



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

19
172

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LA ESTACION TACUBAYA DE LA
LINEA 7 DEL METRO**

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
Roberto Rustrián Fonseca



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E G E N E R A L

	Pág.
Cap. 1 INTRODUCCION	1
Cap. 2 GENERALIDADES	3
2.1 ANTECEDENTES	3
2.2 NECESIDAD DE CONSTRUCCION	5
2.3 CONSTRUCCION TIPO TUNEL	6
Cap. 3 DESCRIPCION DE LA OBRA	9
3.1 LINEA 7 DEL METRO	9
3.2 ESTACION TACUBAYA	10
3.2.1 Localización	10
3.2.2 Características de las lumbreras	11
3.2.3 Características de los túneles	12
Cap. 4 ESTUDIOS PRELIMINARES	15
4.1 ESTUDIOS GEOLOGICOS	15
4.1.1 Antecedentes Geológicos	15
4.1.2 Exploración del Subsuelo	16
4.1.3 Muestreo	17
4.2 TRABAJOS PREVIOS	18
4.2.1 Trazo y Nivel de la Línea	18
4.2.2 Estratigrafía	20
4.3 BOMBEO	24
4.3.1 Prueba de bombeo	24
4.3.2 Pozos de bombeo	26
4.3.3 Instrumentos de Medición	28
Cap. 5 METODOS CONSTRUCTIVOS	29
5.1 CONCRETO LANZADO	29
5.1.1 Antecedentes	29

	Pág.
5.1.2 Funciones	31
5.1.3 Métodos utilizados	33
5.1.4 Materiales para su elaboración	34
5.1.5 Equipo de Lanzado	36
5.1.6 Dosificación y Mezclado	36
5.1.7 Preparación de la superficie	37
5.1.8 Aplicación, curado y rebote	37
5.1.9 Resistencia especificada	38
5.1.10 Propiedades	39
5.1.11 Proporcionamiento	39
5.1.12 Control de calidad	40
5.2 CONSTRUCCION DE LAS LUMBRERAS	43
5.2.1 Construcción del brocal	43
5.2.2 Excavación y Revestimientos	44
5.2.3 Ampliación de la zona inferior	45
5.3 CONSTRUCCION DE LOS TUNELES	47
5.3.1 Procedimiento general por etapas	47
5.3.2 Tunel de Conexión	48
5.3.3 Túneles de Andén y de Distribución	51
5.3.3.1 Emportalamiento y trabe de borde	53
5.3.3.2 Tensores provisionales	54
5.3.4 Inyecciones de contacto	55
5.3.5 Tunel de Correspondencia	58
5.3.6 Zona de Unión	60
5.3.7 Acceso Oriente	62
5.3.8 Peines	63
5.3.9 Anclas de fricción	64
5.3.9.1 Descripción general	64
5.3.9.2 Mezcla a inyectar	64
5.3.9.3 Resistencia de las anclas	65
5.3.9.4 Procedimiento para su colocación	66

5.4 RENDIMIENTOS 66

5.4.1 Excavación y revestimiento primario 66

5.4.2 Revestimiento definitivo 67

5.5 INSTALACIONES EXTERIORES E INTERIORES 69

5.6 PERSONAL REQUERIDO 70

Cap. 6 INSTRUMENTACION 73

6.1 OBJETIVO DE LA INSTRUMENTACION 73

6.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS. 74

6.3 INSTALACION Y CUIDADO DE LOS INSTRUMENTOS 77

6.4 PERIODICIDAD DE LAS MEDICIONES 78

6.5 INTERPRETACION Y PRESENTACION DE RESULTADOS 78

Cap. 7 CONCLUSIONES 79

7.1 CORRECTO LANZADO DE CONCRETO 79

7.2 VENTAJAS DEL CONCRETO LANZADO 80

7.3 VENTILACION EN LOS TUNELES 81

7.4 MEDIDAS DE SEGURIDAD 82

7.5 CONSIDERACIONES PARA UN TRABAJO EFICIENTE 83

BIBLIOGRAFIA 88

Hablar del problema del transporte urbano en la actualidad y en una ciudad como la nuestra resulta por demás interesante, sobre todo cuando se observa que en la ciudad de México es cada vez más difícil desplazarse de un lugar a otro, debido en parte, al creciente congestionamiento de tránsito que se padece en diferentes zonas de la ciudad y aún en grandes avenidas, congestionamiento que a su vez se debe al desmesurado aumento de vehículos en circulación.

Las condiciones actuales del transporte en la ciudad nos plantean que del total de vehículos que circulan en la ciudad de México, el 95 % pertenecen a particulares y solo realizan el 20 % de los viajes persona-día y el 5 % incluye a todos los vehículos colectivos, entre ellos el Metro y efectúan el 30 % de los viajes persona-día.

Es por eso, que el gobierno de la República a través del Departamento del Distrito Federal ha tomado conciencia del problema y por medio de la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano (COVITUR), ha decidido continuar con la construcción del Sistema de Transporte Colectivo, ampliando las líneas del Metro ya existentes e incrementando el número de ellas con rutas cuidadosamente estudiadas.

Lo anterior es motivo de mi interés por realizar el presente trabajo en el que trato de ejemplificar solo una pequeña parte del gran esfuerzo que realizan las autoridades correspondientes para solucionar este trascendental problema del transporte en nuestra ciudad, intentando movilizar grandes masas en la forma más segura, rápida y económica posible.

Así pues, describiré el procedimiento constructivo de una de las estaciones de la línea 7 del Metro, la estación Tacubaya, actualmente en construcción .

En el capítulo 2, sobre generalidades de obra Metro menciono algunos antecedentes del transporte colectivo en nuestra ciudad y particularmente del Metro, hablo de la necesidad que se tuvo para construirlo y la que aún se tiene para seguir ampliándolo, así como también algunas características de la construcción tipo tunel.

En el capítulo 3 describo en términos generales la línea 7 y específicamente la estación Tacubaya, su localización y características principales.

En el capítulo 4 menciono básicamente los estudios de Mecánica de Suelos que preceden a todas y cada una de las obras de ingeniería de esta naturaleza, incluyendo en estos estudios un aspecto muy importante como lo es el bombeo para abatir el nivel de aguas freáticas.

En el capítulo 5 hago mención del aspecto fundamental del que consta este trabajo: La descripción de los métodos constructivos empleados en la estación Tacubaya, así como también rendimientos de excavación y revestimientos y personal que se requiere para llevar a cabo una obra de esta magnitud.

En el penúltimo capítulo, trato un aspecto especialmente importante y esencial en obras efectuadas en tunel como es la Instrumentación, su objetivo y equipo utilizado y finalmente en el capítulo 7 externo mis puntos de vista para llevar a cabo la construcción de esta obra y algunas medidas a considerar para el buen desarrollo de la misma.

2.1 ANTECEDENTES

Es a partir de la segunda mitad del presente siglo cuando se empieza a comprender que el uso excesivo del automóvil, aún siendo de carácter colectivo en algunos casos, causaba cada vez mayores estragos en la circulación, sintiéndose con mayor intensidad sobre todo, en el primer cuadro de la ciudad. Lo anterior hizo estrictamente necesario pensar en un medio de transportación masiva y preferentemente no superficial, en un principio.

Es así como surge la idea de otro tipo de solución al transporte en la ciudad, el metropolitano de la ciudad de México, pensándose inicialmente en 2 alternativas para su construcción: El transporte colectivo subterráneo y el transporte colectivo elevado, de las cuales después de hacer comparaciones cuidadosas y exhaustivas, se eligió la primera; el transporte colectivo subterráneo, ya que la segunda encontraba y encuentra, más aún en la actualidad, mayores limitaciones por necesitar espacios abiertos lo cual restringe ser utilizado en zonas estrechas y congestionadas, condición que impedía poder utilizar esta alternativa, no obstante que actualmente se ha construido parte del sistema de transporte colectivo en tramos elevados, como es el caso de la línea 4 y parte de la línea 9 aún en construcción.

Apoyado en estos fundamentos, el gobierno de la República dicta el 29 de abril de 1967 un decreto que aparece en el diario oficial y que justifica la creación del sistema de transporte colectivo para -

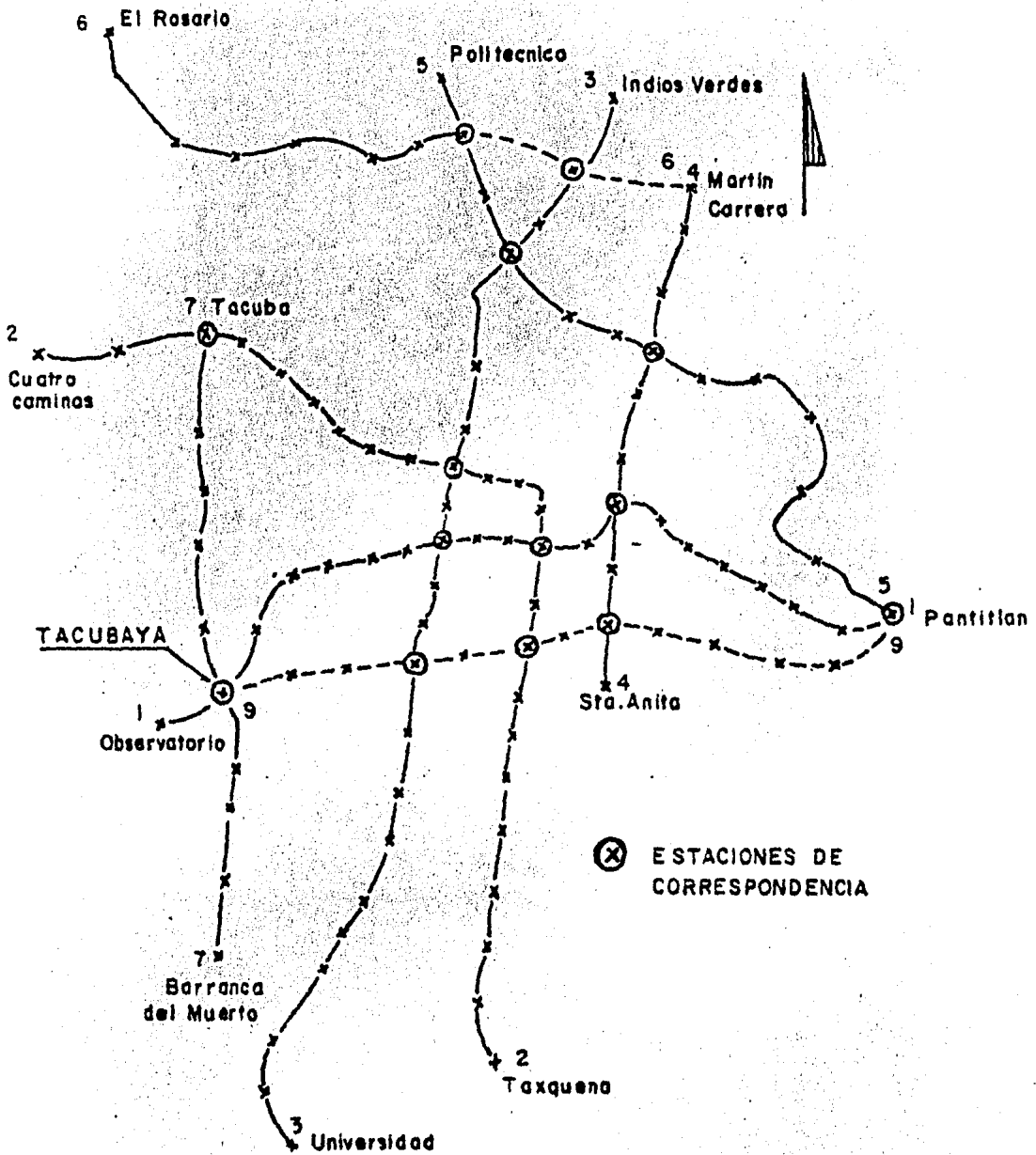
6

construir, operar y explotar un tren rápido con recorrido subterráneo y superficial, en el Distrito Federal.

Casi de inmediato a su decreto, el 19 de julio del mismo año 1967 se inician las obras de construcción del Metro. El inicio de la primera etapa contempla la construcción del tramo Chapultepec-Zaragoza de la línea 1 quedando inaugurado el 5 de septiembre de 1969, al año siguiente, el 10. de agosto de 1970 es inaugurada la línea 2 de Tacuba a Taxquena y la ampliación de Chapultepec-Observatorio de la línea 1. El 20 de noviembre de 1970 se inaugura el tramo Tlatelolco-Hospital General de la línea 3 y posteriormente, en su segunda etapa, de Tlatelolco a Indios Verdes y de Hospital General a Zapata y simultáneamente la construcción de las líneas 4,5, y 6; de Martín Carrera a Santa Anita, de Politécnico a Pantitlán y del Rosario a I. del Petróleo, respectivamente, hasta 1982.

La tercera etapa incluye la ampliación de la línea 3 hacia el sur de Zapata a Universidad y de la línea 1 de Tacuba a Cuatro Caminos, así también la ampliación de la línea 6 de I. del Petróleo a Martín Carrera.

Actualmente se construyen las líneas 7 y 9, de Tacuba a Barranca del Muerto y de Pantitlán a Tacubaya, respectivamente. En la figura 2.1 se aprecian las líneas que hasta ahora se tienen.



2.1 LINEAS ACTUALES DEL METRO

así trazado es recubierto con dovelas de 25 cm de ancho y 80 cm de longitud que pasan a formar parte de la estructura.

La construcción tipo tunel es ventajosa cuando se necesita el menor número de interferencias con instalaciones, aunque es el sistema más caro respecto a los sistemas: subterráneo, elevado y superficial. Se ha comprobado que el tiempo de recuperación de la inversión es bastante rápido, una ventaja muy importante que ofrece la construcción en tunel es que no afecta la vialidad existente y proporciona un ahorro considerable por concepto de obras inducidas.

La construcción subterránea es la siguiente en costo, es decir, un poco más económica que la construcción tipo tunel, solo que implica un gran número de obras inducidas y principalmente que ocasiona grandes disturbios en la vialidad, al requerir el desvío del tránsito a otras avenidas, se puede utilizar sin causar mayores daños en calles de 12 a 15 m de ancho como mínimo.

Más económica aún resulta la construcción tipo elevada, solo que es conveniente utilizarla en avenidas no menores de 30 m de ancho. No afecta considerablemente la vialidad y reduce los problemas de interferencia con las instalaciones municipales respecto a la construcción tipo subterránea.

La construcción superficial resulta ser la más económica y su tiempo de ejecución es relativamente corto, pero tiene el inconveniente de poder utilizarse en avenidas con un ancho superior a los 40 m y dar solución de pasos a desnivel en los cruces de tránsito transversal y pasos a desnivel peatonal y elevados.

Como se puede apreciar, la construcción tipo túnel aunque resulta ser la más cara de todas, es la que ocasiona menos problemas en los lugares que atravieza, ventaja que es primordial hoy en día en la ciudad de México.

3 DESCRIPCION DE LA OBRA

3.1 LINEA 7 DEL METRO

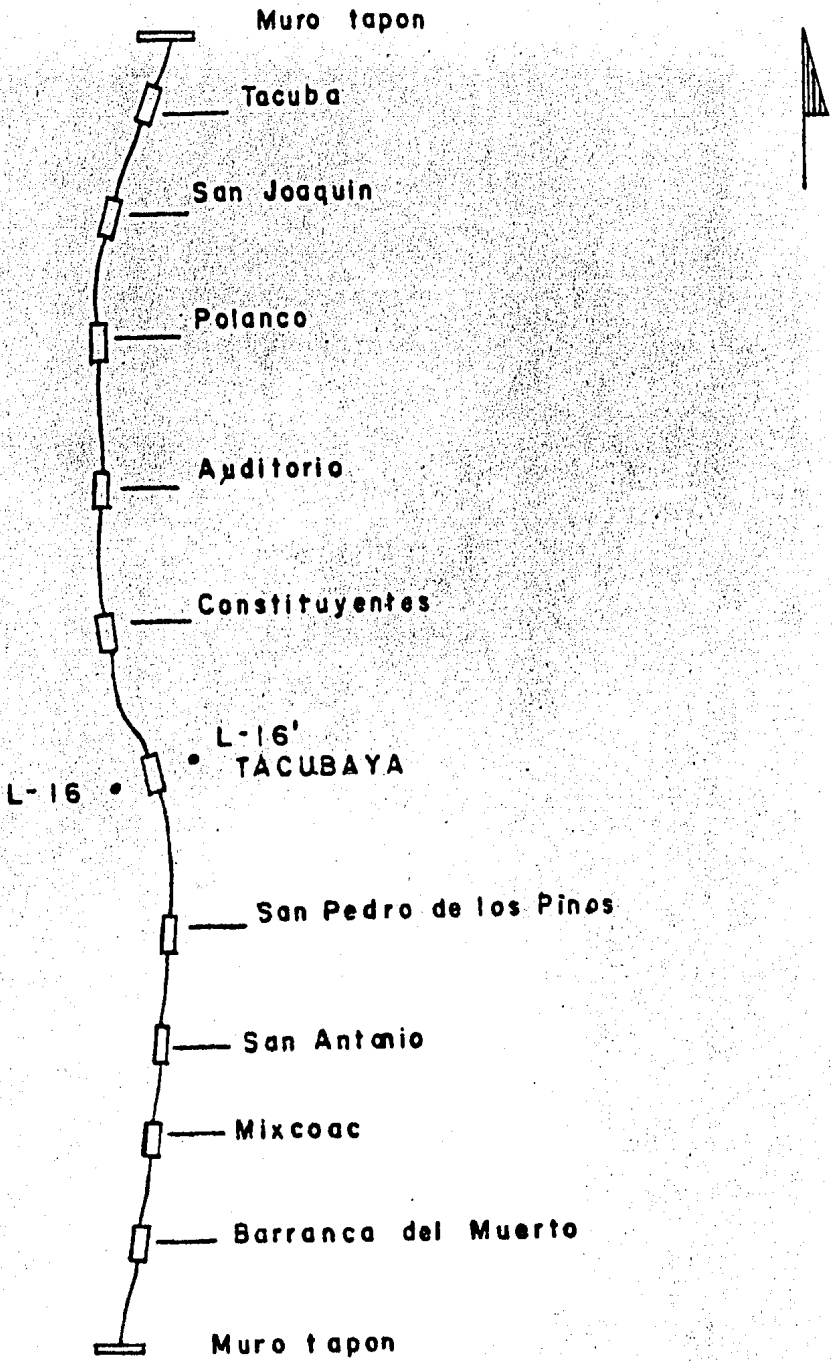
La línea 7 del Metro se construye en la dirección norte-sur de la zona poniente de la ciudad y la construcción de ésta en toda su extensión corresponde al tipo tunel profundo, alcanza una longitud, considerada desde sus extremos norte y sur (muros-tapón) de 13.149 km, toda la excavación de la línea se comenzó con diferentes frentes a base de construir lumbreras de acceso, está constituida por 10-estaciones y tendrá correspondencias, con la línea-2 en Tacuba y con la línea 1 en Tacubaya, la profundidad media de los tuneles alcanza los 28 m.

La zona donde se construye la línea se denomina de transición progresiva, en ella se encuentran superficialmente depósitos arcillosos o limos orgánicos cubriendo a estratos de arcillas volcánicas muy compresibles de espesores variables, intercalados con capas de arena limosa o arena limpia sobre mantos de grava y arena.

La parte norte de la línea se construye en la zona de lomas, formada por terrenos compactos arenolimosos con alto contenido de grava o tobas pumíticas bien cementadas y en algunas partes de esta zona se encuentran galerías a diferentes profundidades, debido a la antigua explotación de minas de grava y arena.

Las zonas central y sur, están constituidas por materiales arenolimosos y limo-arenosos con gravas compactas y en algunas partes se localizan boleos a

3.1 ESTACIONES DE LA LINEA 7



profundidad variable entre 25 y 30 m, se han encontrado también mantos colgados en los sitios donde originalmente existieron ríos, la arena pumítica en particular se ha encontrado en la zona de clave de los túneles en construcción. En la figura 3.1 mostramos las estaciones que constituyen la línea 7 del Metro.

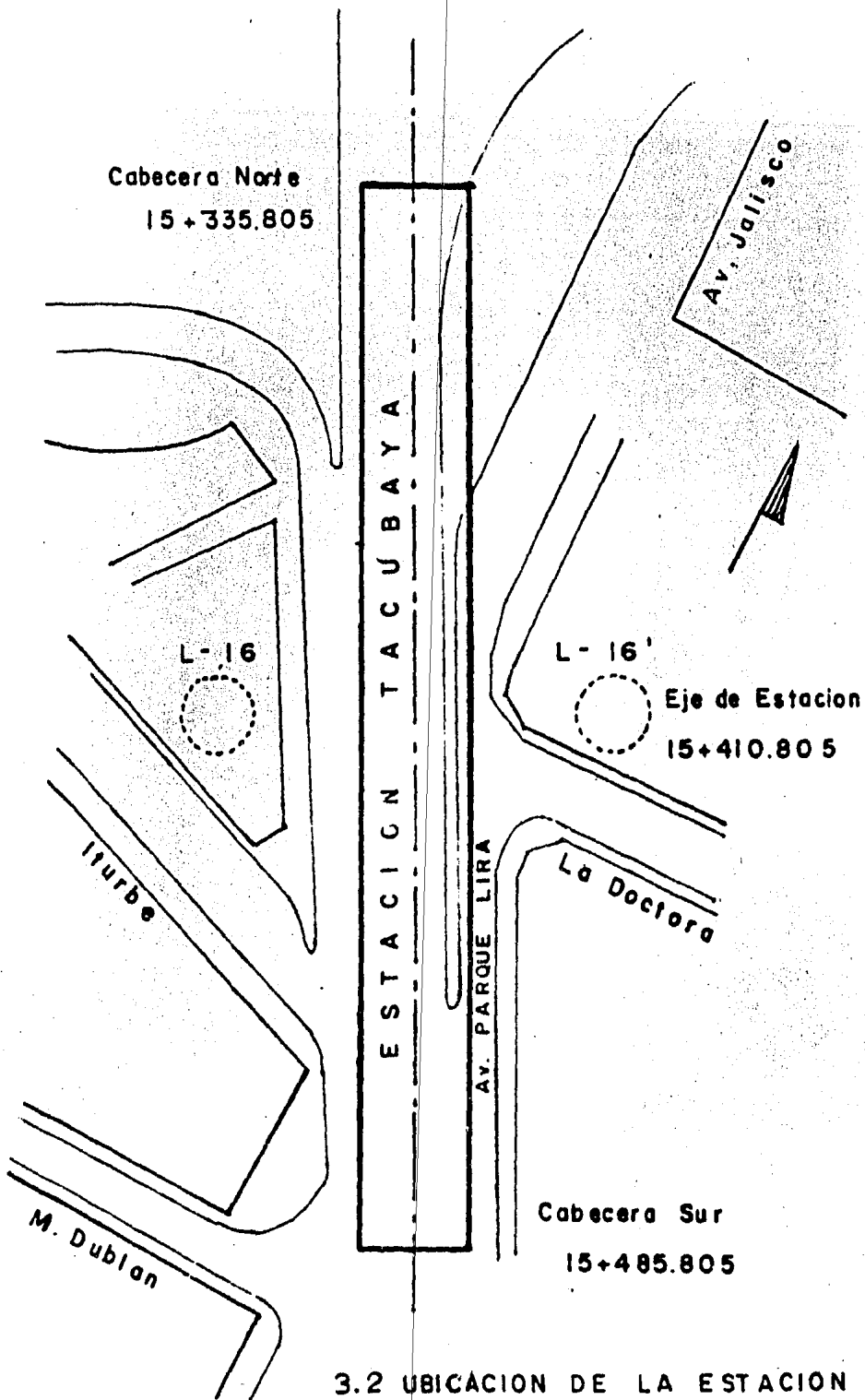
La línea 7 en todo su recorrido se aloja principalmente bajo las avenidas Parque Lira y Revolución, y viene a contribuir a la solución del transporte en la zona poniente de la ciudad, proporcionando una gran ayuda a la vialidad, sobre todo de la avenida Revolución, problema que actualmente ocasiona serios congestionamientos de tránsito, debido en gran parte al exceso de autobuses urbanos que por ahí circulan.

3.2 ESTACION TACUBAYA

3.2.1 Localización

La estación Tacubaya se encuentra ubicada bajo el cruce de las avenidas Jalisco y Parque Lira, y entre otras calles menores. La localización de las lumbreras 16 y 16' se encuentra en las calles Iturbide y avenida Parque Lira y La Doctora y avenida Jalisco, respectivamente, ver figura 3.2 .

La construcción de esta estación en tunel, trajo consigo la ventaja de no interferir el tránsito en la avenida Parque Lira en la que se tiene diariamente un considerable flujo de vehículos.



Cabecera Norte
15+335.805

Av. Jalisco

ESTACION TACUBAYA

L-16

L-16'

Eje de Estacion
15+410.805

Iturbe

Av. Parque Lira

La Doctora

M. Dublan

Cabecera Sur
15+485.805

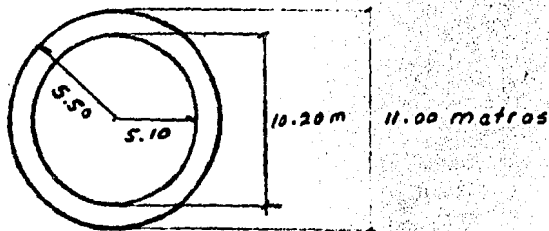
3.2 UBICACION DE LA ESTACION

3.2.2 Características de las lumbreras

Para comenzar la excavación de la estación hubo necesidad de tramitar dos terrenos a ambos lados, - oriente y poniente de la avenida Parque Mira, los - cuales servirían para la construcción de las 2 lumbreras de acceso a las obras (excavaciones verti - cales).

La estación Tacubaya es la única de la línea 7 - que cuenta con 2 lumbreras construídas, esto se hizo con el objeto de agilizar la excavación atacando por ambos frentes el tunel de conexión, lo cual a - su vez agiliza la construcción de los demás túneles de la estación, conduciendo finalmente a abatir los tiempos de ejecución de la obra.

Las lumbreras presentan la siguiente sección:

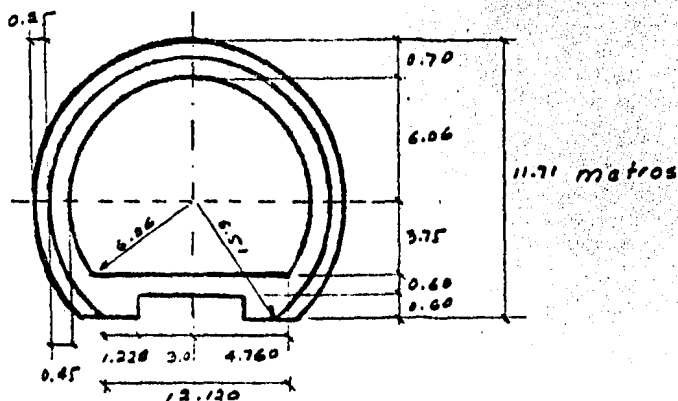


Su longitud en profundidad es de aproximadamente 22 m, considerada desde el N.T.N. hasta el cambio - de sección (comienzo de la ampliación de zona infe - rior) .

3.2.3 Características de los túneles

-Túnel de Conexión .- Se llama túnel de conexión -- al túnel situado entre las 2 lumbreras. Su función principal desde el punto de vista constructivo, es permitir la excavación de los túneles de andén, de distribución y los contratúneles, estos últimos, en sentido contrario al túnel de conexión a partir de las lumbreras, es decir, al poniente de la lumbrera poniente y al oriente de la lumbrera oriente. La función de los contratúneles es permitir la excavación del túnel de correspondencia y del túnel de acceso oriente.

Las características geométricas de la sección - del túnel de conexión son:



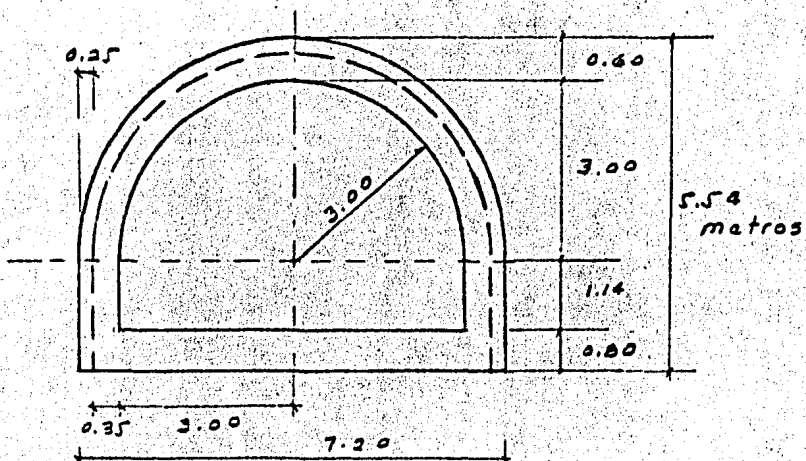
El recubrimiento definitivo de este túnel es a base de concreto lanzado armado.

-Túneles de Andén .- Los túneles de andén de la estación Tacubaya forman túneles gemelos, cada uno para una vía, y su función es poder conducir al Metro en su paso por esta estación y permitir al público abordar el tren.

El recubrimiento definitivo de estos túneles es a base de concreto lanzado armado, o combinado este último con concreto hidráulico colocado en los muros laterales.

Cabe recalcar que el revestimiento definitivo del tunel de conexión, contratúneles y túneles de distribución se hace a base de concreto lanzado armado debido a que no se cuenta con una cimbra de las dimensiones de estos túneles.

Faltarían por mencionarse los túneles de acceso - y el tunel de correspondencia a línea 1, sus funciones son: los primeros para conducir al público a las taquillas para entrar a la estación y el tunel de correspondencia que se conectará con la estación Tacubaya de la línea 1 permitirá viajar por una u otra línea según le sea necesario.



4 ESTUDIOS PRELIMINARES

4.1 ESTUDIOS GEOLOGICOS

EL objeto de realizar estudios geológicos en la construcción de los túneles que constituyen la estación Tacubaya, es conocer las propiedades del material en donde se realiza la excavación subterránea y con esto poder determinar el procedimiento constructivo adecuado y el tipo de soporte para mantener estable la excavación, tanto durante su etapa constructiva, como durante su operación ya construída la obra.

4.1.1 Antecedentes Geológicos

Es de vital importancia en el campo geológico conocer los antecedentes que se tienen de la zona donde se llevará a cabo la obra. Para esto, una ayuda significativa representa contemplar dentro de los antecedentes, los puntos que a continuación menciono:

- a) Ubicación y conocimiento de zonas de fallas y -- contactos que puedan representar sitios críticos de estabilidad.
- b) Tipos, profundidad y extensión de los materiales que se encontrarán.
- c) Localización y descripción de estructuras geológicas que puedan estar sujetas a esfuerzos tectónicos importantes.

- d) Indicaciones de las características geohidrológicas como:
- Nivel de Aguas Freáticas
 - Tipos de Acuíferos
 - Valuación de la recarga por lluvias
- e) Descripción del fisuramiento en formaciones, disposición (rumbos y echados), frecuencia, aberturas y rellenos, continuidad, etc.

4.1.2 Exploración del Subsuelo

Explorar el subsuelo en la zona sujeta a construcción es esencialmente importante ya que comprende la coordinación de trabajos de campo y ensayos de laboratorio que definen y cuantifican la estratigrafía y 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 visitará el lugar y en sus observaciones incluirá una evaluación del comportamiento de las cimentaciones existentes.

La interpretación de la información obtenida de exploraciones previas y de la evaluación hecha por el ingeniero especialista, permitirán aportar la base necesaria para enfocar la posible solución al problema e integrar un programa adecuado de exploración del subsuelo y éste a su vez complementándolo con la determinación de algunas propiedades índice y con un factor de seguridad racionalmente amplio.

Posteriormente a la interpretación de la información anterior y como un segundo paso de exploración se tienen los trabajos de campo que incluyen mediciones y pruebas "in situ", así como la ejecución de -- sondeos de exploración y muestreo, cuyas características: tipo, número, profundidad y distribución, están sujetas a lo que especifica el proyecto.

Un aspecto muy importante en la exploración del subsuelo, es la determinación de los niveles freáticos y de las cargas piezométricas cuando se trata de abatir mediante bombeo, el nivel piezométrico a ciertas elevaciones, los mejores resultados se han obtenido al aplicar sistemas diseñados con base en observaciones de campo, con baterías de bombeo debidamente instrumentadas, determinando número, profundidad y separación de las bombas. Mas adelante hablaré de esto con mayor detalle.

4.1.3 Muestreo

Las muestras de los suelos en función de las características del mismo y del tipo de información que se requiera pueden ser: Alteradas o Inalteradas.

Las primeras involucran una alteración de la estructura del suelo, sin cambiar con esto algunas de sus propiedades índice y en las segundas, como su nombre lo indica, no se altera la estructura del -- suelo ni sus propiedades índice.

Algunas mediciones de campo son las siguientes:

- Pruebas de permeabilidad
- Resistencia a la penetración
- Peso volumétrico de suelos superficiales

- Pruebas de capacidad de carga y determinación de relaciones (carga-deformación)
- Resistencia al corte de suelos blandos (prueba de veleta)
- Profundidad y fluctuación del nivel de aguas freáticas
- Magnitud y distribución de las presiones de poro (piezometría)
- Investigación de mantos colgados

Algunas pruebas de laboratorio son:

- Contenido natural de agua
- Grado de saturación
- Límites de consistencia
- Distribución granulométrica
- Peso específico relativo
- Peso volumétrico de la masa y relación de vacíos (muestras inalteradas)

4.2 TRABAJOS PREVIOS

4.2.1 Trazo y Nivel de la Línea

Trazo .- El trazo del recorrido que sigue la línea obedece básicamente a factores de operación de eficiencia de los usuarios en el trayecto origen-des-tino, pocas veces el factor determinante en el tra-zo de una línea es la Geotecnia, por ejemplo en ca-sos de presencia de suelos blandos.

Se recomienda que el trazo se ubique bajo calles y avenidas y solo en casos extremos debajo de cong-trucciones, esto debido a que las cargas que actua-rían sobre el tunel serían mayores y aunado a las-deformaciones que ocasiona el proceso de construc-ción podría causar daños en las estructuras bajo -

las cuales se excava el tunel. Es conveniente también que el trazo quede localizado en lo mayor posible fuera de cualquier interferencia con tuberías de agua potable, cables eléctricos subterráneos, etc.

Para lograr la localización del trazo es necesario obtener información topográfica, para las que se tienen dos actividades básicas:

- Levantamientos fotogramétricos y
- Levantamientos por métodos tradicionales

Ambas actividades representan trabajos elaborados y de cierta precisión, cuya explicación detallada no está al alcance de este trabajo, por lo cual solo me atrevo a mencionarlas.

Una vez que se tiene el trazo topográfico de la línea y se comienza con la excavación, es necesario llevar un control del mismo, para esto, se construyen pozos de control topográfico localizados sobre el eje de los túneles de la línea y solo en los que corresponden a tramo, esto se debe a que en las estaciones se tienen muchas referencias para el trazo -- por lo cual no es necesaria la perforación de estos pozos.

Nivel de la línea .- El nivel de la línea está determinado por la profundidad del tunel en todo su recorrido y para determinar esta profundidad es necesario conocer el perfil estratigráfico del terreno -- con objeto de conocer el tipo de suelo por atravesar.

Algunos de los factores determinantes en la profundidad del tunel son los siguientes:

- Estratigrafía del subsuelo
- Profundidad mínima recomendable para bajar a la estación
- Equipo e instalación necesaria en las estaciones (escaleras, accesos, vestíbulos, etc.)

En ocasiones conviene profundizar las estaciones cuando la línea pasa abajo o cerca de construcciones ó cuando se tiene la presencia de grietas geológicas u oquedades naturales o artificiales.

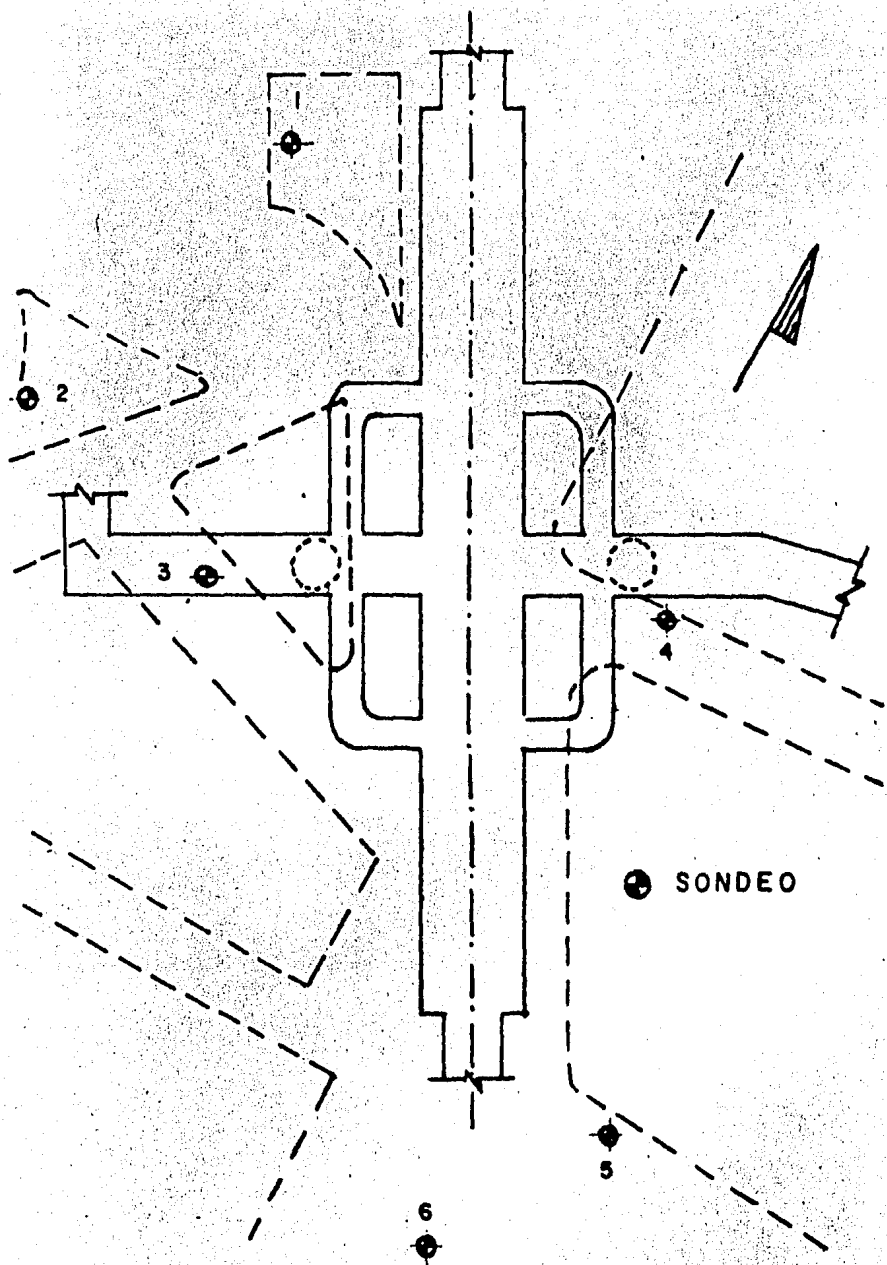
4.2.2 Estratigrafía

Con el objeto de determinar la estratigrafía del lugar, es necesario llevar a cabo la realización de sondeos de exploración.

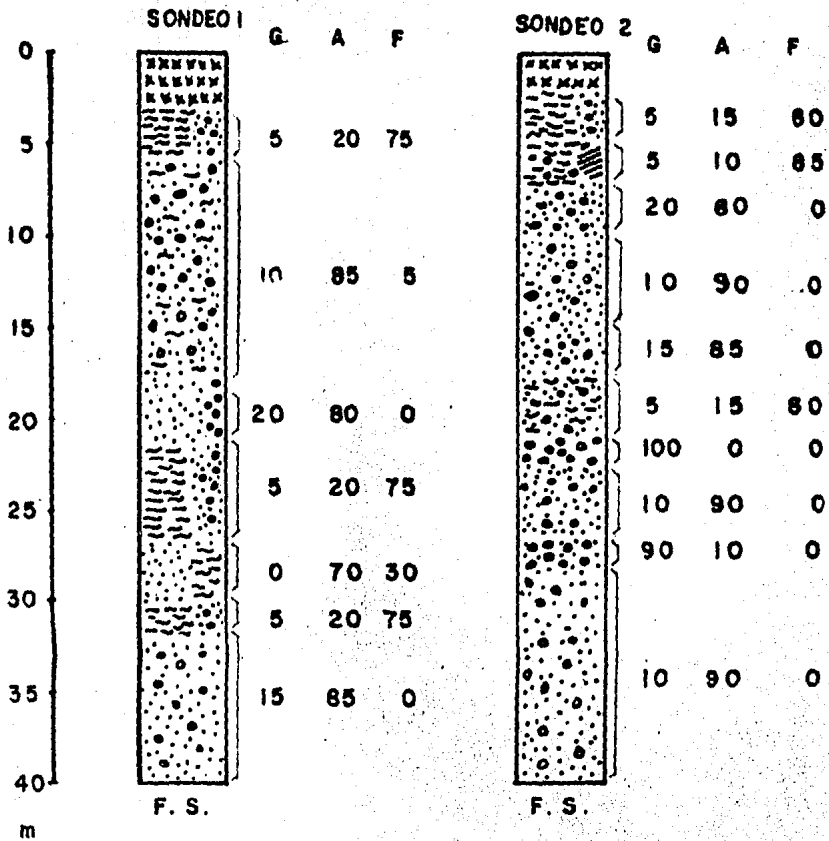
Algunos sondeos utilizados son:






- Pozos a cielo abierto
- Sondeo de penetración estandar
- Sondeo de muestreo inalterado (tubo shelby, tubo-denison de doble barril, etc)
- Sondeo de exploración sin muestreo

En la estación Tacubaya se llevaron a cabo sondeos longitudinales y transversales distribuidos como se muestra en la figura 4.1 y enseguida los sondeos efectuados.

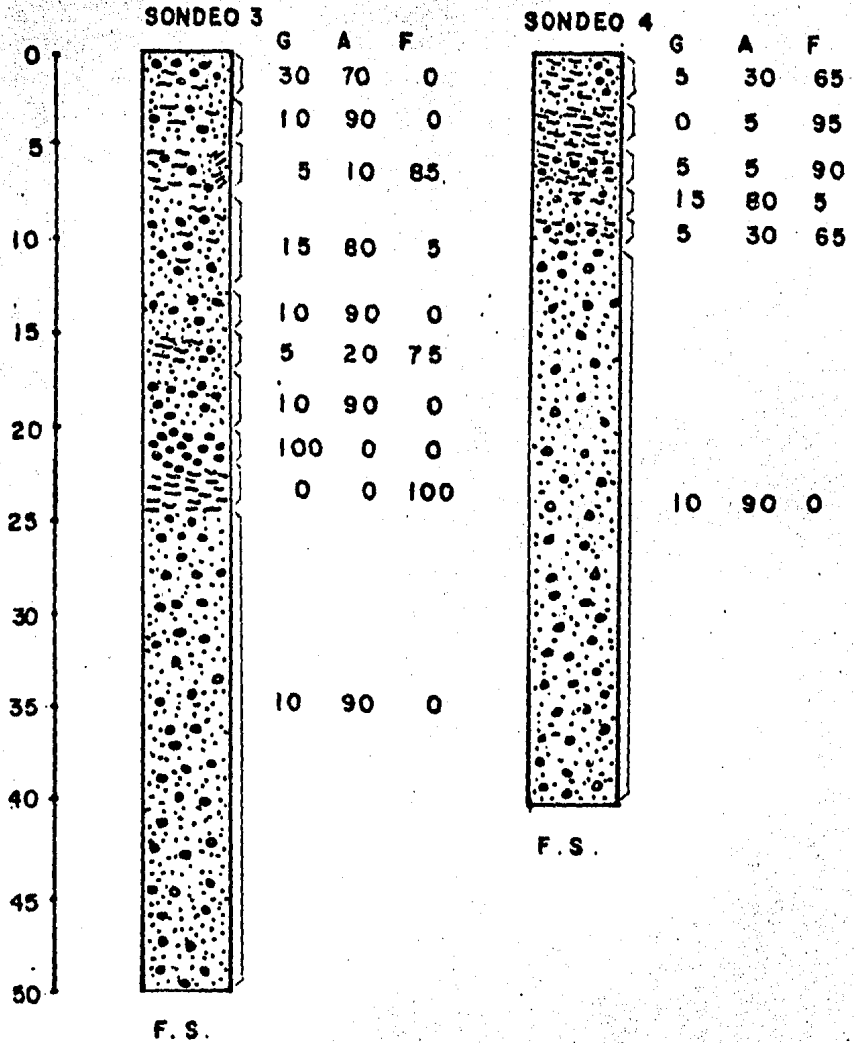


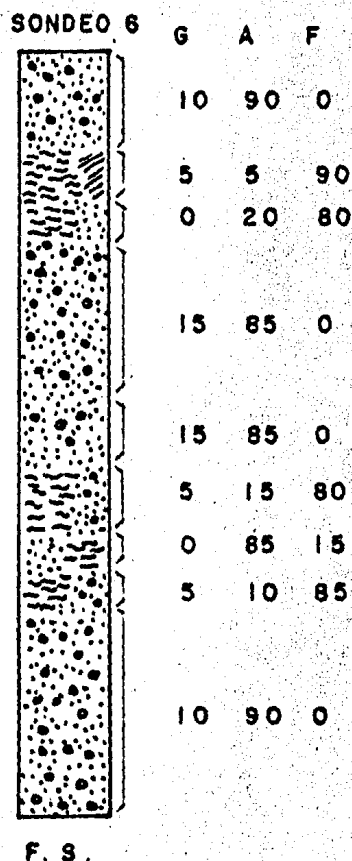
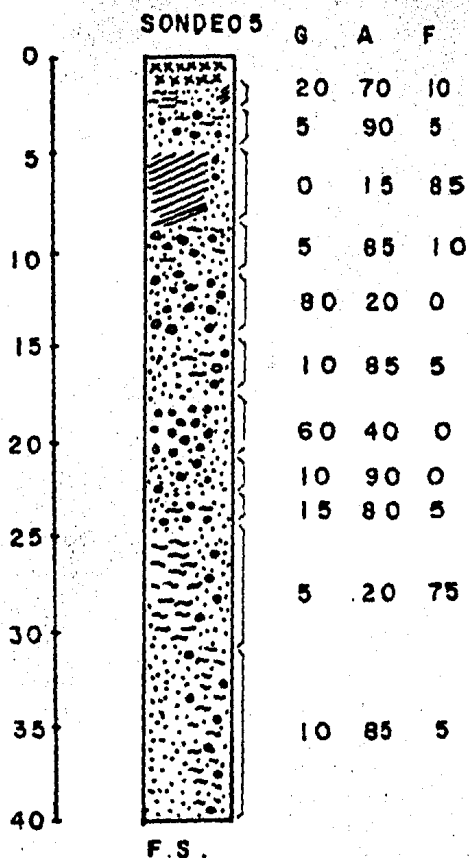
4.1 LOCALIZACION DE SONDEOS



-  ARCILLA
-  RELLENO
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA
-  ARENA PUMITICA
-  BOLEOS CON ARENA

F. S. FIN DE SONDEO
 G % DE GRAVA
 A % DE ARENA
 F % DE FINOS





4.3 BOMBEO

Con el fin de disminuir la presión hidrostática - en la clave de los túneles durante el proceso de excavación, fué 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 de la que hablo a continuación.

4.3.1 Prueba de bombeo

El propósito de esta prueba es determinar la distribución, la capacidad y la profundidad de operación de las bombas.

El primer paso fué instalar un pozo de bombeo - cuyas características principales enumero enseguida:

- 1) Diámetro de la perforación de 15" (38.1 cm)
- 2) El ademe del pozo fué a base de tubos de fierro de 10" (25.4 cm) de diámetro y espesor de pared de 1/4" (6.35 mm)
- 3) El filtro comprendido entre las paredes de la perforación y las paredes del ademe estuvo constituido por grava fina y arena limpia con granulometría entre 1/4" y la malla No. 10 (1.68-mm)
- 4) Se utilizó una bomba tipo sumergible con capacidad hasta de 20 lt/seg, su carga de operación - fué de 45.0 m
- 5) El pozo se desarrollo mediante bombeo con aire-sistema (AIR LIFT) usando doble tubería con objeto de establecer el flujo inicial del acuífero hacia el pozo y lograr el desarrollo de la zona acuífera alrededor del mismo.

Posteriormente a esta operación se procedió con el desarrollo final, iniciándose la extracción del agua con la bomba especificada para la prueba y en una lapso máximo de 12 horas.

La operación se realizó como sigue:

- Se tomaron pruebas de bombeo de 2 horas de duración a gastos constantes con el fin de obtener 3 gastos constantes diferentes duplicando cada prueba para confirmar los datos.
- Se hizo una prueba de recuperación (ascenso) entre cada prueba de bombeo.
- Con estos datos se determinó el gasto de operación constante y se hizo una prueba de 12 horas continuas.
- La operación se realizó con motor eléctrico por la cual la prueba se efectuó con el gasto que da la bomba.
- Al termino de cualquier prueba, el paro de la bomba se consideró como la iniciación de una prueba de recuperación, procediéndose a la toma de lecturas, conforme a los tiempos y frecuencias siguientes:
- Antes de iniciar el bombeo, primera lectura
- El inicio fué el tiempo cero
- Durante la primera hora: En minutos 0, 0.5, 1.5, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60
- Luego en horas: 1, 1.5, 2, 3, 5, 7, 10, y 12 hrs.

Adicionalmente a la instalación del pozo de bombeo se instalaron piezómetros abiertos. De estos hablaré más adelante.

Tanto las gráficas de los piezómetros, como las -

gráficas del pozo de bombeo se enviaron a ISTME , (Ingeniería de Sistemas de Transporte Metropolitano), para su estudio e interpretación con el objeto de diseñar el sistema de abatimiento adecuado.

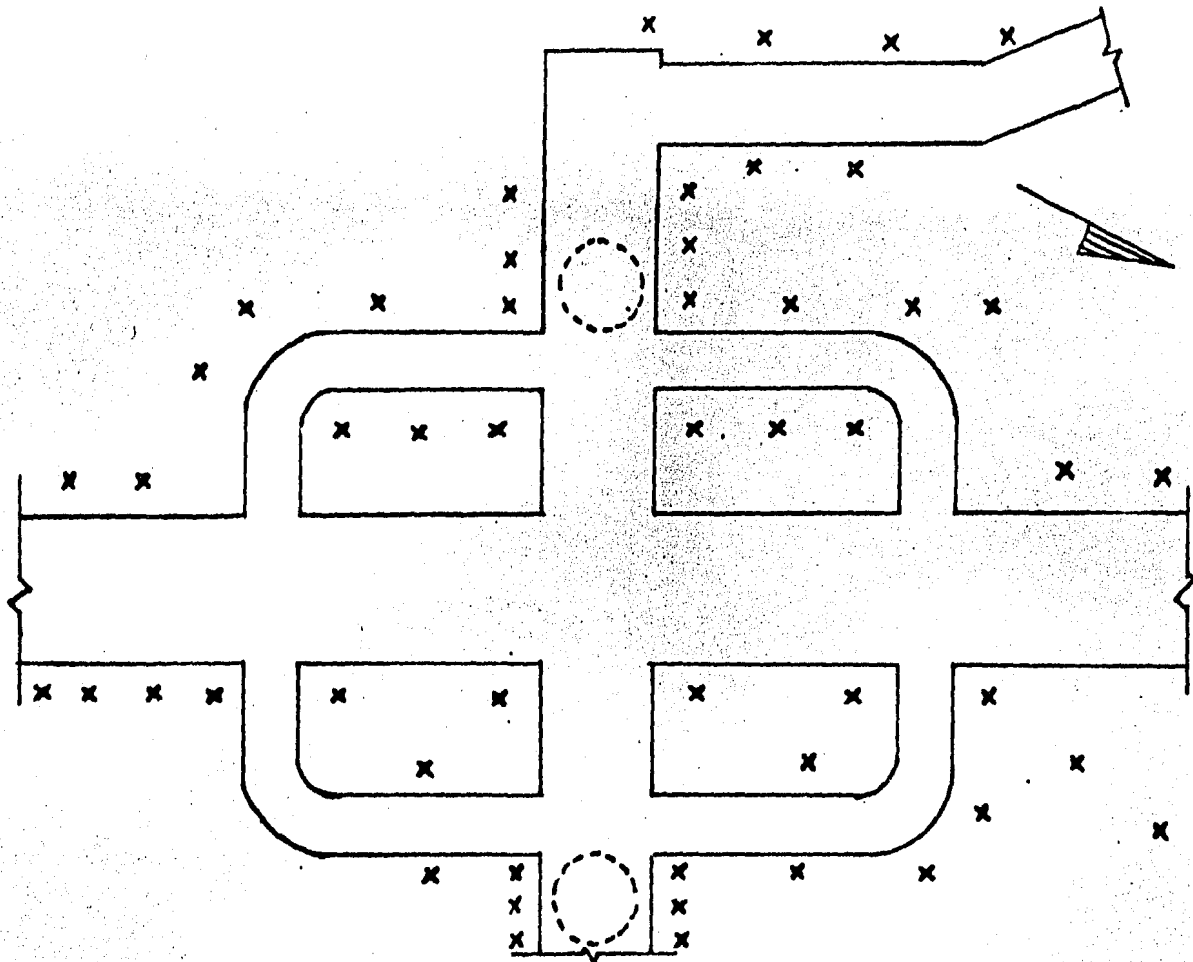
4.3.2 Pozos de Bombeo

Realizada la prueba de bombeo y aceptado el abatimiento adecuado se procedió a la instalación de los pozos de bombeo, ver localización en la figura 4.2

Los pozos se perforaron con broca tricónica con un diámetro de 12" (304.8 mm). En el lavado y limpieza de la 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 fué el siguiente: De la superficie del terreno natural hasta 12 m 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 constituido 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.



4.2 LOCALIZACION DE POZOS DE BOMBEO

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

Las bombas fueron del tipo pozo profundo sumergible de tazones con capacidad hasta para extraer 5 lt/seg.

Las bombas operen tratando de dar la mayor continuidad posible al flujo de agua durante el abatimiento, controlándolo 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 tunel para lo cual fué puesto en operación, pase por el sitio donde está ubicado dicho pozo. Lo anterior no se aplica a los pozos adyacentes al tunel de conexión, sino que el bombeo se suspende hasta la colocación del revestimiento primario en toda la extensión del tunel.

Para iniciar o continuar una excavación en un tunel deben operarse desde tres días antes, 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 eje longitudinal del tunel 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 el "REVERT" o similar.

4.3.3 Instrumentos de Medición

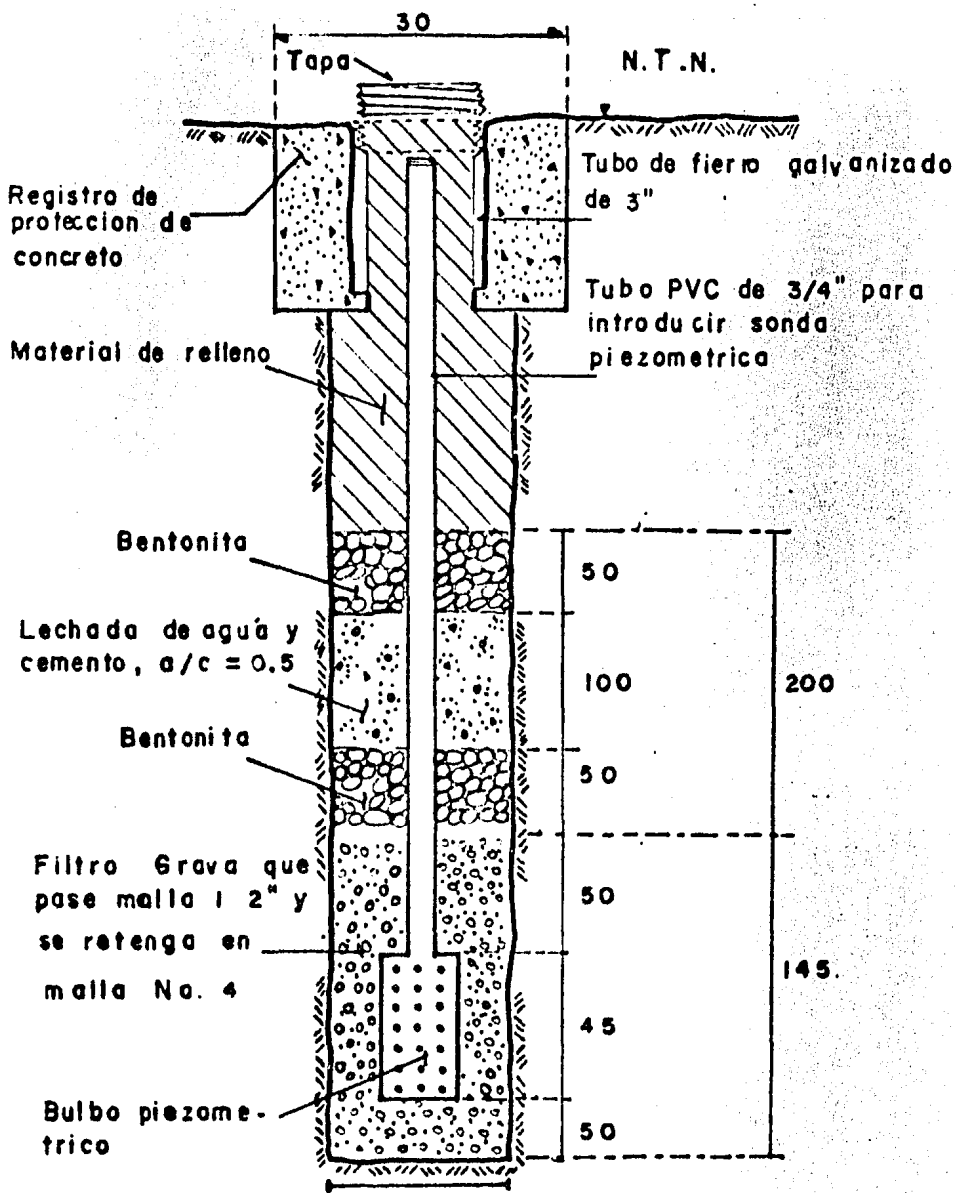
La instalación de instrumentos de medición tiene por objeto conocer las pérdidas de presión hidrostática en la zona adyacente a la estación Tacubaya y tener un mejor control en los posibles movimientos del subsuelo en dicha zona. Para esto se colocaron piezómetros y bancos de nivel profundo.

Piezómetros .- Se instalaron piezómetros abiertos - alojados en perforaciones de 6" (15.24 cm) de diámetro y embebidos en un filtro de arena en cuya parte superior se colocó un sello de 1.00 m de espesor constituido por "bolas" de bentonita sobre el cual se colocó nuevamente material de relleno producto de la excavación.

Los piezómetros se alojaron dentro de un ademe de P. V.C. de 2" de diámetro, ver figura 4.3, cada uno se protege contra daños y entradas de agua de la superficie - con una tapadera metálica soldada.

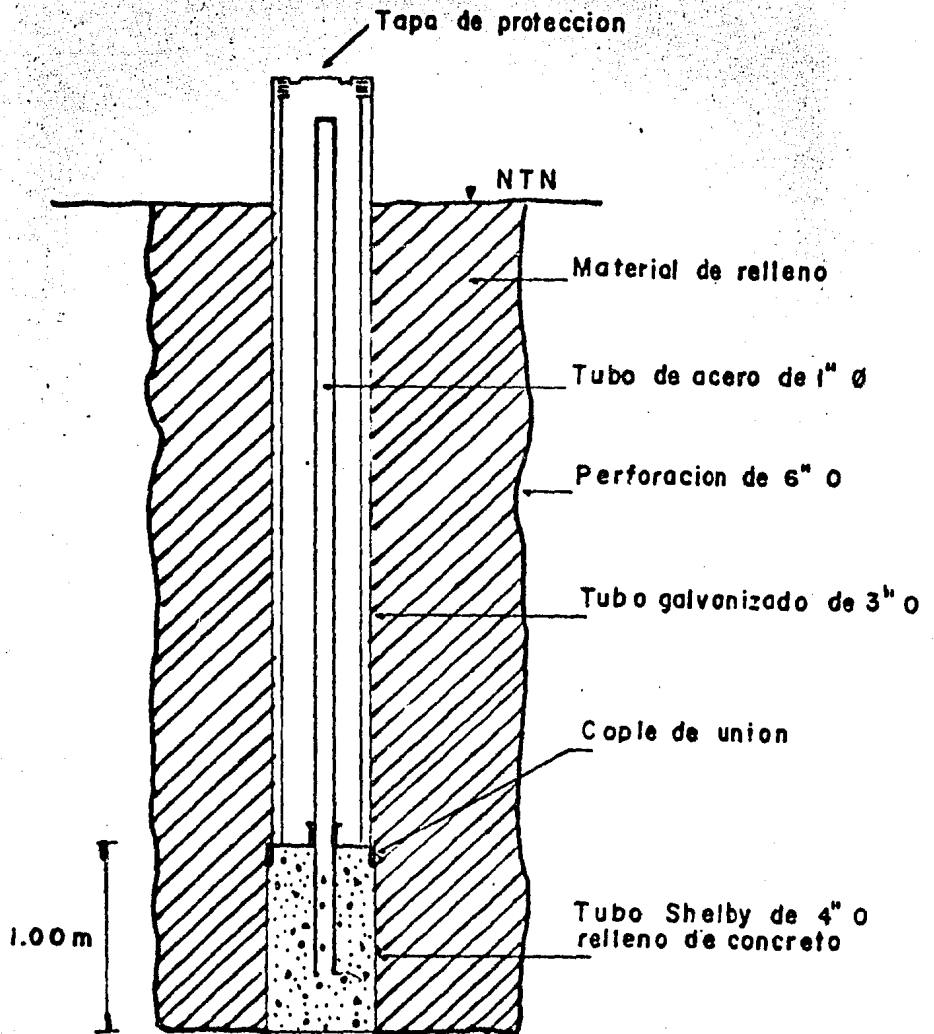
Bancos de Nivel Profundo .- Por cada estación piezométrica se colocó un B.N.P., están constituidos por un tubo de acero de 1" de diámetro y encamisado con un tubo galvanizado, de los usados para bajada de agua pluvial de 3" de diámetro, el cual queda fijo en el fondo de la perforación, ver figura 4.4

Las frecuencias de las lecturas son: Para los piezómetros, una vez cada 7 días durante 6 meses a partir de su instalación, construyéndose gráficas tiempo-presión-piezométrica y para los B.N.P. 1 vez cada 15 días durante 8 meses y se dibujan gráficas, tiempo-movimiento.



4.3 PIEZOMETRO ABIERTO CASAGRANDE

acot. en cm



4.4 BANCO DE NIVEL PROFUNDO

5 METODOS CONSTRUCTIVOS

Antes de profundizar sobre los procedimientos constructivos empleados en la construcción de la estación Tacuaya, considero sumamente importante hablar del concreto lanzado: revestimiento que se ha empleado en toda la construcción de la línea 7, tanto en túneles, como en túneles de tramo y estaciones, motivo por el cual presento el siguiente panorama.

5.1 CONCRETO LANZADO

5.1.1 Antecedentes

El concreto lanzado se define como "mortero o concreto conducido a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad contra una determinada superficie", o mejor aún, como el producto de elaborar una mezcla de cemento Portland, arena, grava y aditivo, que una vez mezclados serán lanzados a través de una manguera con una boquilla especial donde se le incluye agua (procedimiento de mezcla seca), impulsándose por medio de aire comprimido.

La Allentown Cement Gunt Company de Pennsylvania U.S.A., patentó en 1909, el mortero lanzado como una aplicación neumática de una mezcla de arena, cemento y agua al que llamó "Gunita", y una máquina lanzadora "Cement-Gun". Se empleó por primera vez (se estima que en 1914) en una obra subterránea en la mina experimental de Brunetown, de la Oficina de Minas de Pittsburgh, no teniendo demasiado éxito, sino hasta 1951 cuando se aplicó el concreto lanzado, conteniendo agregado grueso hasta de 25 mm de tamaño, como soporte temporal en el túnel de Ladano-Mosano del proyecto Hidroeléctrico de Muggia en Suiza. La diferencia básica entre Gunita y concreto - -

lanzado, está en el tamaño máximo del agregado, en la gunita es de 5 mm y en el concreto lanzado es hasta de 30 mm.

En el año de 1956 se patentó en Austria un método de aplicación del concreto lanzado y desde entonces ha sido empleado en los países de la región de los Alpes.

Posteriormente en Suecia se ensayó y utilizó un mezclador de tornillo, que se patentó con el nombre de "Robot -- Trixer", para la dosificación de mezcla seca. Entre los años de 1956 y 1966, se demostró su bondad en numerosos proyectos subterráneos austríacos, suizos e italianos, en condiciones tan variadas como; la prevención de aflojamiento de roca química y estructuralmente inestable; la estabilización de material heterogéneo de deslizamientos antiguos y de materiales blandos y húmedos; el soporte, combinado con anclas inyectadas, de excavaciones de terreno milonitizado de esquistos sericíticos muy húmedos que producen altas presiones de roca; y la excavación del metropolitano milanés en gravas no cementadas.

En 1960 y 1962 Aliva, una firma suiza fabricante de equipo lanzado, llevó sus máquinas y la técnica de su uso a Sudamérica, primero a Venezuela y después a Chile y Perú. Para 1965, Japón ya se había incorporado al desarrollo de la nueva técnica.

En Norteamérica se empieza a aplicar hasta 1967, cuando la firma canadiense Mason, Dolmage y Sewart lo pone en práctica en un tunel ferroviario en Vancouver, Canadá. Este retraso de Norteamérica en aceptar el concreto lanzado parece ser obvio, en primera, porque tenía suficiente acero como para no preocuparse de buscar un sistema de ademe más económico que los marcos de acero convencionales y en segunda, porque las experiencias de usar el concreto lanzado como soporte de excavaciones subterráneas, habían sido la mayoría de las veces, negativas.

Algunas obras en las que la utilización del concreto lanzado ha sido exitosa, son las siguientes:

- En los túneles para vehículos de la sierra Rippoli en Italia, donde el concreto lanzado se utilizó como soporte de un desfiladero de roca y arcillas húmedas.
- En la construcción del metro de Washington U.S.A. en esquistos y gneises.
- En el ferrocarril subterráneo de Milán, Italia excavado en arenas y gravas poco cementadas.
- En los túneles para vehículos de Caracas Venezuela, excavados en estratos de esquistos y grafito.
- En el tunel ferroviario de Furnaby, Vancouver Canadá, excavado en pizarras y calizas con alto contenido de agua.

5.1.2 Funciones

Existe gran variedad de ideas acerca de la manera en que el concreto lanzado cumple con su función como soporte y protección en una excavación subterránea. Los cuatro factores mencionados por C. Alberts (1963-1965), representante de la técnica sueca, quizá sean los más generalmente aceptados:

- 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 la del 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), - constituyen 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.

E.E. Mason y R.E. Mason de Canadá (1972) basándose - en la experiencia europea y, concretamente, en las in - vestigaciones y aplicaciones hechas por el grupo aus - triaco (el más activo en estas lides, encabezado por Ra - bcewicz) pregonan una función de colaboración, del con - creto lanzado con la roca, más completa que la simple - función de soporte de las presiones de aflojamiento.

Así citan los Mason, que de los conceptos de mecánica de rocas de Muller, éste concluyo que la estabilidad de un túnel se garantiza cumpliendo los siguientes re - quisitos:

- Evitar lo más posible el aflojamiento, esto por consi - derar la dependencia de la resistencia de la masa de roca en el grado de aflojamiento (a mayor aflojamien - to o dilatación, menor resistencia).
- Aprovechar lo más posible, el tiempo que la roca re - quiere para deformarse (se admite que algún despla - zamiento o flujo plástico debe permitirse si se quiere - disminuir lo más posible, la carga de roca sobre los -

ademes).

- Proveer de soporte lateral a la roca, mediante fuerzas aplicadas oportunamente para evitar esfuerzos uniaxiales.

El objetivo es la estabilización de una excavación para volver al equilibrio la masa de roca que la rodea, -- más que proveer un soporte a las presiones de aflojamiento; principio este último en el que se basan en gran medida los sistemas de soporte convencionales.

Para que el revestimiento de concreto lanzado dé buenos resultados, su interacción con la roca debe ser tal que impida el movimiento continuo de ésta. Su verdadera función es más bien de colaboración con ella. En otras palabras, el objeto del concreto lanzado es el de mantener el equilibrio de la roca alrededor del tunel, reforzado su capacidad de auto soporte, más bien que tratar de reemplazar o reproducir las propiedades de soporte de la roca que se removió del tunel al excavar.

5.1.3 Métodos utilizados

Existen dos procedimientos para aplicar el concreto lanzado: el de mezcla húmeda y el de mezcla seca.

El primero consiste en mezclar cantidades medidas de agregados, cemento y agua, introducir la mezcla resultante en un recipiente para de ahí conducirla neumáticamente a través de una manguera y expulsarla finalmente por una boquilla. Tiene la ventaja de que se lleva un control rígido de la relación agua-cemento de la mezcla, pero el equipo disponible maneja agregado máximo de sólo 9.5 mm (3/8"). Por otra parte, como los aditivos, por su acción rápida, no es posible añadirlos antes de la boquilla, es imposible lograr un mezclado completo de los -

mismos, ya sea que vengan en forma de polvo o en forma de líquido; por ello el producto no llega a adherirse bien -- del todo a superficies húmedas. Al tener una relación a -- agua-cemento predeterminada, se presta menos a la flexibi- lidad de aplicación que se requiere, sobre todo en traba- jos subterráneos, cuando las condiciones del terreno son cambiantes y obligan a variar rápidamente la cantidad de agua. Lleva, además, los riesgos de taponamiento inheren- tes a todo concreto bombeado cuando por alguna causa se -- interrumpe el suministro o la expulsión.

Este método se considera adecuado para emplearse en -- los accesos de pequeñas dimensiones a minas, los cuales -- en su mayor parte están secos.

El procedimiento de mezcla seca consiste en una revol- tura de agregados, algo húmedos y cemento, que es alimen- tada a una máquina lanzadora, de la cual se envía un cho- rro con 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 en la mezcla seca cuan- do ésta se alimenta a la máquina lanzadora; si se usan a- ditivos líquidos, éstos se mezclan con el agua de hidrata- ción 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.

5.1.4 Materiales para su elaboración

Los materiales que forman el concreto lanzado son una mezcla de cemento Portland, arena, grava de tamaño no ma-

yor de 3/4", agua y un aditivo acelerante especial para -
elaborar concreto lanzado.

- 1) Cemento .- Debe usarse cemento Portland de una marca -
reconocida y que cumpla con la especificación ASTM-C -
150.
- 2) Agregados .- La arena y grava que se utilicen para for-
mar el concreto lanzado, deben obtenerse de bancos na-
turales o por trituración de rocas, las partículas de-
ben ser duras y sanas y no deben reaccionar con los ál-
calis del cemento, si así fuera estos agregados deben-
desecharse a menos que se apliquen medidas correctivas.
- 3) Agua de mezclado.- El agua de mezclado debe ser potable.
- 4) Aditivos acelerantes.- Deben ser especiales para el --
concreto lanzado y con ellos deben lograrse las siguien-
tes propiedades:
 - Deben producir un fraguado inicial en un tiempo me -
nor a 3 minutos con la mezcla de cemento y agregados
correspondientes cuando esté ante la presencia de --
filtraciones importantes de agua.
 - Deben garantizar la uniformidad del producto final -
aún cuando su proporción varíe en las condiciones --
normales de aplicación en el campo.
 - Pueden utilizarse tanto editivos en polvo como aditi-
vos líquidos, pero no se permite el uso de aditivos--
acelerantes que contengan cloruros.

Los aditivos acelerantes antes de emplearse, deben-
cumplir con los siguientes requisitos, obtenidos de --
pasta de cemento con relación de agua-cemento de 0.35-
en peso.

- Tiempo de fraguado inicial (máximo) 3 minutos
- Tiempo de fraguado final (máximo) 12 minutos

- Resistencia a la compresión simple de la pasta, a una edad de 8 horas, en cubos de 5 cm de lado

60 kg/cm² (mínimo)

5.1.5 Equipo de Lanzado

El equipo debe tener un recipiente para hacer el mezclado del cemento, agregados y aditivo en seco; bomba para conducir la mezcla hasta la boquilla, manguera para incluir el agua en la boquilla y expulsarla con aire a presión; debe mantenerse limpio y en buenas condiciones de operación. La presión a la salida de la máquina-lanzadora se mantiene constante y no será menor de 3.5-kg/cm² para mangueras hasta de 30 m de largo medidas -- desde la lanzadora hasta la boquilla y debe incrementarse en 0.3 kg/cm² por cada 15 m de manguera en exceso de los primeros 30 m.

5.1.6 Dosificación y Mezclado

El transportista puede optar en mezclar y transportar los ingredientes del concreto lanzado de acuerdo -- con una de las dos siguientes posibilidades:

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

La mezcla de los agregados y el cemento debe ser una mezcla homogénea y el tiempo mínimo de mezclado debe -- ser de 2 minutos. Los materiales deben ser transportados y descargados a las máquinas lanzadoras en forma tal --

que no se produzca segregación de los componentes de la mezcla. Las mezclas no deben estar muy húmedas, ni muy secas; El primer caso produce taponamientos de las mangueras o tuberías de conducción y aumentan las velocidades de hidratación a niveles inaceptables, y las mezclas muy secas dan problemas de no uniformidad del humedecimiento en la boquilla, lo que aumenta el polvo durante el lanzado y reduce la compactación.

Mezclas secas que tengan más de 120 minutos de haberse mezclado deben desecharse, en igual forma se procede con aquellas que presenten hidratación prematura.

5.1.7 Preparación de la superficie

La superficie donde se aplica el concreto lanzado es la descubierta por la excavación y debe estar libre de trozos y fragmentos de suelos sueltos y de lodo, debe conservar la humedad natural del suelo, o la superficie se humedecerá 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 un 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.

5.1.8 Aplicación, curado y rebote

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

Deben preverse todas las instalaciones y equipo necesario para que se pueda colocar concreto en todo momento, la posición de la boquilla de lanzado, debe ser aproxima

damente 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 y si se requiere colocar más de una - capa de concreto, éste 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 satisfactorias 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 pa - ra lograr un mínimo de "rebote" (desperdicio). Las super - ficies húmedas o las infiltraciones de agua aumentan el - rebote y es mayor además cuando la calidad del lanzado es pobre.

5.1.9 Resistencia especificada

El concreto lanzado una vez colocado se controla utili - zando los siguientes valores como indicativos de la varia - ción esperada:

Edad	Resistencia a compresión simple especificada
a 24 horas	90 kg/cm ²
a 3 días	120 kg/cm ²
a 7 días	150 kg/cm ²
a 28 días	200 kg/cm ²

Las resistencias del concreto lanzado se obtienen del ensaye de corazones de 3" de diámetro como mínimo, y se considera adecuada, si el promedio de 2 corazones ensayados es por lo menos igual al 85 % de la resistencia especificada, y ningún corazón tiene una resistencia menor de 75 % de dicha resistencia.

5.1.10 Propiedades

Las propiedades más importantes del concreto lanzado son:

- a) El esfuerzo a la compresión generalmente se especifica entre 250 - 350 kg/cm² a los 28 días.
- b) El esfuerzo a la tensión es ligeramente superior a 50 kg/cm²
- 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 compresión, por lo cual puede fluir y flexionarse como una membrana estructural.

5.1.11 Proporcionamiento

El proporcionamiento base considerado por metro cúbico es :

Cemento	425 kg
Arena	860 kg
Grava	590 kg
Agua y Aditivo	230 kg y 12 kg

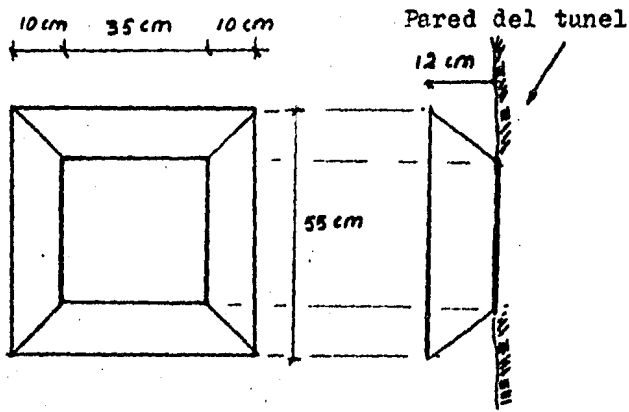
5.1.12 Control de calidad

Por cada 50 m^3 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 en una de las paredes de la excavación de manera que al lanzar sobre ella el concreto no se mueva o caiga no se moverá antes de 12 horas de haberse lanzado.

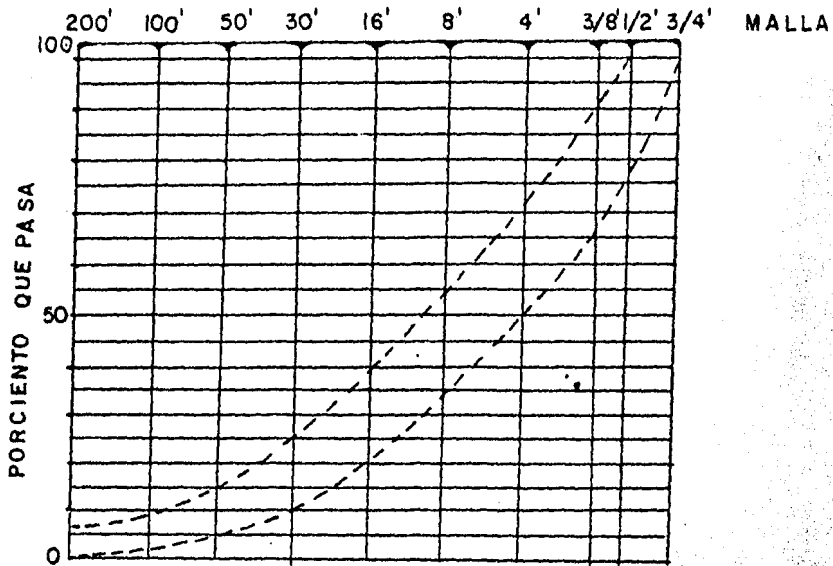
A partir de entonces se trasladará al laboratorio en donde deben colocarse inmediatamente en las condiciones de curado requeridas, a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ó sumergidas en agua a una misma temperatura si se almacenan en el laboratorio de la obra.

Estas muestras se ensayarán a compresión simple, a una edad mínima de 22 horas probando 2 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 28 días de edad del concreto .

A r t e s a



Estas artesas son de madera de 19 mm de espesor.



5.1 CONCRETO LANZADO Limites Granulometricos

Deben realizarse también pruebas de resistencia y de control de agregados (calidad y granulometría), periódicamente.

De los agregados en planta y en obra se obtendrán -- muestras, una cada semana, para realizar en ellas las -- pruebas especificadas en la figura anterior.

Límites máximos de sustancias y requisitos de propiedades físicas del agregado fino y grueso expresados en porcentaje en peso de la muestra total.

Prueba	Arena	Grava
Grumos de arcilla y partículas desmezurables	3.0	4.0
Material que pasa por la malla No. 200	5.0 ^a	2.0 ^b
Carbón y Lignito	1.0	0.5
Pérdida por abrasión	-	50.0

Notas :

- a) En el caso del material fino que pasa por la malla No. 200, que es producto de la desintegración de rocas, el porcentaje límite se incrementará a un 10 %.
- b) En el caso de agregados triturados, si el material que pasa por la malla No. 200, es el producto de la fractura de rocas exentas de arcilla y/o pizarras este límite puede incrementarse a 3 %.

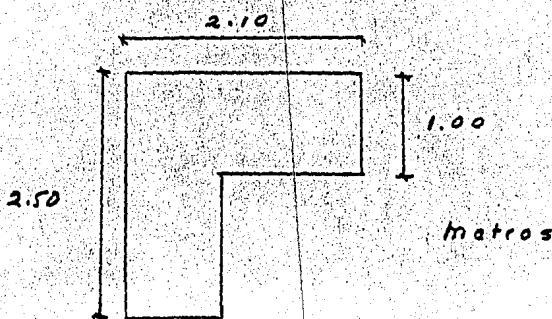
5.2 CONSTRUCCION DE LAS LUMBRERAS

Como mencioné anteriormente, para la construcción de los túneles de la estación Tacubaya, fué necesario construir 2 lumbreras de acceso, la lumbrera 16 y la lumbrera 16', el procedimiento que se siguió para tal efecto es similar en ambos casos, por lo que considero suficiente mencionar el procedimiento seguido para la construcción de una de estas lumbreras (lumbrera 16'), con la diferencia de niveles de excavación respecto al terreno natural.

5.2.1 Construcción del brocal

La excavación se llevó a cabo a cielo abierto y conforme a lo siguiente: Una vez definido el trazo de la lumbrera, se excavó a mano y con maquinaria en todo el perímetro de ésta hasta una profundidad de 2.50 m en un ancho de 1.0 m para alojar los faldones del brocal. La rama horizontal (alero) sirvió para permitir el rodamiento de la máquina de excavación sin riesgo de producir algún caído.

La sección del brocal es:



Para su excavación se utilizó el siguiente equipo:

- Compresor portátil de 600 ft³/min
- Martillos neumáticos rompedores

- Cargador sobre orugas de descarga lateral
- Retroexcavadora
- Picos, palas y carretillas, etc.

5.2.2 Excavación y Revestimientos

Teniéndose ya la excavación, armado y colado del brocal se procedió a la construcción del núcleo de la lumbrera.

La excavación de los 2.50 m de profundidad del brocal se hizo con retroexcavadora desde la superficie y a partir de esta cota se introdujo la retroexcavadora a la lumbrera para continuar con la excavación, para el material de rezaga se utilizó una draga colocándole un bote de 1 m³ de capacidad.

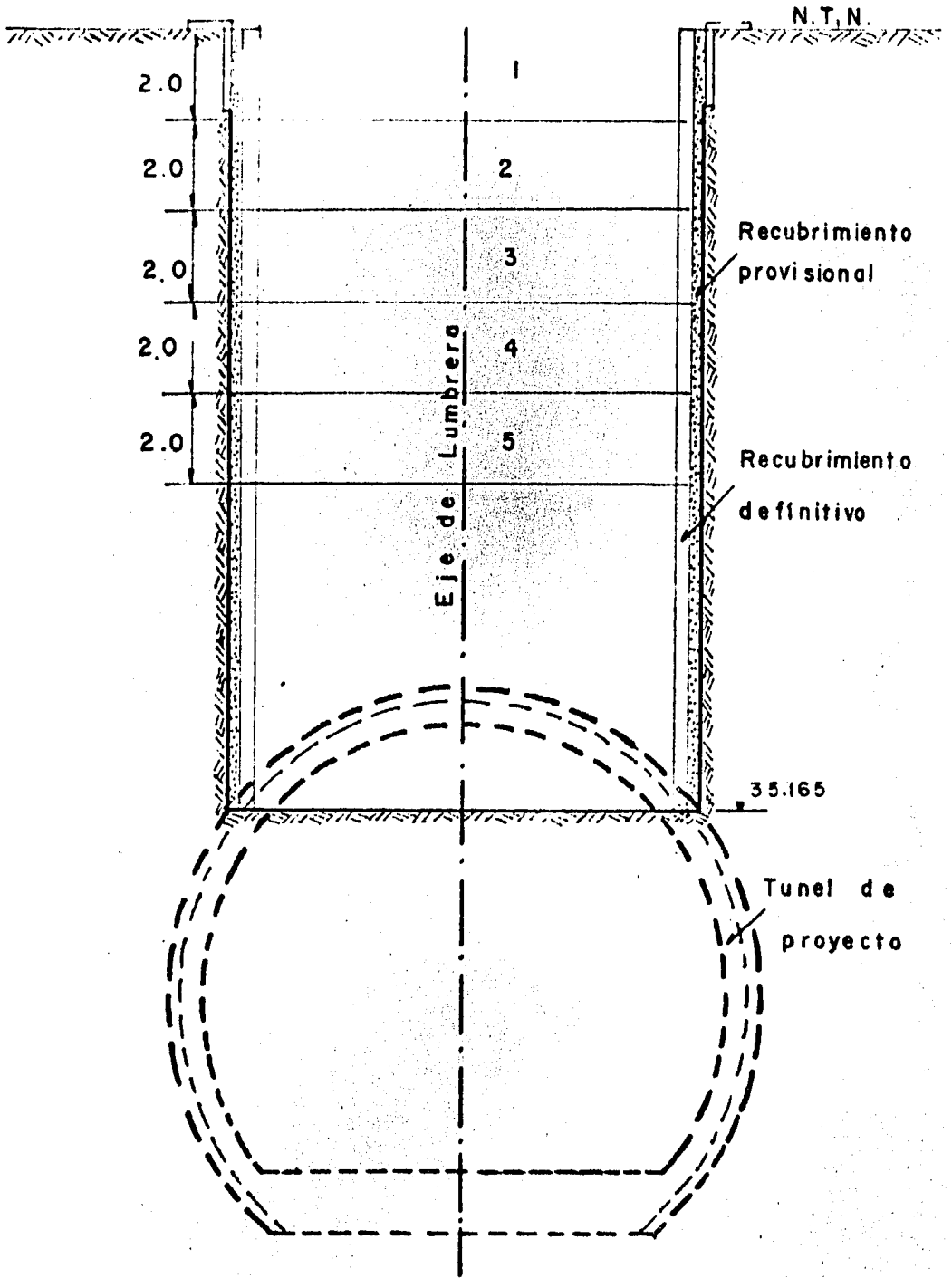
El proceso de excavación se efectuó en etapas de 2.0 m de longitud demandando de inmediato la zona descubierta con concreto lanzado en combinación con una malla electroforada del tipo 6 x 6 - 6/6, haciendo un espesor de 15 cm.

El procedimiento de excavar en etapas de 2.0 m y ademar con concreto lanzado, se continuó hasta alcanzar el nivel 35.165, ver figura 5.2

El equipo para lanzar concreto estuvo compuesto por:

Un carro mezclador Tipo Trixer de 6 m³ de capacidad que pasa la mezcla de agregados y cemento a una máquina lanzadora aliva con salida de 2" de diámetro y por una manguera de igual diámetro se le agrega agua con aditivo hasta un chiflón de 2" de diámetro en donde se le incluye agua y los agregados.

Terminada la excavación y ageme de la lumbrera se procedió a colar una plantilla de 5 cm de espesor únicamente en la zona donde se desplantería el muro, adicionándole un editivo acelerante de fraguado.



5.2 EXCAVACION EN LUMBRERA

acot. en m

Efectuado lo anterior, se procedió a construir el ademe definitivo, constituido por concreto reforzado con acero - colado con cimbra deslizante. El armado se hizo de abajo - hacia arriba, comenzando con 6 m de armado, de manera que - se llevó cuando menos 4 m de ventaja a la cimbra deslizan - te, ya que ésta tiene 1.60 m de altura, se utilizó concre - to de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$. Para apoyar, nivelar y subir la -- cimbra se utilizaron gatos hidráulicos colocados en la su - perficie del terreno natural.

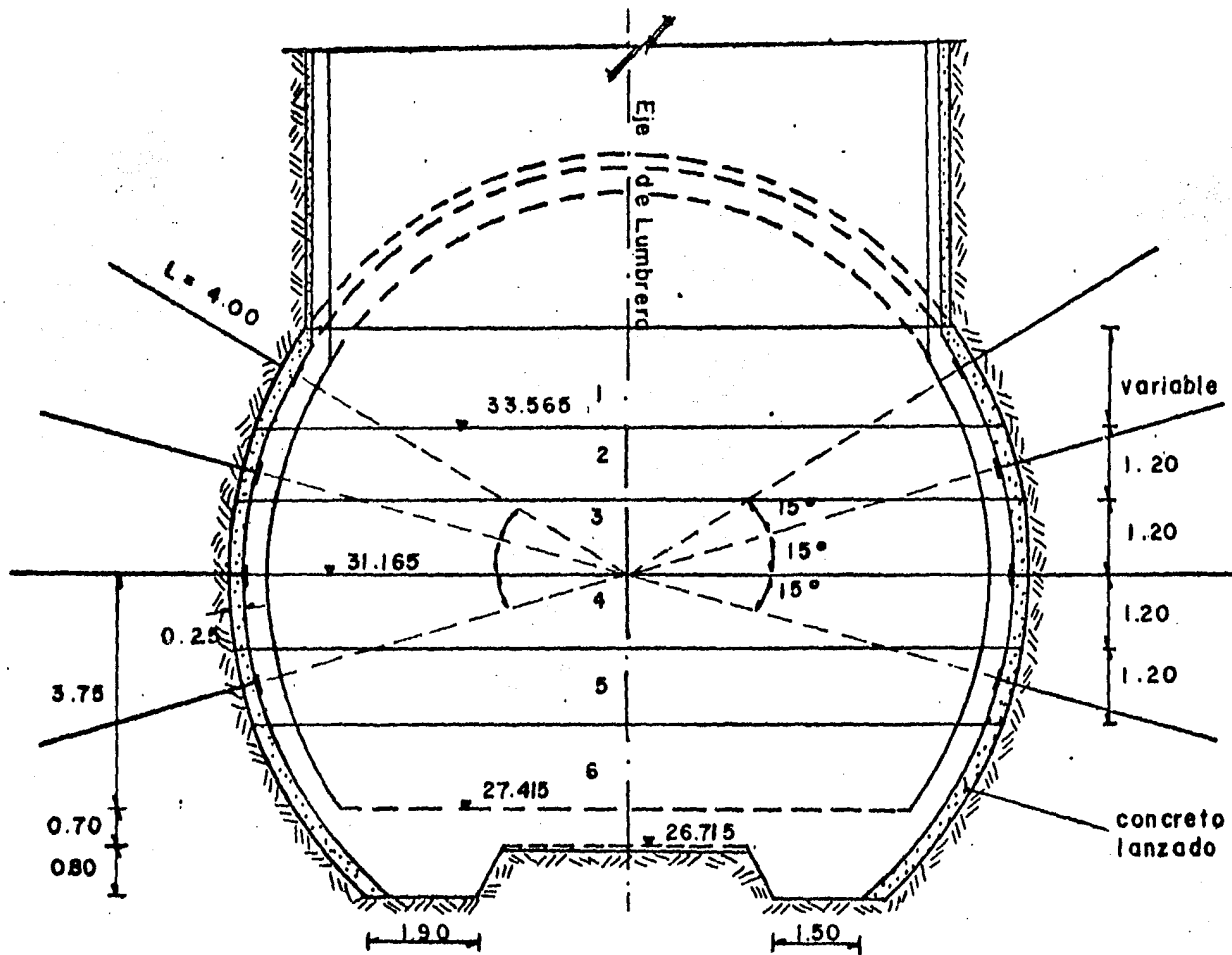
Después de alcanzar el concreto del ademe definitivo su resistencia de proyecto (cuando menos 70%), se llevó a ca - bo una ampliación en la lumbrera, de la cual hablo a con - tinuación.

5.2.3 Ampliación de la zona inferior

Debido a que la geometría del tunel de conexión de la - estación Tacubaya es mayor que la de las lumbreras, fué ne - cesario llevar a cabo una ampliación en la lumbrera 16' - hasta el nivel de desplante de plantilla para la losa del - tunel de conexión.

La excavación se hizo por etapas y en todo el perímetro de la misma. A partir del nivel 35.165 m se inició la ex - cavación de la primera etapa, así como la ampliación en la lumbrera hasta el nivel 33.565 siguiendo la geometría del - tunel de conexión, ver figura 5.3 .

Efectuada la excavación, se lanzó una primera capa de - concreto de 5 cm de espesor en toda la superficie de las - paredes descubiertas, inmediatamente después se instaló -- una malla electrosoldada del tipo 6" x 6" - 4/4, para pro - ceder a lanzar una segunda capa de concreto con espesor de 15 cm en los lados del tunel y de 5 cm en el frente.



5.3 AMPLIACION EN ZONA INFERIOR

acot. en m

Posteriormente se instaló una segunda malla de las mismas características únicamente en las zonas que corresponden al tunel de conexión y se lanzó una tercera capa de concreto con espesor de 5 cm, lanzada también únicamente en las zonas del tunel de conexión.

Con lo anterior se concluyó la colocación del revestimiento provisional, con espesor de 25 cm en las zonas del tunel de conexión y de 10 cm en el frente de ataque.

Tres horas después de lanzada la tercera capa de concreto, se efectuaron perforaciones en el revestimiento primario para colocar anclas. Estas anclas están constituidas por varillas de 1" de diámetro y una longitud de 4.0 m contados a partir del paño de la excavación. En la figura 5.3 anterior se pueden apreciar estas anclas, y más adelante hablaré de ellas con mayor detalle.

Una vez instaladas las anclas de la primera etapa, se continuó con la excavación, lanzado de concreto e instalación de las anclas para las etapas subsecuentes, siguiendo la secuencia anterior.

Alcanzado el nivel máximo de excavación, se procedió a excavar y a colar la losa de piso del tunel de conexión y enseguida a colar el revestimiento definitivo en la parte restante de la sección del tunel, ligando su armado con el de la lumbrera.

5.3 CONSTRUCCION DE LOS TUNELES

Existen diferentes métodos para realizar la excavación de túneles, entre ellos se tienen:

- Método de excavación a plena sección ó Método inglés.
- Método de la galería de clave ó Método belga.
- Método de las dos galerías ó Método austriaco.
- Método de las tres galerías o Método alemán.

El método que se siguió en la construcción de la estación Tacubaya, es el que describo a continuación.

5.3.1 Procedimiento general por etapas

Antes de describir cada uno de los procedimientos de construcción que se han seguido en la estación Tacubaya y tomando en cuenta la existencia de zonas de intersección de las diferentes secciones que constituyen los túneles de la misma, se recomendó la siguiente secuencia para efectuar su construcción.

1a. Etapa .- Excavación y construcción del tunel de conexión, dejando en éste, las preparaciones necesarias en el coledo del revestimiento definitivo, para la construcción de los túneles de andén y de distribución.

2a. Etapa .- Excavación del tunel de andén poniente y simultáneamente, la excavación del tunel de distribución-orienté, con la construcción de sus correspondientes trabes de borde y emportalamientos.

3a. Etapa .- Alcanzada la resistencia de proyecto de los túneles anteriores, se procede con la excavación y construcción de los túneles de andén oriente y de distri-

bución poniente, igualmente con la construcción previa de sus correspondientes traveses de borde y emportalamientos.

4a. Etapa .- Construcción de los túneles correspondientes al local técnico y subestación.

5.3.2 Tunnel de Conexión

La construcción de este tunnel se llevó a cabo en módulos de 6.0 m de longitud, atacados en 2 fases cada uno; la primera comprendió la excavación y la colocación del revestimiento primario en la sección media superior, incluyendo la excavación y el colado de las zapatas de apoyo en los extremos inferiores de la misma y la segunda fase que comprendió la excavación y la colocación del revestimiento primario en la sección media inferior, incluyendo la excavación y el colado de las zapatas inferiores. Ambas fases se atacaron por etapas con avance máximo de 1.20 m.

Después de efectuada la ampliación de la zona inferior de las lumbreras, se inició la excavación en los primeros módulos en la forma siguiente, ver figura 5.4 .

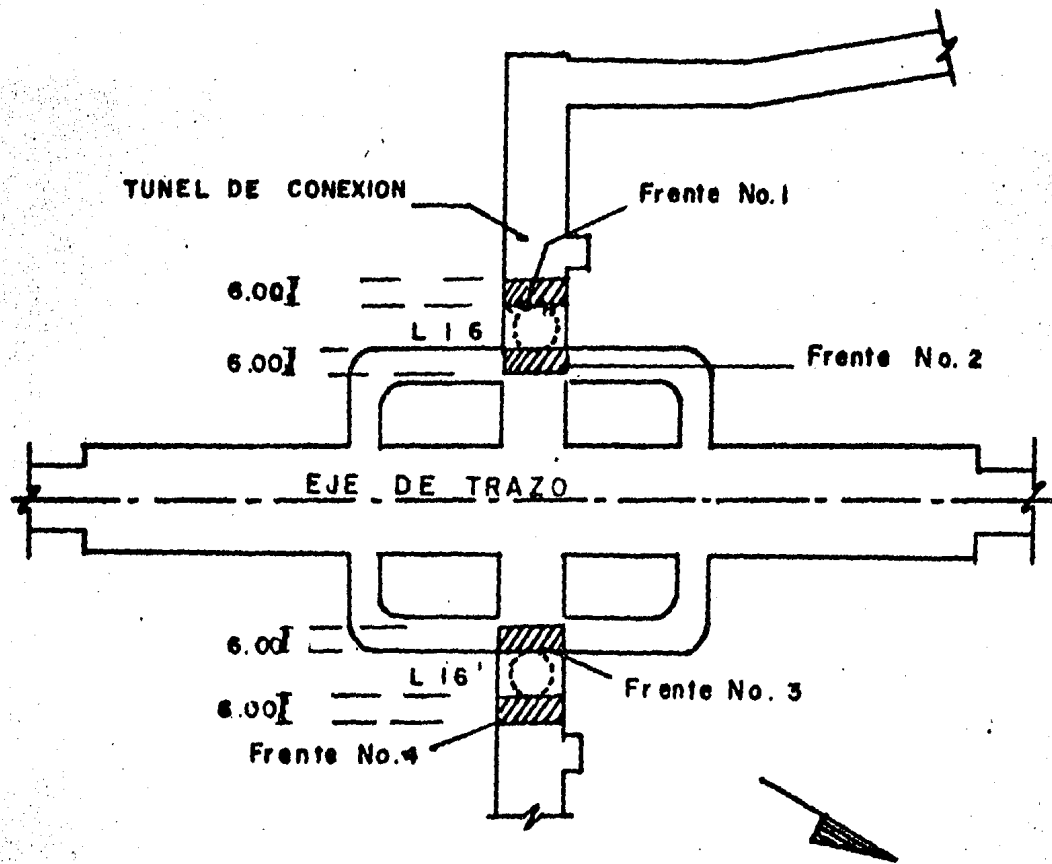
PRIMERA FASE

Excavación y colocación del revestimiento primario en la sección media superior. -

1) Se inició la excavación en la sección media superior con un avance de 1.20 m efectuando una sobre-excavación en los extremos inferiores de la sección, para construir las zapatas de apoyo provisional de la sección media superior, ver figura 5.5 .

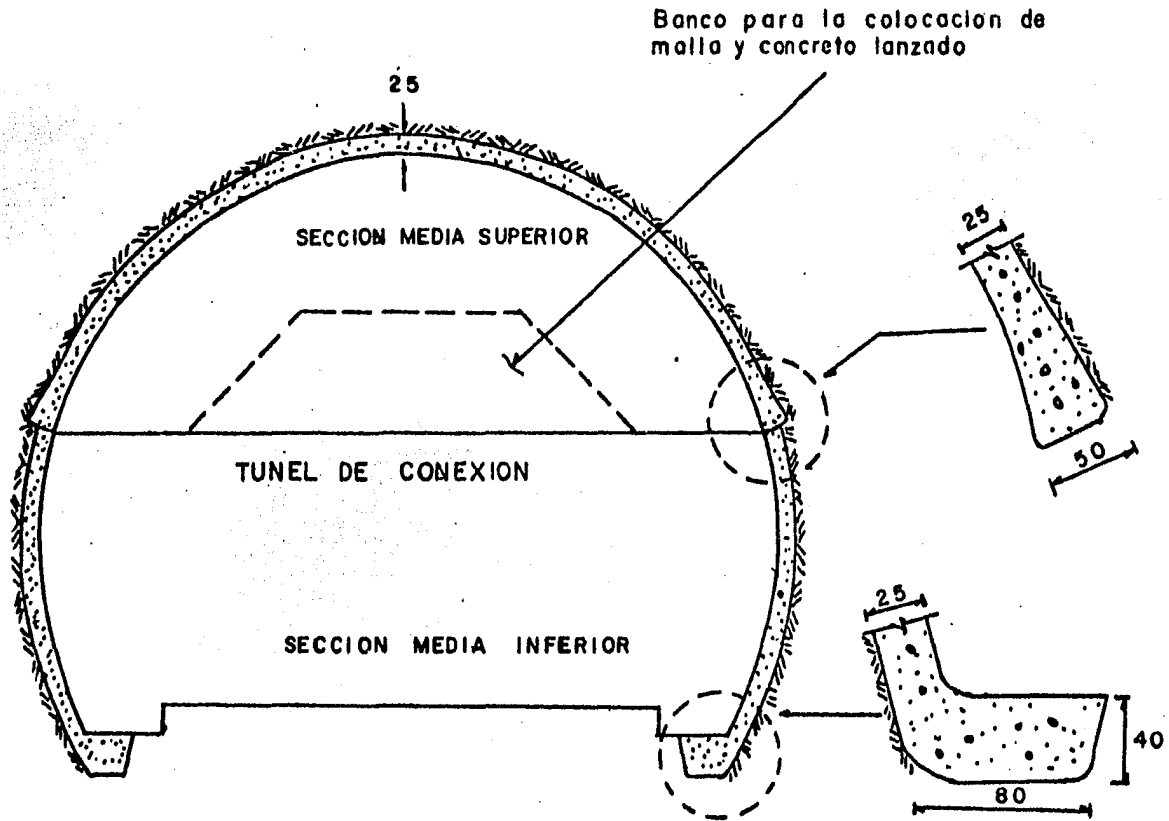
2) Se lanzó posteriormente una capa de concreto de 5 cm de espesor, en el área perimetral excavada.

3) Se colocó la primera malla metálica de acero electro



5.4 EXCAVACION POR MODULOS

acot. en m



5.5 ZAPATAS DE APOYO

acot. en cm

soldado de $6 \times 6 - 4/4$, dejando un excedente en su parte inferior, este excedente sirvió para efectuar el traslape con la malla de la sección media inferior, colocada posteriormente.

4) Enseguida se efectuó el lanzado de la segunda capa de concreto lanzado de 15 cm, así como también el colado de las zapatas mencionadas.

5) Se colocó la segunda malla electrosoldada y se volvió a lanzar una tercera capa de concreto de 5 cm, quedando de esta forma el ademe primario de la primera etapa con espesor de 25 cm.

Esta secuencia se aplicó en forma consecutiva en las etapas subsecuentes de la sección media superior, cada una de 1.20 m hasta hacer los 6 m de longitud.

SEGUNDA FASE

Excavación y colocación del revestimiento primario en la sección media inferior .-

1) Se inició igualmente como en la primera fase la excavación de la sección media inferior, hasta lograr un avance de 1.20 m y se efectuó también la sobre-excavación para alojar las zapatas de apoyo del revestimiento provisional de la sección media inferior.

2) Lanzado de la 1.ª capa de concreto de 5 cm de espesor, en el área perimetral excavada y en las zanjales de las zapatas.

3) Colocación de la primera malla electrosoldada y amarre y traslape con los 30 cm que se habían dejado en la primera malla de la sección media superior. Esta malla también se prolongó 30 cm para constituir el refuerzo de las zapatas.

4) Lanzado de la segunda capa de concreto de 15 cm y colado de las zapatas.

5) Colocación de la segunda malla y lanzado de la tercera y última capa de concreto con espesor de 5 cm, -- quedando así el ademe provisional de 25 cm.

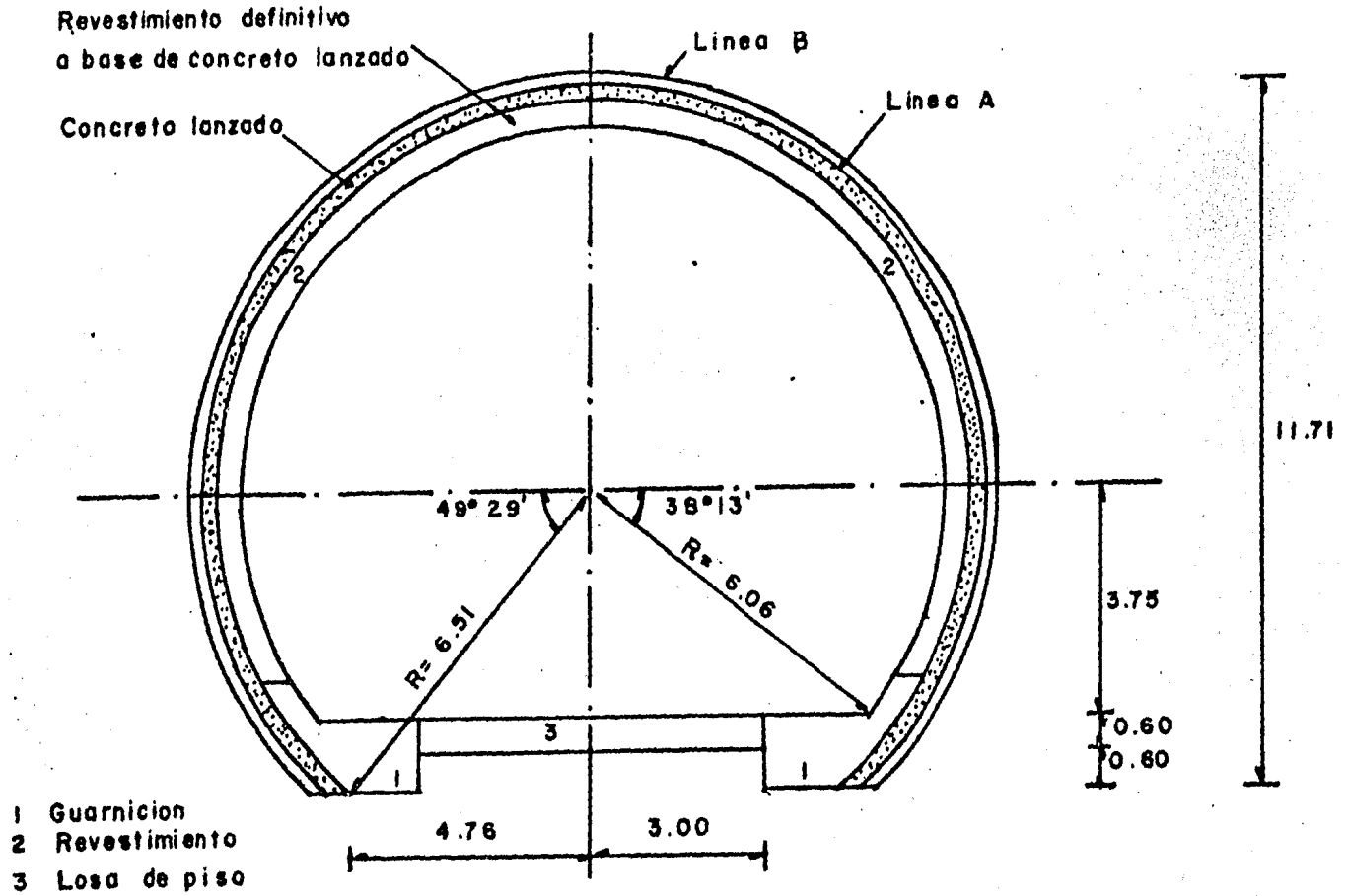
Este procedimiento se aplicó también en cada una de las etapas de la sección media inferior subsecuentes, completando también los 6 m.

A partir de este momento se estuvo en condición de proceder a revestir el tunel en forma definitiva y continuar con el siguiente módulo de 6 m, con el procedimiento anterior descrito.

La secuencia de colado para el revestimiento definitivo se puede apreciar en la figura 5.6 .

Notas importantes

- Solo al inicio de la excavación del tunel de conexión, -- los módulos adyacentes a una misma lumbrera no pudieron atacarse en forma simultánea, y sí hasta que en uno de los dos módulos adyacentes se haya terminado el colado del revestimiento definitivo.
- Sólo los módulos de 6 m de longitud adyacentes a las lumbreras se pudieron atacar sin bombeo previo.
- En la construcción del tunel de conexión, el área correspondiente a la sección del tunel de andén, el espesor -- del revestimiento primario fué de 15 cm, con objeto de -- facilitar su demolición al iniciar los túneles de andén -- además se colocaron anclas de fricción.



5.6 SECUENCIA DE COLADO

acot. en m

5.3.3 Túneles de Andén y de Distribución

Los túneles de andén de la estación Tacubaya están constituidos por dos túneles auxiliares "A" y "B".

Para la excavación y construcción del túnel auxiliar "A" fué necesario demoler las paredes del túnel de conexión en la zona de intersección con este túnel auxiliar, y excavar para construir la trabe de borde y el encapillado correspondiente.

La excavación del túnel de andén oriente (auxiliar "B") se pudo iniciar una vez que se colocó el revestimiento definitivo a todo lo largo del túnel de andén poniente (auxiliar "A"), ver figura 5.7.

Procedimiento constructivo para los túneles auxiliares

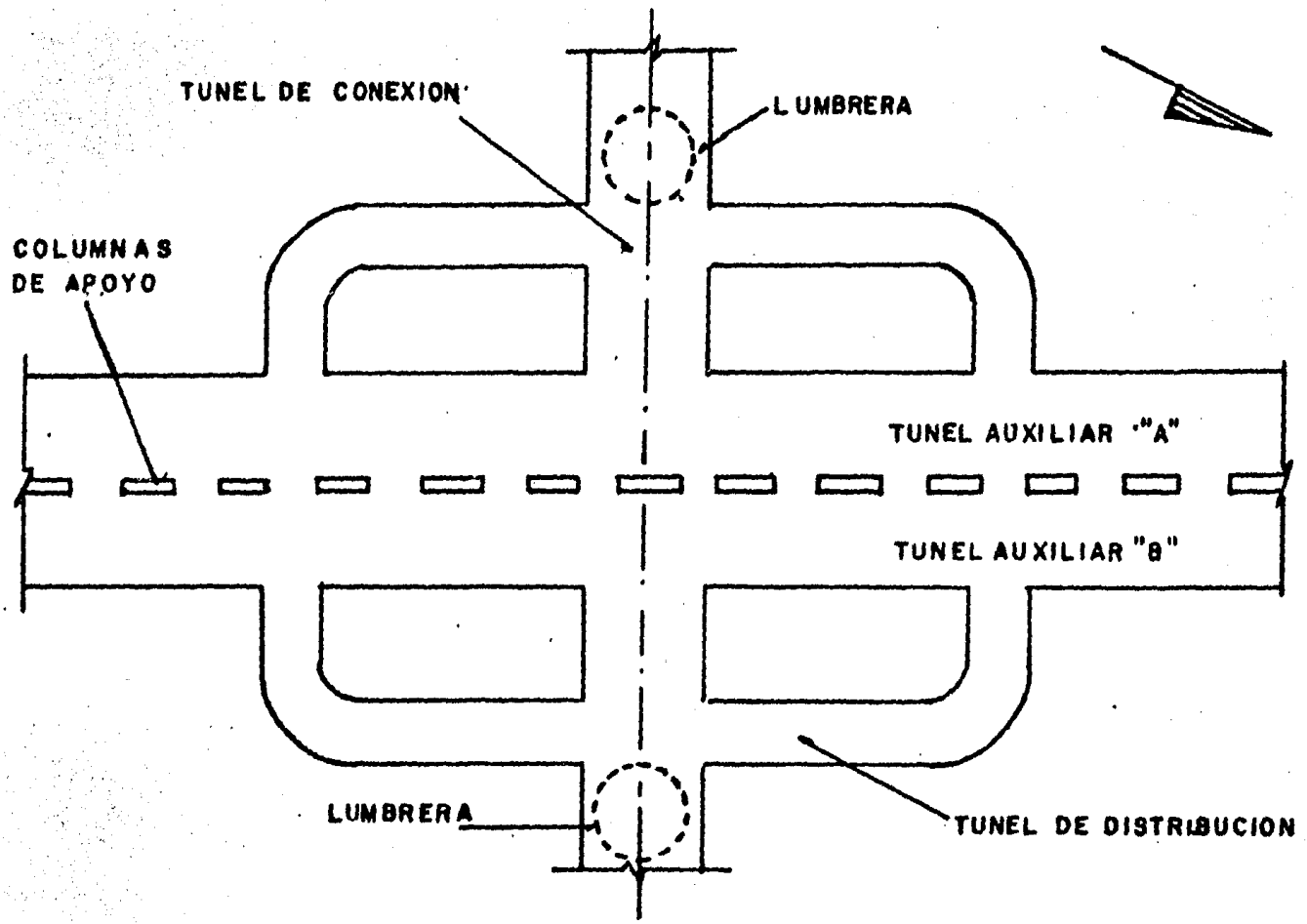
Túnel de andén poniente (auxiliar "A") .-

La excavación y construcción del túnel de andén poniente se llevó a cabo en tramos de 1.20 m de longitud a media sección, es decir, mediante un banqueo cuya longitud máxima -- fué de 2.40 m y concluida la excavación de cualquier etapa en la sección media superior se procedió a aplicar de inmediato, el revestimiento primario de la siguiente manera.

a) Descubiertas las paredes del túnel en cuestión, se aplicó una primera capa de concreto lanzado de 5 cm de espesor.

b) Se colocó una malla de acero electrosoldada de 6 x 6-4/4 dejando 30 cm para traslaparla con la primera malla de la sección media inferior.

c) Aplicación de una segunda capa de concreto lanzado de 15 cm de espesor y colocación de una segunda malla dejando también 30 cm para el traslape con la segunda malla de la sección media inferior.



5.7 TUNELES DE LA ESTACION

d) Aplicación de una tercera capa de concreto lanzado - de 5 cm de espesor, quedando así constituido el revesti -- miento primario de la sección media superior.

Al excavar cada una de las etapas de la sección media - inferior se procedió de igual forma que para la sección -- media superior a la colocación del revestimiento primario -- llevando a cabo la construcción de las zapatas de apoyo y el amarre y traspase de las mallas de la sección media su -- perior e inferior.

Colocado el revestimiento primario en toda la sección - del tunel auxiliar "A", se llevo a cabo la colocación del -- revestimiento definitivo.

La colocación de este revestimiento se hizo mediante -- una cimbra deslizante de 6.10 m de longitud con carro trans -- portador, la cimbra cuenta con vibradores de contacto colo -- cados en las paredes de la misma, y el revestimiento es a -- base de concreto hidráulico.

Tunel de andén oriente (auxiliar "B") .-

La construcción de este tunel se hizo de la misma forma -- indicada para el tunel de andén poniente, pero hasta que -- en este último se colocaran los tensores y el revesti -- miento definitivo.

Para la construcción de los túneles de distribución se -- siguió el mismo procedimiento de media sección y banqueo -- con la secuencia de excavación indicada en el procedimien -- to general por etapas, que mencioné anteriormente.

El revestimiento definitivo de los túneles de distribu -- ción fué a base de concreto lanzado reforzado.

5.3.3.1 Emportalamiento y trabe de borde

Con el fin de obtener una mayor estabilidad en el terreno para la iniciación de la excavación de los túneles de andén de la estación Tacubaya, se reforzó la zona de clave para evitar fallas o caídos, para lo cual fué necesario -- construir un emportalamiento a base de concreto lanzado, formando una trabe de borde con longitud de 8.80 m contados a partir de los paños exteriores del tunel de conexión y espesor de 25 cm .

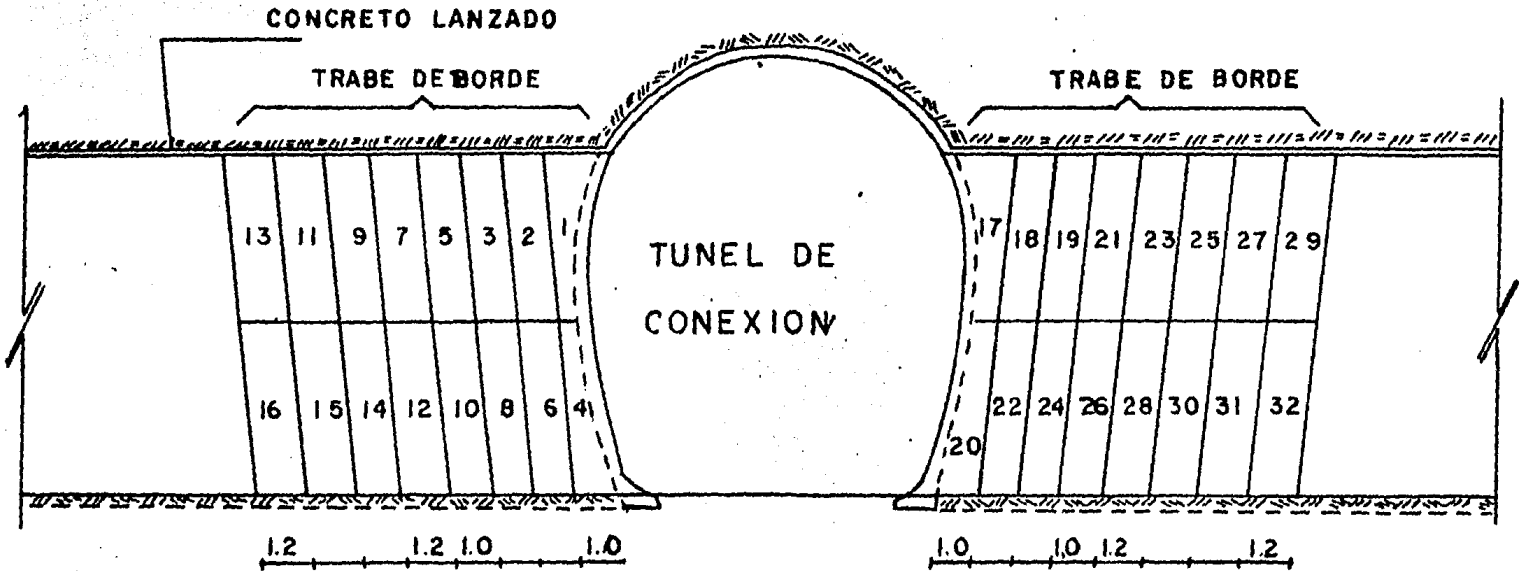
Es importante recalcar que el emportalamiento se hace al comenzar la excavación de cualquier tunel, no solo para el tunel de andén, así por ejemplo: se construyó un emportalamiento para iniciar la excavación del tunel de conexión y para el inicio de la excavación de los túneles de distribución. La longitud de la trabe de borde es variable para cada caso, esto es, dependiendo del tamaño de la sección y de los esfuerzos a que esté sometido cada tunel por construir.

A continuación presento el emportalamiento que se construyó en el inicio de los túneles de andén.

El ataque de las etapas del emportalamiento se llevó -- con un "banqueo" con longitud máxima de 2.0 m y 2.40 m .

La construcción del emportalamiento se pudo iniciar en el frente norte o sur del tunel de andén poniente, en etapas de 1.0 m y 1.20 m de longitud a media sección, siguiendo la secuencia indicada en la figura 5.8 y lo que se describe a continuación:

- 1) Definida la sección del tunel de andén, se procedió a la excavación de la primera etapa en la sección media superior y enseguida se lanzó una primera capa de 5 cm de espesor.



5.8 EMPORTALAMIENTO DEL TUNEL DE ANDEN

acot. en m

2) Se colocó una malla de acero electrosoldada del tipo 6 x 6 - 4/4 y se lanzó de inmediato una segunda capa de -- concreto de 15 cm de espesor.

3) Se colocó una segunda malla y se lanzó una tercera - y última capa de concreto en espesor de 5 cm.

4) El proceso anterior se repitió el número de veces ne cesario en las secciones medias superior e inferior, hasta concluir la longitud total del encapsillado.

5.3.3.2 Tensores provisionales

Con el objeto de absorber los esfuerzos de tensión que se generen al excavan el tunel de andén oriente, se coloca ron en el tunel de andén poniente tensores provisionales , instalándose como mínimo 10 m adelante de los frentes de - excavación del tunel de andén oriente.

Estos tensores deben retirarse después de haberse efec- tuado la colocación del revestimiento definitivo del tunel de andén oriente y de realizadas las inyecciones de contac to en ambos túneles de andén en las zonas donde se retiran los tensores, cuidando que la inyección comprenda la zona- de retiro de los tensores más una distancia de un diámetro a cada lado de ella.

En cada estación se realiza una prueba que permite de - terminar los desplazamientos de la sección como consecuen- cia del retiro de los tensores; para ello se selecciona una de las secciones de convergencia en la que se cuente -- con la historia del comportamiento de la sección, y en la- que esté realizada la inyección.

En este caso, se retiran uno a uno los tensores a cada- lado de la sección de convergencia, hasta una distancia de un diámetro del tunel, a cada lado de la sección tomando -

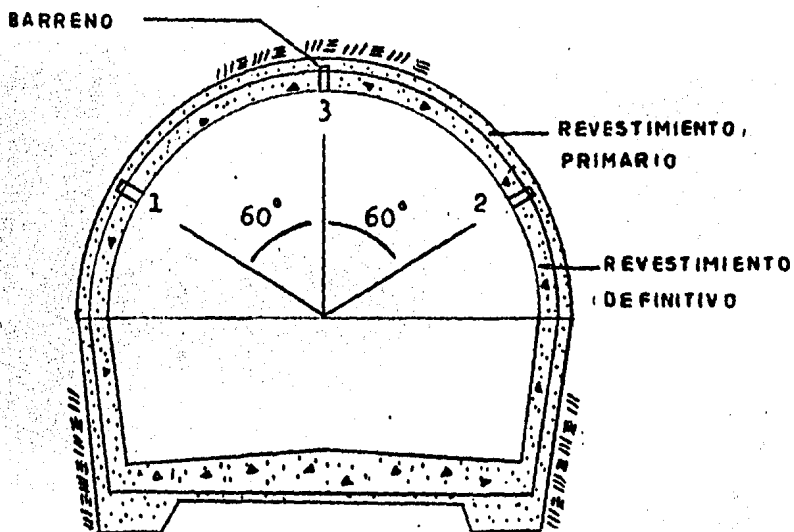
mediciones en la sección de convergencia. Durante este proceso, después de retirar diez tensores, cinco en cada lado de la sección, al concluir este proceso y cuando menos durante dos semanas posteriores. Dependiendo de los resultados de esta prueba, se puede prolongar más el tiempo de medición en dicha sección.

Realizada la prueba anterior, se procede a retirar el resto de los tensores. Para su retiro se selecciona a los tensores de cada zona en grupos de cinco, retirando en una primera etapa, el primero de cada uno de los grupos, en una segunda etapa, el segundo de cada grupo y así sucesivamente hasta retirar el último tensor de cada grupo.

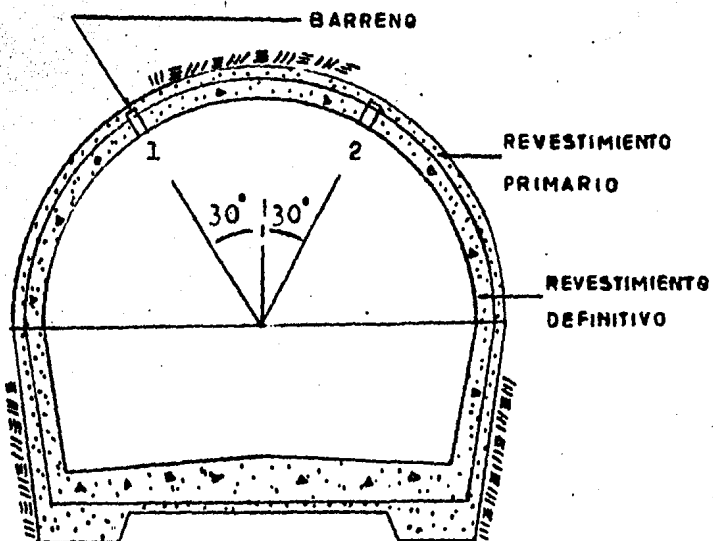
5.3.4 Inyecciones de contacto

Con el objeto de rellenar todos los vacíos existentes entre el revestimiento primario a base de concreto lanzado y el revestimiento definitivo construido a base de concreto hidráulico, se deben de realizar inyecciones de contacto.

En este proceso de inyección se utilizan dos tipos de secciones en los túneles por tratar, unas llamadas "impares" que son las que tienen tres barrenos en la parte media superior del tunel y otras llamadas "pares" con dos barrenos en la misma zona, según se muestran en las siguientes figuras:



SECCION IMPAR



SECCION PAR

Con el fin de facilitar el procedimiento de inyección durante el colado del revestimiento definitivo de los túneles, se deben dejar preparaciones a base de segmentos de tubos de PVC de 2" de diámetro, o en su defecto, se deben realizar barrenaciones desde el revestimiento definitivo, con profundidad tal que penetre 5 cm dentro del revestimiento primario.

La inyección de contacto se efectúa en 2 etapas:

La primera etapa se realiza cuando el concreto del revestimiento definitivo haya alcanzado cuando menos el 75 % de la resistencia de proyecto, para esta etapa se utiliza el tipo de sección "impar". El orden de inyección se inicia por el barreno 1, se continúa con el 2 y se termina con el 3.

La segunda etapa se realiza cuando la inyección de la primera etapa tiene 3 días de edad y se utiliza el tipo de sección "par". La secuencia de inyección se inicia por el barreno 1 y se termina por el barreno 2, en la siguiente sección se empieza por el barreno 2 y se termina con el 1- y así sucesivamente.

Al final de las inyecciones, las secciones "impares" y las secciones "pares" quedan alternadas, en la longitud del tramo tratado.

Quando el volumen de inyección no sobrepasa los 4.0 m³ se utiliza una lechada de agua-cemento en proporción 3 :1 en peso y si rebasa los 4.0 m³ se utiliza un mortero con los materiales y proporciones siguientes:

- agua-cemento en relación 2 : 1 en peso del cemento
- bentonita, 3 % máximo en peso
- arena, 25 % máximo en peso del cemento
- fluidizante propio para mortero

La presión de inyección es como máximo 2 kg/cm^2 .

Se considera un barreno sellado, cuando se haya inyectado un volumen total de 6.0 m^3 ó cuando no exista absorción en cualquier tipo de mezcla a 1.5 kg/cm^2 de presión en un lapso de 15 min.

5.3.5 Tunel de Correspondencia

El tunel de correspondencia entre la línea 7 y la línea 1, está formado por dos tramos: tramo I y tramo II.

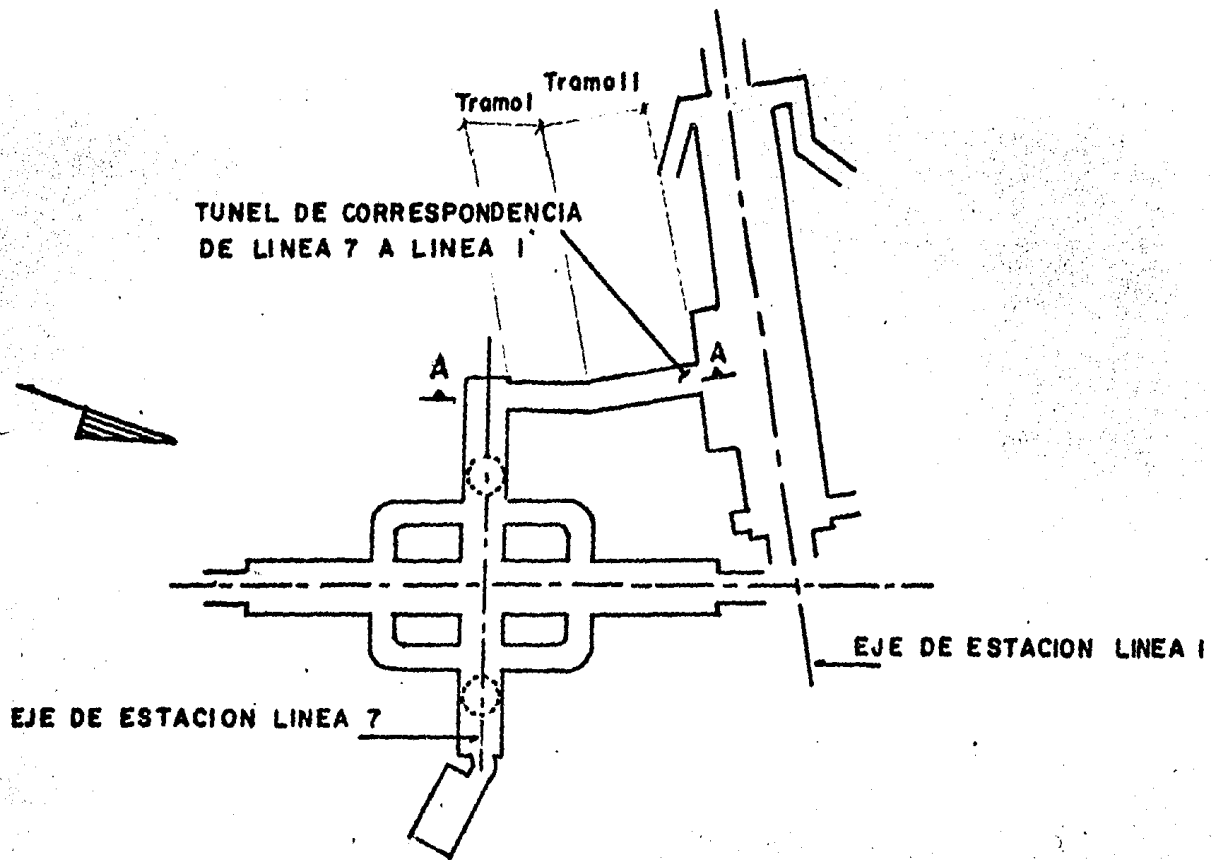
El tramo I se inicia en la unión del contratunel poniente de la estación con el tunel de correspondencia y finaliza donde este último cambia de sección, aproximadamente con un desarrollo de 32.11 m de longitud. El tramo II, está comprendido desde donde finaliza el tramo I, hasta donde inicia la zona de unión del tunel de correspondencia, con la estación Tacubaya de la línea 1 y con un desarrollo de 32.52 m aproximadamente.

En las figuras 5.9 y 5.10 se pueden apreciar, la planta de correspondencia y en un corte del tunel mencionado, los tramos I y II.

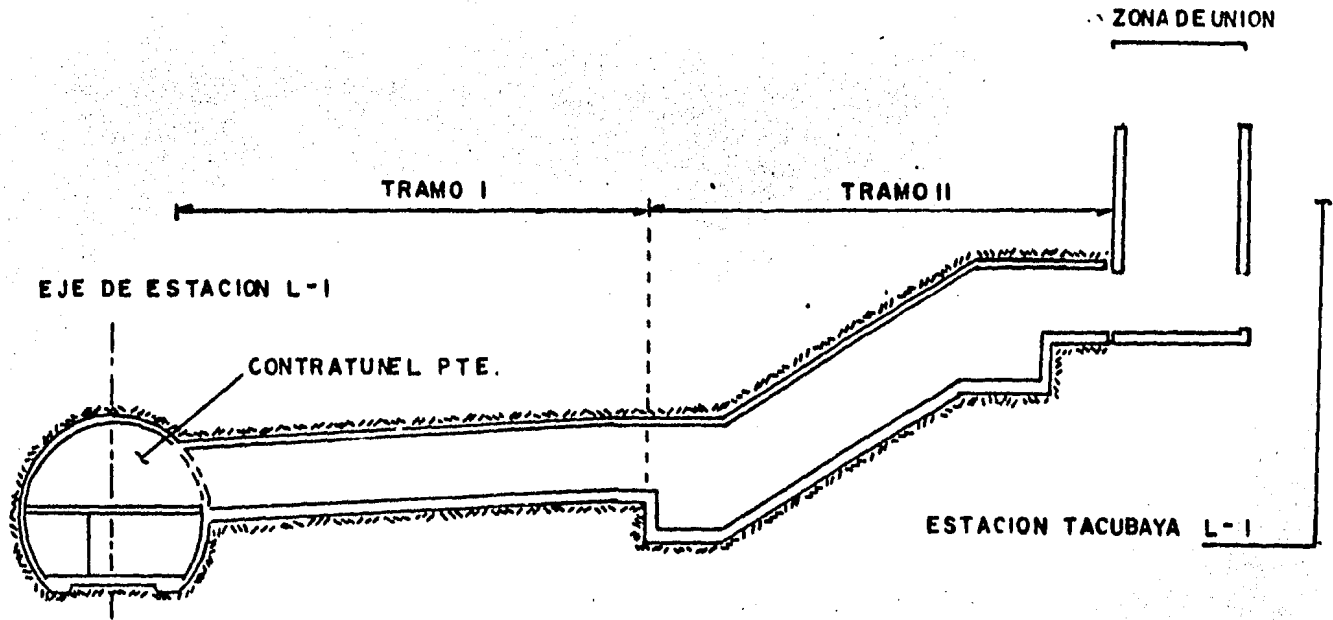
Procedimiento constructivo del tramo I

Replizado en su totalidad el revestimiento definitivo del contratunel poniente, el colado del muro tímpano adyacente al tunel de correspondencia y el bombeo previo correspondiente, se inicia la excavación y colocación del revestimiento primario del tramo I del tunel de correspondencia en etapas con longitud de avance máximo de 2.40 m , (la. etapa), de acuerdo a lo siguiente:

- 1) Construcción del emportalamiento y trabe de borde.



5.9 PLANTA DE ESTACION Y CORRESPONDENCIA



5.10 CORTE LONGITUDINAL A-A

2) Inicio de la excavación a sección completa, hasta - alcanzar un avance de 2.40 m y sobre-excavación en los ex - tremos inferiores para construir las zapatas de apoyo.

3) Lanzado de una capa de concreto de 3.0 cm de espesor en toda el área perimetral incluyendo las zanjas de las - zapatas de apoyo.

4) Colocación de la primera malla metálica de 6 x 6 - 4/4 prolongándose para constituir el refuerzo de las zapa - tas, enseguida lanzado de la segunda capa de concreto con espesor de 9.0 cm y al mismo tiempo colado de las zapatas.

5) Colocación de la segunda malla metálica y coloca - ción de la tercera capa de concreto lanzado de 3.0 cm de - espesor, quedando así el revestimiento primario de la la - etapa, con un espesor total de 15 cm y la zapata totalmen - te colada.

La secuencia anterior se aplica en forma consecutiva - en las etapas restantes del tramo I. Para cerrar la exca - vación del tramo I y en vista de que las etapas son de -- 2.40 m, la última etapa que no alcanza esta longitud, se - excava con la etapa inmediata anterior.

Procedimiento constructivo del tramo II

Para la excavación y colocación del revestimiento pri - mario del tramo II, se utiliza el mismo procedimiento in - dicado para el tramo I, haciendo un revestimiento primario con espesor de 15 cm, pero con la diferencia de dejar en - cada etapa el piso momentáneamente en forma de rampa pro - visional, para facilitar las maniobras de las etapas sub - secuentes.

La etapa final en este tramo, que no alcanza los 2.40- cm de longitud especificada, se excava por separado y - -

por ningún motivo, se excava conjuntamente con la etapa inmediata anterior, como en el caso del tramo I.

5.3.6 Zona de Unión

La excavación de la zona de unión se realiza por etapas, a cielo abierto y entre taludes, y es condición necesaria - que la excavación y el revestimiento definitivo del tunel - de correspondencia, llegue como máximo hasta una distancia de 15.0 m antes de la zona de unión. Para llevar a cabo esta excavación, se debe abatir el nivel freático mediante la instalación de pozos de bombeo.

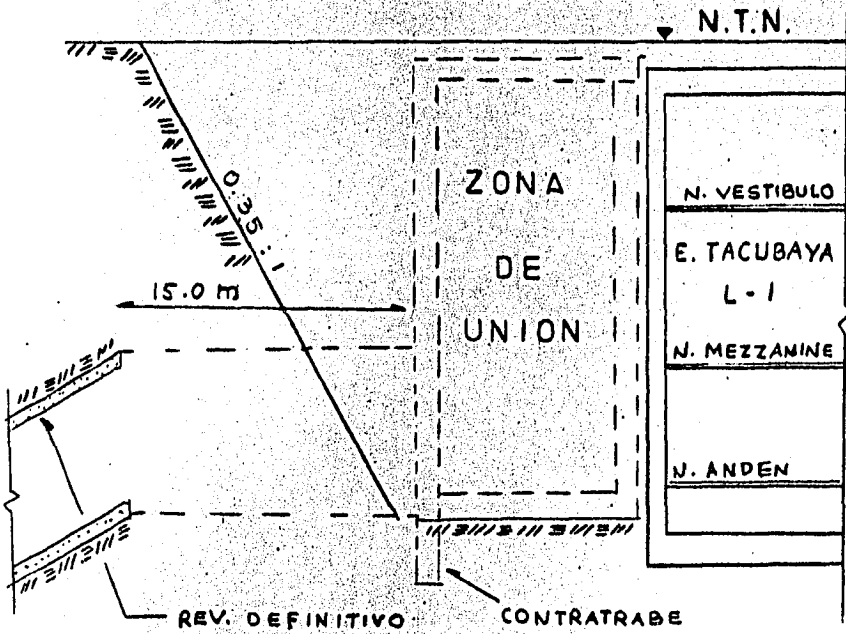
La excavación de la zona de unión se realiza en cinco etapas, una de 10.0 m de longitud y las 4 siguientes de 8.0 - (de poniente a oriente).

Los taludes entre los que se hace la excavación, tienen una inclinación, horizontal a vertical de 0.35 : 1 , y se protegen con una capa de concreto lanzado de 3 cm de espesor, ver el corte transversal anexo.

Alcanzada la profundidad máxima de excavación en cada etapa, se cuela una plantilla de 10 cm de espesor y con un aditivo acelerante de fraguado, esta plantilla no se cuela en el área donde deba construirse alguna contratrabe.

Después se procede a efectuar el armado de la losa de piso y el colado de la misma. Posteriormente se inicia la - - construcción de los muros hasta el nivel mezzanine de la estación Tacubaya de la línea 1, se colocan las tabletas que constituyen la losa del nivel mezzanine y se continúa con el armado y colado de los muros hasta el nivel de techo inferior y sobre de estos se colocan nuevamente tabletas que constituyen la losa de techo inferior.

La secuencia anterior se desarrolla para cada una de las



CORTE TRANSVERSAL

etapas siguientes.

Alcanzada la resistencia de proyecto en las losas de techo, se procede a colocar el material de relleno en el espacio comprendido entre los muros y los taludes. Dicho material está constituido por tepetate colocado en capas de 0.30 m de espesor y compactado al 90 %.

5.3.7 Acceso Oriente

La excavación del acceso oriente se realiza en cinco etapas; las primeras cuatro corresponden propiamente al acceso y la última corresponde al tunel inclinado.

Para su excavación y construcción, tanto del acceso, como del tunel inclinado, se presentan las siguientes alternativas:

1) Excavar y construir en primer lugar el acceso y únicamente cuando la estructura cuenta con su resistencia de proyecto, se procede a excavar y construir el tunel inclinado. Este tunel se puede atacar, ya sea desde el acceso o desde el contratunel oriente.

2) Se ataca en primer lugar el tunel inclinado, partiendo del contratunel oriente de la estación; en este caso se inicia la excavación del acceso, cuando el tunel inclinado cuenta con su revestimiento definitivo en toda su longitud.

Excavación y construcción del acceso .-

Una vez que se alcanza la profundidad de proyecto en el área excavada de la etapa en cuestión, de inmediato se cue- la una plantilla de concreto simple de 10 cm de espesor, excepto en las zonas donde se excavarán y construirán las escaleras entre el nivel vestíbulo y el nivel descanso.

Posteriormente se realiza el armado y colado de la losa-

de piso, dejando las preparaciones necesarias para ligarse con los muros estructurales. Armados y colados los muros se procede a efectuar el armado y colado de la losa de techo, pero esto, después de que se hayan construido las escaleras entre el nivel de terreno natural y el nivel vestíbulo.

Esta secuencia se desarrolla para cada una de las cuatro etapas que conforman el acceso.

5.3.8 Peines

Debido a que la excavación en algunos tramos de tunel, no alcanza a dar la sección indicada en el proyecto, es necesario que en dichos tramos se realicen "peines" para poder colocar los revestimientos provisional y definitivo.

Se llama "peine" a la excavación necesaria que se debe hacer para poder alcanzar la línea "A", establecida por el proyecto para fijar los límites de la excavación en todas aquellas zonas de las paredes o de la bóveda del tunel, en donde, con el proceso de excavación normal no fué posible dar la sección especificada.

Los "peines" se hacen en forma alternada en tramos (frangas) de tunel de 2.0 m de longitud, demoliendo y retirando en estos tramos el concreto lanzado que tienen actualmente incluyendo las mallas de acero, las cuales se cortan de manera que quede como mínimo una longitud de 30 cm para efectuar el traslape con las mallas que se colocarán nuevamente.

Efectuadas en su totalidad los "peines" que sean necesarios y colocado el nuevo revestimiento primario, se inicia la construcción del revestimiento definitivo.

5.3.9 Anclas de fricción

5.3.9.1 Descripción general

Las anclas de fricción, diseñadas y adaptadas específicamente para su uso en los túneles de las ampliaciones de las líneas del metro de la ciudad de México, constan de una varilla corrugada que en uno de sus extremos tiene sujetados mangueras de 12.7 mm de diámetro; una de 50 cm de largo por la cual se efectúa la inyección y la otra de la longitud de la varilla más 25 cm, cuya función es certificar el completo llenado del barreno al efectuar la inyección. El ancla tiene tres centradores distribuidos en su longitud, para lograr una posición centrada del ancla en el barreno de manera que se logre un espesor de lechada uniforme en el perímetro.

Cada ancla se introduce en un barreno con un diámetro de 25 mm mayor que el diámetro del ancla, quedando la manguera de inyección en la boca del barreno; enseguida se sella la boca del barreno cuidando que la barra quede al centro y se procede a efectuar la inyección de lechada hasta llenar completamente el hueco entre el barreno y el ancla.

5.3.9.2 Mezcla a inyectar

Materiales.- La mezcla de inyección consiste en una lechada formada con agua, cemento de resistencia rápida y un aditivo fluidizante, retardante del fraguado inicial y estabilizador del volumen.

Proporción de la mezcla.- Para lograr la resistencia adecuada y fácil bombeo de la lechada, se debe usar una relación agua-cemento no mayor de 0.50 (25 litros de agua por saco de cemento).

Inyección .- Se emplea una bomba de propulsión o neumática que tenga un rendimiento tal que permita inyectar con economía y eficiencia el volumen de lechada que requieren las anclas que se instalan en cada avance en la excavación, la inyección debe realizarse a una presión no mayor de 2 - kg/cm^2 . Es absolutamente indispensable que el espacio dentro del barreno, entre el ancla y el terreno quede completamente lleno con la lechada de cemento, por lo tanto, de presentarse algún problema de taponamiento en la manguera por la que se está inyectando, se debe inyectar por la otra manguera que sirve de registro y certificación del llenado del barreno por la lechada, abriendo un hueco junto a la manguera por la que inicialmente se inyecta, el cual sirve como registro y certificación del llenado del barreno por la lechada sellándolo posteriormente a la certificación.

5.3.9.3 Resistencia de las anclas

Es importante conocer la resistencia de las anclas para determinar el número de ellas que se requieren para estabilizar una excavación subterránea. El procedimiento utilizado para este fin es el de aplicar una fuerza al ancla, que tiende a extraerla del sitio en que ha sido colocada, esta es la prueba de extracción, la cual es representativa de las condiciones de trabajo a que se ve sujeta una ancla empujada con expansor mecánico.

En anclas rellenas, ya sea con morteros, resinas o lechadas de cemento inyectadas, si la colocación y el relleno se ejecutan adecuadamente, la resistencia del ancla a la extracción está definida por la resistencia de la varilla.

5.3.9.4 Procedimiento para su colocación

- 1) Efectuar los barrenos del diámetro y longitud indicada en el patrón de anclaje requerido.
- 2) Insertar el ancla en el berreno, verificando con aire o con alambre acerado insertado en el tubo testigo, que éste no se haya tapado.
- 3) Sellar la boca del berreno.
- 4) Efectuar la inyección de lechada siguiendo el procedimiento descrito en el punto 5.3.9.2.

5.4 RENDIMIENTOS

Para el cálculo de los rendimientos de excavación y revestimientos, estoy considerando 20 horas laboradas por día en 2 turnos de 10 horas cada uno.

5.4.1 Excavación y revestimiento primario

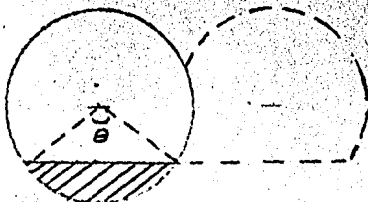
Los rendimientos reales y programados (teóricos) que presento, son los resultados del avance promedio de un mes de trabajo (26 días), en el año de 1984.

Cálculo del rendimiento del túnel de andén A norte.

Sección de uno de los túneles gemelos

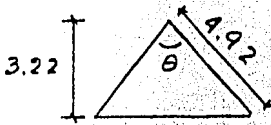
$$D_r = \text{Diámetro} + \text{esp. del revestimiento}$$

$$= 8.64 \text{ m} + 1.20 = 9.84 \text{ m} \quad (\text{ver punto } 3.2.3)$$



$$A_{\text{TUNEL}} = A_0 - A_{\theta}$$

$$A_{\text{TUNEL}} = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{D^2}{4} \left(\frac{\pi \theta}{360} - \frac{\pi \theta}{2} \right)$$



$$\cos \frac{\theta}{2} = \frac{3.22}{4.92} \quad \theta = 98.24^\circ$$

$$A_{\text{TUNEL}} = \frac{\pi 9.84^2}{4} - \frac{9.84^2}{4} \left(\frac{\pi 98.24^\circ}{360^\circ} - \frac{\sin 98.24^\circ}{2} \right)$$

$$= 76.05 - 8.89$$

$$A_T = 67.16 \text{ m}^2 \quad \text{AREA DE LA SECCION EXCAVADA}$$

RENDIMIENTO EN m^3/hr

$$67.16 \text{ m}^2 \times 1.50 \text{ m} = 100.74 \text{ m}^3$$

$$100.74 \text{ m}^3 \div 20 \text{ hr/día} = 5.04 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Sección del tunnel de conexión 132.13 m^2

Sección de los tunnels de distribución 34.32 m^2

VER LA SIGUIENTE TABLA I

5.4.2 Revestimiento definitivo

Cálculo del rendimiento del tunnel de andén A norte.

Avance diario real 6.10 m (ancho de la cimbra).

Rend. teórico de la bomba de concreto $15 \text{ m}^3/\text{hr}$.

Volumen colado:

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (4.92^2 - 4.32^2) =$$

$$A = 4.36 \text{ m}^2$$

$$V = 4.36 \text{ m}^2 \times 6.10 \text{ m} = 26.57 \text{ m}^3/\text{día}$$

tiempo de colado	1 hr 40 min
movimiento de cimbra	1 hr
nivelación de cimbra	1 hr 30 min
topón de madera	1 hr
	<hr/>
	5.17 hr

RENDIMIENTO

$$26.57 \text{ m}^3 \div 5.17 \text{ hr} = 5.14 \text{ m}^3/\text{hr}$$

T A B L A I

TUNEL	PERIODO	AVANCE MENSUAL (m)	AVANCE TEORICO (m/dia)	AVANCE REAL (m/dia)	REND. REAL (m ³ /hr)
ANDEN A NORTE	26 FEB. -31 MZO.	38.97	1.50	1.50	5.04
ANDEN A SUR	25 FEB. -28 MZO.	54.50	2.00	2.10	7.05
ANDEN B NORTE	1-30 JUNIO	33.74	2.00	1.30	4.37
ANDEN B SUR	2 JUL. -3 AGO.	31.23	1.80	1.20	4.03
T. DISTRIB. N-O	3 FEB. -3 MZO.	15.00	1.00	0.57	0.98
T. CONEXION			0.60	0.40	2.64

5.5 INSTALACIONES EXTERIORES E INTERIORES

Las instalaciones necesarias en las lumbreras y en los túneles son:

Instalaciones exteriores .-

- Compresores eléctricos de 600 ft³/min, estos se conectan a un manífol de 20" de diámetro que a su vez se conecta a un tanque regulador de 4 m³ de capacidad. La presión de trabajo del aire comprimido es de 90-110 lb/in².

Del tanque regulador, después de una válvula de compuerta, sale una línea de 8" de diámetro de tubería de acero - que va al tunel.

- Subestación eléctrica que recibe corriente a 23 000 - voltios, y la transforma a 440 voltios para motores y 220 voltios para alumbrado.

- Torre de manto y malacate para izar un bote de 4.5 - m³, que extrae rezaga del tunel a la superficie.

- Tanque para agua, con capacidad de 10 000 litros para utilizar en el concreto lanzado .

- Tanque para silicato de sodio, también de 10 000 litros para el concreto lanzado.

- Tanque para Diesel, con salida de 1" hacia el fondo - de la lumbrera.

- Tolda para recibir agregados para concreto lanzado -- con salida de 10" de diámetro, hacia el fondo de la lumbrera.

- Draga con bote de 3 m³.

- Oficinas técnicas de supervisión, baños y lokers para los trabajadores, y tomaduría de tiempo.

Instalaciones interiores .-

- Tolva receptora de concreto con tubería de bajada de 8" ó 10", hasta un tanque amortiguador a nivel de clave de tunel que reintegra los componentes del concreto.

- Líneas de corriente eléctrica, instaladas dentro del-tunel.

- Tubería para agua de 2" de diámetro y para aire de 8" de diámetro.

- Ductos de ventilación de 36" de diámetro con impulso-res a cada 100 m.

- Equipo de Excavación .-

- Máquina excavadora ALPINE para 22 m³/hr .

- Máquina excavadora WESTFALIA para 40 m³/hr .

- Martillos neumáticos rompedores.

- Camiones de volteo Diesel con capacidad de 7 m³ .

5.6 PERSONAL REQUERIDO

Considerando una plantilla de personal de la Construc-tora Metro S.A. de C.V. (COMETRO), los trabajadores que la-boran en la estación Tacubaya se integran de la siguiente -manera .

1) Técnicos .-

Auxiliar técnico

2) Topografía .-

Topógrafos, auxiliar de topógrafo, cadeneros.

3) Operación de maquinaria .-

Chofer de tolva-volteo, operador de cargador s/neumáticos, operador del winch, operador del traxcavo, operador de la bomba de concreto, operador de la bomba de agua, operador de malacate, operador del compresor, operador del elevador .

4) Servicios generales .-

Checador de actividades, mozo de limpieza, etc.

5) Excavación y revestimiento primario .-

Sobrestante, cabo de excavación, oficial perforista, ayudante de perforista, cabo de lanzado, oficial lanzador, operador de aliva, ayudante de lanzado.

6) Revestimiento definitivo .-

Sobrestante de concretos, cabo de concretos, oficial-albañil, ayudante de albañil, vibradorista, cabo de maniobras, ayudante de maniobras.

7) Acero de refuerzo .-

Cabo herrero, oficial herrero, ayudante herrero.

8) Carpintería .-

Cabo carpintero, oficial carpintero, ayudante de carpintero.

9) Manteo y llenado de tolvas .-

Cabo de maniobras, ayudante general.

10) Soldadura .-

Para colocación de tensores, para la cimbra metálica, para el acero de refuerzo, para anclas en excavación, etc.

Soldador y ayudante de soldador.

En resumen, el personal que ejecuta un tunel está compuesto de los siguientes elementos:

Sobrestantes, jefes de turno, cabos, oficiales y peones y sus actividades principales son las siguientes:

-Sobrestantes

Son los trabajadores con mayor gerarquía y experiencia dentro del personal no profesional; su función consiste en cuidar la seguridad y eficiencia del personal y equipo en la construcción de la obra.

-Jefes de turno

Son auxiliares de los sobrestantes y por lo tanto sus segundos en responsabilidades.

-Cabos

Son las personas que tienen a su cargo una cuadrilla de peones, por lo tanto, están en contacto con el personal y equipo en una forma más directa.

-Oficiales

Son aquellos trabajadores dedicados a un determinado oficio, sin estar sujetos a trabajar en equipo o cuadrilla, aunque en la mayoría de los casos tienen ayudantes como auxiliares.

-Peones

Es el personal menos calificado y con la menor experiencia con que se cuenta con los trabajos más rudos, en todas las áreas de la construcción.

6 INSTRUMENTACION

6.1 OBJETIVO DE LA INSTRUMENTACION

La instrumentación de los revestimientos de los túneles, tanto del revestimiento provisional como del - revestimiento definitivo, tiene como principal objetivo el conocer la magnitud y las variaciones de los esfuerzos y cargas que actúan en dichos revestimientos, su deformación, su distribución de presiones y su comportamiento a corto y largo plazo.

Las secciones de instrumentación a lo largo de la línea, se seleccionaron de manera que fueran representativas de las diferentes estratigrafías de los suelos por los que atravesaría la excavación de los túneles.

En la construcción de los túneles es muy importante la instrumentación. En la mayoría de los túneles perforados en la ciudad de México, ha sido la siguiente:

En lumbreras profundas (25 m) generalmente se instalan 3 inclinómetros orientados radialmente, piezómetros abiertos casagrande y bancos de nivel superficial y profundos. Se han instalado a lo largo de túneles, dispositivos para medir las variaciones del nivel piezométrico, tanto en los sistemas de bombeo como en el túnel mismo, ya que varían las condiciones de estabilidad y de esfuerzos en la periferia y vecindad del túnel; en combinación con esto, normalmente se colocan secciones instrumentadas con bancos de nivel para conocer los movimientos en la superficie.

Para que una instrumentación funcione, deben imaginarse previamente los mecanismos de falla y calcular

el orden de las deformaciones o desplazamientos esperados e identificar las variables del procedimiento de construcción que las producen.

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 indicio 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.

6.2. INSTRUMENTOS UTILIZADOS

- Extensómetros

Se colocan sobre el túnel en una perforación vertical y en dos perforaciones a 45° con cuatro anclas en cada perforación, con el fin de conocer las deformaciones que sufrirá el túnel antes y después del proceso de excavación.

- Bancos de Nivel Superficial

El objetivo de estos bancos es conocer las deformaciones antes, durante y después del proceso de túnel, se instalan en la superficie a lo largo del túnel en secciones transversales al eje del mismo y con una separación variable entre 100 y 300 m y en los sitios donde se observan mayores problemas.

- Inclínómetros

Miden las deformaciones horizontales producidas por el tuncleo, se instalan uno a cada lado del tunel.

- Medidas de Convergencia

Se instalan dentro del tunel para medir los cambios en la sección del mismo después de la excavación.

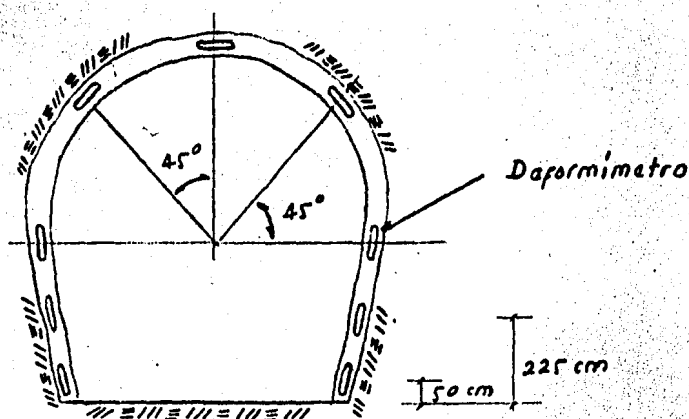
- Deformímetros eléctricos embebidos en el concreto

Con objeto de determinar la deformación unitaria de los revestimientos provisional y definitivo, provocada por la acción de las presiones del subsuelo, se colocan deformímetros eléctricos especiales para embeber en el concreto, estos instrumentos determinaran indirectamente el esfuerzo actuante en la sección en que se encuentran colocados.

Como complemento indispensable a esta instrumentación, es necesario, para el caso del revestimiento definitivo de concreto armado, elaborar 6 cilindros estándar del concreto empleado en el colado de la sección donde se ubican los instrumentos e instrumentarlos con deformímetros eléctricos del mismo tipo, con el fin de determinar en ellos las características Esfuerzo-Deformación-Tiempo del concreto empleado, mediante el ensaye de los cilindros, los cuales se formarán siguiendo las normas y procedimientos normales y serán curados en las mismas condiciones en que se realice el curado del concreto del revestimiento definitivo, también se colocará un deformímetro protegido dentro de una caja metálica para evitar que sufra deformaciones provocadas por el concreto, esta caja debe estar en las mismas condiciones de temperatura y humedad que los otros deformímetros, esto con el propósito de-

utilizarlo como compensador de temperatura (DUMMY), en el puente de las lecturas al efectuar las mediciones de los deformímetros eléctricos embebidos en el concreto; se coloca un DUMMY por cada sección de instrumentación.

Los deformímetros serán capaces de operar en un rango de temperatura entre -10 a $+80^{\circ}\text{C}$, y estar compensados por temperatura de 0 a $+50^{\circ}\text{C}$ y tener un límite de deformación a la temperatura ambiente de 0.3% .



- Celdas de presión embebidas en el concreto

Para medir la presión que aparezca entre el revestimiento provisional y el definitivo, se colocan tres celdas en el contacto entre estos dos revestimientos, y además se colocan dos celdas en el concreto lanzado con objeto de medir la presión vertical en el apoyo del marco que forma este revestimiento.

Con objeto de medir los esfuerzos que se generan en el revestimiento definitivo de concreto reforzado se colocan ocho celdas de presión.

Las celdas de presión del tipo especial para embeber en concreto, deben tener las siguientes caracterís-

ticas:

a) Rango de medición a la compresión	0.7 - 104.5 kg/cm ²
b) Mínima lectura de esfuerzo	0.70 kg/cm ²
c) Peso	2.72 kg
d) Módulo de elasticidad (Mínimo)	0.42 x 10 ⁶ kg/cm ²
e) Resistencia de cada alambre	40 Ohms
f) Excitación (Máxima)	3 Volts
g) Exactitud en toda la escala	5 %
h) Linearidad	2 %

6.3 INSTALACION Y CUIDADO DE LOS INSTRUMENTOS

El personal que se ocupe de instalar estos instrumentos de medición será especializado y para su instalación el constructor brindará las facilidades y materiales de construcción, así como la mano de obra complementaria que requiera el instrumentista. Es fundamental -- que el constructor colabore con el instrumentista en el cuidado de los instrumentos para evitar que sean dañados.

Estos instrumentos deben ser cuidadosamente vigilados durante las labores del lanzado y colado de los revestimientos en la zona en que se ubiquen; en el revestimiento provisional de concreto lanzado se colocarán -- los deformímetros sobre la primera capa de concreto lanzado; cuando esté fresco, se introducirán los alambres para sujetar el deformímetro, se lanzará alrededor del deformímetro hasta cubrirlo totalmente, no se deberá -- lanzar directamente sobre los deformímetros; el concre-

to del revestimiento definitivo colado sobre los instrumentos se compacta utilizando un vibrador de laboratorio.

6.4 PERIODICIDAD DE LAS MEDICIONES

Las mediciones en los deformímetros eléctricos, así -- como en las celdas de presión deben tener la siguiente periodicidad:

- 1 .- Diariamente durante los 15 días siguientes a su colocación o hasta que el revestimiento de que se trate quede alejado 3 diámetros del túnel desde la zona de instrumentación.
- 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 los 15 días siguientes otros tres diámetros más de avance del revestimiento.
- 4 .- Mensualmente hasta que el proyectista indique suspender las mediciones.

6.5 INTERPRETACION Y PRESENTACION DE RESULTADOS

El instrumentista debe interpretar los registros de -- las mediciones a fin de reportar sólo la magnitud de los parámetros que se especifica medir. La interpretación completa requiere de la colaboración del proyectista y trabajo conjunto con el instrumentista para establecer la final comparación entre las magnitudes predichas en el análisis y diseño, y 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.

7 CONCLUSIONES

Con las ampliaciones del S.T.C. se cubren las zonas de mayor densidad de población existente y se incrementa la capacidad de este medio, además permite a los usuarios un considerable ahorro de tiempo en su transportación que si lo hicieran por otros medios de transporte y disminuye también el congestionamiento de tránsito en las avenidas.

Esto resulta aún más eficiente, si aunamos la creación y ampliación de algunas avenidas al convertirlas en vías rápidas o ejes viales que permiten a los automóviles viajar en un sentido en varios carriles y a los autobuses en ambos sentidos en los carriles extremos, agilizando así el transporte colectivo.

A continuación hablo de algunos puntos que considero interesantes.

7.1 CORRECTO LANZADO DE CONCRETO

Para aplicar con éxito el concreto lanzado deben tomarse en cuenta las condiciones de los siguientes servicios:

-Aire comprimido . - La presión debe ser constante y se debe contar con manómetros de fácil lectura instalados cerca de la lanzadora. Deben dejarse tomas de aire en la tubería de manera que cuando se requiera se pueda lanzar concreto en zonas atrás del frente inclusive.

Es recomendable instalar un tanque de almacenamiento que regule las demandas de aire comprimido, esto para los casos en que tenga que utilizarse mayor cantidad de aire comprimido, como por ejemplo; cuando se tengan que colocar pernos de anclaje y simultáneamente

- neamente hacer la perforación del frente y el lanzamiento de concreto.
- Agua .- La presión del agua suministrada debe ser constante, por lo que es conveniente disponer de un manómetro cerca de la lanzadora para el control de la presión.
 - Electricidad .- El suministro de energía eléctrica se debe hacer con corriente trifásica y contar con transformadores de línea para mantener una misma tensión a todo lo largo de la excavación.
 - Bombeo y drenaje .- El mantenimiento de los drenes y cárcamos de bombeo debe ser constante, ya que el material de rebote fácilmente los azolva llegando a bloquearlos, además de aumentar el desgaste de las bombas.
 - Comunicación .- Debe tenerse un buen sistema de comunicación entre los operadores de la lanzadora y los operadores del chiflón, así como de la planta dosificadora o tolvas de almacenamiento de los materiales.
 - Equipo .- El equipo para el lanzamiento de concreto debe estar en buenas condiciones. El desgaste es muy grande cuando se usan mezclas secas, y estas aumentan el polvo y el rebote, reduciendo la visibilidad y conduciendo a un trabajo deficiente.

7.2 VENTAJAS DEL CONCRETO LANZADO

El uso del concreto lanzado ofrece como soporte mayores ventajas respecto a otros métodos convencionales.

Es ideal su uso para la apertura inicial de un frente, para el recubrimiento de las lumbreras, túneles,-

galerías de bombeo, etc.

Ofrece entre otras las siguientes ventajas:

- Reduce el costo total de obra, esto es, al reducir el tiempo necesario de ademe y por lo consiguiente la mano de obra.
- Ayuda a drenar con mayor facilidad y en forma adecuada.
- Permite dejar una sección uniforme en el recubrimiento.
- No obstruye el proceso de excavación ya que requiere de poco espacio para su aplicación.
- Es muy práctico al facilitar los cambios de sección en los túneles.
- El personal que se ocupa es poco y su aplicación es rápida.
- Proporciona un ademe inmediato conforme se avanza la excavación.

Algo que pudiera resultar desventajoso en el uso del concreto lanzado es que al ser un sistema relativamente nuevo, se tiene poca experiencia en su elaboración y aplicación.

7.3 VENTILACION EN LOS TUNELES

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

El abastecimiento de aire a los túneles debe ser suficiente para evitar acumulaciones de polvo, humo, vapores o gases, que puedan resultar peligrosas o per-

judiciales. Este volumen de aire no debe ser menor de --
5.7 m³/min para cada trabajador y la velocidad lineal --
del flujo de aire de 9 m/min como mínima.

Para trabajar en óptimas condiciones dentro del tunel 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	0.1

Cuando la ventilación natural no es suficiente para -
suministrar la cantidad de aire requerida, 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 20 % y 95 % .

7.4 MEDIDAS DE SEGURIDAD

La seguridad en cualquier trabajo es importante, principalmente en estas obras por el riesgo que implica la -
construcción de túneles. Es esencial proveer al personal de equipo adecuado de protección, el proceso de lanzamiento de concreto trae consigo muchos riesgos para los operados del equipo y para los que laboran cerca del mismo.

El procedimiento de mezcla seca incrementa el polvo -
en el tunel, se generan corrientes estáticas en la man -
guera y el chiflón, lo que puede generar una chispa que-

provoque al combinarse 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 caretas, 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:

- El equipo de seguridad necesario y
- La comunicación entre los trabajadores en el tunel

Es evidente que en un trabajo, entre más seguridad se tenga, mayor será la eficiencia del mismo, por lo cual como complemento de la seguridad considero importante -- respecto a la eficiencia, mencionar los siguientes puntos.

7.5 CONSIDERACIONES PARA UN TRABAJO EFICIENTE

Para lograr una eficiencia máxima en la excavación y trabajo en general dentro de los túneles, debemos contar entre otras, con las siguientes consideraciones:

- Alumbrado suficiente a lo largo del tunel por medio de lámparas fluorescentes.
- Iluminación suficiente en los frentes de trabajo.
- Organización adecuada del personal.
- Vigilancia y supervisión constante del jefe de frente -- así como el conocimiento perfecto del ciclo de trabajo.

- Registro de demoras que al final del día el jefe de frente deberá analizar para dar soluciones efectivas.
- Gráficas del ciclo que el jefe de obra deberá analizar para ordenar correcciones en caso de falla.
- Previsión en el suministro de materiales, tanto del jefe de frente como del jefe de obra.
- Mantenimiento preventivo de la maquinaria.

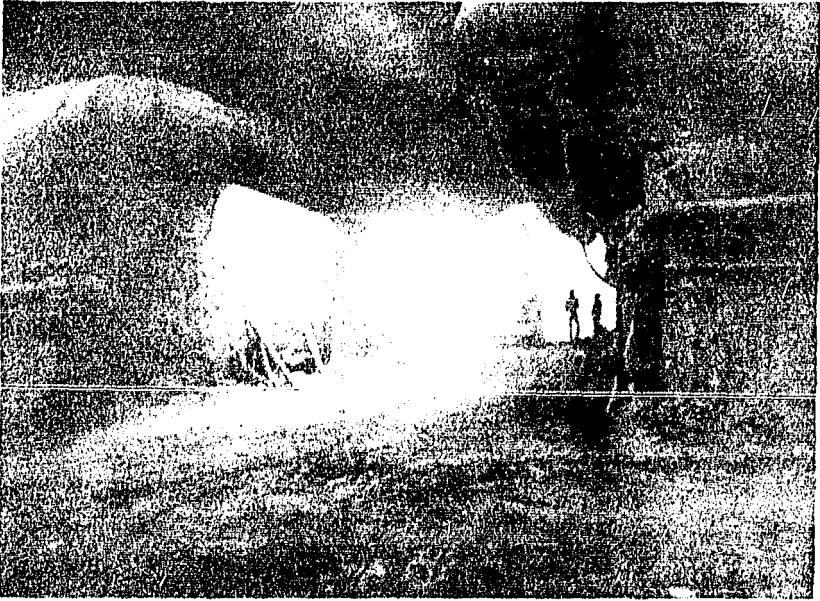
Las condiciones anteriores constituyen apenas una pequeña parte de las que deben tomarse en cuenta en un trabajo como este. Lo importante no es determinar un número preciso de ellas, sino tomar conciencia de que su cumplimiento conduce a lograr un trabajo eficiente, situación que a la postre tendrá como resultado la culminación de una obra, que entre otras muchas de éstas, será motivo de orgullo y satisfacción de millares de personas quienes necesitamos el servicio del Sistema de Transporte Colectivo.



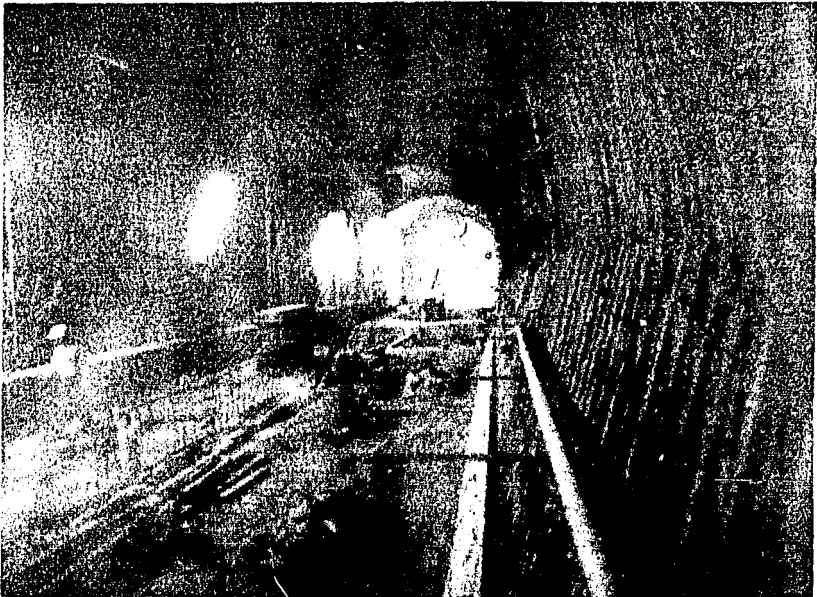
EQUIPO EN LA LUMBRERA PARA ACCESO A OBRA



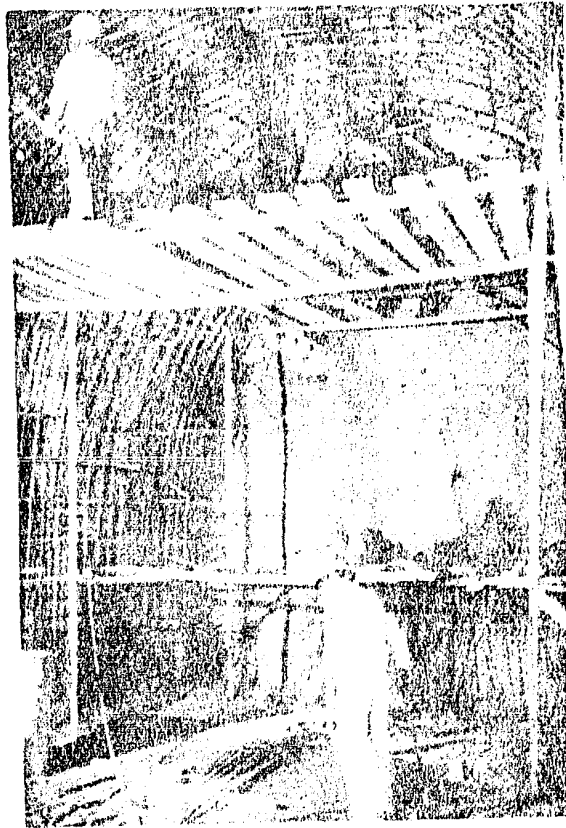
ARMADO PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO EN TUNEL DE CONEXION



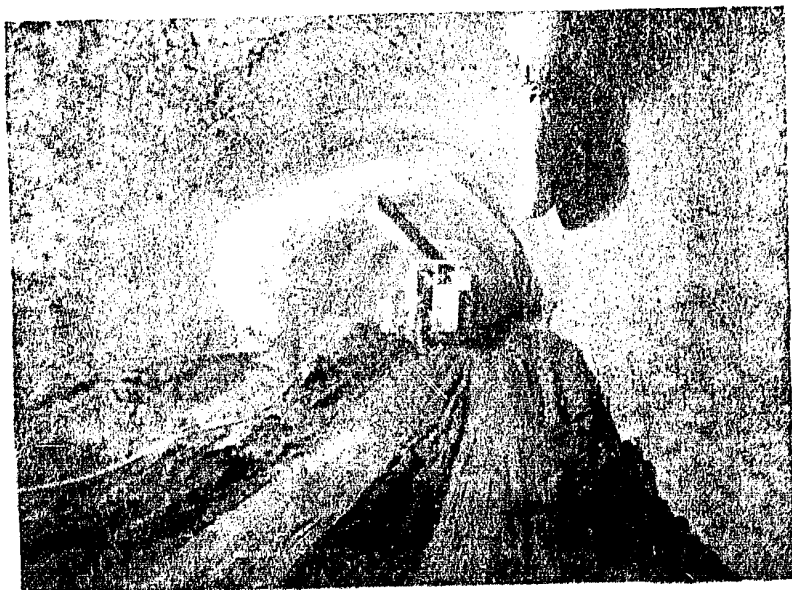
VENTILACION EN LOS TUNELES



ARMADO PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO EN
TUNEL DE ANDEN



ARMADO PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO
EN ESTACION



EXCAVACION EN TUNEL

BIBLIOGRAFIA . -

- Túneles en suelos blandos y firmes
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos A. C.
- Especificaciones elaboradas por Ingeniería de
Sistemas de Transporte Metropolitano (ISTME) S. A.
- Información Técnica Grupo ICA
Concreto lanzado para revestimiento de túneles.
- Mecánica de Suelos , Tomo I
Fundamentos de la Mecánica de Suelos
Juárez Badillo - Rico Rodríguez
- Mecánica de Suelos , Tomo II
Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos
Juárez Badillo - Rico Rodríguez
- Mecánica de Suelos , Tomo III
Flujo de Agua en Suelos
Juárez Badillo - Rico Rodríguez

Gran parte de la información obtenida para la realización de este trabajo, fué obtenida directamente en el lugar donde se construye la estación tacubaya, realizando constantemente visitas a la obra - durante el tiempo en que realicé mi Servicio Social.