

23  
24



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ARAGON"

"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL, DE  
LA LINEA 7-SUR COMPRENDIDO ENTRE LAS  
ESTACIONES SAN ANGEL-ESTADIO OLIMPICO"

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
JOSE ALDO RODRIGUEZ VALDEZ

**FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# I N D I C E

## INTRODUCCION.

CAPITULO		Pag.
I	ANTECEDENTES GENERALES.	
I.1	Antecedentes del Transporte en la Ciudad de México .	1
I.2	Primera Etapa del Metro .	3
I.3	Plan Maestro del Metro .	5
I.4	Actualización del Plan Maestro .	8
I.5	Selección del Tipo de Línea .	9
I.6	Alternativas en el Túnel Profundo.	11
II	EXPLORACION GEOTECNICA.	
II.1	Estratigrafía y Zonificación del área Urbana .	13
II.2	Exploración Geológica .	16
II.3	Exploración y Muestreo en Suelos .	20
II.4	Exploración de Caracter Preliminar.	27
II.5	Metodos de Sondeos Definitivos .	31
II.6	Propiedades y Características Geotécnicas de la Línea de Trazo del Túnel .	36
III	CARACTERISTICAS GENERALES DEL TUNEL .	
III.1	Estado Natural de Esfuerzos .	41
III.2	Cambio de Esfuerzos Producidos por la Construcción .	43
III.3	Estado de Esfuerzos Alrededor de Cavidades .	43
III.4	Análisis de Cargas Sobre Ademes .	44
III.5	Selección del Ademe más Adecuado .	45

CAPITULO		Pag.
IV	LUMBRERA .	
IV.1	Aspectos Fundamentales y Características de una Lumbraera .	48
IV.2	Análisis de Estabilidad que Aloja la Lumbraera .	54
IV.3	Procedimiento Constructivo de la Lumbraera .	57
IV.4	Construcción del Brocal .	59
IV.5	Excavación y Colocación del Revestimiento Primario .	59
IV.6	Construcción del Revestimiento Definitivo .	64
CAPITULO	V	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL.
V.1	Procedimiento Constructivo del Túnel.	75
V.2	Revestimiento del Túnel .	76
V.3	Características Generales del Escudo	76
V.4	Arranque Inicial del Escudo .	81
V.5	Avance del Escudo .	87
V.6	Procedimiento Para la Colocación de los Anillos .	92
V.7	Rezaga del Material	94
V.8	Inyección para Reducir los Asentamientos Superficiales .	94
V.9	Inyección de Primera Fase .	95
V.10	Metodo Austriaco .	101
V.11	Concreto Lanzado .	115
CAPITULO	VI	INSTRUMENTACION .
VI.1	Objetivo de la Instrumentación .	131
VI.2	Localización de las Secciones de Instrumentación .	132

VI.3	Equipo a Instalar y Movimientos que se Presentan en las Secciones de Instrumentación .	Pag. 135
VI.4	Movimientos Convergentes y Divergentes del Suelo Hacia la Excavación del Túnel.	136
VI.5	Hundimiento del Suelo .	139
VI.6	Condiciones para Tomar Lecturas .	143
VI.7	Instalación, Observaciones e Interpretación de las Mediciones .	148
VI.8	Presentación de los Resultados de la Toma de Lecturas .	149
VI.9	Instalaciones en Obra .	152
VI.10	Instalaciones Generales de Superficie.	154
VI.11	Instalaciones en el Túnel .	156
CAPITULO	VII CONCLUSIONES .	
	VII.1 Comentarios y Reflexiones .	158
	VII.2 Bibliografía .	161

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

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

La necesidad imperiosa de dar nuevas soluciones al Desarrollo Urbano , hace que la Ingeniería revolucione, necesidad que dá origen a nuevos planteamientos en el Sistema de Transporte, - para el mejoramiento de la Infraestructura Urbana .

Se escoge el Ferrocarril Metropolitano " METRO ", por ser -- una de las mejores soluciones al problema del crecimiento de la Ciudad, Tomando cuenta que constantemente se plantéan nuevas líneas y/o crecimiento de las existentes .

El diseño constructivo de una ampliación con Estaciones -- será el punto principal a resolver, disponiendo en éste trabajo del Procedimiento Constructivo empleado hasta el momento en el Tramo de la Estación San Angel a la Estación Estadio Olimpico de la Línea 7- Sur , que actualmente se encuentra en Constru-- ción, según fechas a la elaboración de éste Trabajo de Tesis .

CAPITULO I



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

## I

### I.1 ANTECEDENTES DEL TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE MEXICO

El periodo comprendido entre 1950 y 1964 , es seguramente el más importante de la época post-revolucionaria en la ciudad de México .

El crecimiento demográfico adquirió considerables proporciones alcanzando una tasa media de incremento superior al 5% anual .

La población del Distrito Federal que en 1950 era de 3'100,000 hab., llegó en 1960 a 5 240,000 y a más de 6'000,000 en 1964, es decir, se duplico en 14 años, mientras que el área urbana aumento de 200 a 320 Km<sup>2</sup> en el mismo período .

El número de vehículos automotores creció de 130,000 en 1950 hasta 450,000 afines de 1964, es decir, tres y media veces. Tal cantidad de vehículos circulando en arterias insuficientes tenía que provocar necesariamente serios congestionamientos de tránsito .

Para solucionar el problema, las autoridades decidieron llevar acabo la construcción de las siguientes vías rapidas de circulación continua de alta velocidad, destinadas principalmente a los automoviles : El Viaducto Miguel Alemán, Anillo - Periférico y la Calzada de Tlalpan .

La Democratización del transporte se alejaba, por lo que ninguna de estas obras sería para transporte masivo de pasajeros .

Sin embargo, el hecho de alojar en el centro de la calzada de Tlalpan un derecho de vía para tranvías, fué una innovación que marco el primer paso dado en la ciudad hacia el transporte colectivo .

En 1965 la Ciudad de México, se mostraba como una gran urbe de trazo anárquico, resultado del crecimiento no controlado que originalmente tuvieron en el centro de la ciudad y los pueblos vecinos, los desarrollos urbanos a los lados de las primeras calzadas, y las arterias construidas durante la colonia .

Ante ésta situación y dentro de una planeación racional se vio la conveniencia de construir un sistema rápido de transporte colectivo en vía libre, conocido mundialmente como Ferrocarril Metropolitano o Metro , para que constituyera la columna vertebral de un sistema integral de transporte .

## I.2 PRIMERA ETAPA DEL METRO .

En 1965, partiendo de estudios iniciados en 1958, "Ingenieros Civiles Asociados", se comprometió a colaborar con las autoridades en la solución del problema de transporte para la capital de la República . Como parte de un trabajo que se denominó " Estudios de vías rápidas para la Ciudad de México " , se llevó acabo una recopilación de la experiencia acumulada en los 33 - sistemas que se encontraron en operación en otros países .

La investigación permitió obtener una amplia información acerca de los equipos rodantes y sus instalaciones especiales de los procedimientos constructivos y sus costos, las ventajas y - desventajas de construcciones : Elevadas, Superficiales, Subterranas o Mixtas y las especificaciones de trazo de un ferrocarril urbano .

Además todas aquellas inovaciones tecnológicas que pudieran tener aplicación en la Ciudad de México .

Una vez resuelto los aspectos de factibilidad económica y financiera , se procede a estudiar el trazo más conveniente, el cual quedó como sigue :

LINEA 1  
De la glorieta de Chapultepec y Tacubaya hasta el cruce de Calzada Zaragoza y Bulevar Aeropuerto ( 9.10 Km ).

LINEA 2  
Del Panteón Santorum a Tlaxcoaque ( 10.70 Km ).

LINEA 3  
De la Villa a la glorieta de Etiopía ( 11.4 Km ).

El 19 de Junio de 1967 se iniciaron las obras del Metro de la Ciudad de México, con las primeras 3 líneas y se abrió así un nuevo capítulo en la historia del desarrollo urbano de la capital de la República Mexicana .

El 20 de Noviembre de 1970 fueron entregadas a la ciudad de México las tres líneas del Sistema de Transporte Colectivo con ( 31.200 Km. ) que constituye la primera etapa de este medio de transporte en nuestro país .

### 1.3 PLAN MAESTRO DEL METRO .

El Plan Maestro del Metro, como parte del Plan Rector de Vialidad y Transporte, viene a constituir lo que se ha llamado la columna vertebral del Sistema de Transporte Colectivo en la Ciudad de México .

Este importante documento indica las metas de movilidad - que deberán ser cubiertas con el Metro en los diferentes horizontes de proyecto, así como las aplicaciones mas adecuadas -- del servicio, acordes con la política de desarrollo urbano y - las posibilidades de ejecución .

La importancia e implantación del Plan Maestro del Metro, tiene los siguientes objetivos :

- A.- Definir las reservas territoriales, destinadas a las edificaciones necesarias para una adecuada operación del sistema y preservar los derechos de vía .
- B.- Definir una política de ampliación de la red que induzca a la utilización del transporte masivo .
- C.- Proporcionar la restauración urbana y el ordenamiento del - uso del suelo .
- D.- Disminuir la contaminación ambiental .
- E.- Crear mas opciones de traslado a los centros de trabajo .
- F.- Impulsar el desarrollo de la tecnología y de la industria nacional relacionados con la operación del sistema a fin de sustituir importaciones y generar empleos .
- G.- Elaborar una Planeación Económica y Financiera que equilibre la operación y administración del sistema .

Como se puede apreciar , el propósito del Plan Maestro del Metro, es tener una base de ordenaciones del área urbana ,que - sea el punto de partida del desarrollo ininterumpido que resuelva por una parte el problema de transportación actual y que por otra planté acciones a mediano y largo plazo .

El Plan Maestro del Metro surgió con la necesidad de continuar con la ampliación de la red del Metro de la Ciudad de México , en 1977 . Apartir de ese momento se han generado las siguientes etapas de construcción .

#### SEGUNDA ETAPA .

Comprende 44.6 Km. de longitud que incluye la ampliación de la línea 3 en sus dos extremos : De Tlatelolco a Indios Verdes, al norte con Hospital General a la estación Zapata ., La línea 4 ; de Martín Carrera a Santa Anita,La línea 5; del Instituto del - Petróleo a Pantitlán y la línea 6 ; que va de la estación del - Rosario al Instituto del Petróleo .

#### TERCERA ETAPA .

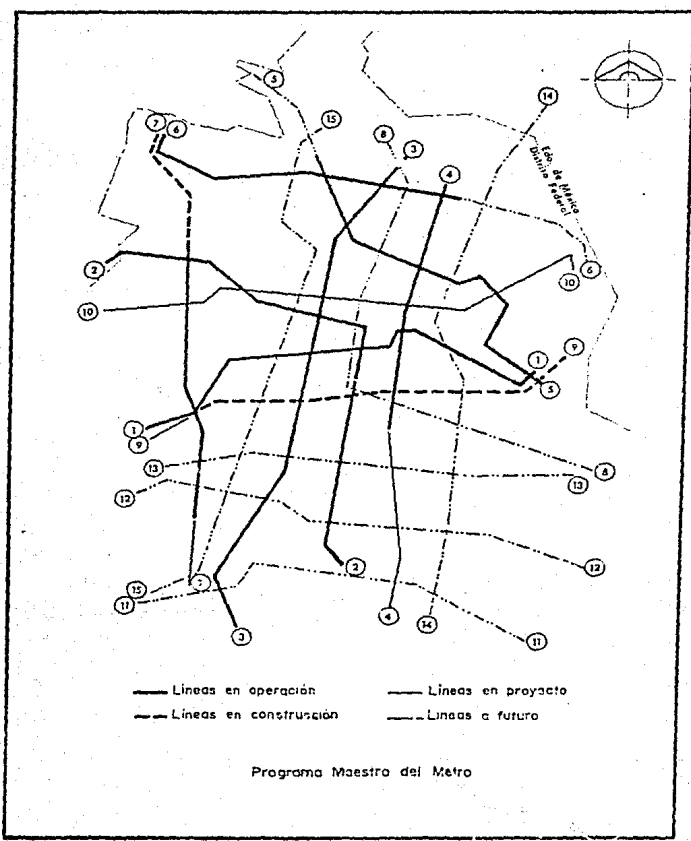
Comprende 25.4 Km. de longitud y se integra con la línea 7 ; de Tacuba a Barranca del Muerto. Las ampliaciones de las líneas 1,2 y 3 de Zaragoza a Pantitlán , de Tacuba a Cuatro Caminos y de Zapata a Ciudad Universitaria , respectivamente, así como la prolongación de la línea 5 ; del Instituto del Petróleo a Politécnico .

#### CUARTA ETAPA .

Comprende 27.3 Km . de longitud, está integrada por la ampliación norte de la línea 7; de Tacuba a el Rosario, la ampliación oriente de la línea 6; de Instituto del Petróleo a Martín Carrera y la línea 9; de Pantitlán a Observatorio .

En la elaboración de esta tesis, comprende el desarrollo y procedimiento constructivo de la ampliación de la línea 7 Sur , Ubicandonos en lo particular en la ultima estación en servicio, siendo ésta la Estación Barranca del Muerto, partiendo de inicio para la ampliación respectiva de 2 estaciones más, que actualmente están en construcción .

Estas a su vez se planeáron respectivamente con estudios técnicos y topográficos que conciernen a la Ingeniería Civil . La línea a proyectar con respecto al desarrollo de este trabajo serán de la estación San Angel a la estación Estadio Olimpico .



Programa Maestro del Metro



#### I.4 ACTUALIZACION DEL PLAN MAESTRO .

Corresponde a la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano ( COVITUR ), elaborar y mantener actualizado el Plan Maestro - del Metro .

En 1978 , el Plan Maestro del Metro previó para el año 2000 , una red con 378 Km. de longitud en la que operarían 807 trenes en 21 líneas, teniendo una capacidad de transportación de 24 - millones de pasajeros al día .

Posteriormente en 1980 , se formuló la versión siguiente del - Plan Maestro, que contempló para fines del siglo una red de -- 444.09 Km. que requerirá de 882 trenes y estaría en posibilidad de transportar 26.33 millones de usuarios diariamente .

Tomando en cuenta que la última revisión de este documento fue en 1982 , se consideró conveniente revisarlo con nueva información, lo cual se inició a partir de abril de 1984 .

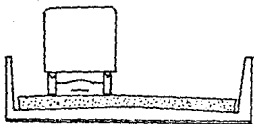
## I.5 SELECCION DEL TIPO DE LINEA .

La Red actual del Sistema de Transporte Colectivo Metro , está construida por estructuras de tipo subterráneo , túnel , superficial y elevado . ( FIG: I.I ).

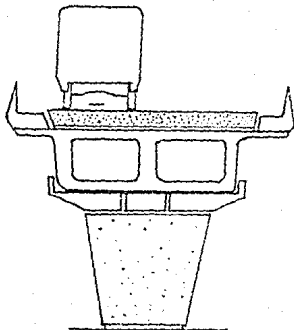
Cualquiera que sea la elección, siempre ha de procurarse que el tipo de línea se integre totalmente al contexto urbano de la Ciudad .

Podemos afirmar que desde la etapa de planeación se visualiza el tipo de línea que se empleará , ya que simultáneamente el proceso de seleccionar el recorrido de una línea del Metro se inicia en el análisis preliminar de factibilidad física, es decir, el estudio de las interferencias con redes de agua potable , alcantarillado , electricidad , gas , teléfono y ductos de petróleo .

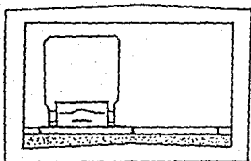
Se toman en cuenta también las pendientes del terreno , condiciones del suelo , altura topográfica y tipo de las construcciones aledañas a la línea de trazo proyectadas para éste fin.



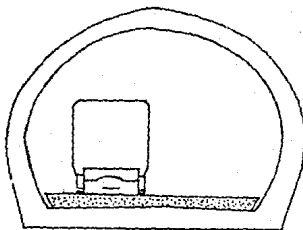
Solución Superficial



Solución Elevada



Solución en Cajón Subterráneo



Solucida en Tđnel

TIPO DE LINEAS EXISTENTES

FIG: I.I

## I.6 ALTERNATIVAS EN EL TUNEL PROFUNDO .

Las líneas en el túnel profundo resultan de la necesidad de evitar fuertes desvíos de tránsito, es decir, cuando el trazo se localiza sobre avenidas importantes de alta densidad vehicular .

A pesar de las inversiones económicas que son muy altas, se tiene una serie de condiciones ventajosas : No existe restricción respecto a la amplitud de las vialidades, no existen interferencias con instalaciones municipales y las molestias ocasionadas al público y al tránsito son mínimas .

Esta alternativa presenta rendimientos del orden del 90 al 100 % por mes .

Respecto al Costo de la Obra Civil de las líneas citadas, y en forma general el más alto corresponde a la línea en túnel profundo, en tanto que los costos intermedios los poseen las líneas en Cajón Subterráneo y Elevado, en ese orden y el más bajo -- corresponde a la línea Superficial .

Como se puede observar el costo y el proceso constructivo -- del túnel profundo, contribuye a hacer, el que integra mayor -- Técnica Ingenieril desde el punto de vista de Proyecto e Estudios Preliminares, como en su construcción, desde luego captando -- mayores egresos de capital para su realización .

El Objetivo primordial es presentar en detalle el proceso constructivo en túnel profundo del Sistema de Transporte Colectivo " METRO " iniciando desde los estudios característicos de Geotecnia , obras complementarias ( Lumbreras ), Instrumentación y dando énfasis a las etapas propias del Procedimiento -- Constructivo de Túneles. , Implicando algunos aspectos Arquitectónicos Urbanísticos y estructurales para la seguridad de los mismos usuarios .

Comprendido el tramo de la Línea 7-Sur de la Estación San -- Ángel al Estadio Olímpico , esperando que pueda contribuir las experiencias de este tipo de obras a los futuros profesionales de Ingeniería Civil .

CAPITULO II

## II . EXPLORACION GEOTECNICA .

### II.1 ESTRATIGRAFIA Y ZONIFICACION DEL AREA URBANA .

Mediante exploraciones recientes, efectuadas en su mayoría con objeto de estudiar la estratigrafía de la Ciudad de México, se ha logrado una información bastante precisa de las características estratigráficas y mecánicas que presentan el sub-suelo en el área urbana . Con estos datos, se ha zonificado atendiendo principalmente a las propiedades de los materiales que se -- encontraron en sondeos perforados a una profundidad de 50 y -- hasta de mas de 100 mts.

Parte de la Ciudad está asentada en las faldas de la serranía de las Cruces, formadas por terrenos compactos, arenoso -- limoso con alto contenido de gravas unas veces y otras, por tobas pumíticas bien cementadas; al sur, la urbe invade el derrame basáltico del Pedregal. Esta zona que por su altitud relativa se denominara las Lomas , presenta generalmente condiciones favorables para cimentar estructuras; la capacidad del terreno es elevada y no existe capas de arcilla compresibles de gran -- magnitud .

Sin embargo, debido a la explotación de minas de arena y grava muchos predios están cruzados por galerías, a diferentes profundidades, las cuales suelen tener un desarrollo muy caprichoso . La localización de dichas galerías puede resultar difícil por -- que muchas de ellas, a causa de derrumbes, están rellenas con -- material arenoso suelto .

En este caso se debiera realizar exploraciones para determinar la existencia de cavernas bajo la cimentación de una estructura concluyendose que el terreno sea adecuado para desplantarse en dicha zona .

Entre las serranías del poniente y el fondo del lago de -- Texcoco, se presenta una zona de transición, en donde las condiciones estratigráficas del sub-suelo varían en forma extraordinaria de un punto a otro del área urbanizada. En general, se tienen superficialmente los depósitos arcillosos o limosos -- orgánicos de la formación Becerra, cubriendo a estratos de -- arcilla volcánica muy compresibles y espesores variables, intercalados con capas de arena limosa compacta o arena limpia, los cuales descansan sobre potentes mantos en los que el material predominante es la grava y arena.

Las fronteras interiores de la zona de transición, se han fijado tomando como base la formación típica de la parte centro y oriente de la Ciudad, construida sobre el fondo del lago de Texcoco, que para distinguirla de las anteriores, se llamará zona del Lago. Un sondeo en ella, exhibe los siguientes -- estratos principales, descritos a partir de la superficie del terreno :

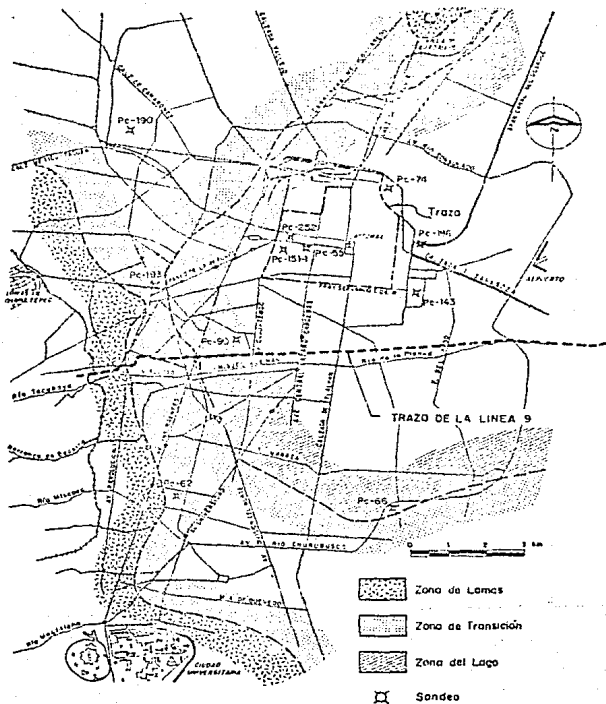
- 1.- Depósitos areno-arcilloso o limoso, con abundancia de restos arqueológicos o bien rellenos artificiales que en algunos puntos de la Ciudad llegan hasta 10 mts. de profundidad .
- 2.- Arcilla volcánica extraordinariamente compresible, de varios colores y consistencias comprendidas entre blanda y media, intercaladas con pequeñas capas o lentes de arena, su potencial total oscila entre 15 a 32 mts .
- 3.- La primera capa dura, de unos 3 mts. de espesor, constituida por suelos arcillosos o limo-arenoso, compactos y rígidos, se encuentran a 33 mts. bajo la superficie aproximadamente .



La Zona del Lago, es considerada muy compresible puesto - que sus capas superficiales son producto de rellenos ya que - anteriormente está zona era ocupada por grandes extensiones - de lagos, comunmente conocida hasta la actualidad como el Lago de Texcoco .

Básicamente la zona consta de suelos arcillosos muy com-- presibles con intercalaciones de arena en pequeñas capas ó - lentes de arena , esta zona hablando constructivamente a sido la más problemática en cuestion a sus cimentaciones, puesto - que se presentan asentamientos inmediatos en ellas.

La Capacidad de carga obtenida de diversas pruebas tanto de material alterado e inalterado, nos dan valores que oscilan entre 0.5 a 1.0 ton/m<sup>2</sup> sroximadamente. observandose que es muy baja su resistencia a comparación de las zonas de las - Lomas .



Zonificación estratigráfica  
de la Ciudad de México

## II.2 EXPLORACION GEOLOGICA .

La primera labor a realizár dentro de un proyecto de construcción de un túnel, consiste en realizar el estudio geológico del terreno, con la finalidad de determinar la constitución, — propiedades y características del sub-suelo.

Tal es el caso que se presentará la máxima atención a las zonas en que se presentan accidentes geológicos, como fallas y regiones de dislocaciones que corresponden a las rocas fisuradas, se intentará prever las zonas que puedan producirse afloramientos de agua subterránea o mantos colgados, así como las que corresponden a terrenos de alta compresibilidad que exigen métodos de ejecución sofisticados para la construcción de determinadas — obras .

A veces, basta un estudio geológico serio para rechazar o — modificar el trazo del proyecto, puesto que las condiciones — existentes de la zona, determinan la inseguridad del lugar, por su baja resistencia, existencia de cavernas subterráneas o — rocas muy fracturadas e inestables, que harían muy costoso la realización de la construcción en dicha zona .

## II.2.1 EXPLORACION SUPERFICIAL .

La Exploración Superficial debe tomar en cuenta las necesidades planteadas y métodos para realizarla, además deberán examinarse a lograr las respuestas a las interrogantes generadas, por lo que se hace necesario relacionar las técnicas de Exploración Superficial con la exploración y muestreo mediante excavaciones .

Sin embargo, se describe el estado actual de conocimientos en cuanto a las técnicas para la determinación de características, componentes y propiedades de las masas rocosas que pueden observarse en la superficie terrestre, si bien no podrá ignorarse -- que muchas veces este tipo de exploración ha de realizarse en partes de la masa de roca descubierta ya sea por una excavación o bien en aquellas partes en las que se presenta una exposición definida de su construcción a causa de un fenómeno geológico anterior . En particular, la función elemental de la Exploración Superficial, se reduce a la identificación de los aspectos geológicos generales, además de definir las masas de roca de diferentes tipos que se presentan a lo largo de la línea del proyecto .

Las propiedades de las masas rocosas se definen en base a las discontinuidades que ésta presenta y será determinadas mediante pruebas de campo .

La extensión y alcance de la exploración superficial define el panorama geológico general de la región que se verá afectada por la obra, identificándose así la ubicación de fallas en la masa rocosa, diques, contactos litológicos y demás aspectos que permiten señalar de manera general las formaciones geológicas .

La Exploración Superficial, se ve limitada por el grado de exposiciones que presentan los fenómenos geológicos en la zona de interés como son : El grado de intemperismo a que haya estado sujetos, la accesibilidad a la zona que requiere ser explorada , y el número, ubicación, extensión de los sitios en que esté expuesta la masa rocosa con todos los detalles que se requiere observar, para definir las características geométricas-mecánicas y en el mejor de los casos, llevar a cabo las pruebas de campo, que mencionaremos algunos de ellos a continuación .

## II.2.2 CARACTERISTICAS GEOMETRICO - MECANICAS DE LAS DISCONTINUIDADES .

Existen muchas características de suma importancia, pero sólo se mencionarán aquellas que ayuden a determinar el comportamiento mecánico de la masa rocosa, entre ellas se tienen las siguientes :

### ORIENTACION .

Señalada por el echo o inclinación de la máxima pendiente en la discontinuidad .

### PERSISTENCIA .

Señala cuantitativamente la extensión del área o longitud en que se presenta la discontinuidad .

### RUGOSIDAD .

Se refiere al aspecto de la superficie en la que tiene lugar la discontinuidad, con relación al plano medio o superficie regular.

### ABERTURA .

Distancia media perpendicular entre las dos paredes de la masa rocosa .

### RELLENO .

Material que se encuentra entre las dos partes de una masa rocosa , separadas por una discontinuidad y que usualmente es más débil que la roca .

### FILTRACION .

Flujo de agua o humedad visible en las discontinuidades de la masa rocosa .

## II.3 EXPLORACION Y MUESTREO EN SUELOS .

Para llevar a cabo la etapa de proyecto, como la ejecución de la obra, es necesario obtener sondeos o métodos exploratorios definitivos, para que el proyectista adquiera una concepción razonable y exacta de las propiedades físicas del suelo , que haya de ser consideradas en sus análisis matemáticos . En realidad es en el laboratorio de mecánica de suelos en donde el proyectista a de obtener los datos definitivos para su trabajo , primero, al realizar las pruebas de clasificación ubicandq se en la forma correcta en la naturaleza del problema que se le presente y con la cual podrá decidir., como segunda fase de un trabajo, las pruebas más adecuadas que se requiere en particular son los preliminares y por supuesto los métodos de sondeo -- definitivos .

Exploración y Muestreo en  
Suelos .

- Método Geofísico .
- Sondeos Exploratorios o de  
Carater Preliminar .
- Métodos de Sondeos Definitivos.

### II.3.1 EXPLORACION GEOPISICA .

Este tipo de exploración se realizan con el fin de determinar las variaciones en las características físicas de los diferentes estratos del sub-suelo. Los métodos son rápidos y sencillos, pero presentan la gran desventaja de no proporcionar la suficiente información para poder tomar decisiones definitivas para el proyecto . Este tipo de exploración se realiza fundamentalmente en masas rocosas con alta fracturación y zonas en las que el éxito de recuperación de muestreos son casi nulos .

Este tipo de método, está dentro de la clasificación de muestreo indirecto. A continuación se mencionan algunos de los métodos más utilizados dentro de la exploración geotecnofísica .

#### METODO SISMICO .

Este método se basa en la velocidad de propagación de ondas vibratorias de tipo sísmico, al recorrer estas las diferentes masas del suelo explorado, observandose que en base a la experiencia, que la velocidad de propagación de onda varía entre 150 y 2500 M/Seg. en suelos; correspondiendo los mayores valores a mantos de grava muy compacta y los menores a arenas sueltas, los suelos arcillosos , tienen valores medios, en la roca sana los valores varían entre 2000 y 8000 M/Seg.

La realización del método, se lleva a cabo , provocando una explosión en un punto determinado de la zona de interés, utilizando una pequeña carga explosiva . En la zona a explorar , se sitúan registradores de onda ( geófonos ), separados entre sí -



de 15 a 30 mts., la función de los geófonos es captar la vibración que se trasmite amplificada a un osilógrafo central en el cual , se registrarán las ondas que llegan a cada geófono. Suponiendo una masa de suelo homogéneo que se encuentra sobre un manto rocoso se observará, que unas ondas llegan a los geófonos viajando a través del suelo a una velocidad  $V_1$  , otras ondas - llegan después de cruzar oblicuamente dicho suelo . Existe un ángulo crítico de incidencia respecto a la frontera con dicho manto rocoso que hace que las ondas ni se reflejen ni se refracten hacia adentro de la roca, sino que las hace viajar paralelamente a dicha frontera con una velocidad  $V_2$  , hasta ser recogidas por geófonos después de sufrir nuevas refracciones para transmitir las al osilógrafo . El ángulo crítico que depende de la naturaleza del suelo y de la roca , proporciona el tiempo - de recorrido de una onda refractada . ( Fig: II.3a ).

Puede construirse una gráfica en el cual se relaciona tiempo y distancia entre el geófono y el punto de detonación , de la cual se puede determinar las velocidades  $V_1$  y  $V_2$  , ( pendientes de la curva ). Fig: II.3b .

En los geófonos próximos al punto de perturbación, las ondas directas llegan antes y en los alejados , llegan primero las ondas refractadas, existiendo un punto en la frontera en el que dos tipos de onda llegan a la vez ( Punto 3 de la figura II.3b ).

Dibujando los instantes en que el geófono recibe la primera extracción en función del alejamiento del geófono se tienen dos rectas , en que para la primera , el tiempo de excitación es proporcional a la distancia del geófono , del punto 3 en adelante ,

la primera excitación es de onda refractada en la que el tiempo es una cierta función (  $a-bx$  ), en la que (a) representa el tiempo constante en que se recorren los dos tramos inclinados hasta y desde el punto rocoso. Si x es la abscisa del punto 3, se puede demostrar que ( Fig: II.3b ) .

$$H = X_1/2 \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_2}}$$

Donde H es el espesor del estrato de suelo homogéneo y V1 y V2 pueden determinarse de las pendientes de la curva de la figura II.3b .

En ocasiones, suele ser necesario una exploración convencional, con la finalidad de interpretar en forma más correcta, los resultados obtenidos .

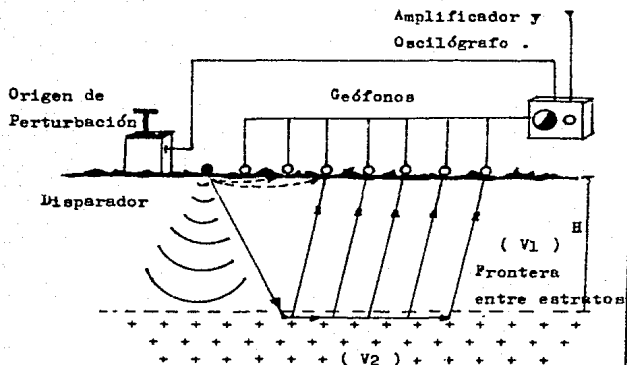
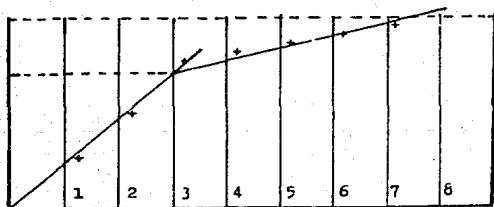


FIGURA II.3a

Tiempo de registro (Seg.).



Distancia del punto de perturbación a los geófonos .

FIGURA II.3b

Esquema del dispositivo para exploración geofísica .

## METODO DE RESISTIVIDAD ELECTRICA .

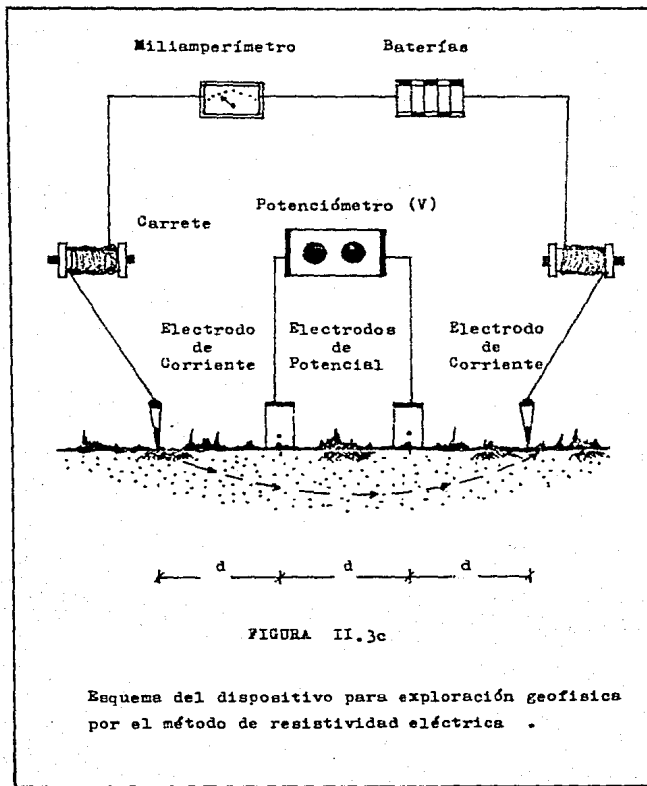
Se ha observado que la variedad de los suelos presentan una cierta resistividad eléctrica, dependiendo de su naturaleza, cuando una corriente es inducida a través de ellos. La resistividad eléctrica de los diferentes estratos de materiales que conforman el sub-suelo, pueden medirse colocando cuatro electrodos igualmente espaciados y alineados en la superficie, los dos exteriores, conectados en serie a una batería, en tanto que los interiores se conectan a un potenciómetro que marca la diferencia de potencial de la corriente circulante. ( Fig: II.3c ).

La resistividad se puede calcular a través de las lecturas del miliamperímetro  $I$  , del potenciómetro  $V$  y de la separación entre los electrodos  $D$  , con la fórmula :

$$\rho = 2 \pi d \frac{V}{I}$$

Con este método se puede determinar en primer lugar, la resistividad de los diferentes estratos en un mismo lugar y en segundo lugar, para medir la resistividad a una misma profundidad a lo largo de un perfil . Lo primero se logra aumentando de distancia  $D$  entre los electrodos .Lo segundo se obtiene conservando la distancia  $D$  constante y desplazando todo el equipo sobre la línea de trazo a explorar .

Las mayores resistividades comprenden a rocas duras , siguiendo rocas suaves , gravas compactas , etc..., y teniendo los menores valores los suelos suaves saturados .



## II.4 EXPLORACION DE CARACTER PRELIMINAR .

El Objeto fundamental de la exploración de caracter preliminar, es la obtención de muestras alteradas las cuales proporcionan información de las características del suelo en formaciones geológicas suaves , por lo que es conveniente utilizar los procedimientos que a continuación se describen, ya que también son empleados con el objeto de determinar la profundidad del nivel freático profundizar excavaciones a cielo abierto y limpiar los sondeos que se efectuen por otros métodos .:

### ( a ) . POZO A CIELO ABIERTO .

Consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes, para que el técnico pueda bajar y examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural . El equipo que se utiliza es el necesario para efectuar una excavación normal, como son pala y pico . Los resultados que se obtienen son muestras alteradas y inalteradas , las cuales, deben ser protegidas por medio de una pequeña capa de parafina , los resultados finales , se obtienen en el laboratorio de análisis experimental .

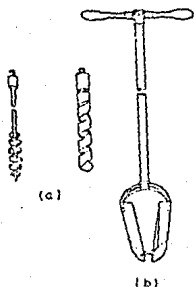
### ( b ) . PERFORACION CON POSTEADORA Y BARRENOS HELICOIDALES .

En este tipo de sondeos , la muestra de suelo se obtiene completamente alterada . El procedimiento consiste en penetrar en el suelo por medio de la posteadora o los barrenos helicoidales con la finalidad de obtener la muestra ( Fig: II.4b ) .

Este tipo de muestras suelen ser representativas del suelo, en lo que se refiere al contenido de agua .

(c) . METODO DE PENETRACION ESTANLAE .

El equipo necesario para aplicar este procedimiento , consta de un muestreador especial ( Penetrómetro Stándar ) que se observa en la ( Fig: II.4c ). El penetrómetro se une al extremo de la tubería de perforación, posteriormente se hace penetrar por medio de golpes dados por un martinete de 63.5 Kg. que cae de una altura de 76 cm. y contando el número de golpes necesarios para lograr una penetración de 30 cm. En suelos friccionantes, esta prueba -- revela la compacidad de los mantos, que es una característica muy importante con respecto a su comportamiento mecánico . En suelos plásticos esta prueba proporciona una simple idea de la resistencia del material . Este método proporciona, además , muestras -- alteradas representativas del suelo en estudio. En suelos arenoso se obtiene una relación entre su compacidad y el ángulo de fricción interna, y una relación entre la resistencia a la compresión simple contra el número de golpes para suelo arcilloso .  
Ver Graficas (1.A y 1.B ) .

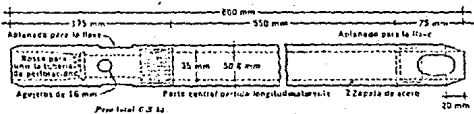


Herramientas para sondeos exploratorios por rotación .

a) barrenos helicoidales.

b) Posteadora .

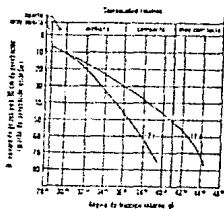
FIGURA II.4b



Penetrómetro estándar .

FIGURA II.4c

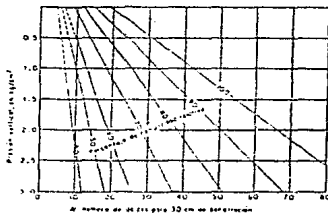




GRAFICA 1.A

- (1) Relación para arenas de granos angulosos  
 y espesores entre 0.25 mm y 0.5 mm  
 (2) Relación para arenas finas y para arenas  
 limosas

Correlación entre el número de golpes para 30 cm. de penetración estándar y el ángulo de fricción interna



GRAFICA 1.B

Relación entre la penetración estándar, la presión vertical y la compacidad relativa para arenas .

## II.5 METODOS DE SONDEOS DEFINITIVOS.

Para determinar las propiedades mecánicas de los suelos, es necesario obtener muestras inalteradas, debido a que estas, conservan su estructura y propiedades físicas naturales. Y para ello es indispensable contar con muestreadores que permitan avances a las profundidades deseadas. A continuación se mencionarán y describirán los métodos más usuales, dependiendo del tipo de estrato al cual se este trabajando .

### II.5.1 MUESTREOS CON TUBOS DE PARED DELGADA .

Desde luego de ningún modo y bajo ninguna circunstancia puede obtenerse una muestra de suelo que pueda ser rigurosamente considerada como inalterada. En efecto, siempre será necesario extraer al suelo de un lugar con alguna herramienta que inevitablemente alterará las condiciones de esfuerzo en su vecindad . Aparte de esto , la remoción de la muestra del muestreador al llegar al laboratorio produce inevitablemente otro cambio en los esfuerzos , pues la fase líquida deberá trabajar a tensión y la fase sólida a compresión en la medida necesaria para que se impida la expansión de la muestra , originalmente confinada en el suelo y ahora libre., se debe entender en realidad un tipo de muestra obtenida por cierto procedimiento que trata de hacer mínimos los cambios en las condiciones de la muestra, sin interpretar la palabra en su sentido literario .

Muestreadores de tubo de pared delgada.

- a) Tipo Shelby . b) De piston .
- c) Tubo muestreador Denison .

(a) Tubo Muestreador Shelby .

Este tipo de muestreador se realiza por medio de un equipo compuesto por un trípode , máquina perforadora, bomba de agua , malacates , tuberías, mangueras , barras de perforación y equipo complementario . Para iniciar la exploración , se hince el muestreador utilizando en el terreno, utilizado el gato hidráulico de la perforadora , procurando que el hincado sea rápido y a velocidad constante. ( Ver Fig: II.5a ). Los resultados que se obtienen, son datos sobre la consistencia de los suelos en estado natural .

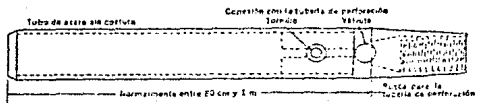
(b) Tubo Muestreador de Piston .

El equipo de hincado es el mismo que se utiliza para el muestreador tipo Shelby. El principio de este muestreador, es introducido como émbolo enrasado por la parte inferior del tubo donde queda rigidamente fijado por la varilla que sujeta el émbolo la cual queda a su vez fija mientras es hecho el hincado del tubo. El procedimiento de hincado, es el mismo que se muestra para la exploración con tubo Shelby. por este medio se conoce la consistencia en suelos finos como son : las arcillas tipo bentonítica y algunas arenas limo-arcillosas . ( Ver Fig:II.5b).

(c) Tubo Muestreador Denison .

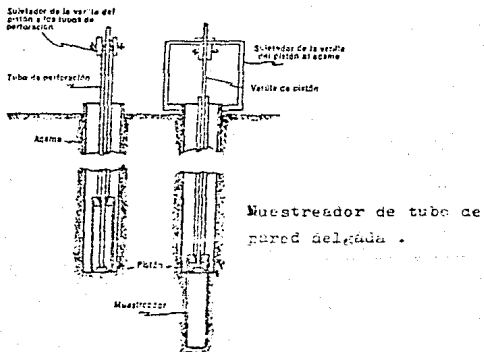
El equipo utilizado para este tipo de muestreador, se puede observar en las Figuras : II.5a , II.5b , II.5c . Este procedimiento se utiliza fundamentalmente en suelos cohesivos con un contenido de humedad nulo o suelos relativamente compactos, en los que se hince el muestreador aplicando una presión vertical producida por un sistema hidráulico y procurando que al estar efectuando la rotación , el tubo interior no gire, introduciéndose así mismo, la circulación del lodo de perforación .

Despues que ha sido llenado el muestreador y extraido, se hacen girar las barras de perforación antes de sacar el tubo del sondeo , logrando así , cortar el extremo inferior de la muestra . El resultado de este método es una muestra " inalterada " , de la cual , por medio de pruebas de laboratorio , se puede determinar sus propiedades físicas naturales de ese suelo .



a) Tipo Shelby

FIGURA II.5a



b) De pistón .

FIGURA II.5b

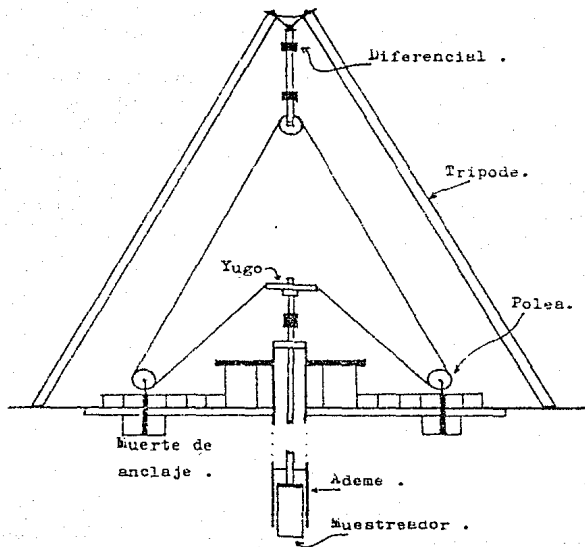


FIGURA II.5c

Dispositivo con tubo Muestreador Denison .

## II.6 PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LA LINEA DE TRAZO DEL TUNEL .

Con respecto a la línea de trazo del túnel, se realizaron muestreos con sus respectivos Sondeos y Pozos a cielo abierto - a todo lo largo de la línea, en sus respectivas posiciones en relación a su cadenamamiento y sus cotas topograficas sobre el nivel del mar .

Determinandose así la formación de perfiles estratigraficos --- consecutivos para nuestro proyecto .

De esta manera mencionaremos algunas características esenciales correspondientes de algunas muestras a continuación .

Uno de los primeros muestreos de gran importancia se realizó en el cadenamamiento 21+958.090 y a una altura de 2278.397 m.s. n.m. estando ubicado en la parte lateral izquierda de la estación San Ángel, siendo este el pozo a cielo abierto No. 2 (PCA-2). El perfil en esta zona se caracteriza por presentar condiciones de estabilidad diferentes al norte y al sur de la misma siendo crítica la estabilidad de los materiales que constituyen la entranche de arcilla mencionada o observada en el pozo, por lo que el procedimiento constructivo deberá ajustarse a tales condiciones.

En los dos primeros metros se encontro una capa de relleno - en la cual no se tomo ninguna propiedad mecánica del suelo, a -- los cinco metros de profundidad se encontro una capa de limo-argoso con un alto contenido de boleos, sus propiedades obtenidas en el laboratorio fueron :  $C=2.7 \text{ t/m}^2$  ,  $\rho= 55$  ,  $P= 46$  (%) de finos  $A= 21$  (%) arenas ,  $G= 33$  (%) gravas ,  $\gamma= 1.68 \text{ t/m}^3$  y en (%) el -  $LP= 25$  y el  $LL= 50$  (%) .

A los seis metros se encontro una capa de arcilla-arenosa con presencia de boleos, en los ocho metros se encontro de nuevo material limo-arenoso con las siguientes propiedades:  $C = 3.8 \text{ t/m}^2$ ,  $\rho = 45$ ,  $F = 65$  (%) finos,  $A = 32$  (%) arenas,  $G = 3$  (%) grava  $\gamma = 1.44 \text{ t/m}^3$  y en (W%) el LP= 28 y el LL= 45 (%).

A los nueve metros se encontro arcilla-arenosa con presencia de algunos boleos., a los doce metros se obtuvo una -- capa de limo-arenoso con contenido de gravas y sus propiedades son las siguientes :  $C = 1.3 \text{ t/m}^2$ ,  $\rho = 45$ ,  $qu = 6.06 \text{ t/m}^2$ ,  $F = 64\%$  finos ,  $A = 34$  (%) arenas ,  $G = 2$  (%) gravas ,  $\gamma = 1.28 \text{ t/m}^3$  .

A los catorce metros se encontro una capa de arena, y a los dieciseis metros se obtuvo arcilla-arenosa con las propiedades siguientes :  $C = 2.8 \text{ t/m}^2$ ,  $\rho = 38$ ,  $qu = 10.51 \text{ t/m}^2$ ,  $F = 53$  (%) ,  $A = 47$  (%) ,  $G = 0$  (%) y en (W%) el LP= 10 y LL= 35 (%),  $\gamma = 1.40 \text{ t/m}^3$  .

A los diecisiete metros se encontro una capa de arena -- pura , a los veinte metros se obtuvo una capa de arcilla-arenosa con las siguientes propiedades :  $C = 3.0 \text{ t/m}^2$ ,  $\rho = 43$ ,  $qu = 13.5 \text{ t/m}^2$ ,  $F = 62$  (%) ,  $A = 38$  (%) ,  $G = 0$  (%) y en (W%) el LP= 22 (%) y el LL= 50 (%) ,  $\gamma = 1.54 \text{ t/m}^3$  .

Despues de esta profundidad se encontro una capa bastante amplia de arena limosa .

Como se observa este sondeo presenta materiales criticos a la estabilidad, por lo cual se devera ajustarse a medidas -- de precaución de construcción en esta zona .



El Sondeo de recuperación de Polvos ( SRP-15' ) fué otro de los muestreos llevados a cabo para la determinación de sus propiedades mecánicas, con respecto a sus componentes de capas encontradas de su estratigrafía de sí misma .

Este sondeo se encuentra localizado a un costado del lado izquierdo de la Est. San Angel, ubicada también en la cercanía de la Av. Insurgentes sur., Su altura topográfica fué de 2275 m.s.n.m.

Las Observaciones de campo como de laboratorio experimental se observa que en los primeros 2.50mts. fué encontrado material de relleno, por lo cual no fué necesario obtener sus propiedades mecánicas .

A la profundidad de 5.0 mts. se obtuvo una capa de arcilla-arena con presencia de gravas, con (W%) en LP= 20(%) y LL= 40 (%) .

A los ocho mts. ,se encontro con otra capa constituida por material arcilloso-arenoso teniendo un LP= 27 (%) y LL= 50 (%) .

En los 10.00 mts., se obtuvo una capa de material limo-arenoso unicamente y en la profundidad de 13.50 mts. se encontro un material arcilloso-arenoso con presencia de boleas teniendo (W%) en LP= 20 (%) y LL= 34 (%) .

A la profundidad de 15.0 mts. se obtuvo otra capa de arena con boleas y limo y en los 17.0 mts., se obtuvo también otra capa de arcilla-arena con (W%) en LP= 20 (%) y en LL= 32 (%) .

En los 18.0 mts., se encontro una faja total de arena con una presencia abundante de grava y boleas .

Esto se puede apreciar en el plano respectivo a esta sección en los perfiles estratigráficos de la Estación San Angel, como los sondeos descritos anteriormente en su estructura encontrada en campo .



C A P I T U L O      I I I

-

### III. CARACTERISTICAS GENERALES DEL TUNEL .

Una roca se encuentra a una cierta profundidad , está sujeta a su propio peso y al del material que gravita sobre ella. Estas cargas harán que se tengan deformaciones en la roca, si es que existe espacio para ello, en caso de que la roca este confinada no se podrá presentar las deformaciones que quedan en un estado latente ; sin embargo, al abrirse el túnel se da lugar a que se presenten las deformaciones que pueden ser de varios tipos : por aflojamiento, por el fenómeno que se ha denominado presión de montaña y por fluencia .

Debido al aflojamiento, se presenta sobre la parte superior del túnel una presión, que si la obra es profunda, es menor el peso de la columna de material que se encuentre arriba de el, ya que se presenta el fenómeno de arco , que consiste en que al abrirse el orificio, solo se moviliza hacia abajo parte del material, quedando el resto apoyado en la zona lateral de la abertura, por lo tanto, la carga sobre el cielo del túnel sera solo la correspondiente al del material movilizado .

Otra manera en que se presenta la deformación, es la debida a esfuerzos tangenciales que aparecen alrededor del orificio que provoca que haya una especie de descascaramiento en la superficie excavada , pudiendose llegar a tener fragmentos de roca que salen disparados, lo cual sucede en rocas masivas y duras, este fenómeno se llama presión de montaña . Estos esfuerzos se deben a un estado plástico latente en la roca, en materiales cohesivos se presenta un flujo plástico, de la periferia hacia el orificio .

La presión en el túnel depende del tiempo requerido para que las presiones del material se disipen , desarrollandose dentro de la masa una zona plástica .

Lo anterior se presenta en arcillas, lutitas o pizarras -- arcillosas, por lo que se requiere de ademes flexibles, que ceden al expanderse el material, pudiendose dejar un colchon, por ejemplo de cenizas, entre el ademe y las paredes, que se comprimirán al presentarse el flujo hacia el túnel . A medida que transcurre el tiempo , la presión desarrollada por la roca disminuye y la resistencia sobre el ademe es menor .

Las presiones por expansión se presentan en arcillas, lutitas, pizarras alteradas o rocas estratificadas con arcilla en las fisuras y se debe a que al abrirse el túnel, se provoca un flujo de agua del interior de la masa de roca hacia el , por diferencia de presiones. El agua que llega provoca aumentos de volumen en los materiales periféricos expansivos , desarrollando presiones sobre el ademe . En este caso se puede construir este, de tal manera, que permita una cierta deformación y mas tarde se construirá un ademe sólido .

### III.1 ESTADO NATURAL DE ESFUERZOS .

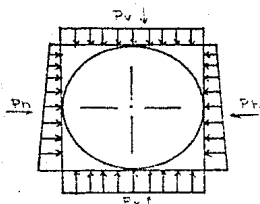
Antes de iniciar cualquier obra subterránea, es necesario realizar una serie de estudios tendientes a conocer el estado natural de esfuerzos de la roca, ya que el diseño de las obras que se hagan, deberá considerar, en forma muy importante, tanto este estado como el que se desarrolla durante y después de la construcción . El estado natural de esfuerzos, depende de una serie de factores que no son siempre conocidos, tales como, la actividad tectónica en el área, las condiciones estructurales de la roca ( clase de fracturas, materiales de relleno en las fracturas ), las condiciones geohidrológicas, la topografía y otras .

Existen varios métodos para el análisis de sistemas de soporte ( ademes ). los ademes se pueden dividir en dos grupos :

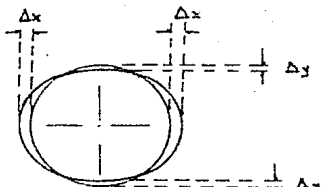
- (a) PRIMARIOS O TEMPORALES .- Cuya función principal es mantener la estabilidad de la excavación durante su construcción.
- (b) SECUNDARIOS O DEFINITIVOS .- Con los cuales , se da el acabado y protección final a la excavación .

En suelos compactos, con suficiente resistencia, es posible la construcción de un solo sistema de soporte, el cual soportará las cargas durante la etapa de construcción, así como las cargas a largo plazo .

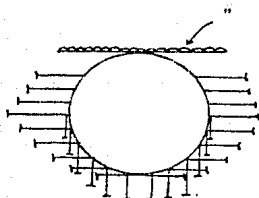
Las cargas con las que se diseña la estructura del túnel, dependen principalmente de las propiedades mecánicas del suelo donde se realiza la excavación, de su relación esfuerzo deformación, del procedimiento constructivo empleado y de la geometría del túnel .



a) CARGAS



b) DEFORMACIONES



MODELO PROPUESTO PARA EL ANÁLISIS DE INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA .

### III.2 CAMBIO DE ESFUERZOS PRODUCIDOS POR LA CONSTRUCCION .

Los macizos rocosos que no han sido alterados por las obras hechas por el hombre, se encuentran bajo un cierto estado de esfuerzos, en los cuales, el proceso de excavación subterránea, produce nuevos esfuerzos que será función de las diferentes etapas de construcción. Es importante considerar así mismo, que la construcción de un túnel no solo cambia las condiciones de esfuerzos, sino que, en muchos casos, las condiciones de la roca misma. Tal es el caso de las exploraciones que comúnmente fracturan y reducen la resistencia de la roca al rededor del túnel. Si para lograr un equipo, es necesario colocar algún sistema de soporte se deberán considerar como factores importantes: El tiempo, la forma de colocación del soporte, sus características de deformación y el procedimiento constructivo empleado.

Con el objeto de lograr un estado de esfuerzos estable, es necesario que el sistema de soporte actúe sobre el estado de esfuerzos creado por la excavación, modificando, de tal modo, que sea compatible con las condiciones de la roca y las características de los ademes. Los ademes son así, componentes del sistema de soporte que reacciona contra la roca que los rodea, produciendo una presión interior estabilizadora.

### III.3 ESTADO DE ESFUERZOS ALREDEDOR DE CAVIDADES .

Existen teorías que proporcionan el valor de los esfuerzos que se producen al rededor de cavidades y dependen principalmente de:

- ( a ) La forma de la cavidad .
- ( b ) Procedimiento constructivo .
- ( c ) El estado de esfuerzos antes de hacer la excavación .
- ( d ) El tiempo que transcurre después de haber hecho la cavidad.
- ( e ) Las condiciones de trabajo de la obra, Etc...



### III.4 ANALISIS DE CARGAS SOBRE ADEMÉS .

Las cargas sobre los sistemas de soporte, se puede determinar mediante el conocimiento del estado de esfuerzos en los contornos del túnel, determinados por medio de las teorías de la elasticidad de la plasticidad y los métodos numéricos .

Así, por ejemplo, mediante el uso de la teoría de la elasticidad, se pueden obtener las zonas de tensión sobre la clave de un túnel y se podrán diseñar sistemas de soporte capaces de evitar desprendimientos o sobre-excavaciones importantes. La teoría de la plasticidad, nos permite determinar el esfuerzo que es necesario poner como presión interior en los ademes utilizados y limitar así , los esfuerzos en el medio y el espesor de la roca plástica .

Existen, por otro lado , varios métodos empíricos basados en la experiencia de construcción y en las observaciones sobre comportamientos en obras subterráneas , que mencionaremos más adelante con sus respectivas características .

Dichos métodos , toman en cuenta , no solo aspectos geométricos , sino también las condiciones especiales de los materiales involucrados, como el efecto del tiempo, del agua , las características de los ademes y otros .

### III.5 SELECCION DEL ADEME MAS ADECUADO .

Como ya se ha visto , se puede determinar los esfuerzos en la masa de rocas alrededor de cavidades, de acuerdo con las teorías y métodos anteriormente descritos. Mucho de los túneles desafortunadamente, no cumplen con la hipótesis que dichas teorías establecen, y el comportamiento de los túneles está principalmente rígido por la calidad de la roca .

Anteriormente se tomaba el (%)porcentaje de recuperación de un barrenado de exploración como indicador de la calidad de la roca . Este parámetro llamado " Porcentaje de recuperación " , tiene una aplicabilidad limitada porque está basada unicamente en la cantidad de muestra recuperada , sin importar si la roca es sana , si esta fisurada , alterada , etc... , Además , siempre puede haber la duda si dicha recuperación está o no afectada por la habilidad del perforista , de la condición de las herramientas , etc...

El Coeficiente R.Q.D. ( Relación del Grado de Alteración de rocas ), eliminar algunas de las incertidumbres mediante la clasificación y obtención de otras características como : El fisuramiento de la roca y la alteración en general de la misma . El R.Q.D. se puede relacionar con algunas propiedades de las rocas y su comportamiento cualitativo como se muestra en la tabla según DEER y MERRIT .

RELACION EN EL R.Q.D. INDICE DE VELOCIDAD Y LA CALIDAD DE LA ROCA .

R.Q.D.	INDICE DE VELOCIDAD	DESCRIPCION DE LA CALIDAD DE LA ROCA
0 - 25	0 a 0.20	Muy mala .
25 - 50	0.20 a 0.40	Mala .
50 - 75	0.40 a 0.60	Regular .
75 - 90	0.60 a 0.80	Buena .
90 - 100	0.80 a 1.00	Excelente .

INDICE DE VELOCIDAD = $\frac{Vp^2}{VL}$	VP = VELOCIDAD SISMICA IN-SITU
	VL = VELOCIDAD SONICA EN EL LABORATORIO .

DEER (1967) y MERRITT ( 1968 ) .

RELACION ENTRE EL R.Q.D. Y LAS NECESIDADES DE SOPORTE .

R.Q.D.	3.04 m. (10 ft)	7.60 m. (25 ft)	15.20 m. (50 ft)
90 - 100	Min.	Min. a Int.	Int. a Max .
75 - 90	Min. a Int.	Int.	Max.
50 - 75	Int. a Max.	Max.	Max.
25 - 50	Max.	Max .	Max.
0 - 25	Max.	Max.	Max.

Soporte Mínimo = Min. = No necesita ademe o anclas ocasionales.
Soporte Intermedio = Int. = Marcos ligeros o plantillas de anclaje
Soporte Máximo = Max. = Marcos pesados de acero o anclas largas .

CARGAS DE ROCA O SUELO SOBRE TUNELES .

ESTADO DE LA ROCA O SUELO	CARGA Ht	OBSERVACIONES .
Roca sana e intacta	m cero	ademe ligero si hay roca explosiva .
Roca sana estratificada	0 a 0.5 B	Cuando sea necesario ademe ligero .
Roca moderadamente Fisurada	0 a 0.25B	ademe ligero si hay roca explosiva .
Roca moderadamente Fragmentada .	0.25 a 0.35(B+Ht)	Ademe en el techo rara vez y unicamente en las paredes
Roca muy Fragmentada	0.35(B+Ht)a 1.10(B+Ht)	Ademe en el techo y en las paredes.
Roca triturada pero quimicamente intacta . Gravas y Arenas .	1.10(B+Ht) 0.62(B+Ht)a 1.4 (B+Ht)	Recomendable ademe circular
Roca que fluye plásticamente a poca profundidad .	1.10(B+Ht)a 2.10(B+Ht)	Recomendable ademe circular
Roca que fluye plásticamente a gran profundidad .	2.10(B+Ht)a 4.50(B+Ht)	Conviene ademe circular .
Roca expansiva .	Hasta 70 m. Independientemente del valor de (B+Ht)	Conviene ademe circular.  Indispensable ademe circular .

Cuadro de recomendaciones de K. Terzaghi para obtener la carga sobre la parte superior del túnel .

C A P I T U L O      I V

#### IV. LUMBRERA

##### IV.1 ASPECTOS FUNDAMENTALES Y CARACTERISTICAS DE UNA LUMBRERA .

Cabe hacer mención que los accesos a túneles en construcción se hacen por medio de portales o lumbreras. Estas últimas son excavaciones verticales o inclinadas a  $55^{\circ}$  con la horizontal, de sección rectangular, circular u otro según las necesidades del proyecto, siendo las circulares las más comunes. Su excavación se efectúa siguiendo un orden descendente, en los procedimientos de construcción más comunes .

Se emplean para bajar equipo o introducir la maquinaria para la extracción del producto de la excavación del túnel con el que se comunican , así como la introducción de materiales de construcción necesarias para la terminación del revestimiento definitivo que constituirá las paredes del túnel o podrán ser utilizadas como respiraderos en túneles carreteros o ferroviarios. También podemos definir a una lumbrera como el acceso vertical por el cual es posible la construcción de un túnel, que ubicadas a determinadas distancias a lo largo del trazo del túnel permite tener varios frentes de ataque y reducir las distancias de acarreo tanto de los materiales que se extraen como de los que se introducen al túnel para su elaboración .

Uno de los aspectos de máxima importancia es la obtención de información, como lo es la determinación de la magnitud y orientación del cambio del estado de esfuerzos en una masa de suelo localizada en el contorno de una lumbrera, permite diseñar el ademe provisional que contendrá los empujes del terreno durante el tiempo de los trabajos de excavación y posteriormente el diseño estructural del revestimiento definitivo .

Esta información obtenida esta basada a datos prácticos o teóricos segun los factores determinantes para la selección del procedimiento constructivo a utilizar . Los datos prácticos se adquieren directamente de la experiencia constructiva y los teóricos en base al empleo de alguna de las teorías de mecánica de suelos existentes .

Existen varias teorías y criterios que manejan los efectos ocasionados por las lumbreras, y se comentan algunos de ellos :  
CRITERIO DE TERZAGHI .

Terzaghi fue el primero en estudiar los efectos ocasionados en un suelo puramente friccionante por la construcción de lumbreras . Esta teoría fundamentada con algunos aspectos teóricos de Coulomb respecto a empuje de tierras supone la existencia de una masa de suelo envolviendo a una lumbrera cilindrica con una profundidad infinita, que ejerce cierta presión que será resistida por un ademado ideal colocado inmediatamente a la excavación de la lumbrera (Fig: II.1). En la figura II.1 "W" representa el peso del suelo arenoso, "Z" la profundidad, "r" es un radio arbitrario, "ro" el radio tiro cilindrico, "Sr" la fuerza de corte actual ante en la superficie externa de la masa envolvente y "Q" la presión actuante en la base .

Esta teoría plantea que la presión del suelo depende del desplazamiento y deformación del muro provisional de soporte . Si el muro fallara, el tipo de deformación de la arena que rodea a la lumbrera daría lugar a una falla por corte y los esfuerzos normales sobre secciones horizontales excederían la resistencia de la arena .

La figura II.2 , muestra los diagramas comparativos de presión en las paredes del tiro y a una distancia arbitraria (r) , para antes y despues de efectuarse la excavación .

De acuerdo a Terzaghi , la presión radial mínima requerida para prevenir una falla de las paredes de tiro es :

$$\sigma_{ro} = \gamma \cdot r_o \cdot m \cdot V \quad \text{donde : } m \cdot V = \frac{z}{r_o} \frac{a+1}{2a} \frac{a-(a-2)r_l^2}{a+r_l^2}$$

y el  $r_o = r$  denota el radio crítico del cilindro del suelo, en el manto en el cual la presión reduce los esfuerzos cortantes que están actuando :

$$r_l = \frac{\sqrt{a}}{a-2} \quad \text{si } z = 0 \quad \text{entonces: } r_l = 1$$

$$m \cdot V = \frac{z}{a r_o} = 0$$

y cuando :

$$z = \infty, \quad r_l = \frac{\sqrt{a}}{a-2} \quad \text{y} \quad m \cdot V = 2 \frac{(a-2)^{(a-2)/2}}{a/2}$$



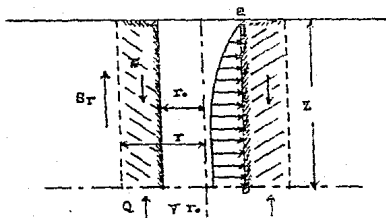


FIGURA II.1

Diagrama ilustrativo de la hipotesis sobre el que se basa el calculo del empuje sobre ademes de pozos .

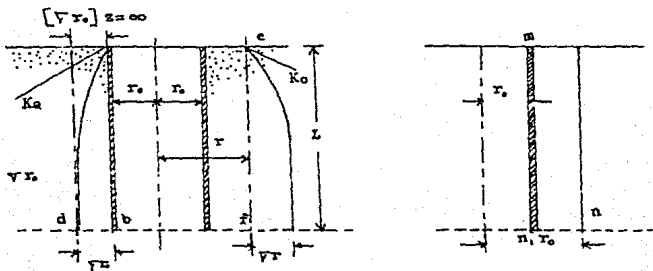


FIGURA II.2

Distribución de la presión radial  $\gamma r_0$  sobre el ademe de un pozo en arena y de los esfuerzos radiales  $Fr$  sobre una sección cilíndrica de radio  $r$  ; El área sombreada a la derecha del diagrama indica la zona en la que los esfuerzos tangenciales sobre la sección cilíndrica son casi iguales a la resistencia de corte de la arena .

CRITERIO DE BERESANTSEV .

Unas de las teorías fundamentales en la actualidad para el análisis y diseño de lumbreras es la teoría de Beresantsev, ya que proporciona resultados aproximados a la realidad .

Beresantsev supone que debido al abatimiento de aguas freáticas en el desarrollo de excavaciones profundas se induce un hundimiento superficial para el problema axial-simpétrico, el cual - puede compararse con la solución de Rankine para el caso de dos dimensiones .

La Figura II.4 muestra para una profundidad dada y para un suelo de ciertas características no solamente las fases de ruptura curvilínea y el diagrama de suelo-presión sino además muestra - también con línea el diagrama comparativo para el caso bidimensional .

Además , Beresantsev ha dado una solución aproximada, suponiendo una ruptura líneal en el plano inclinado a  $45^\circ + \beta/2$  con la horizontal. De una forma simplificada del planteamiento, ---

Beresantsev desarrollo una expresión para obtener las presiones radiales :

$$\sqrt{r} = \gamma \cdot r_0 \frac{\tan(45^\circ - \beta/2)}{K-1} \left[ 1 - \left(\frac{r_0}{R}\right)^{K-1} \right] + q \left(\frac{r_0}{R}\right)^K +$$

$$C \cdot c \tan \phi \left[ \left(\frac{r_0}{R}\right)^K + \tan^2(45^\circ - \beta/2) - 1 \right]$$

- Donde :
- K =  $2 \tan \beta \tan(45 + \beta/2)$
  - R =  $r_0 + Z \tan(45 - \beta/2)$
  - r = radio de excavación .
  - Z = Prof. a la cual interesa conocer la presión rad.
  - $\beta$  = ángulo de fricción interna .
  - q = sobrecarga (  $\text{ton}/\text{m}^2$  )
  - $\gamma$  = Peso volumétrico del material (  $\text{ton}/\text{m}^3$  ).
  - c = Cohesión (  $\text{ton}/\text{m}^2$  ).

En la Figura II.4 están dados en función de una Prof. relativa  $z/r_0$  , los valores de la presión radial considerando radios unitarios y gravedades específicas unitarias .

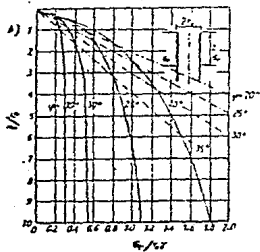
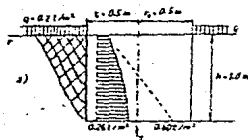


FIGURA II.4 PRESION DEL SUELO SOBRE UN POZO CLINDRICO SEGUN REZESANTSEV  
 a) EL EJEMPLO NUMERICO PARA LA TEORIA EXACTA  
 b) DIAGRAMA RELATIVO A LOS VALORES PARA LA TEORIA APROXIMADA

FIGURA II.4

#### IV.2 ANALISIS DE ESTABILIDAD QUE ALOJA LA LUMBRERA .

De acuerdo a experiencias adquiridas en el desarrollo de procesos constructivos se ha demostrado, que cuando una excavación alcanza una profundidad especifica, es necesario realizar un análisis cuidadoso de las condiciones geometricas y mecánicas ( Estudios de Suelo ) de la excavación para decidir el procedimiento constructivo .

En muchas ocasiones se han observado levantamientos del fondo de la excavación misma que fue ademada lateralmente. en otras ocasiones tambien se ha presentado extrusión del material por los intersticios (huecos) de un ademe abierto, esto comunmente se presenta a profundidades mayores entre los 10 y 15 mts.

A continuación se describe algunas consideraciones teóricas para la determinación de la estabilidad de una excavación .

A ) FALLA DE FONDO .

B ) FALLA DE SUPRESION .

##### FALLA DE FONDO .

Quando se realiza una excavación sobre o en un estrato de arcilla blanda , se corre el riesgo de que se produzca una de las fallas más frecuentes y peligrosas como lo es la falla de fondo. En este tipo de falla ocurre un asentamiento de terreno vecino, acompañado por el levantamiento generalmente rápido del fondo - lo que sucede en realidad es que el material vecino fluye hacia el centro de la excavación , que se levanta correspondientemente .

## FALLA POR SUPRESION .

El agua es uno de los factores más importantes en la resistencia, compresibilidad y cambios de volumen del suelo . Aunque el agua está presente en todos los suelos, el termino agua subterránea -- está reservada para una masa continua de agua bajo tierra que -- llena los poros o vacios del suelo y que puede moverse libremente por efectos de la gravedad. El nivel freático es la superficie -- superior de una masa de agua subterránea, y es el nivel al cual -- la presión del agua es cero .

Cuando un acuífero está confinado entre dos estratos impermeables el agua puede estar a presión ; cuando esto sucede, la -- elevación de cero presión está por arriba de la superficie exterior del agua , y se dice que el agua subterránea tiene presión -- artesiana . ( FIG: III.5 ) .

Estas estructuras crean, con frecuencia , dificultades a los Ingenieros , por la reducción de resistencia del suelo debido al esfuerzo neutro. Las excavaciones que se extienden hasta cerca de -- los estratos que están bajo presión artesiana se puede dañar por un levantamiento del fondo. la presión del agua, que al principio estaba balanceada por el peso del suelo superyacente, hace, al -- fallar este, que el suelo que queda se mueve hacia arriba adentro de la excavación , o si el suelo es arena , que se produzca en -- esta la condición de movediza .

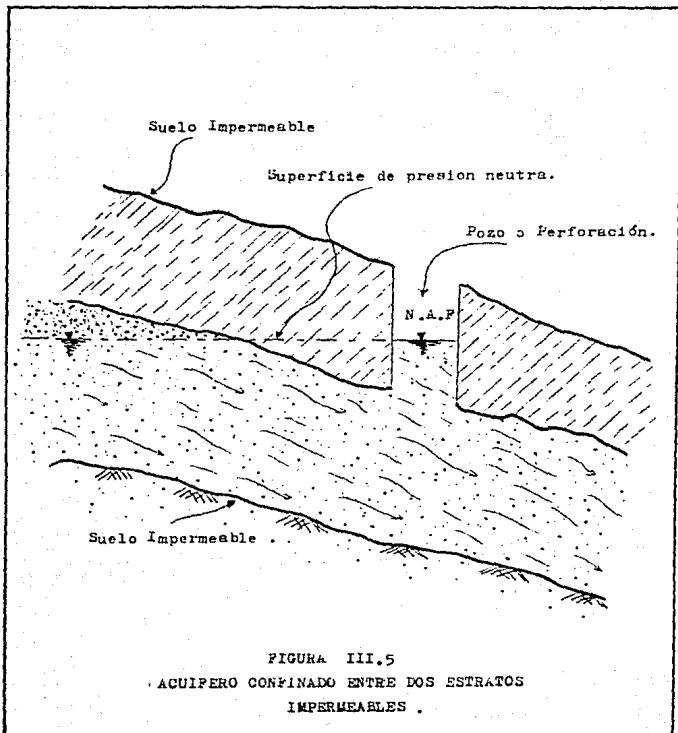


FIGURA III.5  
 ACUIPERO CONFINADO ENTRE DOS ESTRATOS  
 IMPERMEABLES .

#### IV.3 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA LUMBRERA .

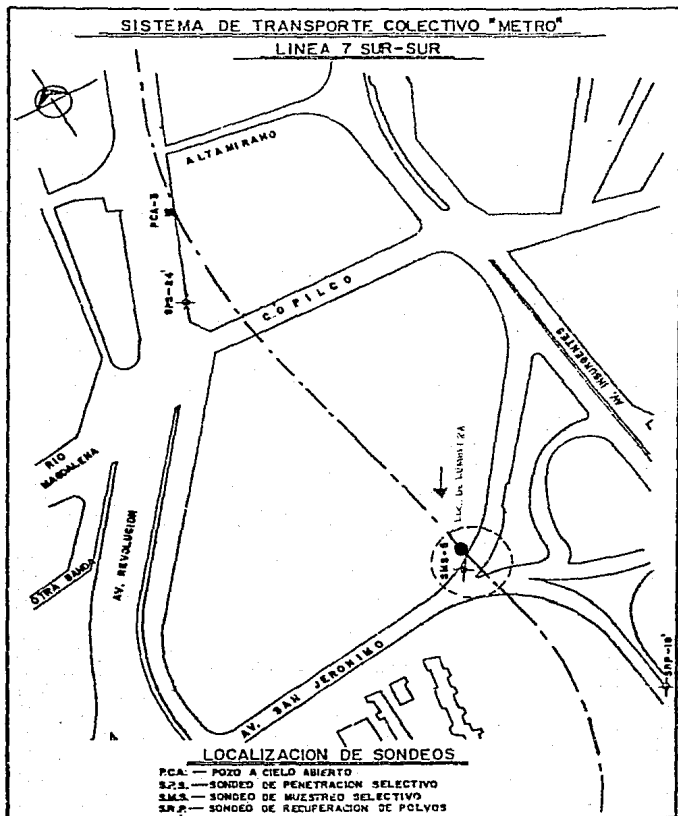
La Lumbrera se localiza sobre la Av. San Jeronimo a un costado de la Av. Insurgentes Sur , entre los Sondeos : SMS-5 y SRP-18', a una altura aproximada de 2284.982 m.s.n.m y ha un cadenamiento de 22+800 , y que de acuerdo a las pruebas -- obtenidas de dichos sondeos y otros no mencionados, se llevo -- acabo la interpretaci3n de perfiles estratigraficos y llegando a la conclusi3n que esta secci3n sera posiblemente la que presente mayor dificultad de excavaci3n, ya que este tramo se caracteriza por atravesar una capa de material constituido por boleas empa- cados en arena arcillosa muy bien cementada ( toba ), la cual -- presenta eventualmente zonas con poca cementaci3n . El tama1o de los boleas es de 0.4 mts. aproximadamente llegando a presentarse de manera aislada, fragmentos de hasta 1.50 mts. de dimensiones mayores . Este estrato presenta una alta densidad de boleas. por lo que resulta un material con un mayor grado de dificultad para ser excavado, tambien existe la posibilidad de que en temporadas de lluvias se presenten escurrimientos hacia la excavaci3n , ya que resulta una capa drenada en la cual se han detectado mantos colgados .

#### DIMENSIONES GENERALES DE LA LUMBRERA

La Lumbrera sera de secci3n circular con un diametro libre de 11.50 mts. La excavaci3n para alojamiento de la estructura - tendra un diametro aproximado de 12.20 mts. y la estructura de soporte estara formado por concreto lanzado ( revestimiento primario ). El revestimiento definitivo sera base de concreto armado en sitio .

SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO "METRO"

LÍNEA 7 SUR-SUR



LOCALIZACIÓN DE SONDEOS

- PCA.— POZO A CIELO ABIERTO
- S.P.S.— SONDEO DE PENETRACION SELECTIVO
- S.M.S.— SONDEO DE MUESTREO SELECTIVO
- S.R.P.— SONDEO DE RECUPERACION DE PCLVOS



#### IV.4 CONSTRUCCION DEL BROCAL .

Una vez realizado el trazo definitivo de la lumbrera sobre el terreno, se excávare a mano o con medios mecanicos una zanja perimetral hasta una profundidad de 2.0 mts. y en un ancho de 1.0 mts., en dicha zanja quedara construido el elemento vertical del brocal ( Faldon ) , el cual sera colado por medio de una cimbra apoyada con puntales de madera de 4" x 4" contra la pared de la excavación .

Los puntales se colocaran a cada 2.5 mts. de separación horizontal medidos sobre el eje de la zanja , y en la dirección vertical se colocaran dos niveles de puntales separados 1.0 mts entre si .

El elemento horizontal del brocal (Alero) , estara constituido por una losa, la cual servira para que la maquina de excavación pueda desplazarse sin riesgo de que se produzca algun caido en la superficie de la lumbrera, El perimetro interior del brocal debere coincidir con el perimetro de la excavación . La sección del brocal se ilustra en las figuras ( 2 y 2' ).

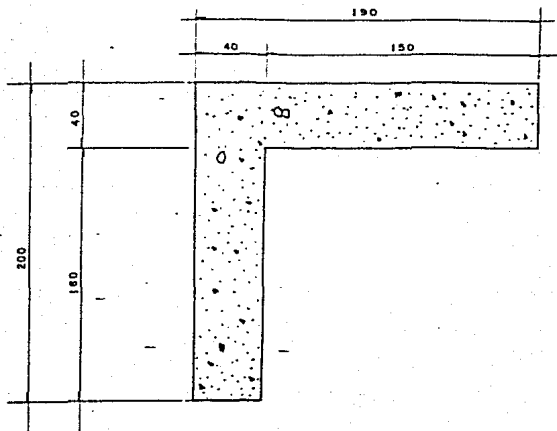
#### IV.5 EXCAVACION Y COLOCACION DEL REVESTIMIENTO PRIMARIO .

La excavación para la construcción de la lumbrera se realizara a cielo abierto ademandose con Concreto Lanzado reforzado con malla electrosoldada. El espesor del Concreto Lanzado sera de 0.10 mts. segun se ilustra en la figura ( 3 ). La excavación podra realizarse en toda el área de la lumbrera .

La excavación se realizara en etapas de 2.0 mts. de profundidad alternandose la actividad con la extracción de la rezaga y la colocación del revestimiento primario .

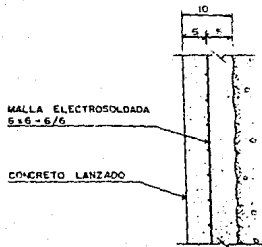
Sera condicion fundamental para poder iniciar la excavación de un tramo , que se haya colocado completamente el recubrimiento primario del tramo anterior, una vez alcanzada su resistencia inicial alcanzando la profundidad de proyecto de ( 20.0 mts. ) se procedera de inmediato a colocar una plantilla de 0.10 mts. - de espesor, una vez que esta halla fraguado se colocará la losa de fondo .



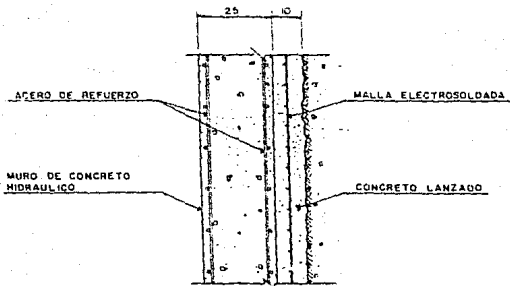


**SECCION DE BROCAL**

FIG: 2'



DETALLE DE REVESTIMIENTO TEMPORAL  
 (CONCRETO LANZADO Y MALLA ELECTROSOLDADA)



DETALLE DE REVESTIMIENTO DEFINITIVO  
 (CONSTITUIDO POR MURO DE CONCRETO HIDRAULICO)

FIG. 3

#### IV.6 CONSTRUCCION DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO .

Transcurridas 36 horas de haberse colado la losa de fondo podra procederse al colado de los muros definitivos, los cuales constituiran un revestimiento secundario de Concreto Armado , - construido mediante el uso de cimbras convencionales o deslizante .

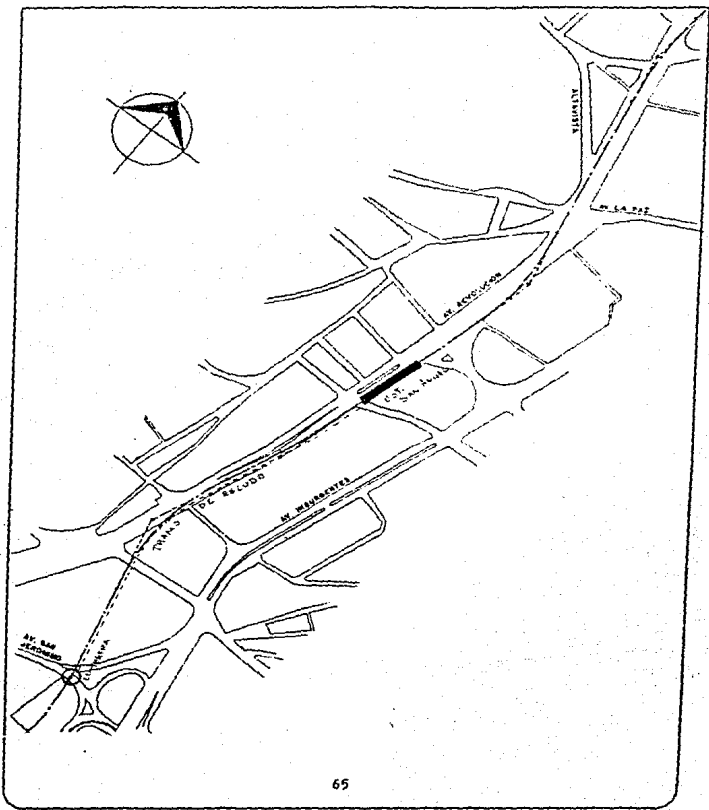
En la intersección de la sección del túnel union con la pared de la lumbrera, debiera dejarse sin revestimiento definitivo, - mediante el uso de una preparación a base de poliestileno colgado dentro de la cimbra para el colado .

Durante el colado de la losa de piso debiera respetarse el área de excavación del carcamo. La excavación del carcamo y de las alcancias de rezaga debiera realizarse una vez que se haya colado el revestimiento definitivo de la lumbrera y el proceso de excavación sera el mismo que se indica para la lumbrera .

La extracción de la Rezaga de los materiales del suelo son estraidas por medio de una almeja mecanica , llevandolo ala -- superficie y depositandola en camiones de bolteos donde son -- transportados a lugares fuera de la ciudad .

Otro de los aspectos importantes es siempre tener presente algunas bombas de succión en caso de presentarse el rompimiento de algunas paredes que conforman mantos acuíferos o mantos -- colgados, por está razon por medio de las bombas de succión -- podemos avatir el agua para no interrumpir el procedimiento -- constructivo .

Cave dar mención, que la lumbrera se localizó exactamente en la línea de trazo de la excavación del túnel, lla que esto permite que se tenga dos frentes de trabajo, es decir en ambas direcciones de las estaciones , permitiendonos ventajas con -- respecto al tiempo y avance de obra .



## CARACTERISTICAS DEL TUNEL .

El Túnel tendrá un diámetro interior de 8.70 mts. y 9.15 mts. de diámetro exterior con una longitud de desarrollo de :  
( 1,321.037 mts. ) construido por dos sistemas de construcción .

Uno de ellos será por el método del escudo, colocando posteriormente a su excavación dovelas prefabricadas de concreto armado, mientras que el otro método de excavación será por el método Austriaco que consiste en excavar secciones semicirculares cuyo diámetro irá creciendo hasta alcanzar el diámetro correspondiente al túnel , después se procederá a revestirlo con concreto lanzado y posteriormente colocar el revestimiento definitivo del concreto armado .



Los Métodos a utilizar, para la obtención de esfuerzos o presiones verticales como horizontales, son tantos que podemos mencionar algunas de ellos, como el criterio de Terzaghi, el método de Protodyakonov, Bierbaumer, etc ..., Utilizando para nuestro caso particular en algunos puntos de nuestro trazo de excavación, el método de Protodyakonov.

Este método se utiliza principalmente en suelos granulares y está fundamentado en el fenómeno de Arqueo que se origina por encima del túnel, cuya carga se distribuye parabólicamente como se indica en la figura. ( V.1.1 ), en el que, el equilibrio se obtiene cuando los esfuerzos a lo largo de la frontera, son exclusivamente de compresión.

Para el análisis de elementos mecánicos es necesario tener datos de Sondeos o pozos a cielo abierto referentes a laboratorio que utilizaremos para la obtención de dichos esfuerzos o presiones ante las paredes que comprenden el túnel.



CALCULO DE  $W_h$  y  $W_v$  para el SONDEO ( PCA-2 ).

METODO DE PROTODYAKONOV.

Presión Vertical .

$$W_v = \frac{\gamma' B}{3 f}$$
$$\gamma' = \frac{\epsilon \delta h}{h}$$

Donde :  $h$  = Profundidad al eje central del túnel .

$$\gamma' = \frac{1.38 (14.0)}{14.0} = \frac{19.32}{14.0} = 1.38 \text{ T/m}^3$$

$$f = c / q_u + \tan \delta \quad (\text{para suelos cohesivos friccionantes})$$
$$f = 2.8/10.51 + \tan 38^\circ = 1.047$$

Considerando un ángulo de fricción de  $38^\circ$  segun datos de PCA-2

$$B = D [1 + 2 \tan. (45^\circ - \delta/2)]$$
$$B = 9.15 [1 + 2 \tan. (45^\circ - 38^\circ/2)]$$
$$B = 18.07 \text{ Mts.}$$

Entonces tenemos que :

$$W_v = \frac{1.38 (18.07)}{3(1.047)} = 7.94 \text{ ton/m}^2$$

$$\bar{W}_v = 7.94 \text{ ton/m}^2$$

Presión Horizontal .

$$W_h = \frac{0.26 W_{pp} R^3 + 0.17 W_{vh} R^3 + 0.13 K_1^5 / R - 0.13 K^4}{2.70 \frac{EI}{E_r} + 0.17 H^3}$$

$W_{pp} = 0.45 \times 2.4 = 1.08 \text{ T/m}^3$  ( considerando un espesor total de  $K = 1 \text{ T/m}^3$  revestimiento ).

$R = 4.575 \text{ mts.}$

$K_1 = 4.35 \text{ mts.}$

$E = 10000 \text{ kg/cm}^2 = 10000 \times 250 = 158.113 \text{ T/m}^2$  ( Módulo de Elas. del Concreto )

$E_r = 2.0 \text{ T/m}^2$  ( Módulo de elasticidad del acero ).

$$I = \frac{1.0 \times 0.45^3}{12} = 0.0076 \text{ considerandolo como } = 0.01$$

$$EI = 158.113 (0.01) = 1.58 \text{ T-m}^2$$

$$0.26 W_{pp} R^3 = 0.26 (1.08) (4.575)^3 = 26.88 \text{ T-m}$$

$$0.17 W_{vh} R^3 = 0.17 (7.94) (4.575)^3 = 129.25 \text{ T-m}$$

$$0.13 K_1^5 / R = 0.13 (1) (4.35)^5 / 4.575 = 44.25 \text{ T-m}$$

$$0.13 K^4 = 0.13 (1) (4.575)^4 = - 56.95 \text{ T-m}$$

$$\text{SUMA} = \frac{\quad}{143.43 \text{ T-m}}$$

$$2.70 \frac{EI}{E_r} = 2.7 \frac{(1.58)}{2.0} = 2.133 \text{ m}^4$$

$$0.17 H^3 = 0.17 (4.575)^3 = 16.26 \text{ m}^4$$

$$\text{SUMA} = \frac{\quad}{18.413 \text{ m}^4}$$

Entonces tenemos que :

$$W_h = \frac{143.43}{18.413} = 7.78 \text{ ton/m}^2$$

$$W_h = 7.78 \text{ ton/m}^2$$

CALCULO DE  $w_v$  y  $w_h$  para el SONDEO ( SMS-5 ).

METODO DE PROTODYAKONOV.

Presión Vertical .

$$w_v = \frac{\gamma' h}{3 f}$$

$$\gamma' = \frac{\Sigma \gamma' h}{h}$$

Donde : h = Profundidad al eje central del túnel .

$$\gamma' = \frac{1.56 \times 13.0}{13.0} = \frac{20.28}{13.0} = 1.56 \text{ T/m}^3$$

$f = c/\text{qu} + \tan. \phi$  (para suelos cohesivos friccionantes)

$$f = 3.5/17.80 + \tan 46^\circ$$

$$f = 1.232$$

Considerando un ángulo de fricción de  $46^\circ$  según ( SMS-5 ).

$$B = D [1 + 2 \tan. (45^\circ - \phi/2)]$$

$$B = 9.15 [1 + 2 \tan. (45^\circ - 46/2)]$$

$$B = 16.54 \text{ mts.}$$

Por lo tanto tenemos :

$$w_v = \frac{1.56 (16.54)}{3 (1.232)} = 6.98 \text{ ton/m}^2$$

$$w_v = 6.98 \text{ ton/m}^2$$

Presión Horizontal :

$$W_h = \frac{0.26 W_{pp}R^3 + 0.17 W_{vr}^3 + 0.13KR^5/R - 0.13KR^4}{2.70 \frac{EI}{E_r} + 0.17R^3}$$

$$W_{pp} = 0.45 \times 2.4 = 1.08 \text{ T/m}^3 \quad (\text{considerando el espesor de revestimiento total de 45 cm.})$$

$$W_v = 6.98 \text{ T/m}^3$$

$$K = 1 \text{ T/m}^3$$

$$R = 4.575 \text{ mts.}$$

$$E_1 = 4.35 \text{ mts.}$$

$$E = 10,000 \text{ f} \cdot \text{c} = 10,000 \sqrt{250} = 158.113 \text{ ton/m}^2$$

( módulo de elasticidad del concreto )

$$E_r = 2.0 \text{ ton/m}^2 \quad (\text{módulo de elasticidad del acero})$$

$$I = \frac{1.0 \times 0.45^3}{12} = 0.01$$

$$\text{Donde : } EI = (158.113) (0.01) = 1.58 \text{ ton-m}^2$$

$$0.26 W_{pp}R^3 = 0.26 (1.08) (4.575)^3 = 26.88 \text{ ton-m}$$

$$0.17 W_{vr}^3 = 0.17 (6.98) (4.575)^3 = 113.62 \text{ ton-m}$$

$$0.13 KR^5/R = 0.13 (1)(4.35)^5/4.575 = 44.25 \text{ ton-m}$$

$$0.13 KR^4 = 0.13 (1) (4.575)^4 = \underline{\underline{-56.05 \text{ ton-m}}}$$

$$\text{SUMA} = 127.80 \text{ ton-m}$$

$$2.70 \frac{EI}{E_r} = 2.70 \frac{1.58}{2.0} = 2.133 \text{ M}^4$$

$$0.17 R^3 = 0.17 (4.575)^3 = \underline{\underline{16.26 \text{ M}^4}}$$

$$\text{SUMA} = 18.413 \text{ M}^4$$

$$W_h = \frac{127.80}{18.413} = 6.94 \text{ ton - m}^3$$

CALCULO DE  $W_v$  y  $W_h$  para el SONDEO ( PCA-4 )

METODO DE PROTODYAHONOV .

Presión Vertical :

$$W_v = \frac{\gamma' B}{3 f} \quad \gamma' = \frac{\Sigma \gamma h}{h}$$

Donde :  $h$  = profundidad al eje central del túnel .

$$\gamma' = \frac{1.60 \times 12.0}{12.0} = \frac{19.20}{12.0} = 1.60 \text{ T/m}^3$$

$f = c/QU + \tan. \theta$  ( para suelos cohesivos friccionantes)

$$f = 3.9 / 17.81 + \tan. 44^\circ$$

$$f = 1.184$$

Considerandose un angulo de fricción de  $44^\circ$  segun datos de (PCA-4)

$$B = D [1 + 2 \tan. ( 45^\circ - \theta / 2 )]$$

$$B = 9.15 [1 + 2 \tan. (45^\circ - 44^\circ/2)]$$

$$B = 16.91 \text{ mts .}$$

Entonces tenemos que :

$$W_v = \frac{1.60 (16.91)}{3 (1.184)} = \frac{27.056}{3.552} = 7.61 \text{ ton/m}^2$$

$$W_v = 7.61 \text{ ton/m}^2$$

Presión Horizontal :

$$W_h = \frac{0.26 W_{pp} R^3 + 0.17 W_v R^3 + 0.13 K R l^5 / R - 0.13 K R^4}{2.70 \frac{EI}{E_r} + 0.17 R^3}$$

$$W_{pp} = 0.45 \times 2.4 = 1.08 \text{ T/m}^3 \quad (\text{considerando un espesor total de revestimiento de 45 cm.})$$

$$W_v = 7.61 \text{ T/m}^2$$

$$K = 1 \text{ T/m}^3$$

$$R = 4.575 \text{ mts.}$$

$$R_l = 4.35 \text{ mts.}$$

$$E = 10,000 \text{ f'c} = 10,000 \times 250 = 158.113 \text{ ton/m}^2$$

(módulo de elasticidad del concreto)

$$E_r = 2.0 \text{ ton/m}^2 \quad (\text{módulo de elasticidad del acero})$$

$$I = \frac{1.0 \times 0.45^3}{12} = 0.01$$

$$EI = (158.113)(0.01) = 1.58 \text{ ton-m}^2$$

$$0.26 W_{pp} R^3 = 0.26 (1.08)(4.575)^3 = 26.88 \text{ ton - m}$$

$$0.17 W_v R^3 = 0.17 (7.61)(4.575)^3 = 123.88 \text{ ton - m}$$

$$0.13 K R l^5 / R = 0.13 (1) (4.35)^5 / 4.575 = 44.25 \text{ ton - m}$$

$$0.13 K R^4 = 0.13 (1)(4.575)^4 = - 56.95 \text{ ton - m}$$

$$\text{SUMA} = 138.06 \text{ ton - m}$$

$$2.70 \frac{EI}{E_r} = 2.70 (1.58) = 2.133 \text{ M}^4$$

$$0.17 R^3 = 0.17 (4.575)^3 = 16.28 \text{ M}^4$$

$$\text{SUMA} = 18.413 \text{ M}^4$$

$$W_h = \frac{138.06}{18.413} = 7.49 \text{ ton/m}^2$$



C A P I T U L O      V

## V. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL .

Para la ampliación de la Línea 7 del Metro ( Prolongación-Sur ), se construira el tramo objeto de ésta especificación de la cual permitira la circulación en dos sentidos del tren metropolitano, entre las estaciones San Ángel y Estadio Olímpico .

La excavación del túnel se realizara con escudo de frente, el cual tendra la función de estructura de contención y colocación del revestimiento, Así como proporcionar una plataforma de trabajo durante las maniobras de trabajo en excavación .

La posición y eje del túnel se indican en el plano de vía y topografía correspondiente , donde tambien se observa que la excavación por el método del escudo se llevara acabo en tres - cuartas partes de su longitud total comprendida entre las dos estaciones . El método del escudo se llevara acabo de la parte norte de la lumbrera de la línea de trazo, hasta lo que comprende la estación San Ángel , y que se establece en los cadenamientos 21 +958 al 22 + 750 Km.

En el plano mencionado anteriormente se indica tambien las -- propiedades índice y mecánicas del suelo. Las condiciones -- estratigráficas del suelo que debiera controlarse mediante los criterios establecidos ya marcados en dicho plano .



## V.2 REVESTIMIENTO DEL TUNEL .

El Revestimiento del túnel estara constituido por anillos de concreto, formado por tres dovelas de diferentes tipos, denq minadas en lo que sigue como "A" , "B" y "C" , las dovelas -- "A" y "B" , forman los costados y la clave , éstas dovelas son similares con exepción de sus extremos superiores, en donde se forma una rotula donde se efectua la union por medio de una -- sección canal de 8"x 0.70 mts. , la cual ira soldada a los -- insertos en los que se colocara previamente un tubo de 2 1/2", cedula 40 x 0.10 mts. de longitud; la dovela "C" forma la --- cubeta del túnel. Todas las dovelas son de concreto armado y - tendran un ancho igual a 0.80 mts. y un espesor de 0.25 mts., salvo de las de ajuste que dependen de la curvatura del túnel.

Estas dovelas se indican en la lamina ( 2.1 ) y el armado correspondiente a las secciones de las dovelas se observa en - la lamina ( 2.1' ) .

## V.3 CARACTERISTICAS GENERALES DEL ESCUDO .

La estructura del escudo esta formada por un cilindro de- acero de 9.14 mts. de diametro y 4.70 mts. de longitud, el -- cual puede ser de frente abierto o cerrado ; los elementos más importantes que constituyen al escudo son :

CACHUCHA

GATOS FRONTALES

PLATAFORMA DE TRABAJO

GATOS DE EMPUJE

FALDON

( Ver Figuras ( 2.2 y 2.3 ) ).

Cuando las características del material por excavar lo requieran se debera adicionar en el frente del escudo un ademe de madera o acero apoysdo mediante los gatos frontales , para trabajar con - el frente cerrado .

## COLOCACION DE DOVELAS

①



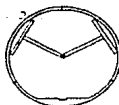
COLOCACION DE LA DOVELA "c"

②



ERECION DE LA DOVELA "a"

③



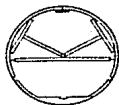
ERECION DE LA DOVELA "a"

④



COLOCACION DE LA PLACA  
EN LA CLAVE

⑤

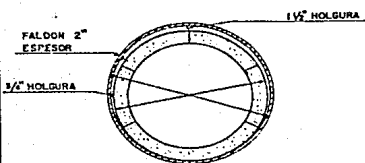


COLOCACION DEL TROQUEL

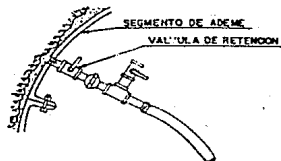
⑥



ZONA PARA COLO-  
CAR LOS GATOS  
DE EXPANSION

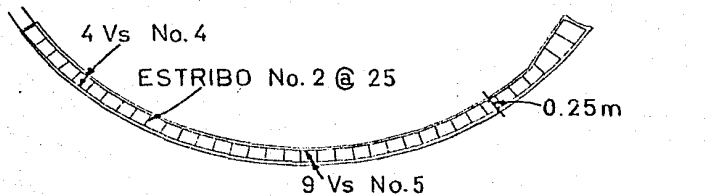


ESPACIO ANULAR FORMADO POR LA  
HOLGURA ENTRE EL ANILLO DE DOVE-  
LAS Y EL FALDON MAS EL ESPESOR  
DE ESTE ULTIMO.

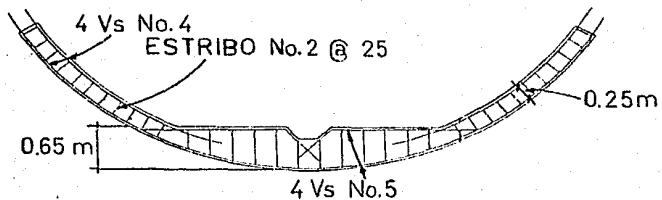


DISPOSITIVO DE INYECCION \*

78

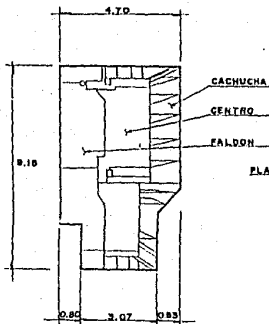


ANCHO = 0.80 m

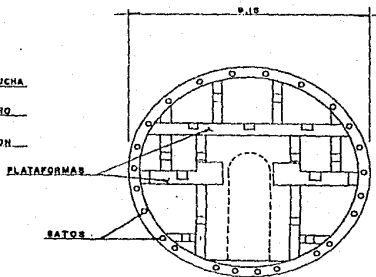


LAMINA : 2.1'

79



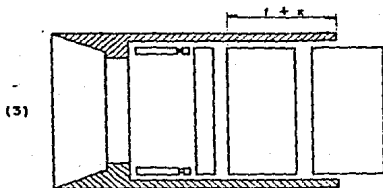
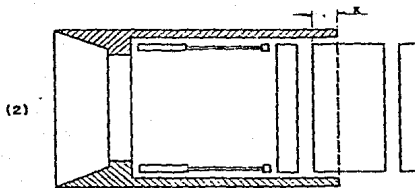
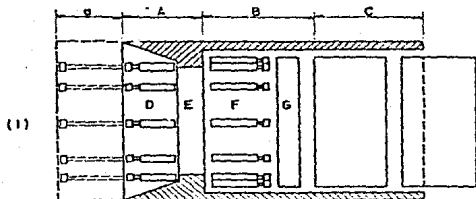
CORTE LONGITUDINAL



VISTA FRONTAL

FIG. 2.2

ESTA TESIS NO DEBE  
SER REPRODUCIDA  
SIN EL CONSENTIMIENTO  
DE LA COMISION NACIONAL  
DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS



ETAPAS DEL CICLO:

- 1.- EXCAVACION Y SOPORTE TEMPORAL DEL FRENTE.
- 2.- AVANCE DEL ESCUDO.
- 3.- COLOCACION DE OTRO ANILLO DE REVESTIMIENTO.

ELEMENTOS DEL ESCUDO:

- A- CUCHILLA CORTADORA (CACHUCHA).
- B- PARTE CENTRAL.
- C- FALDON.
- D- GATOS FRONTALES.
- E- PLATAFORMA DE TRABAJO.
- F- GATOS DE EMPUJE.
- G- ANILLO DE DISTRIBUCION DE PRESIONES DEL GATO HIDRAULICO.
- g- AVANCE DE EXCAVACION (0.80 m.).

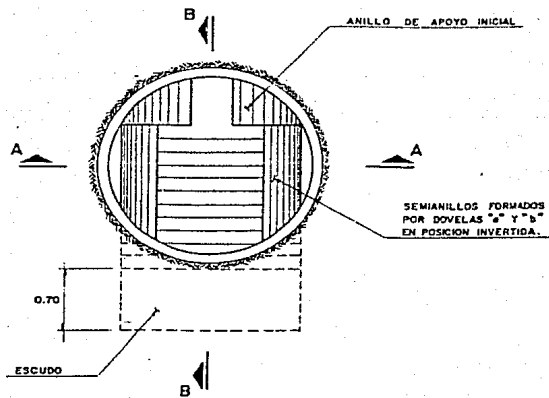


#### V.4 ARRANQUE INICIAL DEL ESCUDO .

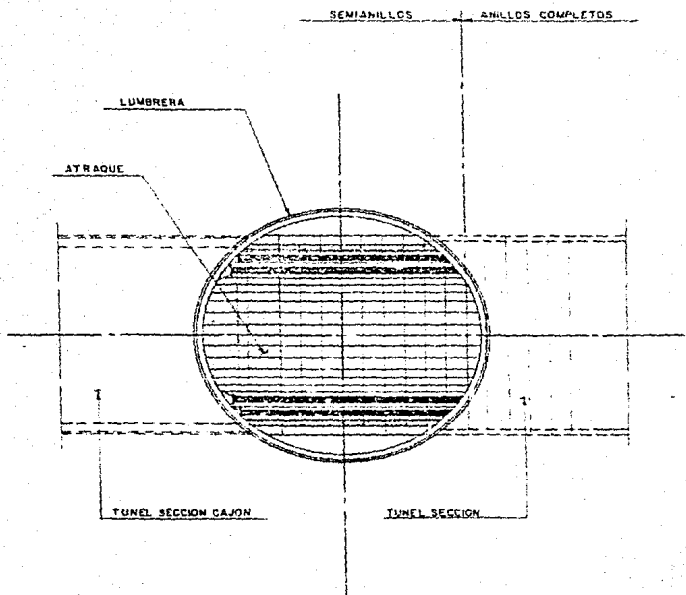
Para iniciar la perforación del túnel, el escudo se apoyara en una estructura de ataque constituida por semi-anillos formados por dos dovelas tipo "A" y "B" , colocadas en posición invertida . ( Ver Figuras (2.4,2.4') y (2.5,2.5') ). Los cuales a su vez se apoyan sobre la estructura colada in situ. Este conjunto constituye la estructura que transmite el empuje de los gatos a la pared de reacción de la lumbrera .

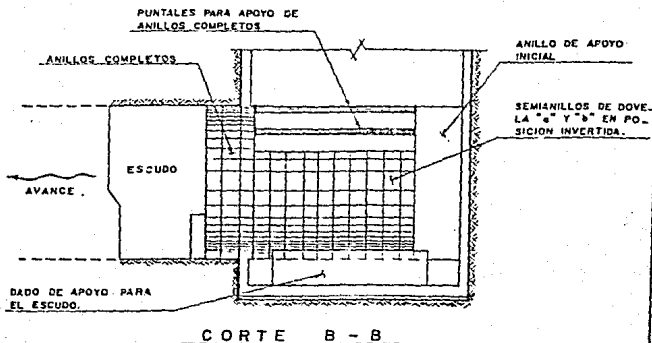
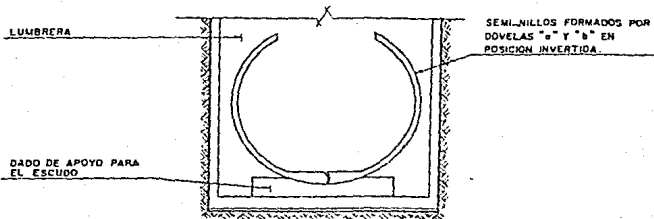
Una vez que el frente del escudo este en contacto con la pared que delimita la excavación a cielo abierto, se iniciara la excavación del frente abajo de dicho muro y al mismo tiempo se comenzara a colocar el primer semi-anillo dentro de la camisa del escudo . Lo cual se realizara con ayuda de los brazos erectores , terminando de colocar el primero y el segundo semi-anillo se rezagara el producto de la excavación del frente y se procedera a avanzar el escudo por tramos de 90 Cm. para poder ir colgando los semi-anillos subsecuentes .

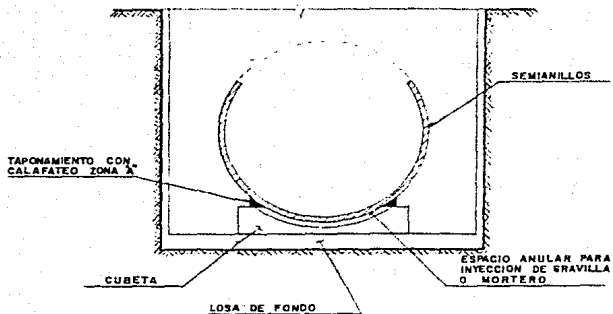
Una vez que la totalidad de la camisa del escudo este en contacto con el terreno, se iniciara la colocación de anillos completos, estos anillos se ensamblaran conforme a lo especificado en la figura ( 2.6 ) correspondiente y para garantizar su estabilidad, se apuntalaran en la parte superior el anillo de apoyo inicial .



PLANTA DE LUMBRERA

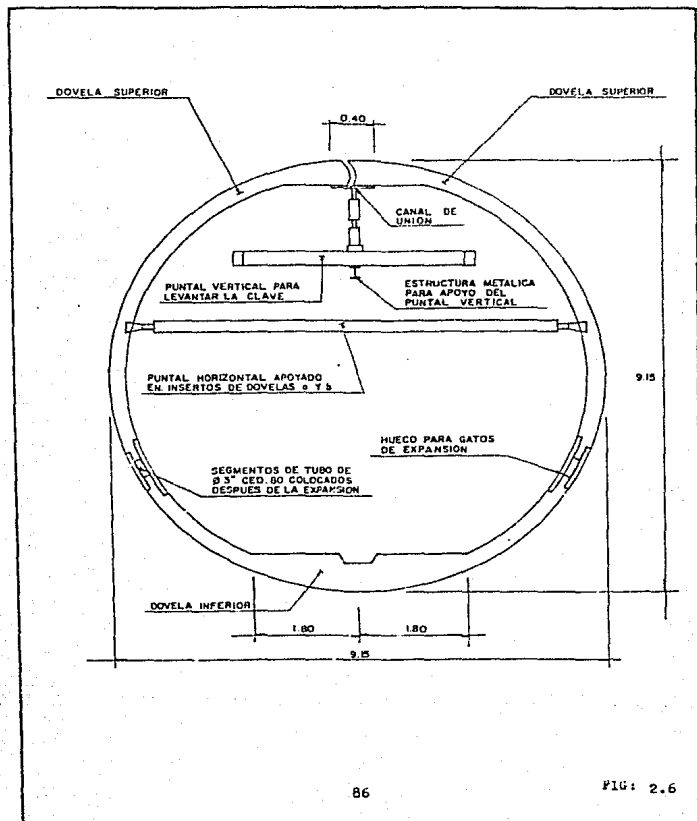






CORTE TRANSVERSAL

FIG: 2.5'



## V.5 AVANCE DEL ESCUDO .

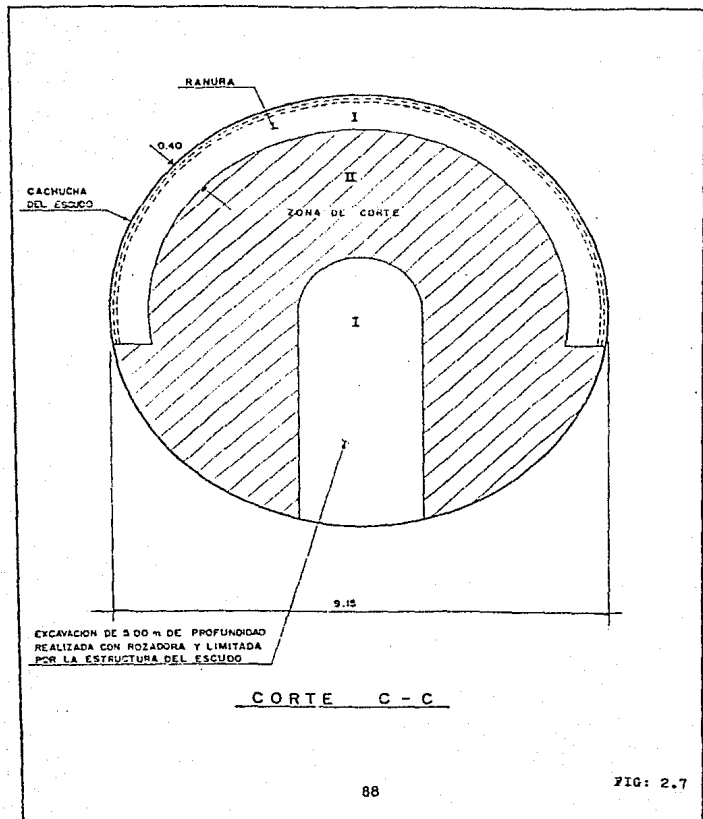
Colocado el escudo de avance se procedera a la excavación de una ranura de 40 Cm. de ancho y 90 Cm. en el sentido longitudinal del túnel, en la parte superior del frente, de tal manera que el perimetro exterior de la misma coincida con el perimetro de la excavación del túnel , tal como se indica en la figura (2.7 y 2.8)

El desarrollo de dicha ranura debera coincidir con la dimension perimetral de la cachucha del escudo, de tal manera que esta pueda avanzar libremente sin encontrar resistencia del suelo durante el empuje del escudo .

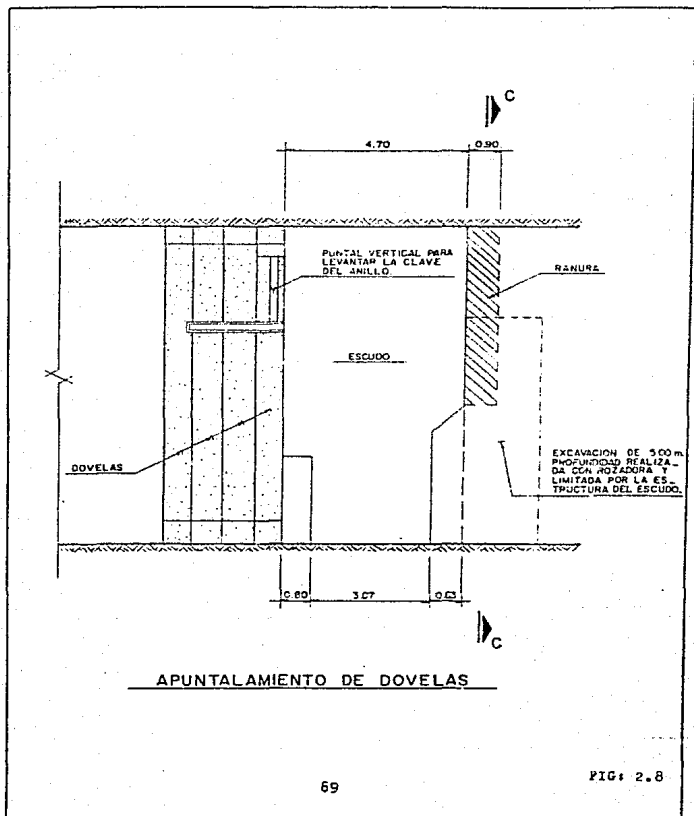
Paralelamente a la construcción de la ranura , podra realizarse una excavación con el equipo rozador en la parte central del frente, formado un portal cuyas dimensiones se indican en la figura quedando delimitada por la estructura del escudo. La longitud maxima de esta excavación sera de 5.0 mts.

Terminada la excavación de la ranura se procedera a efectuar el avance del escudo accionado el sistema de gatos de empuje , en cuyos vástagos se medira la longitud del avance, la cual sera de 90 Cm . subsecuentemente se suspendera la ejecución de la excavación central antes mencionada y se procedera a la excavación del resto del frente , marcado en la sección II en la figura ( 2.7 ) , hasta el cadensamiento definido por el fondo de la ranura .

Una vez realizado lo anterior se estara en condiciones de -- iniciar un nuevo avance, del mismo modo a lo indicado en los -- párrafos anteriores. La excavación de la ranura del nuevo avance podra realizarse paralelamente a la zona II del avance anterior.







La colocación de los anillos dentro del escudo se llevara a cabo paralelamente a la excavación de la zona II indicada anteriormente, asimismo las operaciones de rezaga se realizaran -- alternadamente con las acciones de excavación del equipo roza-  
dor .

Dependiendo de las condiciones de estabilidad del terreno por atravesar, la excavación de la ranura se realizara preferen-  
temente alrras de la cachucha del escudo y dependiendo de los - resultados de las nivelaciones superficiales, la excavación de-  
parte central antes mencionada se mantendra o dejara de ejecu-  
tarse, y se procedera a llevar el resto del frente con los ---  
mismos avances que la ranura .

En el caso de zona de curva en el trazo, la excavación de la --  
ranura debe tener ligeras sobre-excavaciones ( 10 Cm. como maxi-  
mo ) con el fin de facilitar el control topografico del escudo  
evitando de esta manera posibles daños a los anillos colocados  
debido a empujes forzados .

El ataque del frente se hera con herramienta manual o mecánica  
dependiendo de los aditamentos instalados en el escudo .

El avance del escudo se logra mediante la operación de los  
gatos de empuje . los cuales se apoyan por medio de sus zapatas  
en los anillos ya colocados .

Quando la presión de los gatos de empuje para un avance cualquiera rebasa los  $259.0 \text{ Kg/Cm}^2$ , se deberá realizar en la superficie de contacto de la camisa del escudo, con el terreno una inyección de una mezcla compuesta por lodo bentonítico, la cual se le agrega el 5% de aceite soluble .

La inyección mencionada, se realiza a través de las preparaciones existentes en el escudo ( ver figura 2.1 ). La presión máxima de inyección será de  $1.500 \text{ Kg/Cm}^2$ , el volumen límite de inyección será de  $1.0 \text{ M}^3$  por barreno .

El objetivo de la inyección antes mencionada , es el de reducir las fuerzas de fricción que se generan en la superficie de contacto entre la camisa del escudo y el suelo circundante, evitando de esta manera presiones excesivas en los gatos de empuje que pudieran dañar los anillos previamente colocados, en caso de que en un tramo se mantengan las presiones de empuje altas, se podrá efectuar la inyección a cada 10.0 mts. medidos en el sentido de avance del escudo .

## V.6 PROCEDIMIENTO PARA LA COLOCACION DE LOS ANILLOS.

El orden de colocación de las dovelas es indistinto, pero con el objeto de plantear una secuencia de colocacion ascendente se transportara en primer lugar la dovela "C" o cubeta al pie del escudo en donde se izara para colocarla en su posición definitiva dentro del faldon del escudo, posteriormente se transportaran las dovelas "A" y "B" , una por una para ser izadas y colocadas en posición para ser acopladas a los brazos erectos . los que las instalaran en su posición definitiva tal como se observa en la figura ( 2.1) .

Las dovelas "A" y "B" , traen insertos en la clave para ser unidas mediante un canal de 8 x 0.70 mts. ver fig: (2.6) .

Posteriormente se transportara hasta la parte posterior del escudo un troquel horizontal que se ensamble en dos insertos que para tal fin traen las dovelas "A" y "B" . ver fig: (2.6).

Una vez que el anillo haya salido de la camisa del escudo, se debiera colocar un puntal vertical de acero, cedula 40 y 6" de diametro el cual, mediante un gato hidraulico, ayudara a los gatos de expansion a levantar la clave del anillo, la colocación de este puntal vertical , se muestra en la fig: (2.6).

Habiendose colocado el puntal vertical antes mencionado, se procedera aplicarle la precarga correspondiente y a expandir el anillo mediante los gatos de expansion , los cuales se colocaran en los extremos de las dovelas A - C y B - C ; debiendo realizar estos eventos en forma simultanea. la precarga que se aplicara al puntal vertical, sera de 15 tons, y la correspondiente a los gatos de expansion sera de 30 tons .

Terminada la expansion se colocan dos tramos de tubo de 3" de diametro, cedula 80 con placa de 3/8" de 10 x 10 Cm. para -- recibir las dovelas : hecho esto se retiran los gatos de expansion y se ligaran las dovelas A - B y B - C . (ver fig: 2.6).

Concluido lo anterior, se colara el hueco ocupado por los - gatos de expansion con concreto  $f'c = 350 \text{ Kg/Cm}^2$  , con aditivo estabilizador de volumen despues de lo cual se podra retirar el puntal vertical, dejando ahogado en este colado los dos tramos de tubo de 3" de diametro .

El puntal horizontal colocado en los insertos de las dovelas "A" y "B" , deberan permanecer en su posición por lo menos 8 horas contadas a partir del momento de su colocación hasta el momento en que se retira .

## V.7 REZAGA DEL MATERIAL .

La rezaga del material, producto de la excavación del frente , se desalojara por medio de un cargador de descarga lateral el cual debera formar con este mismo material, una plataforma -- de trabajo para el transito del equipo a utilizarse, y el resto de la rezaga lo cargara en el equipo utilizado para la extracción de rezaga , En una primera etapa ( hasta 25 mts. de longitud -- aproximadamente ).

Las plataformas para via seran jaladas hasta la lumbrera , donde descargaran la rezaga directamente a las tolvas de elevación de rezaga .

Este procedimiento podra variar dependiendo de los recursos disponibles en obra o de mejoras que se implementen en la misma.

## V.8 INYECCION PARA REDUCIR LOS ASENTAMIENTOS SUPERFICIALES

Con objeto de garantizar el contacto entre el revestimiento y suelo , y con ello reducir los asentamientos superficiales que puedan presentarse durante la excavación del túnel , así como de reducir las filtraciones de agua del subsuelo hacia el interior del túnel , se llevaran a cabo inyecciones de acuerdo con lo --- siguiente :

Se utilizara los insertos para maniobras existentes en cada dovela , realizando perforaciones adicionales como las que se -- efectuan a traves de los insertos, deberan penetrar en el suelo circundantes 15 Cm .

Las perforaciones adicionales seran 3 en los anillos que se inyectaran en 2a fase y una en los anillos que se inyectaran en 3a fase ; estas perforaciones adicionales podran efectuarse durante la construcción de las dovelas o una vez colocadas estas en el interior del túnel, la secuencia de inyección y distribución -- tanto de insertos como de perforaciones adicionales se muestra en la figura : ( 2.1 ) \* .

Cada anillo debera contar con una inyección de dos fases, -- cuyos proporcionamientos se indican en la tabla al final de este inciso, la inyección de la primera fase se realizara en todos los anillos y las inyecciones de segunda y tercera fase, se efectuaran en anillos alternados tal como se muestran en las figuras : ( 2.9 y 2.10 ).

#### V.9 INYECCION DE PRIMERA FASE.

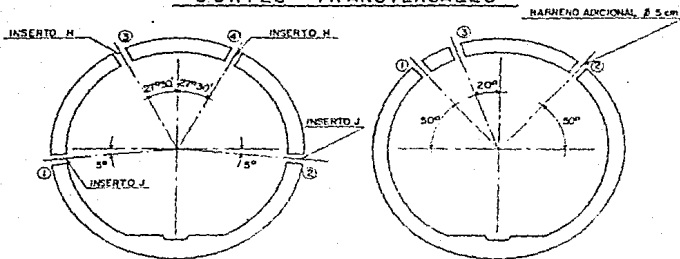
Antes de iniciar la inyección de primera fase, sera necesario calafatear las juntas de union entre las dovelas colocadas, -- con el fin de impedir la perdida de la inyección . este calafateado se efectuara con una mezcla formada por dos partes de cemento y una de yeso .

Una vez calafateadas las juntas se iniciara la inyección de la primera fase, la cual se llevara a cabo en cada uno de los -- insertos y se efectuara una vez que el anillo por inyectar, cuente con tres anillos como minimo o como cinco maximo entre el y -- el faldon del escudo, o bien no debera transcurrir un lapso mayor de 24 horas entre la colocacion de cualquier anillo y su -- inyección de la primera fase .

El volumen maximo a inyectar por anillo sera de  $1.0 \text{ M}^3$ . a una presion minima de  $1.5 \text{ Kg}/\text{Cm}^2$ . La inyección se suspende -- cuando se alcance el volumen indicado, tambien debera cumplirse que la mezcla que se inyecte tenga las caracteristicas y -- proporcionamientos tal que se obtengan resistencias como minimo de  $50 \text{ Kg}/\text{Cm}^2$ . a los siete dias .

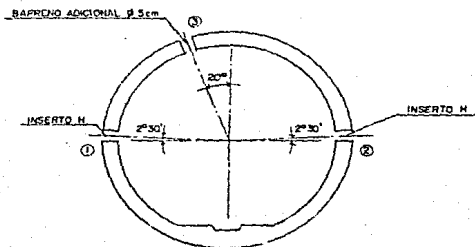


## CORTES TRANSVERSALES



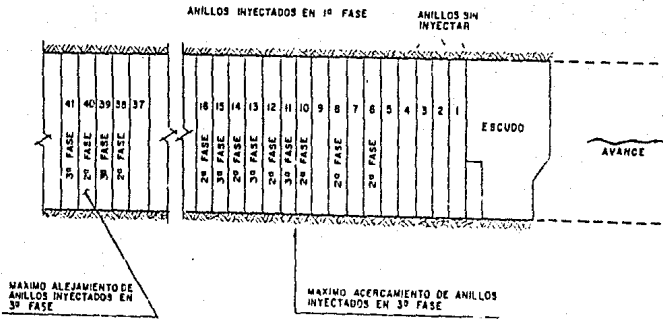
ANILLOS QUE SE INYECTARAN  
EN 1ª FASE

ANILLOS QUE SE INYECTARAN  
EN 2ª FASE



ANILLOS QUE SE INYECTARAN  
EN 3ª FASE

86



CORTE LONGITUDINAL

FIG: 2-10

### INYECCION DE SEGUNDA FASE .

Para la realización de la inyección de segunda fase, el anillo por inyectar , debers contar con la inyección de primera fase y tener entre este anillo y el faldon del escudo, una distancia variable ente cinco y siete anillos . es decir , el sexto u octavo anillo localizado atras del faldon sera el que se este inyectando en segunda fase .

El volumen a inyectar por anillos sera de  $1.0 M^3$  . a una presion de  $1.5 \text{ Kg}/\text{Cm}^2$  . la inyección se suspendera cuando se alcance dicha presion, ademas debera verificarse que la mezcla que se inyecta tenga una resistencia de  $35 \text{ Kg}/\text{Cm}^2$  . como minimo a los siete dias .

### INYECCION DE TERCERA FASE .

Para efectuarse la inyección de tercera fase a un anillo, este debera contar con la inyección de primera fase y tener entre el y el faldon del escudo una distancia variable entre 10 y 12 anillos , es decir , el maximo acercamiento de la inyección de tercera fase al faldon del escudo, sera de 10 a 12 anillos así como la distancia al anillo más alejado de dicho faldon en que se realice la inyección de tercera fase no debera exeder de 40 anillos.

El volumen maximo a inyectar por anillo sera de  $1.0 M^3$  . a una presion de  $1.5 \text{ Kg}/\text{Cm}^2$  . La inyección se suspendera cuando se alcance dicha presion, ademas , debera verificarse que la mezcla que se inyecte tenga una resistencia de  $30 \text{ Kg}/\text{Cm}^2$  . como minimo a los siete dias .

Las presiones de cada una de las inyecciones, se indican a continuación :

	1a. FASE	2a. FASE	3a. FASE
AGUA ( LTS. )	136	160	152
CEMENTO ( KGS. )	250	250	250
BENTONITA ( LTS. )	67	42	50.2
ARENA ( KGS. )	160	150	---
ACELERANTE DE PRAGUADO .	2.5	---	---

La bentonita debere cumplir con el proporcionamiento indicado para cada fase y ademas con un tiempo minimo de hidratacion - de 8 horas .

La arena que se utilice para la elaboracion de la mezcla de inyeccion , debere estar constituida por particulas redondas ,-- preferentemente de rio, con dimensiones maximas de 1.5 mm. los - limites granulometricos seran los siguientes :

MALLA No.	% QUE PASA .
8	100
10	90 - 100
30	40 - 85
50	20 - 25
100	10 - 30

## V.10 METODO AUSTRIACO .

Otro de los métodos constructivos correspondientes a la línea de trazo entre ambas estaciones, es el Método Austriaco .

Que va a comprender la otra parte , del avance de la Lubrera de la zona sur de la línea de trazo, hasta llegar a la estación -- Estadio Olimpico .

En donde en este tramo atraviesa una toba constituida por material arcilloso arenoso o limo arenoso intercalado con una capa de arena pumítica, la cual debiera vigilarse durante el proceso de -- excavación ya que en algunas zonas se presenta en clave y podría generar problemas de inestabilidad . Los materiales arcillo-areno so antes citados, se presentan con grado de compactación medio a alto siendo también alto su resistencia al corte, por lo que se -- considera un material cuyas condiciones son favorables a la estabilidad del túnel .

En general, la roca basáltica en la que se excavara parcialmente el túnel no se presenta muy alterada y se tendrá muy esporádicamente el problema de cuñas de roca inestable en la clave, dicho problema se ira solucionando a medida que se vaya presentando mediante las recomendaciones del procedimiento constructivo .

Por otra parte habra constante presencia de agua en el contacto -- entre arcilla arenosa y basalto, debido a que esta roca es muy -- permeable, a causa principalmente de su fracturamiento y en parte a su versicularidad, por lo que el agua que se infiltra por las -- fracturas del macizo rocoso encuentra hacia la parte inferior de la colada, la capa de arcilla arenosa de caracter impermeable, -- provocando que no sea posible la filtración de agua hacia capas -- más profundas del subsuelo . y por ultimo se presentara la necesidad de la voladura con explosivos en algunos puntos rocosos en -- donde sea unicamente necesario .

Este método se realizara por etapas ; de tal manera que en cada una de ellas se vaya formando secciones semicirculares -- tangentes cuyos diámetros iran creciendo hasta alcanzar el correspondiente al túnel principal . La parte inferior de la seccion se excavara una vez que lo anterior se haya realizado .

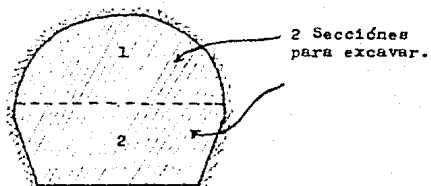
La excavación correspondiente a cada diametro se llebara a cabo mediante avances parciales tal como se indica en las fig: ( 3.1 ) para la seccion de menor diametro .

Concluida la excavación lateral en toda la seccion del -- túnel principal en la longitud B , correspondiente al ancho -- de la cubeta del túnel de union ; se procedera a revestir dicha excavación con una capa de concreto lanzado de 10 Cm. de espesor reforzada con malla electrosoldada, despues de lo cual se-- procedera al colado convencional del revestimiento definitivo.

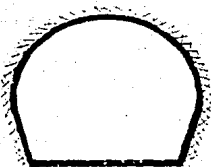
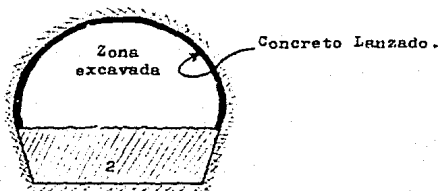
La excavación del túnel se hara a seccion completa , siendo factible llevar un banqueo que permita la ejecucion de las actividades de excavación, colocación de refuerzos y lanzado de concreto correspondiente . El avance maximo de excavación sin ademe sera de 5.0 mts. ,de tal manera que el frente de excavación nunca debera estar a una distancia mayor a la indicada, medida a partir del ultimo tramo revestido con concreto lanzado cuya -- resistencia de proyecto haya sido alcanzada .

El revestimiento del túnel debera estar constituido de la siguiente manera :

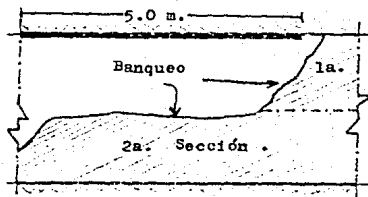
## - METODO AUSTRIACO -



CORTE TRANSVERSAL



Ambas secciones excavadas .



CORTE LONGITUDINAL.

FIG: 3.1

- a) Revestimiento primario formado por una capa de 10 Cm. de espesor de Concreto Lanzado .
- b) Revestimiento definitivo formado por una cubierta de concreto armado colado en sitio, de 30 Cm. de espesor .

La secuencia de excavación y colocación del revestimiento debera realizarse de acuerdo a los lineamientos siguientes :

#### CICLO DE TRABAJO .

La excavación y revestimiento se realizara mediante ciclos de trabajo cuyas etapas son las siguientes :

- a) Excavación de la seccion .
  - b) Extracción de la rezaga .
  - c) Colocacion de la Malla .
  - d) Colocacion del Concreto Lanzado .
  - e) Colocacion del Revestimiento Definitivo.
- (e) No forma parte del ciclo, ya que se colocara una vez terminada la excavación y revestimiento primario de todo el túnel .

A continuación se describiran las etapas anteriores .

- a) Excavación de la seccion.

La excavación se realizara a seccion completa o mediante --banqueo segun lo requiera el contratista, con avances maximos --de 5.0 mts. de longitud, esta dimension podra modificarse de --acuerdo a las condiciones de estabilidad del suelo y bajo pre--via autorización del proyectista .



La excavación del frente se hará con maquinaria tipo :  
"ALPINO" o similar , auxiliada de martillos de operación manu-  
al, neumaticos o de sistema hidraulicos .

b) Rezaga del material producto de la excavación .

Conforme se vaya avanzando en el frente de excavación , el  
material de rezaga se ira depositando en vagones montados so-  
bre vias, a traves de un cargador frontal, dichos vagones lle-  
varan el material hasta las tolvas receptoras de la lumbrera .

c) Colocación de la Malla Electrosoldada .

Una vez que el frente de excavación haya avanzado lo sufi-  
ciente para permitir las labores de colocación de la Malla elc-  
trosoldada, esta se fija a las paredes del túnel mediante va-  
rillas ancladas y alambres recocidos, cuidando siempre de de-  
jar la separacion suficiente entre las paredes del túnel y la  
malla , de modo que quede un recubrimiento de 5 Cm. como mini-  
mo .

d) Colocación del Concreto Lanzado .

Esta actividad consiste en colocar Concreto en las paredes  
de la excavación mediante el uso de un aplicador neumatico, de  
modo que el concreto se mezcle previamente en seco y se le añ-  
da agua en la boquilla de la manguera de aplicación mediante  
un dispositivo especial llamado chiflon . a la mezcla prepara-  
da previamente puede incorporarse un acelerante de fraguado de  
modo que la mezcla sea así enviada hacia la boquilla mediante  
el uso de aire comprimido.

La aplicación y dosificación de la mezcla del concreto lanzado  
debera consultarse más específicamente en los temas posteriores.

e) Colocación de Revestimiento Definitivo .

Una vez recubiertas las paredes del túnel mediante Concreto Lanzado en toda su longitud desde la intersección de la lumbrera hasta la zona de la estación Estadio Olímpico, en los cadeng mientos  $22 + 800$  hasta el  $23 + 090.127$  , se iniciara el armado y colado en forma convencional de las guarniciones del túnel, habiendo colado las guarniciones, se procedera a construir el resto del arco y finalmente se armara y colara la losa de fondo - ( cubeta ) .

## ABATIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO

Para garantizar la estabilidad del frente, se hace necesario abatir el nivel freático a una profundidad inferior a la de la plantilla del túnel. El bombeo evita fuerzas de filtración hacia el interior del túnel, así como el arrastre y tubificación de suelos no cohesivos.

Ensi es muy esporádica la presencia del N.A.F., sin embargo existen algunas zonas que las podemos ubicar con exactitud en los planos como es el caso del cadensamiento 22 + 816.894, encontrándose en la zona de excavación realizada por el método austriaco, existiendo en esta área boleos en matriz con presencia de arena arcillosa con intercalaciones de arena pumítica.

El bombeo se hace en pozos profundos de 45 Cm. de  $\varnothing$  localizados a cada 20.0mts. a uno y otro lado del túnel y con una profundidad tal que lleguen a 9.00 mts. por debajo de la plantilla del túnel. Dentro de cada perforación se introduce un tubo ranurado de 8" de diámetro al que se le adosan seis aletas radiales formadas por varillas de  $3/8$ ", cuyo diámetro circunscrito se ajusta a las paredes de la perforación para formar un recinto dentro del cual se coloca un filtro de arena bien graduada.

La extracción del agua del interior de los pozos se hace con bombas eléctricas sumergibles, de 1.67 lts/seg. de capacidad controlada con dos interruptores de electrónivel.

El interruptor de arranque y el de parada se localiza a una profundidad tal que quedan instalados a 5.00mts. y 6.50 mts. respectivamente por debajo de la plantilla del túnel., el bombeo se lleva 60mts. adelante del frente de ataque del túnel, empezando a bombear 10 días antes de que el túnel pase por la sección y se suspenda 30 mts. atrás del frente, esto se hace para tener mayor estabilidad en los suelos con respecto a la excavación del túnel.

## EXCAVACION EN TUNELES POR EL METODO DE BARRENACION

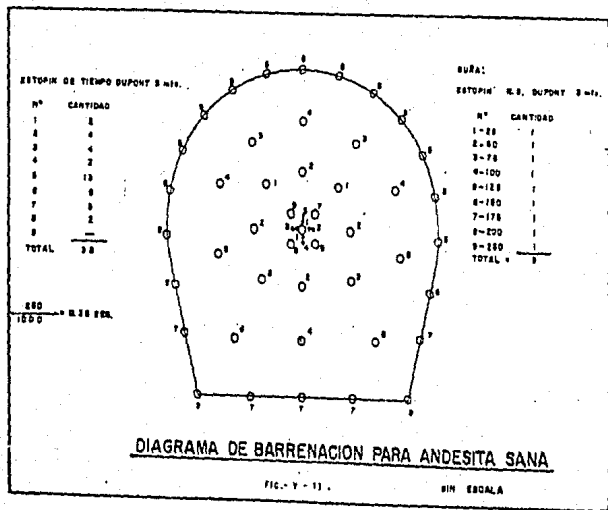
Esté método es llevado acabo unicamente cuando fuese necesario , para la elavoración de la construcción del túnel. Cabe mencionar, que no se le da demasiada énfasis a este tema, por su pequeña contribución, ablando en el sentido de persistencia., puesto que es a su vez un método de gran importancia que se requiere en el uso de enrocamientos mazisos de gran resistencia .

### BARRENACION

Esta actividad consiste en efectuar las perforaciones necesarias en el frente de trabajo, distribuidas según un Diagrama de Barrenación previamente elaborado y calculado para obtener - el producto de la voladura con la fragmentación y el avance -- deseado .

Un Diagrama de barrenación, básicamente esta formado por 3 partes :

- 1.- Una parte en donde se muestra en sección, la distribución - de los barrenos con la respectiva secuencia de tiempos .
- 2.- Otra sección en donde se muestra por zonas, las cargas con - explosivos, es decir, que no todos los barrenos con el mismo tiempo se deberá cargar igual y viceversa .
- 3.- Una planta en donde se muestra un corte horizontal del tipo de cuña , indicando la distribución de la carga explosiva. ( Fig: V - 13 , V - 14 y V - 15 )., siendo estas ilustraciones un ejemplo, puesto que no concuerdan las mediciones con nuestro caso en particular .



Se muestra la distribución de la carga explosiva en un cote horizontal .

Se muestra la distribución de la carga explosiva en un corte horizontal .

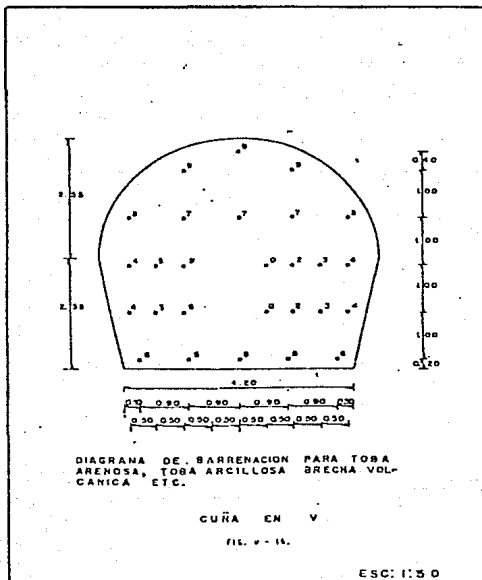
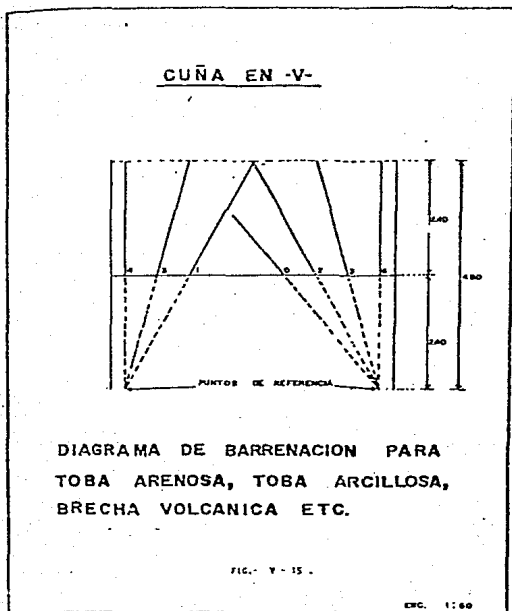


FIG: V - 14

Corte Horizontal de tipo de cuña, indicando la distribución o puntos de referencia para los explosivos.



Es conveniente tambien anexar ademas al Diagrama de Barranación:

- a) Una sección en donde se muestre el Diagrama de Conexión Eléctrica .
- b) Datos numéricos fererente a consumo de explosivos (  $\text{kg}/\text{m}^3$  ), consumo de estopines en piezas por  $\text{M}^3$ , coeficiente de barranación en ML por  $\text{M}^3$  .

Un Diagrama de barranación, siempre será tentativo y deberá corregirse de acuerdo con el resultado que se obtenga en la -- práctica, pero debera tenerse el suficiente cuidado para que -- todo se haga de acuerdo con el Diagrama original, con el objeto de llegar a resultados prácticos, es decir, si la barranación -- se ejecuta mal, si el explosivo no se retaca , si los tiempos -- usados no son correctos, si la conexión eléctrica no se verifi- ca , etc., entonces no se podrá determinar que debe corregirse en ese diagrama ,

En conclusión, podrá determinarse que el Diagrama no dio -- buen resultado, cuando la realidad es que , algunas de las razn- nes antes expuestas, es la verdadera razón de una falla .



## CARGA CON EXPLOSIVOS Y CONEXION ELECTRICA

En terminos generales, para cargar un frente , podemos enunciar las siguientes actividades :

- 1.- Manejo de los explosivos hasta que llegen al frente del trabajo .
- 2.- Preparación y carga propiamente dicho de los explosivos en la barrenación .
- 3.- Conexión eléctrica .

## RETIRO DE EQUIPO, VOLADURA Y VENTILACION

### a) Retiro del equipo .

Previamente a la voladura, se tendrá que retirar todo el equipo con el cual se llevo a cabo la barrenación, y debiera ser colocado a una distancia tal que el producto del disparo no afecte este equipo .

### b) Voladura .

Teniendo verificados todos los circuitos y retirado el personal del frente, se procede a realizar la voladura, esta puede ser eléctrica o con un explosor de capacidad adecuado .

### c) Ventilación .

Existen tres sistemas de ventilación en la excavación en túneles :

- 1.- Inyección de aire fresco desde el exterior durante toda la operación del ciclo .
- 2.- Extracción de humos y gases desde el interior del túnel -- durante todas las operaciones del ciclo .
- 3.- Inyección de aire fresco durante las operaciones generales de barrenación y rezaga, extracción durante la carga y -- voladura .

#### REZAGA DEL MATERIAL PRODUCTO DE LA VOLADURA

Esta actividad consiste en la carga del material tronado a las vagonetas, para que , posteriormente, sean transportadas y vaciadas en la alcancía localizada en el fondo de la lumbrera y aquí llevar ( mantear ) el material al exterior .

## V.11 CONCRETO LANZADO

Como se observa en las descripciones anteriores el procedimiento del concreto lanzado, es muy usual en el desarrollo de la construcción del túnel, por esta razón describiremos las -- características y el procedimiento de colocación del concreto lanzado según sea requerido .

### PROPIEDADES Y MATERIALES

Sera condición necesaria una vez descubiertas las paredes de la excavación en la etapa o avance en proceso, la inmediata colocación del concreto lanzado evitando de esta forma el afloramiento del material de las paredes , y el desconfinamiento - debido a la descarga generada por la excavación.

El concreto lanzado sera elaborado con cemento portland, - agregados secos (gravilla o granzon ) y aditivos acelerantes, - esta mezcla se hara pasar por el equipo de lanzado que neumáticamente lo enviara hasta la boquilla de proyección, en donde - se le adicionara el agua necesaria para la hidratación .

La humedad de la mezcla antes de llegar a la boquilla, debera estar entre el 2 y 5% , rango adecuado para evitar problemas con la producción de polvos y taponamiento de mangueras, por lo cual sera necesario dar el procedimiento adecuado de agua - cemento en la boquilla con personal suficientemente capacitado.

Para la dosificación de la mezcla del concreto lanzado se empleara preferentemente cemento portland del tipo 1 , de tal manera que cumpla con las características consignadas en las especificaciones generales de construcción de la extinta S.O.P en su cláusula 96-02, correspondiente a la parte octava .

Los materiales petreos que se utilicen para la elaboración del concreto lanzado, deberan cumplir como minimo con las siguientes especificaciones de calidad :

- a) El agregado debera tener un tamaño maximo de 15.9 mm. (5/8") y resistencia estructural superior a la resistencia de proyecto del concreto. En la figura No. 1 , se muestra los límites de las curvas granulometricas dentro de las que debera caer el material petreo para emplearse en la elaboración del concreto lanzado, donde el % de arena no debera exeder el 60 % de la mezcla de agregados .
- b) La arena para el concreto lanzado debera tener un modulo de finura de 2.4 a 3.2 , con no más del 2% de material que pase por la malla No. 200 .
- c) Deberan estar exentos de sustancias perjudiciales tales como partículas suaves, polvo o carbon .
- d) Bajo la prueba de intemperismo acelerado, el agregado fino - no debera tener una perdida en peso, mayor al 15% cuando se emplee sulfato de magnesio .
- e) Las partículas que tengan forma alargada o de laja no exederan del 35% del volumen total de la mezcla .

El agua que se emplea en la fabricación del Concreto Lanzado debiera ser potable, y por lo tanto estare libre de materias perjudiciales, tales como aceite,grasa,materia organica , etc., debiendo satisfacer los siguientes requisitos quimicos; establecidos en las especificaciones de S.O.P. antes mencionadas .

Sulfato ( Convertido a $Na_2SO_4$ ), maximo	1000 P.P.M
Cloruros ( Convertidos a $NaCl$ ), maximo	1000 P.P.M
Material Organico ( Oxido consumido en medio acido ), maximo	50 P.P.M
Turbiedad , maxima	1500 P.P.M

Donde : P.P.M Partes por Millar .

Debido a que el empleo de aditivos reduce la resistencia -- final del concreto y su sobredosificación puede ocasionar efectos contrarios ( retardantes de fraguado ), sera fundamental res- petar el procedimiento de fabrica . Sera recomendable el empleo- de aditivos en polvo que no contengan cloruros los cuales se ad- cionaran a la mezcla seca directamente en la tolva de alimenta- cion de la lanzadora, ya sea manualmente o con aparato dosifica- dor ; para el caso del empleo inmediato de la mezcla , el aditi- vo podra agregarse al momento de elborar la mezcla, en caso con- trario no se recomienda, ya que la humedad natural del cemento y de los agregados origina el fraguado prematuro .

El Concreto debera cumplir con los siguientes requisitos :

- El tiempo de fraguado inicial (maximo) 3 minutos
- Tiempo de fraguado final (minimo) 12 minutos
- Resistencia a la compresion simple de la mezcla a una edad de 8 horas, en cubos de 5 Cm. de lado .  $f'c = 60 \text{ Kg/Cm}^2$ . (minimo ).

Por el alto contenido caustico en los aditivos en polvo es necesario que el personal expuesto durante el proceso de lanzado cuente con equipo de protección ( guantea de hule, lentes - protectores y mascarillas purificadoras ).

El Concreto Lanzado que constituirá el elemento de soporte debera tener una resistencia  $f'c = 200 \text{ Kg/Cm}^2$ . ( proporsion - 1:6 en peso ) .

#### EQUIPO DE LANZADO

Debera contarse con equipo para realizar el mezclado de los materiales en seco ; bombas para impulsar la mezcla hasta la -- boquilla , mangueras para adicionar el agua en la boquilla y -- expulsarla con aire a presión . Así como compresores con capacidad adecuada para alimentar aire seco y mantener una velocidad de lanzado uniforme al realizar la aplicación .

Para impulsar la mezcla seca hacia la boquilla se podran -- emplear dos tipos de equipo : El de doble camara de presion y -- el de rotor tipo revolver .

El primero está compuesto por dos cámaras metálicas superpuestas, con válvula intermedia y otra en la cámara superior, en la tolva de entrada del material. En la figura No. 2 se ilustra el equipo; para la operación de este lanzador se requiere que el operador posea amplia experiencia.

La Lanzadora de rotor tipo revolver, consta de tambor giratorio que tiene cierto número de cámaras cilíndricas. Este tambor está instalado entre dos placas de hule duro con respaldo de acero; al girar, cada una de las cámaras pasa por un orificio, en donde se llena con la mezcla que proviene de la tolva de alimentación. Posteriormente, cada cámara pasa por un orificio de descarga, en donde la mezcla es impulsada con aire comprimido a través de la manguera (figura No. 3).

Dentro de las especificaciones para la operación eficiente de los equipos de lanzado se requiere del orden de 600 a 700 PCM de aire, con presión a la salida constante y no menor de  $3.9 \text{ Kg/Cm}^2$ . para un lanzador con una longitud de manguera de conducción de 30 mts. máximo, debiéndose incrementar en  $0.30 \text{ Kg/Cm}^2$ . por cada 15 mts. de manguera adicional.

#### PROCELMIENTO DE LANZADO

Independientemente de la calidad de los materiales constituyentes de la mezcla, en el proceso de lanzado se deberá garantizar la reducción en el porcentaje de "rebote" (desperdicio) del material y el logro de compactación óptima del concreto, para lo cual deberá cumplirse con los siguientes puntos:

- a). La boquilla de lanzado debera proyectar la mezcla perpendicularmente a la superficie de trabajo, siendo importante que el concreto cumpla con el espesor requerido , (figura No. 4 ).
  
- b). La separación entre la superficie de trabajo y la boquilla de proyección debera mantenerse entre 0.6 y 1.20 mts. de distancia, realizando un movimiento elíptico -- tal como se muestra en la (figura No. 5 ).
  
- c). En el proceso de lanzado debera mantenerse constante la presión de agua y aire , de 5.0 y 5.7  $Kg/Cm^2$ . respectivamente. el lanzador debera ir graduando la cantidad de agua de acuerdo a las condiciones del terreno que se -- vayan presentando, y a la observación del concreto con el fin de lograr el mínimo de rebote y una buena compactación .

El lanzador debera contar con equipo que lo proteja de material de rebote, del polvo que se genera durante el lanzado y de quemaduras por la alta alcalinidad de los aditivos acelerantes de fraguado .

#### CONTROL DE CALIDAD

Para el correcto control de Concreto Lanzado sera condición necesaria tomar muestras durante la aplicación y realizar con ellas ensayos de compresion simple a diferentes edades (8 horas y 28 días ). por cada etapa de excavación sera indispensable -- cumplir con algunas muestras a lo largo de la elaboración del -- túnel .



El muestreo podra realizarse por medio de moldes de madera fijos sobre las paredes de la excavación, para recoger el concreto acumulado durante la aplicación y posteriormente labrar las probetas necesarias para los ensayos (figura No. 6). como caso alterno podra muestrearse in situ mediante barriles muestreadores convencionales ( extracción de corazones ) .

La resistencia del Concreto Lanzado colocado debera tener las resistencias minimas que a continuación se indican :

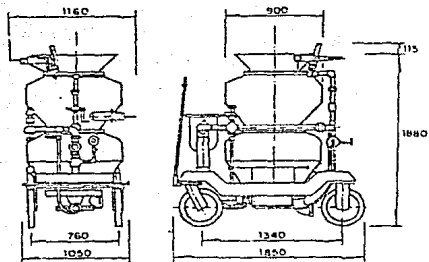
EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE ( MINIMO )
24 horas	90 Kg/Cm <sup>2</sup>
3 días	120 Kg/Cm <sup>2</sup>
7 días	150 Kg/Cm <sup>2</sup>
28 días	200 Kg/Cm <sup>2</sup>

La resistencia arriba indicada se obtendran del ensaye de -- corazones de 3" de  $\varnothing$  , cuyo resultados seran corregidos por --- factor de esbeltez para una relación de 2:1 ( altura - diametro) de acuerdo a la norma A.S.T.M.-C-42. para las edades menores a 28 días el concreto se considerara adecuado si el promedio de -- dos corazones por edad es por lo menos igual al 85 % de la resistencia especificada y ningun corazon tiene la resistencia menor del 80 % de la misma . El promedio de 10 pruebas consecutivas -- debe ser mayor que las resistencias especificadas .

No mas del 1 % de las pruebas de resistencia a la edad de -- 28 dias , puede ser menor que la resistencia menos  $50 \text{ kg/Cm}^2$  . Los valores de resistencia se clasifican con el criterio anterior tomando en cuenta que los resultados se obtendran del ensaye de -- corazones, los cuales representan el 85 % de la resistencia de -- cilindros estandar .

#### NOTAS IMPORTANTES

- 1.. El Concreto suave, flojo o que presente desconchamiento, -- debera eliminarse sustituyendolo por Concreto sano durante las etapas de trabajo .
- 2.. Las hojas de malla electrosoldadas adyacentes deberan traslaparse la longitud correspondiente a dos perforaciones de la malla, y deberan amarrarse firmemente entre si con alambre a distancias que no excedan de 20 Cm .
- 3.. En caso de filtración a traves del soporte, deberan colocarse tubos de filtración para aliviar la presion hidrostática.
- 4.. Todas las superficies en que se coloque el Concreto Lanzado deberan limpiarse con un chiflon de aire - agua para garantizar una liga adecuada , debiendo humedecerse inmediatamente antes de la aplicación de la mezcla a presion de impacto nulo .
- 5.. El Concreto Lanzado terminado debera curarse adecuadamente por ( aspersión ) continuo y uniforme de agua, despues de -- un periodo de 8 horas de su colocación y por un periodo no mayor de 7 dias, el agua para el curado debera ser de la -- misma fuente que el agua para la mezcla .

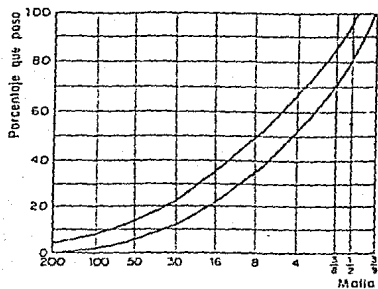


Aclaraciones, en mm

Lanzadora de doble cámara de presión

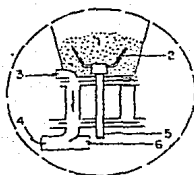
FIG. 2

- 6.. La mezcla para el concreto lanzado debere ser homogenea -- para lo cual se requiere un tiempo minimo durante el proceg so de mezclado de 2 minutos ( minimo ) .
- 7.. No deberan utilizarse mezclas secas ( cemento - agregado ) con tiempos mayores de preparaci3n de una hora, tampoco -- deberan mezclarse el material de rebote con ninguna mezcla. Igualmente se procedera con aquellas mezclas que presenten hidrataci3n prematura .
- 8.. Sera condici3n necesaria el cubrir las superficies verticales de la excavaci3n de la parte inferior hacia la superior no permitiendo que se forme concentraciones de material de rebote .
- 9.. La mezcla lanzada terminada debere presentarse un aspecto-- denso y uniforme . no debiendose observar desprendimientos entre capas lanzadas sucesivamente sobre la superficie expuesta del suelo .
- 10..Debido a que la calidad del Concreto lanzado depende basicamente de la experiencia de los operarios sera necesario un programa de pruebas antes de iniciar la ejecuci3n definitiva de los trabajadores .

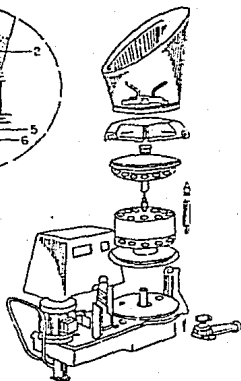


Concreto lanzado. Límites granulométricos

FIG. 1

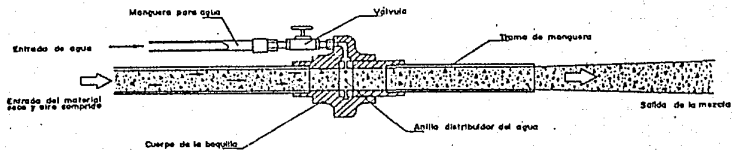


- 1 Materiales secos
- 2 Agitador
- 3 Entrada de aire
- 4 Salida a boquilla
- 5 Eje del rotor
- 6 Aire suplementario

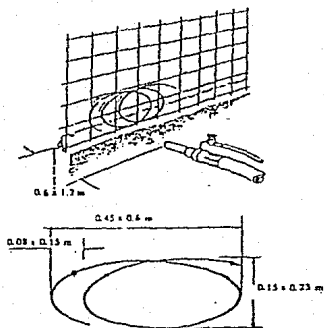


Lanzadora tipo revólver

FIG. 3



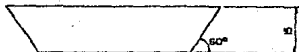
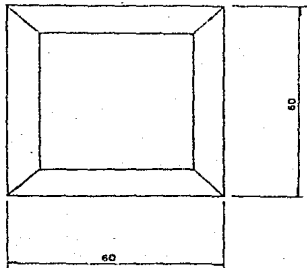
Boquilla de lanzado para mezclas secas



Procedimiento de lanzado

FIG. 5

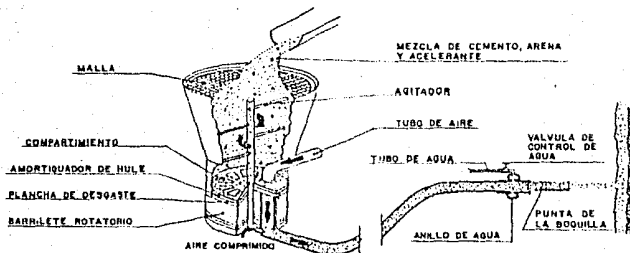




ARTESA DE MADERA PARA OBTENER MUESTRAS DE  
CONCRETO LANZADO

FIG. 6

011



OPERACION CARACTERISTICA DE CONCRETO LANZADO DE MEZCLA SECA

C A P I T U L O      V I

## VI INSTRUMENTACION

En la presente especificación se describe la instrumentación que debiera llevarse acabo en el túnel perteneciente al tramo -- San Angel - Estadio Olimpico , localizados entre los cadenamientos 22 + 066.09 al 23 + 090.12 de la línea 7 Sur del Metro, tal como se muestra en el plano correspondiente .

### VI.1 OBJETIVO DE LA INSTRUMENTACION

Registrar el comportamiento que se acusa en el espacio afectado por la excavación de los diferentes procedimientos constructivos utilizados, donde esta induce variaciones en el estado físico del medio que lo rodea, es decir, variaciones en el estado de esfuerzos e inducidos de deformaciones y desplazamientos de la masa del suelo en que se excava el túnel y en los elementos estructurales que se utilizan para estabilizar la coqueada creada.

El Objetivo principal de colocar estaciones de medición , se resume en general , en los siguientes puntos :

1. - Obtener un conocimiento más completo por parte de la constructora del comportamiento de la excavación , en función de los diferentes procedimientos constructivos utilizados.
2. - Determinar las propiedades reales del masizo rocoso .
3. - Incrementar la seguridad de la excavación, utilizando las medidas convenientes para mantener dicha excavación en condiciones normales de estabilidad antes de colocar el revestimiento definitivo .

4. - Comparación del comportamiento real con los resultados teóricos obtenidos de los estudios geotécnicos .
5. - Aumentar la economía del túnel al determinar cual es el sistema de soporte provisional que resulta más adecuado para la excavación .
6. - Detectar problemas especiales en el masizo rocoso que pudiera provocar problemas durante la construcción del túnel. ( fluencia - viscoplástica , roca con características expansivas , zonas de falla , desprendimientos, interperismos , etc., ) .

Para cumplir con este objetivo, será necesario implementar una instrumentación con secciones de convergencia, extensómetros y nivelaciones superficiales. Las secciones de convergencia registrarán las perforaciones directas en el interior del túnel inmediatamente después de su excavación, los extensómetros registrarán las deformaciones verticales que sufra el suelo antes , y después de la excavación ; Y las nivelaciones en superficie registrarán los hundimientos o expansiones en la superficie del suelo , las lecturas se realizan de igual forma que en los extensómetros .

## VI.2 LOCALIZACION DE LAS SECCIONES DE INSTRUMENTACION

Los sitios a instrumentar se determinan básicamente según las características estratigráficas del trazo , de tal manera que cumplan satisfactoriamente el propósito de la instrumentación .

## SECCIONES DE CONVERGENCIA

Las secciones de convergencia se localizan en los cadenamientos que se indican en los planos de instrumentación correspondientes y en la relación que se da a continuación :

CADENAMIENTOS	CADENAMIENTOS
22 + 071.090	22 + 551.090
22 + 151.090	22 + 651.090
22 + 251.090	22 + 351.090
22 + 451.090	22 + 751.090
22 + 761.090	22 + 871.127
22 + 921.127	22 + 971.127
23 + 021.127	23 + 085.127

## EXTENSOMETROS

Los puntos donde se ubicaran los extensómetros seran en los cadenamientos siguientes :

CADENAMIENTOS
22 + 401.090
22 + 601.090

Se determinaron estas zonas de cadenamientos , por la sencilla razon de que en estas áreas el material que se encuentra en las claves del túnel, son muy variables en cuanto a sus características, ya que se trata de sedimentos con grado de cementación variable.. Ypor lo tanto es necesario que se encuentre en estado de observación constante .

## NIVELACIONES SUPERFICIALES

### BANCOS DE NIVEL SUPERFICIAL SOBRE EL EJE DEL TUNEL

Los asentamientos observados en la superficie, sobre el eje de trazo del túnel, varían entre 3.0 y 4.0 Cm., observando se de dos a cuatro días antes de que el escudo pase por la vertical del punto observado, expansiones del terreno de hasta 0.6 Cm. Las velocidades de hundimiento registrado fueron : 4.0 mm/día, dos días antes del paso del escudo, 7.0 mm/día en el lapso entre que pasa el escudo y se efectúa la inyección, -- 1 mm/día durante cuatro días después de la inyección y, finalmente, nula.

### REFERENCIAS SOBRE CONSTRUCCIONES

Los puntos de nivelación se ubicaran en los parametros de las construcciones vecinas a la obra a una altura de 1.00 M. a partir del nivel de banquetta., Estos se marcaran con pinturas de aceite de distintos colores, como tambien con algunos remaches de acero introducidos en puntos claves con la finalidad de no perder los parametros de nivelación, y llevar así un control y registro de cada uno de las nivelaciones.

### VI.3 EQUIPO A INSTALAR Y MOVIMIENTOS QUE SE PRESENTAN EN LAS SECCIONES DE INSTRUMENTACION .

La Selección de instrumentaciones es tan variable que en algunos casos no es necesario tener equipos con alta tecnología, ya que se puede hacer instrumentación rudimentarias practicas con una alta precisión en sus mediciones, dependiendo de las características esenciales que se determinen en las necesidades de la obra a observación, cumpliendo así con especificaciones adecuadas .

Las variables que se pueden determinar en aparatos de medición o instrumentación son tantos que podemos mencionar algunas de ellas :

- Nivel freático
- Presion de poro
- Empujes de tierra en el contacto con la estructura
- Hufamiento o asentamiento de la superficie del suelo
- Deformaciones horizontales de la superficie del suelo
- Cargas en elementos estructurales , Etc....

En nuestro caso particular , unicamente utilizaremos los -- extensometros para mediciones verticales fijos, Bancos de nivel para mediciones horizontales topograficos superficiales, puntos de referencias de nivelaciones topograficas, extensometros portatiles de cinta para medidas convergentes y divergentes en la cavidad del túnel en las paredes que lo conforman .



#### VI.4 MOVIMIENTOS CONVERGENTES Y DIVERGENTES DEL SUELO HACIA LA EXCAVACION DEL TUNEL .

Los movimientos del suelo que se generan en forma convergente hacia la excavación del túnel se determinara desde la superficie por medio de extensómetros, los cuales se colocaran en posición vertical y con correspondencia al eje del túnel .

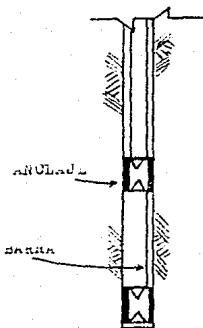
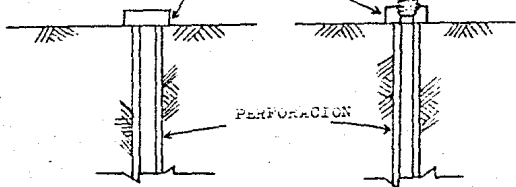
##### EXTENSOMETROS

Los tipos básicos de extensómetros fijos se presentan en la figura 1.1 . Estos instrumentos consisten en uno o varios puntos de referencia anclados en el interior de un barreno y una cabeza fija en el exterior. Los puntos interiores están conectados a la cabeza exterior por medio de alambres tensados, tubos o barras . Un sensor de deformación mecánico eléctrico se coloca entre las barras o alambres tensados y el cabezal de referencia de tal forma que detecte los desplazamientos relativos que se presentan .

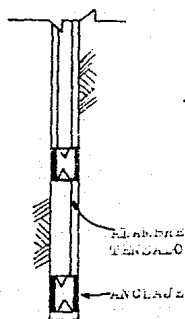
TIPOS BÁSICOS DE INTENSÍMETROS FIJOS

CABECAL DE REFERENCIA CON  
EL SENSOR DE DEFORMACIÓN.

RESORTE DE TENSIÓN  
CONSTANTE O PULSOS  
CON FIBRO ÓPTICO.



INTENSÍMETRO  
DE BARRA.



INTENSÍMETRO  
DE ALAMBRE.

FIG. 1.1

Estos aparatos se colocan en perforaciones de 7.5 Cm. de  $D$  el tipo de anclaje que se emplea depende de las características de la roca, prefiriendose el procedimiento de cementación con lechadas expansivas para rocas intemperizadas o rocas suaves y el anclaje por medio de anclas expansivas para los demás tipos de rocas. Las barras o tubos están dentro de ademes de P.V.C. para evitar la fricción lateral y facilitar la instalación, pues se puede rellenar totalmente el barreno con la lechada expansiva, dejando exclusivamente la longitud de anclaje necesaria .

El proceso de instalación de este instrumento inicial con la ejecución de una perforación de 3" de diámetro desde el terreno natural, la cual se llevara a una profundidad tal que la parte más baja del barreno quede a 50 Cm. de la clave del túnel ; la colocación de los cuatro puntos de medición se efectuaran de la siguiente forma ; El más bajo se colocara en el tope de la perforación, el segundo punto a un metro del primero , el siguiente a tres metros del segundo y el cuarto se coloca a un medio de la distancia que resulte entre el tercer punto y la superficie del terreno .

Es condición necesaria para poder llevar a cabo las perforaciones en las que se alojaran los extensómetros, que previamente se verificaran la existencia de instalaciones municipales , con el fin de tomar las precauciones necesarias para evitar daños ., estas pueden ser : Redes telefónicas , redes de agua potable , drenaje , etc...

## VI.5 HUNDIMIENTOS DE SUELO .

Para registrar los hundimientos del suelo en las áreas adyacentes a la excavación del túnel, será necesario realizar nivelaciones topograficas, para tal fin se colocaran secciones de nivelación transversal al eje del túnel: Los primeros 4 puntos de la sección transversal se ubicaran a cada 5.0 mts. a partir del eje de trazo a ambos lados del mismo , el resto se colocaran a cada 10.0 mts. hasta una distancia no menor de 50.0 mts . segun lo permita el sitio de la obra .

En los extensómetros de las secciones se colocaran un banco de nivel a 1.0 M. de profundidad . (ver figura 1.2 ).

Adicionalmente al seccionamiento transversal, se tendran -- nivelaciones sobre el eje de trazo ( longitudinales)., ademas sera necesario la colocación de puntos de nivelación sobre los extensómetros .

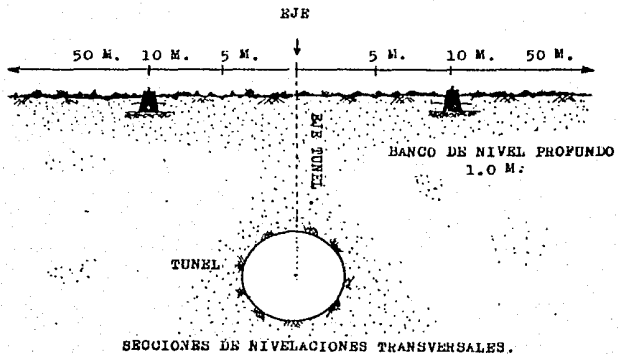


FIG: 1.2

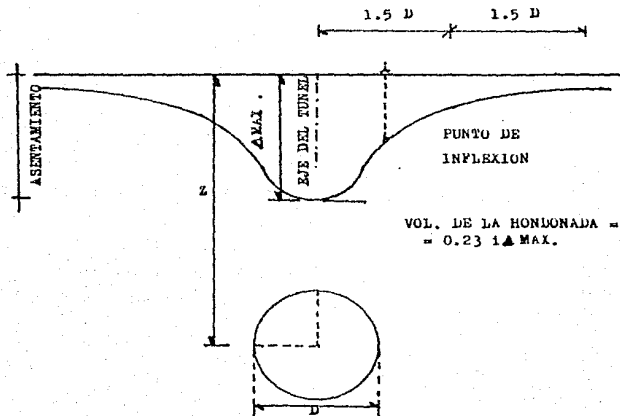
BANCOS DE NIVEL SUPERFICIALES EN SECCIONES TRANSVERSALES  
AL EJE DEL TUNEL .

Los datos de las secciones de bancos de nivel transversal - al eje que registraron los asentamientos máximos, indican que - la distribución de asentamientos en el estudio transversal al - eje se aproximan a una curva de distribución normal de probabilidad invertida, ( ver figura No. 1.3 ) .

En esta figura se observa que la influencia de los asentamientos ocasionados por el túnel llegan aproximadamente a tres veces el diámetro del mismo a partir de su eje , observandose que a partir de una distancia del eje del túnel de 1.5 veces - el diámetro del mismo, los asentamientos son menores de 1.0cm.

Con los valores de las distancias del eje a los puntos de inflexion (i) medidos en las curvas de distribución de asentamientos y los del asentamientos máximos ( max ), se estimó -- el volumen de la hondonada formada por los asentamientos de -- acuerdo con la fórmula que propone R.B Feck en la referencia -- antes mencionada y que transformada a unidades métricas, queda  $v = 0.23 i \text{ max}$ . Comparados estos valores con el volumen total-- de la sección del túnel, que es de  $65.7 \text{ m}^3/\text{m}$  se obtienen porcentajes máximos de 0.12 % .

FIG : 1.3



## VI.6 CONDICIONES PARA TOMAR LECTURAS .

La instalación y periodicidad de las lecturas de los instrumentos correspondientes al túnel. Se efectuarán así como se indica en esta sección siguiente .

Una vez realizada la excavación del túnel , se tomarán lecturas de todos los puntos de nivelación superficial que forman parte de las secciones transversales. También se tomarán lecturas de las deformaciones, presentadas en los extremos previamente colocados sobre la clave del túnel, se tomarán las lecturas de las líneas de convergencia durante la excavación así como la nivelación superficial sobre el eje del mismo .

### COLOCACION Y PERIODICIDAD DE LAS MEDICIONES .

Las nivelaciones sobre los extensómetros y bancos de nivel así como las lecturas de los extensómetros y puntos de referencia sobre construcciones, deberán realizarse con la siguiente periodicidad :

- a). Cuando el frente de excavación se encuentre a una distancia mínima de 6 diámetros del túnel antes de cruzar la sección de instrumentación, deberán estar instalados y leídos todos los instrumentos que se proyectaron en la superficie del terreno .
- b). Los puntos de referencia internos se deberán colocar inmediatamente después de que la excavación pase por el cadenamiento correspondiente para su instalación .



c). Mediciones en el interior del túnel durante la excavación:

#### CONVERGENCIAS

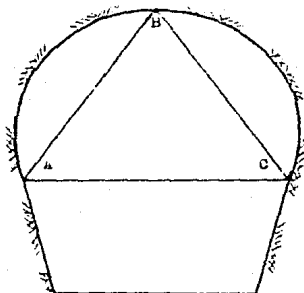
Las mediciones que se llevaron a cabo en el interior del túnel durante el proceso de excavación, consistieron en observar las deformaciones de convergencia hacia el interior del túnel con objeto de conocer el comportamiento del terreno circundante y poder definir tanto las velocidades de deformación, como los tiempos en que ocurre la estabilización. (Fig: 1.4).

Como criterio general será conveniente instalar una sección cada 100 mts. en promedio, como guía unicamente podría fijarse un espaciamiento entre secciones no menor de 50 mts. ni mayor de 250 mts .

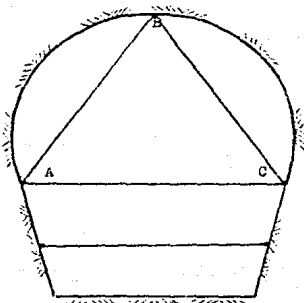
#### INSTRUMENTOS

Para llevar a cabo estas mediciones, se utilizará un instrumento de operación mecánica y alta precisión denominado : " DISTOMETER " desarrollado por el instituto tecnológico de Zurich , que se emplea para medir la variación de distancia entre dos referencias fijas .El distometer garantiza una precisión de lecturas ( resolución ), de 0.01 mm. en todo su intervalo de medición ( 150 mm. ), con una precisión efectiva ( desviación estándar ), entre  $\pm 0.02$  mm. y  $\pm 0.03$  mm. para distancias menores de 10 mts., dadas sus características , la confiabilidad y repetibilidad de sus resultados, las lecturas tomadas por este instrumento se consideran óptimas . ( Figura No. 1.5).

MEDICIONES " DISTOMETR "

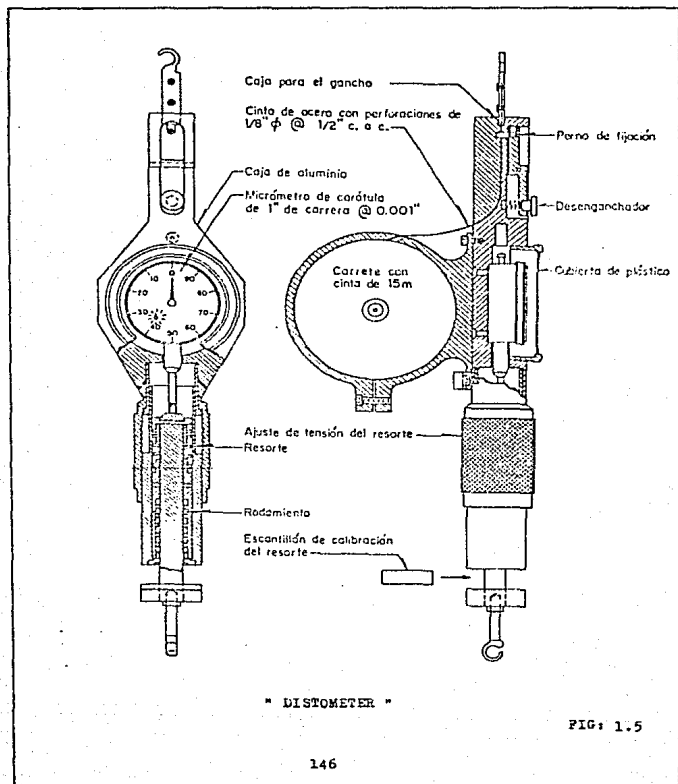


- a) Un triángulo formado por una línea horizontal y dos líneas inclinadas coincidentes en un punto en el techo del túnel .



- b) El mismo triángulo, anexándole una línea horizontal localizada en la parte inferior de la excavación .

FIG: 1.4



- d). La toma de lecturas de los instrumentos colocados desde la superficie del terreno se tomarán por lo menos, una vez al día mientras el frente de excavación del túnel este entre los 3 diámetros anteriores y los 3 posteriores a la estación de instrumentación; una vez cada semana en el siguiente avance de 3 diámetros ; una vez cada quince días en los siguientes 3 diámetros y una vez cada mes hasta que la grafica tiempo - deformación, tengan una franca tendencia a la estabilidad .
- e). Las lecturas en las secciones de convergencia en el interior del túnel se tomara por lo menos, una vez al día durante las primeras 2 semanas posteriores a su instalación, una vez que las convergencias indiquen una tendencia a la estabilidad ( velocidad menor de 0.04 mm/día), la periodicidad puede ampliarse a dos veces por semana. Si la tendencia continua , el espaciamiento entre lecturas puede ampliarse a una vez por semana hasta que la velocidad de deformación sea menor a 0.10 mm/semana . cuando esto ocurra, las mediciones podran suspenderse, con predio acuerdo con jefaturas de COVITUR .
- f). Las nivelaciones en el brocal de los extensometros instalados , así como en los bancos de nivel y referencias sobre construcciones, se realizaran una vez al día mientras el frente de excavación del túnel este entre los tres diámetros anteriores y los 3 posteriores a la sección de instrumentación ; una vez cada semana en el siguiente avance de 3 diámetros ; una vez cada 15 días en el siguiente avance de tres diámetros y una vez cada mes hasta el momento en que dure cuatro semanas consecutivas no se aprecien variaciones de consideración en las lecturas .

- g). Todas las lecturas en los instrumentos y dispositivos se --  
interumpiran 3 meses despues de haber terminado las labo--  
res de construcción en la zona instrumentada .

## VI.7 INSTALACION, OBSERVACIONES E INTERPRETACION DE LAS MEDICIONES .

### INSTALACION .

Los instrumentos que se instalen para acatar esta especificación, seran instalados por personal especializado en estas -- actividades . Para la instalación de los instrumentos, el constructor brindara las facilidades, materiales y la mano de obra que requiera el instrumentista, que en general son de caracter menor . Es fundamental que el constructor colabore con el ins-- trumentista en el cuidado de los instrumentos para evitar que -- sean dañados desde el momento en que sean colocados en la obra hasta la entrega de estos a COVITUR .

### OBSERVACIONES .

Todos los instrumentos que se instalen para acatar las me-- diciones aqui descritas, deberan ser observadas para vigilar su estado y tomar lecturas en ellos desde el momento en que se termine su instalación .

### INTERPRETACION DE LAS MEDICIONES .

El instrumentista debera interpretar los registros de las mediciones a fin de reportar solo la magnitud de los parametros que se especifica medir. La interpretación completa requiere de la colaboración del proyectista que junto con el instrumentista establecen una comparación final entre las magnitudes predichas en el análisis y diseño, y aquellas registradas en las mediciones .

## VI.8 PRESENTACION DE LOS RESULTADOS DE LA TOMA DE LECTURAS.

La información resultante del análisis de las lecturas realizadas en los diferentes instrumentos y dispositivos, se dará a conocer oportunamente por la compañía instrumentista al personal encargado de la dirección de construcción, supervisión y al proyectista de la obra ; para tal efecto, se enviarán informes diarios , semanales y mensuales .

### INFORME DIARIO.

En el informe diario se dará a conocer, en forma resumida, a las residencias de la organización mencionadas, la información de todos los instrumentos que a juicio de la compañía instrumentista , presentan algunas deformaciones o velocidades de deformación importantes .

### INFORME SEMANAL .

En este informe se darán a conocer a todas las compañías o residentes involucrados en el caso de las graficas tiempo-deflexión con los resultados actualizados de las mediciones realizadas en los instrumentos .

### INFORMES MENSUALES .

Se presentará un reporte mensual de la información recabada en campo debidamente correlacionada , procesada y analizada, con conclusiones y recomendaciones ; esta información se deberá enviar a todas las residencias antes mencionadas .

NOTA : Se puede observar algunos formatos o planillas para elaborar los reportes de dichas mediciones correspondientes a dichas lecturas . ( ver figuras . No. 1.6 , 1.7 ) .







## VI.9 INSTALACIONES EN OBRA .

Inmediatamente al recibir la obra, se tuvo la necesidad de iniciar un programa de utilización de equipo, para reacondicionar la maquinaria existente y hacer la compra o renta necesaria pero a medida que se iba ejecutando el trabajo, se definían nuevos sistemas y programas de construcción de manera que los programas de utilización de maquinaria sufrían modificaciones que eran consideradas para la correspondiente confrontación de oferta y adquisición .

La maquinaria se divide según la operación llevada en el túnel, teniendo la siguiente clasificación :

Para Perforación : Perforadora de pierna  
Compresores Eléctricos  
Rompedoras .

Para Rezaga	: Rezagadoras .	Para Controlar	Bombas Centri
	Vagonetas .	el Agua :	fugas .
	Malacates .		Bombas Neuma-
	Camiones .		ticas .

Para reducir filtraciones de agua , evitar ademe y mejorar por ende la velocidad de avance en la perforación del túnel, se -- emplea :

Carros de diseño especial para transportar y dosificación de los agregados del lanzado .

Para el Revestimiento : Plantas dosificadoras y mezcladoras a las que se les alimenta de cemento a granel .  
Trailers con tolva de 30 toneladas .  
Camiones de volteo con caja especial.  
Carros agitadores , Etc...

Cuando algun equipo, de acuerdo con los programas de obra , iba a utilizarse poco tiempo y no era cost'able hacer la inversion de compra , se procedia a su alquiler, en el que se indicaba periodo de utilización renta y frente donde trabajaría .

El jefe de maquinaria tiene la obligación de avisar a todo aquel equipo que llega, indicar marca, modelo, serie y número económico de la unidad respectiva , así como su procedencia .

Cuando una maquina sale de un frente de trabajo, es enviada a reparación. Se elabora una remisión ( control de envio de maquinaria ), a fin de que a partir de esa fecha se deje de cargar (depreciación y mantenimiento ) a ese frente, sin está comunicación, no se reconoce el movimiento y las rentas y responsabilidades de la maquina continua a cargo del frente donde oficialmente se localiza .

Debido al avance de la obra, se presenta la necesidad de -- almacenar ordenadamente el equipo que se va dejando de utilizar preservandolo de descomposturas que cause la intemperie y de la perdida de sus partes ; al mismo tiempo , se tiene que almacenar todos los artículos auxiliares que se dejan de usar .

## VI.10 INSTALACIONES GENERALES DE SUPERFICIE .

La perforación del tramo en estudio, requirió la excavación de una lumbrera cuyo en temas anteriores fue analizada y que requirió de las siguientes instalaciones :

- |                     |   |
|---------------------|---|
| a) Torre de Manteo. | d) Subestaciones Eléctricas.              |
| b) Malacates .      | e) Talleres .                             |
| c) Polvorines .     | f) Locales para oficinas y<br>almacenes . |

### TORRE DE MANTEO .

La Torre de manteo, es una estructura formada con perfiles metálicos , de una altura de 20 mts. en la que se apoyan las poleas de los malacates de rezaga y de personal. En su diseño se tomó en consideración, que no solamente servirán para la --extrección del material excavado , sino que se utilizarían -- para la introducción de los equipos de excavación, transporte y carga necesaria para la excavación del túnel como son :Palas Mecánicas , Tractores , Cargadores, Rezagadoras , Etc ...

### MALACATES.

El Malacate de Rezaga, consta de 2 tambores accionados por un motor eléctrico que proporciona una velocidad constante de - los botes ( skips ) de 1.20 m./seg., la capacidad de estos es - de 4 M<sup>3</sup> , los cuales mantienen su verticalidad mediante cables tensados por resortes .

Los botes de manteo se descargan automáticamente por el fondo - y se operan por un dispositivo que abre la tapa inferior, cayendo el material a una tolva con capacidad suficiente para regular la carga de los camiones , el control de la descarga de la tolva se hace por compuertas accionadas por gatos hidráulicos .

#### POLVORINES .

Para su localización y construcción , se siguieron las normas establecidas por la Secretaria de la Defensa Nacional. El transporte de explosivos se hizo con camiones ligeros debidamente adaptables con luces y sirenas para evitar accidentes en los trayectos .

#### SUBESTACION .

La tensión de los circuitos de alimentación de la obra ,son de 23,000 voltios y las tensiones utilizadas en la lumbrera son de 2,300 voltios para la línea de alimentación interior , 220 -- para compresores y bombas y 125 para el alumbrado . Para bajar a estas tensiones , se instalaron bancos de transformadores, -- según la carga demandada ; estos bancos estan debidamente cercados con malla de alambre y protegidos contra descargas atmosféricas .

#### TALLERES .

En la Lumbrera, se tienen talleres para el mantenimiento -- del equipo, en los que se cuenta con equipo de soldadura eléctrica y autógena , herrería , etc... En estos talleres se hacen reparaciones menores , ya que las -- mayores se hacen en el taller mecánico central .

#### OFICINAS Y ALMACENES .

Se construyeron oficinas para el personal técnico y administrativo y para el almacen de articulos . El valor de los almacenes , se procuro , fuese el minimo indispensable y se siguió la política de tener solamente articulos -- de uso inmediato .

## VI.11 INSTALACIONES EN EL TUNEL .

En el interior del túnel, las instalaciones para procedimientos convencionales de excavación, difieren muy poco de los -- que se utilizan en obras profundas y que consisten en :

- a) Vía y equipo auxiliar .
- b) Tubería de ventilación .
- c) Tubería para el agua de barrenación .
- d) Líneas de transmisión eléctrica .

### VIA Y EQUIPO AUXILIAR .

La vía consta de rieles de 60 lb/Yd. de calibre , montados sobre durmientes de madera de 6" x 6" x 5 pies ; el equipo auxiliar, consiste en escapes , laderos fijos , cambiadores horizontales .

El cambio horizontal de vagonetas, es un mecanismo formado por -- dos rampas y un tramo a nivel sobrepuesto a la vía principal que se desliza perpendicularmente a esta sobre unos carriles : la -- energía para este movimiento , la proporciona un malacate neumático .

### TUBERIA DE VENTILACION .

La ventilación del túnel, se realiza por medio de tuberías -- de vinil en tramos de 10 mts. de longitud y 36" de diametro . El volumen de aire introducido al túnel , es de 13.4 M<sup>3</sup>/seg. y -- fue determinado en base a las necesidades de ventilación en el -- frente , suficiente para tener un ambiente agradable y para diluir las concentraciones de gases tóxicos producidos por la explotación de dinamita y los motores de combustión interna .

#### TUBERIA PARA EL AGUA DE BARRENACION .

La tubería para el agua de barrenación , es galvanizada -- con diámetro de 3" y coples de rosca ; el agua se toma de las tuberías de descarga .

#### LINEAS DE TRANSMISION ELECTRICA .

La línea de alimentación eléctrica, es de 2300 volts, con -- conductores de cables de cobre montadas sobre bastidores con -- aisladores de porcelana ; ésta tensión se reduce a 220 volts, -- que es la de los motores de las bombas, por medio de transformadores trifásicos , según el No. de bombas que se iban a alimentar o a 115 volts para el alumbrado .

C A P I T U L O      V I I

## CONCLUSIONES

### COMENTARIOS Y REFLEXIONES .

La Construcción de un túnel constituye siempre un reto para los ingenieros civiles, quienes para resolver adecuadamente los problemas que se plantean en una obra subterránea, deben desarrollar y aplicar todos sus conocimientos e ingenio.

En los túneles, como en ninguna otra obra de ingeniería , el -- proyecto y la construcción se asocian en un conjunto indivisible en el cual la participación del proyectista en los problemas de la construcción y la del constructor en los del proyecto resultan no solo convenientes sino imprescindibles . Es por ello que el proyecto inicial de un túnel se va adaptando durante la construcción a las condiciones reales del terreno que en la mayoría de los casos resultan imposibles de anticipar, al menos -- con el detalle que se requiere para obtener las mejores condiciones de seguridad y economía .

Para el proyectista, los métodos previstos en la constru-- cción de un túnel no pueden ser pasados por alto; de igual modo las hipótesis que sirvieron de base para los análisis y diseños no deben ser ignorados por los constructores. Las etapas de excavación, los sistemas de avance, los medios de soporte temporal y los de estabilización previstos por el constructor deben ser tomados en cuenta en los análisis de la excavación y del -- revestimiento. Así mismo , la forma y magnitud de las presiones externas, los parámetros de deformabilidad y la interacción -- terreno-revestimiento, considerados para los análisis y diseños previos a la construcción, deberán estar en la mente de los -- constructores al realizar la obra .



Las observaciones de campo, y en especial las mediciones de comportamiento durante la construcción de un túnel, proporcionan una información invaluable para proyectistas y constructores ; esta información, debidamente utilizada, permite -- establecer una comunicación entre las partes involucradas y propicia la conciliación de objetivos .

Aun para los ingenieros más conocedores, los túneles por pequeños que sean , brindan siempre la oportunidad de nuevas experiencias .

Sin lugar a dudas, los costos de una operación intermitente de las instalaciones de alumbrado, bombeo, malacates, teléfonos, así como los de personal mínimo para el mantenimiento preventivo las mediciones eventuales, la supervisión, etc., son más bajas y representan menos riesgo y problemas consecutivos que los que causaría el derrumbe de una excavación subterránea y su consiguiente rehabilitación y reconstrucción .

Otras experiencias adquiridas se relacionan con los sistemas de soporte temporal, los cuales deben cumplir su función mientras se colocan los definitivos, normalmente integrados al revestimiento . Al respecto, en este túnel se pusieron en evidencia varias ventajas del uso del Concreto Lanzado como medio de protección de la roca , más que de soporte de la excavación.

Finalmente, consideremos importante hacer énfasis en la trascendencia de las observaciones de campo durante la construcción así como de las diversas enseñanzas que dejaron . Nos -- referimos a los levantamientos de geología de detalle, la -- cuantificación de los escurrimientos de agua y las mediciones de comportamiento deformacional .

La información obtenida en estos renglones fue determinante para adoptar algunas modalidades en los procedimientos constructivos y establecer las secuencias o etapas de ejecución de las actividades. Aún más , la información obtenida debidamente procesada e interpretada, permitió retroalimentar los modelos de computo utilizados en el análisis de excavación, soportes y revestimiento y facilito su optimización oportuna .

## VII.2 BIBLIOGRAFIA

- INSTRUMENTACION Y MEDICION EN TUNELES .  
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos .
- EXPLORACION GEOTECNICA .  
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos .
- MECANICA DE SUELOS .  
Tomo I y II  
Juarez Badillo - Rico Rodríguez .
- MEMORIAS TECNICAS TUNELES S.A.  
Walter Paniagua Espinosa .
- INFORME TECNICO COLINAS DE BUEN S.A.
- ESTRUCTURAS DE VIAS TERRESTRES .  
Fernando Olivera Bustamante .
- INFORMES TECNICOS ( COVITUR ) .
- MANUALES DE DISEÑOS DE OBRAS CIVILES.  
Comision Federal de Electricidad .  
( GEOTECNIA ) .