



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**CONSTRUCCION DE LA LINEA 7  
DEL METRO**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de  
**INGENIERO CIVIL**  
P r e s e n t a

**EDUARDO AMEZCUA CARRASCO**



**México. D. F.**

**Sep. de 1985**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**INDICE GENERAL**

# INDICE

## CAPITULO 1 INTRODUCCION

### 1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Aspectos de la Planeación Nacional . . . . .	5
1.1.2. Aspectos de de la Planeación en el D.F. . . . .	6
1.1.3. Plan Rector de Vialidad y Transporte . . . . .	11

1.2. CRITERIOS GENERALES PARA SELECCION DEL TIPO DE- OBRA . . . . .	18
--	----

1.3. PROYECTO DE ESTACION . . . . .	21
-------------------------------------	----

## CAPITULO 2 PROYECTO DEL METRO

### 2.1. ESTUDIOS GEOTECNICOS

2.1.1. Exploración del Subsuelo . . . . .	24
2.1.2. Muestreo . . . . .	25
2.1.3. Subsuelo Encontrado . . . . .	26

2.2. TRAZO. . . . .	28
---------------------	----

### 2.3 CRITERIO DE DISEÑO

2.3.1. Método de Terzaghi . . . . .	29
2.3.2. Método de Protodiakonov . . . . .	31
2.3.3. Teoría del Arco de Carga Virtual . . . . .	32

### 2.4. INSTRUMENTACION

2.4.1. Objetivo . . . . .	35
2.4.2. Instrumentos Utilizados . . . . .	37
2.4.3. Interpretación de Resultados . . . . .	47

2.5. ASPECTOS TOPOGRAFICOS. . . . .	48
-------------------------------------	----

## CAPITULO 3 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL

3.1. LUMBRERAS. . . . .	50
-------------------------	----

### 3.2. CONSTRUCCION DEL TUNEL

3.2.1. Túneles de Conexión . . . . .	55
3.2.2. Construcción del Túnel utilizando Escudo . . . . .	57
3.2.3. Construcción del Túnel utilizando el Método de Banqueo. . . . .	61

### 3.3. ASPECTOS PARTICULARES

3.3.1. Concreto Lanzado . . . . .	68
3.3.2. Bombeo . . . . .	73
3.3.3. Ventilación del Túnel y Medidas de Seguridad. . . . .	75

CAPITULO 4 CONTROL DE LA OBRA Y ORGANIZACION	
4.1. ORGANIZACION PARA LA EJECUCION DE LA OBRA CIVIL . .	78
4.2. DIRECCION, COORDINACION Y CONTROL DE OBRA . . . . .	85
4.3. SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRA. . . . .	89
4.4. PROGRAMAS Y PRESUPUESTO DE OBRA CIVIL . . . . .	91
4.5. ADMINISTRACION DE LA OBRA . . . . .	93

CAPITULO 5 CONCLUSIONES . . . . .	99
-----------------------------------	----

BIBLIOGRAFIA . . . . .	102
------------------------	-----

**CAPITULO 1**

**INTRODUCCION**

## 1.- INTRODUCCION

### 1.1. ANTECEDENTES

#### 1.1.1. ASPECTOS DE LA PLANEACION NACIONAL

La Planeación a nivel Nacional, se regula por el Plan Nacional de Desarrollo, el cual ha sido elaborado en el con texto de la crisis económica más seria que haya enfrentado el país en su historia moderna y en el marco de graves problemas mundiales.

En el ámbito internacional el signo de la época es la incertidumbre y la inseguridad. El mundo vive hoy, una etapa de transición. Países con diversos sistemas económicos y políticos se encuentran en crisis que trascienden el ámbito económico y presionan la convivencia social.

México no es ajeno a esta situación, no puede serlo. - La crisis interna es evidencia de la vulnerabilidad del sistema económico que, por insuficiencias estructurales, amplia y reproduce los impactos de los desajustes externos. - La persistencia de desigualdad social y desequilibrios económicos, la falta de integración en los procesos productivos, la insuficiencia de recursos para financiar el crecimiento, entre otros, son factores internos que en gran parte explican la difícil situación actual y cuya solución obliga al despliegue de toda la capacidad creativa de la Nación.

En los lineamientos de estrategia que este plan propone para la solución de los problemas de transporte en el país, se procura que cada modo opere en las condiciones que le sean más apropiadas, se impulsará la coordinación de los programas de almacenamiento y abasto, turismo y fabricación del equipo de transporte.

En cuanto al transporte nacional de carga, el eje de la estrategia es lograr una mayor participación del ferrocarril; impulsar el transporte costero con Norteamérica, para

aliviar el congestionamiento en el transporte terrestre; y - también mejorar el funcionamiento de los puertos.

En el renglón de transporte de pasajeros, se impulsará el transporte público colectivo y se continuará apoyando al transporte aéreo de pasajeros, en el transporte Multimodal - se reforzará la participación de los ferrocarriles, de las - centrales de servicio de carga del autotransporte y de las - terminales portuarias especializadas.

Para fomentar la desconcentración económica de las acti-vidades, la estrategia sectorial incluye ampliaciones y mo-- dernizaciones de carreteras; la construcción de caminos rura-les y alimentadores, la creación de articuladores intermoda- les e impulso al desarrollo de los puertos industriales.

Por otro lado, es importante el fomento de un desarro-- llo tecnológico e industrial congruente y compatible con las necesidades del transporte nacional y el impulso de la inves-tigación para la capacitación, en lo relativo a financiamien-to y subsidios la estrategia procurará atender la solución - de los problemas de liquidez que se presenten.

### 1.1.2. ASPECTOS DE LA PLANEACION EN EL DISTRITO FEDERAL.

Para comprender mejor el problema de transporte que se tiene actualmente, se presenta a continuación sus antecedentes:

En 1940 se tenía una población de 1'760,000 habitantes, ocupando 92 km<sup>2</sup> de superficie, los cuales se transportaban - por medio de tranvías, autobuses y automóviles, y las princi-pales avenidas con que se contaba eran: Avenida Chapultepec Bucareli, Paseo de la Reforma, 5 de Mayo y las nuevas arte- rias de circulación: Alvaro Obregón, Insurgentes, Revolu- ción, 20 de Noviembre, Cuauhtemoc y Baja California; entre - otras, las cuales se complementaban con las anteriores para recibir el constante aumento del número de vehículos.

En 1946, aparecieron las primeras industrias al Norte de la ciudad: La Industrial Vallejo (D.F.), Tlalnepantla y Naucalpan (en el Estado de México) provocando el crecimiento de la red vial para conectar estos lugares con la ciudad.

En 1950 la población llegó a 3'100,000 habitantes y en 1964 superó los 6'000,000 al mismo tiempo que el área urbana aumentó de 200 a 320 km<sup>2</sup>, y el número de vehículos automotores de 130,000 a 450,000 lo cual creó graves problemas de tránsito reflejados en serios congestionamientos.

Para solucionar los congestionamientos, las autoridades construyeron tres vías rápidas de circulación continua Vialto Miguel Alemán, Anillo Periférico y la Calzada de Tlalpan, destinados principalmente al tránsito de automóviles, - Esto no significó solución alguna en favor del transporte masivo.

Con la idea de evitar el crecimiento desmesurado, las autoridades prohibieron toda clase de nuevas urbanizaciones, lo que tuvo como resultado la creación de zonas clandestinas de habitación, aparición de fraccionamientos en los límites con el Estado de México, pero utilizando las instalaciones municipales de la ciudad; esto agravó los problemas de tránsito por la falta de vías de acceso adecuadas a estas zonas, estas vías tuvieron que recibir el gran volumen de vehículos de los nuevos asentamientos humanos que se desarrollaban sin planeación alguna.

En 1965 la población ascendió a 6'330,000 habitantes y más de 1'000,000 en las zonas periféricas. En base a estos datos y con una tasa de crecimiento demográfico de 5% anual, se pronosticó que para 1970, la población llegaría a 7'000,000 en la ciudad y 2'000,000 más en las zonas periféricas.

En lo referente a vehiculos en 1965, se contaba con - 309,710 el 80% de los cuales circulaban diariamente; 247,809 transportaban a 8'383,120 pasajeros por día, además de los - transportes de carga, camionetas, bicicletas y motocicletas - cuyo número ascendía a 450,000.

El 76% de la población se transportaba por medios masivos y el 24% en taxis y vehiculos particulares.

Por la zona céntrica de la ciudad, circulaban 4,000 unidades de transporte urbano correspondientes a 65 de las 91 - líneas de autobuses y transportes eléctricos, además de - 150,000 automóviles que acudían al centro y que se estacionaban en las calles; agregado a esto, el hecho de que el 40% - del total de viajes diarios en la ciudad se relacionaban en esta área, originaba que la velocidad de autobuses y travels en algunas horas, fuera menor a la de los peatones, estimo que 4'000,000 de horas--hombre se usaban en exceso diariamente en el transporte.

Eran 14,352 autobuses sub-urbanos y foráneos los que - transportaban a los 539,060 pasajeros que entraban por el - Noreste a través de la carretera de Querétaro, por el Norte - por la de Pachuca, por el Sureste por Toluca, por el Sur la - de Cuernavaca y por el Oriente la de Puebla. La hora de mayor movimiento era de las 18 a las 19 horas.

Los cálculos indicaron que para mover 39,550 pasajeros, circulaban 967 autobuses de entrada y salida.

La mayor parte de las terminales de estos autobuses se encontraban en el primer cuadro o en el perimetro y principalmente en la Merced; además de que muchas de ellas se localizaban en las calles y realizaban servicio urbano haciendo paradas continuas y reduciendo aún más la velocidad de operación.

Las soluciones adaptadas a la ciudad de México, semejantes a la de otras grandes urbes principalmente al tránsito de automóviles, demostraron:

a) Que las vías rápidas no son útiles para resolver el problema de transporte masivo.

b) Que el aumento de transporte sin planeación solo -- agrava los problemas de tránsito, las pérdidas de tiempo y -- el desgaste excesivo de los vehículos, aumentando también -- los problemas de contaminación.

Por todo lo descrito anteriormente se deduce que la zona central de la ciudad, ha sido tradicionalmente la más conflictiva en cuanto al problema de tránsito de vehículos -- se refiere, fundamentalmente por las siguientes consideraciones:

a) Es el lugar donde se asientan los poderes del Gobierno Federal.

b) Ha sido tradicionalmente el centro de las actividades comerciales de la ciudad.

c) La falta de planeación adecuada en los sistemas de -- transportación provocada por el 75% de los autobuses y otros transportes colectivos que circulan por el primer cuadro de la ciudad.

Así mismo, el problema de transportación colectiva de -- la ciudad de México, se incrementaba cada día por:

a) El crecimiento desmesurado de la ciudad, provocado -- por el aumento demográfico de la población.

b) La demanda excesiva de transporte, debido principalmente a la falta de zonificación o planeación adecuada de la ciudad de México y zonas vecinas.

c) Falta de coordinación entre los diferentes medios de transporte, lo que ocasionaba trasbordos y competencias innecesarias.

d) Equipos obsoletos que proporcionaban un servicio lento, incómodo e ineficiente.

e) Falta de continuidad en muchas avenidas y calles importantes.

f) Localización inadecuada de las terminales de todo tipo de transportes.

Ante estas consideraciones, resultaba evidente que la solución fundamental para el transporte masivo de pasajeros no podía estar orientada hacia el núcleo central de la ciudad y sus principales zonas congestionadas, empleando sistemas superficiales.

Por este motivo y dentro de la planeación nacional, se vio la conveniencia de construir el Metro, para que constituyera la columna vertebral del sistema de transporte. Esto sucedió a partir de 1965, en que se iniciaron los primeros estudios para construir el sistema que es el más seguro, eficiente y confortable, respecto a cualquier otro sistema de transporte colectivo. Sin embargo había que superar varios obstáculos, que se agrupan fundamentalmente en tres: El Técnico, el Económico y el Financiero.

El primero aludía los problemas que presentaba el subsuelo de la ciudad, para la construcción de este tipo de estructura.

El segundo requerla de una tarifa que estaba sobre la capacidad económica del usuario. Esto se basaba en que las tarifas de otras ciudades resultaban mayores a las acostumbradas en nuestro medio.

El tercero, como consecuencia de los anteriores, resultaba también negativo, ya que para fijar una tarifa acorde con la capacidad de pago del usuario, se requerla del subsidio gubernamental.

La red del sistema de transporte colectivo y los ejes viales de la ciudad de México, tienen semejanza con las de las antiguas vías de comunicación de la gran Tenochtitlan, tanto en su trazo como en su propósito fundamental de comunicar en forma eficiente los sitios y espacios para el desarrollo integral de sus habitantes.

Como consecuencia se puede concluir, que en la planificación de la ciudad, en su aspecto de comunicación vial, se tuvo especial atención, en preservar los movimientos tradicionales de sus pobladores, hecho que además de ser práctico por probado, afianza en sus habitantes hoy como ayer; la esencia del nacionalismo.

### 1.1.3. PLAN RECTOR DE VIALIDAD Y TRANSPORTE

El Plan Rector de Vialidad y Transporte del Distrito Federal, 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, como el transporte en nuestra gran Metrópoli; contempla para su realización 4 grandes planes:

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

*Plan de Metro.- Es el que por su naturaleza tiene mayor importancia, debido a que el Metro es el único sistema de Transportación masiva que puede transportar el mayor número de pasajeros en mejores condiciones de seguridad y confort que cualquier otro sistema, debiendo estos otros servir como complementarios para proporcionar un servicio eficiente para los usuarios.*

*No fue sino hasta el año de 1967, después de muchos estudios cuando se inicio 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 un atraso en el servicio de la transportación masiva de nuestra ciudad, y aumentó considerablemente uno de los más grandes problemas de nuestra Metrópoli " El Tráfico ".*

*El Plan Rector mediante los planes del Metro, de Vialidad, de Transporte de Superficie y de Estacionamiento, está llevando a cabo, las acciones que se requieren para satisfacer gradualmente las necesidades de movilidad urbana.*

*A continuación se presentan los puntos principales que contempla el Plan Rector de Vialidad y Transporte:*

*1.- PLAN DE METRO.- En 1978, se actualizó el Plan Maestro del Metro que previó la dotación a los habitantes de la ciudad, al año 2000 con una red de 378 km de longitud, en la que operarían 807 trenes de 21 líneas y tendría una capacidad de transportación de 24 millones de pasajeros por día.*

Posteriormente en 1980 se formuló la versión vigente - del Plan Maestro, que contempla para fines de siglo una red de 444.09 km, que requerirá de 882 trenes y estará en posibilidad de transportar 26.33 millones de usuarios diariamente.

La 2a. etapa de ampliación del Metro, en su parte final comprende 44.6 km de longitud de los cuales corresponden - 10.7 km a la Línea 3 en sus dos extremos. La ampliación de esta línea hacia el Norte, en una longitud de 5.4 km, incluye las estaciones La Raza, Potrero, Basílica y la terminal - Indios Verdes, fue puesta en operación el 1° de Diciembre de 1979.

El 25 de Agosto de 1980, entró en servicio la prolongación de la Línea 3 hacia el Sur, cuya longitud es de 5.32 km con 5 estaciones subterráneas: Centro Médico, Etiopla, Eugenia, División del Norte y Zapata.

De igual manera, corresponde 7.5 km a la primera etapa de la Línea 4 elevada en dirección Norte-Sur, comprendida entre las estaciones: Martín Carrera, Talismán, Bondonjito, -- Consulado, donde se cruza con la Línea 5: Canal del Norte, -- Morelos y Candelaria. Así mismo 7.5 km, correspondientes a la Línea 5, de 7 estaciones: la terminal Pantitlán de correspondencia con la Línea 1, Hangares, terminal Aérea, Oceania, Aragón, E. Molina y Consulado, donde entronca con la Línea 4.

El resto de la ampliación y las nuevas líneas, comprenden la terminación de la Línea 4, de Fray Servando a Santa Anita, la Línea 5, de Consulado al Instituto Mexicano del -- Petróleo al Rosario, misma que tendrá una longitud de 8.3 km. Se inicia en la Avenida de los 100 Metros y Poniente 134, -- constará de 7 estaciones: El Rosario, Tezozomoc, Azcapotzalco, Ferrería, Norte 45, Vallejo e Instituto del Petróleo, de correspondencia con la Línea 5.

La 3a. etapa de ampliación del Metro, estará contemplada de la siguiente manera:

Ampliación Línea 1.- La construcción subterránea de 1.90 km, será liga entre la estación Zaragoza con la Línea 5 en su estación terminal Pantitlán.

Ampliación Línea 2.- Parte de la actual estación Tacuba en tramo subterráneo de 3.3 km a lo largo de las calzadas México-Tacuba, San Bartolo, Hasta llegar a la Escuela de Transmisiones, donde se construirá la estación, Cuatro Caminos.

Ampliación Línea 3.- Llegará hasta la Ciudad Universitaria, para la cual se amplía en forma subterránea desde la estación Zapata, que actualmente funciona como terminal provisional. Este nuevo tramo, tendrá 6.5 km, y las estaciones Coyoacan, Viveros, Miguel A. de Quevedo, Copilco y Universidad.

En 3.2 km de esta prolongación, se utiliza el sistema de construcción en túnel desde la estación Viveros, hacia el Sur, a 23 m de profundidad. Los 3.3 km restantes están a profundidad de 8 a 14 m y se realizan en forma convencional mediante el cajón subterráneo con muros mildn.

Ampliación Línea 5.- Tramo superficial de la estación-Instituto del Petróleo a la estación Politécnico, con una longitud de casi 1 km.

Línea 7.- La nueva ruta está situada en el poniente de la ciudad y sus 12.6 km con sentido Norte-Sur, serán subterráneos. Sus estaciones serán 10: Tacuba, San Joaquín, Auditorio, Constituyentes, Tacubaya con la cual se liga la Línea 1, San Pedro de los Pinos, San Antonio, Mixcoac y Barranca del Muerto, que funcionará con terminal provisional.

Con esto la ampliación del sistema de transporte colectivo, a cargo de la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano alcanza ya una longitud de 67.37 km, lo que representa un 56% más que en Diciembre de 1976.

Este programa permitirá ampliar la Red del Metro hasta 111.50 km, y su capacidad de transportación será de 6.5 millones de usuarios diariamente.

La 4a. etapa, actualmente en construcción, abarca la ampliación de la Línea 7 de Tacuba a El Rosario, Línea 9 de la Central de Abastos a Tacubaya; ampliación de la Línea 6 de Instituto del Petróleo a Martín Carrera, la cual estará lista para Diciembre de 1985.

2.- PLAN DE VIALIDAD.- Es conocido el hecho de que el Metro no puede resolver la totalidad de los viajes, por lo que requiere de una integración con los otros medios. Asimismo, para que el transporte de superficie sea eficaz, deberá contar con una adecuada y suficiente infraestructura vial.

El Plan de Vialidad pretende establecer una estructura jerarquizada de arterias continuas y regulares que satisfagan las necesidades de movilidad de la ciudad y que sea congruente con las expectativas de desarrollo urbano. Por este motivo, la vialidad primaria estará conformada, en primer término por una red de arterias de acceso controlado que consta de dos anillos concéntricos, denominados, Anillo Periférico y Circuito Interior.

El plan contempla también, la construcción de 34 ejes viales, 17 de Oriente a Poniente y 17 de Norte a Sur con una longitud total de 533 km.

Dentro del plan se contemplan 927 cruces semaforizados que serán manejados por una Computadora Central, que permitirá la retroalimentación y el ajuste automático de los programas de acuerdo con las condiciones de tránsito.

3.- PLAN DE TRANSPORTE DE SUPERFICIE.- Las acciones básicas del Plan de Transporte de Superficie, consistieron en la implantación de una estructura de transportación colectiva de gran regularidad, capacidad y comodidad, funcionando en una red ortogonal de calles principales que modifican radicalmente la situación anterior, caracterizada por autobuses escasos, lentos y de mal aspecto con tortuosos y complicados recorridos.

De las 534 rutas de autobuses que circulaban, quedaron integradas en solo 76 rutas directas con recorridos a lo largo de la ciudad de Norte a Sur y de Oriente a Poniente más 47 rutas periféricas del sistema Alimentador de la red ortogonal (SARO), que permite comunicar prácticamente cualquier punto de la ciudad con un mínimo de trasbordos.

El 25 de Septiembre de 1981, el Gobierno del Distrito Federal, decretó la municipalización del transporte urbano de superficie, por lo que todos los equipos e instalaciones hasta entonces propiedad de la Alianza de Camioneros de México, pasaron a formar parte de la Ruta 100.

Los programas de la Ruta 100 incluyen; adaptar equipos anticontaminantes a los autobuses existentes, adquirir nuevas unidades y contruir las instalaciones necesarias para mejorar el servicio.

El plan contempla también, poner en operación cuatro terminales de autobuses foráneos, con el fin de que estos no penetren a las zonas más congestionadas. Así mismo el Plan-Rector considera la coordinación con el ferrocarril sub-urbano propuesto por la "SCT", y que actualmente se encuentra en construcción.

4.- PLAN DE ESTACIONAMIENTO.- El plan rector incluye programas de estacionamiento, sin las cuales se cancelaría gran parte del esfuerzo realizado en obras viales.

Unas de las funciones asignadas a las estaciones será, - la de articular el transporte individual con los servicios - colectivos a través de la construcción de estacionamientos - de trasbordo, capaces de disuadir a los automovilistas para - que no viajen en sus vehículos hasta las zonas congestionada - das.

Dichas instalaciones se ubicarán cerca de la línea de - transporte de superficie y de las estaciones del Metro.

La ciudad requiere habilitar 60,000 cajones de estacio - namiento como mínimo, para apoyar el adecuado funcionamiento del transporte colectivo.

5.- PROGRAMAS COMPLEMENTARIOS.- Considerando que gran - parte de la solución a los problemas de tránsito está en ma - nos de los habitantes, el Plan propone medidas de Educación - Vial, tales como: Cursos Escolares y Campañas Publicitarias de Orientación al Público para mejorar la circulación de - Vehículos y Peatones.

\* \* \*

## 1.2. CRITERIOS GENERALES PARA SELECCION DEL TIPO DE LINEA

El sistema esta constituido por estructuras de tipo subterráneo, bien sea en cajón o en túnel, superficial y elevada. 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.
- Interferencia con los servicios municipales.
- Conservación de obras y equipos.
- 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.

A continuación se hacen algunos comentarios de cada uno de los factores anteriores;

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 ésta el costo de los desvíos, de la limitación del derecho de vía de 10 m de ancho, de la construcción de los pasos a desnivel perpendiculares cuya frecuencia fue en promedio de un paso por cada 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 m. por mes, en tanto que para la solución elevada es de 70 a 90 m. 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 m. por mes. Las velocidades antes mencionadas son alcanzadas por un solo frente de trabajo.

En cuanto a la Observación 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 superficiales y elevados.

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 m, en tanto que en la solución superficial se requiere una anchura mínima de 50 m, 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 usuario a quienes beneficiará y la formación de una barrera continua que no existe para el tipo de soluciones elevadas y subterráneas.

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

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

En lo referente a Seleccionar adecuadamente el procedimiento de construcción del túnel, es necesario hacer los estudios geotécnicos necesarios y suficientes para elegir en primer lugar un trazo adecuado para 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 (escudo). Es importante destacar que para una línea profunda de Metro hay que proveer algunos aspectos como son: escaleras mecánicas en las estaciones y adecuados sistemas en caso de alguna falla.

\* \* \*

### 1.3. PROYECTO DE ESTACION

Según los nuevos criterios de diseño, el proyecto de las estaciones debe considerar los volúmenes de pasajeros correspondientes a la operación del sistema a plena carga, que es de 1,500.

#### ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE LAS ESTACIONES

- 1.- Zona de andenes donde el público aborda o desciende de los trenes.
- 2.- Zona de acceso, sus diversas áreas dependen del tipo de estación, comprende:
  - Vestíbulo, escaleras y circulaciones.
  - Controles de entrada y salida de pasajeros. (taquillas, torniquetes y portillones).
  - Cambio de andenes.
- 3.- Zona de servicio que contiene los elementos que requiere la operación de la estación y son:
  - Subestaciones eléctricas para alumbrado normal y de emergencia.
  - Cuarto de operación.
  - Sala de telecomunicaciones.
  - Cuarto de servicio técnico.
  - Cuarto de extracción de aire.
  - Cárcamo y cuarto de bombeo.
  - Tomas de aire.
  - Casa de máquinas para escaleras mecánicas.
  - Almacén y depósito de cascajo.
  - Sanitarios para empleados y operadores.
  - Espacios para publicidad y concesiones.
  - Local para inspectores.

- Sala de elevadores.
- Oficina de despachador (estaciones terminales)
- Sala de descanso.

*El presente trabajo, solo mencionará este tema, por no considerarlo dentro de los alcances de éste.*

• • •

CAPITULO 2

PROYECTO DEL METRO

## 2.- PROYECTO DEL METRO

### 2.1. ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

El objeto de haber realizado estudios Geotécnicos en la zona donde se construirá el túnel, fue conocer las propiedades del material donde se desarrollará la excavación subterránea y de esta manera poder determinar el procedimiento -- constructivo más adecuado, así como el soporte para mantener estable la excavación, tanto durante su etapa constructiva -- como durante su operación ya concluida la obra.

#### 2.1.1. EXPLORACION DEL SUBSUELO

La exploración del subsuelo en la zona sujeta a construcción, es esencialmente importante ya que comprende la -- coordinación de los trabajos de campo y ensayos de laboratorio que definen la estrategia y valoran las propiedades mecánicas del subsuelo en cuestión.

Esta exploración debe apoyarse, en el conocimiento de -- la geología local, naturaleza, tipo y características estructurales del subsuelo obtenido de exploraciones previas. Un -- Ingeniero especialista, deberá de visitar periódicamente el -- lugar, y en sus observaciones incluir una evaluación del com -- portamiento de las cimentaciones existentes.

La interpretación de la información obtenida de explora -- ciones previas y de la evaluación hecha por el Ingeniero es -- pecialista, aportará la base necesaria para una posible solu -- ción al problema y establecer un programa adecuado de explo -- ración del subsuelo, el cual será complementado con la deter -- minación de algunas propiedades Índice y un racional factor -- de seguridad.

Como un trabajo de exploración, se tienen los trabajos de campo que incluyen mediciones y pruebas "In sito", así como la ejecución de sondeos de exploración y muestreo cuyas características estarán sujetas a lo que especifica el proyecto.

Un aspecto no menos importante de la exploración del subsuelo, es la determinación de los niveles freáticos y de las cargas piezométricas.

### 2.1.2. MUESTREO

El tipo de muestras que se tomen de los suelos, estarán en función de las características de los mismos y del tipo de información que se requiera. Las muestras pueden ser : - Alteradas o Inalteradas.

Las Muestras Alteradas.- Se obtuvieron hincando a percusión tubos muestreadores de pared gruesa, de 3.5 cm. de diámetro interior y 5 cm de diámetro exterior, con objeto de determinar con más precisión la estratigrafía.

Estas muestras así como las Inalteradas se obtuvieron de sondeos realizados a cada 100 m.

Las Muestras Inalteradas.- Se obtuvieron hincando a presión tubos muestreadores de pared delgada, tipo "Shellby" de 10 cm de diámetro interior. Cuando la consistencia del subsuelo no permitió el hincado de los tubos anteriores se utilizó el barril "Penison", hincando a presión y rotación, con el cual se tomaron también muestras de 10 cm de diámetro.

Esta clase de sondeos se llevó a cabo también en sitios donde se construirían estructuras importantes, tales como Estaciones, Edificios, etc. Los sondeos Inalterados, se ejecutan a la misma profundidad que los Alterados, ya que de esta manera se pueden correlacionar perfectamente los datos obtenidos en ambos casos.

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, cuya capacidad variaba, de media a alta ya que este tipo de materiales facilitarían su excavación por la poca capacidad cementante.

Posteriormente en la zona comprendida entre las estaciones, Auditorio y Tacubaya, donde se encontraron "Cavernas" o "Minas de arenas" a profundidad variable, de 6.5 m hasta 1 - 13 m, se realizaron sondeos geoelectricos; donde las curvas de "Isorrestividad" mostraban algún indicio de posibles cavernas, se procedió a realizar sondeos directos, algunos con recuperación de material y otros sin ella, efectuándose en algunos casos, a distancias hasta de 5 m de separación.

### 2.1.3. SUBSUELO ENCONTRADO

Los resultados de los sondeos realizados en el área donde se alojaría el túnel, demostraron la existencia de regiones con estratigrafía similar, las cuales se agruparon en 5 zonas principales.

Esta excavación se efectuó en suelos que variaron desde depósitos aluviales, caracterizados por su poca resistencia al corte y a su alta compresibilidad, hasta tobas volcánicas de capacidad de carga variable.

En la zona 1, se pudo determinar que en el techo del túnel existen arenas, limo-arenas y limos con arcilla, conteniendo en los costados y piso del túnel materiales arenosos y limo-arenosos. Además se obtuvieron pruebas de penetración estandar, siendo en promedio para arenas, limo-arenas y limos de 27 golpes lo cual significa que se trata de un material con una capacidad que implica un ángulo de fricción interna pequeño, que no significa otra cosa, que poca resistencia al esfuerzo cortante.

La zonas 2, 3, 4 y 5, se pueden agrupar en un solo inciso debido a que todas guardan mucha afinidad en lo que respecta al tipo de suelo por el cual atravesará el túnel, así como la profundidad a que se excavará.

En sí, el tipo de suelo encontrado está compuesto por arenas, limo-arenas, limo-gravas y limosas con muy poca arcilla. Sus características en promedio se pueden agrupar en el siguiente cuadro:

	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
W	37.5	37.5	37.5	37.5
N	40	43	45	40
Ø	20.13	30.20	30.40	20.15
qu/2	7.14	7.07	5.05	5.13
NAF	6.40	6.40	4.5	4.5
*P/C	16 M.	21 M.	19 M.	19 M.

\* Profundidad de la Clave

Como se puede notar, la capacidad de carga es alta y la profundidad de la excavación asegura que no se dañarán construcciones superficiales.

## 2.2. TRAZO

El trazo de recorrido que sigue la línea, obedece físicamente a factores de operación y eficiencia del transporte de los usuarios de acuerdo a los estudios de origen-destino y pocas veces el factor determinante es la Geotécnica.

Una vez solucionado el recorrido de la línea del Metro, se procedió a realizar el planteamiento preliminar del eje de trazo mediante una poligonal gráfica, llevada sobre planos fotogramétricos, tratando de colocar dicho eje en el centro aproximado de la calle o a cierta distancia de los paramentos. Esto permite colocar en forma semigráfica: la posición de los puntos de apoyo para las tangentes del trazo, el valor aproximado de las deflexiones, así como el planteamiento de las curvas entre los trazos rectos; y de esta manera proceder a la verificación de la Geometría Preliminar, que se refiere a localizar en el terreno, los puntos obligados del trazo, para que con estos datos se afine el proyecto calculando las curvas reales de acuerdo con medidas lineales y ángulos verdaderos, y así se proceda a la elaboración del proyecto definitivo.

Para el proyecto de perfil se llevó a cabo una nivelación de precisión sobrepuesta al eje de trazo y apoyada en bancos de nivel profundo, situados a lo largo del mismo. Esto fue con objeto de conocer los niveles reales del terreno y en base a esta información iniciar el proyecto del perfil apoyándose en los siguientes criterios.

- Pendientes Longitudinales máximas 7 ‰
- Pendientes Longitudinales mínima 0.1 ‰

### 2.3. CRITERIO DE DISEÑO

Uno de los criterios de valorar las presiones actuantes en las secciones de los túneles, antes y después de excavados ó antes y después de ser revestidos, es el método Emplírico o Semi-emplírico. Dichos valores podrán ser comparados con la información actualmente disponible, verificando que concuerden y recojan las experiencias de construcción y de las mediciones ejecutadas anteriormente.

El método Emplírico, tiene como fin, estimar las cargas exteriores que van a gravitar sobre el ademe, ya sea ésta, amporal o definitivo.

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

#### 2.3.1. METODO DE TERZAGHI

La concepción teórica de este método se basa, fundamentalmente, en el principio de arqueo de los suelos. Define la carga vertical del 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 en cierta medida, del estado de esfuerzos existentes en la masa de suelo, antes de excavar la sección del túnel.

La presión de este caso, es función de la geometría del túnel, de las propiedades mecánicas del material en la zona de arqueo y de la profundidad a la cual se encuentra el Túnel.





### 2.3.3. TEORIA DEL ARCO DE CARGA VIRTUAL

Partiendo de la base de que es posible realizar una excavación subterránea en cualquier clase de suelo o roca siempre y cuando ésta no exceda ciertas dimensiones, es de pensarse - que alrededor de la excavación, se genera de alguna manera - natural un mecanismo capaz de estabilizar la masa de material sin haberle colocado refuerzo interior o ademe.

El método simplificado, trata de definir dicho mecanismo natural de estabilidad a partir de las propiedades mecánicas del material y de las dimensiones generales de la excavación. Al presentarse desprendimiento de material en una excavación, el cual puede considerarse homogéneo, se advierte que la configuración tomada se asemeja a un arco; a este fenómeno tan común se le denomina Principio de Arqueo.

En esta teoría se considera que la presión ejercida sobre el arco de carga es distribuida hacia los lados de la excavación. El arco, que de manera natural se genera en la zona de suelo para estabilizar la excavación, es aquel que en el cual las deformaciones debidas a la presencia de esfuerzos inducidos, son mínimas.

Se considera de igual manera que los esfuerzos inducidos en el arco de carga están distribuidos uniformemente en todo su desarrollo.

A fin de que el arco de carga sea efectivamente el mecanismo estabilizador de la excavación, los máximos esfuerzos inducidos en su espesor, no debe de exceder la resistencia a la compresión de la masa en ninguna de sus secciones. Por lo tanto, queda definida la posición del arco de carga estabilizador.

Simultaneamente se pueden conocer los esfuerzos provocados por el peso total del subsuelo entre la superficie y el arco. Este peso es soportado por el arco y distribuido hacia los lados de la excavación.

En la Figura 3, se muestra lo dicho anteriormente.

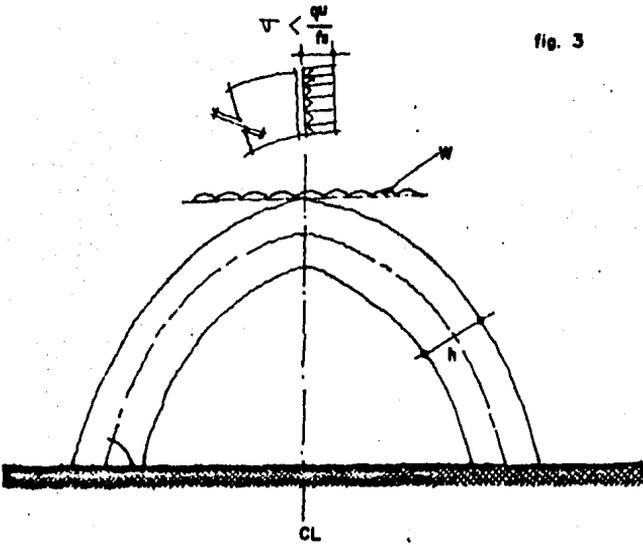
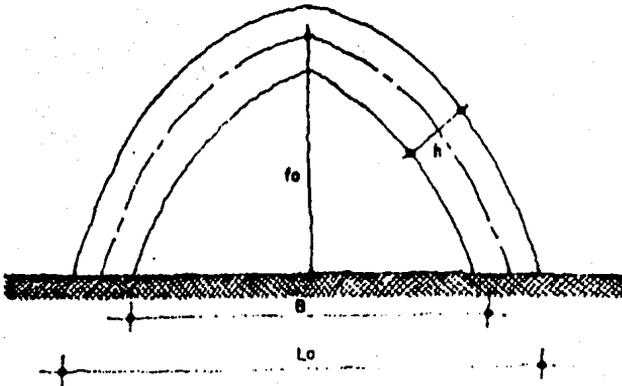


fig. 3



Una vez conocidas las acciones con cualquiera de las teorías antes expuestas, se procedió a dimensionar la sección del túnel, lo cual se realiza empleando la interacción suelo-estructural.

El diseño de las paredes del túnel, se realizó considerando un ancho unitario y suponiendo una losa rígida.

En el diseño de la losa de piso, esta se trató como losa plana, tomando como elementos de diseño, el peso propio del túnel y la reacción del suelo.

## 2.4. INSTRUMENTACION

### 2.4.1. OBJETIVO

El objetivo de esta actividad es conocer la magnitud y la variación de los esfuerzos y cargas inducidos por el subsuelo al revestimiento ya sea provicional o definitivo, su deformación, su distribución de presiones y su comportamiento a corto y largo plazo.

La instrumentación se deberá de colocar a lo largo de la línea de trazo de manera que puedan obtenerse resultados representativos de las diferentes estratigrafías por las cuales atravieza.

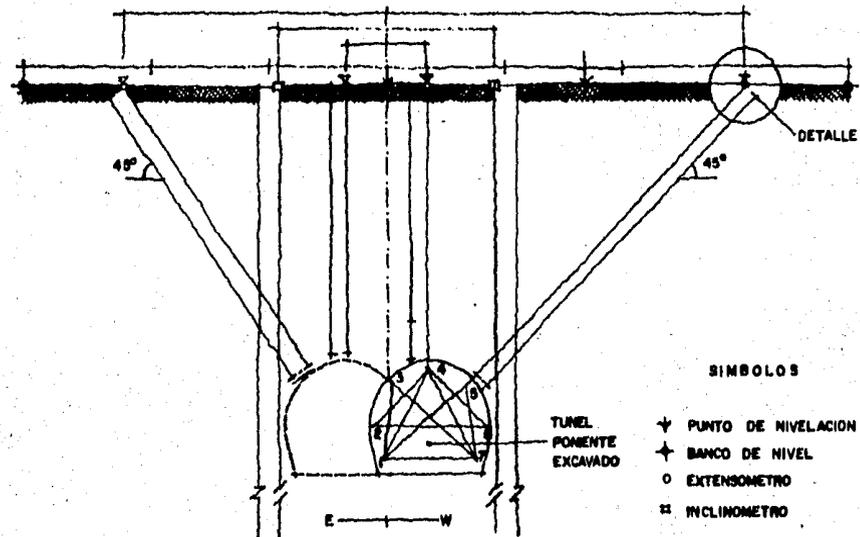
En la Ingeniería de túneles la instrumentación toma un papel importante, hecho por el cual mencionamos que en la mayoría de los túneles construidos en México, esta actividad no ha sido pasada por alto, como ejemplo podemos mencionar las lumbreras profundas (25 m) en las cuales generalmente se instalan 3 inclinómetros orientados radialmente, piezómetros abiertos Casagrande y bancos de nivel superficiales y profundos.

Se han instalado a lo largo de los túneles dispositivos para medir las variaciones del nivel piezométrico, tanto en los sistemas de bombeo, como en el túnel mismo, ya que las condiciones de estabilidad y de esfuerzos varían en la periferia del túnel; en combinación con esto, normalmente se colocan secciones instrumentadas con bancos de nivel para conocer los movimientos de la superficie.

Para que una instrumentación funcione, deben imaginarse previamente los mecanismos de falla, calcular el orden de las deformaciones o desplazamientos esperados e identificar las variantes del procedimiento constructivo que las producen.

SECCION TIPICA DE INSTRUMENTACION EN TUNELES

fig. 4



OBRA: METRO LINEA 7  
 TRAMO: ESTACION AUDITORIO  
 ESCALA 1:250

METRO LINEA-7  
 SECCION DE INSTRUMENTACION TIPO  
 EN ESTACION

De la medición de convergencia en puntos fijos del interior del túnel, se obtienen buenos resultados que reflejan fácilmente el comportamiento del suelo con el tiempo.

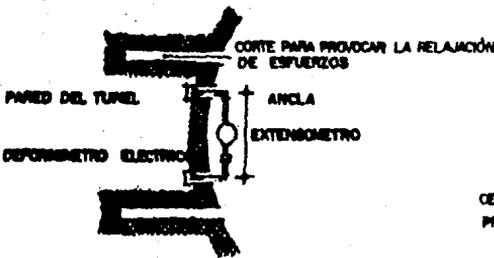
En resumen, para construir lumbreras y túneles es necesario disponer de instrumentos que permitan detectar a tiempo cualquier anomalía o inicio de falla de la estructura. - Entre más sencillo sea el instrumento, mayor será la confiabilidad. Los mejores resultados en el Drenaje Profundo, -- por ejemplo han sido los bancos de nivel superficial y profundo, así como piezómetros Casagrande y mediciones de convergencia.

#### 2.4.2. INSTRUMENTOS UTILIZADOS

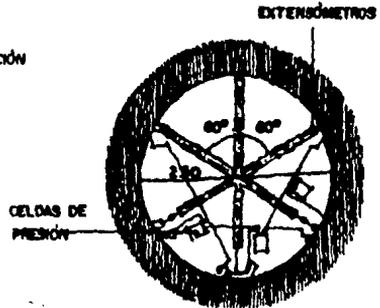
Los instrumentos que se utilizan a saber son:

- a) Extensómetro.- Estos proporcionan las deformaciones - antes, durante y después del proceso de excavación y - se colocan sobre el túnel en su perforación vertical y en dos perforaciones de  $45^\circ$ , con cuatro anclas en cada perforación.

FIG. 8

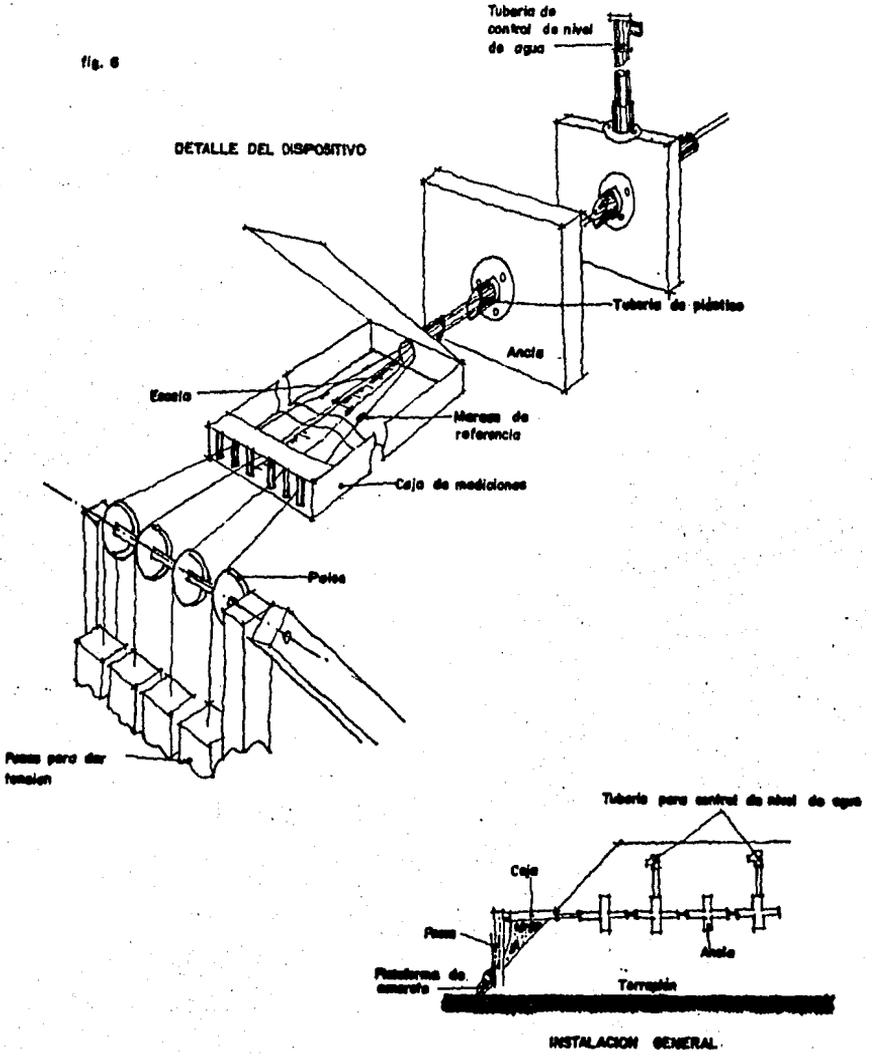


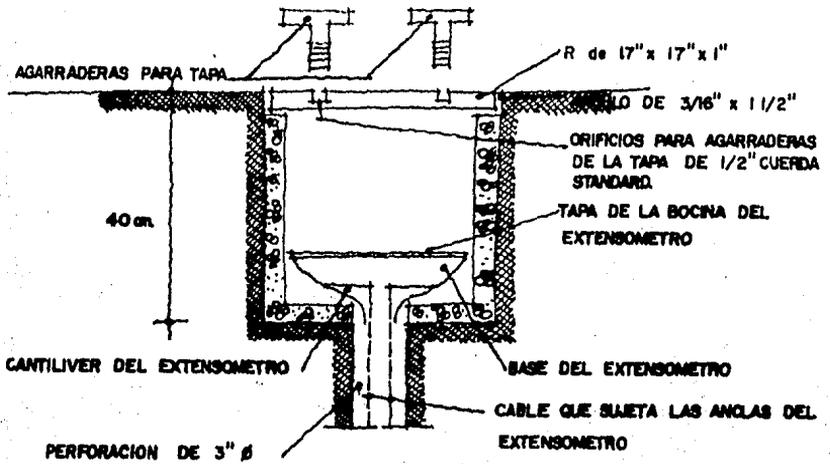
DISPOSITIVO PARA MEDIR PRESIONES EN LA SUPERFICIE EXPUESTA DE UN TÚNEL.



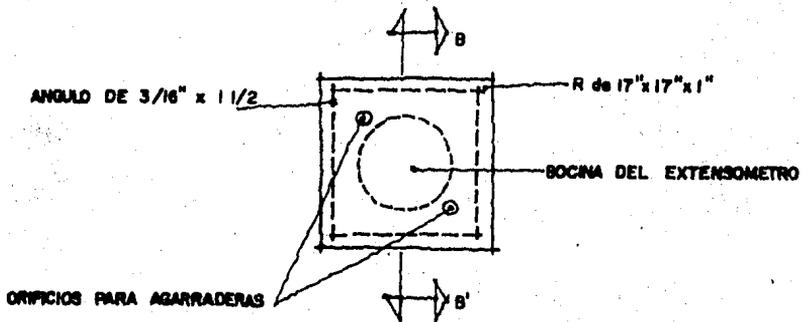
DISPOSICIÓN RADIAL DE INSTRUMENTOS PARA MEDIR DESPLAZAMIENTOS

fig. 6





CORTE B-B'



PLANTA DE LA INSTALACION

fig. 7

b) *Inclinómetros.* - Su finalidad es medir los movimientos horizontales en la zona inmediata a la excavación del túnel para la cual se instala uno a cada lado de éste.

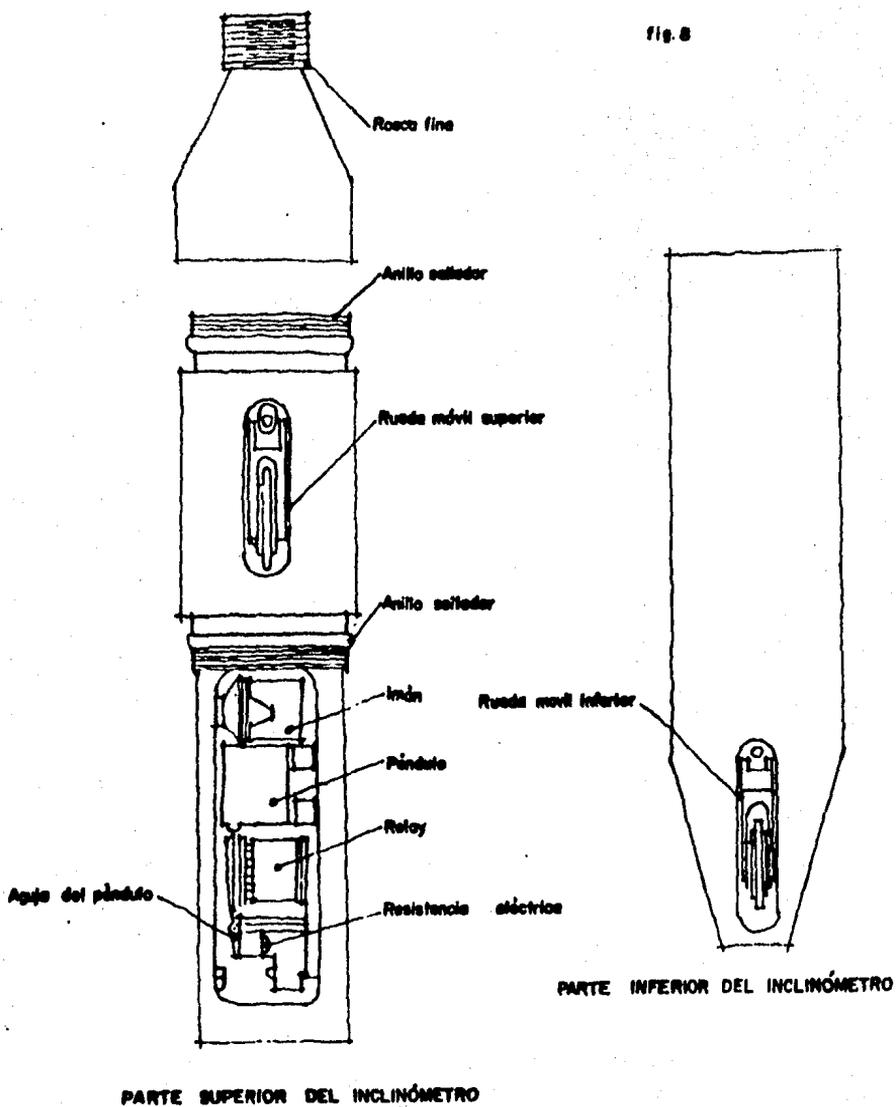
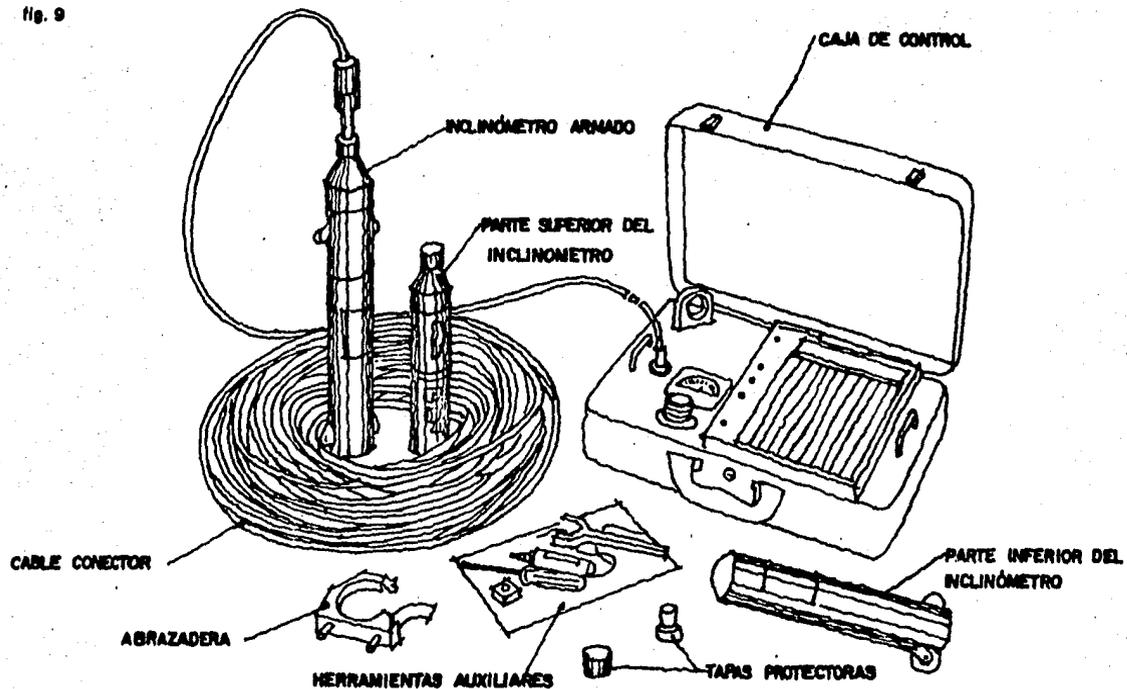
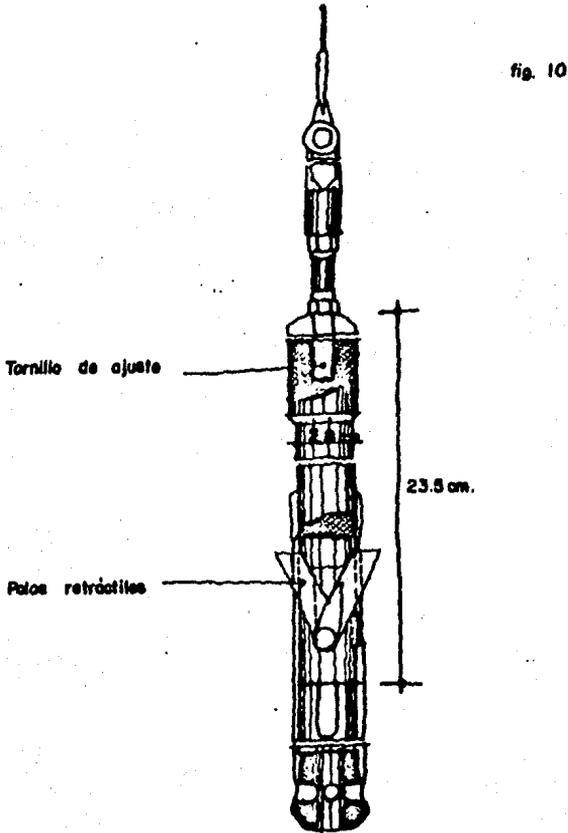


fig. 9



INCLINÓMETRO COMPLETO

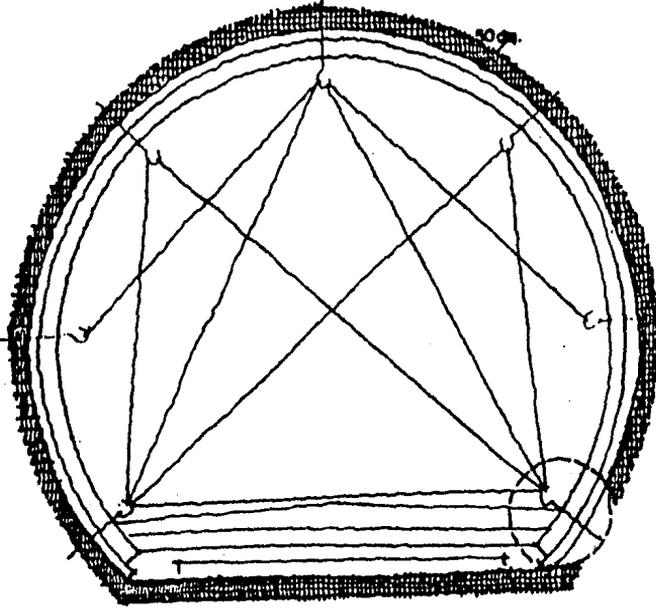
- c) Bancos de nivel superficial.- Se emplean para registrar los asentamientos del subsuelo en las áreas adyacentes a la excavación del túnel. Los bancos se instalan en la superficie, a lo largo del túnel en secciones transversales al eje del mismo, con una separación variable que fluctúa entre 100 y 300 m., así como en los lugares donde se esperan mayores problemas.



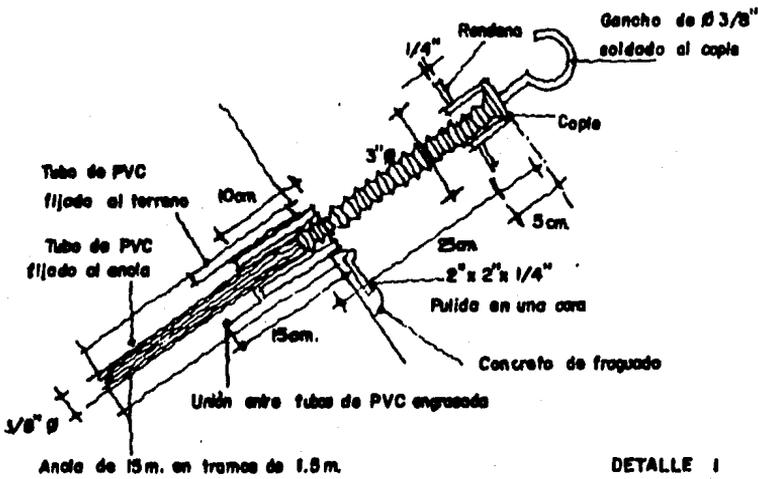
TORPEDO PARA MEDIR ASENTAMIENTOS

- d) Secciones de Convergencia.- Su función es medir las deformaciones interiores durante la excavación de la sección.

Fig. 11



DETALLE I

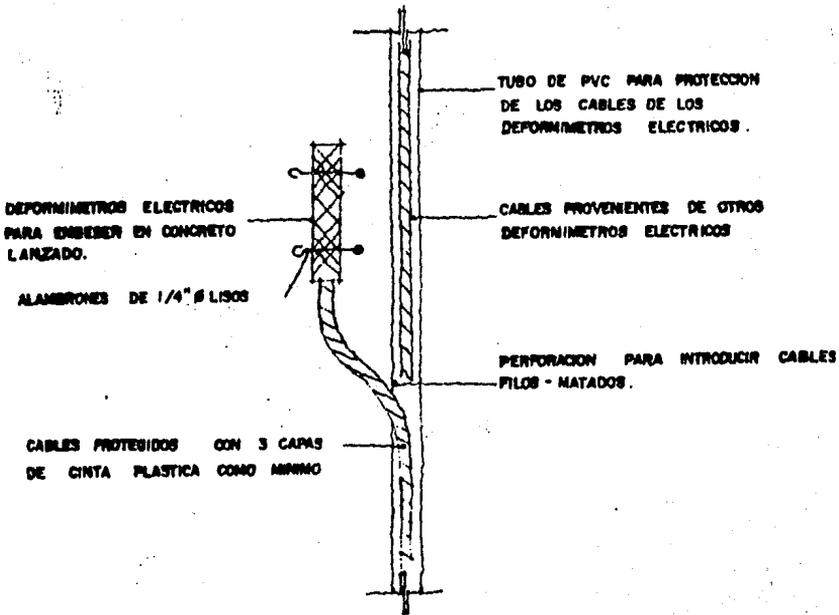


DETALLE I

- e) *Deformímetros eléctricos embebidos en el concreto.* - Con estos dispositivos se busca medir las deformaciones en los revestimientos provisionales y definitivos, provocadas por la acción de las presiones -- del subsuelo. Así mismo, estos instrumentos determinan, indirectamente, el esfuerzo actuante en la -- sección donde se encuentran colocados.

DEFORMIMETRO

fig. 12



6) Celdas de presión embebidas en el concreto.- El objeto de este instrumento es medir la presión que aparece entre el revestimiento provisional y el definitivo. - Para este fin, se colocan tres celdas en el contacto - entre los dos revestimientos además, se colocan dos - celdas en el concreto lanzado del marco que forma el - revestimiento provisional. Las mediciones de este ins- trumento, así como las correspondientes a los deformat- metros eléctricos, deben tener la siguiente periodicidad:

- 1.- Diariamente durante los 15 días siguientes a su - colocación o hasta que el revestimiento quede ale- jado 3 diámetros del túnel de la zona de instrumen- tación.
- 2.- Semanalmente durante los siguientes 15 días a los- anteriores o hasta que el revestimiento de interés avance otros 3 diámetros del túnel.
- 3.- Quincenalmente durante 15 días siguientes o 3 di- metros más de avance del revestimiento.
- 4.- Mensualmente hasta que el proyectista indique sus- pender las mediciones.

En la Figura 13, se muestran las Celdas de presión.

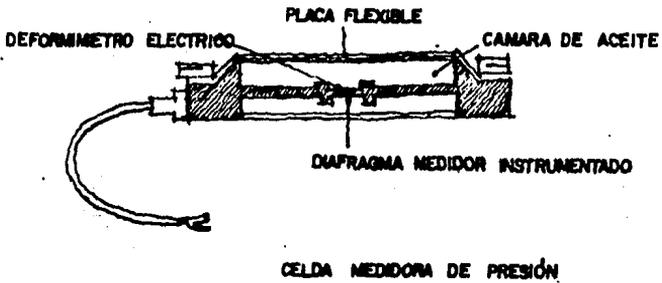
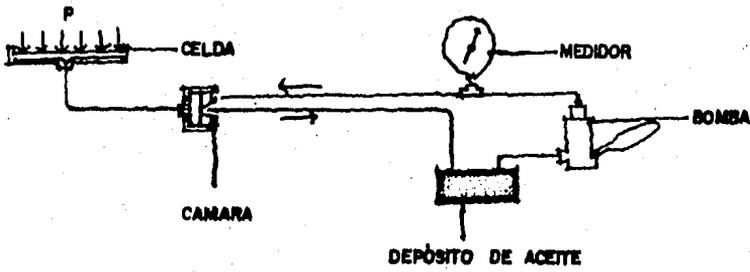


fig. 13

CELDA DE PRESIÓN HIDRÁULICA  
A CONTRAPRESIÓN.



Es conveniente mencionar que los instrumentos antes ci-  
tados, deberán de ser colocados por personal especializado-  
recibiendo toda la ayuda del constructor.

Estos instrumentos deben ser cuidadosamente vigilados-  
durante las labores de lanzado y colado de los revestimien-  
tos de la zona en que se ubique; se colocarán los deformíme-  
tros sobre la primera capa de concreto lanzado del revesti-  
miento provisional cuando este fresco, se introducirán los-  
alambrones para sujetar el deformímetro hasta cubrielo to-  
talmente, no se deberá lanzar directamente sobre los defor-  
mímetros; el concreto del revestimiento definitivo colocado  
sobre los instrumentos se compacta utilizando un vibrador -  
de laboratorio.

#### 2.4.3. INTERPRETACION DE RESULTADOS

El personal asignado para recopilar los datos obteni-  
dos de los instrumentos, deberá poder interpretar los regis-  
tros de las mediciones a fin de separar solo la magnitud de  
los parámetros que se especifique medir. La interpretación  
global solo será llevada a cabo si el proyectista y el ins-  
trumentista trabajan de común acuerdo para lograr una com-  
paración entre las magnitudes predichas en el análisis y el  
diseño con aquellas registradas por las mediciones.

Todas las mediciones deben reportarse en forma gráfica  
relacionando los parámetros medidos con el tiempo, en cada-  
sección de instrumentación.

## 2.5. ASPECTOS TOPOGRAFICOS

Con objeto de observar los efectos del túnel, debido a la implantación de vía condicionada por los gdlibos permisibles, la presencia de curvas horizontales y verticales, así como los problemas propios de la excavación de túneles, fue necesario implementar un control riguroso de la Topografía, con la intervención del proyectista, el constructor y el supervisor de la obra.

El proyectista, proporcionó el trazo de cada una de las lumbreras, procediendo a verificarlo mediante una poligonal cerrada.

Una vez terminada la excavación de cada lumbrera, se bajan los ejes de la misma hasta el nivel del piso mediante oculares acostados. Debido a la dimensión pequeña de la tangente inicial, cuando se dispone de un trazo suficientemente largo del túnel, se utiliza el Giróscopo para corregir el rumbo, en su caso.

En cada Etapa de la excavación, se procede a controlar el trazo y el nivel marcándolos en el frente de la sección a excavar. Acto seguido, se hace un seccionamiento transversal, a partir del cual se determinan las zonas que requieren recortarse para alojar el revestimiento definitivo.

CAPITULO 3

PROCESO CONSTRUCTIVO  
DEL TUNEL

### 3.- PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL

#### 3.1. LUMBRERAS

Las lumbreras o accesos, consisten en pozos verticales, son obras complementarias que constituyen una forma fácil y segura de llegar al nivel donde se iniciará el túnel, además permiten la introducción de los equipos y materiales necesarios para su construcción, así como la extracción de los materiales producto de excavación. El número de ellas depende de la velocidad a la cual se quiera realizar la obra y a las interferencias que puedan tenerse. En la Línea 7 del Metro se tienen lumbreras distanciadas aproximadamente 500 ms, una de otra con un diámetro de 10.20 ms.

El procedimiento constructivo que se utilizó en la construcción de las lumbreras de la Línea 7, es uno de los llamados métodos tradicionales, el cual a continuación se mencionará:

1. Construcción del Brocal.- El brocal de la lumbrera es una estructura de concreto armado, que cumplirá varias funciones en la obra, tales como: el servicio de guala en la perforación de la lumbrera y como banco de nivel; proteger y sostener los bordes superiores de la excavación; proporcionar un piso de operaciones en la boca de la lumbrera; así como también una superficie adecuada para el apoyo de la torre de manteo en la cual se efectuará el montaje del mecanismo de rezaga, del cual forma parte.

El Brocal esta formado por dos partes: una horizontal llamada Alero y otra vertical llamada Faldón, Este se construirá una vez que sobre el terreno se haya definido el trazo de la lumbrera, se excavará a mano o con maquinaria hasta la profundidad de proyecto y un ancho de alero también fijado en el proyecto, posteriormente se procederá al armado, cimbrado y colado de ambos.

En el caso de la Línea 7, las dimensiones del alero y del faldón son 2.0 m. y 2.50 m. respectivamente.

La rama horizontal del brocal (alero) constituye una pequeña losa, la cual servirá para que la máquina de excavación pueda rodar libremente sin peligro de que se presente algún caldo en la superficie de la lumbrera.

2. Excavación y Construcción de la Lumbrera.- Una vez que el brocal ha alcanzado su resistencia de proyecto se estará en condiciones de iniciar la excavación para la construcción de la lumbrera.

La excavación se hará por medio de tramos de 2.0 m. de profundidad; una vez alcanzada dicha profundidad se procederá a colocar una estructura de contención formada por concreto lanzado y malla electrosoldada del tipo 6X6 - 6/6 y con un espesor de 15 cm.

Las características y propiedades del concreto lanzado se indicarán más adelante.

3. Construcción de la Losa de Piso y Ademe definitivo. Una vez alcanzada la profundidad de proyecto, se procederá a colocar inmediatamente una planilla de concreto pobre de 22 cm. de espesor; una vez que éste haya fraguado, se iniciará el armado y colado de la losa estructural con el muro de ademe definitivo; el espesor de la losa de piso será de 60 cm.

Después de 36 horas de colada la losa, se iniciará la colocación del ademe definitivo, el cual consiste en un muro de concreto armado colocado con cimbra convencional o deslizable.

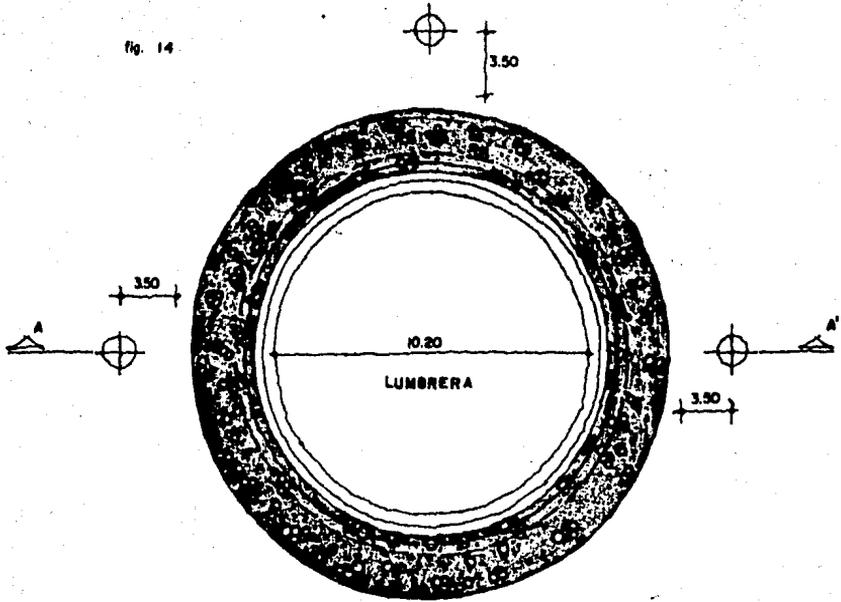
4. Colocación del Revestimiento definitivo.- Para llevar a cabo la colocación del revestimiento definitivo, se utiliza el método de cimbra deslizante, el cual se menciona a continuación:

Se utilizan 12 gatos hidrúlicos de 2 toneladas cada uno los que se accionan mediante una bomba de aceite, cuya presión se obtiene de un motor especial acoplado a ella. La forma de accionar los gatos para ir elevando las tuberías donde se mantiene la cimbra es la siguiente: Al inyectar la bomba el aceite a presión, este hace funcionar en el gato el mecanismo de mordazas de que está constituido, una mordaza superior y otra inferior, las cuales aprisionan la tubería, haciendo que la inferior corra hacia arriba arrastrando consigo la línea de tubería, al mismo tiempo, la mordaza superior se abre para cerrarse inmediatamente después de dejar de aplicar el aceite a presión, volviendo entonces la mordaza de la parte inferior a su lugar, pues en ese momento esta se abre y cae en su sitio original.

Cada uno de los gatos, está dotado de una válvula mediante la cual se permite operarlos independientemente; con una presión de 120 a 150 kg/cm<sup>2</sup>, siendo el avance de ellos, de 1/8 pulgada por cada bombazo.

Por último, al terminarse el colado se procederá a inyectar los lugares donde existen filtraciones de agua, dejando la lumbrera lo más impermeable posible.

Fig. 14



PLANTA DE UNA LUMBRERA

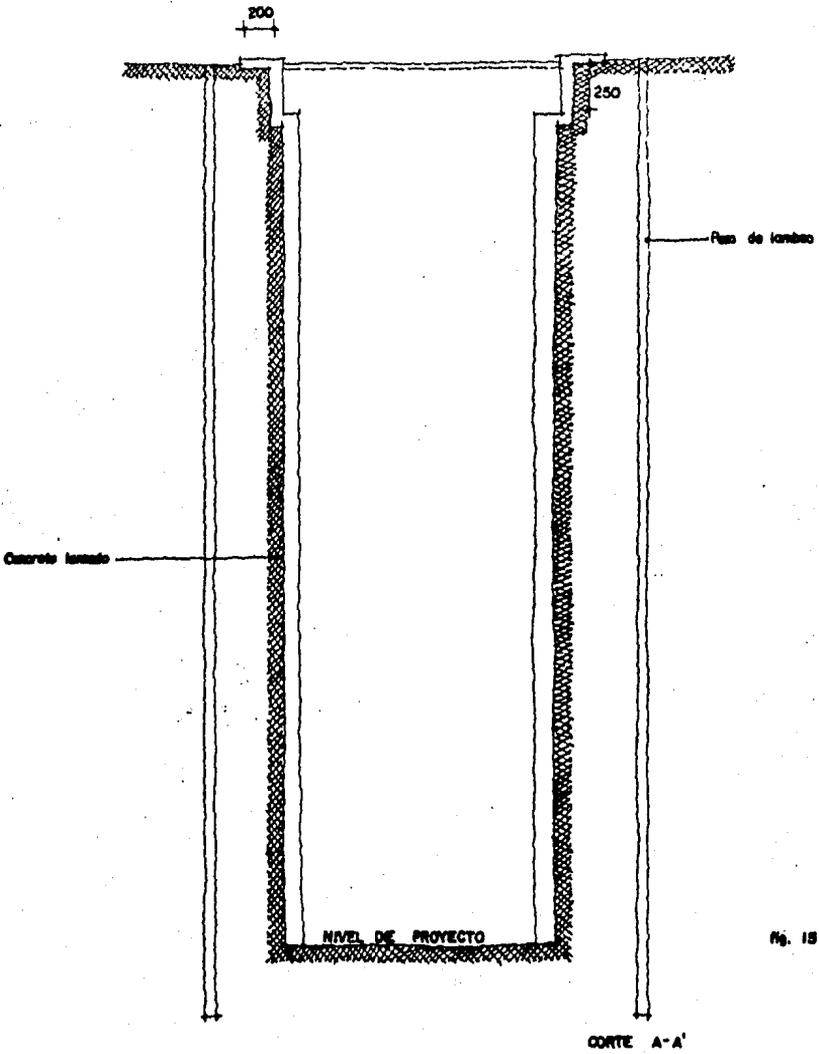


Fig. 15

### 3.2. CONSTRUCCION DEL TUNEL

#### 3.2.1. TUNELES DE CONEXION

Debido a que en la mayoría de los casos, el eje del túnel coincide con la vialidad superficial, fue necesario desplazar las lumbreras, lo que dió lugar a la necesidad de construir túneles de conexión perpendiculares a la línea del Metro.

En la intersección de ambos túneles se provoca una discontinuidad, que forma una zona de encapillado la que amerita un procedimiento cuidadoso. Se vió en la práctica la conveniencia de que la clave del túnel de conexión estuviera a mayor altura que la correspondiente al túnel de tramo o de estación. El ataque del túnel se inicia con un emportalamiento en la intersección con la lumbrera, colocando en una ranura perimetral una trabe de borde de concreto reforzado, así como anclas de fricción en la parte superior del portal. A continuación se describen los pasos que deben seguirse para la colocación de las anclas de fricción:

a) Se realizaron perforaciones de  $1\ 1/4''$  de diámetro en la parte media superior de la sección del túnel. Estas perforaciones servirán para alojar las anclas, se harán a cada .75 ms. de separación con una profundidad de 3 ms., se colocarán del perimetro de la excavación a .20 ms. de distancia y con una inclinación de 15 grados respecto al eje del túnel. El número mínimo de anclas que se colocarán será de 11.

b) Una vez realizadas las perforaciones se procederá a inyectar con una lechada en una proporción de dos partes de cemento por una de agua y a una presión de 4 kg/cm<sup>2</sup>.

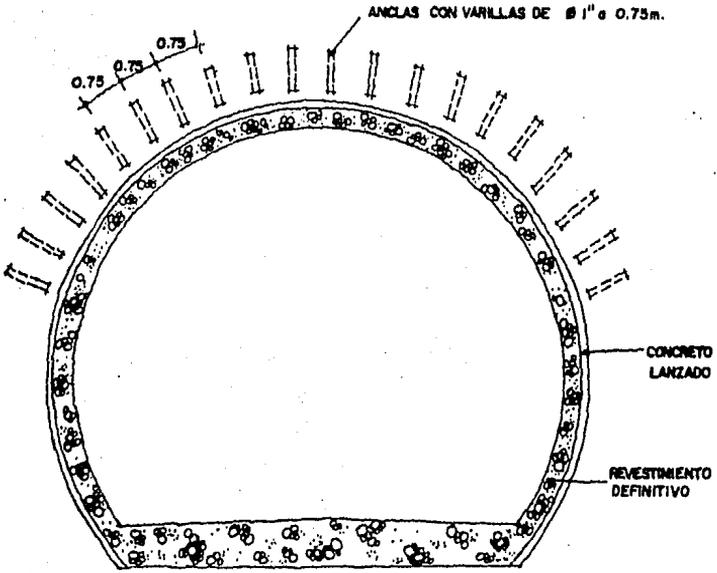


Fig. 16

CORTE TRANSVERSAL

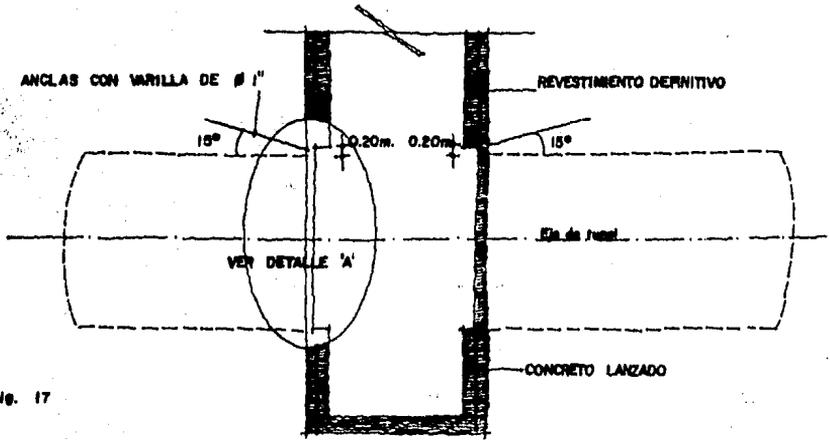


Fig. 17

CORTE LONGITUDINAL

c) Cuando se hayan colocado las anclas, se procederá a descubrir dentro del revestimiento definitivo de la lumbre-ra al área correspondiente a la acción del túnel, una vez des-cubierta esta área, se construirá la trabe de borde en todo el perimetro del túnel cuyas medidas son de 40 cm. de peralte por 80 cm. de profundidad.

El siguiente paso será el inicio de la excavación del túnel, el cual dependerá de: las características del suelo en-que se realice, la importancia de las deformaciones en la su-perficie, la función que tendrá la obra terminada y el inter-valo de tiempo que se disponga para la construcción de la obra.

### 3.2.2. CONSTRUCCION DEL TUNEL UTILIZANDO ESCUDO

La excavación del túnel por medio de Escudo (máquina perforadora de túneles) se realizó en la zona 1 que, como se vió en el capítulo anterior, es una zona caracterizada por el po-co techo en relación al diámetro del túnel.

Si se tiene un techo pequeño, las deformaciones origina-das por el relajamiento de presiones por el material excavado provocan que el área de influencia de éstos afecte las cons-trucciones existentes en la superficie.

Los aspectos anteriores dan a entender que de haberse se-guido una excavación de túnel a la manera tradicional, se de-bería haber tomado estrictas medidas de seguridad, que ocasio-narían un lento avance de obra, por tanto se decidió usar un-escudo de frente abierto, el cual reduce la cedencia del mate-rial (deformaciones) amen de que controla el flujo del mate-rial hacia el túnel, ocasionado por la baja resistencia al corte del material.

Obviamente, dicho escudo debe estar capacitado para soportar el "Empuje Activo" del suelo.

Otras ventajas de utilizar el Escudo son:

- 1) La utilización del recubrimiento primario de dovelas - como definitivo.
- 2) Mayor seguridad en la construcción del túnel.
- 3) Mayor rendimiento en la construcción del túnel, con el consecuente menor costo.
- 4) Mayor limpieza en la realización de los trabajos.
- 5) Mayor control en la construcción del túnel por la sistematización y mecanización de los Escudos.
- 6) Mayor rapidez en la mezaga del material producto de la excavación.

Para poder lograr un rendimiento adecuado del Escudo, - se deberán tener resueltos los siguientes aspectos:

- 1) Haber elegido convenientemente el tipo de Escudo para - el suelo donde se construirá el túnel.
- 2) Contar con personal técnico adecuado que conozca el -- equipo a utilizar.
- 3) Haber resuelto el problema, tanto técnico como económico, de la separación del material producto de la excavación, del material que se utilice en el frente como estabilizador (en este caso concreto lanzado), y de la extracción de la mezaga.
- 4) Contar con un diseño adecuado de las dovelas que se utilicen como recubrimiento.
- 5) Implementar una adecuada fabrica de dovelas que tengan - todas las características que exija el diseño.

A continuación se mencionará brevemente el procedimiento constructivo:

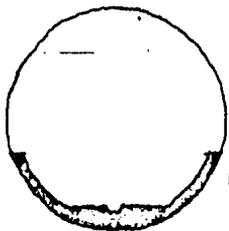
Previo al inicio de la construcción se construyó un atraque de concreto para apoyar los gatos hidráulicos que forman parte del Escudo y transmiten el empuje.

El Escudo va avanzando con incrementos de 80 cm. de longitud, una vez que este recorrió dicha distancia, se excava el núcleo del túnel y posteriormente se coloca un anillo de dovelas dentro del faldón, que es la parte posterior del escudo de frente abierto.

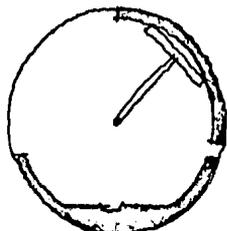
El anillo de dovelas está formado por tres de estos elementos, dos de clave y uno de piso con un ancho de .75 ms y un espesor de .25 ms. Las dovelas de clave son idénticas, mientras que la dovela de piso de rodamiento a los procesos de construcción, además cuenta con una canaleta para el manejo de las filtraciones dentro del túnel.

En el siguiente avance del escudo, queda el anillo de dovelas, en la zona del faldón, en contacto con el terreno y se expande con gatos hidráulicos para garantizar un contacto adecuado.

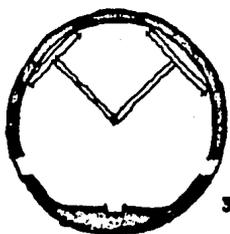
En la Figura 18, se muestra el procedimiento para la colocación del anillo de dovelas.



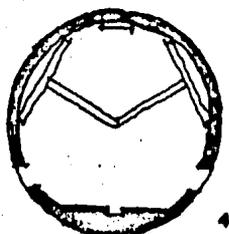
COLOCACION DE LA DOVELA 'C'



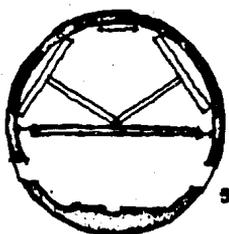
COLOCACION DE LA DOVELA 'A'



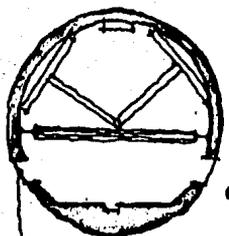
ERECCION DE LA DOVELA 'B'



COLOCACION DE LA PLACA EN LA CLAVE



COLOCACION DEL PUNTAL HORIZONTAL



ZONA PARA COLOCAR LOS BATOS DE EXPANSION

Fig. 10

### 3.2.3. CONSTRUCCION DEL TUNEL UTILIZANDO ESCUDO

Como se vio en el capitulo anterior, la capacidad de resistencia al esfuerzo cortante del subsuelo encontrado en las zonas 2, 3, 4 y 5 es la suficiente como para que este ayude a su propia estabilidad. Asi mismo, se pudo notar que la profundidad de construcción del túnel asegura que no se dañarán construcciones superficiales, por posibles deformaciones originadas en el área de construcción.

La afinidad en cuanto a características de estas cuatro zonas, permitió que se pensara en realizar el mismo método de excavación, con algunas variantes dependiendo del caso. Este método es el llamado de "Banqueo" o "Metodo Austriaco Modificado", del que a continuación, se hará un resumen de su proceso constructivo.

La excavación del túnel se hará a media sección, llevando un banqueo. Esta tendrá un soporte o ademe provisional a base de concreto lanzado (descrito posteriormente); una vez colocado dicho ademe se procederá a construir el revestimiento definitivo, el cual estará constituido por un muro de concreto hidráulico.

La secuencia de excavación y colocación de los revestimientos comprende un ciclo de trabajo con las siguientes actividades:

1. Excavación de la sección.
2. Extracción de la rezaga.
3. Colocación del concreto lanzado.
4. Colocación del revestimiento definitivo.

Una descripción del ciclo antes mencionado se expone a continuación:

1.- *Excavación de la sección.*- La excavación se iniciará en la mitad superior del frente de ataque, siguiendo la secuencia indicada en la Figura 19. Este ataque irá formando un "Banqueo" cuya longitud máxima de avance será de 2.0 m. La excavación del frente tendrá talud vertical y se hará con una maquinaria del tipo "Alpine Westfalia" o similar, dependiendo de las condiciones de estabilidad del terreno la longitud de ataque podrá incrementarse.

Excavado cada tramo de 2.0 m. de longitud se deberá colocar de inmediato el ademe provisional de concreto lanzado de .15 m. de espesor.

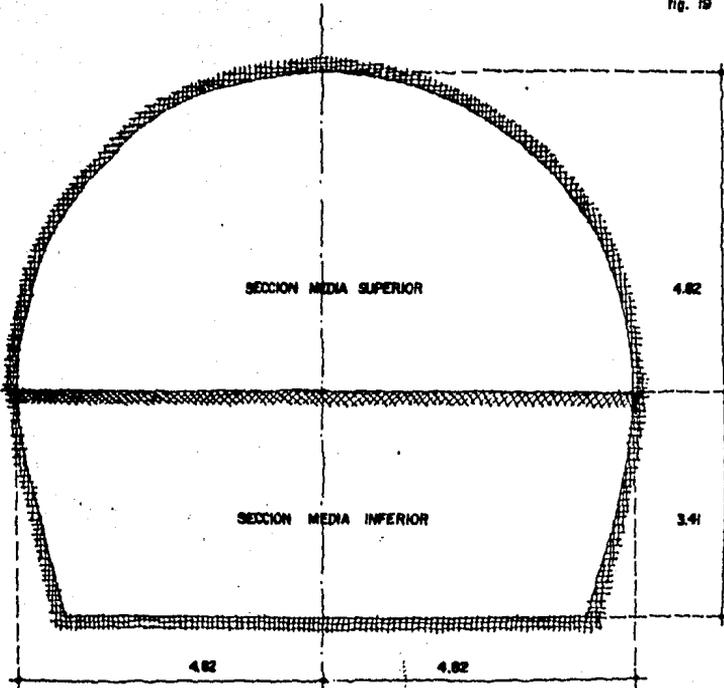
2.- *Extracción de la rezaga.*- Conforme se vaya atacando el frente de excavación el material de rezaga se irá depositando en camiones, directamente con un cargador frontal o mediante una tolva, los que transportarán el material hasta el frente de la lumbrera donde se procederá a vaciarlo en las tolvas receptoras o en su defecto, extraerlo directamente hasta la superficie mediante una draga o malacate.

3.- *Colocación del concreto lanzado.*- Esta actividad consiste en colocar el concreto en las paredes de la excavación como ademe provisional mediante máquinas llamadas Lanzadoras. Estas máquinas aplican el cemento y los agregados pétreos utilizando aire comprimido, inyectado a la máquina, y a través de una manguera con chiflón se inyecta el agua para formar la mezcla, a la cual se agregan aditivos acelerantes de fragua.

El proceso a detalle se explicará en el punto 3.3.1., de este capítulo.

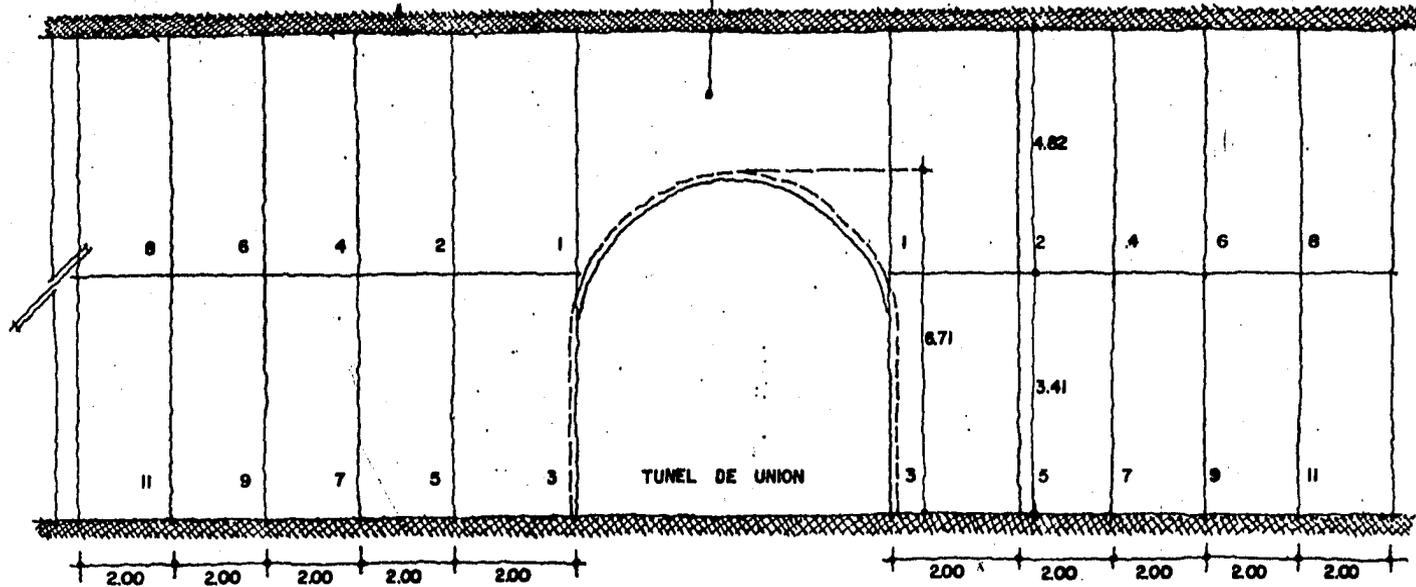
Conforme se vayan descubriendo tramos de 2.0 m. en cada una de las secciones de ataque, se procederá a colocar una maya de acero del tipo 6x6-6/6 y de inmediato se deberá lanzar una primera capa de concreto de .05 m. de espesor.

fig. 19



TUNEL DE METRO  
EN TRAMO

fig. 20



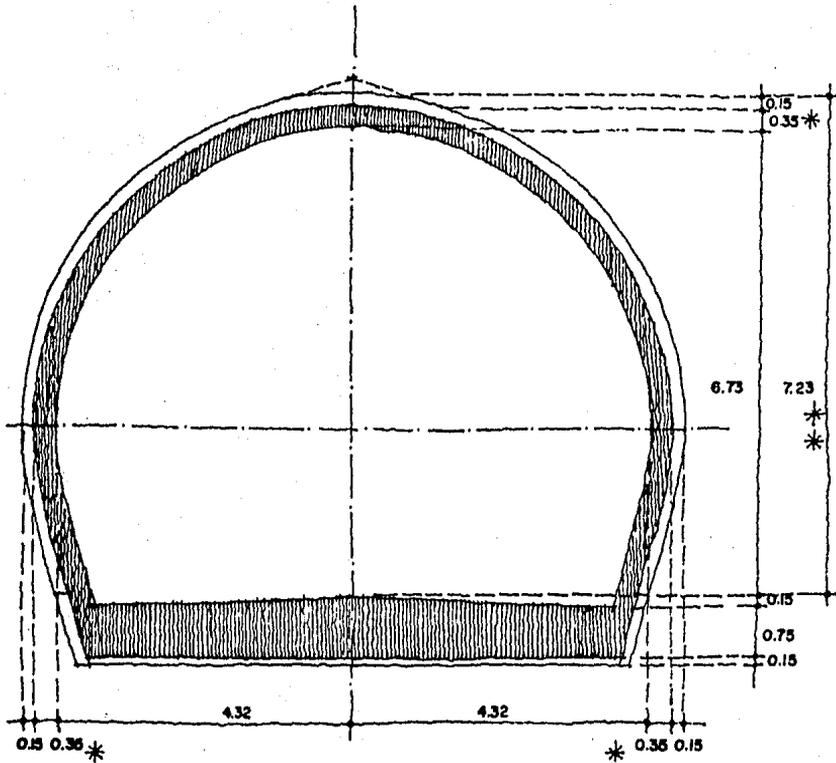
CORTE LONGITUDINAL

Después de que haya fraguado esta capa, se procederá a lanzar una segunda y última capa de 10 cm. de espesor, quedando así constituido el recubrimiento provisional a base de concreto lanzado de 15 cm. de espesor.

4.- Colocación del revestimiento definitivo.- Una vez además las paredes del túnel se iniciará el armado y colado de las guarniciones y posteriormente se procederá a colocar el revestimiento definitivo del resto del arco. El colado del revestimiento definitivo se realizará mediante concreto lanzado o con cimbra jumbo metálica.

Se recomienda que el recubrimiento definitivo del túnel se lleve 200 m. atrás del frente del ataque.

El colado de la losa de piso se realizará al final, de tal manera que no haya interferencia con el sistema de transporte de la rezaga. Antes de iniciar la construcción de la losa de piso, se deberá colocar una plantilla de concreto --- pobre de 10 cm. de espesor.



\* EN CASO DE REQUERIR MARCOS ESTE ESPESOR SERA DE 0.45 m.

fig. 21

\* ASI MISMO ESTA ALTURA SERA DE 7.504 m.

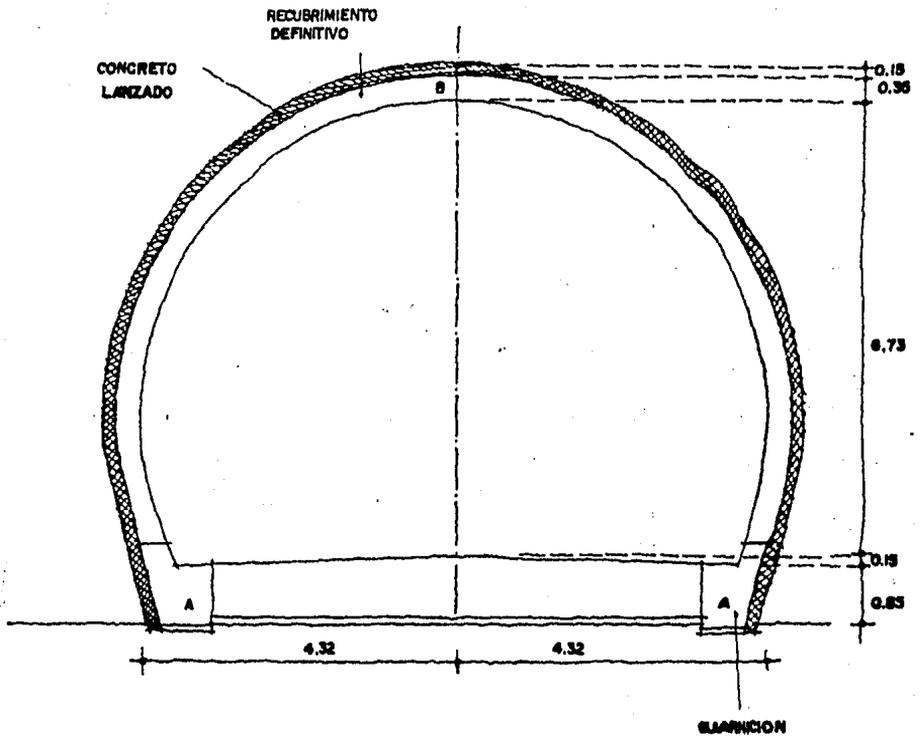


Fig. 22

### 3.3. ASPECTOS PARTICULARES

#### 3.3.1. CONCRETO LANZADO

El concreto lanzado es empleado en toda la construcción de la Línea 7, tanto en lumbreras como en túneles de tramo y estaciones, motivo por el cual presento el siguiente panorama:

El concreto lanzado se define como "Mortero o concreto-conducido a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad contra una superficie determinada".

La función que cumple el concreto lanzado, es como soporte y proyección a una excavación subterránea, las cuatro funciones más aceptadas son:

- 1) El concreto lanzado se introduce con fuerza en las juntas abiertas, las fisuras y las irregularidades de la superficie de la roca, cumpliendo, en esta forma la misma función de liga que el mortero en un muro de mampostería.
- 2) El concreto lanzado impide la filtración del agua a través de las juntas y de las fisuras en la roca y, por lo tanto, evita la socavación o erosión de los materiales de relleno de las juntas, así como el deterioro de la roca por el aire y el agua.
- 3) La adhesión del concreto lanzado a la superficie de la roca y su propia resistencia al esfuerzo cortante impiden, en una gran medida, la caída de bloques sueltos de roca, desde el techo del túnel.
- 4) Una capa continua de concreto lanzado (15 a 20 cm), constituye un soporte estructural, ya sea en forma de un anillo cerrado o de un elemento fijo en forma de arco.

Estos conceptos hacen referencia a la cualidad de soporte de presiones de aflojamiento, la técnica sueca, tiene la desventaja de que reside mucho en el juicio o criterio - del responsable del frente.

El procedimiento de concreto lanzado, utilizado para el revestimiento provisional, estaba compuesto por una mezcla de agregados algo húmedos, y cemento, con las cuales se alimenta a la máquina lanzadora, de donde se envía por medio de un chorro de aire a presión, a través de una manguera hasta la boquilla de expulsión.

El agua de hidratación se añade en la boquilla misma, inmediatamente antes de la expulsión.

La cantidad de agua la regula manualmente el lanzador, y los aditivos en polvo se añaden a la mezcla seca cuando esta es alimentada a la máquina lanzadora; si se usan aditivos líquidos, estos se mezclan con el agua de hidratación antes de llegar a la boquilla.

El procedimiento de mezcla seca, es el más extensamente empleado para aplicar concreto lanzado de agregado grueso en obras subterráneas.

La superficie donde se aplica el concreto lanzado es la descubierta por la excavación, debe de estar libre de trozos y fragmentos de suelos sueltos y de lodo, debe conservar la humedad natural del suelo o debe humedecerse con agua aplicada a presión de impacto nulo. No es recomendable usar el aire y el agua de la boquilla de lanzado para la limpieza de la superficie, es preferible usar un soplador con una niple tobera de 13 mm. (1/2") conectado a las líneas de aire y agua a presión. La presión se puede regular con las válvulas de las líneas.

Para la ampliación del concreto lanzado, el contratista debe contar con equipo especial y personal entrenado y capacitado en la ejecución de este tipo de trabajos.

Deben proveerse todas las instalaciones y equipos necesarios para poder colocar concreto en todo momento, la posición de la boquilla de lanzado, debe ser aproximadamente normal con respecto a la superficie de aplicación del concreto, la distancia de lanzado será entre 1.0 y 1.5 m.

El concreto lanzado terminado debe presentar un aspecto denso y uniforme. Si se quiere colocar más de una capa de concreto, esta debe aplicarse cuando la capa anterior haya endurecido lo suficiente como para no afectar su integridad y su adhesión al terreno.

Cuando las condiciones de humedad alrededor del concreto lanzado sean satisfactoriamente, no será necesario curar el concreto, pero si las condiciones son secas se hará el -- curado con agua 6 horas después de lanzado y se mantendrá -- húmedo durante un período no menor de 4 días.

El ángulo y la distancia de lanzado se puede variar para lograr un mínimo de "rebote" (desperdicio). Las superficies húmedas o las infiltraciones de agua aumentan el rebote y además es mayor, cuando la calidad del lanzado es pobre.

Las propiedades más importantes del concreto lanzado son:

- a) El esfuerzo a la comprensión, generalmente se especifica entre 250-350 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.
- b) El esfuerzo a la tensión es ligeramente superior a 50 kg/cm<sup>2</sup>.
- c) Adherencia superior al concreto normal.

- d) *Contracción al secado, ligeramente mayor que la del concreto ordinario.*
- e) *La durabilidad y porosidad son muy buenas.*
- f) *La deformabilidad es muy alta cuando se está aplicando pero similar a la del concreto ordinario cuando se ha endurecido.*
- g) *Resistencia a la tensión del orden del 20% de la resistencia a la comprensión, por lo cual puede fluir y flexionarse como una membrana estructural.*

*El control de calidad se llevará a cabo de la siguiente manera:*

*Por cada 50 m<sup>3</sup> de concreto lanzado aplicado en la superficie excavada debe extraerse una muestra, por medio de una artesa de madera. La artesa se mantendrá firmemente sujeta a una de las paredes de la excavación de manera que al lanzar el concreto sobre ella no se mueva o caiga, no se moverá antes de 12 horas de haberse lanzado.*

*A partir de entonces se trasladará al laboratorio en donde debe colocarse inmediatamente en las condiciones de curado requeridas a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  o sumergidas en agua a una misma temperatura, si se almacena en el laboratorio de la obra.*

*Estas muestras se ensayarán a comprensión simple a una edad mínima de 22 horas probando especímenes de 3" de diámetro y a la edad del concreto de 24 horas, el resto de la muestra se ensayará a las 70 horas, extrayendo 6 corazones y a 3, 7 y 8 días de edad del concreto.*



### 3.3.2. BOMBEO

Con el fin de disminuir la presión hidrostática en la clave de los túneles durante el proceso de excavación fue -- necesario abatir el nivel de aguas freáticas, esto se logró mediante la instalación de pozos de bombeo, para lo cual se realizó antes una prueba de bombeo, cuya función es determinar la distribución, la capacidad y la profundidad de operación de las bombas.

Realizada la prueba de bombeo y obtenido el abatimiento adecuado, se procedió a la instalación de los pozos de bombeo.

Los pozos se perforaron con broca tricónica con diámetro de 12" (304.8 mm.). En el lavado y limpieza de perforación se usó exclusivamente agua a presión.

El ademe definitivo de los pozos, estuvo constituido -- por tubos de fierro de 8" (203.2 mm) de diámetro, 1/4" (6.35 mm) de espesor, lisos hasta 15 m de profundidad a partir de la superficie natural y ranurados hasta la profundidad máxima de los pozos, aproximadamente 26 m. más a partir de los 15 m. de tubo liso,

El espacio anular entre las paredes del pozo y las paredes del ademe fue el siguiente: De la superficie del terreno natural hasta 12m, aproximadamente, se colocó material producto de la excavación, 2 m. más abajo, un sello constituido por una mezcla de cemento-bentonita en proporción 1:1 y a partir de este sello y hasta el desplante de los pozos, -- unos 27 m. se colocó un filtro para evitar el arrastre de -- finos constituidos por grava fina y arena limpia con granulometría entre 1/4" (6.35 mm.) y la malla No. 10 (1.68 mm) -- sin exceder del 30% en los extremos de estos tamaños.

Para establecer el flujo inicial hidrúlico en el pozo, después de colocar el ademe y el flujo, se sifoneó el interior del ademe mediante bombeo de aire, sistema (AIR LIFT).

Las bombas fueron del tipo pozo profundo sumergible con tazones de capacidad para extraer hasta 5 lt/seg. Las bombas operan tratando de dar la mayor continuidad posible al flujo de agua durante el abatimiento, controlando dicho flujo con las válvulas de salida.

El bombeo en un determinado pozo se suspende después de que el frente de avance del revestimiento primario en el túnel, para lo cual fue puesto en operación, ha pasado por el sitio donde está dicho pozo. Lo anterior no se aplica a los pozos adyacentes al túnel de conexión, ya que en este caso - el bombeo se suspende hasta la colocación del revestimiento primario en toda la extensión del túnel.

Para iniciar o continuar una excavación en el túnel deben operarse con tres días de anticipación todos los pozos - comprendidos en un área circular de 25 m. de radio, cuyo centro es el punto de intersección del frente de avance y el eje longitudinal del túnel en cuestión.

De acuerdo a lo anterior, hay pozos cuyo bombeo se inicia y suspende varias veces, dependiendo del número de áreas de influencia que los contengan. Una vez suspendido el bombeo, los pozos se protegen con tapas metálicas para evitar su destrucción.

Como algo muy importante, debemos tener en cuenta que - por ningún motivo se use lodo bentonítico para la perforación o ademado de los pozos, para no afectar la permeabilidad o estructura del subsuelo. En este caso, si el agua no es suficiente para estabilizar las paredes de la perforación se usa un lodo con un aditivo orgánico biodegradable, como - por ejemplo "REVERT" o similar.

Así mismo con objeto de conocer las pérdidas de presión hidráulica en las zonas adyacentes al túnel, se instalaron - piezómetros con los cuales se registran variaciones en las - cantidades de agua del subsuelo, que permitirán regular el - ritmo de bombeo.

### 3.3.3. VENTILACION DEL TUNEL Y MEDIDAS DE SEGURIDAD

Mantener ventilados los túneles durante la construcción de las obras subterráneas, es fundamental para la seguridad y buen desempeño de las labores de los trabajadores.

El abastecimiento de aire en los túneles debe ser suficiente para evitar acumulaciones de polvo, humo, vapores o gases, que puedan resultar peligrosos o perjudiciales. Este volumen de aire no debe ser menor de 5.7 m<sup>3</sup>/min por cada trabajador y la velocidad lineal del flujo de aire de 9m/min como máximo.

Para trabajar en óptimas condiciones dentro del túnel - es requisito indispensable, que los gases tóxicos contenidos en él, no excedan de los siguientes porcentajes:

Bióxido de Carbono	50	%
Monóxido de Carbono	1	%
Bióxido de Azufre	10	%
Aldehídos	0.7	%

Cuando la ventilación natural no sea suficiente para suministrar la cantidad de aire requerido, se hace uso de ventiladores. Esta ventilación se dispone de tal forma que se pueda invertir la dirección del flujo en caso de incendio u otra emergencia.

El contenido de oxígeno en el aire no debe ser menor de 19.5 % en volumen seco, la temperatura se mantiene entre - 15°C y 37°C y la humedad entre 10% y 95%.

Refiriéndose a las medidas de seguridad estos son importantes principalmente en este tipo de obras por el riesgo - que implica la construcción de túneles. Es esencial proveer al personal de equipo adecuado de protección, ya que el proceso de lanzamiento de concreto trae consigo muchos riesgos - para los operadores del equipo y para los que laboran cerca del mismo.

En el procedimiento de mezcla seca se incrementa el polvo en el túnel y se generan corrientes estáticas en la manguera y el chiflón, lo que puede generar una chispa que provoque, al cambiarse con los gases existentes, una explosión.

El manejo de materiales cáusticos provoca problemas químicos que en ocasiones desencadenan irritaciones de la piel, de los ojos, etc.

Para esto es indispensable que los trabajadores laboren (sobre todo los lanzadores), con careta, anteojos, casco y - si es preciso, protegidos de la piel con cremas a base de -- silicones para evitar irritaciones o quemaduras que puedan - resultar de consideración.

Entre las medidas de seguridad principales se tienen:

- Equipo de seguridad necesaria u
- La comunicación entre los trabajadores en el túnel.

Es evidente que en un trabajo, entre más seguridad se tenga, mayor será la eficiencia del mismo.

## CAPITULO 4

### CONTROL DE LA OBRA Y ORGANIZACION

#### 4.- CONTROL DE LA OBRA Y ORGANIZACION

##### 4.1. ORGANIZACION PARA LA EJECUCION DE LA OBRA

De acuerdo con el reglamento que rige a la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano (COVITUR), entre sus diversas funciones tiene la de construir las obras de ampliación del Sistema de Transporte Colectivo (METRO), así como las nuevas obras viales o modificaciones a las existentes.

COVITUR.- Llevo a cabo la Dirección, Coordinación y Control de todas las obras, en sus diversas fases de planeación proyecto y construcción. Para este efecto esta estructurada según se muestra en el organigrama de la Figura 23.

La Dirección de Construcción depende directamente de la Vocalía Ejecutiva y comprende las Gerencias de Ingeniería Vial, Obra Civil, Obras Electromecánicas, Obras Inducidas y Construcción de Estacionamientos, además cuenta con el apoyo de la Gerencia de Normas y Precios Unitarios.

En lo referente propiamente a la Gerencia de Obra Civil en la Figura 24 se indica su organización. Consta de tres órganos, dos de ellos ejecutivos, que son las Subgerencias de Obra Metro y de Obras de Vialidad, y uno de coordinación que corresponde a la Oficina de Control de Calidad.

De la Subgerencia de Obra Metro, parte una estructura de tipo piramidal, con Jefaturas de Residentes en campo, a las que se les asigna dependiendo de diversos factores, una línea completa o algún tramo estratégico, así mismo, debido al área tan extensa que cubre la obra, cada Jefatura de Residentes consta de Residentes Generales y Residentes de Frente. El Jefe de Residentes tiene la representación de COVITUR en calidad de Dirección de Obra, en el campo.

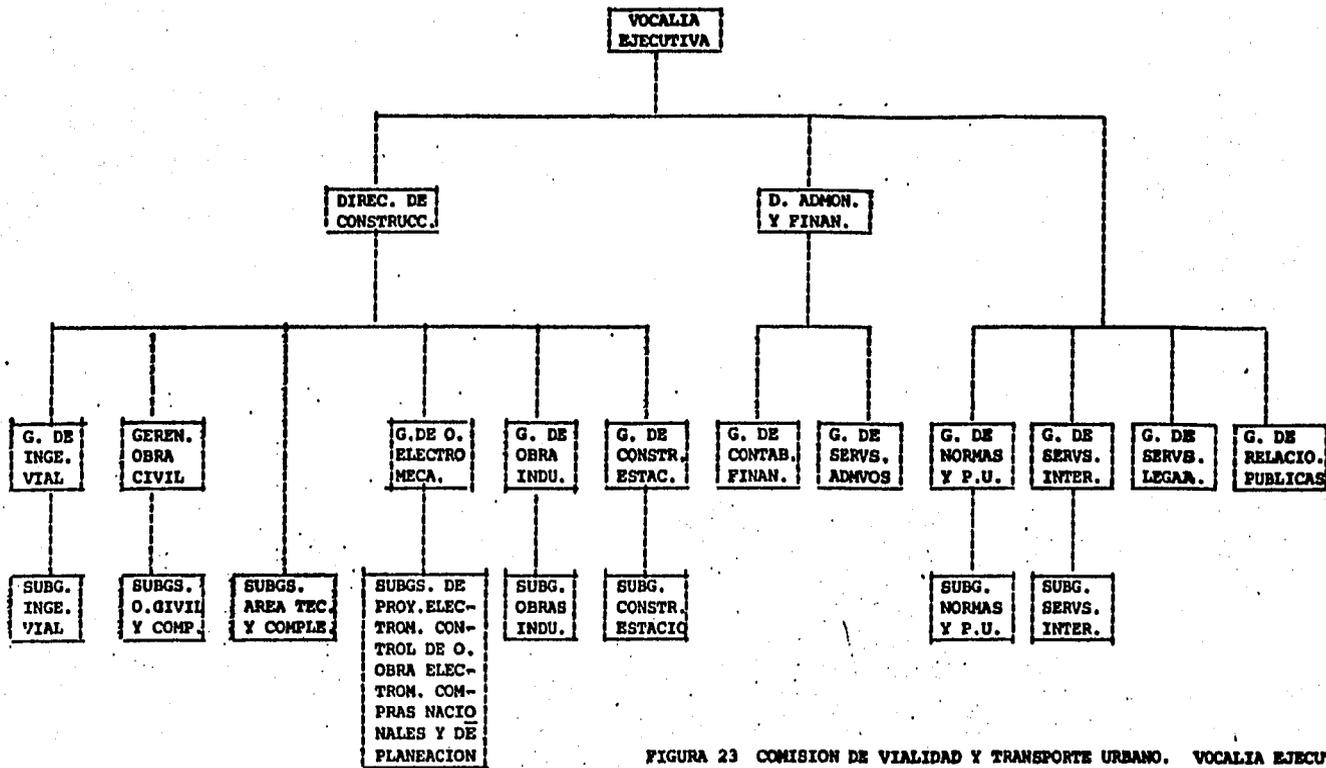


FIGURA 23 COMISION DE VIALIDAD Y TRANSPORTE URBANO. VOCALIA EJECUTIVA DE VIALIDAD.

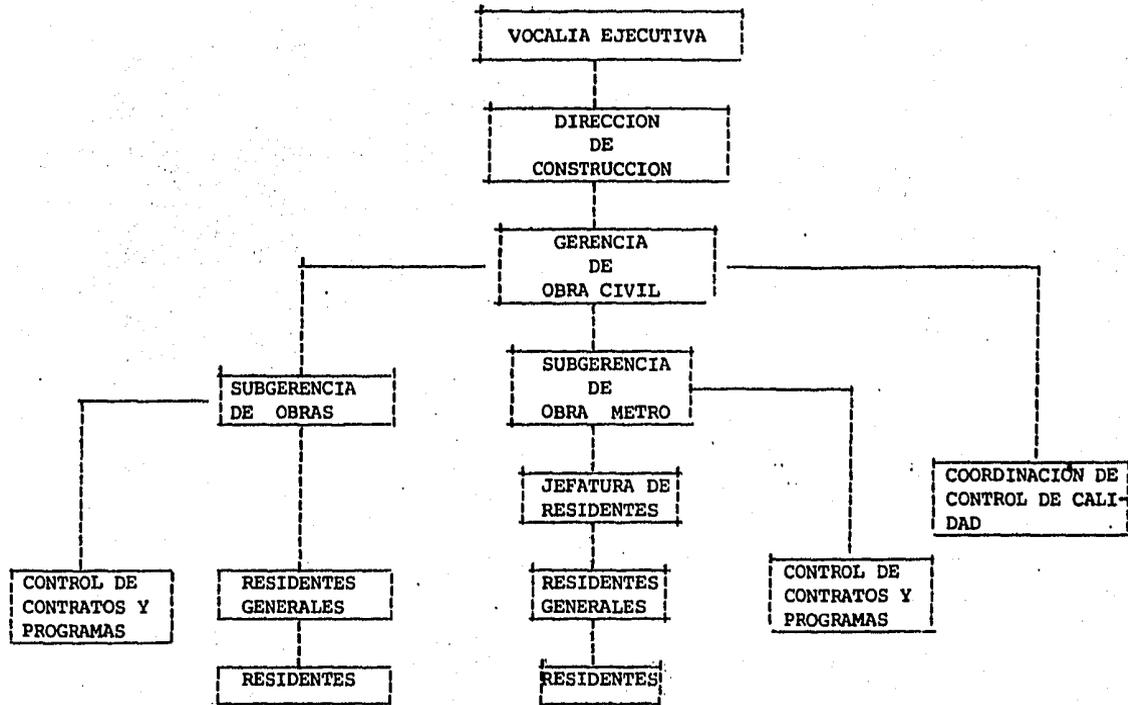


FIGURA 24 ORGANIGRAMA DE LA GERENCIA DE LA OBRA CIVIL.

Como parte integrante de las Subgerencias de Obra Civil existe un cuerpo de trabajo en las oficinas centrales de COVITUR, encargado de atender problemas específicos de administración de recursos, control de programas de obra, atención al público, etc.

Con objeto de llevar a cabo la realización física de las obras, COVITUR ha establecido una organización que, para el caso específico de las Obras Civiles METRO, se presenta en la Figura 25.

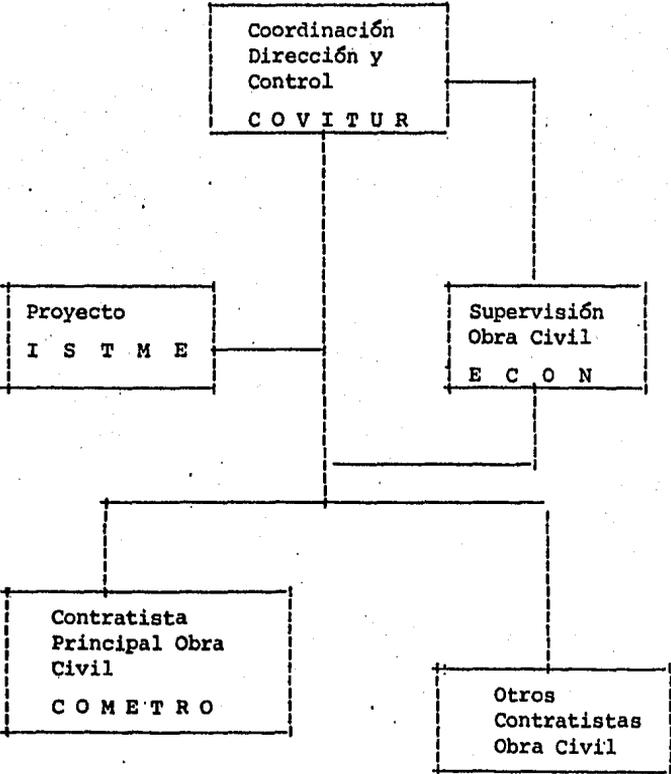


FIGURA 25 ORGANIGRAMA PARA LAS OBRAS DE AMPLIACION DE LAS LINEAS DEL METRO.

Este esquema muestra en términos generales, como están distribuidas las tareas de Dirección, Coordinación y Control, Supervisión y Ejecución de Obra. COVITUR encabeza la estructura. De acuerdo a políticas fijadas por el propio Departamento del Distrito Federal, COVITUR contrató externamente con empresas nacionales de reconocido prestigio, los servicios profesionales de proyecto y supervisión.

Ingeniería de Sistemas de Transporte Colectivo, S.A., (ISTME) tiene asignada la realización del proyecto de obra civil y electromecánica del METRO, las obras inducidas y las vialidades coincidentes.

La supervisión de la obra civil ha sido encomendada a Empresas Consultoras, S.A. de C.V. (ECON), que agrupa ocho compañías de Ingeniería. ECON también tiene a su cargo la cuantificación de la obra ejecutada, así como proporcionar los servicios de laboratorio de materiales para control de calidad y la actualización de los programas y avance de obra.

En la Figura 26 se muestra el organigrama de operación de la supervisión contratada, se han organizado en campo las llamadas Gerencias de Zona que operan en forma autosuficiente con los recursos necesarios para llevar a cabo las funciones indicadas en el párrafo anterior, cabe mencionar que corresponde a la organización propia de COVITUR en la obra de manera que cada Jefatura de Residentes tiene asignados los servicios de una Gerencia de Zona.

La ejecución de la obra civil corresponde a una contratista principal, Constructora Metro, S.A. de C.V. (COMETRO), consorcio de ocho empresas de construcción, para los trabajos complementarios tales como jardinería, señalamiento, rehabilitación de vías férreas, etc..., se ha acudido a contratistas especializados.

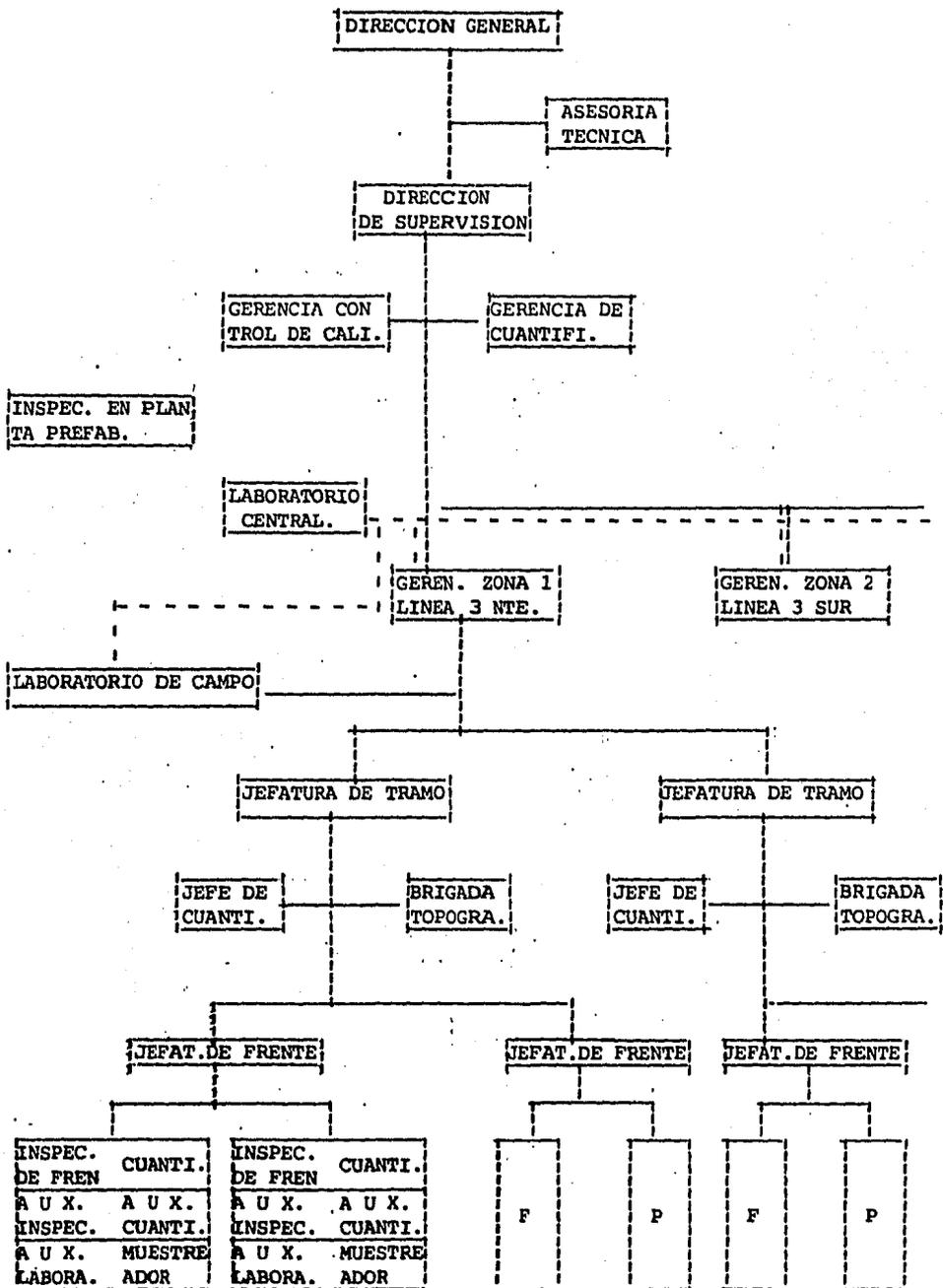


FIGURA No. 26

En la organización mencionada, COVITUR delega a la super-  
visión la responsabilidad y autoridad necesaria para desempe-  
ñar sus labores, mismas que se definieron con precisión al -  
iniciar actividades, mediante la implantación de un instructi-  
vo de operación, que se resume a continuación.

COVITUR, ejerce la Dirección, Coordinación y Control de  
construcción de la obra, mediante instrucciones contenidas en  
planos, especificaciones, escritos y programas, giradas a su-  
pervisión y consignados en la Bitácora de Dirección; esta Bi-  
tácora es también el documento oficial de comunicación COVI--  
TUR-ECON.

COVITUR, es la única facultada para llevar a cabo modifi-  
caciones a planos, especificaciones o programas,

La Supervisión se compromete a que la obra se realice de  
conformidad a los planos, especificaciones y normas técnicas-  
consignadas en los proyectos ejecutivos aprobados por COVITUR  
de acuerdo a los programas respectivos, queda facultada para  
dictar a la Constructora las disposiciones necesarias para -  
cumplir con dichos objetivos, en los términos señalados con-  
tractualmente,

ECON, es el conducto de comunicación directa entre COVI-  
TUR y el Constructor para todos los asuntos relacionados con  
la ejecución física del proyecto, a través de la Bitácora de  
obra.

#### 4.2. DIRECCION, COORDINACION Y CONTROL DE OBRA

Es conocido que debido a los índices de inflación que existen no solo en nuestro país, sino a nivel mundial, el factor decisivo para combatir el costo creciente de las obras es el tiempo, esto es especialmente importante para proyectos que involucran grandes inversiones y que requieran de plazos considerables de ejecución, independientemente del impacto social y político que suelen conllevar, aunque no sea cuantificable directamente.

Por esta razón, para las obras de ampliación del Metro, COVITUR ha acudido a un sistema dinámico de dirección, coordinación y control que minimiza el tiempo consumido para toma de decisiones, lo que se ha logrado mediante una comunicación sistemática, directa y completamente abierta entre las partes que intervienen; que permite la necesaria interacción entre ellas. Se efectúa una junta semanal para cada una de las áreas específicas de proyecto, construcción, programación, cuantificación, etc.,, levantando minutas escritas en las que se indican la lista de asistentes, los asuntos tratados, los acuerdos respectivos así como los responsables de implementarlos, llevando seguimientos de los mismos hasta lograr su cumplimiento,

La ampliación de las líneas del Metro obedece al desarrollo de la red con apoyo en el Plan Maestro de Transporte Colectivo aprobado por el Gobierno de la Ciudad de México, en etapas que dichas autoridades han fijado con base a prioridades, después de analizar diversas alternativas según su factibilidad y costo. Las diferentes etapas son aprobadas por el Consejo de COVITUR en función de los recursos disponibles.

Una vez definida la fase de planeación, COVITUR procede a ordenar la ejecución de los proyectos, estableciéndose su programa de entrega que sirve como punto de partida de los programas preliminares de construcción.

Semanalmente se tiene una reunión de coordinación de proyecto con la empresa encargada de realizarlo, con la presencia del Vocal Ejecutivo, el Director de Construcción y los Gerentes y Subgerentes de COVITUR, así como representantes del organismo encargado de la operación (Sistema de Transporte Colectivo, S.C.T.), la asesoría francesa SOFRETU, la Supervisión y el Constructor. Se revisan, de manera conceptual, los diseños propuestos, haciendo las observaciones pertinentes y dando la aprobación necesaria para que se realicen en plan ejecutivo; se estudian conjuntamente con el Constructor los procedimientos constructivos propuestos y su evaluación en tiempo y costo; también se estudian las especificaciones generales y las necesidades de materiales y equipos cuyos pedidos requieren fincarse con mucha anticipación.

Se analiza el trazo definitivo de las líneas del METRO, la ubicación y tipo de estaciones y sus accesos, los locales técnicos y puestos de reatificación, la trayectoria de ductos, los talleres, enlaces y edificios diversos, asimismo, las soluciones planteadas para desvíos de interferencias motivadas por colectores, líneas de agua potable y de gas, líneas de energía eléctrica, cruces con derechos de vía de los ferrocarriles, transportes eléctricos, etc..., todo en coordinación y con la aprobación de las Dependencias encargadas de estos servicios.

Uno de los aspectos fundamentales es el uso del suelo, que comprende las afectaciones y restricciones de los terrenos que requieren las obras, incluyendo las reservas necesarias para ampliaciones futuras, haciendo el proyectista los levantamientos necesarios para la tramitación de su adquisición.

También se plantea y somete a la aprobación de las autoridades respectivas, los desvíos de tránsito motivados por la ejecución de la obra.

Periódicamente se llevan a cabo revisiones detalladas - del avance de la entrega de los proyectos. en forma tal de ga rantizar que la construcción no se vea retrasada en ningún mo mento.

Por lo que se refiere a la fase de construcción, también se realiza una junta general de obra una vez por semana, en la que además de los funcionarios mencionados anteriormente, - están presentes los Jefes de Residentes y Residentes Genera- les de COVITUR, los Gerentes, Subgerentes y Superintendentes- de las empresas responsables de la construcción de las obras- civiles y electromecánicas y los representantes del Proyectis ta y la Supervisión.

La junta se inicia con una introducción, por parte de - los Subgerentes de Obras de COVITUR, del estado en que se en- cuentran las mismas, indicando los tramos que ameritan una - revisión más detallada.

A continuación, cada Jefe de Residentes hace una presen- tación gráfica de los avances de su línea, incluyendo un and- lisis del programa de construcción y de los rendimientos obte- nidos, informa, en su caso, de los atrasos existentes y de -- las medidas correctivas que se requiere implementar para recu- perarlos.

En estas reuniones se escucha directamente a todas las - partes interesadas, se plantean problemas específicos de cons- trucción y su posible solución, se ventilan desacuerdos o in- terpretaciones incorrectas y se toman de inmediato las deci- siones pertinentes si se refieren a ejecución de obra, regis- trando aquellas que queden pendientes porque conciernen a -- otras áreas, a efecto de instruir las acciones para resolver- las

Posteriormente se hace un recorrido por las líneas, con- especial énfasis en los frentes de trabajo que tengan alguna- problemática, para observar físicamente lo expuesto en la jun- ta.

*La Gerencia y Subgerencia de Obra se encargan de verificar que se ejecuten fielmente en el campo las instrucciones acordadas, por conducto de la Jefatura de Residentes.*

*Cada Jefe de Residentes coordina las actividades que se desarrollan en la línea a su cargo, se revisan a detalle la entrega de planos oficiales, las especificaciones y sus posibles modificaciones, los pendientes de proyecto y todos los aspectos concernientes a la construcción, control detallado de programas y Sub-programas, reprogramaciones puntuales, determinación de rendimiento, suministros, desvíos de tránsito, atención al público, presentación y seguridad de obra.*

#### 4.3. SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRA

Se ha puesto especial énfasis en que la supervisión sea preventiva, señalando los problemas a medida que el trabajo avanza, cuando todavía hay manera de corregirlo. Asimismo, - dado que es prácticamente imposible que el proyecto quede - plasmado, hasta su menor detalle, en los planos y especifica - ciones, la Supervisión ha tenido especial interés en colabo - rar con el Constructor para interpretarlos, ayudándolo a cap - tar los posibles faltantes con oportunidad. Cabe mencionar - que se tiene un representante del Proyectista en la obra, - que por conducto de su oficina central, entrega la informa - ción complementaria.

Durante la construcción se verifica el cumplimiento de - los requisitos físicos del proyecto: trazo, nivel, dimensio - nes, cantidad de materiales, preparaciones, resistencias, to - lerancias, etc... Por otra parte se proporciona a COVITUR la información necesaria para llevar a cabo el control de los - programas y Sub-programas de obra.

De común acuerdo con la Gerencia de Obra Civil de COVI - TUR, se definen los controles de calidad para los materiales mano de obra y procedimientos que utiliza la Constructora.

ECON presta los servicios para el control de calidad de los materiales, contando con personal técnico y equipo de en - sayes en un laboratorio central, con el apoyo de laborato - rios de campo distribuidos en las líneas. Los reportes res - pectivos se dan a conocer directamente en campo a la Cons - tructora, con copia a la Jefatura de Residentes.

La Supervisión tiene la responsabilidad de evaluar los - resultados de los diversos ensayos, comparándolos con las es - pecificaciones del proyecto, ó con normas oficiales (NOM, AS - TM, SAHOP, ACI, AWS, AASHTO, etc).

De todas las pruebas efectuadas, se entregan informes -  
semanales y mensuales a la Oficina de Control de Calidad de-  
COVITUR, indicando las anomalías que ocurrieron, así como -  
las medidas que se tomaron para corregirlas.

#### 4.4. PROGRAMAS Y PRESUPUESTOS DE OBRA CIVIL

Como se mencionó anteriormente, para poner en práctica el programa integral de las obras del Metro, se parte de los lineamientos establecidos por el Gobierno de la Ciudad de México.

En función de parámetros conocidos estadísticamente, sobre el costo por kilómetro de los diferentes tipos de línea, subterránea, superficial o elevada, así como de las estructuras conexas, COVITUR procede a hacer una asignación preliminar de recursos.

Posteriormente, la Constructora elabora el programa general de cada línea, indicando los volúmenes de obra por ejecutar en los rubros más significativos, de acuerdo a cada proyecto específico y sus importes respectivos, consignando el tiempo necesario para realizarlo en un diagrama de barras todo lo cual se somete a la consideración de COVITUR.

COVITUR procede a analizar dicho programa, viendo su compatibilidad con los programas de ejecución del proyecto, adquisición de terrenos, liberación de las obras inducidas mayores y, con especial énfasis el programa de ejecución de la obra electromecánica, incluyendo el período necesario para las pruebas en vacío de los trenes. 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 dicho programa, la Constructora tiene la responsabilidad de prestar 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 esto, acude a alguna de las herramientas conocidas de programación, tal como las técnicas de red, utilizando básicamente la de ruta crítica, ya que tiene la ventaja de poder definir claramente la interde-

-pendencia de actividades e identificar las holguras disponibles.

Además, se presta para su procesamiento electrónico, - permitiendo analizar rápidamente diferentes alternativas; - los resultados se consignan en programas de barra para controlar el avance de obra.

En la programación de esta obra concurren diversos factores, tales como capacidad de mercado de obtención de diferentes materiales, disponibilidad efectiva de proveedores, - personal especializado, así como trabajos que son ejecutados por otras dependencias.

Por lo expuesto anteriormente se concluye que ha sido necesario implementar un sistema sumamente ágil; lo cual se ha logrado mediante una revisión periódica, semanal en condiciones normales, del estado de avance, en reuniones de carácter ejecutivo con todas las partes que intervienen en el proceso constructivo, en la que, de acuerdo a cada nivel de dirección, se toman las decisiones pertinentes, manteniendo fija la fecha de puesta en servicio.

Con base a la retroalimentación obtenida de cada revisión, se analizan los insumos necesarios para el cumplimiento de los programas, procediendo a reprogramarlos en su caso, sin demérito de respetar el objetivo final.

Cabe mencionar que cuando se aproxima la fecha de entrega de frentes de trabajo al Contratista de obra electromecánica, se cambia el procedimiento de control, analizando la cuantía de los conceptos faltantes por ejecutar. Para ello, se utiliza un diagrama de velocidad de construcción, - mostrando en unos ejes coordenados las actividades de obra de cada concepto, contra el tiempo en día.

#### 4.5. ADMINISTRACION DE LA OBRA

Un aspecto fundamental de la administración de la obra, es el proceso de cuantificación y elaboración de estimaciones. La obra ha sido contratada por el sistema de precios unitarios, conviene destacar en este sentido, la multiplicidad de conceptos de obra que se ejecutan, ya que el catálogo de precios unitarios contiene más de 3800.

El proceso puede dividirse en tres partes: cuantificación de obra, determinación de precios unitarios y sus alcances, e integración de la estimación.

Cuantificación de Obra.- Se ha cuidado con especial interés la cuantificación de la obra ejecutada, ya que esta información, conciliada con la Constructora y presentada en forma oportuna, es la base para la obtención de las estimaciones mensuales y la elaboración del flujiquito de los contratos correspondientes.

Se ha responsabilizado a la Supervisión de llevar a cabo estas actividades, para lo cual se ha establecido el siguiente procedimiento:

- a) En campo COMETRO y ECON se han organizado en tal forma que, por separado, se cuantifica diariamente la obra ejecutada, produciéndose un resumen semanal que debe conciliarse sistemáticamente; esto se hace para cada frente de trabajo de todas las líneas.
- b) Una vez por semana se celebran Juntas de Cuantificaciones en el campo, presididas por COVITUR, con la asistencia del Constructor y la Supervisión, en donde se plantean los desacuerdos que no pudieron ser resueltos directamente en los frentes de trabajo; el Jefe de Residentes toma las decisiones que considere pertinentes.

c) *Semanalmente se tiene una Junta de Coordinación de - Estimaciones y Precios Unitarios para cada línea que preside de Gerente a Subgerente de Obra Civil, el Je fe de Residentes y los representantes del Area Técni ca de COVITUR y de CIPU (Comisión Interna de Precios Unitarios del V.D.F.), por parte de COMETRO asiste - personal del Area de Control y los Superintendentes- de obra y, por la Supervisión, los Gerentes de Zona- y de Cuantificación. A este nivel se plantean todos los problemas que no fue posible resolver en campo - y se toman las decisiones finales. Asimismo se acla ran dudas referentes a los alcances de precios unita rios, clave de frente y conceptos; también se hace - entrega a todos los interesados, de las actualizacio- nes realizadas al Catálogo de Precios Unitarios, in- cluyendo sus alcances.*

d) *La obra ejecutada diariamente se consigna en forma - tos especiales para números generadores, en las que- se indica la línea, tramo, ubicación, contratista, - número de folio, fecha, número progresivo, clave y - descripción del concepto, referencia al plano o la - Bitácora de Obra, localización específica, dimensio- nes y unidades y observaciones. A continuación se - hace la acumulación por concepto, utilizando las de- bidas referencias y un reporte semanal que contiene- todos los conceptos ejecutados en ese período, en el que se anota la clave de frente, la del concepto y - los dígitos de control para su procesamiento electró nico.*

*En cada frente de trabajo se lleva un concentrado - por concepto de obra, para obtener el acumulador men sual de la cuantificación, que sirve como base para- elaborar la estimación.*

- e) *Procesamiento electrónico de la cuantificación.* Debido a la multiplicidad de frentes de trabajo, al número de conceptos de obra existentes y a la necesidad de integrar las estimaciones mensuales a la mayor brevedad posible, se utiliza un procesamiento electrónico para las cuantificaciones de obra.

En terminos generales, el sistema esta integrado por tres grandes áreas: captura, actualización y proceso de información, los dos primeros cuentan con rutinas para validar la calidad de la información suministrada.

La estructura de cada área es la siguiente:

- |                 |  |
|-----------------|--|
| - Captura       | Creación de archivos                                     |
| - Actualización | Mantenimiento a conceptos, cantidades de obra y frentes. |
| - Proceso       | Generación de reportes.                                  |

Dentro de los reportes obtenidos por el sistema, cabe mencionar los siguientes:

- Avance de la obra semanal (Por frente y línea)
- Avance de la obra complementaria (Por frente y línea)
- Avance de archivo maestro (Por frente y línea)
- Avance de obra mensual (Por línea)
- Acumulado de archivo maestro (Por frente y línea)
- Validación de cinta.
- Formulación de estimación mensual (Por frente y línea)

Toda esta información queda en los archivos identificada en el mes y año en que fue ejecutada.

*Precios Unitarios.- Toca a la comisión interna de Precios Unitarios del Departamento del Distrito Federal (CIPU) resolver en esta materia, habiéndose establecido un mecanismo muy dinámico para hacer el conocimiento del campo, todos los alcances y precios unitarios emitidos durante la semana. Los conceptos que se añaden al catálogo de precios unitarios se envían con la mayor celeridad posible tanto al área de cuantificación como al archivo de la computadora de COVITUR.*

*Integración de las Estimaciones.- A partir de la cuantificación, debidamente clasificada y validada por las partes que intervienen en la misma, se hace entrega de la cinta a COVITUR, tal como se indica en la Figura 27.*

*Toca a la Comisión, una vez aprobada, hacer la edición de las estimaciones para lo cual utiliza la memoria de precios unitarios. Se logra, con este procedimiento, elaborar las estimaciones en forma oportuna y acorde con el avance de la obra.*

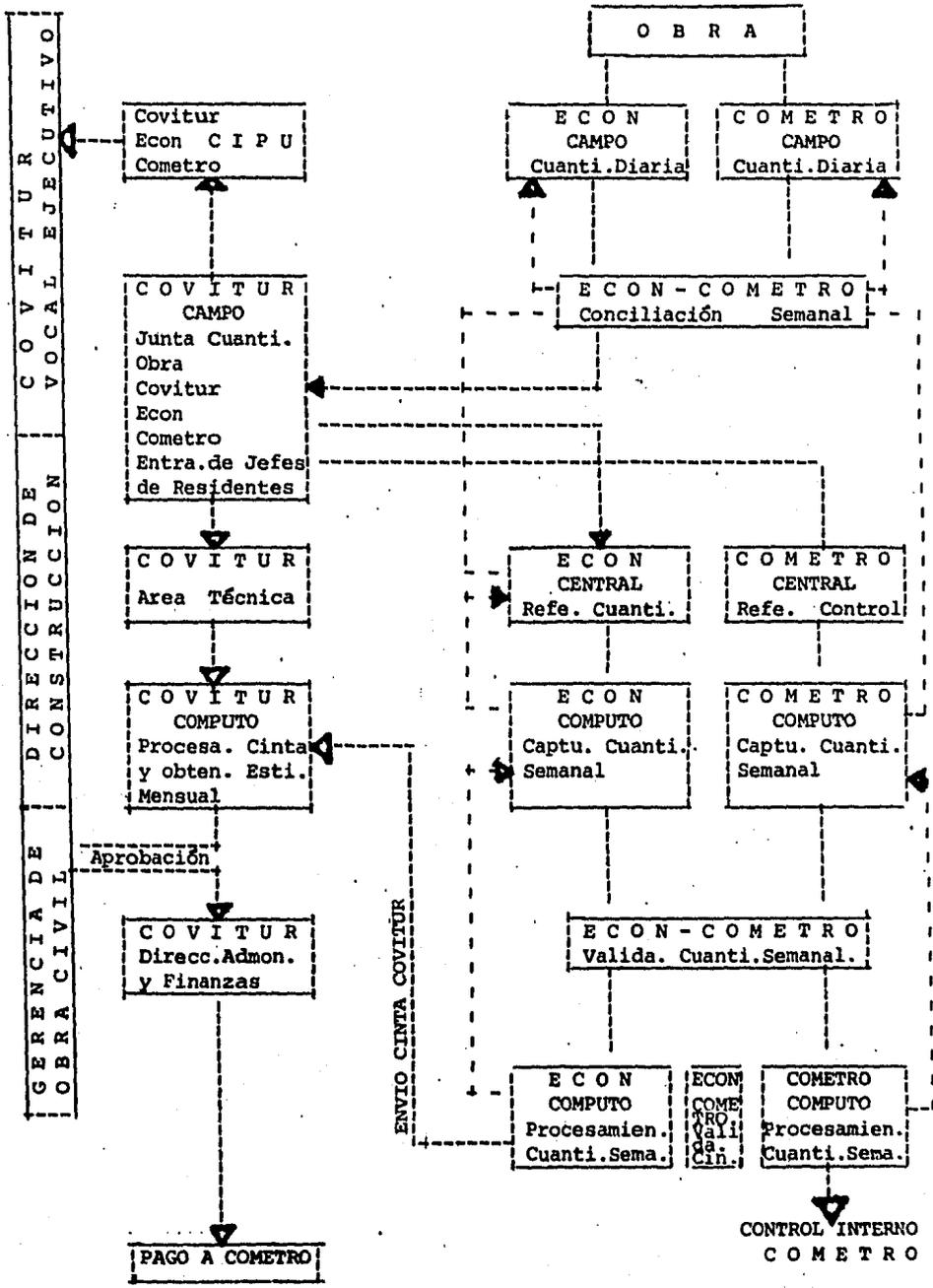


FIGURA 27 FLUJO DE INFORMACION DE CUANTIFICACION DE OBRA.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

## 1.- CONCLUSIONES

De lo visto en los cuatro capítulos anteriores, se pudo constatar que la construcción del Metro, en este caso de la Línea 7, es el resultado de una serie de actividades como son:

La Planeación, Organización, Diseño Arquitectónico, Diseño -- Estructural y Construcción entre otras.

La Planeación comprende la realización de estudios de origen-destino de los usuarios buscando siempre dar el mejor servicio al mayor número de pasajeros. Es lógico pensar que el proyecto debió satisfacer ciertos requerimientos como es el número de pasajeros que deberá mover al día y el aliviar el tránsito existente.

Una vez comprendida la necesidad de la construcción de la línea y la aprobación para realizarlo, La Organización es sumamente importante, ya que se encarga de agrupar y encauzar, en forma correcta las actividades restantes.

Entre estas actividades se encuentra el Diseño Arquitectónico y el Diseño Estructural, los cuales darán las normas constructivas durante la realización de la Obra Civil.

Esta obra es el reflejo de la iniciativa del Gobierno por solucionar los problemas de tránsito de automóviles y el transporte masivo en el Distrito Federal; los que surgieron a raíz de la desmesurada explosión demográfica que se ha venido presentando en la Ciudad de México en los últimos años y que, hasta hace poco -

-tiempo, se ha tratado de solucionar razonablemente, dando mayor importancia a la transportación masiva y tratando, al mismo -- tiempo, de desalentar el uso del transporte particular.

Cabe mencionar que la correcta ejecución de esta obra, es - el reflejo del esfuerzo que Ingenieros, Técnicos y Trabajadores - han realizado, llevando siempre un estricto control de calidad - para poder ofrecer un viaje seguro al usuario.

Esta es por lo tanto, una obra de la cual la Ingeniería de - México puede enorgullecerse, ya sea por su misma concepción como por su diseño y construcción, ya que demuestra lo estrechamente - ligado que se encuentra el futuro del país con el desarrollo de - la Ingeniería Civil.

## BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- *Mecánica de Suelos Tomo III*  
Juarez Badillo y Rico Rodríguez  
2° Edición, Editorial Limusa.
- 2.- *Especificación No. 81-MS-90700-III-11-6183-E*  
Referente a la Construcción de los Túneles -  
que constituyen las estaciones del Metro -  
Línea 7.
- 3.- *Apuntes inéditos de la Jefatura de Residentes*  
Línea 7, referente al Procedimiento Construc-  
tivo de Túneles en Suelos Blancos.
- 4.- *Revista de Ingeniería Vol. 50*  
No. 2.
- 5.- *El Subsuelo de la Ciudad de México*  
Marsal, R.J. y Mazari, UNAM.
- 6.- *Plan Global de Desarrollo*  
Gobernación.
- 7.- *Design of Tunnel Liners and Support Systems,*  
Apendix IV University of Illinois, U.S.A.
- 8.- *The Art of Tunneling.*  
Szechy, K. Budapest, 1966.
- 9.- *Curso: Construcción de Túneles*  
Apuntes- Centro de Educación Continua  
División de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería, UNAM.
- 10.- *A System Study of Soft Ground Tunneling*  
Fenix & Scisson, Inc, Arthur D. Little, Inc. 1970.

- 11.- *Memoria 1977-1982 de la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano.*
- 12.- *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Vol. 2. Editorial Limusa, México 1981.*
- 13.- *Especificación No. 81-MS-90700-III-1-6023-e Referente a la Construcción y Excavación de las Lumbreras correspondientes a la sección en Túnel de la Línea 7 del Metro.*
- 14.- *Especificación No. 81-MS-90700-III-6-6096-e Referente a la colocación del Emporalamiento y la Trabe de Borde de las Lumbreras de acceso al Túnel de la Línea 7 del Metro.*
- 15.- *Especificación No. 81-MS-90700-III-23-62-42-e Referente al procedimiento para la Excavación y la Construcción del Túnel en los tramos - pertenecientes a la Línea 7 del Metro.*
- 16.- *Apuntes Inéditos de la Jefatura de Residentes de la Línea 7 del Metro referentes a la colocación de Concreto Lanzado.*