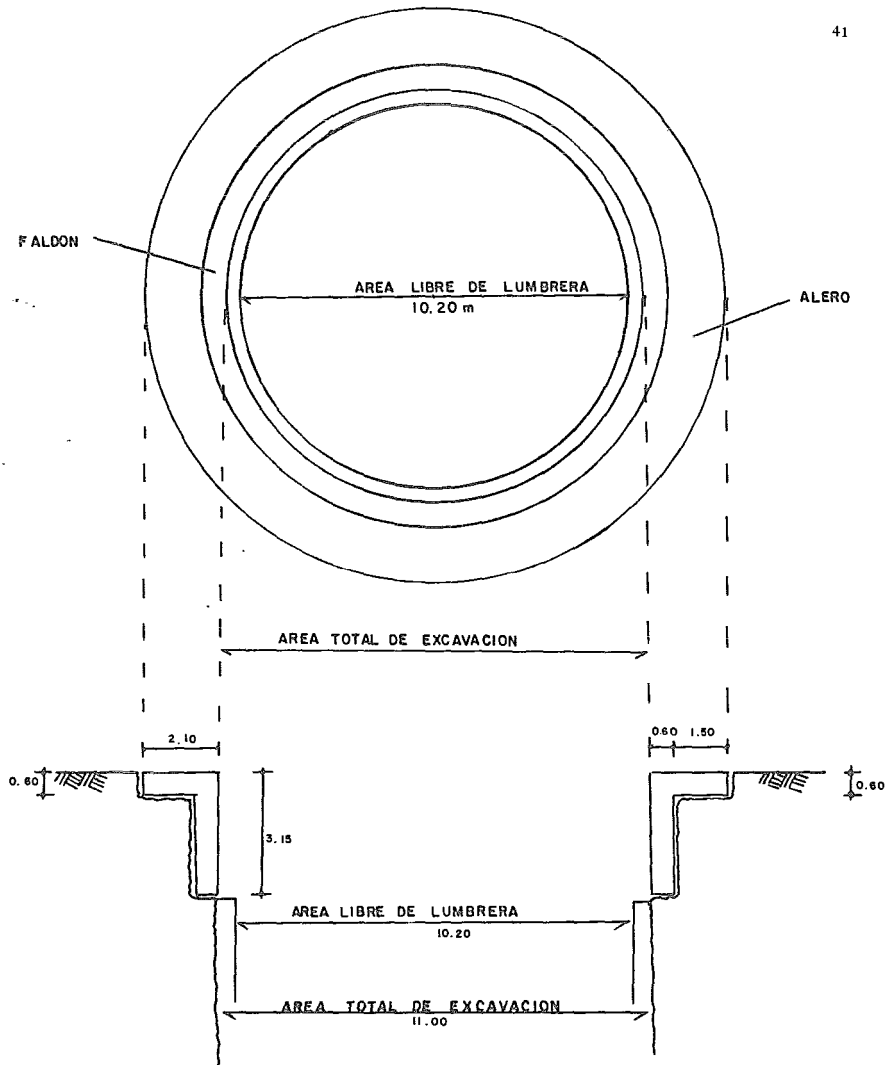


Fig. No. 2

DIMENSIONES DE BROCAL

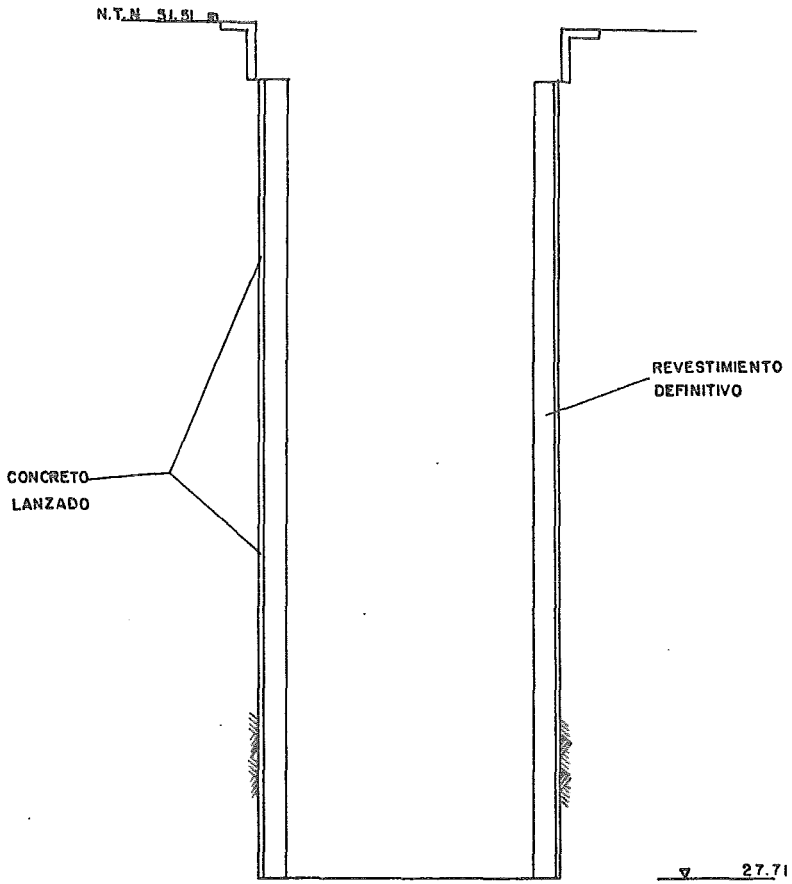


Fig. No. 3  
EXCAVACION DE LUMBRERA

*El proceso de excavación y la colocación del recubrimiento provisional en tramos de 2.0 mts., de profundidad, se repite tantas veces como sea necesario hasta alcanzar la profundidad de proyecto.*

*Es condición necesaria que para poder iniciar la excavación de un tramo, se haya colocado completamente el recubrimiento provisional del tramo anterior.*

#### **IV.- CONSTRUCCION DE LA LOSA DE PISO Y ADEME DEFINITIVO.**

*Una vez que se tiene la profundidad de proyecto, se procede a colar inmediatamente una plantilla de concreto pobre de 10 cms. de espesor. Después de que ésta haya sido fraguada, se inicia el armado y colado de la losa de piso; dejando las preparaciones necesarias para la liga estructural con el muro del ademe definitivo. El espesor de la losa de piso es de 60 cms.*

*Se deja un tiempo de 36 hrs. para el fraguado de la losa de piso, se inicia la colocación del ademe definitivo, el cual consiste en un muro de concreto armado, colado con cimbra deslizante.*

*El ademe definitivo de la lumbrera con dirección al túnel, se elimina dejando una preparación mediante una caja de madera, de tal forma que quede el recubrimiento provisional únicamente. Esta será la zona donde se abrirá un túnel.*

#### **V.- FILTRACIONES**

*Para el control de las filtraciones, durante la excavación de la lumbrera y una vez terminada la lumbrera se tenía que extraer el agua producto de las filtraciones mediante un bombeo de achique, pero esto no fue necesario por no encontrarse la presencia de agua.*

#### **SECUENCIA DE EXCAVACION (Lado Poniente)**

*En la Estación Auditorio se tienen túneles de secciones diferentes y zona de intersecciones entre éstos, la excavación y construcción se realizará de acuerdo a la secuencia que se indica a continuación y en la figura: 4.*

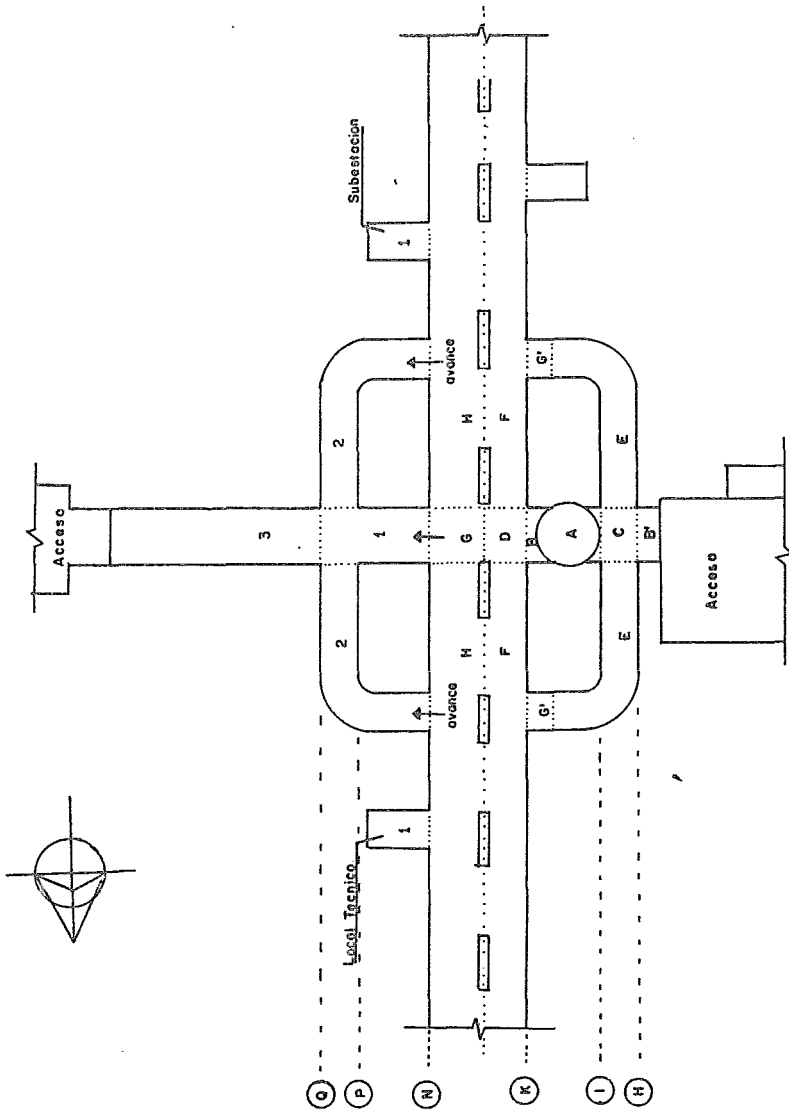


Fig. No. 4

SECUENCIA EXCAVACION DE TUNELES

- ETAPA A** *Esta etapa corresponde a la excavación y construcción de la lumbrera, que se hará de acuerdo a la especificación correspondiente.*
- ETAPA B** *Construida la lumbrera se deberá colar una trabe de borde y colocar un emportalamiento en los sitios de salida de los túneles y posteriormente se podrá realizar la excavación y construcción del túnel de unión y/o del contratúnel, indicados con la etapa B y B' respectivamente.*
- ETAPA C** *Esta etapa se localiza en la zona de intersección entre el contratúnel y los túneles de distribución, en la cual durante la ejecución del contratúnel se deberán construir las trabes de borde y el emportalamiento correspondiente con el fin de dar salida a los túneles de distribución.*
- ETAPA D** *Esta etapa se localiza en la intersección del túnel de unión y la mitad poniente del túnel de andén. Durante la ejecución de esta etapa además de la excavación y construcción de túnel de unión se deberá realizar la construcción de la trabe de borde y la colocación del emportalamiento correspondiente a la mitad del túnel de andén poniente.*
- ETAPA E** *Simultáneamente a la ejecución de la etapa D, se podrá excavar y construir las etapas E, concernientes a los túneles de distribución poniente hasta 5.0 m. antes del paño exterior del túnel de andén poniente, tal como se muestra en la figura No. 4.*
- ETAPA F** *Concluida la etapa E, con su respectiva trabe de borde y emportalamiento se iniciará la excavación y construcción del túnel de andén poniente en toda la longitud de la estación.*
- Durante la excavación y construcción del túnel de andén poniente, se deberá colocar el emportalamiento y construir la trabe de borde en los sitios de llegada de los túneles de distribución.*
- ETAPA G** *Esta etapa se ubica en la zona de intersección del túnel de unión con la mitad oriente del túnel de andén y se realizará de la misma forma que se indicó en la etapa D.*

*Simultáneamente a la ejecución de la etapa G, podrá atacarse la etapa G' que corresponde al tramo restante del túnel de distribución poniente.*

**ETAPA H** *Terminada la etapa G con su respectiva trabe de borde y emportalamiento, se proseguirá con la excavación y construcción del túnel de andén oriente en forma analoga a lo indicado en la etapa F.*

*A continuación se indica la relación de las etapas mostradas en la figura, con la zona o el túnel que le corresponde.*

<u>ETAPAS</u>	<u>CONCEPTO</u>
A .....	Lumbrera
B, I, 3 .....	Túnel de unión ó conexión
B' .....	Contratúnel
C .....	Zona de intersección (Contratúnel y túnel distribución).
D, G.....	Zona de intersección (Túnel de unión con túnel de andén).
E, G', 2a, 2b .....	Túnel de distribución.
F, H.....	Túnel de andén.

#### **SECUENCIA DE EXCAVACION (Lado Oriente)**

*La excavación y construcción de los túneles faltantes localizados en la zona oriente, se realizará de acuerdo a la secuencia que se describe a continuación y en la figura Nos. 4 y 5.*

**ETAPA 1** *Esta etapa corresponde a la excavación, colocación del revestimiento primario y del revestimiento definitivo del túnel de conexión localizado entre los ejes N y Q, simultáneamente a la ejecución de la etapa I y se podrá iniciar la excavación de la etapa Ia., que corresponde al túnel del local técnico, y túnel de subestación.*

**ETAPAS 2a y 2b** *Una vez revestido en forma definitiva del túnel del local técnico y el túnel de subestación sur-oriente, se podrá iniciar la excavación y construcción de los túneles de distribución, efectuando el ataque por el túnel de andén.*

*Al inicio y en las zonas de unión de los túneles de distribución con el túnel de anden y el túnel de conexión, se deberán construir las traveses de borde.*

**ETAPA 3** *Esta etapa corresponde a la excavación, colocación del revestimiento primario y definitivo en el túnel de conexión comprendido entre el eje Q y el inicio del túnel inclinado para las escaleras de acceso, ver figuras Nos. 4 y 5.*

*Para iniciar el ataque de la etapa 3, es condición necesaria que el túnel de conexión comprendido entre los ejes N y Q (Etapa 1) esté revestido en forma definitiva y además se debe construir la trabe de liga correspondiente al cambio brusco de sección de este túnel, ver figura No. 5.*

*Realizado lo anterior, se está en condiciones de iniciar la excavación del túnel de conexión de la etapa 3.*



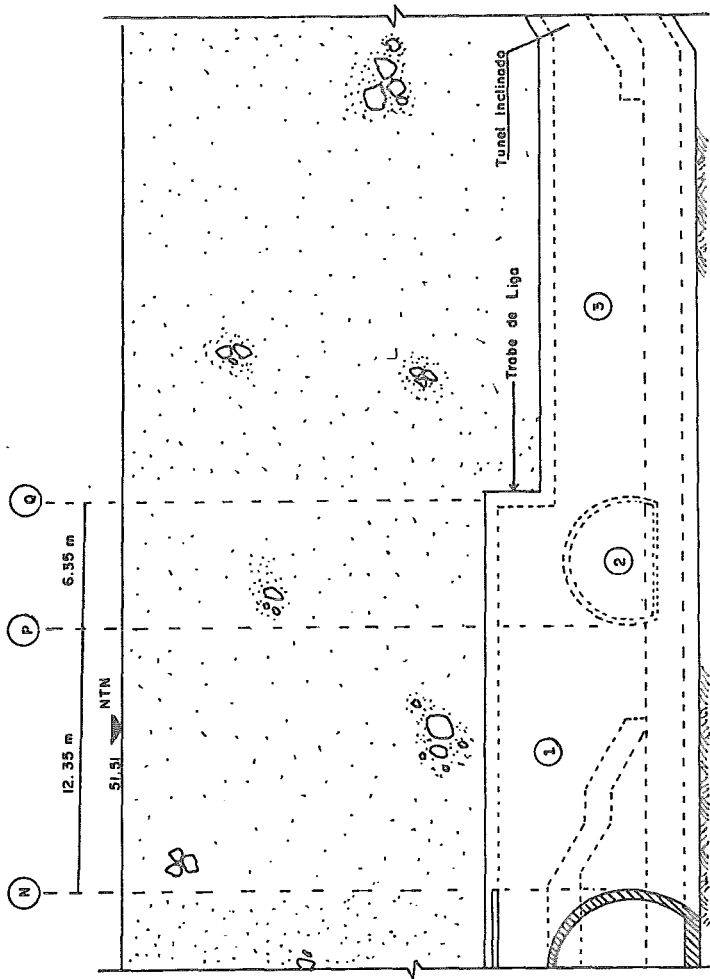


Fig. No. 5

ETAPAS DE EXCAVACION

## CAPITULO V

### CONSTRUCCION DE ACCESOS A LA ESTACION

El número de elementos que forman los accesos al túnel de anden o estación son los siguientes (Ver fig. No. 6 ):

- A- Túnel de conexión
- B- Túneles de distribución
- C- Dos excavaciones a cielo abierto
- D- Dos túneles inclinados.

A continuación describiremos su procedimiento de construcción de los anteriores elementos.

#### A.- TUNEL DE CONEXION (del eje N al eje Q lado oriente).

**TERCIO SUPERIOR.-** La excavación del tercio superior, se hace en tramos de 2.40 mts. de longitud. Terminada cada etapa del tercio superior, se procede a lanzar una primera capa de concreto lanzado de 3 cms. de espesor, y sobre ésta una malla electrosoldada de 6" x 6"-4/4, dejando las preparaciones necesarias para hacer el armado y traslape con la malla del tercio intermedio, posteriormente se lanza una segunda capa de concreto de 9 cms. de espesor para colocar sobre esta otra malla electrosoldada. Por último se hace un tercer lanzado de concreto de 3 cms. de espesor, quedando completo el revestimiento primario.

Una vez que se han excavado dos etapas consecutivas del tercio superior, se procede a colocar el armado y lanzar el revestimiento definitivo (40 cms. de espesor).

**TERCIO INTERMEDIO.-** Las secciones del tercio medio también son de 2.40 mts. de longitud y se inician cuando se tengan excavadas tres etapas del tercio superior, fig. No. 7 . Terminada una etapa se lanza una capa de concreto de 3 cms. de espesor, y sobre ésta una malla electrosoldada, la cual se traslapa y amarra con la primer malla colocada del tercio superior y dejando las preparaciones para el traslape con la malla del tercio inferior, posteriormente se lanza una segunda capa de concreto de 9 cms. de espesor para colocar sobre ésta otra malla electrosoldada traslapándose con la segunda del tercio superior, por último, se hace un tercer lanzado de concreto de 3 cms. de espesor.

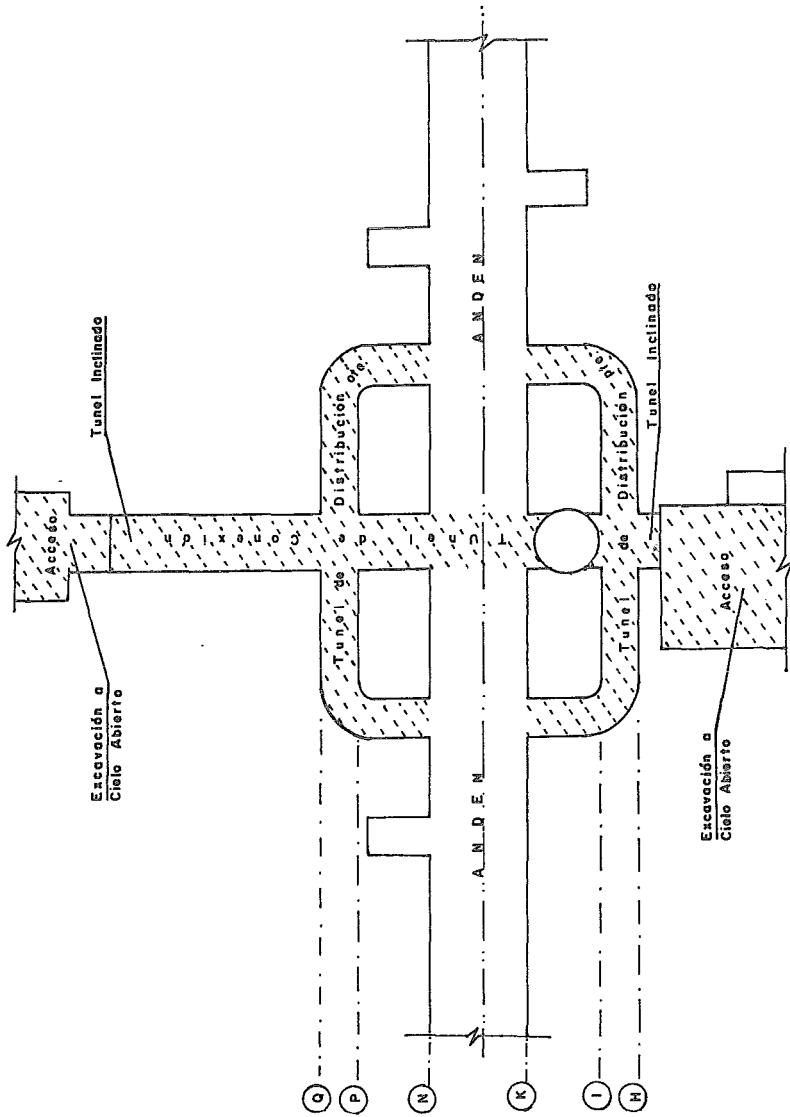


Fig. No. 6

ACCESOS AL ANDE N

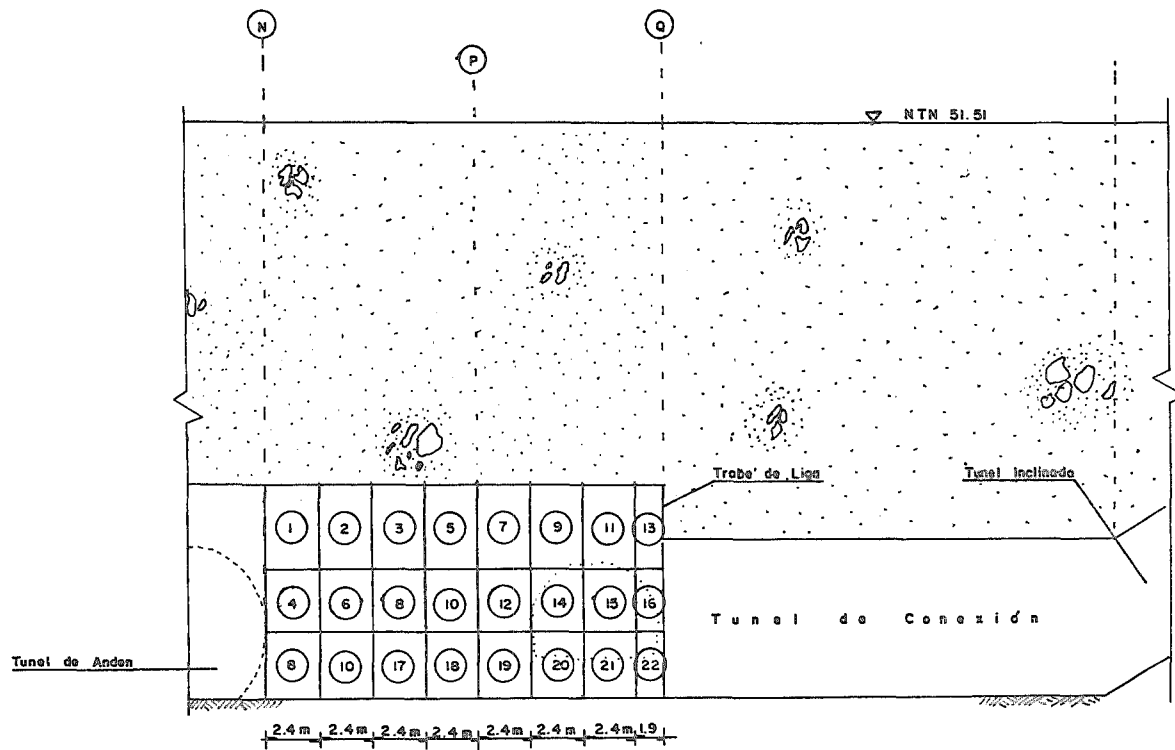


Fig. No. 7

SECUENCIA EXCAVACION TUNEL CONEXION EJES N-Q.

Una vez terminada la construcción del revestimiento primario en la sección media, se procede a instalar anclas de 6.0 mts. de longitud y  $\emptyset$  1" en los sitios que se indican en la fig. No. 8 , excepto en la zona que interfiere con el túnel de distribución; en el sentido longitudinal las anclas van a cada 2.0 mts. Una vez excavadas dos etapas consecutivas del tercio medio, se coloca el armado y se hace el lanzamiento del revestimiento definitivo. En la zona donde el túnel de conexión se intersecta con los túneles de distribución se hace solamente un lanzamiento de 8 cms. de espesor reforzado con una malla electrosoldada, con la finalidad de facilitar la excavación de éstos.

**TERCIO INFERIOR.**- También la excavación se hace en tramos de 2.4 mts. de longitud y se inicia cuando esté revestido en forma definitiva el tercio intermedio. Terminada una sección de 2.4 mts. se hace un lanzamiento de 3 cms. y sobre ésta una malla electrosoldada. Posteriormente un segundo lanzamiento de 9 cms. de espesor para colocar sobre ésta otra malla. Las mallas antes mencionadas deben amarrarse y trasladarse con las mallas correspondientes del tercio medio. Por último se hace un tercer lanzamiento de concreto de 3 cms. de espesor. Una vez que se han excavado dos etapas consecutivas del tercio inferior se inicia la construcción del revestimiento definitivo.

La losa de piso se hace en tramos de 7.20 mts. de longitud. En las zonas donde el túnel de conexión se intersecta con los túneles de distribución se lanza solamente una capa de concreto de 8 cms. de espesor reforzada con una malla electrosoldada.

El túnel de conexión del eje Q hasta donde comienza el túnel inclinado del lado oriente de la estación Auditorio (ver fig. No. 5 ), su excavación y construcción es idéntica al túnel de distribución, descrita enseguida.

## **B.- TUNEL DE DISTRIBUCION**

Antes de comenzar la excavación de los Túneles de Distribución, es necesario, hacer una pequeña excavación a lo largo del perímetro donde está marcado dicho túnel, esto es con la finalidad de construir la trabe de borde a base de concreto lanzado armada con varilla.

Una vez construida la trabe de borde, se comienza con la excavación, haciéndose en tramos de 2.0 mts., con ayuda de martillos neumáticos. La excavación del túnel se hace en dos partes, o sea, mitad superior (clave) y mitad inferior; en esta excavación se va formando un banqueo. La parte superior, siempre va un tramo de 2.0 mts. adelante que la mitad inferior.

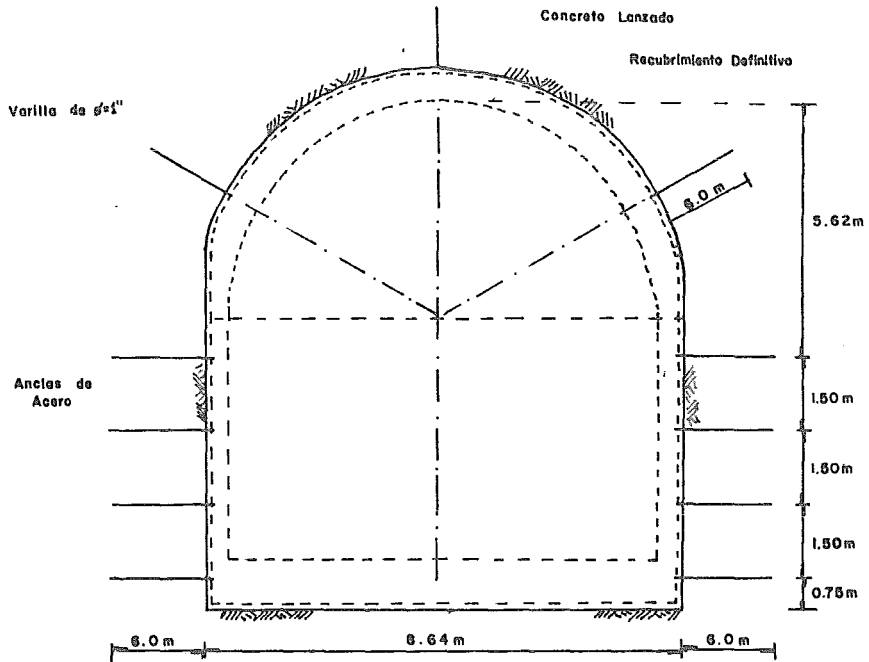


Fig. No. 6

LOCALIZACION DE ANCLAS TUNEL CONEXION  
EJES N-Q

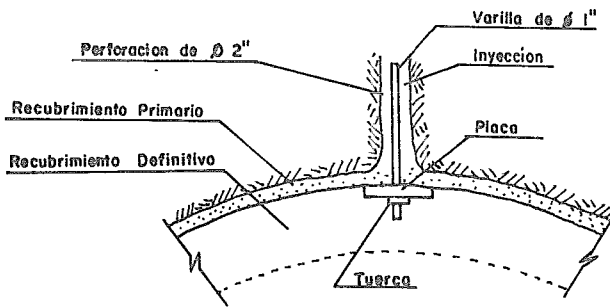
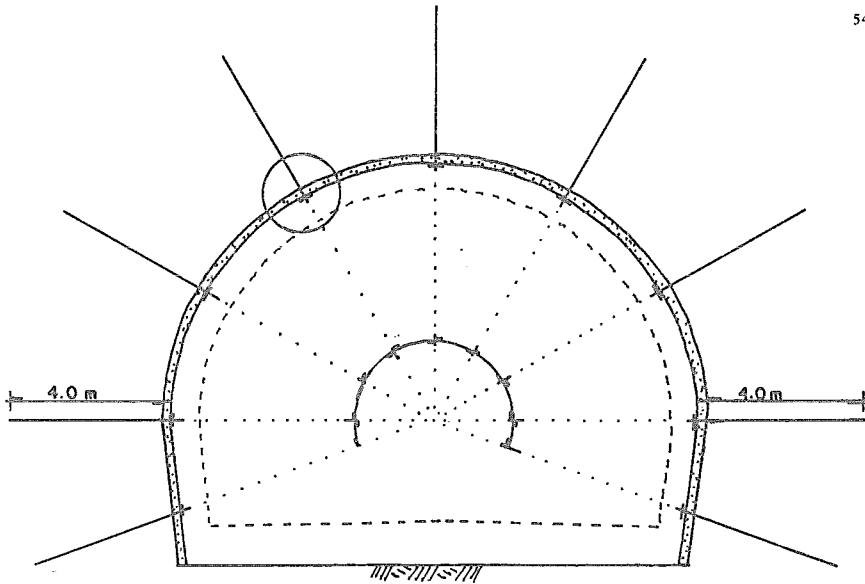


Fig. No. 8 bis

ZAPATAS Y ANCLAS DE APOYO  
TUNEL DE DISTRIBUCION

*El revestimiento primario se va colocando de la siguiente forma:*

*Después de excavados los primeros tramos en la parte superior, se hace un primer lanzado de concreto de 7.5 cms. de espesor y sobre éste se coloca una malla electrosoldada de 6" x 6" x 4/4 para posteriormente hacer un segundo lanzado también de 7.5 cms. de espesor. Se deja un tramo de malla descubierta para amarrarla y traslaparla con la de la parte inferior. Después de esto se excava el primer tramo de la parte inferior y se procede a colocar el revestimiento primario de la forma arriba descrita, después de esto se va excavando una parte de arriba y una de abajo, hasta terminar el túnel.*

*Cuando se tiene el revestimiento primario a lo largo del túnel, se procede a la construcción de las zapatas y anclas de apoyo (véase capítulo VI para su construcción).*

*El revestimiento definitivo está formado a base de concreto lanzado, pero armado con varilla y con un espesor de 35 cms. La losa de fondo a lo largo del túnel es de concreto hidráulico.*

#### **C.- EXCAVACION A CIELO ABIERTO**

*Las dos excavaciones a cielo abierto, son las que tendrán el acceso directo de personas del exterior. A los taludes de estas excavaciones, se les coloca un recubrimiento de concreto lanzado de 5 cms. de espesor, para evitar derrumbamientos; esta excavación se hace con ayuda de un traxcavo. La secuencia de excavación se muestra en el plano.*

#### **D.- TUNEL INCLINADO**

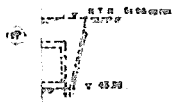
*Este túnel es el que conecta el exterior con el túnel de conexión (profundo) de la estación. Para la excavación y construcción se siguen los siguientes pasos:*

- 1.- Excavación a sección completa, incluyendo las zanjas para las zapatas.*
- 2.- Lanzado primera capa de concreto de 5 cms. de espesor, hasta el desplante de las zapatas.*
- 3.- Colocación malla electrosoldada de 6" x 6" - 4/4 prolongándose hasta constituir el refuerzo de la zapata.*
- 4.- Colocada la malla de la zapata, se termina el colado de la misma, hasta el desplante de la losa de piso.*



- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20

3 10



- 17
- 18
- 19
- 20

VEHICULO

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO			
ACCESO			
ESTACION AUDITORIO			
L I N E A		Nº 7	

- 5.- Colocación de la placa metálica para apoyo del marco.
- 6.- Instalación del marco, soldándose en sus puntos de apoyo y de unión.
- 7.- Castigar al marco mediante colocación de madera.
- 8.- Lanzado de segunda capa de concreto de 10 cms. de espesor.
- 9.- Colocación de separadores entre marco y marco.
- 10.- Colocación de malla electrosoldada (2da.) y lanzado de la tercera capa de concreto de 10 cms. de espesor (este lanzado es entre los separadores de madera)
- 11.- Colocación de anclas de 4.0 mts. de longitud, para tomar la fuerza horizontal (coceo).
- 12.- Colado de plantilla de 10 cms. de espesor.
- 13.- Armado y colado de guarniciones (concreto hidráulico).
- 14.- Armado y colado del arco (concreto hidráulico).
- 15.- Armado y colado de losa de piso (concreto hidráulico).

*Las etapas de excavación se pueden apreciar en el plano B.*

## CAPITULO VI

### CONSTRUCCION DEL TUNEL PARA ESTACION

#### A.- TUNEL DE CONEXION EN INTERSECCION CON TUNEL DE ANDEN

*La excavación para el túnel de unión, se iniciará en la lumbrera AC-I (L-10) según se muestra en la figuras Nos. 9 y 10.*

*El ataque del túnel se hace en tres secciones y con la secuencia de excavación indicada en la figura citada anteriormente, en la cual se observa que construido el túnel de unión hasta la mitad poniente del túnel de anden, es necesario construir esta mitad en toda la longitud de la estación. Una vez terminado el evento anterior se continuará con la excavación del túnel de unión hasta la mitad oriente del túnel de anden; para posteriormente construir esta mitad en toda la longitud de la estación.*

*La excavación del túnel tendrá un soporte o ademe provisional a base de concreto lanzado reforzado con malla electrosoldada, se procederá posteriormente a colocar el ademe definitivo, el cual estará constituido por un muro de concreto lanzado reforzado con acero.*

*En la secuencia de excavación y colocación de la estructura de soporte provisional es como sigue:*

#### I.- CICLO DE TRABAJO.

*Después de construido el revestimiento definitivo de la lumbrera se procede a descubrir en el interior de la misma el área correspondiente a la sección del túnel y una vez descubierta dicha área, se debe colocar el emportalamiento y la trabe de borde.*

*Teniendo descubierta en la lumbrera la sección del túnel se inicia el ciclo de trabajo, el cual comprende las actividades enumeradas a continuación:*

- 1.- Excavación de la sección del túnel de unión.*
- 2.- Extracción de la rezaga.*
- 3.- Colocación del concreto lanzado.*
- 4.- Colocación de las anclas.*
- 5.- Colocación del revestimiento definitivo.*

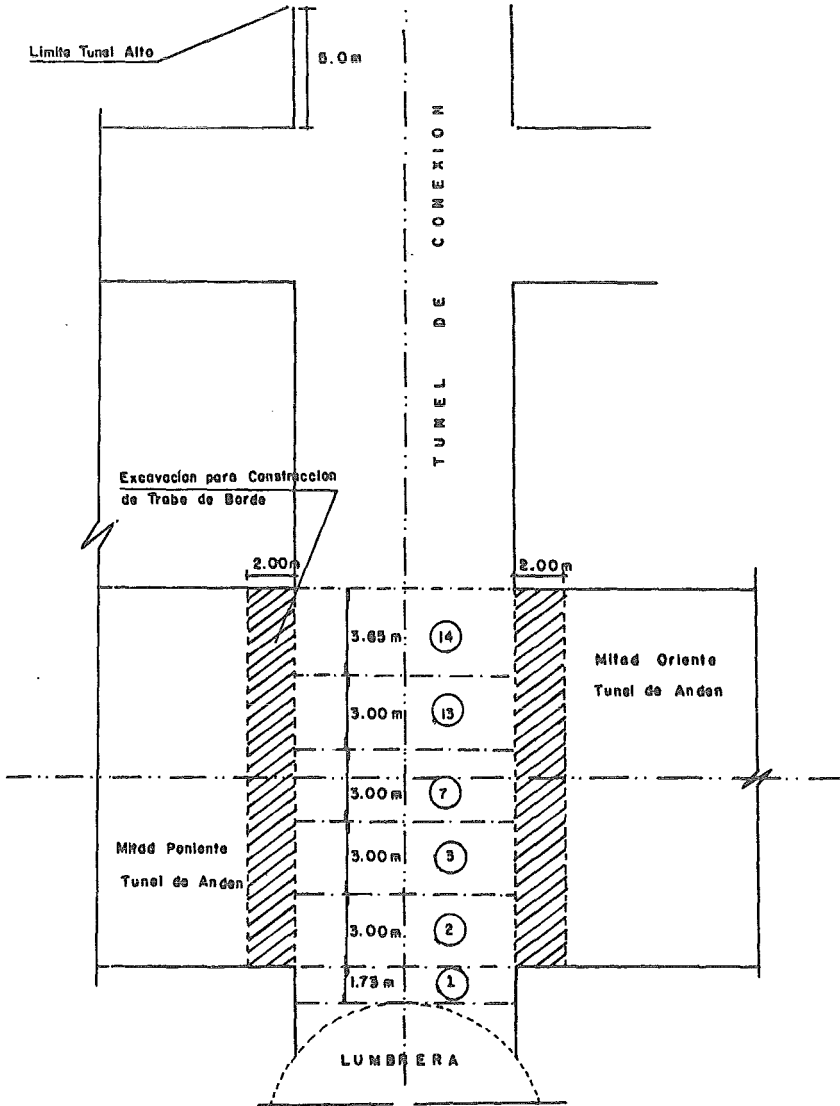


Fig. No. 9  
SECUENCIA DE EXCAVACION  
TUNEL DE UNION O CONEXION



La descripción de las actividades antes mencionadas se expone a continuación:

#### 1.- EXCAVACION DEL TUNEL DE UNION

En la excavación del túnel de unión se tienen definidas dos zonas:

- a).- Túnel de unión antes de la intersección con el túnel de andén.
- b).- Túnel de unión en la intersección con el túnel de andén.

En cada una de las zonas mencionadas anteriormente tiene la secuencia constructiva indicada a continuación:

##### a).- TUNEL DE UNION ANTES DE LA INTERSECCION CON EL TUNEL DE ANDEN.

Se procederá a excavar el tercio superior (banqueo) en una longitud igual a 1.73 m. según se indica en la figura No. 10.

El talud del frente de la excavación es de 0.20:1 (horizontal a vertical). Y el ataque del frente se hace con maquinaria del tipo "Martillos Neumáticos".

Descubierto este tramo se debe de colocar inmediatamente el ademe provisional de concreto lanzado de 10 cm. de espesor y posteriormente el revestimiento definitivo.

Cuando se haya terminado de excavar y colocar el ademe provisional y el recubrimiento definitivo en el tercio superior, se continua con el tercio intermedio en la misma forma como se indicó para el tercio superior en los párrafos anteriores, el cual una vez concluido se debe continuar con el inferior en forma analoga que los anteriores.

##### b).- TUNEL DE UNION EN LA INTERSECCION CON EL TUNEL DE ANDEN

Se procede a excavar el tercio superior (banqueo) hasta 1.00 m. al oriente del eje del trazo; realizando esta excavación en tres etapas de 3.00 m. de longitud.

La excavación del tercio superior debe ir dos etapas adelante de la excavación del tercio medio y cuatro adelante del tercio inferior, tal como se muestra en la figuras Nos. 9 y 10.

Como en la excavación del tercio superior correspondiente al túnel de unión se llega a descubrir parte del túnel de anden será necesario efectuar una excavación de 2.00 m. de ancho con la finalidad de construir la trabe de borde correspondiente a la mitad poniente del túnel de anden, tal como se muestra en la figuras Nos. 9 y 11.

Una vez construida la trabe de borde en este tercio superior debe colocarse el revestimiento primario, anclas y revestimiento definitivo de la bóveda del túnel de unión.

Se continua con la excavación en banqueo del tercio medio del túnel de unión construyéndose posteriormente la trabe de borde correspondiente a la mitad poniente del túnel de anden tal como se indicó el tercio superior. En las zonas donde la excavación de este tercio medio descubra la media sección del túnel de anden se coloca únicamente una capa de concreto lanzado de 5 cm. de espesor, terminado el evento anterior se procede a excavar el tercio inferior del túnel de unión y construir la parte restante de la trabe de borde correspondiente a la mitad poniente del túnel de anden en forma analoga a la indicada para el tercio medio. Concluida la construcción de la trabe de borde se inicia la excavación y construcción del túnel de anden en su mitad poniente.

Una vez excavada la mitad poniente del túnel de anden y colado el revestimiento definitivo en toda la longitud de éste, se procede a construir el túnel de unión en la intersección con la mitad oriente del túnel de anden restante debiéndose cumplir con los lineamientos antes expuestos.

## 2.- REZAGA DEL MATERIAL PRODUCTO DE LA EXCAVACION.

Conforme se va atacando el frente de la excavación, el material de rezaga se deposita en botes, mediante un cargador frontal. Estos botes son izados por un malacate, que se encuentra en la torre de manteo parada en la parte superior de la lumbrera. El material es vaciado en camiones.

## 3.- COLOCACION DEL CONCRETO LANZADO.

Esta actividad consiste en colocar el concreto en las paredes de la excavación mediante máquinas llamadas "lanzadoras", las cuales lo aplican utilizando aire com-

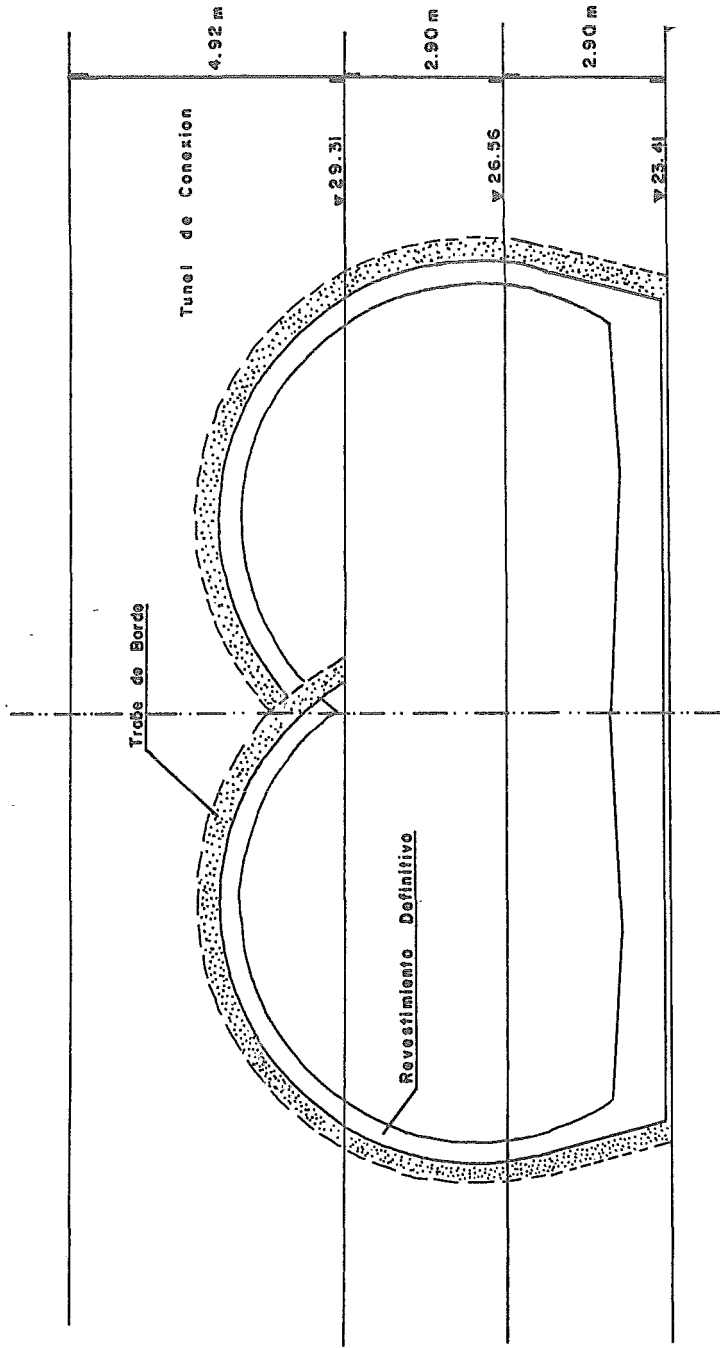


Fig. No. 11

TRABE DE BORDE PARA  
TUNEL DE ANDEN



*primido inyectado a la máquina y a través de una manguera se inyecta el agua para formar la mezcla, a la cual se agregan aditivos acelerantes de fraguado.*

*Conforme se vayan descubriendo los tramos de 3.00 m. de longitud en cada una de las secciones de ataque, se va colocando una malla electrosoldada del tipo 6 x 6 - 6/6 e inmediatamente después lanzar una primera capa de concreto de 5.0 cms. de espesor.*

*Cuando la capa de concreto lanzado haya fraguado, inmediatamente se deberá colocar una segunda capa de 5 cms. de espesor, quedando así constituido el recubrimiento provisional de 10 cms. de espesor.*

*En las zonas donde la excavación del túnel de unión descubra la media sección del túnel de andén se colocará únicamente una capa de concreto lanzado de 5 cms. de espesor.*

#### **4.- COLOCACION DE LAS ANCLAS DE SOPORTE.**

*Este sistema adicional de ademe está constituido por anclas de acero en la forma que se describe en los párrafos siguientes.*

*Las anclas de acero deben colocarse después de la segunda capa de concreto lanzado.*

- 1o. Se realizan en una misma sección trece perforaciones de 2" de diametro sobre las paredes del túnel en los sitios de preparaciones indicadas anteriormente y con la distribución que se indica en la figura No. 12 la profundidad de las perforaciones será de 6.00 m. y 8.00 m.*
- 2o. Una vez realizada la perforación, se coloca una ancla en cada una de ellas, la cual estará constituida por una varilla de 1" de diametro ( $f_y=4,200 \text{ Kg./cm}^2$ .) posteriormente se procede a inyectar esta zona con mezcla de agua cemento en una proporción de dos partes de cemento por una de agua. La presión de inyección será de  $4 \text{ Kg./cm}^2$ .*
- 3o. Cuando la ancla haya quedado fijada al terreno, se coloca una placa metálica en la punta de las varillas para posteriormente fijarlas a ésta por medio de una tuerca o soldadura, ver figura No. 12.*

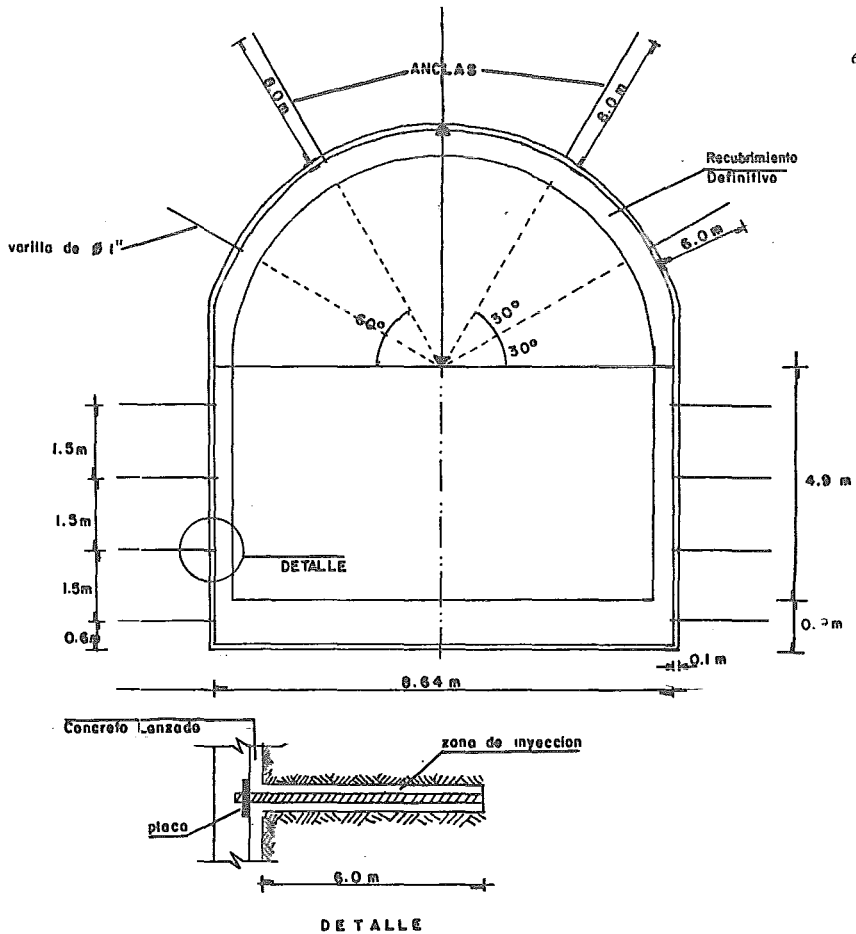


Fig. No. 12  
 ANCLAS DE SOPORTE  
 TUNEL DE CONEXION O UNION

*Estas anclas se colocan en secciones separadas a cada dos metros, a excepción de las zonas en donde se encuentra localizado el túnel de anden.*

*4o. Una vez colocadas las anclas en los sitios indicados se estará en posibilidad de iniciar el colado del revestimiento definitivo.*

#### **5.- COLOCACION DE RECUBRIMIENTO DEFINITIVO**

*Una vez recubiertas las paredes del túnel mediante concreto lanzado y colocadas las anclas de soporte, se iniciará el armado y colado del revestimiento definitivo.*

*El colado del revestimiento definitivo se realiza mediante concreto lanzado teniendo un espesor de 40 cms.*

*En las zonas donde se encuentra localizada la sección del túnel de anden se deja una perforación mediante una caja de madera, de tal forma que quede únicamente el recubrimiento provisional.*

*El colado de la losa de piso se realizará hasta el último, de tal forma que no se tenga interferencia con el sistema de transporte de la rezaga.*

#### **B.- EXCAVACION TUNEL DE ANDEN**

*La excavación para la construcción de los túneles de anden de la Estación Auditorio se inicia una vez que las zonas donde éstos se intersectan con el túnel de conexión estén completamente terminadas.*

*La excavación de estos túneles se inicia, partiendo de la intersección del túnel de conexión. El ataque del túnel se hará a media sección, llevando un "banqueo", detalles del proceso se indican más adelante.*

*La excavación del túnel tendrá un soporte o ademe provisional a base de concreto lanzado, para posteriormente proceder a la colocación del ademe definitivo el cual estará constituido por concreto reforzado colado en el sitio. La secuencia de excavación, se hace de acuerdo a los lineamientos siguientes:*

- 1o. La excavación se efectúa en tramos de 2.00 mts. de longitud, iniciando en la mitad superior del frente de ataque, ver figura No. 13 . Este ataque irá formando un "banqueo".
- 2o. En los lugares donde se encuentre arena, el avance de excavación será de 1.0 mts. únicamente y se coloca una malla de "gallinera", colocándose el revestimiento primario inmediatamente, para evitar derrumbamientos.
- 3o. La excavación de la parte media inferior se efectúa también en tramos de 2.0 mts de longitud, siguiendo la secuencia indicada en la fig. No. 13 . Esta excavación incluirá además unas zanjás las cuales alojarán a las zapatas de apoyo.

### C.- ADEME PRIMARIO

El ademe primario está formado a base de concreto lanzado, por lo que a continuación veremos que es:

El concreto lanzado es una mezcla de agregados, cemento, agua y aditivo que se transporta neumáticamente a presión y velocidades altas, colocándose y compactándose por el impacto que produce sobre la superficie tratada.

De sus primeras aplicaciones, se tiene noticia en el año de 1909, en forma de mortero con el nombre y procedimiento patentado, conocido como GUNITE; hacia 1950 se incorpora agregado grueso y se utiliza por primera ocasión como soporte temporal en un túnel de Suiza.

En 1956 se utilizan en Austria equipos y métodos patentados y al vencerse estas patentes, dan lugar a que se diversifiquen procedimientos y equipos ya con el nombre genérico de concreto lanzado.

Ya sea utilizando acero de refuerzo o sin él, su uso abarca aplicaciones en recubrimientos de mampostería, revestimientos refractarios, en chimeneas y hornos, reparaciones o reforzamientos de estructuras de concreto dañadas, construcción de taludes en canales y revestimiento primario y definitivo en túneles. Estos empleos abarcan todo tipo de terrenos y suelos, sin embargo, no es recomendable en arenas sueltas o suelos arcillosos de alta plasticidad.

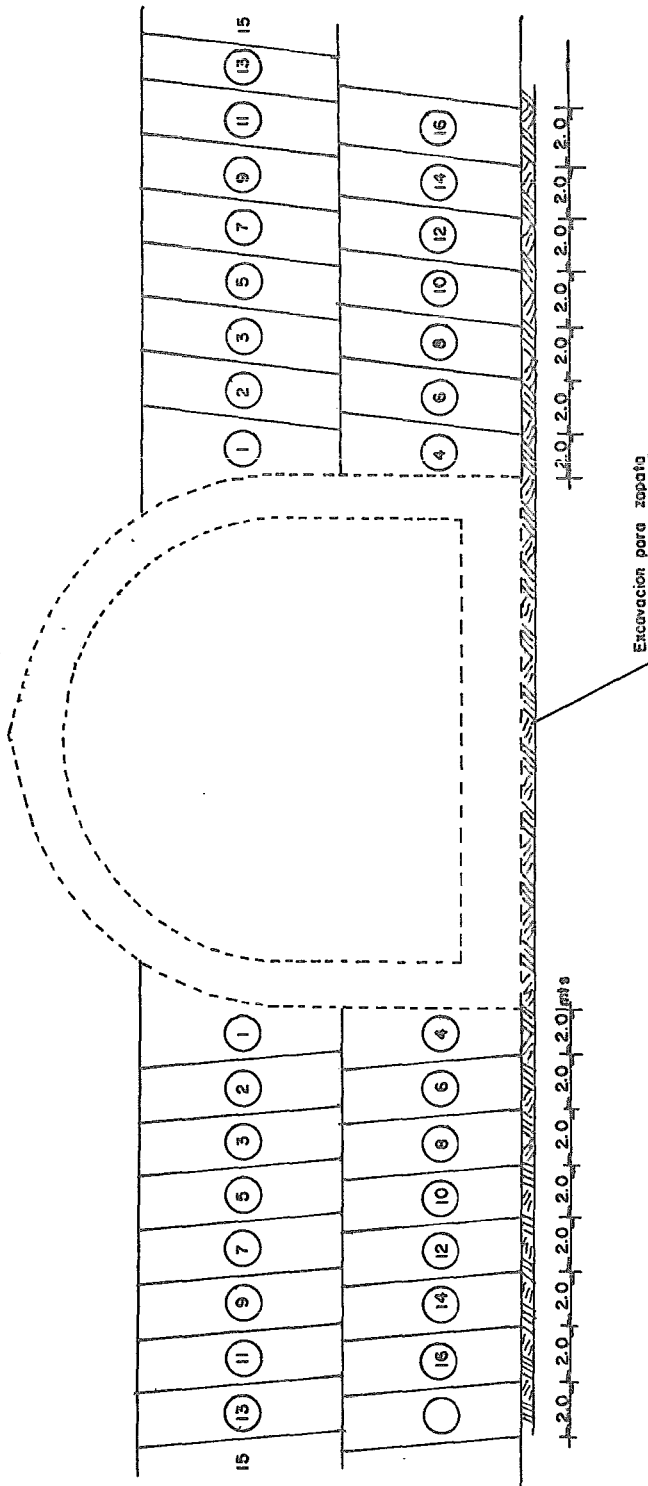


Fig. No. 13

SECUENCIA DE EXCAVACION  
TUNEL DE ANDEN

## I.- MATERIALES

Los materiales que forman el concreto lanzado serán una mezcla de cemento Portland, arena-grava de tamaño no mayor de  $3/4''$ , agua y un aditivo acelerante especial para elaborar concreto lanzado.

### 1.a CEMENTO

Debe usarse cemento Portland de una marca de calidad reconocida.

### 1.b AGREGADOS

La arena y grava que se utilizan para formar el concreto lanzado, deben obtenerse de bancos naturales o por trituración de rocas. Las partículas deben ser duras y sanas, no tendrán forma lajar y deberán cumplir con los requisitos que se indican en la figura No. 14.

La densidad saturada y superficialmente seca de los agregados no deberá ser inferior a 2.3.

Los agregados no deberán reaccionar con los álcalis del cemento. Si los agregados provocaran una expansión excesiva en el concreto debido a la reacción con el cemento deben desecharse.

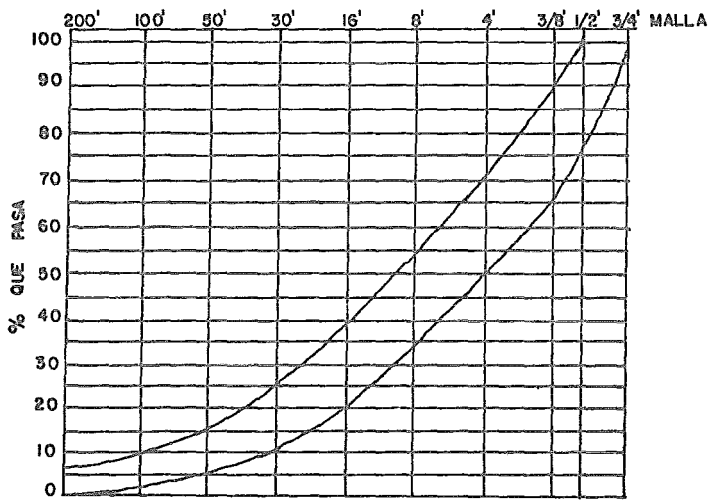
### 1.c AGUA DE MEZCLADO

El agua de mezclado debe ser fresca, clara y potable. Cuando a juicio de la Dirección de la Obra, exista duda sobre la calidad del agua, se elaborarán 2 mezclas comparativas de mortero; dichas mezclas serán idénticas, excepto por la procedencia del agua. En la mezcla de pruebas se usará agua de la fuente de abastecimiento en estudio y en la mezcla testigo se usará agua destilada. Se considerará que el agua estudiada es aceptable cuando sus especímenes produzcan, a 7 y 28 días, resistencias a compresión mayores de 90% de las correspondientes a los especímenes elaborados con la mezcla testigo y además, que los tiempos de fraguado inicial y final, no difieren en más de 60 minutos.

### 1.d ADITIVOS ACELERANTES

Los aditivos acelerantes que se empleen deben haber sido diseñados para usarse especialmente en concreto lanzado para túneles, y deben haberse probado ampliamente bajo las condiciones de aplicación en el campo. Con los aditivos deberán lograrse las siguientes propiedades:

- Producir las resistencias tempranas especificadas en el inciso No. 3 con la mezcla de cemento y agregados correspondientes (para el caso de resistencia especificada en la obra metro).



LIMITES MAXIMOS DE SUBSTANCIAS Y REQUISITOS DE PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO FINO Y GRUESO EXPRESADOS EN PORCIENTO EN PESO DE LA MUESTRA TOTAL.

PRUEBA	ARENA	GRAVA
GRAMOS DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES	3.0	4.0
MATERIAL QUE PASA POR LA MALLA Nº 200	5.0	2.0
CARBON Y LIGNITO	1.0	0.5
PERDIDA POR ABRASION	—	50.0

Fig. No. 14  
LIMITES GRANULOMETRICOS  
CONCRETO LANZADO

- Ser capaces de producir un fraguado inicial en un tiempo menor a 3 minutos con la mezcla de cemento y agregados correspondientes cuando esté ante la presencia de filtraciones importantes de agua.
- Garantizar la uniformidad del producto final aún cuando su proporción varíe ligeramente en las condiciones normales de aplicación en el campo.

Se puede usar tanto aditivos en polvo como aditivos líquidos, pero no se permite el uso de aditivos acelerantes que contengan cloruros.

Hay que tener cuidado en asegurar una dosificación uniforme del aditivo acelerante. El aditivo líquido debe añadirse en el agua de mezclado que se aplica en el extremo de la boquilla de lanzado, el aditivo en polvo debe añadirse en el lugar y con el cuidado para asegurar una revoltura uniforme con la mezcla de cemento y agregados. En éste caso se añadirá con la debida oportunidad para evitar que reaccione con el cemento y la humedad de los agregados antes del lanzado.

Los aditivos acelerantes antes de emplearse en la elaboración del concreto lanzado tienen que cumplir con los siguientes requisitos obtenidos de pasta de cemento con relación agua-cemento de 0.35 en peso.

- Tiempo de fraguado inicial (máximo) 3 minutos
- Tiempo de fraguado final (máximo) 12 minutos
- Resistencia a la compresión simple.  
de la pasta, a una edad de 8 horas,  
en cubos de 5 cm. de lado. 60 Kg./cm<sup>2</sup>. (mínimo)

En el caso de que algún aditivo no satisfaga los requisitos anteriores se tiene que demostrar que se pueden obtener las resistencias especificadas en el concreto lanzado.

#### 1.e MEZCLA

El procedimiento de mezclado del concreto lanzado es el de mezcla seca, el cual consiste en mezclar perfectamente el cemento, los agregados y el aditivo, 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 antes de lanzar la mezcla.



El contenido de humedad de la mezcla en seco, debe mantenerse entre el 3 y 8% en peso.

## 2.- MEZCLADO Y APLICACION DE CONCRETO LANZADO:

### 2.a DOSIFICACION Y MEZCLADO.

Se pueden mezclar y transportar los ingredientes del concreto lanzado de acuerdo con una de las dos siguientes posibilidades:

- a) Mezclar los ingredientes en seco en una mezcladora y transportar la mezcla seca hasta el lugar del equipo de lanzado.
- b) Transportar el cemento y los ingredientes por separado hasta el lugar del equipo de lanzado, y ahí mezclarlos.

Los agregados y el cemento, en cualquiera de las opciones, tienen que ser revueltos en tal forma que se obtenga una mezcla homogénea. El tiempo mínimo de mezclado es de 2 minutos a menos que se cuente con equipo especialmente diseñado para dosificar y mezclar al mismo tiempo.

En cualquiera de las dos opciones anteriores los materiales deben ser transportados y descargados a las máquinas lanzadoras en forma tal que no se produzca segregación de los componentes de la mezcla.

Todas aquellas mezclas secas de cemento y agregados que tengan más de 120 minutos de haberse mezclado se deshechan. En igual forma se procederá con aquellas mezclas que presenten hidratación prematura.

### 2.b PREPARACION DE LA SUPERFICIE

La superficie en que se aplique el concreto lanzado, es la descubierta por la excavación y deberá estar libre de trozos y fragmentos de suelo sueltos y de lodo, tiene que conservar la humedad natural del suelo hasta que se aplique en ella el concreto lanzado, por lo que esta operación será inmediata a la excavación o bien, la superficie se humedece con agua aplicada por aspersión a presión de impacto nulo.

### 2.c APLICACION DEL CONCRETO LANZADO

Para la aplicación del concreto lanzado, se tiene que contar con el equipo especial y personal entrenado y capacitado en la ejecución de este tipo de trabajos. El equipo de lanzado debe permitir la aplicación del concreto en superficies situadas a 1.0 m. de la boquilla de lanzado.

*La superficie tiene que estar húmeda para facilitar la adhesión del concreto y no puede lanzarse concreto sobre superficies secas o polvosas.*

*Deben preverse todas las instalaciones y equipo necesario para que se pueda colocar concreto en todo momento, con el objeto de asegurar el avance de la excavación.*

*La posición de la boquilla de lanzado, con respecto a la superficie en que se aplica el concreto, es aproximadamente normal; la distancia de lanzado está comprendida entre 1.0 y 1.5 m. El ángulo y la distancia de lanzado, se puede variar para lograr que se obtenga el mínimo posible "rebote" (desperdicio) del concreto que sale por la boquilla de lanzado.*

*El concreto lanzado terminado deberá presentar un aspecto denso y uniforme. No deben observarse desprendimientos entre capas lanzadas sucesivamente sobre la superficie expuesta del subsuelo.*

*Si se requiere colocar más de una capa de concreto lanzado, éste debe aplicarse cuando la capa anterior haya endurecido lo suficiente para que durante el lanzado de la siguiente no se afecte su integridad y su adhesión al terreno.*

#### **2.d PRECAUCIONES**

*El hidróxido alcalino y otros productos químicos que contiene el aditivo, son moderadamente tóxicos, por lo que se recomienda tener precaución especial para evitar el contacto prolongado del concreto con la piel, ya que el aditivo puede causar erupciones molestas.*

*Además los operarios deben usar guantes de hule, lentes protectores y mascarillas purificadoras.*

#### **2.e CURADO**

*En el caso de que las condiciones de humedad alrededor del concreto lanzado sean satisfactorias no es necesario curar el concreto aplicado; pero si las condiciones son secas es necesario curarlo con agua, a partir de 6 horas después de haber sido lanzado y se mantiene húmedo durante un período no menor de 4 días.*

### **3.- RESISTENCIA DEL CONCRETO LANZADO**

*El concreto lanzado ya colocado debe tener las resistencias mínimas que a continuación se indican:*

<u>EDAD</u>	<u>RESISTENCIA A COMPRESION</u>
	<u>SIMPLE (Mínima)</u>
A 24 horas	90 Kg. / cm <sup>2</sup> .
A 3 días	120 Kg. / cm <sup>2</sup> .
A 7 días	150 Kg. / cm <sup>2</sup> .
A 28 días	200 Kg. / cm <sup>2</sup> .

Las resistencias mencionadas se obtendrán del ensaye de corazones de concreto lanzado de 3" de diámetro, cuyos resultados son corregidos por un factor de esbeltez para una relación de 2:1 (altura-diámetro). El concreto lanzado se considera adecuado si el promedio de 2 corazones por edad es por lo menos igual al 85 % de la resistencia especificada, y ningún corazón tiene una resistencia menor del 75 % de la resistencia especificada.

La calidad del concreto debe cumplir con los siguientes requisitos:

- No más del 20 % del número de pruebas de resistencia tengan valores inferiores a las resistencias especificadas, y el promedio de 10 pruebas consecutivas debe ser igual o mayor que las resistencias especificadas.
- No más del 1 % de las pruebas de resistencia a la edad de 28 días, puede ser menor que la resistencia especificada menos 50 Kg./cm<sup>2</sup>.

Los valores de resistencia se clasifican con el criterio anterior, tomando en cuenta que los resultados se obtendrán del ensaye de corazones, los cuales representan el 85 % de la resistencia de cilindros standar.

#### 4.- MEZCLAS DE PRUEBA

Con el propósito de ensayar la influencia de los aditivos y poder corregir el proporcionamiento base de la mezcla del concreto, definir el porcentaje de material rebotado y la resistencia a compresión del concreto colocado; se hacen mezclas de prueba en campo, empleándose cuando menos 4 marcas distintas de aditivos acelerantes, con las diferentes marcas del cemento que se planea utilizar.

Las mezclas de prueba se realizan, lanzando el concreto sobre un tablero de prueba de cuando menos 80 x 80 cm. cada mezcla considerada, en las cuales se determina el peso de concreto colocado en los moldes, la cantidad aproximada de material rebotado, recuperándolo y pesándolo; así como también se obtienen muestras de los agregados para determinarles su contenido de humedad y composición granulométrica.

A una edad mínima de 22 horas se extraen del tablero de prueba, 2 especímenes cilíndricos de 3" de diámetro y se ensayan a compresión simple a la edad del concreto de 24 horas. El resto de la muestra debe guardarse en un cuarto húmedo o curarse en agua hasta alcanzar 70 horas de edad aproximadamente, en este momento se extraerán 6 corazones más que se ensayan a 3, 7 y 28 días de edad, 2 corazones por edad. Los especímenes a ensayarse deben observarse sanos y sin oquedades.

Puede considerarse como adecuada la mezcla, si el promedio de la resistencia de los corazones es al menos igual a las resistencias especificadas para corazones con relación de esbeltez igual a 2.0.

A continuación se enlistan los aditivos que pueden emplearse en las mezclas de prueba:

<u>ADITIVO</u>	<u>FABRICANTE</u>	<u>DOSIFICACION POR PESO DEL CEMENTO, RECO- MENDADA POR EL FABRICANTE</u>
FRAGUASIL "F"	SEALCRET	1 a 4 %
SIGUNITE	SIKA	1 a 4 %
QUICKSET-QP500	TECNOCRETO	1.5 a 3 %
FESTERLITH "A.I"	FESTER	2 a 5 %
TRICOSAL "T-1"	POLDI, S. A.	2 a 4 %
RAPIDUR "S"	POLDI, S. A.	2 a 5 %

##### 5.- CONTROL DE CALIDAD

Por cada 50 m3. de concreto lanzado que se aplique en la superficie excavada, debe extraerse una muestra por medio de una artesa de madera con las dimensiones que se muestran en la figura No.15 la muestra en artesa la formará el lanzador reproduciendo por entero las condiciones del lanzado que efectúa normalmente y no concentrando su atención en la muestra. La artesa se mantiene firmemente sujeta en una de las paredes de la excavación de manera que al lanzar sobre ella el concreto no se mueva o caiga. No se mueve la artesa antes de 12 horas de haberse lanzado. A partir de entonces se traslada al laboratorio, teniéndose cuidado de no maltratar el concreto fresco, el cual se mantendrá húmedo en todo momento cubriéndose con un material absorbente.

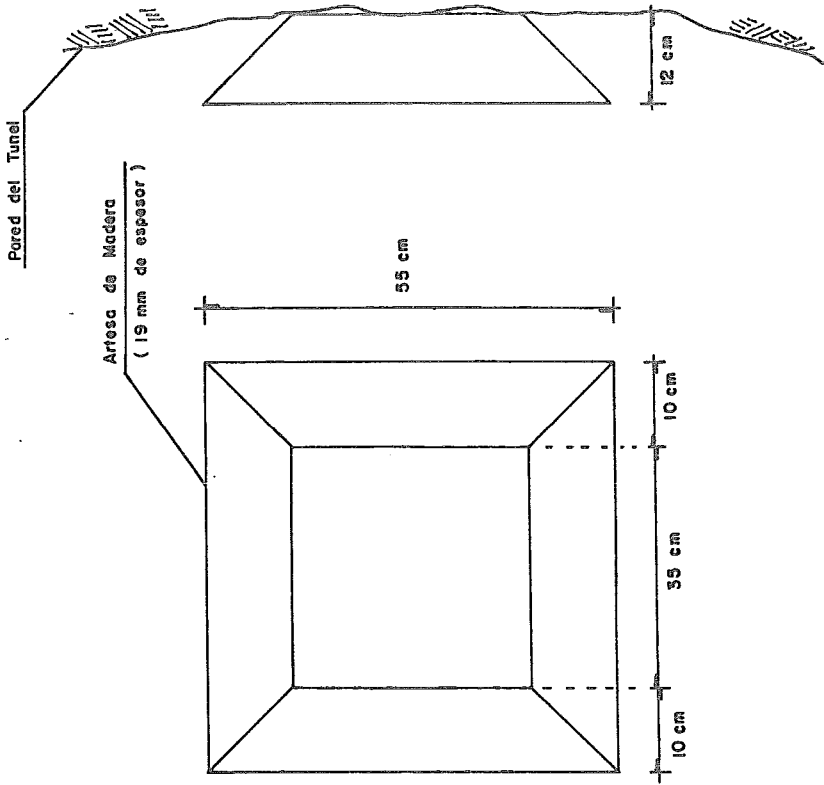


FIG. No. 15  
ARTESA

A una edad mínima de 22 horas se extraerán 2 especímenes de 3" de diámetro y se ensayan a compresión simple a la edad del concreto de 24 horas. El resto de la muestra debe guardarse en un cuarto húmedo o curarse en agua hasta alcanzar 70 horas de edad aproximadamente, en este momento se extraerán 6 corazones restantes para su ensaye a compresión simple a 3, 7 y 28 días de edad del concreto. Si no se obtienen especímenes sanos, especialmente a las 22 horas de edad, la muestra debe desecharse y se notifica al frente de trabajo para que se obtenga una muestra nueva. Todos los especímenes que no se prueben de inmediato deben guardarse en un cuarto húmedo o sumergirse en agua.

Al mismo tiempo que se forma la muestra en el lugar, debe obtenerse una muestra de la mezcla seca (sin acelerante pero con cemento), teniendo cuidado de no compactarla; inmediatamente después se traslada al laboratorio, donde se le determina su humedad y su contenido de cemento; al igual se obtiene una muestra de la mezcla de agregados para determinar el contenido de agua, la granulometría y el % de partículas menores que la malla No. 100, para que la determinación del contenido de cemento de la muestra pueda obtenerse con una mayor precisión. Las muestras de mezcla seca y de agregados corresponderán a la mezcla que se use en el lanzado de la artesa.

De los agregados se obtendrán muestras, una cada semana, para realizar en ellos las pruebas especificadas en la figura No. 14.

El ademe primario en túnel de andén está formado en la siguiente forma: Conforme se van descubriendo tramos de 2.0 mts. de longitud en cada una de las secciones de ataque de la parte media superior, se lanza una capa de 7.5 cms. de espesor, después se coloca una malla de acero del tipo 6x6-4/4", dejando 30 cms. de malla para traslape con la malla de la sección inferior. Ya colocada la malla se lanza otra capa de concreto lanzado de 7.5 cms. La parte media inferior también se hace en tramos de 2.0 mts. de longitud. El revestimiento primario en esta sección se coloca de la forma antes mencionada. Después de esto se procede a la construcción de las zapatas de apoyo.

Una vez construída la zapata de apoyo para el revestimiento primario en toda la longitud del túnel ya excavado se procede a fijar una nueva malla en las paredes y bóveda del revestimiento primario colocado con anterioridad, traslapándola y amarrándola con la malla que forma el refuerzo de la zapata de apoyo. Inmedia-

tamente después se lanza una capa de concreto de 10 cms. en toda la sección, alcanzando un espesor total en el revestimiento definitivo de 25 cms.

#### 6.- EQUIPO DE LANZADO

**CARRO TOLVA.**- Nos sirve para la dosificación de los agregados y el cemento, dosificándose a través de tornillos sin fin, que conducen al material hasta el equipo neumático (ALIVA).

**EQUIPO NEUMATICO.**- El más usual es de la marca ALIVA que básicamente consiste en una serie de cámaras cilíndricas que reciben el material ya mezclado y al girar van descargándolo en el recipiente de presión, que lo proyecta a través de la manguera hasta la boquilla en donde se le añade el agua, también a presión.

**EQUIPO DE PRESION.**- Está compuesto de compresoras e hidroneumáticos que permiten alcanzar las presiones requeridas en la ALIVA y en la salida del agua en la boquilla. Estas presiones son:

Presión del aire a la salida de la lanzadora: 3.5 Kg./cm<sup>2</sup>. mínimo. Esto para una longitud de manguera de 30.0 mts. hasta el sitio de aplicación; a partir de esta longitud, se incrementa la presión a razón de 0.3 Kg./cm<sup>2</sup>. por cada 15 mts. adicionales.

La presión del agua no debe ser menor a 4 Kg./cm<sup>2</sup>. y siempre mayor a la del aire (ALIVA).

**BOQUILLA.**- Está conectada al extremo que transporta la mezcla, a través de la que se proyecta el material añadiéndole el agua a presión, a través de orificios.

#### D.- CONSTRUCCION DE LA ZAPATA DE APOYO

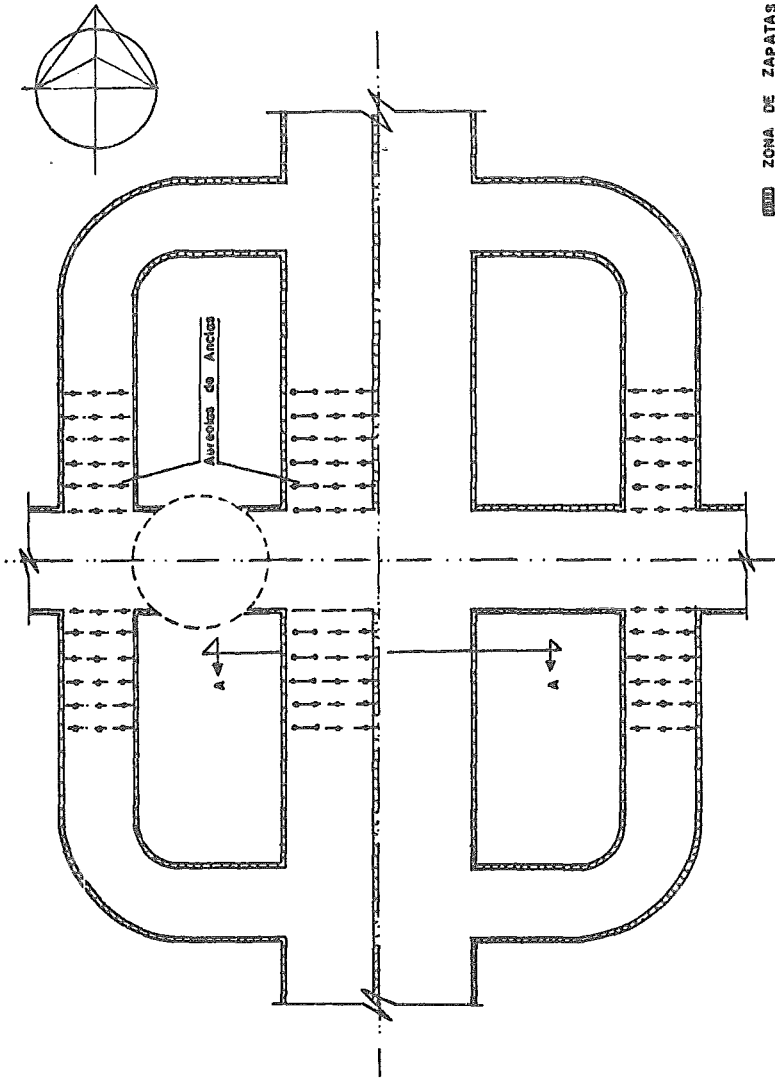
- 1ra. ETAPA. Se excava una zanja en la unión de las paredes de la sección con el piso de la misma con unas dimensiones de 0.80 mts. x 2.00 mts. y una profundidad de 0.40, contada a partir del nivel de desplante de la losa de piso del túnel en cuestión (las zapatas van en todos los túneles). Las zapatas van colocadas a todo lo largo del túnel, pero se van colocando alternadas. en longitudes de 2.0 mts. (en ambos lados del túnel).
- 2da. ETAPA. Se descubre la malla de refuerzo del revestimiento primario (de la colocada en los primeros 15 cms. de espesor), en una longitud de 30 cms., con el fin de traslaparla con la malla de refuerzo de la zapata de apoyo.
- 3ra. ETAPA. Se realiza el traslape y amarre de la malla existente con la malla nueva, inmediatamente se procede al lanzado de la zapata. Dejando un tramo de malla fija a la pared, para el traslape con la malla de los restantes 10 cms. de concreto lanzado del revestimiento primario.

#### COLOCACION DE LAS ANCLAS DE SOPORTE

Este sistema adicional de soporte está constituido por anclas de acero, las que se colocan una vez terminado el revestimiento primario, en las zonas de intersecciones, siguiendo los pasos siguientes:

- a).- Se hacen en una misma sección once perforaciones de 2" de diámetro sobre las paredes del túnel y con una distribución mostrada en la fig. No. 16. Estas anclas se colocan en secciones separadas de 1.5 mts. La profundidad de la perforación es de 4.0 mts.
- b).- Después de realizada la perforación, se coloca el ancla constituida por una varilla de 1" de diámetro ( $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ .); después se inyecta una mezcla, de agua-cemento en una proporción de dos partes de cemento por una de agua.
- c).- Cuando el ancla haya quedado fija al terreno, se coloca una placa metálica en la punta de las varillas para fijarla a ésta por medio de una tuerca y aplicándose a la ancla una precarga de 4 ton.





ZONA DE ZAPATAS

Fig. No. 15 bis

LOCALIZACION DE ZAPATAS Y ANCLAS

## E.- REVESTIMIENTO DEFINITIVO

*El procedimiento constructivo para el colado del revestimiento definitivo consiste de lo siguiente:*

- 1.- Preparación de tramos que colar.
- 2.- Colocación de la cimbra.
- 3.- Transporte del concreto desde la superficie hasta la cimbra.
- 4.- Colocación y acabado del concreto.

*A continuación describiremos los puntos anteriores.*

### 1.- PREPARACION DE LOS TRAMOS POR COLAR.

*Hay que contar con los datos del levantamiento topográfico referente a la rasante del túnel excavado y a las secciones transversales del mismo; ésto servirá para el movimiento del eje de cimbra.*

*Con estos datos puede detectarse si en algunas zonas es necesario efectuar peines en piso, en laterales, o en claves, para mantener la pendiente hidráulica y poder efectuar el movimiento del eje de cimbra, cumpliendo con los espesores mínimos*

*Al mismo tiempo se hace la limpieza del tramo, se retiran las tuberías de alimentación de aire comprimido, de agua, cables eléctricos, etc. En caso de existir filtraciones en clave y en laterales, se colocan láminas para encauzar el agua lateralmente y a los drenes, esto es con la finalidad de evitar la contaminación por agua del concreto.*

### 2.- COLOCACION DE LA CIMBRA

*La cimbra es de las llamadas telescópica o autotransportable. Esta cimbra está formada por 8 partes, de las cuales cuatro constituyen la cubeta; los cuatro restantes forman la clave, todo ésto forma un solo módulo que está apoyado en el carro de transporte (YUMBO), el cual está apoyado sobre ruedas metálicas que se deslizan sobre una vía fija a lo largo del túnel. Su fijación es por medio de gatos hidráulicos en el tramo por colar.*

*Antes de fijar la cimbra es necesario verificar los siguientes datos:*

- a).- *Que el armado tenga su posición requerida.*
- b).- *Que se tenga el espesor especificado.*

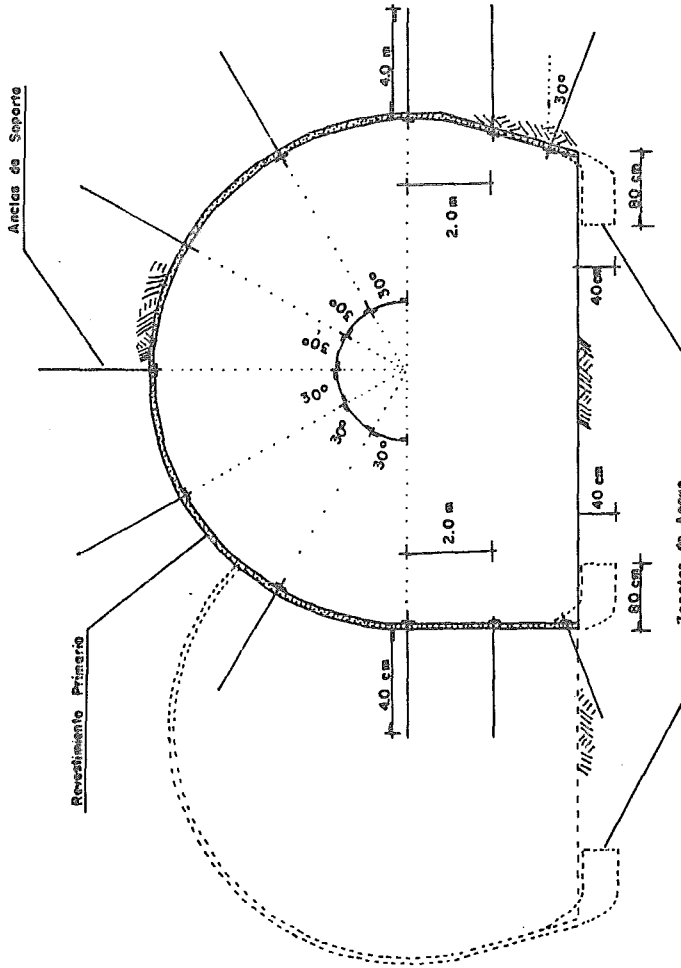


Fig. No. 16

ZAPATAS Y ANCLAJES DE APOYO  
TUNEL DE ANDEN

4-0028695

- c).- El frente de colado esté limpio.
- d).- Que la cimbra esté limpia de concreto y engrasado.
- e).- Preparar perfectamente la junta fría.
- f).- Se tengan los vibradores necesarios, tanto de inmersión como de contacto.

### 3.- TRANSPORTE DEL CONCRETO HASTA EL FRENTE

El concreto se recibe en superficie por medio de una tolva pequeña de donde pasa a la tubería de acero que llegará a una tolva receptora; a la mitad de este trayecto de tubería se encuentra un tanque amortiguador para disminuir el golpe del concreto. La tolva receptora tiene una compuerta accionada manualmente para dejar pasar el concreto a la bomba la que se encargará de bombearlo hasta el frente de ataque, por medio de tubería. A veces es necesario ayudar a la bomba, si el concreto se endurece, esta ayuda consiste en inyectar aire a presión.

### 4.- COLOCACION Y ACABADO DEL CONCRETO

La capacidad de la bomba para colocar el concreto en la cimbra, es variable, pero es posible bombear de 15 a 60 m<sup>3</sup>/hr.

La cimbra telescópica tiene localizadas ventanas cuatrapereadas, tanto en clave como en cubeta, y sirven para:

- a).- Verificar el recubrimiento del refuerzo.
- b).- Medir el espesor del revestimiento.
- c).- Troquelar la cimbra contra el terreno natural.
- d).- Colocar bastones de refuerzo si es que hubo necesidad de cortar refuerzo.
- e).- Poder vibrar el concreto, garantizando un mejor acomodo.
- f).- Ver la correcta colocación del concreto en cuanto a su posición a lo largo de la cimbra, cerrando las ventanas cuando el concreto se encuentre cercano a ellas.

Por otra parte, es necesario, checar cuando se esté troquelando la cimbra, que ésta esté libre de costras de concreto, cepillándola con cepillo de cerdas metálicas y engrasándola perfectamente. Lo anterior redundará en un buen acabado en las superficies del concreto.

#### F.- INYECCION DE CONTACTO

En el proceso de inyección, se usan dos tipos de secciones, una llamada "IMPAR" que son de tres barrenos en la parte media superior y otra llamada "PAR", que tiene dos barrenos en la misma zona, ver fig. No.17. Las barrenaciones se hacen desde el revestimiento definitivo y debe tener una profundidad tal que penetre 5 cms. dentro del revestimiento primario para detectar la presencia del mismo. La separación entre sección y sección es de 4.0 mts. Es necesario tener 4 secciones preparadas y equipadas con sus respectivas válvulas de paso, a partir de la sección que se esté inyectando. Estas inyecciones se hacen en dos etapas que son:

##### 1ra. ETAPA

El orden de inyección en la sección "IMPAR" se inicia por el barreno No. 1, al llenarse éste sigue con el barreno No. 3 y se termina con la sección inyectando el barreno No. 2, localizado en la clave. La inyección se hace en tramos de 80 mts. (cuando se trata del túnel de andén, en caso contrario a lo largo del túnel que se trate), por lo que se debe tener perforadas un mínimo de 11 secciones "IMPARES", que tienen una separación de 8.0 mts. Si al estar inyectando se tiene una comunicación con la sección de adelante, se obturan y se continua con la inyección; si la comunicación es con otro barreno de la misma sección, éste se tiene que reperforar para efectuar la inyección. Cuando se termina de inyectar el tramo o un túnel menor que 80 mts., se procede a inyección en la sección "PAR".

##### 2da. ETAPA

Esta etapa se comienza, cuando la inyección de la primera etapa tenga 3 días de edad. Esta etapa corresponde a la inyección de las secciones "PAR". La secuencia de inyección de esta sección es comenzando en el barreno No. 1 y después con el No. 2; la siguiente sección "PAR" se principia con el barreno No. 2 y se termina con el barreno No. 1, y así sucesivamente.

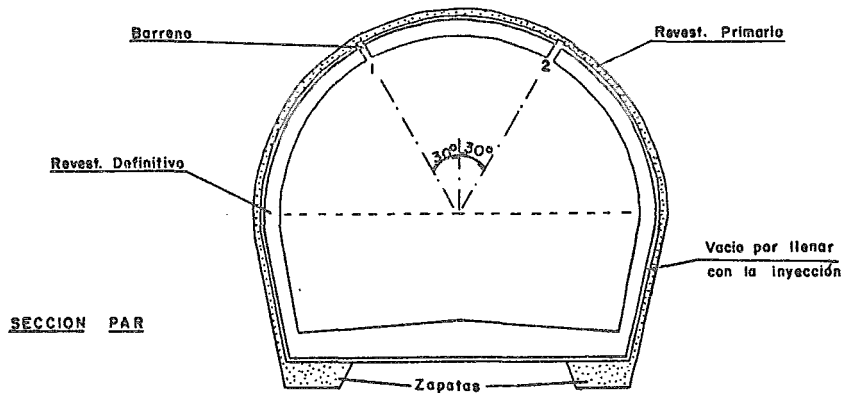
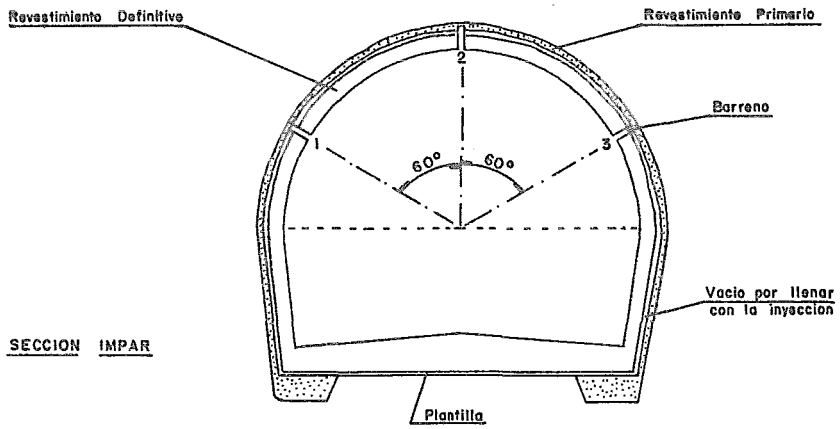


Fig. No. 17

INYECCIONES DE CONTACTO

Inyección de Contacto entre el Revestimiento  
Definitivo y el Revestimiento Primario

PLANTA

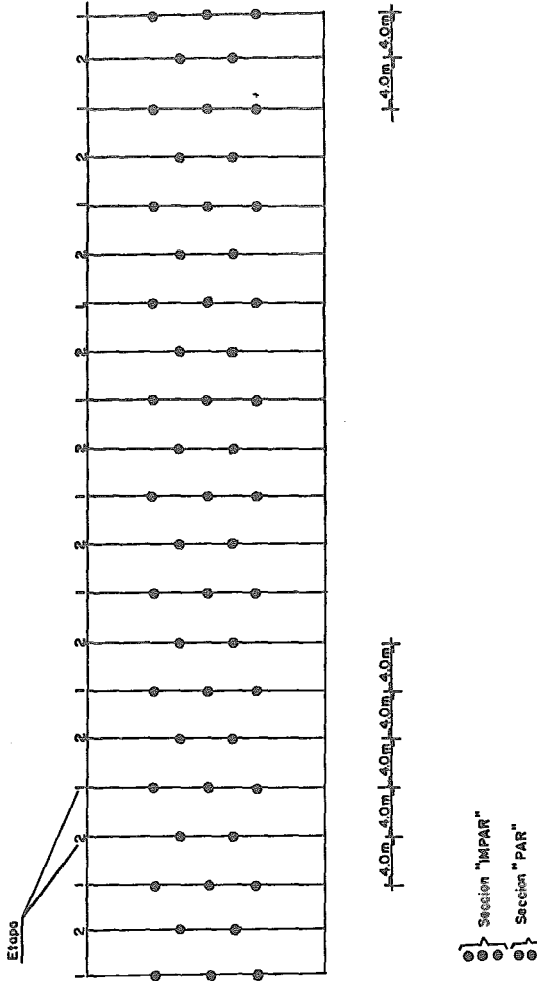


Fig. No. 18  
SECCIONES "IMPAR" y "PAR"

**MEZCLA PARA LA INYECCION**

La mezcla para la inyección está compuesta de agua-cemento, en proporción 2:1 en peso. Lo anterior se usa cuando un barreno no necesite más de 4.0 m3. de lechada, ésta se cambia por un mortero preparado de la siguiente forma:

agua-cemento en relación 1:1 en peso

Bentonita 3 % como máximo en peso.

Arena 25% como máximo del cemento en peso.

A la mezcla que se emplea para las inyecciones, se le agrega un fluidizante propio para mortero. Los materiales que se emplean para inyectar, tienen que tener los requisitos siguientes:

**AGUA:** Libre de sedimentos, materia orgánica o impurezas nocivas a la mezcla.

**CEMENTO:** Se usa cemento tipo I o tipo V

**BENTONITA:** Se prepara con una relación agua-bentonita que no exceda del 3 en peso, considerando una relación agua-cemento 1:1 con un tiempo mínimo de 8 hrs. de hidratación.

**ARENA:** De partículas redondeadas, con dimensiones máxima de las partículas inferiores a 1.5 mm. Los límites granulométricos de la arena son:

<u>MALLA No.</u>	<u>% QUE PASA POR LA MALLA</u>
8	100 %
10	90 - 100 %
30	50 - 85 %
50	20 - 25 %
100	10 - 30 %

La presión de inyección es igual o menor que 2 Kg./cm<sup>2</sup>.



#### CONDICIONES PARA CONSIDERAR UN BARRENO SELLADO

Se considera que un barreno queda sellado cuando se presente alguna de las dos condiciones siguientes:

- a).- Cuando se haya inyectado un volumen total de 6.0 m<sup>3</sup>.
- b).- Cuando no exista absorción con cualquier tipo de mezcla (lechada o mortero) a 2 Kg./cm<sup>2</sup>. de presión en un lapso de 15 min.

## CONCLUSIONES

*Podemos decir que la solución profunda (túnel) tiene sus ventajas y desventajas con las otras soluciones (cajón, superficial y elevada) y entre las ventajas podemos mencionar: menos problemas de tránsito, menos interferencias con líneas de agua o teléfonos, menor número de afectaciones a casas, la conservación y mantenimiento del equipo presentan mejores condiciones debido a que no están expuestos a la interperie, la disponibilidad vial a futuro no presentará problemas, mayor velocidad de construcción, etc.; y entre las desventajas podemos mencionar una muy importante, mayor costo de construcción en comparación con las otras soluciones.*

*- Después de analizar las ventajas y desventajas, además de que la línea 7 del Metro tenía que pasar por una zona residencial y otra muy importante como son Los Pinos, se determinó que la línea 7 fuera en túnel profundo. Lamentablemente un factor que causó el retraso de la obra, fue la falta de presupuesto por parte del Gobierno, ya que la construcción coincidió con el año final del sexenio del Presidente José López Portillo, y por esta causa se dejó su reanudación para el otro sexenio.*

*Creo que la determinación de construir los túneles de la Estación Auditorio con un sistema sencillo y práctico (banqueo) contando con el martillo neumático como principal herramienta de excavación, fue debido a que la zona no presentaba muchos problemas de estabilidad, ya que por lo común era tepetate. Pero esto fue muy provechoso para el país, porque se recurrió a la gran cantidad de mano de obra disponible y no se tuvo que gastar en maquinaria muy costosa.*

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- CONCRETO LANZADO  
T. F. Ryan IMCYC
- 2.- CIMENTACIONES Y TUNELES  
P. Galabru
- 3.- TUNELES Y OBRAS SUBTERRANEAS
  - Dr. Ingeniero de Caminos Clemente Saenz García
  - Dr. Ingeniero Civil Luciano Jogna
  - Dr. Ingeniero de Caminos Rafael Inzega Caramanzana
  - Dr. Ingeniero Civil Klaus Wenzel
  - y otros más.
- 4.- MEMORIAS DEL DRENAJE PROFUNDO  
Departamento del Distrito Federal
- 5.- MEMORIA SOBRE TUNELES Abril/81.  
ARME Samuelson Colegio de Ingenieros Civiles
- 6.- PRUEBAS EFECTUADAS EN TUNELES  
A. Bello ISTME