

300615

17

UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

CONSTRUCCION DE TUNELES PARA EL METRO
DE LA CIUDAD DE MEXICO, UTILIZANDO
UN ESCUDO ABIERTO

TESIS PROFESIONAL

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

JOSE ALEJANDRO LOPEZ MARTINEZ

TESIS CON
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.

TEMARIO DEFINITIVO

INTRODUCCION

- I) DESCRIPCION DEL PROYECTO
 - I.1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA OBRA
 - I.2. TRAZO Y PERFIL
 - I.3. CARACTERISTICAS DEL SUELO

- II) ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DEL TUNEL
 - II.1. FRENTE
 - II.2. PAREDES

- III) ALTERNATIVAS CONSTRUCTIVAS
 - III.1. METODO AUSTRIACO
 - III.1.1. PRINCIPIO DEL METODO AUSTRIACO
 - III.1.2. MEDIDAS DE DEFORMACION

 - III.2. METODO CONVENCIONAL

- IV) EL METODO DEL ESCUDO ABIERTO
 - IV.1. ESCUDO
 - IV.1.1. CACHUCHA
 - IV.1.2. CUERPO
 - IV.1.3. FALDON
 - IV.1.4. SISTEMA HIDRAULICO
 - IV.1.5. GATOS DE EMPUJE

- IV.1.6. GATOS DE ADEME
- IV.1.7. BRAZOS ERECTORES
- IV.1.8. BOMBAS HIDRAULICAS

- IV.2. PREPARACIONES EN LUMBRERA PARA EL INICIO DE
LA EXCAVACION.

- IV.3. DESCRIPCION DEL CICLO DE TRABAJO
 - IV.3.1. EXCAVACION
 - IV.3.2. REZAGA
 - IV.3.3. EMPUJE
 - IV.3.4. COLOCACION DE LOS ANILLOS
 - IV.3.5. EXPANSION
 - IV.3.6. COLADOS EN LA ZONA DE EXPANSION
 - IV.3.7. INYECCION DE CONTACTO

- IV.4. INSTALACIONES DENTRO DEL TUNEL
- IV.5. FABRICACION DE LAS DOVELAS DE CONCRETO
- IV.6. VENTILACION
- IV.7. PLANTILLA DE PERSONAL
- IV.8. EQUIPO
- IV.9. TOPOGRAFIA

- V) AVANCES REGISTRADOS
 - V.1. EXCAVACIONES MAXIMAS
 - V.2. RENDIMIENTOS PROMEDIO
 - V.3. CONSUMOS DE INYECCION

VI) INSTRUMENTACION DEL TUNEL

VI.1. CONTROL DE MOVIMIENTOS

VI.2. LECTURAS DE CONVERGENCIA

VII) SEGURIDAD

VII.1. ORGANIZACION DE LA SEGURIDAD EN OBRA

VII.2. REGLAMENTACION

VII.3. CONDICIONES DE PELIGRO EN EXCAVACIONES
SUBTERRANEAS.

VIII) CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

INTRODUCCION

La construcción de túneles en suelos se desarrolló esencialmente como arte de los ingenieros con experiencia, en el que las decisiones se tomaban después del reconocimiento visual del frente y de juzgar la magnitud de los asentamientos inducidos; la estratigrafía del sitio y las propiedades mecánicas de los suelos sólo servían de indicador. El proceso de construcción quedaba necesariamente expuesto a toda suerte de modificaciones, donde la capacidad de improvisación era la mejor herramienta del ingeniero para resolver los problemas.

El diseño racional de túneles excavados en suelos se podría decir que lo inicia K. Terzaghi al establecer criterios de diseño para el ademe primario, basados en experiencias de campo y en la Teoría del Arqueo, en 1942; sus experiencias los túneles del Metro de Chicago han sido la mejor guía en este campo. Broms en 1967 contribuyó muy significativamente al estudiar la estabilidad de excavaciones verticales y R. B. Peck en 1969, con su artículo del estado del arte sobre excavaciones profundas y túneles.

Las notables características del subsuelo de la Ciudad de México han obligado el desarrollo de mejores procedimientos de análisis para el diseño de túneles; los enfoques más recientes incluyen investigaciones con modelos de elementos así como la aplicación de modelos mecánico-analíticos. Es

evidente que los numéricos facilitan la comprensión del comportamiento de un túnel; sin embargo, la solución práctica del problema de estabilidad se simplifica notablemente con la ayuda de un modelo mecánico.

La necesidad de construir túneles para alojar el sistema de transporte colectivo de la Ciudad de México, es común a todas las grandes ciudades del mundo, que adoptan esta solución como alternativa más conveniente, en especial en las áreas más densamente pobladas. Esta tendencia tiene su origen en dos factores fundamentales; por una parte, la menor interferencia; durante la construcción de los túneles con la actividad cotidiana de los habitantes metropolitanos y con las instalaciones existentes de servicios públicos; y por otra, los avances tecnológicos de los últimos años, particularmente de las técnicas del concreto lanzado aplicado en suelos autoestables y de los escudos de frente presurizados utilizados en suelos que permiten la ejecución de túneles con rapidéz, seguridad y economía competitivas con otras alternativas de construcción subterránea.

La experiencia obtenida en México en este tipo de obras ha sido altamente positiva y a medida que se avanza en ese campo se van perfeccionando los criterios a seguir en su diseño y construcción. El propósito de esta tesis es el presentar, de manera sintetizada, los criterios básicos producto del análisis de esta experiencia y de las otras metrópo-

lis, que contribuyan a la búsqueda de soluciones constructivas cada vez mejores para los túneles del Metro en las -- condiciones propias de los suelos del Valle de México.

CAPITULO I

DESCRIPCION DEL PROYECTO

I.1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA OBRA

El incremento demográfico que se ha registrado en el Distrito Federal durante los últimos veinticinco años, ha provocado una mayor demanda de servicios urbanos, debido a lo cual las redes de infraestructura se han multiplicado. Sin embargo son insuficientes para satisfacer a la población en crecimiento, por esta razón el Departamento del Distrito Federal ha implementado programas con propósito de dar solución a los problemas de vialidad. Uno de ellos es el "Plan Maestro del Metro".

Los objetivos que se contemplan en dicho plan son:

Vialidad, Transporte Colectivo, Estacionamiento, otras acciones complementarias.

En el Transporte Colectivo, las redes del Metro se ampliaron hasta la Ciudad Universitaria con la extensión de la Línea 3; se prolongó la Línea 2 al nor-poniente hasta Cuatro Caminos; la Línea 1 hacia el nor-poniente hasta la Estación Pantitlán y la Línea 7 hacia el sur hasta Barranquero del Muerto. Al norte se encuentra la construcción hasta el Rosario. Se construyó la ampliación oriente de la Línea 6 Martín Carrera y la Línea 9 desde Pantitlán hasta Observatorio. (Ver lámina No. 1).

En lo sucesivo se hablará solamente sobre ésta última Línea

I.2. TRAZO Y PERFIL

A) TRAZO

El trazo de la Línea 9 Poniente se inicia al oriente de la Ciudad de México, en la Colonia Pantitlán en donde hará correspondencia con las Líneas 1 y 5 del Metro y la Línea Zaragoza del Tren Ligero.

Cercana a la Estación Pantitlán en el costado sur de Río - Churubusco se encuentra la zona de Peines y la Nave de Depó sito; continúa el trazo en dirección norte-sur de la Línea - sobre el lado oriente de Río Churubusco, cruzando la Calza - da Igancio Zaragoza y Avenida 8.

Se continuará por Viaducto Piedad a incorporarse al Eje 3 - Sur (Avenida Morelos) a la altura del Velódromo Radames Tre viño, continuando en dirección oriente-poniente sobre la - Avenida Central, posteriormente con la Avenida de Baja Cali fornia hasta la Avenida Benjamín Franklin y Calle de la Paz cruzando las siguientes vialidades:

- Eje 3 Oriente (Francisco del Paso y Troncoso)
- Eje 2 Oriente (Francisco Morazán)
- Eje 1 Oriente (Calzada de la Viga)
- Calzada de Tlalpan
- Eje Central (Lázaro Cardenas)

- Eje 1 Poniente (Avenida Cuauhtémoc)
- Eje 2 Poniente (Monterrey)
- Eje 3 Poniente (Medellín)
- Avenida Insurgentes
- Avenida Nuevo León
- Circuito Interior (Patriotismo y Revolución)

Llevando un cadenamamiento de 17 + 713.000, la Línea continúa en solución de túnel profundo, para llegar a la Estación Patriotismo (en la calle de la Paz).

El túnel principal en la calle de Benjamín Franklin, cruzando las calles de Ciencias, Francisco Murguía y Progreso para continuar por la calle cerrada de la Paz y Carlos B. Zezetina, encontrándose con José Martí y se prolongará el trazo hasta llegar a la Avenida Jalisco y Parque Lira.

De ahí, se podrá transbordar con las Líneas 1 y 7 en la Estación Tacubaya, la cual está en el cadenamamiento 18 + 877.-637. (Ver Lámina No. 2).

B) PERFIL

El perfil del subsuelo, resultado de estudios y sondeos geofísicos a lo largo del tramo del túnel determinaron que éste se encuentra constituido por limos arenosos, arena y arenas limosas compactadas, con algunas capas de arcillas, gra

vas y boleos distribuidos en forma heterogénea.

Para la determinación de dicha estratigrafía, se programaron y realizaron una serie de sondeos de exploración, extrayéndose muestras inalteradas, hincándose a presión tubos - muestreadores de pared delgada tipo Shelby de 10 cm. de diámetro interior. Cuando el suelo no permitía el hincado de los tubos Shelby, se requirió del uso del barril doble girado Denison, hincado a presión y rotación.

También se extrajeron muestras alteradas, hincado a percusión tubos de pared gruesa de 3.5 cm., de diámetro interior y 5 cm., de diámetro exterior; simultáneamente, se llevaban a cabo pruebas de penetración estándar.

Los sondeos inalterados se localizaron aproximadamente a cada 200 m., llevándose hasta una profundidad del orden de los 3 m., debajo de la plantilla del túnel; aunque algunos alcanzan la profundidad de dos veces el diámetro del túnel abajo de la plantilla.

Los sondeos alterados se utilizaron como correlación de los sondeos inalterados, por lo que se localizan entre éstos.

(Ver lámina No. 3).

1.3. CARACTERISTICAS DEL SUELO

Con los resultados de los sondeos, las pruebas de laborator

rio dedujeron la correlación de materiales existentes.

En la parte superficial y hasta profundidades oscilantes entre los 5.0 y los 15.0 m., se localizan materiales que varían en compacidad desde suelta y media (N de 5 a 25 golpes en la prueba de penetración estándar). La resistencia al corte del suelo determinada en prueba de compresión triaxial consolidada rápida varía entre 3.5 y 9 ton/m^2 , con ángulos de fricción entre 25° y 35° .

Más abajo de los anteriores se depositan materiales compactos (N = 60 golpes en la prueba de penetración estándar); la resistencia al corte del suelo en pruebas de compresión triaxial consolidada rápida varía entre $C = 4 \text{ ton/m}^2$ y 12.5 ton/m^2 , los ángulos de fricción interna entre $\phi = 40^\circ$ y 25° .

El peso volumétrico húmedo de estos materiales es de 1.7 ton/m^3 .

El nivel de aguas freáticas se encuentra, en promedio a 5.5 m., de profundidad. (Ver lámina No. 3).

| | |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------|
| A | ALTURA DEL TUNEL |
| D | ANCHO DEL TUNEL, DIAMETRO MEDIO DEL TUNEL |
| a | AVANCE SIN SOPORTE |
| c | PARAMETRO DE COHESION |
| K_p | COEFICIENTE DE EMPUJE PASIVO, $K_p = \tan^2 (45 + \phi / 2)$. |
| γ | PESO VOLUMETRICO DEL SUELO |
| ϕ | ANGULO DE FRICCION INTERNA |
| H | PROFUNDIDAD A LA CLAVE DEL TUNEL |
| N_1, N_1', N_2, N_3 | FACTORES DE ESTABILIDAD EN SUELOS COHESIVO FRICCIONANTES. |
| P_f | PRESION DE APOYO EN EL FRENTE |
| FS_f | FACTOR DE SEGURIDAD DEL FRENTE |
| FS_c | FACTOR DE SEGURIDAD DE LA CLAVE |

II.2 ESTABILIDAD DE LAS PAREDES

Para conocer la estabilidad de las paredes, es necesario, -
tomar en cuenta las características del suelo.

Sabiendo que el desarrollo del túnel se lleva a cabo a una
profundidad promedio de 17.0 mts., es necesario conocer:

A).- La presión vertical = $1.7 \text{ ton/m}^3 \times 17.0 =$
 28.9 ton/m^2 .

E).- Carga por metro de longitud = 28.9 ton/m^2
 $\times 4.50 = 130,050 \text{ ton/m}^2$.

$$\begin{aligned} \text{C).- Area por metro de longitud} &= 100 \text{ cm.} \times 25 \text{ cm.} \\ &= 2,500 \text{ cm}^2. \end{aligned}$$

$$\text{D).- Esfuerzo promedio} = \frac{130,050}{2,500} = 52 \text{ Kg/cm}^2$$

Dicho esfuerzo se aplicará a las dovelas al ser expandidas -
contra el terreno.

Se calculará los esfuerzos de pandeo, que se producirán cuando el recubrimiento tenga el contacto con el terreno.

Dicho recubrimiento actuará de dos maneras:

- A) El recubrimiento actuando como anillo continuo
- B) El recubrimiento actuando como anillo de tres -
articulaciones.

La carga requerida para producir una deflexión $\Delta D/D = 0.0045$ es considerado el caso de un anillo continuo ya que el anillo de tres articulaciones es más flexible.

La carga uniforme W requerida para reformar un anillo continuo se calculará así:

$$W = \frac{12 EI}{R^3} \frac{\Delta D}{D}$$

Momento de inercia del anillo:

$$I = 1/12 db^3 = 1/12 (1) (25)^3 = 1,300 \text{ cm}^4/\text{cm de longitud.}$$

$$R^3 = (437.5)^3 = 83.7 \times 10^6 \text{ cm}^3$$

Módulo de elasticidad del concreto:

$$E = \sigma_c^{1.5} \times 4270 \sqrt{f'c}$$

$$E = (2.4)^{1.5} \times 4270 \sqrt{350}$$

$$E = 3.72 \times 4270 \times 18.71 = .297 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$W = \frac{12 (0.297 \times 10^6) (1300)}{83.7 \times 10^6} \left[0.45 \times 10^{-2} \right]$$

$$W = 0.249 \text{ Kg/cm} = 2,490 \text{ Kg/m}$$

El momento en un anillo continuó sujeto a carga vertical uniforme, aparece en el centro, en la corona y en el fondo.

$$M = + \frac{W R^2}{4} = \frac{2,490 (4,375)^2}{4} = 11,915 \text{ Kg m/m}$$

$$M = 1'191,500 \text{ Kg cm/m}$$

$$\sigma = + \frac{M e}{I} = \frac{1'191,500 \times 12.5}{130,000} = + 114 \text{ Kg/cm}^2$$

Por lo tanto los esfuerzos extremos en un anillo lo darán la suma:

$$\sigma_1 = 166 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma = 52 \pm 144 ;$$

$$\sigma_1 = - 62 \text{ Kg/cm}^2$$

Estos valores indican esfuerzos de tensión por lo que será necesario reforzar con acero al concreto.

CAPITULO III

ALTERNATIVAS CONSTRUCTIVAS

III.1. METODO AUSTRIACO

Este método está basado en la utilización del concreto proyectado, (con un espesor de 20 a 30 cm.) como revestimiento definitivo, colocado desde la apertura de la sección parcial o total de la excavación. El concreto proyectado, reforzado con varillas soldadas, y eventualmente con cimbras metálicas en terrenos muy difíciles, bloquea el macizo para reducir al máximo la descompresión y los desórdenes que la producen. El revestimiento se hace solidario al terreno por anclajes que contribuyen a incrementar la presión del confinamiento estabilizador engendrado por el efecto de bóveda en contacto con el concreto-roca.

III.1.1. PRINCIPIO DEL METODO AUSTRIACO

El método se esfuerza en reducir al máximo los desórdenes en el terreno trabajado en sección parcial muy débil, si es posible con excavación mecánica o con un plan de tiro calculado. Finalizada la excavación, el concreto proyectado, ligeramente armado con varilla soldadas proporciona un sostenimiento continuo, solidario al terreno adaptándose a las irregularidades del perfil, rellenando vacíos y fisuras del macizo.

La colocación del concreto en obra es rápida sea cual sea --

la sección arrancada. Las primeras capas de concreto aplicadas aseguran una protección del macizo contra todo tipo de alteración.

El concreto proyectado protege al terreno desde su colocación contra todo tipo de agentes externos tales como el agua o el aire. Está armado según las necesidades, en general por un entramado soldado (de 6 a 8 mm de diámetro). Su comportamiento y adherencia al macizo se aseguran por la colocación de una red de anclajes de poca profundidad (de 3 a 6 m. para los túneles de sección inferior a los 100 - m²).

El espesor del revestimiento terminado pasa generalmente entre 10 y 30 cm. Teniendo en cuenta que una sección útil dada de túnel, (abertura libre) la sección del revestimiento tradicional y de los rellenos (por inyección) puede sobrepasar el 50% de la sección útil, mientras que por el método austriaco, esta misma sección no alcanza sino raramente el 10% de la misma sección útil.

La primera capa de concreto proyectado sobre el macizo, suelta los bloques rocosos, cimenta las fisuras y las juntas mejorando la cohesión del macizo, aportando al mismo tiempo un ligero confinamiento.

En el comportamiento de un macizo a través del cual se abre una excavación, tres fenómenos son de importancia a -

considerar:

- 1) Evitar o limitar toda descompresión o dislocación del macizo en las cercanías de la excavación.
- 2) Aportar, en cuanto sea posible, a la pared de excavación un confinamiento CONTINUO para neutralizar los estados de contracciones uniaxiales.
- 3) Utilizar lo mejor posible el tiempo disponible antes de que el macizo se deforme.

El nuevo método austriaco de construcción de túneles permite, por la asociación del concreto reforzado por entramados soldados (y eventualmente de cimbras ligeras), realizar un sostenimiento que presente las siguientes características:

- Es de colocación rápida, inmediatamente después de la excavación.
- Constituye un revestimiento definitivo.
- Puede intervenir en sección parcial o total, incluso de bajas dimensiones, para los terrenos más difíciles o los túneles de gran sección.
- Es flexible y se adapta por ello a los caprichos del terreno.
- Es continuo y no genera así ninguna fuerza de punta elevada entre el macizo y el revestimiento.

- Es perfectamente solidario al terreno y forma con él una bóveda monolítica.
- Mejora las características mecánicas del medio natural soldando los bloques entre sí, cimentando los vacíos, juntas o fisuras.
- Aporta una presión radial de confinamiento estabilizadora en el macizo.
- Hace posibles el drenaje del macizo.

La elaboración del proyecto requiere:

- Un buen conocimiento del medio y de las características mecánicas de los materiales (en obra) y su evolución.
- Una evaluación del estado de las contracciones en el macizo alrededor de la cavidad excavada, en sección parcial o total.
- Un control muy preciso de las deformaciones "insitu" en el lugar de la ejecución de los trabajos en vista a comprender el sostenimiento a las necesidades, jugando sobre los parámetros variables (espesor de concreto proyectado, densidad de anclajes, etc).

Estos tres puntos definen perfectamente la naturaleza y la importancia de los estudios geológicos y geotécnicos que procede proveer para poner en obra al método austriaco.

III.1.2. MEDIDAS DE DEFORMACION

En función de las deformaciones, son ajustadas las características del sostenimiento (espesor del concreto, importancia del ferrallado de cimbras, densidad de los anclajes), dichas deformaciones son tomadas por medio de aparatos - como: tasómetros, extensómetros o aparatos de medidas de - convergencia.

Los tasómetros (extensómetros situados en la superficie - del suelo), se colocan antes de la ejecución de la obra, - muestran que las primeras deformaciones aparecen antes de - que el frente de corte en el túnel haya alcanzado la sec - ción de medidas.

Los extensómetros colocados en el túnel, informan nada más sobre la fase final de las deformaciones (aproximadamente del 20 al 50% de las deformaciones, en razón del retraso - de colocación en obra de los aparatos).

III.2. METODOS CONVENCIONALES

Con el método convencional, la excavación se hace según - la más grande sección posible guardando como objetivo la rentabilidad de la perforación, debiendo ser la sección - mínima arrancar compatible con la dimensión de los elemen - tos de sustentación (cimbras metálicas).

Después de la excavación el sostenimiento provisional es asegurado por cimbras metálicas, muy pesadas, sobre dimensionadas que no se adaptan al perfil exterior. Cualquiera que sean las técnicas adoptadas, se realizó así un sostenimiento rígido, este conducto se presenta posteriormente de una deformación, arrastrando zonas de descompresión en el terreno.

La sustentación tradicional está constituida por una bóveda de concreto encofrado.

Para remediar los efectos de la descompresión, el espesor de la bóveda debe alcanzar valores del orden de 80 a 100 cm., - por lo que se vuelve rígida y pesada necesitando encofrados-deslizantes que paralizan la obra.

La bóveda tradicional requiere de una sustentación:

- De mucho tiempo para ser colocada
- Demasiado rígida, por lo que la bóveda no se adapta a las exigencias del terreno.
- No está sólidamente ligada al terreno o macizo.

CAPITULO IV

EL METODO DEL ESCUDO ABIERTO

IV.1. ESCUDO

El escudo de frente abierto es una máquina excavadora destinada a la construcción de túneles en terrenos inestables.

Su función es brindar seguridad al terreno y construcciones -aledañas contra posibles asentamientos durante la excavación.

El escudo, por ser de frente abierto, permite determinar el tipo de suelo, donde se está operando, a diferencia de los -escudos de frente cerrado, en los cuales no es posible el reconocimiento de cómo se presenta el frente de ataque.

El escudo de frente abierto formado en la mayoría de su estructura por acero del tipo A-36. Las partes que lo integran, son: la cachucha, el cuerpo y el faldón. El armado de las piezas debe realizarse dentro de la losa inferior de la lumbrera

Las características y dimensiones generales pueden apreciarse en la lámina No. 4 y son las siguientes:

Diámetro Interior 9.00 m

Diámetro Exterior 9.138 m

Longitud Superior 4.70 m

Longitud Inferior 3.075 m

No cuenta con cuchilla rozadoras

28 gatos de empuje

17 gatos frontales

IV.1.1. CACHUCHA

La cachucha consiste en una camisa frontal de seguridad, - que protege al frente de ataque, así como al personal que se encarga de realizar la excavación del material.

IV.1.2. CUERPO

El cuerpo es la parte principal del escudo, debido a que - contiene el sistema de operación del escudo, así como los principales componentes hidráulicos.

Desde el cuerpo del escudo se puede controlar el movimien- to de los dos brazos erectores independientes por medio de dos pivotes.

El cuerpo tiene la particularidad de poseer una mampara - receptora de material, la cual puede abrirse durante la - excavación o bien cerrarse al llevarse a cabo el empuje - del escudo.

En esta sección del escudo, se encuentran colocadas las - tarjetas de lectura, para el laser que se utilizará en el control topográfico, así como una placa de corrección de - pendiente y giro del escudo.

IV.1.3. FALDON

El faldón es la continuación del cuerpo; presenta un corte de 0.80 m. en la parte inferior trasera, debido a lo cual el escudo al avanzar, deja la dovela de fondo en contacto con el terreno y posteriormente se colocan los gatos hidráulicos entre los extremos que unen las dovelas laterales con la de fondo, a su vez, los brazos erectores sostienen las dovelas macho y hembra. (Ver lámina No. 5 y 6).

IV.1.4. SISTEMA HIDRAULICO

El sistema se compone de un control remoto, el cual cuenta con manómetros y controles para el funcionamiento del escudo. Se encuentra adosado a la plataforma más alta del cuerpo.

IV.1.5. GATOS DE EMPUJE

Los gatos de empuje se localizan en la parte trasera del cuerpo y se distribuyen perimetralmente permitiendo al escudo poder hacer curvas horizontales y verticales.

Los gatos se encuentran ubicados de la siguiente manera: en la parte inferior se instalaron 12 gatos de 200 toneladas cada uno para dar al escudo la suficiente potencia para ascender; mientras que en la parte superior y costados se encuentran 12 gatos de 200 toneladas y 4 gatos de 150 toneladas cada uno.

Para el avance del escudo durante los primeros metros de excavación, los gatos se apoyan mediante zapatas sobre una estructura de atraque y posteriormente sobre las mismas dovelas, en sus caras normales al trazo del túnel.

IV.1.6. GATOS DE ADEME

Los gatos de ademe, también denominados gatos frontales, están insertados en la parte delantera del cuerpo.

Se utilizarán para sostener el frente de ataque durante la excavación, en caso de que el terreno no sea autosoportable.

Se distribuyen de tal manera, que pueden reducir el frente de ataque al colocarse apuntalamientos a base de tablonces de madera entre ellos y el terreno.

Las seis plataformas deslizantes de trabajo son controladas por medio de algunos de los gatos de ademe para adelantarlas o retraerlas. Sobre las plataformas se colocan las perforadoras neumáticas. Así mismo, es ahí donde labora el personal encargado de la excavación y de la rezaña del material.

El avance del escudo se logra al extenderse los gatos de empuje y retraer los gatos frontales.

IV.1.7 BRAZOS ERECTORES

Los brazos erectores se encuentran situados en la parte trasera del cuerpo del escudo.

Tienen la cualidad de actuar independientemente el uno respecto al otro para la colocación de cada uno de los segmentos o dovelas A y B dentro del faldón del escudo, girándolos hasta alcanzar su posición definitiva.

Los brazos se encuentran articulados a base de controles ubicados en la plataforma de control remoto.

IV.1.8 BOMBAS HIDRAULICAS

Las bombas hidráulicas proporcionan al sistema hidráulico la presión suficiente para su buen funcionamiento, motivo por el cual será necesaria una correcta ubicación e instalación de las mismas.

Se decidió instalar las bombas sobre la superficie, cerca de la lumbrera, y de acuerdo al avance en la construcción del túnel, se colocan unas bombas auxiliares dentro del mismo para evitar pérdidas de presión debido a la distancia.

Un conjunto de cuatro bombas hidráulicas con motores de 20 H.P. cada una, se eligieron para suministrar la sufi

ciente presión de aceite. Dichas bombas son accionadas por el control remoto desde el frente de ataque, por el operador del escudo.

IV.2 PREPARACIONES EN LUMBRERA PARA EL INICIO DE LA EXCAVACION

La construcción de una lumbrera, se hará con la finalidad de introducir el equipo necesario para la excavación y construcción del túnel, así como para la extracción de la rezaga producto de la excavación.

La lumbrera es de sección circular con un diámetro interior de 10.70 m.; la sección excavada tiene un diámetro de 11.50 m. aproximadamente, con una profundidad de excavación de 18.53 m.

Ahí se construye una estructura denominada losa de apoyo, sobre la cual se arma el escudo.

La losa de recepción del escudo, es una estructura metálica formada por traveses y contraventeos, que se apoyan sobre un hombro de concreto, la losa inferior de la lumbrera tiene un radio de 4.579 m., hasta llegar a una altura de 1.20 m. (Ver lámina No. 7).

Sobre la traveses de la estructura de recepción, hay cuatro rieles simétricamente distribuidos, de 9.10 m. de longitud

y a una distancia radial de 4.569 m. del centro de línea - teórico, que corresponde al radio exterior del escudo, con- objeto de servir de superficie de deslizamiento en los pri- meros avances de escudo. Cuando el escudo se encuentra arma do, se instala la estructura de atraque, la cual, se consti tuye por semi-anillos formados por dovelas del tipo A y B - colocadas en posición invertida. A su vez se apoyan sobre - un anillo de apoyo inicial colocado en sitio. (Ver lámina - No. 8).

Se empotra la estructura en uno de los muros de la lumbrera considerando que dicho muro elegido es la parte posterior - al eje del túnel. Esta soporta el empuje de diez gatos infe riores, provocando el avance del escudo al muro anterior de la lumbrera.

Ya que el frente del escudo está en contacto con el muro de la lumbrera, se inicia la demolición de dicho muro y al mis mo tiempo se comienza a colocar al primer semi-anillo den tro del cuerpo del escudo, lo cual se realiza con la ayuda de los brazos erectores.

Una vez finalizado el armado del primero y segundo semi-ani llo, se reza la demolición del muro, procediéndose a avan zar el escudo por tramos de 0.90 m. Con el avance, se tiene oportunidad de colocar anillos subsecuentes. Cabe mencionar que al efectuar el empuje del tercer semi-anillo el primer semi-anillo sale del escudo, quedando a la vista.

Al encontrarse el escudo, cuando menos a una distancia de 150. m. con respecto a la lumbrera, se inicia el proceso constructivo de la torre de manteo, para ello se retira la estructura de atraque para el arranque inicial, se demuele la cubeta y se inician las excavaciones correspondientes.

IV.3 DESCRIPCION DEL CICLO DE TRABAJO

La poca disponibilidad de espacio que existe dentro de la lumbrera, durante los primeros avances correspondientes a la perforación del túnel, requiere un equipo práctico para la mecanización de los trabajos; por tal motivo, en dicha distancia las dovelas son introducidas por la lumbrera y - arrastradas hasta la parte posterior del escudo con un cargador.

La rezaga producto de la excavación, del frente, se dopalo ja con el mismo cargador, el cual a su vez, debe formar - una plataforma de trabajo para el tránsito del equipo a - utilizarse.

La colocación de los anillos se inicia una vez que la totalidad del escudo esté en contacto con el terreno, es decir cuando esté a punto de desaparecer de la lumbrera. El ensamble de los anillo se explicará detalladamente en incisos posteriores. Para garantizar la seguridad de colocación, se colocan troqueles en la parte superior contra el anillo de apoyo inicial, según se indica en la lámina No. 8

IV.3.1. EXCAVACION

El proceso de excavación del frente, lo realizan perforistas, desde las plataformas del escudo, por medio de pistolas neumáticas tipo CP-105, cuyo consumo de aire requerido es de $40 \text{ ft}^3 / \text{min.}$, por lo cual es necesario la utilización de un compresor.

El compresor se ubica en la superficie de la lumbrera. Al principio se excava la periferia superior del escudo, por medio de una ranura de 0.90 m. de longitud y 0.40 m. de ancho y en la parte central del frente se puede realizar una excavación de longitud máxima de 2.0 m. (esto dependerá de las condiciones que presente el suelo).

Durante la excavación se baja la mampara localizada en la parte inferior del escudo, para poder retirar el material producto de la excavación. Según sean las condiciones de estabilidad del terreno por atravesar, la excavación de la ranura se realiza preferentemente al ras de la cachucha del escudo.

Las plataformas de ademe se usan si la estabilidad del terreno lo amerita, o sea que el terreno no sea autosostentable, su función será el reducir el frente de trabajo al colocarse apuntalamientos a base de tabloncillos de madera entre las plataformas y el terreno.

Como el trazo consta de dos curvas, la excavación de la curva puede admitir ligeras sobreexcavaciones (0.10 m. como máximo), esto con el fin de facilitar el control topográfico del escudo, evitando de esta manera posibles daños a los anillos previamente colocados debido a empujes forzados.

La excavación se inicia en el instante en que se haya finalizado el empuje del escudo mientras se colocan los segmentos, los cuales forman el último anillo.

IV.3.2. REZAGA

La operación de la rezaga del material, producto de la excavación del frente, la realiza un cargador sobre llantas Michigan 85-III, atacando de frente y rezagando lateralmente y hacia atrás.

La rezaga se deposita sobre vagonetas para vía, siendo jaladas hasta la lumbrera por una locomotora, donde se vacía a los botes cargadores, los cuales son izados por la torre de manto, de ahí descargan a la tolva y a los camiones de volteo.

Las plataformas de vía son utilizadas además para transportar a las dovelas, desde la lumbrera hasta las cercanías con el escudo.

IV.3.3. EMPUJE

Para llevar a cabo el empuje del escudo, es necesario el haber concluido el corte del terreno, así como la rezaga del material por lo que se procederá a empujarlo, dándosele un avance máximo de 0.90 m. de longitud, éste deberá medirse mediante la carrera de los vástagos en los gatos de empuje.

El avance del escudo se logra por la operación que realizan los gatos de la parte trasera, los cuales se apoyan por medio de sus zapatas en los costados de los anillos ya colocados.

Antes de empezar la maniobra de empuje del escudo, se deberá seguir el siguiente proceso:

- a) Checar la posición real del escudo en el empuje anterior, tanto encadenamiento como en nivelación giro.
- b) Seleccionar el número de gatos hidráulicos a utilizar en el siguiente empuje.
- c) Seleccionar el tipo de anillo que se colocará
- d) Checar la presión recibida en los controles hidráulicos del escudo.
- e) Elegir el número de bombas hidráulicas a utilizar.

- f) Reducir la presión de los controles hidráulicos del escudo.
- g) Checar el registro de presiones utilizadas en avances anteriores. Si durante un empuje se requiera de mayor presión, pueda ser indicio de algún obstáculo en el frente, cuya presencia acarrearía la posibilidad de desviar el escudo.

IV.3.4. COLOCACION DE LOS ANILLOS

El proceso de colocación de los anillos comienza desde el transporte del sitio de fabricación hasta su colocación definitiva como revestimiento del túnel.

Será necesario el utilizar un vehículo que pueda transportar un peso aproximado de 14.6 toneladas, dicho peso se integrará por los tres segmentos que forma a cada anillo, además deberá tener las dimensiones para este tipo de carga, cumpliendo con los requisitos para el tránsito dentro del Distrito Federal.

Una vez que el vehículo se localice en el sitio de la obra, por medio de una grúa Link Belt con capacidad de 10 toneladas serán izadas e introducidas dentro de la lumbrera cada una de las dovelas, colocándolas sobre plataformas de vía.

Estas plataformas se encargarán de transportar dentro del túnel a cada uno de los segmentos (pricipiando con el A y B, posteriormente el C), hasta las cercanías del escudo; el trascavo que será utilizado durante la rezaga, los recogerá y depositará en la parte posterior del escudo.

Colocada cada dovela en dicho sitio, se acoplará en primer lugar la dovela A en la brida del brazo erector y será izada para colocarla en su posición definitiva dentro del faldón del escudo, posteriormente se transportará la dovela B, para su izaje y colocación en su posición de igual forma - que la dovela A.

Por último se transportará y colocará en su posición la dovela C (cubeta). Las dovelas A y B, traen insertos en los - cuales se colocará un canal de 8" X 0.70 m. para unir estos segmentos en el punto de la clave. (Ver lámina No. 9).

Instalado el canal en la clave, se retirará el primero de - los cinco troqueles insertados en los ciclos anteriores, - mediante el trascavo se transportará al faldón del escudo. De ahí, se ensamblará en los insertos que para tal fin tienen las dovelas A y B.

El troquel horizontal colocado en los insertos de los segmentos A y B, deberá permanecer en su posición por lo menos 8 horas, contadas a partir del momento de su retiro. (Ver - lámina No. 10).

IV.3.5. EXPANSION

Una vez que el anillo haya salido totalmente de la camisa del escudo, se deberá colocar un puntal vertical de acero, cédula 40 y 6" de diámetro; el cual, mediante un gato hidráulico auxiliará a los gatos de expansión a levantar la clave del anillo. Dicho ensamble del puntal, se muestra en la lámina No. 10.

Habiéndose colocado el puntal vertical antes mencionado, se procederá a aplicarse la precarga correspondiente y a expandir el anillo mediante los gatos de expansión, los cuales se colocan en los extremos de las dovelas A-C y B-C; debiendo realizar estos movimientos en forma simultánea.

La precarga que se aplicará al puntal vertical, será de 15 toneladas y la correspondiente a los gatos de expansión será de 30 toneladas.

IV.3.6. COLADOS EN LA ZONA DE EXPANSION

Finalizado el proceso de expansión, se colocan dos tramos de tubo de 3" de diámetro, cédula 80 con placas de 3/8" de 10 x 10 cm. Dichos bancos se sueldan a los extremos de las dovelas por medio de cuñas de acero.

Recibidos los segmentos, se retirarán los gatos de expansión.

Posteriormente, se ligan las varillas ubicadas en los ex -
tremos de las dovelas A-C y E-C. (Ver lámina No. 10).

Concluido lo anterior, se rellenará el hueco ocupado por -
los gatos de expansión con concreto cuya resistencia ten -
drá un $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, con aditivo estabilizador de vo -
lúmen. Después se podrá retirar el puntal vertical, dejan-
do ahogados en dicho colado los tramos de tubo de 3" de -
diámetro.

El concreto es hecho en obra y se enviará desde la super -
ficie de la lumbrera hasta donde se llegue a necesitar, -
pasando por mezcladoras de reciclado del tipo Aliva para -
que conserve sus características óptimas de resistencia.

IV.3.7. INYECCION DE CONTACTO

Con el objeto de reducir los asentamientos superficiales -
durante la excavación, así como las filtraciones de agua -
freática hacia el interior del túnel, se realizará una in -
yección entre la camisa del escudo y el terreno, de acuerdo-
do con lo siguiente.

Con la finalidad de que cada anillo presente una inyección
satisfactoria en su perímetro, se utilizan los insertos -
para maniobras existentes en cada dovela, a su vez se real-
lizan perforaciones adicionales de 2" de diámetro, tanto -

estas como las de los insertos, deberán penetrar en el suelo circundante 15 cm. (Ver lámina No. 11).

Las perforaciones adicionales serán 3 en los anillos que se inyectarán en 2a. fase y una en los anillos que se inyectarán en 3a. fase; estas perforaciones adicionales serán efectuadas durante la construcción de las dovelas o una vez colocadas éstas en el interior del túnel.

La inyección de primera fase se realizará en todos los anillos; las inyecciones de segunda y tercera fase se efectuarán en anillos alternados, tal y como se muestra en la lámina No. 11.

a).- Inyección de primera fase

Antes de iniciar el proceso de inyección de primera fase, será necesario sellar las juntas de unión entre las dovelas colocadas, con el fin de impedir la pérdida de la inyección.

Este sellamiento se efectuará con una mezcla formada por dos partes de cemento y una de yeso.

Una vez selladas las juntas se iniciará la inyección de primera fase, la cual se llevará a cabo en cada uno de los insertos que se muestran en la lámina No. 12 y se efectuará cuando el anillo por inyectar, cuente con tres an

llos como mínimo cinco como máximo entre él y - el faldón del escudo, o bien no deberá transcurrir el lapso mayor de 24 horas entre la colocación de cualquier anillo y su inyección de primera fase.

b).- Inyección de segunda fase

Para la realización de la inyección de segunda fase, el anillo por inyectar, deberá contar con la inyección de primera fase y tener entre este anillo y el faldón del escudo, una distancia variable entre cinco y siete anillos, es decir el sexto y octavo anillo localizado atrás del faldón será que se esté inyectando en segunda fase.

c).- Inyección de tercera fase

Para la ejecución de la inyección de tercera fase a un anillo, éste deberá contar con la inyección de primera fase tener entre él y el faldón del escudo una distancia variable entre 10 y 12 anillos, es decir, el máximo acercamiento de la inyección de tercera fase al faldón del escudo será de 10 a 12 anillos, así como la distancia al anillo más alejado de dicho faldón en que se realice la inyección de tercera fase no-

deberá exceder de 40 anillos.

En todas las inyecciones, el volúmen máximo a inyectar por barrero será de 0.5 m^3 , a una presión de 1.5 Kg/cm^2 , con resistencias como mínimo de 30 Kg/cm^2 , a los siete días.

IV.4. INSTALACIONES EN EL INTERIOR DEL TUNEL

Las diferentes instalaciones que son básicas para la construcción de un túnel, corresponden a dos clases de instalaciones:

- A).- Instalación de tuberías
- B).- Instalación de equipo especializado
- A).- Instalación de tuberías

Debido a la complejidad de la obra, será necesario la colocación de diferentes tipos de tuberías durante la construcción del túnel para el logro notables avances.

- 1).- Dos tubos para la ventilación, los cuales tendrán un diámetro de $36" \varnothing$ cada uno, que se colocarán en la clave del túnel.
- 2).- Un tubo para el aire comprimido, el cual tendrá un diámetro de $12" \varnothing$ se instalará en el costado derecho del túnel.

- 3).- Dos tubos para agua potable e inyecciones, los cuales tendrán un diámetro de 2" \varnothing se instalarán abajo del tubo del aire comprimido.
- 4).- Tres tubos para el equipo hidráulico, que se instalarán en el costado izquierdo del túnel, con un diámetro de 2" cada uno.
- 5).- Mangueras que contienen cables que corresponden a la corriente eléctrica y teléfono.

B).- Instalación de equipo especializado.

Los instrumentos que se instalen como inclinómetros y extensómetros, los cuales acatarán las especificaciones, serán instalados por personal especialista en estas actividades. Es fundamental que el constructor colabore con el instrumentista en el cuidado de los instrumentos para evitar que sean dañados desde el momento en que son colocados en la obra hasta la entrega de esta al propietario de la obra.

IV.5 FABRICACION DE LAS DOVELAS DE CONCRETO

Para el procedimiento de fabricación de las dovelas se requirió de 18 moldes, que forman 6 anillos completos.

Ciclo del proceso de fabricación de las dovelas:

- 1) Moldeado de dovelas (cimbrado)
 - a) Limpieza de moldes
 - b) Aplicación del desmoldante
- 2) Introducción de armados
 - a) Transporte del patio de armado al patio de colados
 - b) Colocación del armado en el molde
- 3) Colocación de insertos y puentes
 - a) Colocación de insertos
 - b) Colocación de puentes
- 4) Colado de las dovelas
 - a) Vaciado
 - b) Vibrado
 - c) Regleado
 - d) Afinado (en especial de insertos y cabeceras)
- 5) Curado
 - a) Tiempo de reposo
 - b) Colocación de estructuras y mantas
 - c) Inyección de vapor
 - d) Tiempo de penetración
 - e) Remoción de lonas y estructuras
- 6) Descimbrado
 - a) Apertura de costados

- b) Colocación de los tapones en los insertos y fijación de aquéllos al balancín o armadura.
- c) Izaje y colocación en el camión
- d) Transporte y depósito en el patio de almacenamiento.

Los moldes como los armados, serán hechos de acero de alta resistencia $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$, del tipo A - 36. Debido a que los moldes-cimbra resultaron de un alto costo, motivo por el cual es necesario hacer el mayor número de usos para su máximo aprovechamiento. Para la operación de la planta se emplean tres turnos de 8 horas cada uno, con el fin de no interrumpir la producción.

Las dovelas macho y hembra (A y B) son prácticamente iguales en su forma, peso, dimensiones y uso, pues constituyen el techo y parte de las paredes. La única diferencia entre el tipo A y B es la forma del extremo donde se unen. En el extremo opuesto se dejarán tramos de varilla de 0.375 m. de longitud, que se emplearán al momento de cerrar cada anillo a esta parte se le denomina zona de expansión.

Con el curado a vapor se obtendrá una resistencia de 280 kg/cm^2 , lo que nos permitirá remover los segmentos de los moldes 10 horas después del colado, cada uno pesa aproximadamente 5 toneladas, por lo que será necesario el uso de una grúa para los traslados.

El radio es constante, teniendo un valor de 4.50 m., las dovelas A y B tendrán una longitud de cuerda máxima de 7.75 m., mientras que la dovela C tendrá una longitud de cuerda de 8.60 m. El espesor promedio es de 0.25 m., a excepción, de las dovelas A y B en la zona cercana a la unión donde se ensancha hasta los 0.35 m., mientras la C, que completa las paredes y piso, el espesor máximo es de 0.65 m., al ancho de las paredes de concreto es de 0.80 m. medida que determina el avance del escudo en cada ciclo.

Con estas medidas y restricciones se obtiene una superficie de 3.60 m., de ancho para alojar vías, durmientes y de más elementos que permiten correr los convoys del Metro.

IV.6. VENTILACION

El volúmen de aire fresco debe ser suficiente para que cada trabajador disponga de 200 lt/seg., y para que la combustión de los motores sea eficiente se les debe dotar de 350 lt/seg., por HP. Para introducir el aire fresco o extraer el aire viciado se utilizan ventiladores que generan determinado volúmen de aire con una presión dinámica que se mide en milímetros de columna de agua; para la conducción del aire se utilizan tuberías con láminas de acero o de telas sintéticas a base de polioles, una recomendación práctica para determinar el diámetro de éstos, es que su área ser 1/50 del área del túnel ó 1/7 del diámetro del

mismo, circunscribiendo un círculo en la sección transversal del túnel.

Por la conducción del aire por medio de tubos hay pérdidas de presión que deben tomarse en cuenta para determinar la longitud del túnel que se puede ventilar a la distancia a que se deben instalar otros ventiladores en relevo.

Las pérdidas de presión en las tuberías son ocasionadas por la fricción, fugas, cambios de dirección, etc., de éstas, la más importante es la debida a la fricción, ya que las otras por su condición aleatoria se transforman en metros de tubo que se deducirán de la longitud resultante de aplicar la fórmula del cálculo de pérdida de fricción, que se expresa así:

$$K_f = K \frac{Qn}{D^5}$$

K_f = Pérdida de presión en mm de columna de agua

K = Coeficiente que varía según el material de la tubería.

Q = Volúmen de aire en m^3 /seg.

D = Diámetro de la tubería en metros.

n = Exponenta que varía según el material de la tubería.

| | K | n |
|----------------------|---------|-----|
| Lámina de Fierro | 0.00205 | 2 |
| Tela ahulada o Nylón | 0.00210 | 1.7 |

Para reducir las pérdidas de presión ocasionadas por fugas, hay que hacer herméticas las juntas entre tramo de tubo. Para evitar pérdidas de presión, la tubería debe ser recta, sin curvas y deberá instalarse dentro del túnel en un sitio que no sufra golpes por el tránsito del equipo, en el extremo cercano al lugar de la excavación.

Para la ventilación de una excavación subterránea se pueden utilizar dos sistemas o la combinación de ambos, es decir, se puede introducir el aire fresco desde el exterior o extraer el aire viciado del interior de la excavación o también usar la combinación de ambos sistemas, introduciendo primero el aire fresco y extrayendo el aire viciado, reduciendo considerablemente el tiempo para limpiar el frente de trabajo.

IV.7. PLANTILLAS DE PERSONAL

Para esta clave de obras, es necesario la contratación de cinco tipos de plantillas de personal o cuadrillas de gen-

te, las cuales poseen diferentes especialidades, así como de categorías entre ellas.

Son indispensables las siguientes plantillas de personal para cada turno de trabajo:

- A) PLANTILLA DE EXCAVACION
- B) PLANTILLA DE COLADO Y COLOCACION DE TROQUELES
- C) PLANTILLA DE INYECCION Y PERFORACION
- D) PLANTILLA DE REZAGA Y MANEJO DE DOVELAS
- E) PLANTILLA DE INSTALACIONES

- A) PLANTILLA DE EXCAVACIONES

La plantilla de excavación, óptima según registros, es aquella que se encuentra compuesta por el siguiente personal:

| CATEGORIA | TURNO | |
|---------------------|----------|----------|
| | MATUTINO | NOCTURNO |
| Sobrestantes | 1 | 1 |
| Perforistas | 2 | 1 |
| Ayudantes | 6 | 6 |
| Operadores | 2 | 2 |
| Topógrafos | 1 | 1 |
| Cadeneros | 3 | 3 |
| Maniobristas | 4 | 4 |
| Ayudantes Generales | 2 | 0 |

B) PLANTILLA DE COLADO Y COLOCACION DE TROQUELES

La plantilla de colado y colocación de troqueles, más eficiente según registros, es aquella que se encontró compuesta por el siguiente personal:

| CATEGORIA | TURNO | |
|-----------------------|----------|----------|
| | MATUTINO | NOCTURNO |
| Albañiles | 2 | 2 |
| Ayudantes Generales | 4 | 3 |
| Soldadores | 1 | 1 |
| Ayudantes de Soldador | 1 | 1 |
| Cabos | 1 | 1 |
| Maniobristas | 2 | 0 |

C) PLANTILLA DE INYECCION Y PERFORACION

La plantilla de inyección y perforación, más eficiente según registros, se encontró compuesta por el siguiente personal:

| CATEGORIA | TURNO | |
|--------------|----------|----------|
| | MATUTINO | NOCTURNO |
| Sobrestantes | 1 | 0 |
| Cabos | 1 | 1 |
| Operadores | 3 | 2 |
| Perforistas | 1 | 1 |
| Maniobristas | 2 | 2 |

| | | |
|---------------------|---|---|
| Albañiles | 2 | 2 |
| Ayudantes Generales | 6 | 8 |

D) PLANTILLA DE REZAGA Y MANEJO DE DOVELAS

La plantilla de rezaga y manejo de dovelas más adecuada es aquella que se encontró compuesta por el siguiente personal:

| CATEGORIA | TURNO | |
|---------------------|----------|----------|
| | MATUTINO | NOCTURNO |
| Maniobristas | 3 | 4 |
| Ayudantes Generales | 4 | 4 |
| Operadores | 2 | 2 |
| Cabos | 1 | 1 |

E) PLANTILLA DE INSTALACIONES

La plantilla de instalaciones, más eficiente según registros, es aquella que se encontró integrada por el siguiente personal:

| CATEGORIA | TURNO | |
|----------------------------|----------|----------|
| | MATUTINO | NOCTURNO |
| Cabos | | |
| Electricistas | 1 | |
| Ayudantes de Electricistas | | 1 |
| Mecánicos | | |
| Ayudantes de Mecánicos | | |

| | | |
|---------------------|---|---|
| Maniobristas | 2 | |
| Ayudantes Generales | 3 | 1 |

IV.8. EQUIPO

Para la excavación en túneles, es necesario el uso de diferentes equipos según los tipos de plantillas de trabajo, debido a que cada uno tiene su función específica.

Son indispensables los siguientes equipos según plantillas - debido a que cada uno tiene su función específica dentro de la obra.

- A) EQUIPO DE EXCAVACION
- B) EQUIPO DE COLADO Y COLOCACION DE TROQUELES
- C) EQUIPO DE INYECCION Y PERFORACIONES
- D) EQUIPO DE REZAGA Y MANEJO DE DOVELAS

A) EQUIPO DE EXCAVACION

El equipo de excavación óptimo se encontró integrado por:

| EQUIPO | TURNO | |
|---------------------|----------|----------|
| | MATUTINO | NOCTURNO |
| Traxcavo | 1 | 1 |
| Rompedora Neumática | 6 | 6 |
| Rozadora | 1 | 1 |
| Gatos Hidráulicos | 3 | 3 |

B) EQUIPO DE COLADO Y COLOCACION DE TROQUELES

El equipo de colado y colocación de troqueles, más eficiente - según registros llevados en obra, que se encontró integrado - por:

| EQUIPO | TURNO | |
|----------------------------|----------|----------|
| | MATUTINO | NOCTURNO |
| Equipo de Corte | 1 | 1 |
| Planta de Soldar Eléctrica | 1 | 1 |
| Revolvedora | 1 | 1 |
| Vibrador | 1 | 1 |

C) EQUIPO DE INYECCION Y PERFORACION

El equipo de inyección y perforación, más eficiente según registros llevados en obra, es aquel que se encontró integrado - por:

| EQUIPO | TURNO | |
|-------------------|----------|----------|
| | MATUTINO | NOCTURNO |
| Agitador Vertical | 1 | 1 |
| Cono Reciculator | 1 | 1 |
| Bomba Moyno | 2 | 2 |
| Perforadora | 1 | 1 |
| Criba | 1 | 1 |
| Vibrador | | |

D) EQUIPO DE REZAGA Y MANEJO DE DOVELAS

El equipo de rezaga y manejo de dovelas, más eficiente - según registros llevados en obra, es aquél que se encontró integrado por:

| EQUIPO | TURNO | |
|------------------------------|----------|----------|
| | MATUTINO | NOCTURNO |
| Locomotora | 1 | 1 |
| Vagoneta de Descarga Lateral | 10 | 10 |
| Skip | 2 | 2 |
| Grúa o Similar | 1 | |
| Góndola | 3 | |

IV.9. TOPOGRAFIA

El uso de sistemas tipo laser (light amplification by sti - mulated emisión of radiation), proporciona una solución - práctica para el control topográfico, con información acerca - ca de la correcta localización y orientación del escudo.

El escudo puede ser dirigido unicamente por el operador y - el turno de topógrafos puede concentrar su atención a compro - probar constantemente la colocación del laser, tarjetas de control y puntos sin presión de ninguna especie y sin interferir con las actividades del ciclo. (Ver lámina No. 13).

Lá luz laser se dirige continuamente a dos tarjetas fijas -

al techo del compartimiento del operador del escudo. Se usan dos tarjetas en lugar de una, por la misma razón que un rifle tiene mira trasera y delantera. En las intersecciones de la luz con las tarjetas, aparecen puntos rojos brillantes, que conforme al movimiento del escudo, van trazando trayectorias. (Ver lámina No. 13).

Cuando el túnel es recto, las tarjetas son círculos concéntricos si consta de curvas horizontales y verticales, se requerirá que la luz atraviese las tarjetas transparentes, cuyo dibujo es una línea con marcas o cruces, las cuales indican estaciones en intervalos, por donde debe aparecer. (Ver lámina No. 14).

CAPITULO V
AVANCES REGISTRADOS

V.1. EXCAVACIONES MAXIMAS

A) EXCAVACION MAXIMA DIARIA

Durante el proceso de excavación del túnel, se registraron varios avances notables en diferentes días, los cuales, consistían en excavaciones máximas del orden de los 6.4 m. al día, por lo que se pudo llegar a colocar durante esos días hasta un total de 8 anillos diarios. Estos avances se presentaron en forma más o menos periódica una vez al mes o cada dos meses.

B) EXCAVACION MAXIMA SEMANAL

La máxima excavación semanal que se llegó a registrar durante la excavación del túnel, fue la decimoprimer semana en la cual, se logró colocar un total de 44 anillos, que representó un avance de 35.2 m.

C) EXCAVACION MAXIMA MENSUAL

La máxima excavación mensual que se llegó a realizar durante la excavación del túnel, se presentó aproximadamente al sexto mes de haber iniciado los trabajos en el cual, se logró colocar un total de 164 anillos, que representó un

avance de 131.2 m.

V.2. RENDIMIENTOS PROMEDIO

A) RENDIMIENTO DIARIO PROMEDIO

El rendimiento diario promedio que se logró registrar durante la ejecución de la excavación del túnel, fue de 4.74 m. diarios de avance, por lo cual, se pudo colocar unos 5.92 - anillos diarios en promedio.

B) RENDIMIENTO SEMANAL PROMEDIO

El rendimiento semanal promedio que se registró durante la ejecución de la excavación del túnel, fue de 27.67 m. semanales de avance, lo cual equivale a 34.62 anillos semanales en promedio.

C) RENDIMIENTO MENSUAL PROMEDIO

El rendimiento mensual promedio que se obtuvo durante la ejecución de la excavación del túnel, fue de 112.45 m. mensuales de avance, es decir 140.56 anillos mensuales en promedio.

V.3. CONSUMOS DE INYECCION

Se inyectaron durante la primera fase un total de 1,356 ani

llos, de los cuales, 917 se realizaron con un máximo de 2 bachas, que representan un 67.7% del total; mientras que 347 anillos se llevaron 3 bachas que representan el 25.6%

Por lo tanto, en promedio se tuvo un consumo de inyección de 2 bachas, o sea 0.70 m^3 por anillo.

Se inyectaron durante la segunda fase un total de 676 anillos, de los cuales, 440 se realizaron con un máximo de 2 bachas, que representaron un 65.1% del total; mientras que 139 anillos se llevaron 3 bachas que representaron el 20.6%. En promedio se tuvo un consumo de inyección de 2 bachas, o sea 0.68 m^3 por anillo.

Durante la tercera fase fueron inyectados un total de 676 anillos, de los cuales, 302 se realizaron con un máximo de 2 bachas, que representaron un 44.7% del total; mientras que 230 anillos se llevaron 3 bachas que representaron el 34%, lo cual significa un consumo primario de inyección de 2.5 bachas, o sea 0.705 m^3 por anillo.

PRIMERA FASE

Para la primera fase, se inyectó un total real de 1,095.65 m^3 , con respecto del total del proyecto que era de 2,712 m^3 , o sea 1,616.35 m^3 menos que el teórico.

SEGUNDA FASE

Para la segunda fase, el volúmen real inyectado fue de -
482.632 m³ con respecto del total del proyecto que era -
de 1,014 m³, es decir, 531.368 m³ de menos.

TERCERA FASE

En la tercera fase, la inyección colocada fue de 479.573
m³, con respecto del total del proyecto que era de 1,014
m³, 534.327 m³ de menos.

CAPITULO VI

INSTRUMENTACION DEL TUNEL

Para conocer las magnitudes y variaciones de los movimientos horizontales y verticales, en la zona de la excavación - áreas adyacentes que pudieron ser provocados en el subsuelo - antes, durante y después de la excavación del túnel, es vital la instalación de secciones de instrumentación que permitan determinar dichas deformaciones.

V.1. CONTROL DE MOVIMIENTOS HORIZONTALES Y VERTICALES
DEL SUBSUELO.

- 1).- Tipo de instrumentos que se colocarán en las secciones -
 - a).- Movimientos del subsuelo hacia la excavación del túnel los movimientos del subsuelo que se producen en forma convergente hacia la excavación del túnel se medirán desde la superficie por medio de extensómetros, este instrumento se colocará en forma vertical sobre el eje del trazo del túnel.

La perforación para la colocación de las anclas del extensómetro deberá ser de 3" \emptyset de diámetro y se llevará hasta una profundidad tal que la parte más profunda de la perforación quede a 50 cm., arriba de la clave del túnel.

La colocación de los cuatro puntos de medición - se realizará de la siguiente manera:

- El primero es el más profundo, se colocará en el tope de la excavación.
- El segundo será introducido a un metro del primero.
- El tercero se instalará a tres metros a partir - del segundo.
- El cuarto se colocará a la mitad de la distancia que resulte entre el tercer punto y la superficie del terreno. (Ver lámina No. 15).

b).- Movimientos Verticales

Para registrar los asentamientos del subsuelo en las áreas adyacentes a la excavación del túnel, - será necesario realizar nivelaciones topográficas para ésto colocarán secciones de nivelaciones - transversales al eje.

Los puntos de estas secciones se ubicarán a cada- 10 m. a partir del eje del túnel a ambos lados - del mismo, hasta una distancia de 50 m. y 100 m., según lo permita el sitio en obra. (Ver lámina - No. 15). En los extremos de estas líneas de nive- lación se colocará un banco de nivel a un metro -

de profundidad.

Además de las secciones transversales, tendría nivelación sobre el eje del trazo, cuyos puntos de nivelación se colocarán a cada 30 m., a partir del cadenamiento 17 + 725.0 en adelante, excepción de aquellos lugares donde se tenga construcción. Adicionalmente se instalarán puntos de nivelación sobre cada uno de los extensómetros.

La ubicación de dichos será con el fin de que no se afecten por los movimientos de vehículos, por lo cual dos puntos se ubicarán dentro de las perforaciones de 1.0 m., de profundidad y del diámetro necesario para introducir el equipo de medición.

En el fondo de la perforación se colará un bloque de concreto pobre, en el cual se fijará el punto de control.

Las paredes de la perforación se deberán ademar con tubo de acero; así mismo se protegerá con una tapa.

c).- Movimientos Convergentes

Para determinar los movimientos de las paredes túnel, con mediciones realizadas desde el interior del túnel, será necesario instalar puntos de referencia con la distribución que se muestra en la lámina No. 16.

VI.2. LECTURAS DE CONVERGENCIA

2).- Periodicidad de las mediciones.

Las nivelaciones topográficas sobre los extensómetros y bancos de nivel, las lecturas de los extensómetros y puntos de referencia deberán ser realizadas con la siguiente periodicidad:

- 1.- Todos los instrumentos que se instalen en la superficie del terreno deberán estar colocados y ser leídos cuando el frente de la excavación se encuentre a una distancia mínima de tres diámetros del túnel antes de cruzar la sección de instrumentación.
- 2.- Los puntos de referencia internos deberán colocarse inmediatamente después de que la excavación pase por el cadenamiento señalado para la ubicación de los mismos.
- 3.- Las lecturas de los instrumentos colocados desde la superficie del terreno se tomarán por lo menos una vez al día, mientras que el frente de la excavación del túnel esté entre los tres diámetros anteriores y los tres diámetros posteriores a la estación de instrumentación.

Se harán una vez cada semana en el siguiente avance de tres diámetros; una vez cada quince días en los posteriores tres diámetros y una vez cada mes hasta que las gráficas de tiempo y deformación, - tengan una franca tendencia a la estabilidad.

- 4.- Las lecturas en las secciones de puntos de convergencia en el interior del túnel se tomarán por lo menos una vez al día durante las primeras dos semanas posteriores a la instalación.

Quando las convergencias indiquen una franca tendencia a la estabilidad (velocidad menor de 0.04 mm/día).

La periodicidad puede ampliarse a dos veces por semana.

Si la tendencia continúa, el espaciamiento puede ampliarse a una vez por semana hasta que la velocidad de deformación sea menor a 0.10 mm/semana.

Quando eso ocurra, las mediciones podrán suspenderse, previo acuerdo común con el cliente.

- 5.- Las nivelaciones en el punto superior de los extensómetros instalados, así como en los bancos de nivel, se realizarán una vez al día, mientras el frente de excavación debe estar entre los tres -

diámetros anteriores y los tres posteriores a la -
sección de instrumentación.

Se tomará una vez cada semana en el siguiente avance de tres diámetros; una vez cada quince días en -
el siguiente avance de tres diámetros y una vez cada mes hasta el momento en que durante cuatro semana-
nas consecutivas no se aprecien variaciones de consideración en la lectura.

- 6.- Todas las lecturas en los instrumentos y dispositivos se interrumpirán tres meses después de haber -
terminando las labores de construcción en la ubicación de la zona instrumentada, previo acuerdo común
con el propietario de la obra.

CAPITULO VII

SEGURIDAD

VII.1. ORGANIZACION DE LA SEGURIDAD EN OBRA

La organización que se le da a la seguridad de la obra, depende de la magnitud de la misma, pero seguridad deberá haber en cualquier obra hecha por el hombre, ya sea desde una casa habitación, hasta obras subterráneas, túneles, cavernas para depósitos de materiales, casa de máquinas, lumbreras, etc.

A) COMITE EJECUTIVO

Impone el cumplimiento de las normas de seguridad y puede aplicar sanciones o estímulos por el mal o buen cumplimiento de las normas.

B) DIRECCION

Vigila que las normas sean cumplidas, además de revisar las bitácoras de seguridad y advertir a los encargados de seguridad en la ejecución de la obra de aquellas observaciones que los jefes de auxiliares hayan anotado en la bitácora y que no hayan sido cumplidas oportunamente.

C) JEFES AUXILIARES

Es el encargado directo de aplicar las normas de-

seguridad para cada trabajo, instruyendo a los -
auxiliares para que vigilen el cumplimiento de -
las mismas.

D) AUXILIARES DE SEGURIDAD

Son los que están durante la ejecución de la -
obra, siendo su misión, la de hacer observacion -
nes de las condiciones de peligro, que pudieron -
ocasionar un accidente.

VII.2. REGLAMENTACION

La reglamentación dependerá del tipo de trabajo, del méto
do de ataque, del equipo a utilizarse y principalmente del
tipo de material que se vaya a excavar. Para ello se debe
tomar en consideración las condiciones de peligro que puen-
den ocasionar lesiones al hombre, primeramente, y ensegui-
da, aquellas que perjudiquen al equipo.

La misión de la reglamentación será la de dictar normas -
que puedan evitar las condiciones de peligro, ya que éstas
si pueden ser corregidas a tiempo. En excavaciones subterrán
neas, hay condiciones de peligro que pueden evitarse, como
son: falta de iluminación, falta de ventilación, falta de
un control de agua de filtraciones ya que por lo general -
las excavaciones se hacen debajo del nivel freático, falta
de limpieza, un mal estado de la vía falta de observación

las normas de seguridad para el manejo y utilización de los explosivos y en el caso del acceso al túnel sea por medio de lumbreras, no dotar a los malacatas o elevadores de todos los dispositivos de seguridad que éstos deben tener.

La seguridad no debe limitarse a dictar normas para la realización de los trabajos, sino también extrapolarse a campamentos y transporte de personal dentro y fuera de obra.

La seguridad deberá controlar que el ambiente dentro de una excavación subterránea sea óptimo para el mejor rendimiento del personal que ejecuta el trabajo, es decir, que el sistema de ventilación, alumbrado y limpieza, sea el indicado, así eliminar las condiciones de peligro que se presentarían por su deficiencia.

Es conveniente contar con un servicio médico profesional, pues la atención rápida e inmediata de un lesionado puede evitar desenlaces funestos, evitando con esto el reducir el índice de frecuencia y gravedad que lleva el seguro disminuyendo la calificación de la obra redundando esto en la disminución de cuotas que se paga al Seguro Social.

Dependiendo de la magnitud de la obra se tendrá el servicio médico, en obras grandes es conveniente tener en cada

frente un pequeño consultorio atendido por un profesional con sus auxiliares requeridos y contar con una ambulancia para la movilización de los enfermos y así derivados a un Centro del Seguro Social.

Los médicos se encargarán de las condiciones higiénicas - de la obra; del campamento, y de los comedores, evitando así que por falta de higiene, los trabajadores se enfermen provocando epidemias dentro de la obra.

VII.3. CONDICIONES DE PELIGRO EN EXCAVACIONES SUBTERRANEAS.

El simple hecho de trabajar en sitios subterráneos, trae consigo una condición de peligro, pero las condiciones - más comunes son las siguientes:

Malacates

Tránsito dentro de la excavación

Manejo de rezaga, ya sea con equipo de vía o sobre llantas neumáticas.

Falta de buena iluminación

Falta de una ventilación adecuada

Instalaciones eléctricas.

Manejo y uso de explosivos

Deficiencia en el manejo de agua subterránea

Falta de equipos de bombeo.

La Dirección de Seguridad debe informar al Comité Ejecutivo, como se está desarrollando la seguridad en la obra, entregando mensualmente un informe de las incidencias acontecidas en ese período.

Los encargados de seguridad de los tramos, deben mantener informada a la Dirección del cumplimiento del Reglamento de Seguridad en la sección que ellos vigilan.

Los supervisores de seguridad, tienen la obligación de llevar en la bitácora las anotaciones de aquellas observaciones hechas a los encargados de la ejecución de la obra.

Los auxiliares de seguridad deben estar presentes todo el tiempo que tome una actividad que esté desarrollando y hacer notas a los que las ejecutan sobre las condiciones de peligro que pueden presentarse durante el desarrollo de la misma

Tanto los supervisores como los auxiliares de seguridad deben haber sido instruídos por los encargados del tramo sobre como detectar condiciones de peligro que pueden ocasionar un accidente.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El procedimiento constructivo en túnel por medio de escudo, comparable con los procedimientos convencionales empleados en la Ciudad de México, para la construcción del Metro, - dándole ventaja al túnel si se conceptúan las utilidades al evitar el movimiento de líneas subterráneas de distribución eléctrica, desviación de cables telefónicos, drenaje, alcantarillado y alimentación de agua potable, así como la interrupción de tránsito que ocasionan pérdidas económicas en el comercio, molestias a los habitantes de la zona, merma en las horas hombre efectivas por retrasos en los transportes, consumo y aplicación de tiempo extra para efectuar las demoliciones y reparaciones pertinentes, aunados al costo de las indemnizaciones, que elevan, en conjunto, el costo real de la obra.

Otras ventajas son:

- 1.- La utilización del recubrimiento primario de las dovelas como definitivo.
- 2.- Mayor seguridad en la construcción de túneles
- 3.- Mayores rendimientos en la construcción del túnel, con el consiguiente menor costo.
- 4.- Mayor limpieza en la realización de los trabajos
- 5.- Mayor control en la construcción del túnel por la sistematización y mecanización del escudo.

- 4.- Contar con un diseño adecuado de las dovelas que tengan todas las características que exija el diseño.

En los dos primeros puntos cumplen, debido a que están acordes al rendimiento alcanzable, ya que se eligió un escudo para el tipo de suelo y además se cuenta con personal altamente calificado para este tipo de obra.

El tercer punto es crítico, debido a que durante la excavación y la rezaga se llevan parte del tiempo, aprovechable para alcanzar el rendimiento prescrito.

Por esta razón es necesario que el escudo requiera de dos modificaciones adaptables:

- 1.- Mejorar el desalojo de la rezaga al utilizar un método eficiente, rápido y adecuado consistente en:

- a) Adaptación de la mampara a caja recolectora, partiendo de los costados laterales de la cachuena a la base del escudo, en forma trapezoidal. Al cuerpo se le soldarán unas paredes para evitar que la rezaga se quede sobre la base del escudo.

El faldón, será la "boca", por la cual saldrá la rezaga para conectarse a tubos de acero, que la desalojarán en la superficie.

- b) Colocación de tubería hasta el faldón del escudo y por medio de la ventilación, desalojar la rezaga.

2.- Los controles de los brazos erectores, que son actualmente independientes el uno del otro, volverlos a unir por medio de un troquel para que con un solo control se coloquen de mejor manera los segmentos.

Una recomendación sería el utilizar las plataformas con cuenta el escudo de una manera masiva, para un mayor rendimiento del mismo.

Otra recomendación sería para la ventilación. Para evitar pérdidas por fugas de aire entre acoplamientos o juntas:

Se corta un tramo de tubo y se coloca verticalmente en una superficie plana, se calafatea la unión entre tubo y superficie plana, en el extremo libre se coloca el dispositivo de acoplamiento para allí colocar otro tubo completo, una vez hecho esto, se comprueba su hermeticidad llenando el tubo con agua hasta una altura tal, que la presión ejercida en la junta sea igual o un 10% mayor que la presión dinámica que tenga el aire, en esta forma se pueden ensayar varios tipos de uniones o coples.

Se debe tener cuidado previamente a la colocación de la plantilla mantener la limpieza del equipo, cimbra deslizante, plataforma del tren, vagonetas de rezaqa, durante todo el revestimiento, lo cual redundará en el progreso de la obra.

Antes de colocar la vía la plantilla, es necesario inspeccionar el riel determinar si su estado general permite su utili

zación o si se debe reemplazar por otro. Mientras más cuidado se tenga en la colocación, mayores velocidades podrán alcanzar los convoys.

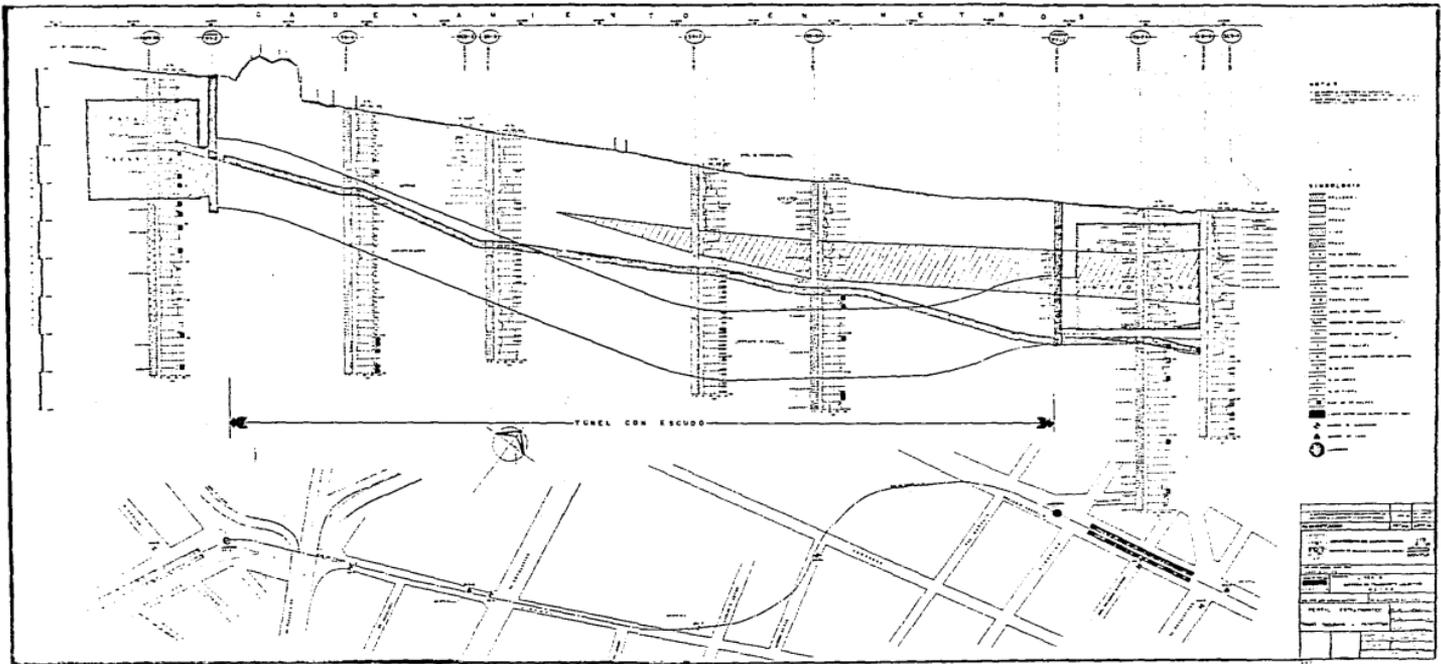
Es muy recomendable que una vez que se tenga la vía colocada y embalastada, se haga trabajar con el tránsito de un tren formado por una locomotora y carros vagonetas cargados con material durante varios días.

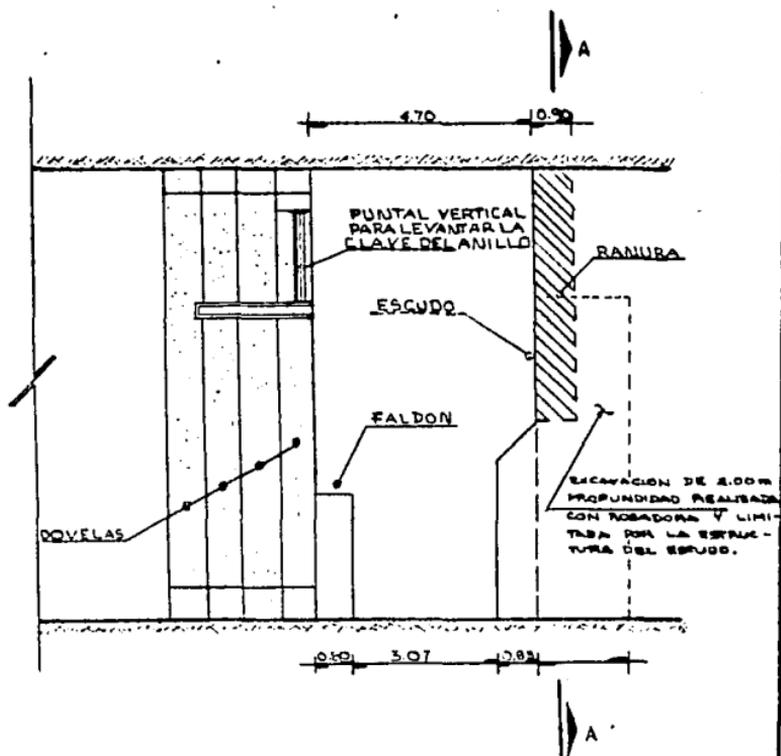
La exploración y de mecánica de suelos es fundamental y debe continuarse durante toda la excavación de los túneles y actualizarse con los materiales o problemas que se encuentran durante la excavación.

La instrumentación se vuelve imperativa al existir cambios en los tipos de materiales encontrados durante el transcurso de la obra.

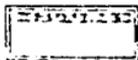
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Plan Maestro del Metro. 2a. Versión revisada.
COVITUR. México 1986.
- Manual de Diseño y Construcción de Túneles.
COVITUR. México 1985 (Sin publicar).
- Procedimiento Constructivo del Túnel Patriotismo -
Tacubaya. ISTME. México 1985 (Sin publicar).
- Estudios Geofísicos para el Túnel Patriotismo -
Tacubaya. ISTME - SOLUM. México 1984 (Sin publicar).
- Control de la Construcción del Túnel Tacubaya.
Tesis Profesional Ing. Enrique Farjeat Páramo.
Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. 1971.
- Prolongación de la Línea 1 del Metro con Túnel Excavado
con Escudo. Tesis Profesional Ing. Jacobo Levy Hop.
Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. 1970.
- Fabricación de Dovelas de Concreto para el Revestimiento
de un Túnel. Tesis Profesional Ing. Emilio Vasconcelos
Duchas.
Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. 1970.
- Curso Victor Hardy 35. Túneles y Excavaciones Subterrá
neas. Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y
Obras Subterráneas, A. C. México 1985.



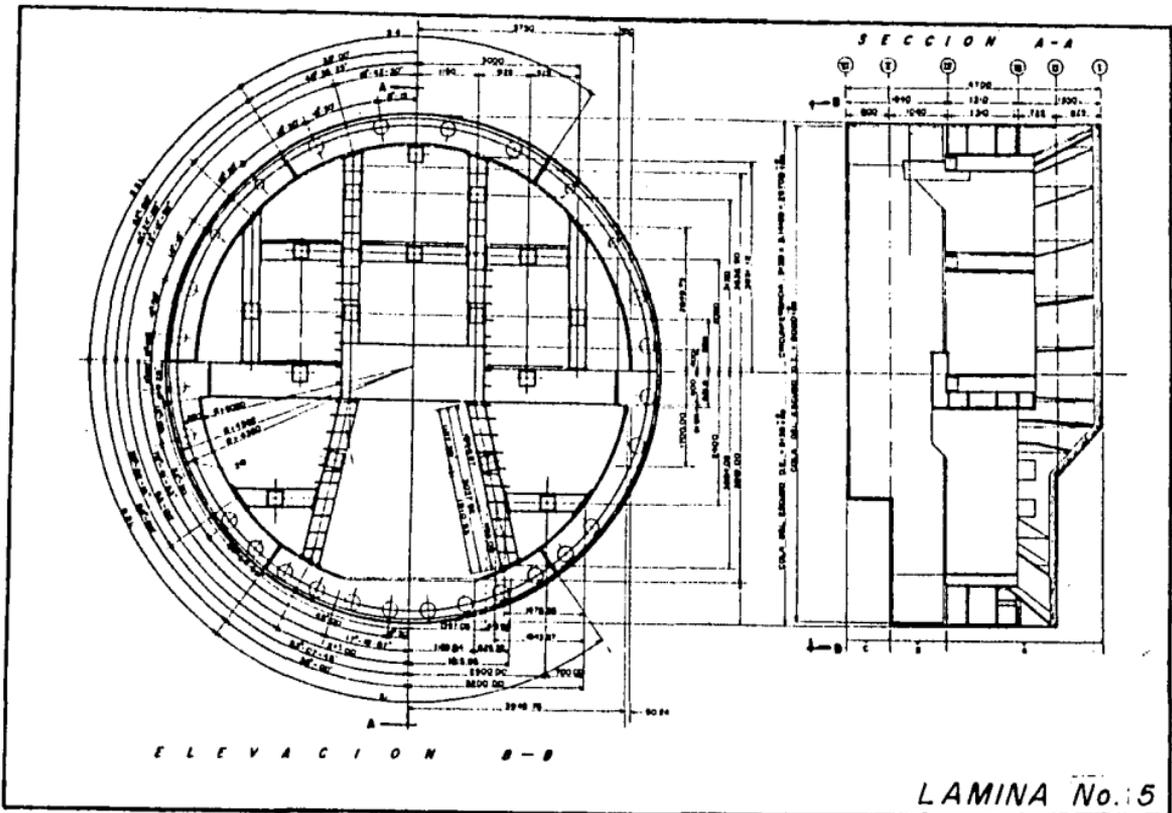


LAMINA No. 4

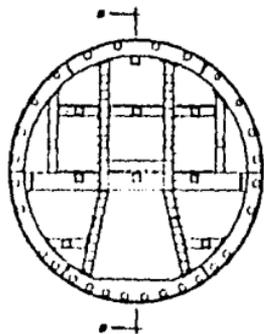


P.C. PARA LA ENCAR. Y CONSTRUC. DEL TUNEL EN EL TRAMO TAVIRA-PATRIOTISMO, ENTRE LA LUMBRERA N°1 UBICADA EN EL CAD. 17+713.600 Y LA LUMBRERA N°2 UBICADA EN EL CAD. 18+783.037.- CORRESPONDIENTE A LA LINEA 9 DEL METRO.

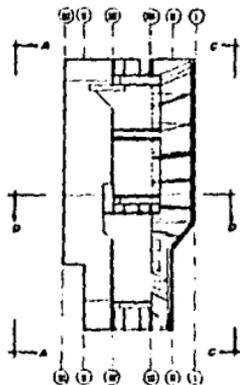
59-25-100951-III-
2-420-e.
MODIF. No.5.



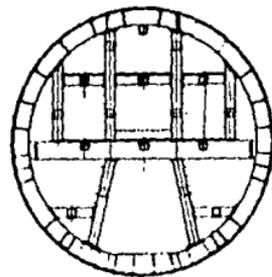
LAMINA No. 15



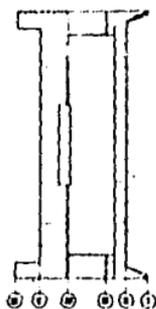
ELEVACION A-A



SECCION B-B

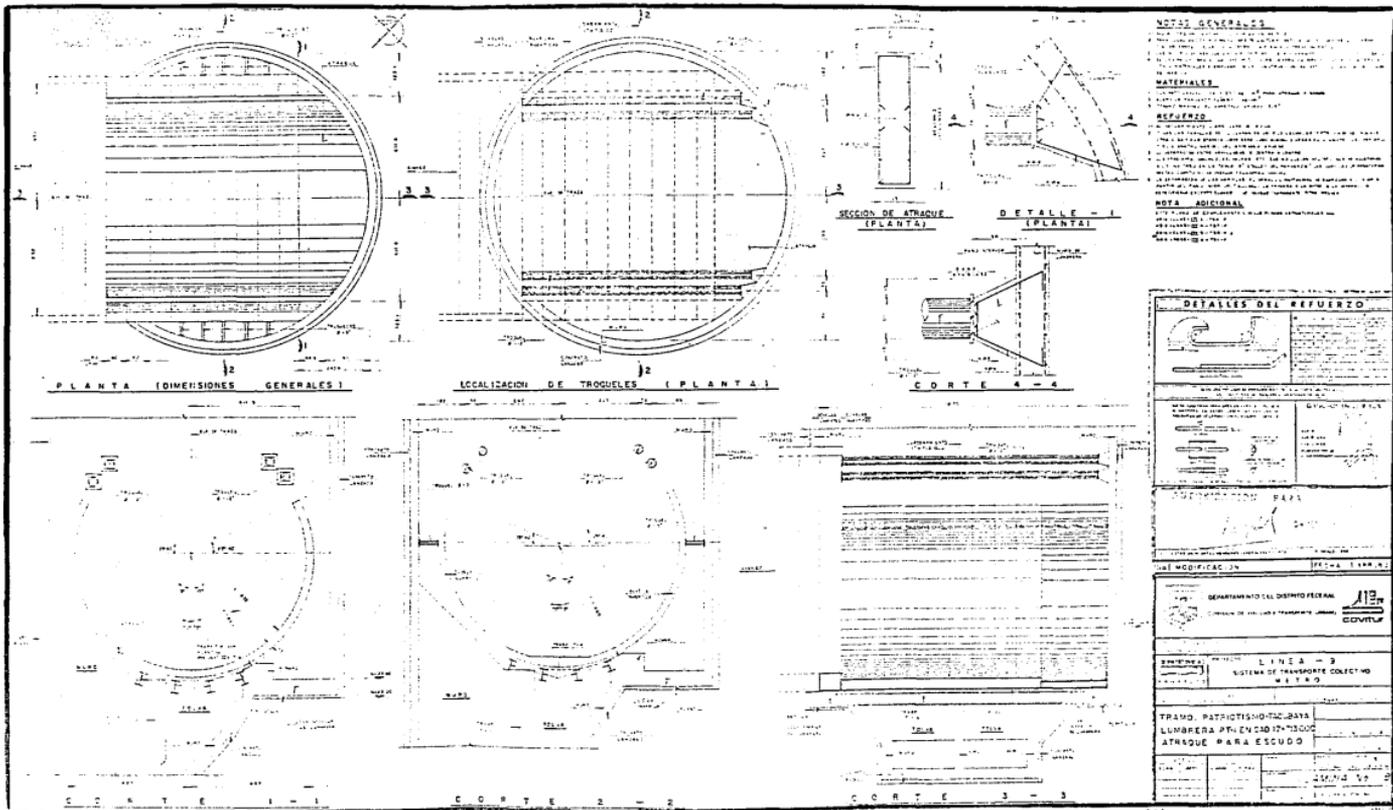


ELEVACION C-C

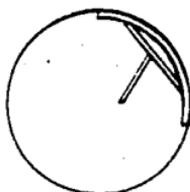


SECCION D-D

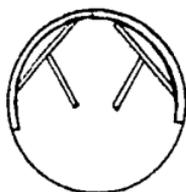
LAMINA No. 6



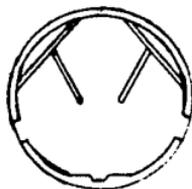
| DETALLES DEL REFORZO | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>1. Refuerzo longitudinal: 4 # 10.</p> <p>2. Refuerzo transversal: 2 # 10.</p> <p>3. Refuerzo longitudinal: 4 # 10.</p> <p>4. Refuerzo transversal: 2 # 10.</p> <p>5. Refuerzo longitudinal: 4 # 10.</p> <p>6. Refuerzo transversal: 2 # 10.</p> <p>7. Refuerzo longitudinal: 4 # 10.</p> <p>8. Refuerzo transversal: 2 # 10.</p> <p>9. Refuerzo longitudinal: 4 # 10.</p> <p>10. Refuerzo transversal: 2 # 10.</p> <p>11. Refuerzo longitudinal: 4 # 10.</p> <p>12. Refuerzo transversal: 2 # 10.</p> <p>13. Refuerzo longitudinal: 4 # 10.</p> <p>14. Refuerzo transversal: 2 # 10.</p> <p>15. Refuerzo longitudinal: 4 # 10.</p> <p>16. Refuerzo transversal: 2 # 10.</p> <p>17. Refuerzo longitudinal: 4 # 10.</p> <p>18. Refuerzo transversal: 2 # 10.</p> <p>19. Refuerzo longitudinal: 4 # 10.</p> <p>20. Refuerzo transversal: 2 # 10.</p> |
| <p>DEPARTAMENTO DEL DISEÑO DE PONTES</p> <p>INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS</p> <p>INIA</p> <p>GOBIERNO VENEZOLANO</p> | |
| <p>TRAMO PATRIOTISMO-TACABAY</p> <p>LUMBERA PT. EN CAM. INT. TACABAY</p> <p>ATRSQUE PARA ESCUDO</p> | |



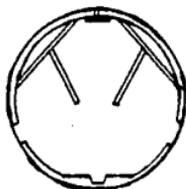
COLOCACION DE LA DOVELA "a"



COLOCACION DE LA DOVELA "b"



COLOCACION DE LA DOVELA "c"

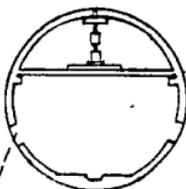


COLOCACION DEL ANIL EN LA CLAVE



COLOCACION DEL PUNTAL HORIZONTAL

ZONA PARA COLOCAR
LOS GATOS DE
EXPANSION



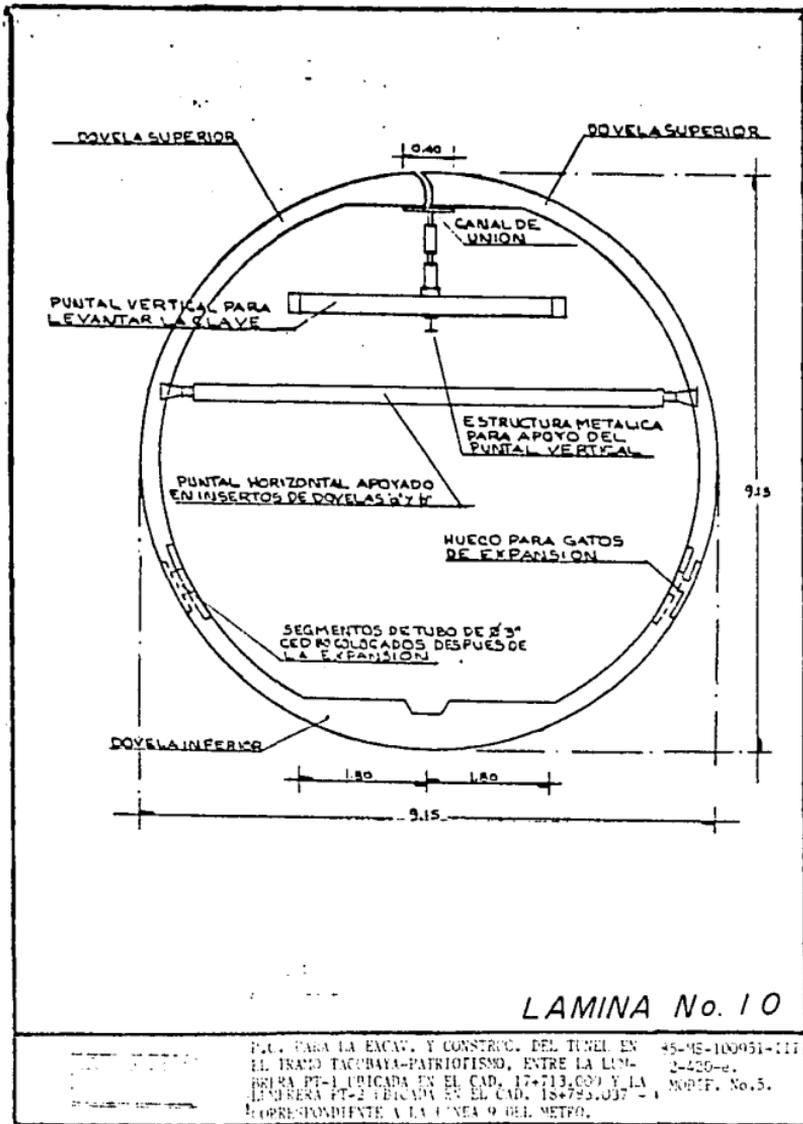
COLOCACION DEL PUNTAL VERTICAL

LAMINA No. 9

P.C. PARA LA ENCAV. Y CONSTRUC. DEL TUNEL EN EL TRAMO TACURAYA-PATRIOTISMO, ENTRE LA LUN- BPERA PT-1 UBICADA EN EL CAD. 17+715.000 Y LA BPERA PT-2 UBICADA EN EL CAD. 17+793.037 - CORRESPONDIENTE A LA LINEA 0 DEL METRO.

95-95-100951-III-
2-11-78.
MODIF. No. 5.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

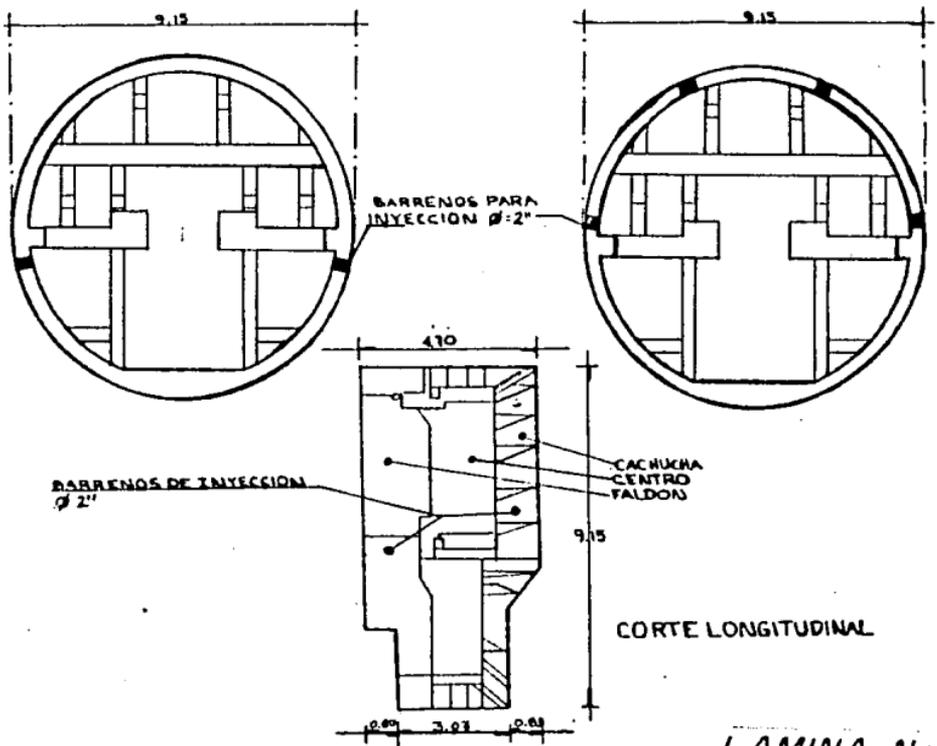


LAMINA No. 10

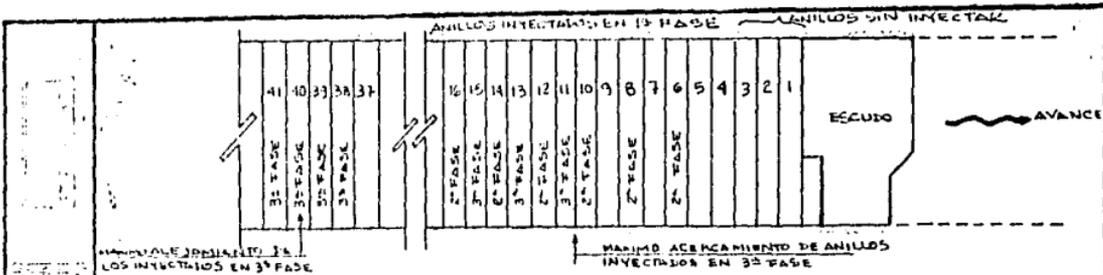
 P.C. PARA LA ENCAV. Y CONSTRUC. DEL TUNEL EN EL ISADO TACUBAYA-PATRIOTISMO, ENTRE LA LINEA PT-1 UBICADA EN EL CAD. 17+713.000 Y LA LINEA PT-2 UBICADA EN EL CAD. 18+795.000 - MODIF. No.5.
 CORRESPONDIENTE A LA LINEA 9 DEL METRO. 45-MS-100951-111 2-420-2.

SECRETARIA DE ECONOMIA

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
LABORATORIO NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN METALURGIA
CAROLINA DE GUAYANA EN EL CARRIZAL-53001



LAMINA No 11



MÁXIMO ACERCAMIENTO DE ANILLOS INYECTADOS EN 3ª FASE

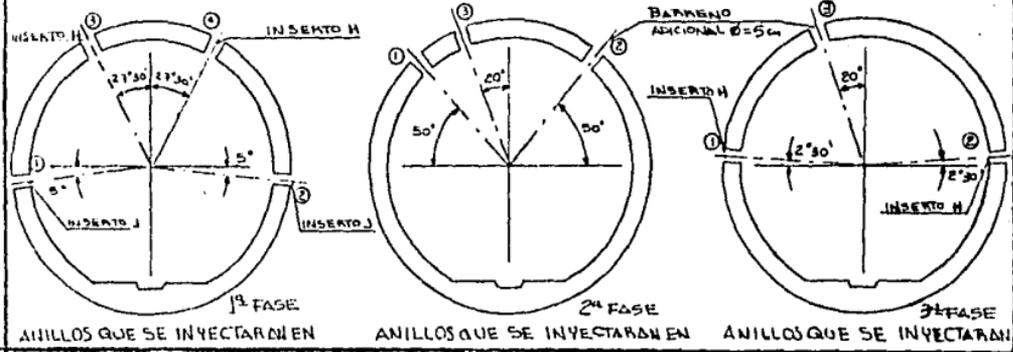
MÁXIMO ACERCAMIENTO DE ANILLOS INYECTADOS EN 3ª FASE

CORTE LONGITUDINAL

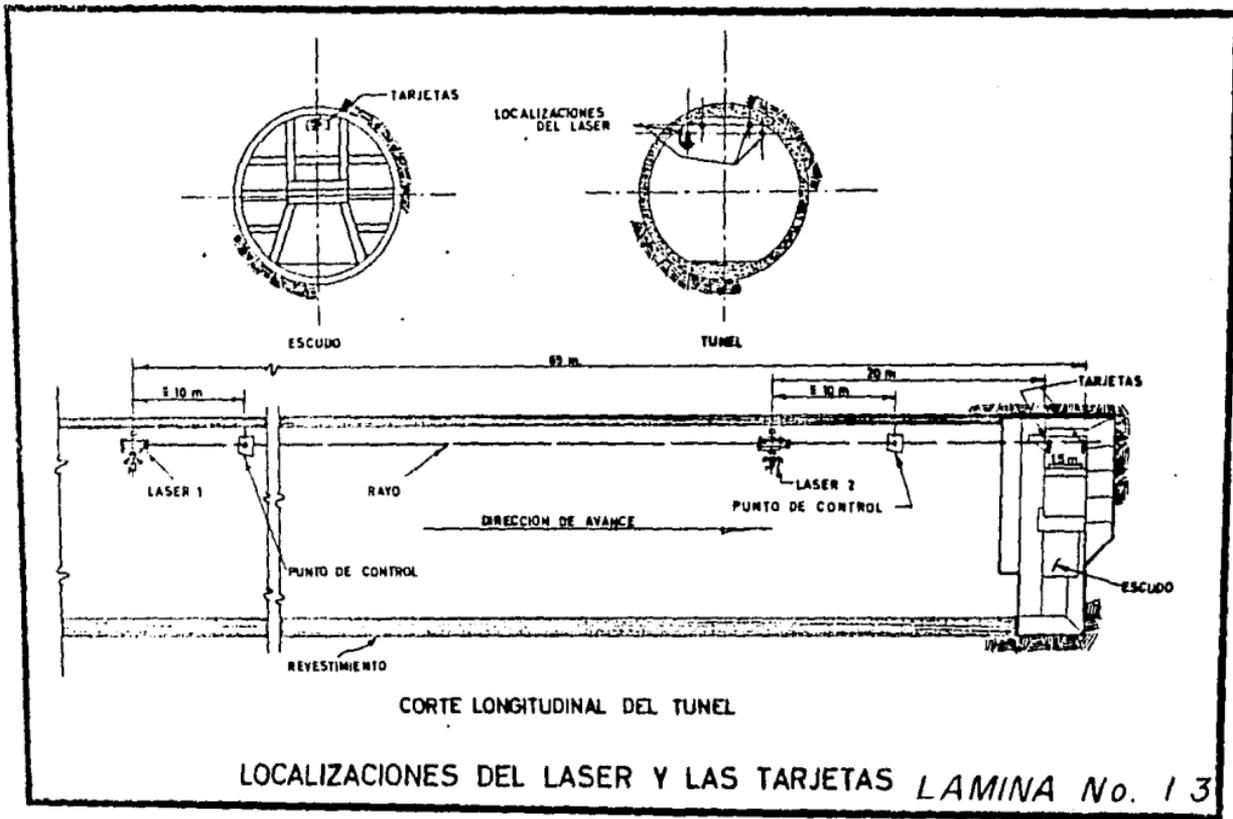
SECUENCIA DE INYECCION

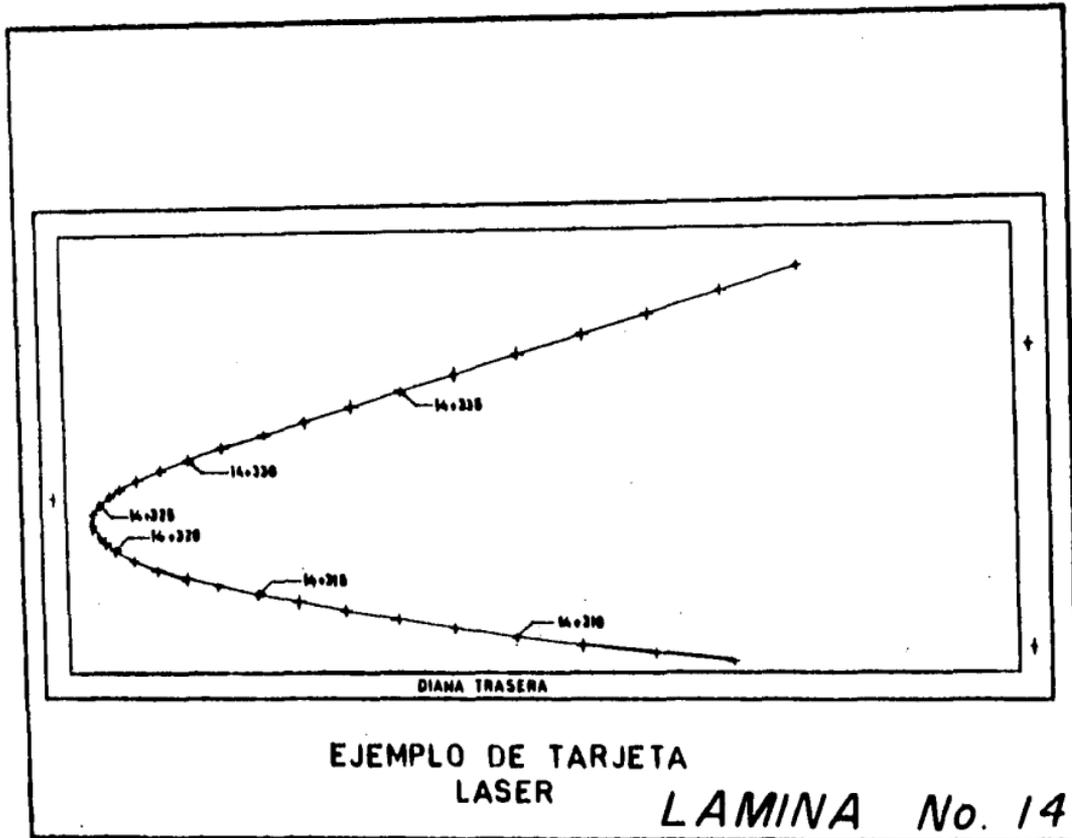
LAMINA No. 12

CORTES TRANSVERSALES

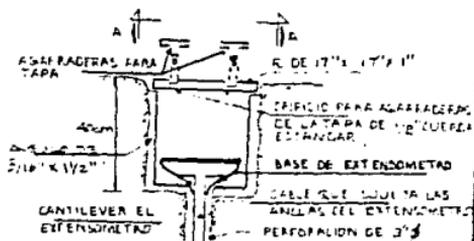
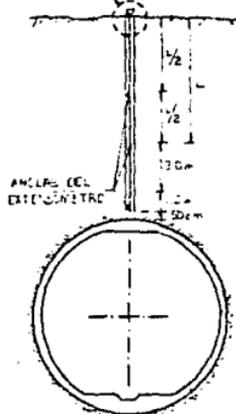


SECUENCIA DE INYECCION
 1ª FASE: ANILLOS 41, 40, 39, 38, 37
 2ª FASE: ANILLOS 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1
 3ª FASE: ANILLOS 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1





DETALLE 1



SECCIONES DE INSTRUMENTACION
CON EXTENSOMETROS Y PUNTOS
DE NIVELACION.

DETALLE 1

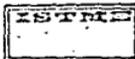
ANILLOS DE
3/16" x 1/2"
ORIFICIOS PARA
ASERRADERAS



R. DE 17 1/2" x 17 1/2"
RADIUS DEL ESTIP. ZMETAD

CORTE A-A

LAMINA No. 15



ESPECIFICACION PARA LA INSTRUMENTACION DE LOS
TUNELES DEL TRAMO PATRIOTISMO-TACUSAYA CCM-
PRENDIDO ENTRE LOS CADENAMIENTOS 17-713.000
Y 18-783.037 CORRESPONDIENTES A LA LINEA 9
DEL METRO.

85-ME-100951-III-
7-675-e.
MODIF. No. 1.

