

2.05  
157



# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

“ESTACION MIGUEL ANGEL DE QUEVEDO  
(CONSTRUCCION TIPO TUNEL)”

## T E S I S

Que para obtener el título de  
INGENIERO CIVIL

present a

JORGE QUINTANA ZUÑIGA

México, D. F.

1982



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-345 T.E.



Señor JORGE QUINTANA ZURIGA,  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profr. Ing. Francisco Moreña Casado, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de Ingeniero Civil.

"ESTACION MIGUEL ANGEL DE QUEVEDO (CONSTRUCCION TIPO TUNEL)"

- I. Introducción.
- II. Descripción.
- III. Método constructivo.
- IV. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, 21 de julio de 1982  
EL DIRECTOR

ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

## INDICE GENERAL

|       |   |    |
|-------|---|----|
| I.    | INTRODUCCION .....                                      | 1  |
| II.   | DESCRIPCION .....                                       | 5  |
| 1.    | Descripción de la Línea 3 Sur-II del Metro .....        | 5  |
| 2.    | Descripción de la estación Miguel Angel de Quevedo .... | 7  |
| 2.1   | Funciones y características de cada Túnel .....         | 8  |
| III.  | METODO CONSTRUCTIVO .....                               | 12 |
| 1.    | Generalidades .....                                     | 12 |
| 1.1   | Túnel definición .....                                  | 12 |
| 1.2   | El túnel en metro finalidad .....                       | 12 |
| 1.3   | Frentes de trabajo .....                                | 12 |
| 1.3.1 | Instalaciones Exteriores .....                          | 13 |
| 1.3.2 | Instalaciones Interiores .....                          | 15 |
| 1.3.3 | Personal requerido .....                                | 16 |
| 2.    | Estudios Geológicos .....                               | 19 |
| 2.1   | Generales .....   | 19 |
| 2.2   | Exploración del subsuelo .....                          | 19 |
| 2.3   | Antecedentes Geológicos .....                           | 22 |
| 2.4   | Alcance del muestreo .....                              | 23 |
| 2.5   | Estratigrafía (sondeos) .....                           | 25 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.      | Procedimiento Constructivo .....                           | 34 |
| 3.1     | Procedimiento constructivo de lumbreras .....              | 34 |
| 3.2     | Concreto lanzado .....                                     | 38 |
| 3.2.1   | Antecedentes .....   | 39 |
| 3.2.2   | Generales .....  | 40 |
| 3.2.3   | Materiales .....   | 41 |
| 3.2.4   | Propiedades del concreto lanzado .....                     | 43 |
| 3.2.5   | Rebote del concreto lanzado (desperdicio). .....           | 44 |
| 3.2.6   | Granulometría .....  | 44 |
| 3.2.7   | Proporcionamiento .....                                    | 45 |
| 3.2.8   | Muestreo .....   | 45 |
| 3.2.9   | Resistencia .....  | 46 |
| 3.3     | Construcción de los túneles .....                          | 46 |
| 3.3.1   | Excavación y revestimiento primario .....                  | 47 |
| 3.3.2   | Rendimientos de excavación y concreto lanzado .....        | 53 |
| 3.3.3   | Revestimiento definitivo concreto hidráulico .....         | 54 |
| 3.3.4   | Rendimientos de revestimiento concreto -- hidráulico ..... | 58 |
| 3.3.5   | Anclas de fricción .....                                   | 59 |
| 3.3.5.1 | Mezcla a inyectar .....                                    | 60 |
| 3.3.5.2 | Resistencia del ancla .....                                | 61 |
| 3.3.5.3 | Procedimiento para la colocación-de anclas .....           | 62 |

#### IV. CONCLUSIONES.

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Recomendaciones para el concreto lanzado .....         | 64 |
| 1.1 | Recomendaciones para un buen lanzado de concreto ..... | 65 |
| 1.2 | Ventajas y desventajas del concreto lanzado .....      | 66 |
| 2.  | Siempre y nunca en el manejo de explosivos .....       | 67 |
| 3.  | Ventilación .....                                      | 70 |
| 4.  | Seguridad .....  | 71 |
|     | Bibliografía .....                                     | 72 |

## I. INTRODUCCION.

Durante las últimas décadas los gobiernos de México se han esforzado en transformar la antigua sociedad tradicional, con limitaciones productivas que generan bajos ingresos, que a su vez detienen un progreso incipiente de la sociedad, por otra sociedad cuyos sectores productivos principales generen bienes y servicios duraderos, para elevar los ingresos de la población. La transición se ha visto frenada en ciertas regiones, debido a determinadas características predominantes por tanto, se han presentado excesivas concentraciones económicas con rendimientos diferentes, lo que ha dado lugar a desequilibrios socioeconómicos de cuantía. Tal situación propicia la emigración de pobladores de las regiones de baja productividad per-capita, hacia zonas como el Distrito Federal, que en el lapso 1960-1981, según estadísticas oficiales, recibió cerca de 2,800 inmigrantes nacionales, se ha visto que las tendencias hasta ahora seguidas por el desarrollo económico de nuestro país, implican la existencia de fuerzas centrípetas, por virtud de las cuales la industria y consecuentemente la población tienden a aglomerarse cada vez en mayor medida, en la zona metropolitana de la Ciudad de México, fenómeno que se observa con mayor intensidad a cada año en detrimento de la economía del país.

Las tendencias mencionadas anteriormente están siendo eliminadas lentamente, pero a pesar de que se ha establecido una política de desarrollo en los Estados de Querétaro, Puebla, Morelos, Veracruz, Jalisco, Chiapas, Guanajuato, etc., no se ha visto disminución alguna en la emigración nacional constante, hacia el área conurbana de la Ciudad de México, con lo cual se crean problemas urbanos de muy difícil solución.

La trayectoria socioeconómica antes descrita, especialmente en el aspecto demográfico, agudiza problemas existentes en el área conurbana de la Ciudad de México y especialmente el relacionado con el transporte urbano.

El problema del transporte urbano en la Ciudad de México, lo sufren en la actualidad cerca de 15 millones de personas, que distribuidos en el Distrito Federal y zonas conurbanas en su cercanía, representan una quinta parte de la población nacional.

Tomando en cuenta que en la Ciudad de México se concentra el 60% de la industria nacional; más del 60% de los obreros, 2 de las Instituciones Educativas más grandes de América, como lo son la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto Politécnico Nacional, así como el grueso de la población dedicada a las diversas actividades burocráticas, derivadas del asentamiento en la zona que estamos cuestionando, de los poderes de la unión, y sobre todo cuantificando y canalizando el carácter explosivo del macro desarrollo del Distrito Federal. Se hace necesario un estudio de estos problemas, estudio que las autoridades del Departamento del Distrito Federal se avocaron a realizar y cuyos resultados vemos plasmados en el plan de desarrollo urbano, que nos muestra una alternativa de desarrollo planificado en su plan rector de vialidad y transporte.

Uno de los problemas de mayor trascendencia, dentro de los problemas planteados, es el del transporte colectivo y aunado a esto, el de las vialidades insuficientes debido al excesivo uso del parque vehicular particular.

Hasta el año de 1981 se contaba con 14,900 personas asentadas en una superficie urbanizada de 1,100 km<sup>2</sup>, dentro de la cual el Distrito Federal ocupa un área de 540 km<sup>2</sup>, con 9.7 millones de habitantes.

Por lo planteado anteriormente se ha visto que la solución, para la movilización de la ciudadanía de un punto a otro en nuestra gran metrópoli, es el sistema de transporte colectivo (METRO), con lo cual los esfuerzos del Gobierno Federal, de tener transporte suficiente y eficiente, se ven cumplidos.

Aunado a esto, la planificación y restructuración de las vialidades futuras y existentes, vienen a ser la solución de los problemas de -



mayor trascendencia que a cuantos servicios a la comunidad, viene sufriendo la Ciudad de México de tiempos atras.

Es motivo de interes para un servidor, las soluciones que el Departamento del Distrito Federal plantea para dar respuesta positiva al gran problema de transporte que nos aqueja y nos aquejará en un futuro, más que lejano ya cercano.

Por lo cual y teniendo la posibilidad de colaborar en este plan, me avoco a dejar un testimonio con un grano de técnica, dentro de la gran construcción del Tren Metropolitano de la Ciudad de México.

Este testimonio tiene cavida en la construcción de la línea Tres Sur-II del Metro, y más específicamente en la primera estación que se construye en la Ciudad de México, por medio del método constructivo tipo túnel, esta estación es Miguel Angel de Quevedo.

Haciendo un resumen de los capítulos que trato en esta tesis para tener un criterio del contenido de este trabajo, menciono cada uno de los capítulos.

En el capítulo I hago referencia a los problemas Económico-Sociales que tienen su desarrollo en nuestra metropoli, que hacen necesario el uso del Transporte Colectivo Masivo para así poder resolver otros problemas que tenemos en la ciudad de México, el propósito de éste trabajo es dar a conocer el método de construcción de túnel en el Metro de la Ciudad de México, como una de las soluciones para el transporte colectivo, al lograr con esto un ahorro en horas-hombre en los traslados de personas de un punto a otro en la cada vez más grande Ciudad de México.

En el capítulo II menciono las características de la línea 3-Sur II, sus métodos constructivos así como el desarrollo longitudinal de la misma, la estación Miguel Angel de Quevedo su localización como también la descripción de la estación, tipos y secciones de túneles, áreas por afectar para la instalación del equipo y personal para la-

realización de ésta estación, y características generales de la estación.

En el capítulo III describo el procedimiento constructivo de la estación así como las instalaciones, equipo, personal y rendimientos necesarios para llevar a cabo la construcción de la estación.

En el capítulo IV doy algunas conclusiones derivadas de la construcción, así como recomendaciones a seguir en la construcción y las medidas de seguridad recomendables para llevar a efecto una obra "Blanca" en cuanto a accidentes en túnel.

## II. DESCRIPCION.

### 1) DESCRIPCION DE LA LINEA 3 SUR-II DEL METRO DE LA CIUDAD DE MEXICO.

La Línea 3 Sur-II es continuación de la Línea 3 del Metro, continuación que corre con dirección Norte - Sur de la Ciudad de México, con destino en la Ciudad Universitaria (U.N.A.M.).

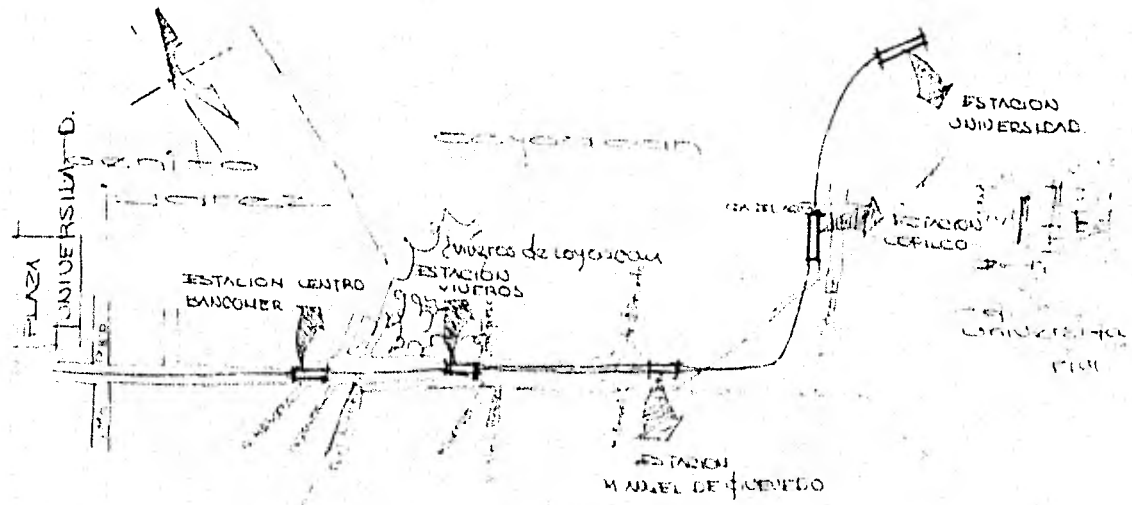
Con esta ampliación quedará comunicada la gran Ciudad de México de Norte a Sur, desde los Indios Verdes hasta la parte Sur de la Ciudad Universitaria (U.N.A.M.).

La Línea 3 Sur-II tiene un desarrollo longitudinal total de 6,606 km. Inicia de Norte a Sur en la intersección de la Avenida José María Rico (Eje Vial # 8) y Avenida Universidad. Continuando por la Avenida Universidad hasta la calle de Aca-sulco Cerro de Tuera, en donde 30 metros adelante se localiza una deflexión en el trazo, hacia la izquierda, continuando el trazo del metro hacia el Sur - Este cruzando la calle del Cerro de Agua, para continuar por las calles de las Rosas, Dalias y posteriormente terminar su desarrollo longitudinal antes mencionado, en la parte posterior del área científica de la Ciudad Universitaria (U.N.A.M.).

En los 6,606 km. que tiene de longitud la Línea 3 Sur-II, se pueden observar y analizar tres diferentes métodos constructivos de metro.

Los tres métodos utilizados son de Norte a Sur:

- a. Excavación a cielo abierto.
- b. Excavación en túnel.
- c. Solución superficial.



Croquis de Localización  
 Línea 3 Sur II

Estos métodos tienen la siguiente distribución:

Tomando como punto de origen el muro tapón, de la Línea 3 en funcionamiento, localizado en el lado norte de la intersección de la Avenida Universidad con la Avenida José Marfa Rico, partimos hacia el sur con el método constructivo de excavación a cielo abierto, por la Avenida Universidad cruzando las siguientes Avenidas de importancia: Gabriel Mancera, Coyoacán, Río Churubusco, Hortencia, Calle en donde 60 metros adelante termina la excavación a cielo abierto en este tramo, que tiene una longitud de 1,649 km., tenemos la estación Centro Bancomer -- (excavación a cielo abierto). Estación que se encuentra localizada en la confluencia de Avenida Universidad y Avenida -- Coyoacán.

Continuando hacia el Sur tenemos el método constructivo del -- túnel, dicho túnel tiene su inicio en la estación Viveros -- (Av. Universidad y Av. Minerva), este inicio se caracteriza -- por ser de dos túneles gemelos (Separados 9 metros entre si, -- con un diámetro de 6.20 metros, a sección terminada definitiva), con estos túneles atrevemos las siguientes Avenidas: -- Minerva, Progreso, Miguel Angel de Quevedo. La longitud de es-- tos tramos de túnel de una vía es de 1,216 kms., en este tramo se cuenta con dos estaciones (excavación en túnel), la esta-- ción Viveros y la estación Miguel Angel de Quevedo, localizada en la intersección de Av. Universidad y Av. Miguel Angel de -- Quevedo

Siguiendo el trazo del metro al sur, nos encontramos el mismo procedimiento de túnel, con la salvedad de que tenemos un túnel de 10 m. de  $\phi$  para dos vías con este procedimiento atravesamos las siguientes calles principales: Cerro de Tuera, -- Cerro del Agua, Calle de las Rosas. Para continuar por la Calle de Dalias, con este procedimiento se contruyó un tramo de 2,232 km.

En este tramo se tiene la estación Copilco (excavación a cielo abierto), localizada en la esquina poniente de Av. Copilco y - Av. Cerro del Agua.

Al terminar el túnel, el metro empieza a emerger para continuar superficialmente, con este método nos vamos por la calle de Dalias, para entrar a la estación Ciudad Universitaria (Método superficial), este tramo tiene una longitud de 1.507 km.

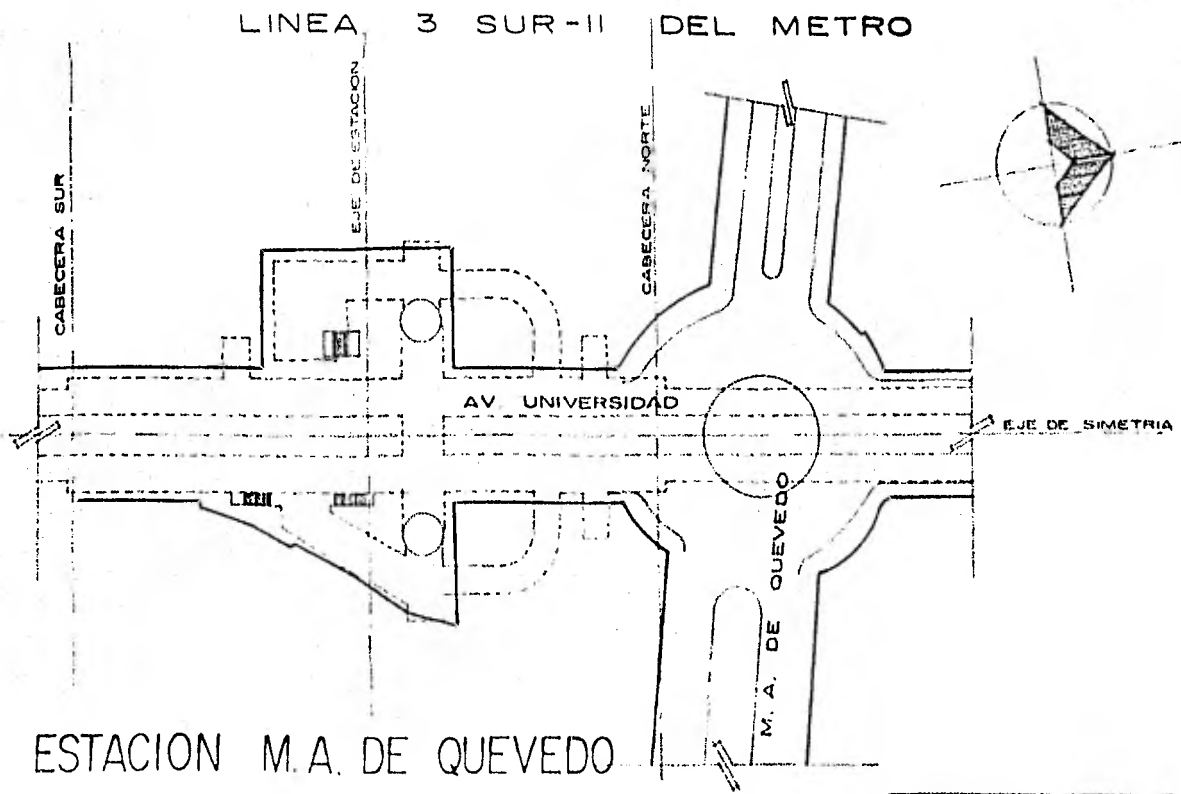
Analizando los datos anteriores y condensandolos en un tabular tenemos que:

| METODO CONSTRUCTIVO         | LONGITUD  | ESTACION                          |
|-----------------------------|-----------|-----------------------------------|
| Excavación a cielo abierto. | 1,649 km. | Centro Bancomer, Copilco.         |
| Túnel.                      | 3,449 km. | Viveros, Miguel Angel-de Quevedo. |
| Solución superficial.       | 1,508 km. | Ciudad Universitaria              |

El perfil de la Línea 3 Sur-II nos da una variante con respecto del nivel del terreno natural al nivel de desplante de loza inferior, de 10 mts. a 22 mts.

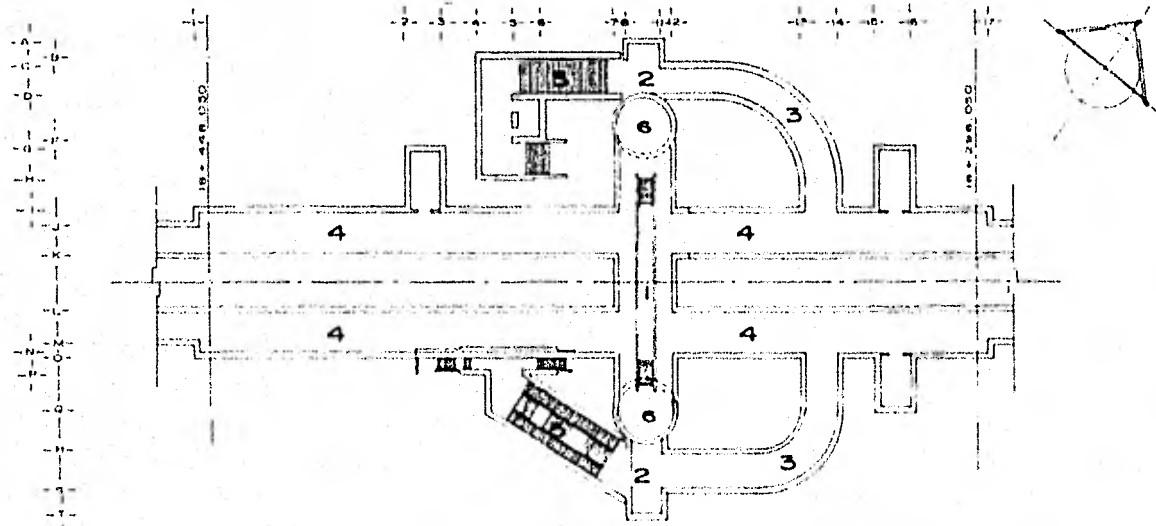
## 2. DESCRIPCION DE LA ESTACION MIGUEL ANGEL DE QUEVEDO DE LA LINEA 3 DEL METRO.

La estación Miguel Angel de Quevedo se encuentra ubicada en el lado Sur de la intersección de las Avenidas Universidad y Miguel Angel de Quevedo, (Fig. 1), se construyó con la peculiaridad



|  |  |             |
|--|--|-------------|
| <b>TESIS PROFESIONAL</b>   |  | <b>UNAM</b> |
| FACULTAD DE INGENIERIA   |  |             |
| <b>CROQUIS DE LOCALIZACION</b>   |  |             |
| <small>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA</small><br>ING. FRANCISCO MOREÑA CASADO<br><small>PLANTILLA</small><br>JORGE QUINTANA ZUÑIGA |  |             |

# LINEA 3 SUR-II DEL METRO



ESTACION M. A. DE QUEVEDO

- 1 TUNEL PASARELA
- 2 CONTRA TUNEL
- 3 TUNEL PASARELA
- 4 TUNEL PARA UNA VIA
- 5 ACCESOS
- 6 LUMBRETA

**TESIS PROFESIONAL**

FACULTAD DE INGENIERIA

**DISTRIBUCION DE LA ESTACION**

DIRECTOR DE TESIS  
ING. FRANCISCO NOREÑA CASADO

ELABORADO  
JORGE QUINTANA ZUÑIGA

FIG. 4

UNAM



dad de no interferir el tránsito en esas Avenidas de gran flujo de vehículos, para poder hacer lo anterior se procedió a tramitar dos terrenos (eran áreas destinadas a estacionamientos de comercios) en ambos lados de Av. Universidad, lado Sur-Este y Sur-Oeste, (Fig. 1, 2 y 3).

Para poder empezar la excavación de la estación se procedió a construir dos lumbreras (excavaciones verticales), separadas una de otra 60 mts. a centros, y ya construídas se empezó el tuneleo hacia el centro de la Av. Universidad que es el lugar en donde se localizan el Eje del Metro, paralelamente a esta excavación se hicieron excavaciones en ambas lumbreras hacia lado contrario del Eje del metro, (Contra-Túnel), para así poder excavar dos pasarelas una en el lado Oriente y otra en el Poniente, que son las que conducen al público usuario hacia los andenes, una vez hechas estas pasarelas se procedió a excavar el túnel de cada una de las vías, posteriormente en la excavación que llamamos contra-túnel se procedió a excavar los accesos, (uno en cada lado de cada lumbrera), estos accesos se atacaron en dos formas a cielo abierto y en tuneleo (Fig. 4).

## 2.1 Funciones y características de cada túnel.

### a. Túnel de unión (Fig. 4).

La función principal de este túnel es unir a cada lumbrera para así tener un paso del público, del andén poniente al andén oriente, constructivamente nos sirvió para poder atacar el túnel de vía Oriente hacia el Norte.

Las características de este túnel son:

Área de la sección excavada 98 m<sup>2</sup>.

Diámetro de 10 m.

Recubrimiento definitivo con concreto lanzado armado.

- b. Esta parte de túnel (13 m. de long.) es una excavación que se hizo hacia la parte contraria de la excavación del túnel de unión, es decir se excavó hacia el Oriente de la lumbrera Oriente y al Poniente de la lumbrera Poniente.

La función de este contra túnel es poder construir las pasarelas (Túnel de unión entre acceso y andén), que comienza su excavación a 8 metros del Eje de la lumbrera hacia el contra túnel, la excavación de la pasarela fue hacia el Norte hasta conectar con el andén, otras de las funciones del contra túnel es poder construir los accesos (uno en cada contra túnel).

Las características del contra túnel son:

Área de la sección excavada  $67.39 \text{ m}^2$ .

Diámetro de 8.64 m.

Recubrimiento definitivo de concreto hidráulico armado.

- c. Túnel Pasarela.

La función de este túnel consiste en comunicar al público usuario, del contra túnel (Una vez que bajaron a la estación por cada uno de los accesos), a cada uno de los andenes, constructivamente nos sirvió para excavar el túnel para una vía Poniente hacia el Norte y hacia el sur, la característica de la pasarela es:

Area de la sección por excavar  $21.68 \text{ m}^2$ .

Diámetro de 4 m.

Recubrimiento definitivo de concreto hidráulico armado.

d. Túnel para una Vía.

La función de este túnel es poder conducir al metro en su paso por esta estación y el público pueda abordar el convoy.

Sus características son:

Area excavada  $67.39 \text{ m}^2$ .

Diámetro de 8.64 m.

Recubrimiento definitivo de concreto hidráulico armado.

e. Túneles para accesos.

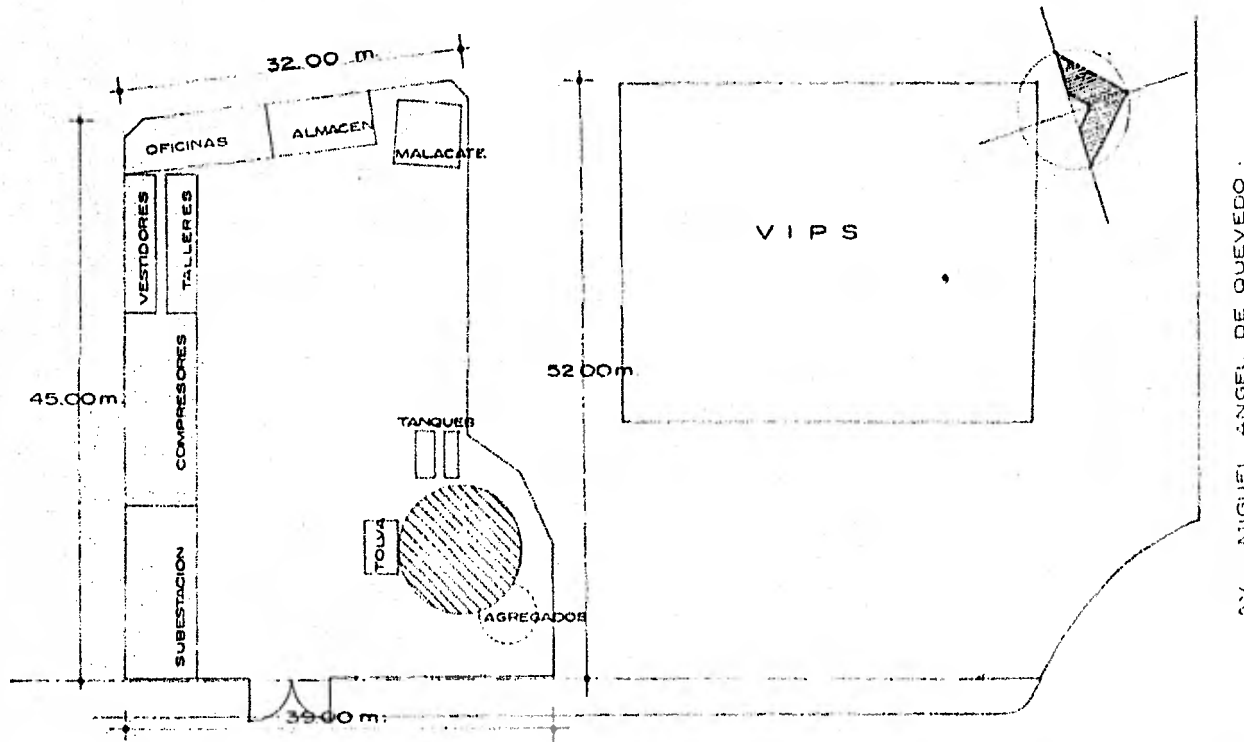
Su función es conducir al público a las taquillas y a los túneles pasarela.

Las características de este túnel son:

Area de la sección excavada  $67.39 \text{ m}^2$ .

Diámetro de 8.64 m.

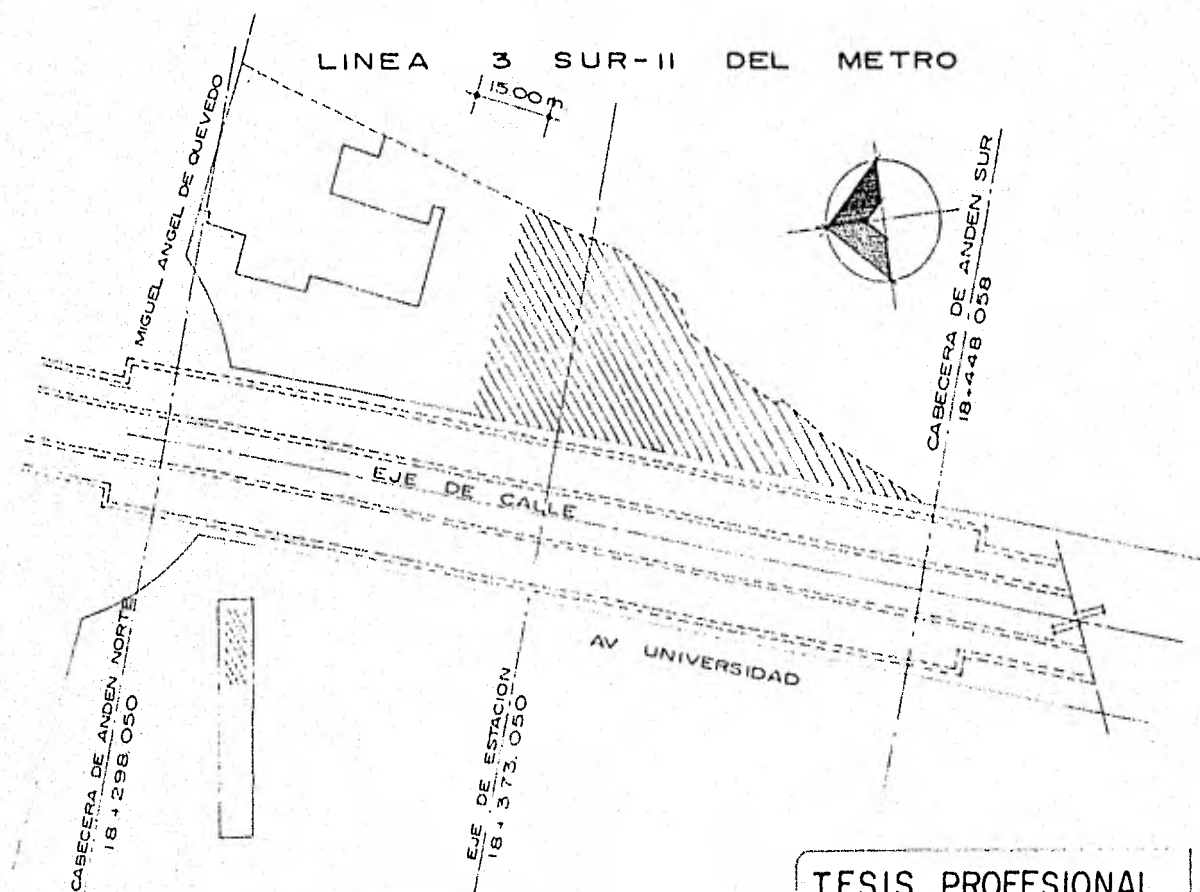
Recubrimiento definitivo de concreto hidráulico armado.



AV. MIGUEL ANGEL DE QUEVEDO

AV. UNIVERSIDAD

|                                       |  |      |
|---------------------------------------|--|------|
| TESIS PROFESIONAL                     |  | UNAM |
| FACULTAD DE INGENIERIA                |  |      |
| AFECTACIONES PARA CONST. DE LUMBRERAS |  |      |
| DIRECCION DE TESIS                    |  |      |
| ING FRANCISCO MOREÑA CASADO           |  | 2    |
| ELABORO                               |  |      |
| JORGE QUINTANA ZURIGA                 |  |      |



ESTACION M.A. DE QUEVEDO

|   |     |
|---|-----|
| TESIS PROFESIONAL                                 |     |
| FACULTAD DE INGENIERIA                            | 116 |
| AFECCIONES PARA<br>CONST. DE LUMBRERAS            | 3   |
| DIRECTOR DE TESIS<br>ING. FRANCISCO NORRÑA CASADO |     |
| ELABORO<br>JORGE QUINTANA ZURIGA                  |     |

**UNAM**

## RESUMEN DE CARACTERISTICAS GENERALES

| TUNEL                  | DIAMETRO | AREA EXCAVADA          |
|------------------------|----------|------------------------|
| Unión entre lumbreras. | 10.00 m. | 98.00 m <sup>2</sup> . |
| Pasarela.              | 4.00 m.  | 21.68 m <sup>2</sup> . |
| Para acceso.           | 8.64 m.  | 67.39 m <sup>2</sup> . |
| Para una vía.          | 8.64 m.  | 67.39 m <sup>2</sup> . |

### III. METODO CONSTRUCTIVO.

#### 1. GENERALIDADES.

##### 1.1 Definición de túnel.

Los túneles son excavaciones subterráneas grandes, construidas de muy distintas maneras, a través de un monte, por debajo de un río u cualquier otro obstáculo (válidas). Para dar paso a una vía de comunicación.

##### 1.2 Finalidad del túnel en metro.

La finalidad de construir túnel para una vía, dos vías y túnel en estación, es para así poder dar paso al metro y al público que requiera este medio de transporte, tratando de no dar molestias a la ciudadanía durante la construcción del metro, y posteriormente una vez en funcionamiento no interferir con las vías terrestres, subterráneas y aéreas de comunicación (calles, teléfonos, líneas de agua potable, líneas de alta tensión (energía eléctrica), drenajes, líneas de comunicación, etc.).

##### 1.3 Frentes de trabajo.

Entendemos por frente de trabajo al límite de excavación de un túnel, por cada uno de los lados en los cuales se este atacando la excavación.

En el inicio de la construcción de la estación Miguel - Angel de Quevedo, se contó con dos frentes de trabajo, - estos dos frentes continuaron laborando hasta la determinación de las dos lumbreras. (un frente por lumbrera). -

Al terminar las lumbreras estos frentes se multiplicaron al continuar con la excavación de túnel, tres frentes - con la lumbrera Poniente y dos frentes en la lumbrera - Oriente.

En esta estación tuvimos la oportunidad de tener siete frentes de trabajo al mismo tiempo, cada uno de los frentes de trabajo laboró dos turnos de 12 horas cada uno -- con horas extras). Con lo cual trabajamos en la construcción de la estación las 24 horas del día.

#### 1.3.1 Instalaciones Exteriores.

En cada una de las lumbreras se utilizaron las instalaciones exteriores (para ella y el túnel), que a continuación menciono:

a. 4 compresores eléctricos de 600 FT<sup>3</sup>/minuto.

Cada uno de los compresores va conectado a un manífol de 20" de  $\phi$  que se conecta a su vez a un tanque regulador de 4 m<sup>3</sup>., de capacidad.

La presión de trabajo del aire comprimido que se utiliza es de 90 a 110 Lb/pulg<sup>2</sup>. Del tanque regulador, después de una válvula de compuerta, sale una línea de 8" de  $\phi$  con tubería de acero de célula 80, la cual se llevó al túnel cuando se tuvo construída la lumbrera.

b. Una subestación eléctrica que recibe corriente a 23,000 voltios y la transforma hasta 440 voltios para motores, 220 voltios para las diversas instalaciones de alumbrado (exterior e interior).



c. Una torre de manteo, junto con un maleacate de capacidad suficiente, para izar el bote de  $4.5 \text{ m}^3$ . que extrae la rezaga del túnel a superficie, en donde vacia en una tolva que descarga en los camiones y la lleva a los tipos de material autorizados para tal efecto.

d. Un tanque para agua de 10,000 litros de capacidad para ser utilizada en el concreto lanzado.

e. Un tanque para silicato de sodio de 10,000 litros, también para el concreto lanzado.

f. Un tanque para almacenamiento de diesel con salida de 1" hacia el fondo de la lumbrera.

g. Una tolva para recibir agregados para concreto, lanzado con salida de 10" de  $\phi$  para un tubo que baja al túnel.

h. Una draga con bote de  $3 \text{ m}^3$ .

i. Un almacén con el equipo de seguridad suficiente para los trabajadores, como son:

Guantes, cascos, botas, mascarillas, lámparas, etc. y con un stock suficiente para cualquier contingencia del equipo.

j. Oficinas técnicas de supervisión, con el fin de que el personal técnico (Ingenieros, auxiliares, muestreadores, topógrafos, etc) se encuentran lo más cercano a la obra.

k. Tomaduría de tiempo. Para un control adecuado de la obra.

1. Baños y Lokers para los trabajadores, con el fin de tener a los trabajadores en condiciones óptimas de trabajo, y puedan desarrollar su labor adecuadamente.

Todas estas instalaciones se encuentran confinadas dentro de un área de 2,000 m<sup>2</sup>., confinada por barda, que limita el área de trabajo.

Dentro de esto es muy importante mencionar que las instalaciones anteriores, deben ser programadas de tal suerte que al terminar construir las lumbreras y, estar en condiciones de atacar los frentes de túnel; estén totalmente terminadas, para así no frenar ninguna actividad.

### 1.3.2 Instalaciones Interiores

a. Una tolva receptora de concreto.

Para la utilización de concreto hidráulico que se utiliza en el revestimiento definitivo, es necesario contar con una tolva exterior receptora, con tubería de bajada de 8" ó 10" hasta un tanque amortiguador a nivel de clave de túnel (10 m.), que nos reintegrará los componentes del concreto antes de pasar a la bomba, que se coloca en cada uno de los frentes de trabajo.

b. Líneas de corriente eléctrica.

Como instalación dentro del túnel, llevamos líneas de corriente eléctrica para 440 voltios, líneas de 220 voltios para alumbrado.

- c. Tubería para agua de 2" de  $\phi$ .
- d. Tubería para aire de 8" de  $\phi$ .
- e. Ventilación.

Esta consiste en tubería de 36" de  $\phi$ , con impulsos a cada 100 m.

Dentro del túnel contamos con otras instalaciones y equipo, las cuales mencionaré en este mismo capítulo, al llegar a excavación.

### 1.3.3 Personal.

Tomando en cuenta al personal técnico y administrativo, el personal que ejecuta un túnel, está compuesto de los siguientes elementos:

- a. Sobrestantes.
- b. Jefes de turno.
- c. Cabos.
- d. Peones.
- e. Oficiales.

Desglosando sus actividades, estas son:

- a. Sobrestantes.- Son los trabajadores de más jerarquía y experiencia dentro del personal no profesional; su función consiste en cuidar la seguridad y eficiencia del personal y equipo en la construcción de una obra.

b. Jefes de turno.- Son auxiliares de los -- sobrestantes en quienes estos delegan algunas de sus responsabilidades.

c. Cabos.- Son las personas que tienen a su - cargo una cuadrilla de peones y, son quienes es- tán en contacto con el personal y equipo en una- forma más directa.

Las actividades que requieren de un cabo son por ejemplo: Maniobras, manteo, lanzamiento de concreto, colocación concreto hidráulico, cimbra, frente - de excavación.

c.1 Cabo de maniobras.- Es el responsable de - dirigir el suministro de maquinaria, material y- equipo de construcción al túnel.

c.2 Cabo de manteo.- Tiene a su cargo la recep- ción de la resaga en el túnel y su manteo a la - tolva exterior (superficial).

c.3 Cabo de concreto lanzado.- Dirige las ope- raciones de recepción de agregados, cemento, adi- tivos, agua, etc., y la operación de lanzado a - las paredes del túnel.

c.4 Cabo de concreto Hidráulico.- Dirige las - operaciones de recepción de concreto, su coloca- ción y vibrado en el recubrimiento definitivo - del túnel.

c.5 Cabo de cimbra.- Tiene a su cargo la colo- cación de la cimbra (metálica y de madera). Su- conservación y su buen funcionamiento,

c.6 Cabo de frente de excavación.- Su función es dirigir la excavación en cada uno de los frentes de túnel con cualquier equipo empleado.

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

e. Oficiales.- Son aquellos trabajadores dedicados a un determinado oficio sin estar sujetos a trabajar en equipo o cuadrilla, aunque en las mayorías de las ocasiones tienen ayudantes como auxiliares.

Dentro de la construcción contamos también con:

f. Choferes u operadores.- Son los conductores de vehículos y máquinas dentro o fuera del túnel.

g. Malacateros.- Son las personas que manejan los controles de los cables de los malacates.

h. Carpinteros.- Son los oficiales que cortan la madera de la cimbra al tamaño necesario.

i. Electricistas.- Estos oficiales son los encargados del alumbrado y mantenimiento eléctrico de las instalaciones motores y líneas de transmisión y distribución.

j. Soldadores.- Son los encargados de construir equipo de construcción por medio de soldadura y corte, esto lo hacen cuando es una urgencia y no es posible adquirirlo en fábrica, con

lo cual se vería retrasado el avance de un frente de trabajo.

Así como los anteriores existen otros trabajadores, que hacen posible la construcción de una obra en túnel.

## 2. ESTUDIOS GEOLOGICOS.

2.1 Los estudios geotécnicos tienen como propósito conocer las propiedades del material en que se efectuará una excavación subterránea, para poder establecer el procedimiento constructivo más eficaz y económico posible, definir el tipo de soporte que requerirá la excavación para mantenerse estable, tanto en la etapa constructiva como durante la vida útil de la obra construída.

### 2.2 Exploración del subsuelo.

La exploración del subsuelo comprende los trabajos de campo y ensayos de laboratorio necesarios, para definir y cuantificar la estratigrafía y propiedades mecánicas del subsuelo.

Esta parte del estudio debe de apoyarse en el conocimiento de la geología local (naturaleza, tipo y características estructurales del subsuelo), obtenido al recopilar la información existente de exploraciones previas y de las observaciones hechas por un Ingeniero especialista, durante una visita al lugar; estas observaciones deben de incluir una evaluación del comportamiento de las cimentaciones existentes, información de fundamental importancia, pues equivale a la proporcionada por una prueba de carga a escala natural, a largo y corto plazo.

La información recopilada de exploraciones previas, y la de los datos recabados por el Ingeniero, en el sitio sujeto a construcción, constituyen una primera etapa obligada en cualquier estudio.

Su interpretación permite enfocar la solución del problema y aportar la base necesaria para integrar un buen programa de exploración del subsuelo, complementada con la determinación de algunas propiedades índice, y compensada con un factor de seguridad racionalmente amplio, puede resultar suficiente para elegir el tipo y las características del método constructivo adecuado a la obra.

Este es el caso de muchas estructuras construídas según un proyecto tipo, cuyas cimentaciones se han resuelto - con éxito eligiendo con buen criterio ingenieril, la más apropiada de varias alternativas de procedimientos constructivos, que para esto se diseñaron.

Como una segunda etapa se tienen los trabajos de campo - que comprenden la ejecución de sondeos de exploración y muestreo, cuyas características, tipo, número, profundidad y distribución, se fijan de acuerdo a las características del proyecto, al conocimiento general del subsuelo y a los resultados que vayan obteniéndose conforme avanza la exploración, los trabajos de campo también incluyen mediciones y pruebas in situ.

En función de las características del subsuelo, y del tipo de información requerida, las muestras de los suelos pueden ser representativas o inalteradas, las que menciono primeramente involucran una alteración de la estructura del suelo, pero sin cambios en sus partes constitutivas ni en algunas de sus propiedades índice; - en las segundas la muestra conserva, con bajo grado de alteración, estructura del suelo y sus propiedades índice.

Los tipos de sondeo utilizados son:

- a. Pozos a cielo abierto.
- b. Sondeo de penetración standard.
- c. Sondeo de muestreo inalterado (ejemplo: tubo shelby hincado bajo presión estática, doble barril densión, etc.
- d. Sondeo de rotación con barril muestreador, provisto con broca de diamante.
- e. Sondeo de exploración sin muestreo.

Entre las mediciones de campo nos encontramos con las siguientes:

- a. Determinación de la resistencia a la penetración.
- b. Peso volumétrico de suelos superficiales.
- c. Profundidad y fluctuación del nivel de aguas freáticas.
- d. Magnitud y distribución de las presiones de poro --- (piezometría).
- e. Investigación de mantos colgados.
- f. Valores de la resistencia al corte de suelos blandos (Prueba de veleta).
- g. Pruebas de carga para determinar relaciones carga-deformación o directamente la capacidad de carga de cada tipo determinado de proyecto.
- h. Pruebas de permeabilidad.



En el laboratorio, las muestras de suelos, representativas y las inalteradas, se someten a pruebas para así determinar con que suelo trabajamos, algunas de estas pruebas son:

- a. Contenido natural de agua.
- b. Límites de consistencia.
- c. Distribución granulométrica.
- d. Grado de saturación.
- e. Peso específico relativo.
- f. En muestras inalteradas se debe determinar también - la relación de vacíos y el peso volumétrico de la masa.

### 2.3 Antecedentes Geológicos.

Aunado a lo anterior es de mucha ayuda conocer la geología general (antecedentes geológicos) contemplando los siguientes puntos:

- a. Tipos de materiales que se encontraran, profundidad y también la extensión.
- b. Localización y descripción de zonas de fallas y contactos, que normalmente pueden representar sitios críticos en la estabilidad de filtraciones.
- c. Indicaciones sobre las estructuras geológicas, que pueden estar sujetas a esfuerzos tectónicos de importancia.

- d. Descripción del fisuramiento en las formaciones, disposición (rumbos y hechados), frecuencia, aberturas y rellenos, continuidad.
- e. Descripción de las características geohidrológicas:
  - . Nivel de Agua Superficial.
  - . Tipo de acuíferos.
  - . Valuación de la recarga por lluvias.
- f. Diagnosticar preliminarmente posibles problemas de estabilidad y filtraciones.

#### 2.4 Alcance de Muestreo.

Es evidente que el muestreo debe de incluir la zona en que se afectarán las condiciones naturales del subsuelo, a causa de la excavación y en las cuales será necesario conocer las propiedades que mencione en el punto anterior, en forma general los sondeos se hicieron como sigue:

Para estabilidad y soporte:

##### LUMBRERAS

A toda la profundidad incluyendo aproximadamente 3  $\phi$  de la lumbrera bajo el fondo.

##### TUNELES

Una extensión de 6 veces el  $\phi$  del túnel hacia cada lado, desde el centro.

Para filtraciones:

##### LUMBRERAS

En toda la profundidad y has

##### TUNELES

En toda la profundidad-

ta encontrar una formación inferior de mucho menor permeabilidad que las superiores y cuando menos a dos veces la profundidad de la lumbrera.

hasta alcanzar un estrato o formación impermeable bajo el túnel y no menos de dos veces la profundidad de éste.

Haciendo un análisis comparativo de las ventajas y desventajas que nos ofrecen los muestreos mencionados anteriormente tenemos:

#### Ventajas:

- |   |   |
|---|---|
| <p>A. Incluyen un amplio volumen de material en la prueba haciéndose presentes sus características principales generales.</p> | <p>A. Pueden ejecutarse en tiempos y a costos relativamente cortos o bajos.</p>                       |
| <p>B. Permiten determinaciones en materiales no muestreables.</p>   | <p>B. Una vez correlacionadas con pruebas de campo, pueden usarse para verificaciones de control.</p> |
| <p>C. Permiten determinar propiedades y estados de esfuerzos no medibles en el laboratorio.</p>                               | <p>C. Pueden hacerse en número suficiente para lograr resultados aceptables.</p>                      |

D. Para la permeabilidad es la mejor (única) - forma de obtenerla - con aproximación aceptables.

D. Puede ejecutarse --- cualquier tipo de - prueba con equipos - adaptables.

#### Desventajas:

A. Son costosas, se justifican económicamente cuando se requiere mayor precisión en -- las propiedades y -- cuando es la única - forma de obtenerlas.

A. Excepto en subsuelos uniformes, no son representativas de la masa, sino de los - componentes.

B. Requieren preparaciones que se ejecutan - en tiempos considerables.

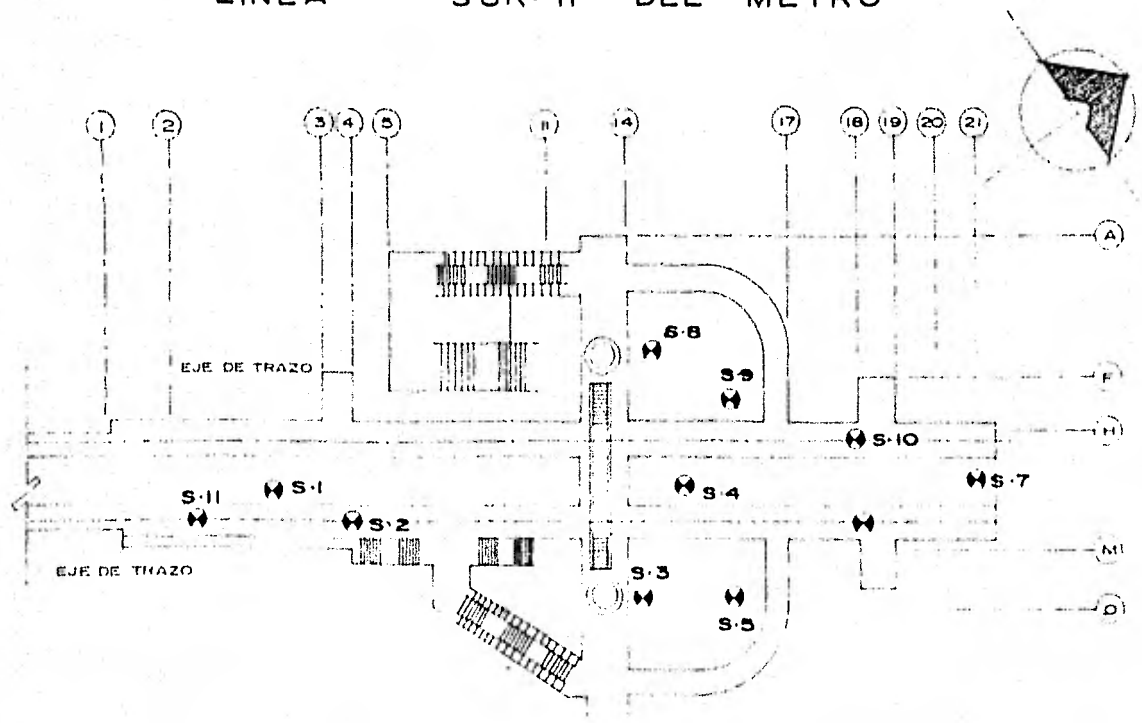
B. El volumen de material probado es reducido.

C. En toda forma sus resultados son aplicables al sitio particular en que se efectúan.

#### 2.5 Estratigrafía.

A este respecto en la estación Miguel Angel de Quevedo, se efectuaron 11 sondeos separados uno del otro aproximadamente 30 m. longitudinales.

# LINEA 3 SUR-II DEL METRO



ESTACION M.A. DE QUEVEDO

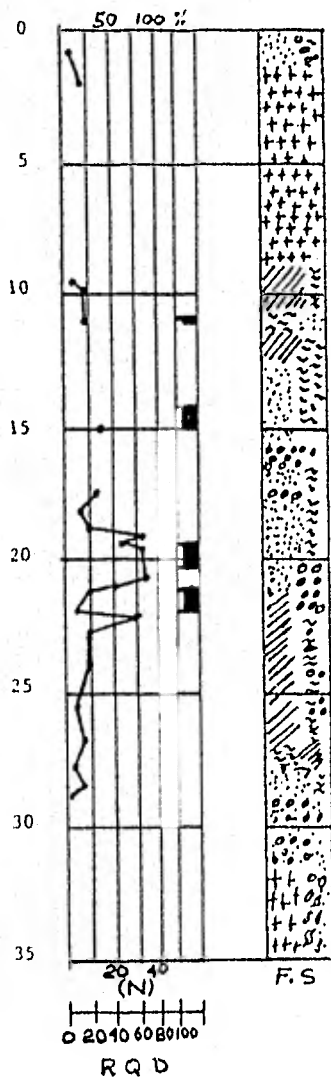
TESIS PROFESIONAL  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LOCALIZACION DE SONDEOS  
DIRECCION DE TRS  
ING. FRANCISCO MOREIRA CASARDO  
ELABORADO  
JORGE QUINTANA ZUÑIGA

UNAM

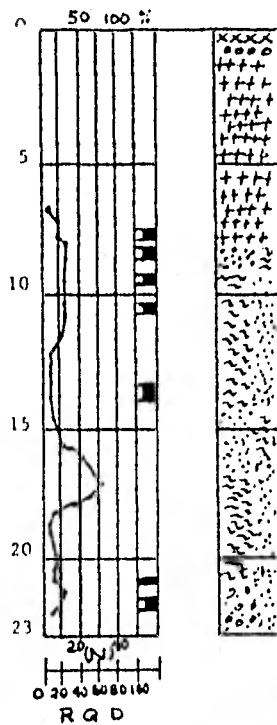
5

Analizando los sondeos según la figura No. 5, concluoy-  
que contamos con el material siguiente en cada sondeo.

SONDEO 1

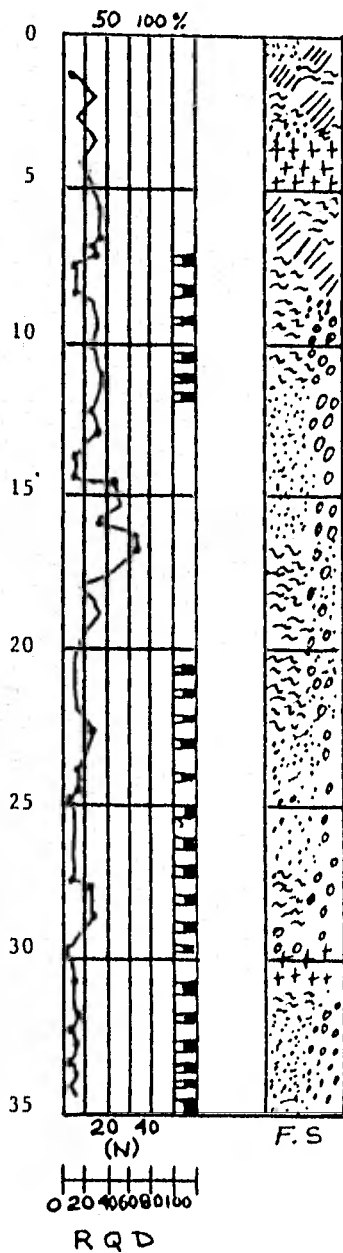


SONDEO 2

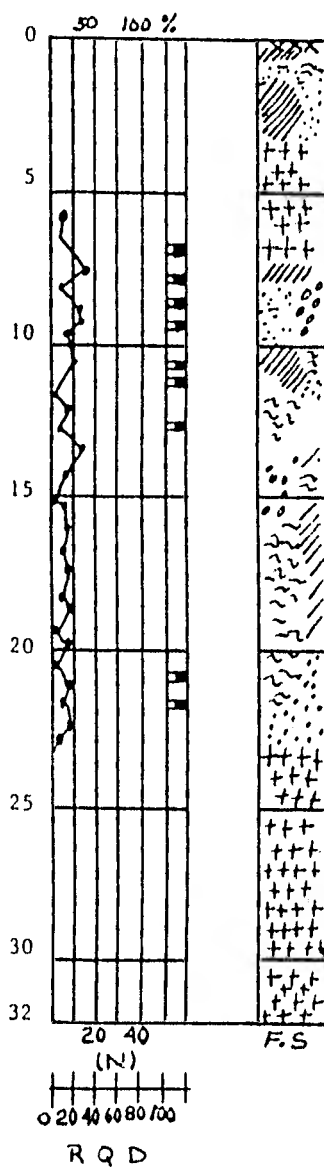


- |  |  |  |                |
|--|--|--|----------------|
|  | RELLENO                                  |  | ROCA           |
|  | ARCILLA                                  |  | LIMO           |
|  | ARENA                                    |  | GRAVA          |
|  | BOLEOS                                   |  | FIN DEL SONDEO |
|  | CONTENIDO DE AGUA                        |  | F.S.           |
|  | NÚMERO DE COLPES EN PENETRACION STANDARD |  |                |
|  | RECUPERACION DE ROCA                     |  |                |

SONDEO 3

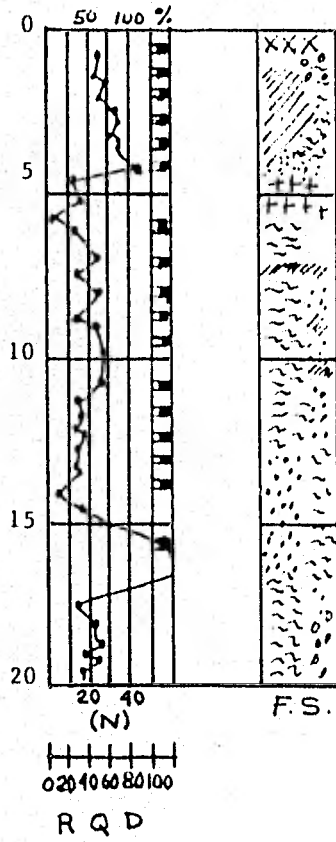


SONDEO 4

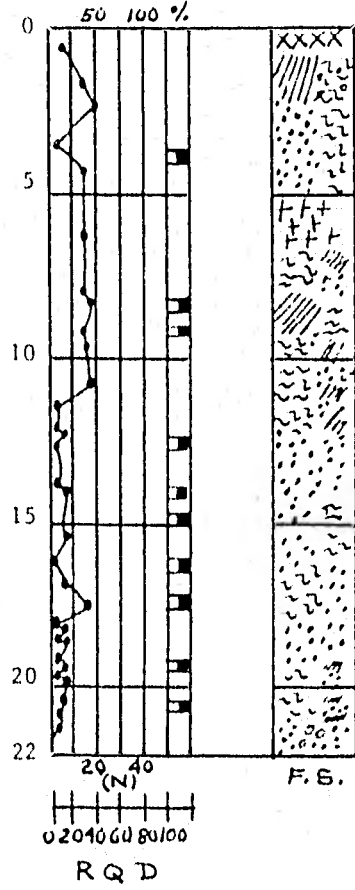




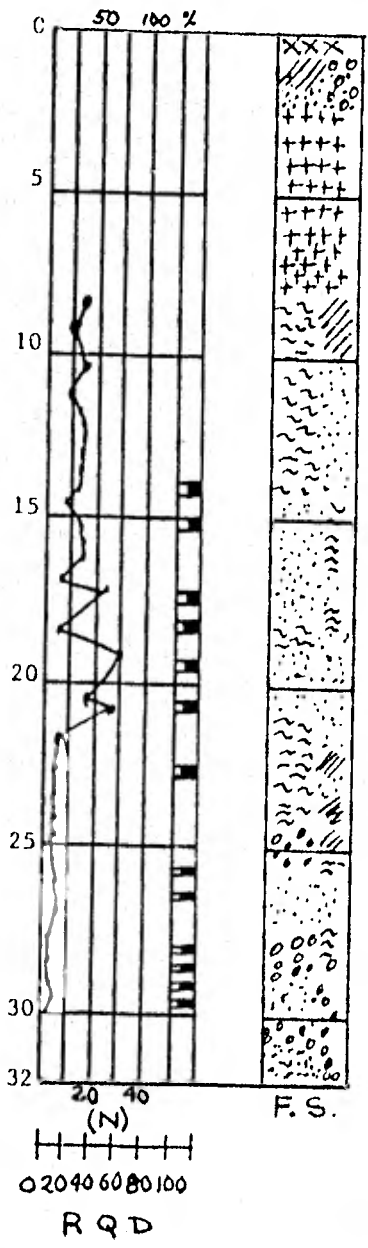
SONDEO 5



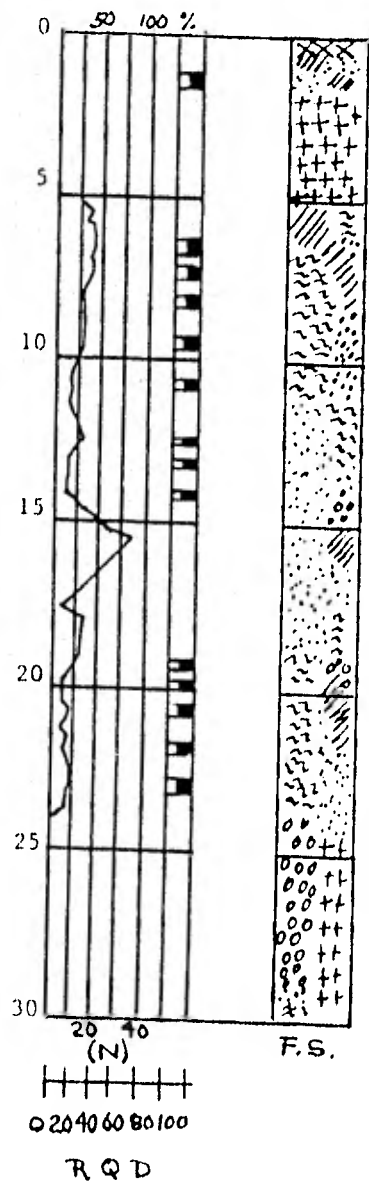
SONDEO 6

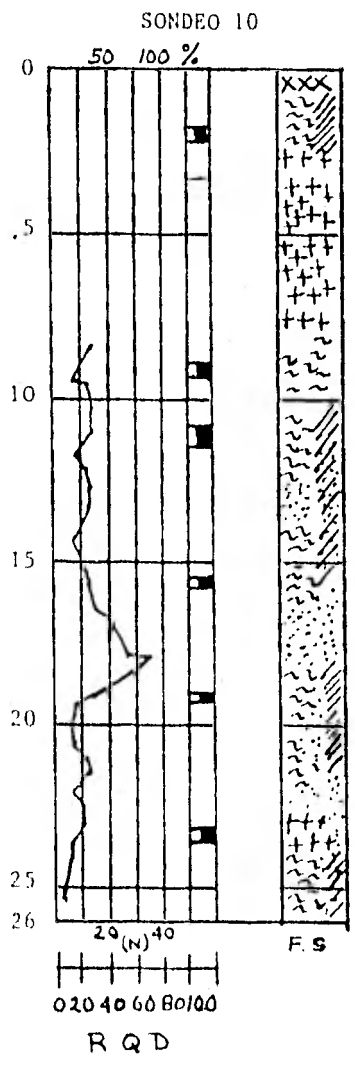
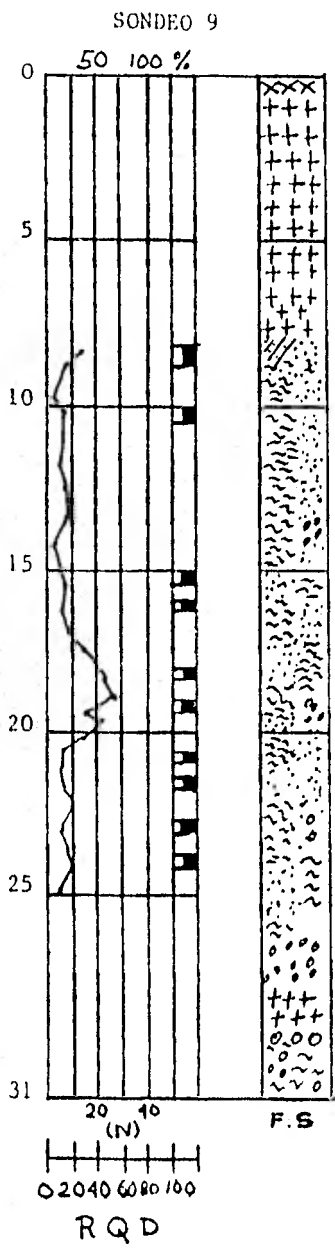


SONDEO 7

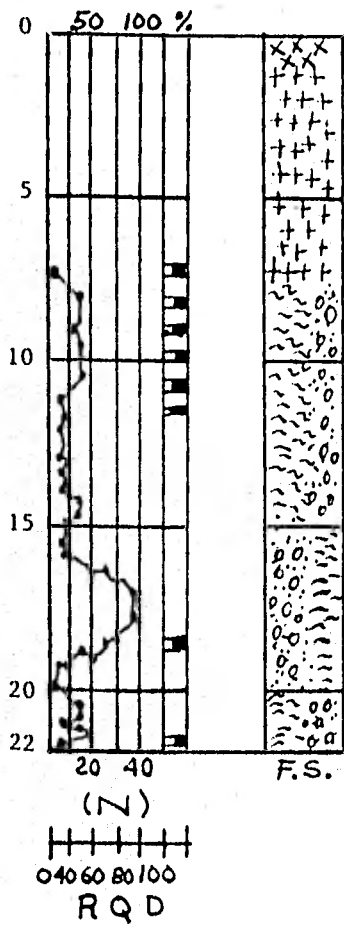


SONDEO 8





SONDEO 11



Haciendo un promedio para fines de tener una idea general del material existente en la estación Miguel Angel - de Quevedo presento la siguiente estratigrafía:

Entre 0 y 0.50 mts.

Encontramos material de relleno.

Entre 0.50 y 3.00 mts.

Encontramos un estrato de material arcilla-limosa con un lente 0.60 mts. de arena.

Entre 3.00 y 8.00 mts.

Encontramos un estrato de roca basáltica.

Entre 8.00 mts. y 13 mts.

Encontramos material limo-arenoso.

Entre 13 y 17 mts.

Encontramos arenas pumíticas.

Entre 17 y 22 mts.

Encontramos material limo-arenoso.

Entre 22 y 25 mts.

Encontramos material limoso con voleos.

Entre 25 y 28 mts.

Tenemos voleos con poca arena y un estrato de 1 mt. de roca.

Entre 28 y 26 mts.

Tenemos voleos con poca arena y un estrato intermedio de roca basáltica.

### 3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

#### 3.1 Procedimiento Constructivo de Lumberas.

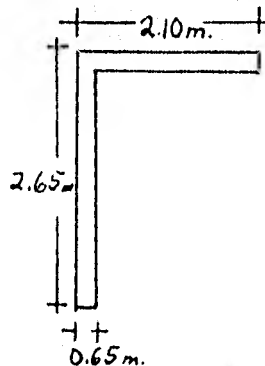
En la construcción de las 2 Lumberas se nos presentó la combinación de excavación de suelos granulares con la - excavación de roca a cielo abierto.

El primer paso que seguimos en la construcción fue trazar topográficamente el centro geométrico de la lumbera poniente, así como las dimensiones de la misma (11.20 mts. de diámetro), una vez trazada la lumbera se procede a excavar un brocal en toda la circunferencia de la - lumbera, las características de este brocal son:

Area de excavación de brocal.  $86.40 \text{ m}^2$ .

Volumen excavado.  $99.50 \text{ m}^3$ .

Dimensiones. 2.10 m. de ancho, 2.65 m. de profundidad y 0.65 m. de espesor.



El equipo utilizado fue:

Un compresor portátil de  $600 \text{ ft}^3/\text{min}$ .

4 martillos neumáticos rompedores.

Un cargador sobre orugas de descarga lateral.

Una retro-excavadora.

Picos, palas y carretillas.

El procedimiento de excavación y construcción fue el siguiente:

El primer metro de profundidad fue excavado a mano (pico y pala) a fin de localizar instalaciones municipales -- existentes, afortunadamente no encontramos ninguna, una vez visto que no encontramos instalaciones municipales - procedimos a trabajar con la máquina retro-excavadora, - posteriormente cargamos a los camiones y se llevó el material al banco de tiro.

Una vez terminada la excavación del brocal procedimos al armado del acero de refuerzo del brocal (v # 3/4, # -- 1/2). El armado es en partes y se arma fuera de la excavación, una vez colocado y cimbrado el acero de refuerzo se procede al colado del brocal, utilizamos concreto --  $f'c = 200 \text{ kg./cm}^2$ . y agregado máximo de 1/2".

Una vez fraguado el concreto se procede a desimbrar y comenzamos a excavar el núcleo de la lumbrera para lo cual necesitamos el siguiente equipo:

- a. Retro-excavadora.
- b. Un compresor con pistolas neumáticas rompedoras.
- c. Draga con almeja loca.
- d. Camiones.
- e. Equipo de concreto lanzado.



Tomando el nivel de terreno natural como cota 0 (cero), iniciamos la excavación del núcleo de la lumbrera.

Primeramente excavamos los 2.65 m. de profundidad del brocal con retro-excavadora, a partir de esta cota y hasta los 6,80 m. de profundidad excavamos con retroexcavadora para lo cual metemos la máquina a la lumbrera y para rezagar el material utilizamos la draga colocándole un bote de 1 m<sup>3</sup>. de capacidad.

A partir de la cota 2.65 mts. excavamos con el siguiente ciclo:

Excavamos 2 m. y procedemos a poner un soporte temporal de concreto lanzado (ver punto 3.2) de 15 cm. de espesor con una malla intermedia de 6" x 6" electroforjada.

A partir de la cota 6.80 m. a la cota 14.30 m. nos encontramos con un estrato de basalto que atacamos de la siguiente manera:

Con las pistolas neumáticas barrenamos, poblamos con cartuchos Tovex 200 de 12" x 8" y colocamos los detonantes, así como los estopines eléctricos de tiempo, el consumo de explosivos de acuerdo a las condiciones de la roca fue de 700 g/m<sup>3</sup> en promedio.

Antes de dinamitar preparamos una malla de cable de 1" - de  $\varnothing$  apoyada y anclada en la cara exterior del brocal, cubriendo toda el área de lumbrera. también colocamos un tupido de tiras de hule (neumáticos de camión), todo esto con el fin de no dañar las construcciones vecinas y a la ciudadanía a la hora de dinamitar.

Una vez dinamitado rezagamos la roca con la draga y retiramos la roca de la zona de obra.

De la cota 11.30 m. a la cota 19.80 m. que es el nivel de piso de la lumbrera excavamos con la draga y la retro excavadora de 2 m. en 2 m. y lanzando concreto con el siguiente equipo:

Un carro mezclador Tipo Trixer de 6 m<sup>3</sup>. 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  $\phi$  en donde se une el agua y los agregados.

Una vez que terminamos la excavación y ademe de la lumbrera, procedimos al armado y colado de la losa de fondo de la lumbrera cuyo espesor es de 0.60 m. con concreto de  $f'c = 200 \text{ kg./cm}^2$ . y agregado máximo de 1 1/2".

Previo al colado de la losa hemos dejado en el armado un carcamo de 4 x 3 x 1.8 mts. en uno de los extremos de la losa, para una vez empezada la excavación del túnel poder depositar en ese lugar el material y poder rezagarlo.

Para bajar el concreto al colado de la losa utilizamos una bacha y la grua que ya mencione en párrafos anteriores.

En el armado de la losa se deja una preparación para ligar el ademe definitivo de concreto del cuerpo de la lumbrera.

En cuanto terminamos el colado de la losa de fondo se procede a armar el acero de refuerzo de lo que el cuerpo de la lumbrera, armamos 6 m. de abajo hacia arriba (de manera que le llevemos a la cimbra deslizante cuando menos 4 m. de ventaja) y procedemos a colocar la cimbra deslizante, que previamente fue armada fuera de la lumbrera, cimbra deslizante que es circular con un diámetro

de 10.95 m. para así dejar un recubrimiento de 25 cm. de espesor en el cuerpo de la lumbrera.

La cimbra deslizante tiene una altura de 1.60 m., el concreto de  $f'c = 200 \text{ kg./cm}^2$ . lo bajamos en los dos primeros colados con una bacha y posteriormente con una trompa de elefante y canalones. La cimbra deslizante va apoyada en la superficie del terreno natural con 10 gatos - hidráulicos que nos permite nivelar la cimbra al momento de ir colando e ir la subiendo. Un punto es el de que al colar el cuerpo de la lumbrera se deje sin colar la zona de la sección de túnel y contratúnel para así evitar el tener que demoler, para lo cual se le pone un tapón de - madera a toda esta zona para que al pasar la cimbra deslizante no se coloque concreto en la sección antes mencionada, por último se cura el concreto.

Al parejo del colado se procede a armar la torre de resaca de material de excavación del túnel, túnel que podemos empezar a excavar al fraguar el concreto del recubrimiento definitivo del cuerpo de la lumbrera.

La lumbrera oriente la empezamos una vez que ya teníamos 15 m. de avance en el túnel de unión entre lumbreras, -- atacando por el lado poniente.

### 3.2 Concreto lanzado.

El concreto lanzado es uno de los recubrimientos provisionales que utilizamos en la excavación de los túneles de la estación Miguel Angel de Quevedo y las lumbreras, -- por lo cual considero conveniente dar un panorama de este tipo de concreto.

### 3.2.1 Antecedentes.

La primera aplicación exitosa del concreto lanzado, conteniendo agregado grueso hasta de 25 mm de tamaño (sustituyendo el adernado con marcos - metálicos o madera) como soporte temporal, fue hecha en el túnel de Ladano-Mosagno del proyecto hidroeléctrico de Maggia en Suiza en el año de 1951. En el año de 1956 se patentó en Austria el método de aplicación del concreto lanzado y desde entonces ha sido empleado muy ampliamente en la región de los países de los alpes (por la gran construcción de túneles).

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.

Ejemplos de trabajos donde ha sido utilizado con éxito, el concreto lanzado.

- a. En los túneles para vehículos de la sierra Rippoli, Italia, donde el concreto lanzado se utilizó como soporte de un desfiladero de roca y arcillas húmedas.
- b. En el metro de Washington (U.S.A.) localizado con esquistos y gneises.
- c. En el ferrocarril subterráneo de Milán, Italia excavado en arenas y gravas poco cementadas.
- d. En los túneles para vehículos de Carácas Venezuela, excavados en estratos de esquistos de grafito.

e. En el túnel ferroviario de Burnaby, Vancouver Canada, excavado en pizarras y calizas con alto contenido de agua.

### 3.2.2 Generales.

Existen dos procedimientos para el lanzado de concreto que son: El de Mezcla Seca y el de Mezcla Húmeda, en el primero el agua se incorpora en el chiflón y en el segundo se le agrega a la mezcla previamente.

En 1966 el procedimiento de mezcla seca fue introducido en U.S.A. como recubrimiento primario de túneles, desde esa misma fecha, el procedimiento de mezcla húmeda también se ha empleado ampliamente.

En la estación Miguel Angel de Quevedo hicimos uso del concreto lanzado por el método de mezcla seca. Los dos procedimientos mencionados anteriormente exigen que el personal que los aplique sea altamente capacitado.

La confianza en su utilización se ha incrementado con la experiencia de su uso, ya sea aplicado en forma simple o con un refuerzo de malla de alambre (como la que utilizamos de 6" x 6"), la aplicación abarca todo tipo de terrenos y suelos.

En arcillas de alta plasticidad y arenas sueltas no es adecuado el uso de marcos con retaque de madera.

El principal papel del concreto lanzado, para

prevenir el aflojamiento de la masa de suelo, -- consiste en la generación de una resistencia al - esfuerzo cortante, haciendo que el arco natural - del terreno se mantenga lo más próximo a la períferia de la abertura recién excavada.

La alta resistencia y el fraguado rápido del concreto lanzado es de mucha importancia para lo - grar lo que explique en el párrafo anterior, por lo que el uso en adecuadas proporciones de acelerantes químicos, es de vital importancia. Es - también muy importante la propiedad que tiene el concreto lanzado, de una gradual deformación -- bajo los esfuerzos recibidos durante el fraguado, permitiendo limitar y controlar el límite de falla, evitando con ello la presencia de momentos flexionantes en el cascarón que forma.

En la estación Miguel Angel de Quevedo instalamos la instrumentación para detectar deformaciones de la sección de túnel en el revestimiento - primario a base de concreto lanzado, por lo cual es recomendable hacerlo en todos los casos para - con estos resultados poder dar solución al revestimiento definitivo a base de concreto hidráulico armado, también con lo anterior pudimos decidir en que lugares lanzabamos otra capa de concreto primario.

### 3.2.3 Materiales.

a. La humedad de los agregados nunca debe exceder al 5%, para evitar el taponamiento de las -- mangueras y del chiflón. Los agregados húmedos - evitan la formación de polvo tanto en la lanzadora como en el chiflón y realmente se mejora la -

hidratación en el chiflón.

b. En el procedimiento que utilizamos en Miguel Angel de Quevedo, que fue el de mezcla seca los agregados estuvieron entre el 40% y el 60% de contenido de agua, esto es bueno para la mezcla final, por lo que esta se debía de utilizar inmediatamente y antes de 1 1/2 a 2 horas después de mezclada. Esto representa una desventaja cuando se tienen acarrees grandes.

El contenido de humedad de los agregados es de tal importancia que nos obligó a tener tolvas de almacenamiento cubiertas y protegidas contra las inclemencias del tiempo.

Las tolvas de almacenamiento deben de ser dobles y deben de usarse ciclicamente para permitir que se estabilice, utilice la humedad de los agregados frescos.

c. El cemento portland es el que se utilizó en todo el concreto normal que colocamos en la estación. Otros tipos de cemento como el resistente a los sulfatos puede ser utilizados cuando las condiciones de trabajo lo requieran. La relación entre cemento y agregados fue del orden de 1:4, la cantidad de cemento normalmente varió en promedio entre 300 y 400 kg./m<sup>3</sup>.

d. El aire para el lanzado debe ser seco, limpio y libre de aceite, a una presión de 5 a 6 kg./cm<sup>2</sup>. en un chiflón de 30 mm. de  $\phi$ , la velocidad de salida que se presenta es aproximadamente de 125 m/seg. dependiendo de la longitud de las mangueras que se están utilizando. Una presión uniforme y constante es esencial para una-

buena calidad del concreto lanzado.

e. El agua debe de ser limpia y químicamente - aceptable y debe de ser suministrada a una presión constante de 4 Kg./cm<sup>2</sup>. sobre la presión -- del agua existen diferentes opiniones. Lo visto en práctica en el campo (en la estación) es que debe de estar entre 1 y 1.5 kg./cm<sup>2</sup>. mayor que - la presión del aire. En el procedimiento de mezclado en la estación Miguel Angel de Quevedo se - tuvo que el mezclado se hizo en el chiflón y era controlada por el operador, según observamos - la adherencia en las paredes del túnel.

f. La relación agua/cemento para el concreto - lanzado fue de 0.35 a 0.45 no debe aplicarse con - creto lanzado con temperaturas inferiores a - - 5°C.

#### 3.2.4 Propiedades.

Las más importantes son:

a. El esfuerzo a la compresión generalmente - se especifica entre 250 a 350 kg/cm<sup>2</sup>.

b. El esfuerzo a la tensión es ligeramente superior a 50 kg/cm<sup>2</sup>.

c. Adherencia superior al concreto normal.

d. Contracción al secado, ligeramente mayor - que la del concreto ordinario.



e. La durabilidad y porosidad son aceptables.

f. Deformabilidad, es muy alta cuando se esta aplicando, pero similar a la del concreto hidráulico cuando se ha endurecido.

### 3.2.5 Desperdicio (rebote).

La cantidad de rebote como su desperdicio dependen, principalmente, del grado de control de todo el proceso de lanzado, la habilidad del operador del chiflón es muy importante, basandose en la presión del aire indicada en puntos anteriores, el chiflón debe de mantenerse separado entre 1 y 1 1/2 metros de la superficie que se va a demandar, tratando de mantenerlo lo más perpendicular de dicha superficie.

El rebote se aumenta considerablemente cuando se lanza el concreto en la clave del túnel. El rebote en el procedimiento de mezcla seca varía entre 25% y 35% y si el control no es adecuado puede llegar a un 50%. Con un buen control en el proceso de lanzado de concreto se puede disminuir el rebote a un 10 y 15%, pero esto es muy difícil de obtener en trabajos subterráneos.

### 3.2.6 Granulometría.

Expresada en por ciento en peso de la muestra total, vista en la estación Miguel Angel de Cuevedo.

| PRUEBA  | ARENA | GRAVA |
|---|-------|-------|
| Grumos de arcilla y partículas desmezurables. | 3.0   | 4.0   |
| Material que pasa por la malla # 200.         | 5.0   | 2.0   |
| Carbón y lignito.                             | 1.0   | 0.5   |
| Perdida por absorción.                        | -     | 50.0  |

### 3.2.7 Proporcionamiento.

Proporcionamiento base por metro cúbico de concreto lanzado.

|         |       |         |
|---------|-------|---------|
| Cemento | ----- | 425 kg. |
| Agua    | ----- | 230 kg. |
| Grava   | ----- | 590 kg. |
| Arena   | ----- | 860 kg. |
| Aditivo | ----- | 12 kg.  |

### 3.2.8 Muestreo.

El muestreo se hizo sobre artesas de prueba durante el proceso de lanzado, normal en cada frente, la cual fue representativa de la dosificación del concreto lanzado que se empleo. Se extraen de las artesas corazones cilindricos de 2" de  $\phi$  y se someten a pruebas de compresión simple a las 24 horas, 3, 7 y 28 días de edad. Se toman también muestras periódicas de las mezclas para comparar el contenido de humedad, cantidad de cemento, composición granulométrica con

las que nos especifica el proyecto.

Se obtienen artesas de prueba de cada frente ca  
da 20 m. o tres veces por semana. De los agrega  
dos en planta y en obra se obtienen muestreos de  
cada semana.

### 3.2.9 Resistencia del concreto lanzado.

El concreto lanzado lo controlamos en cuanto a -  
la resistencia, una vez colocado, de la siguien-  
te manera:

| EDAD        | RESISTENCIA A LA COMPRESION<br>SIMPLE (MINIMA) |
|-------------|--|
| A 24 horas. | 110 kg/cm <sup>2</sup> .                       |
| A 3 días.   | 130 kg/cm <sup>2</sup> .                       |
| A 7 días.   | 150 kg/cm <sup>2</sup> .                       |
| A 28 días.  | 185 kg/cm <sup>2</sup> .                       |

### 3.3 Construcción de túneles.

Uno de los puntos más importantes dentro de la construc-  
ción de túneles es el tener terminadas todas las instala  
ciones exteriores e interiores en las lumbreras, para -  
así no entorpecer el ciclo de excavación y revestimiento  
primario.

Los túneles en suelos se pueden atacar de la siguiente -  
manera:

- a. Método de ataque a plena sección o método inglés.
- b. Método de la galería de clave o método belga.
- c. Método de las galerías (dos) o método austriaco.
- d. Método de las tres galerías o método alemán.

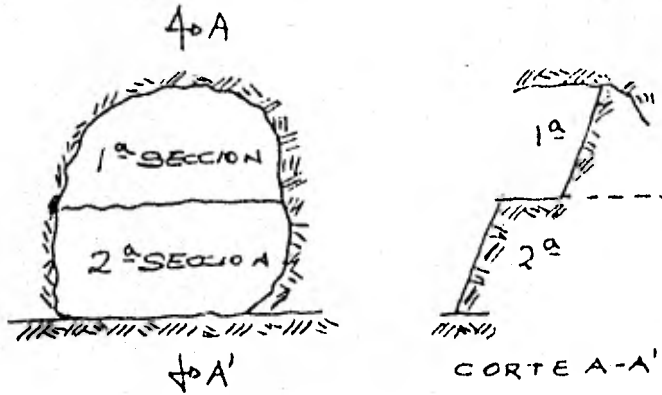
El método que se sigue en la construcción de la estación Miguel Angel de Quevedo es el que menciono posteriormente.

### 3.3.1 Excavación y revestimiento primario.

Como se mencionó en el capítulo II el primer túnel que se empezó a atacar fue el túnel de unión entre las 2 lumbreras.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

Primeramente me referiré a la excavación, ésta se realiza en 2 partes y en dos frentes de trabajo. El primer frente ataca 28 metros longitudinales, de poniente a oriente en dos secciones -- (partes), antes de iniciar cualquier excavación en forma, se realiza lo que llamamos emportalamiento y trabe de borde.



El emportalamiento se realiza empezando la excavación en la sección de túnel que previamente hemos dejado en la lumbrera, esta excavación para el emportalamiento la realizamos con pistolas neumáticas rompedoras hasta lograr en la primera sección (banqueo) 6 m. lineales de profundidad, previamente se coloca concreto lanzado de 2 m. en 2 m. de avance, como lo indica el punto anterior, con un espesor de 15 cm., con malla intermedia. Una vez excavados los 6 m. antes mencionados, en la primera sección, se procede a excavar la sección inferior en 2 m. de profundidad y lanzar concreto en estos 2 m. Esto se hace con el fin de tener la excavación a sección completa para poder construir la trabe de borde del emportalamiento, que es una estructura de soporte temporal del portal del túnel.

La trabe de borde es de 1 m. de espesor por 60 cm. de peralte. Una vez que se cuela la trabe procedemos a seguir excavando en la primera

sección hasta llegar a los 28 m. que son 10 m. - antes de llegar a la lumbrera oriente que para - ese entonces apenas se estaba construyendo. Para esta excavación utilizamos el siguiente equipo:

Máquina excavadora rózadora ALPINE para 22 m<sup>3</sup>/hr.

Martillos neumáticos rompedores.

Camiones de Volteo.

Tolva receptora en losa de la lumbrera.

Bote de manto.

Compresores.

Cargador frontal sobre orugas.

Y se excava de la siguiente manera:

Se excavan 2 m. lineales en toda la 1/2 sección - dejando unas cuñas de apoyo en los extremos inferiores del banqueo (que es la sección inferior) - con el fin de contener el peso de la clave y se lanzan 15 cm. de espesor de concreto, posteriormente colocamos mallalac de 6" x 6" y volvemos - a lanzar concreto con un espesor de 10 cm. para tener un revestimiento primario de 15 cm. de espesor. Una vez colocado el concreto lanzado en estos 2 m., volvemos a excavar 2 m. y lanzamos - estos 2 m. y así continuamos excavando hasta los 28 m. de longitud.

Al llegar a los 28 m. de longitud, ya se ha terminado la lumbrera oriente y se procede al emportalamiento de la misma forma que en la lumbrera poniente. Excavamos de oriente a poniente los 10 m. faltantes hasta unirnos con los 28 m. de longitud de poniente a oriente.

Una vez que unimos las lumbreras por este túnel a media sección, se colocan 6 aureolas (franjascirculares) de 5 anclas de fricción de 5 m. de profundidad en cada una de las aureolas, cada una de las aureolas se separa 1.50 m. una de la otra. Esto se hace en los dos emportalamientos del túnel de unión, del emportalamiento oriente se colocan hacia el poniente y del emportalamiento poniente se colocan hacia el oriente, esto se hace para evitar desprendimientos de terreno en la clave en esta zona.

Una vez colocadas estas anclas se procede a excavar toda la segunda sección (parte inferior) del túnel de unión. Esta excavación se realiza con el mismo procedimiento con el que se excava la primera media sección (parte superior).

Al mismo tiempo de estar excavando la sección inferior del túnel de unión, comenzamos a excavar el contratúnel poniente siguiendo el mismo método de emportalamiento antes mencionado así como la misma trabe de borde. En este túnel se colocan anclas iguales a las ya mencionadas, con la salvedad de que también colocamos anclas en el frente de este túnel una vez ya terminada su excavación, así como también en la clave en la misma zona del frente, debido a que nos encontramos con un lente de arena.

Al terminar de excavar y colocar el revestimiento primario, así como la colocación de las anclas de fricción, el contratúnel poniente, empezamos a excavar el túnel pasarela poniente, esta excavación la hicimos con la misma máquina - - ALPINE, con la diferencia de que la excavamos a sección completa. Una vez excavado este túnel pasarela comenzamos a atacar el túnel poniente para una vía hacia el norte y hacia el sur. Este túnel se excava con la máquina WESTFALTA que nos da un rendimiento teórico de 40 m<sup>3</sup>/horas - llevamos la excavación con el mismo sistema del túnel de unión, al norte hasta encontrar el túnel que viene de la estación, lo cual sucedió a los 60 m. de longitud de avance. Y hacia el sur hasta 8 m. antes del túnel de unión.

Esto lo realizamos para poder atacar el túnel -- de una vía desde el túnel de unión de sur a norte, debido a que es mucho más fácil entrar de un túnel grande a uno de menor sección, que de uno de sección menor a uno de mayor sección.

En el lugar en donde se cruzan dos túneles se coloca un encapillado a base de marcos de vigueta-IPR 8", así como un tupido de anclas de fricción para evitar desprendimientos en la clave de la unión de túneles. En este túnel de una vía, también colocamos marcos de acero, en la zona norte de esta excavación debido a un estrato de arena - en la clave del túnel, los colocamos en un tramo de 30 m. de longitud.

Este túnel de una vía también lo atacamos de norte a sur entrando por un túnel de unión.



Una vez que se revestió con concreto lanzado el túnel de una vía, se procede a excavar el túnel oriente para una vía desde el túnel de unión y al llegar a la zona del túnel pasarela oriente. Comenzamos la excavación de este túnel, éste método fue al contrario del utilizado del lado poniente debido a que nos dimos cuenta que es más fácil excavar un túnel de sección pequeña desde túnel de sección grande.

Desde el túnel de unión atacamos también el túnel oriente para una vía hacia el sur. Todas las excavaciones de los túneles oriente y poniente para una vía, los comenzamos a excavar hasta que tuvimos el revestimiento definitivo de 35 cm. de espesor, revestimiento que terminamos a tres semanas de haber excavado. Este revestimiento lo mencionaré en el siguiente punto (ver punto 3.3.2)

La excavación de los accesos es una excavación combinada, combinación de excavación a cielo abierto con excavación en túnel y excavación de suelos granulares con excavación en roca.

Esta excavación se realiza en los dos accesos de la siguiente manera:

Primeramente excavamos a cielo abierto en roca, igual al procedimiento utilizado en las lumbreras, y posteriormente atacamos el túnel que tiene una inclinación hacia la superficie desde los contratúneles.

## 3.3.2 Rendimientos.

En la excavación y el revestimiento se tienen -- los siguientes rendimientos promedio por frente de trabajo:

Excavación.

Máquina excavadora ALPINE.

En obra se tiene en promedio un avance por día - de 3.5 m. Se tomaron 2 horas para comida y descansos por turno.

Si la sección tiene 21.68 m<sup>2</sup>.

$$21.68 \text{ m}^2 \times 3.5 \text{ m.} = 75.88 \text{ m}^3.$$

$$75.88 \text{ m}^3 / 20 \text{ hrs} = 3.79 \text{ m}^3/\text{hrs.}$$

La máquina ALPINE nos da 22 m<sup>3</sup>/hr. en teoría -- contra 4 m<sup>3</sup>/hr. que nos da en obra.

Máquina excavadora WESTFALIA.

Tomando en túnel de sección de 8.64 m<sup>2</sup>. de diámetro.

Area de la sección 67.39 m<sup>2</sup>.

Avance diario de 4.5 m. de longitud.

$$67.39 \text{ m}^2 \times 4.5 \text{ m.} = 303.25 \text{ m}^3$$

$$303.25 \text{ m}^3 / 20 = 15.16 \text{ m}^3/\text{hr.}$$

Se obtuvo 15.16 m<sup>3</sup>/hr. contra 40 m<sup>3</sup>/hr. que da -

la WESTFALIA en teoría.

Viendo el ciclo de rezaga para el túnel de 8.64 m. con camión diésel de volteo de 7 m<sup>3</sup>. de capacidad. Tomando un recorrido de 5 minutos en 110 m. de longitud, tenemos:

1.4 factor de abundamiento.

$$303.25 \text{ m}^3 \times 1.4 = 424.55 \text{ m}^3$$

$$424.55 \text{ m}^3 / 7 \text{ m}^3 / \text{ camión} = 60 \text{ viajes.}$$

Tomando los 5 minutos de recorrido.

$$60 \times 5 = 300 \text{ minutos} = 5 \text{ horas.}$$

Por lo que se puede apreciar con este ciclo no se tienen problemas con la rezaga, ya que el tiempo es corto.

Concreto lanzado.

Si tomamos un volumen promedio de 8 m<sup>3</sup>/ml. en un túnel de 8.64 m. de  $\phi$ .

$$8 \text{ m}^3/\text{ml.} \times 4.5 \text{ ml.} = 36 \text{ m}^3.$$

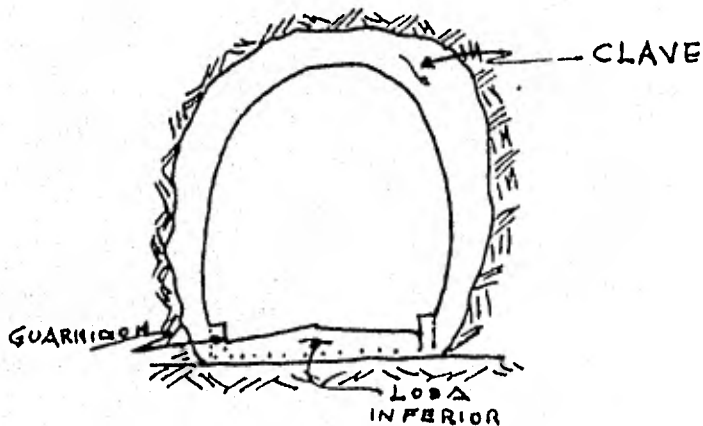
Tomando un rendimiento de 4.00 m<sup>3</sup>/hr. lanzado.

$$\text{Nos da } 36 \text{ m}^3 / 4 \text{ m}^3 / \text{ hr.} = 9 \text{ horas de lanzado.}$$

### 3.3.3 Revestimiento definitivo.

El revestimiento definitivo a base de concreto hidráulico armado lo hacemos en tres partes. es-

tas son: losa inferior, guarniciones y clave.



Para realizar este revestimiento utilizamos el -  
siguiente equipo:

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

Cimbra de 6.10 m. de longitud con carro transpor-  
tador.

Vibradores de inmersión y de contacto.

Tanque amortiguador receptor de concreto.

Es importante mencionar que el concreto que se -  
utiliza es maquilado y suministrado hasta la tol-  
va receptora instalada en la parte superior de -  
las lumbreras.

Todos los túneles a excepción del túnel de unión  
y de los contratúneles se revisten con concreto-  
hidráulico y con cimbra deslizante de diferente-

Todos los túneles van armados en las tres partes en que están revestidos.

El ciclo de revestimiento varia en cada tipo de túnel, si vemos los túneles separadamente el ciclo antes mencionado es:

Túnel Pasarela.- Aquí se cuela primeramente la losa inferior y las guarniciones para estas últimas poder apoyar la cimbra deslizante que esta apoyada en un carro transportador con espacio suficiente al centro para poder circular por debajo de esta cimbra, la cimbra deslizante esta compuesta por tres secciones, una en clave y dos laterales, las cuales son retraidas por gatos hidráulicos para descimbrar y asentar sobre el carro transportador, un cargador frontal efectúa el movimiento de translación hasta el sitio del siguiente colado (6 metros adelante). Al llegar a ese lugar, los gatos hidráulicos restituyen la posición de proyecto de la clave y laterales. Desde luego, línea y nivel para cada colado deben de ser controlados topograficamente.

La cimbra metálica lleva unas ventanas para ayudar a la colocación de concreto, así como su vibrado, con vibradores de inmersión de 2" de  $\phi$ , independientemente de vibradores de contacto localizados estrategicamente en la cimbra.

Como mencione anteriormente el concreto es descargado en un tanque amortiguador que a su vez descarga en una bomba de concreto que lo coloca en el frente de colado. Con este método se cuele la clave y laterales del túnel.

Túnel para una vía: El procedimiento de revestimiento es el mismo del túnel pasarela, con la única diferencia de que la losa inferior se cue-la al último o sea que se cue-la la guarnición, - posteriormente la clave y laterales y por último la losa inferior, esto es, con el fin de no entorpecer el ciclo de excavación y las demás actividades del túnel.

Túnel de Unión y Contratúnel: Este tipo de túnel se reviste con concreto lanzado armado en toda su clave y laterales debido a lo grande de su sección y a la imposibilidad de esperar a la fabricación de una cimbra de tales dimensiones. El ciclo es el siguiente: En cuanto se ha excavado y protegido con el revestimiento primario se procede a armar y lanzar concreto con 15 cm. de espesor. Este revestimiento se hace en dos partes, la primera parte se hace en la primera sección del túnel y es en donde se aprovecha la cuña de apoyo que previamente se deja en la excavación; - posteriormente excavamos la segunda sección y - aquí se arma el revestimiento ligandolo al armado de la primera sección. La losa de fondo es igual a la que se construye en los demás túneles.

La actividad posterior al revestimiento definitivo es la inyección de contacto entre concreto y terreno, se hacen barrenos de 2" de  $\phi$ , con boquillas para la inyección de la mezcla.

En la construcción de túneles es importante la instrumentación, en la estación Miguel Angel de Quevedo, se utilizan inclinómetros y deflexómetros, para medir las inclinaciones y convergen-

cias del túnel durante y después de su excavación para con esto poder dar soluciones a problemas de inestabilidad que se nos presenten.

### 3.3.4 Rendimiento de Revestimiento Definitivo.

Por frente de trabajo.

Se tienen 4.5 y 6.5 ml. en los dos tipos de sección.

Sección chica  $10.30 \text{ m}^3/\text{ml}$ .

Sección grande  $13.10 \text{ m}^3/\text{ml}$ .

$10.30 \times 4.5 = 46.20 \text{ m}^3$ .

$13.10 \times 6.5 = 78.80 \text{ m}^3$ .

Como se puede observar el rendimiento es bastante manejable en las dos secciones de túnel.

La bomba de concreto tiene un rendimiento de --  $90 \text{ m}^3/\text{hr}$ .

Si consideramos un rendimiento promedio de  $50 \text{ m}^3/\text{hr}$ .  $78.74 \text{ m}^3/\text{día} / 50 \text{ m}^3/\text{hr} = 1.57 \text{ hrs}$ .

Tardamos en el colado 1 hora con 40 minutos.

Movimiento de cimbra 1 hora.

Nivelación de cimbra 1.5 hora.

Tapón de madera 1.0 hora.

T o t a l 5.0 horas con 30 min.

### 3.3.5 Anclas de fricción.

Los métodos empleados para el ademe de excavaciones subterráneas a base de abundantes elementos de madera, empleados en las primeras épocas de la minería y tradicionalmente en los túneles europeos antiguos y los sistemas de soporte a base de elementos de acero que constituyen el método tradicional de los túneles norteamericanos, presentan importantes obstrucciones para los trabajos subsecuentes en el primer caso y un alto costo en el segundo. Además los lapsos requeridos para la instalación en ambos tipos de soporte son considerables.

La observación del funcionamiento de los anclajes colocados en excavaciones subterráneas, permitió el desarrollo de sistemas de soporte en los cuales las anclas tienen una participación fundamental, aún cuando es casi generalmente admitido, que el principal elemento para el soporte de la excavación es el suelo, y es reforzado con las anclas para permitir que se desarrolle un comportamiento uniforme y monolítico.

El uso de anclas para excavaciones subterráneas en México ha sido incluido en algunos proyectos hidroeléctricos importantes, y en grandes volúmenes, en las excavaciones del túnel para el emisor central del drenaje profundo de la Ciudad de México.

Las ventajas del uso de anclas como elementos constitutivos del ademe de excavaciones, quedan claramente señaladas con el caso que se presentó en el tramo entre las lumbreras 20 y 21 del Emi-



sor Central, en donde la ocurrencia de un desprendimiento en la clave en un tramo de túnel ya excavado y soportado a base de marcos de acero, formó una cavidad en la que, por lo menos, hubiese sido muy costoso el ademe a base de elementos exteriores de acero.

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 tienen sujetas dos mangueras de 12.7 mm. de  $\phi$ ; una de 50 cm. de largo por lo cual se efectúa la inyección y la otra de la longitud de la varilla más 25 cm. cuya función es avalar 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; en seguida se sella la boca del barreno cuidando que la barra quede al centro y se procede a efectuar la inyección de lechada hasta llegar a llenar completamente al hueco entre el barreno y el ancla.

#### 3.3.5.1 Mezcla a inyectar

a. Materiales.- La mezcla a inyectar consiste en una lechada formada con agua, cemen-

to de resistencia rápida y un aditivo que es fluidizante, retardante del fraguado inicial y estabilizador de volumen.

b. Proporcionamiento de la mezcla.- Para lograr la resistencia adecuada y fácil bombeo de la lechada, se usa una relación agua-cemento no mayor de 0.50 (25 litros de agua por sacco de cemento).

c. Inyección.- Para efectuar la inyección se emplea una bomba de propulsión o neumática que tiene un rendimiento tal que permite inyectar con economía y eficiencia el volumen de lechada que requieren las anclas que se instalan en el túnel. Se debe tener especial cuidado de que la inyección se realice a una presión no mayor de  $2 \text{ kg/m}^2$ . Es absolutamente necesario asegurarse que el espacio dentro del barrenado, entre el ancla y el terreno queda completamente llenado 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 barrenado por la lechada, abriendo un hueco junto a la manguera por la que inicialmente se inyecta la lechada, el cual sirve como registro y certificación del llenado del barrenado por la lechada sellándolo posteriormente a la certificación.

### 3.3.5.2 Resistencia del ancla.

Para poder establecer el diámetro, longitud -

y número de anclas que se requieren para estabilizar una excavación subterránea, es indispensable conocer la resistencia de estos elementos. El procedimiento que se utiliza para determinar la resistencia de las anclas, es el de aplicar una fuerza que tiende a extraer el ancla del sitio en que ha sido colada, con la llamada prueba de extracción. Esta prueba es representativa de las condiciones de trabajo a que se ve sujeta una ancla empotrada con expansor mecánico, pero no así de las condiciones de trabajo de una ancla rellena, sin embargo, para éstos casos constituye un índice útil de la resistencia que puede ser asignada a dichos elementos.

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 esta definida por la resistencia de la varilla.

### 3.3.5.3 Procedimiento para su colocación.

- a. Efectuar los barrenos del diámetro y longitud indicados en el patrón de anclajes requeridos.
- b. Insertar el ancla en el barreno, verificando con aire o con alambre acerado insertado en el tubo testigo que éste no se haya tapado.

c. Sellar la boca del barreno siguiendo el proceso descrito en el punto a.

d. Efectuar la inyección de lechada siguiendo el proceso antes descrito en el punto - - 3.5.1.

De lo visto en la estación Miguel Angel de Quevedo, puede concluirse de los resultados de pruebas de campo, la capacidad de trabajo de las anclas, usualmente establecido en  $2/3$  de los esfuerzos al límite elástico en la varilla puede lograrse sin dificultad si se emplean los materiales adecuados en la elaboración del relleno y éste se efectúa correctamente sobre todo en cuanto a la verificación del llenado del barreno.

#### IV. CONCLUSIONES.

Como parte fundamental de este trabajo puedo resumir que una conclusión respecto al mismo se ve reflejada en las ventajas que ofrece este método de construcción con respecto a los métodos convencionales de construcción de METRO, que son ya conocidos de:

- Procedimiento a cielo abierto.
- Procedimiento superficial.
- Procedimiento a nivel elevado.

Entre una de las principales ventajas esta el que la vialidad no se ve afectada por la construcción, por lo que no se le dan molestias a la ciudadanía al no hacer cierre de avenidas o vialidades importantes, por lo cual la ampliación de futuras líneas del transporte colectivo tienen una magnífica solución con este tipo de construcción.

Otro aspecto muy importante de este trabajo es la seguridad con la que construimos estos túneles, para la cual no se escatimo ningún aspecto referente a la seguridad de la obra y del personal que laboró en ella. Esto nos muestra otro aspecto muy importante para tomar este ejemplo de obra para futuras ampliaciones del METRO, que ya son inminentes para resolver el gran problema de transporte colectivo. Para lograr lo anterior doy las recomendaciones siguientes:

##### 1. Recomendaciones para el concreto lanzado.

Todas las economías de la construcción de los túneles están basadas en la disminución del tiempo del ciclo y en el incremento del avance del frente. El uso del concreto lanzado como soporte ofrece mayores ventajas sobre cualquier otro procedimiento convencional.

1.1 Para un buen lanzado de concreto se debe contar con estos puntos:

A. Aire comprimido.- En los trabajos de túnel se toma por lo general de la tubería principal. La presión debe ser constante y debe de contar con manómetros de fácil lectura instalados cerca de la lanzadora.

Cuando se tiene que colocar pernos de anclaje y simultáneamente hacer la excavación del frente con pistolas neumáticas, lo que obliga a utilizar una cantidad de aire comprimido mayor, para que el concreto lanzado no sufra de escasez de aire comprimido es muy recomendable instalar un tanque de almacenamiento que regule las demandas.

B. Agua.- La presión constante del agua suministrada es esencial para lograr una buena hidratación del concreto lanzado, por lo que es conveniente tener un manómetro cerca de la lanzadora para el control de la presión.

C. Electricidad.- El suministro de energía eléctrica se debe hacer con corriente trifásica y contar con transformadores de línea para mantener una misma tensión a lo largo de toda la excavación. Por el polvo que se genera con el concreto lanzado la visibilidad se ve reducida, por lo que es indispensable una buena iluminación.

D. Bombeo y Drenaje.- El mantenimiento de los drenes y cárcamos de bombeo debe de ser constante ya que el material de rebote fácilmente los azolva, llegan

do a bloquearlos, además de aumentar el desgaste de los impulsores de las bombas.

El concreto lanzado también se utiliza para estabilizar el frente de ataque en terrenos malos y una práctica muy recomendable es hacerlo sobre todo en los fines de semana.

## 1.2 Ventajas y desventajas del Concreto Lanzado.

Es ideal para la apertura inicial de un frente de ataque en túneles, para el recubrimiento de lumbreras, para galerías de bombeo, para avance con banqueo o a media sección, con plataformas adecuadas se hace más rápido y - - efectivo, evitando la desintegración de la clave, frente o paredes y caídos.

Reduce el costo, ya que reduce el tiempo de ademe reduce también el costo por mano de obra por la cantidad de personal requerida y por último, reduce dinero por material.

El recubrimiento que se puede dar al aplicarlo, permite dejar una sección uniforme.

Facilita los cambios de sección encapillado - Túnel, así como túnel - galería, etc.

Facilita el drenado en forma adecuada, se puede utilizar donde existe alto flujo de agua.

El espacio que necesita para su aplicación, es reducido y no obstruye el proceso de excavación de túnel.

No necesita moldes para su aplicación.

Ocupa poco personal.

Es rápido para su aplicación.

Logra cerrar la sección excavada lo más pronto posible y lo bastante cerca del frente que sea necesario, tanto en clave como en paredes.

Se puede ir ademando con lanzado conforme avanza la excavación.

En cambio, como desventajas tenemos las siguientes:

Lo simple y novedoso que resulta el método hace que se aplique sin respaldo en experiencias anteriores por lo cual a veces falla y hace que se le tema.

Considero que para su correcta aplicación se necesita como mínimo un año de experiencia diaria en diversas aplicaciones, tanto para los Ingenieros y Técnicos como para operadores y lanzadores.

## 2. Siempre y nunca en el manejo de explosivos.

Siempre obedezca las leyes y reglamentos federales, estatales y locales.

Siempre verifique que cualquier vehículo que se utilice para transportar explosivos éste en buenas condiciones de trabajo y equipado con un piso de madera o de metal que no produzca chispas. Todo el alambrado tiene que estar completamente aislado para evitar cortos circuitos, y se deben de tener dos extinguidores para controlar cualquier incendio que se presentara.

Nunca permitir fumar o que viajen en el vehículo personas sin



autorización o innecesarias.

Siempre cargue y descargue los explosivos cuidadosamente.

Nunca arroje los explosivos fuera del vehículo.

Siempre vea que los otros explosivos, incluyendo el cordón detonante, se encuentren separados de los fulminantes y de los estopines eléctricos en que se les permita el transporte en el mismo vehículo.

Durante el almacenamiento de los explosivos:

Siempre almacene los explosivos de acuerdo con las leyes y reglamentos federales, estatales o locales.

Nunca almacene fulminantes o estopines eléctricos en la misma caja o polvorín, junto con otros explosivos.

Nunca almacene ningún metal que produzca chispas en un polvorín de explosivos.

Durante el empleo de los explosivos:

Nunca utilice herramientas que produzcan chispas para abrir cunetas o cajas de madera con explosivos. Se pueden usar navajas metálicas para abrir cajas de cartón, siempre y cuando no entren en contacto con las grapas metálicas de las cajas.

Nunca coloque los explosivos en lugares en donde puedan quedar expuestos a la flama, calor excesivo, chispas o impacto.

Siempre reemplace o cierre la tapa de las cajas de los explosivos después de utilizarlos.

Nunca lleve los explosivos en las bolsas de la ropa o en alguna parte de las personas.

Nunca golpee, juegue o intente retirar o investigar el contenido de un fulminante o de un estopín eléctrico, ni intente jalar los alambres de un estopín.

Durante la barrenación y el cargado:

Siempre examine cuidadosamente la superficie o frente antes de la barrenación para determinar la presencia de explosivos sin disparar. Nunca barrene en los explosivos.

Siempre revise el barreno cuidadosamente con un atacador de madera o una cinta para determinar su condición antes del cargado.

Nunca almacene explosivos sobrantes cerca de área de trabajo durante el cargado.

Nunca fuerce explosivos al interior de un barreno o a través de una obstrucción dentro del barreno. Esta practica es particularmente peligrosa en barrenos secos y cuando la carga esta cebada.

Durante el disparo eléctrico:

Siempre conserve el circuito de disparo completamente aislado de tierra o de otros conductores como alambres desnudos, rieles, tubería u otras trayectorias para las corrientes erráticas.

Nunca tenga alambres eléctricos o cables de cualquier clase cerca de los estopines eléctricos o de otros explosivos excepto durante el movimiento y para el fin de disparar una voladura.

Siempre revisar todos los estopines eléctricos, ya sea uno por uno, o cuando estan conectados en un circuito en serie utilizando sólo un galvanometro de voladuras.

Siempre conserve los alambres de los estopines o de las líneas-de guía, desconectados de la fuente de energía y en cortocircui-to hasta que estén listos para dispararse.

### 3. Ventilación.

En todas las obras subterráneas se mantiene una circulación de aire puro, suficiente para el número de operarios que en ella - labora.

El abastecimiento de aire puro es suficiente para evitar acumu-laciones peligrosas o perjudiciales de polvo, humo, vapores o - gases. Este volumen no es menor de  $5.7 \text{ m}^3/\text{min.}$ , para cada tra-bajador. La velocidad lineal del flujo de aire en el túnel es-de un mínimo de  $9 \text{ m/min.}$  Esta velocidad es óptima para las - operaciones que se realizan en el túnel.

Los gases tóxicos contenidos en el túnel no deben de exceder - de:

|                     |       |   |
|---------------------|-------|---|
| BIOXIDO DE CARBONO  | 0.50  | % |
| MONOXIDO DE CARBONO | 0.01  | % |
| BIOXIDO DE AZUFRE   | 0.10  | % |
| ALDEHIDOS           | 0.001 | % |

Siempre que la ventilación natural no es suficiente para sumi-nistrar la cantidad de aire indicada anteriormente se hace uso-de ventiladores.

La ventilación se dispone de tal forma que se puede invertir la dirección del flujo, en caso de incendio u otra emergencia.

La temperatura en el interior del túnel se mantiene entre los - 15°C y 37° C y la humedad entre 20% y el 95%.

No se permite al personal excepto en emergencias, trabajar en - un sitio en el que el contenido de oxígeno en el aire es de me- nos de 19.5% en volumen (seco).

#### 4. Seguridad.

Las condiciones de seguridad y salud son siempre importantes en cualquier trabajo de túneles. El proceso de lanzado de concre- to involucra muchos peligros para los operadores y para el per- sonal que trabaja en las cercanías. El uso de aditivos en pol- vo y el proceso de mezcla seca incrementa el polvo y los proble- mas químicos y con el proceso de mezcla seca se generan corrien- tes de electricidad estática en las mangueras y el chiflón que- puede generar un chispazo eléctrico provocando una explosión - con los gases existentes.

Es esencial proveer al personal de equipo adecuado de protec- ción perfectamente sellado para evitar problemas físicos que se aumentan por el polvo, por el rebote del material y problemas - químicos que resultan del manejo de materiales causticos. Un - respirador perfectamente ajustado es obligatorio para el opera- dor. Anteojos, caretas, bolsas de hule son indispensables y es también recomendable proteger la piel que este expuesta con cre- mas a base de silicones evitando así quemaduras o irritaciones.

El problema del polvo generado por el lanzado de concreto crea- un ambiente peor que el de un túnel perforado en roca. Irrita- ciones ligeras de la piel que pueden degenerar en dermatitis in- dustrial, pueden presentarse, así como enfermedades oculares - permanentes si no se toman las precauciones para evitarlo.

## BIBLIOGRAFIA.

La investigación para esta tesis fue directa en los siguientes lugares y con las siguientes personas.

1. ISTME.- Ing. Luis Bernardo Rodríguez, Sección de Mecánica de suelos.
2. GOSISTEMAS.- Ing. Javier Bello Maldonado.
3. TUSA (Túnel, S.A.).- Ing. Javier Rodríguez Z.

## LIBROS.

1. MECANICA DE SUELOS, Tomo II, Juárez Badillo, Rico Rodríguez, Ed. Limusa, México, 1978.
2. MECANICA DE SUELOS, Tomo III, Juárez Badillo, Rico Rodríguez, Ed Limusa, México, 1980.
3. RABCEWICZ PROLV. THE "New Austrian Tunneling Method" Water Bower - - Nov. - Dec., 1974 January 1975.
4. THE STORY OF TUNNELS.- Archibald Black.- Mc Graw Hill Book Company, Inc. y Chittlesey House.- New York, 1937.