

24  
104



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**"EXCAVACION EN CAJON Y EXCAVACION  
EN TUNEL DEL METRO DE LA CIUDAD  
DE MEXICO"**

**TRABAJO ESCRITO**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

**I N G E N I E R O C I V I L**

P R E S E N T A :

**RICARDO JURY VENEGAS**



Ciudad Universitaria

1986.



## **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.

## C O N T E N I D O

CAPITULO I.	INTRODUCCION	1
CAPITULO II.	EXCAVACION EN TUNEL	4
II.1.	GENERALIDADES	4
II.2.	ESTUDIOS A REALIZAR	6
II.3.	PREVISIONES A REALIZAR ANTES DE LA EXCAVACION DEL TUNEL	10
II.4.	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	11
II.5.	EJEMPLO DE LA EXCAVACION DE UN TRAMO DE TUNEL (LINEA 7)	25
CAPITULO III.	EXCAVACION EN CAJON	37
III.1.	ESTUDIOS PREVIOS Y PREVISIONES	37
III.2.	PROCEDIMIENTO DE LA EXCAVACION EN CAJON	42
III.2.1.	Antecedentes	42
III.2.2.	Construcción de los Brocales	45
III.2.3.	Construcción del muro milán	49
III.2.4.	Abatimiento del nivel freático	54
III.2.5.	Excavación del núcleo	62
III.2.5.1.	Rejillas de ventilación	69
III.2.5.2.	Relleno y pavimentos	72
III.2.5.3.	Reinstalación de servicios	72

CAPITULO IV. MAQUINARIA UTILIZADA EN LA EXCAVACION	
EN TUNEL	74
IV.1 GENERALIDADES	74
IV.2. SELECCION DE EQUIPO	76
IV.2.a. Escudo de frente abierto	76
IV.2.b. Máquinas rascadoras	78
IV.2.c. Rompedoras neumáticas	81
IV.2.d. Cargador sobre orugas	81
IV.2.e. Explosivos	81
IV.3. EQUIPO PARA ADEME (LANZADORAS DE CONCRETO)	84
IV.4. EQUIPO DE REZAGA Y EXTRACCION	87
IV.5. EQUIPO COMUN (COMPRESORES)	91
CAPITULO V. MAQUINARIA UTILIZADA EN LA EXCAVACION	
EN CAJON	98
V.1. GRUAS	104
V.2. DRAGAS Y EQUIPO GUIADO	110
V.3. RETROEXCAVADORAS	114
V.4. CARGADORES	119
CAPITULO VI. RAZONES PARA LA SELECCION DEL PROCE- DIMIENTO USADO, CONCLUSIONES	141

## INTRODUCCION

## CAPITULO I.

## CAPITULO I

## INTRODUCCION

El plan rector de vialidad y transporte del Distrito Federal, que es el documento oficial con que cuentan las autoridades del Departamento del Distrito Federal para realizar todas las acciones tendientes a operar tanto la vialidad existente y la futura, así como el transporte en nuestra metrópoli, contempla para su realización cuatro grandes planes: Plan de Vialidad, Plan de Metro, Plan de Transporte de Superficie, Plan de Estacionamiento.

Dentro de estos planes el del Metro es el de mayor importancia, debido a que este es el único sistema de transportación masiva, que puede transportar el mayor número de pasajeros.

El desarrollo del presente trabajo pretende describir en sus partes más importantes el proyecto de la obra civil (Sistema Subterráneo, que puede ser en cajón o en túnel), haciendo una descripción de algunos criterios para la selección del tipo de línea y maquinaria usada.

El sistema "Metro" está constituido por estructuras de tipo superficial, elevada y subterránea, ya sea en cajón o en túnel, cada una de las cuales ofrece ventajas y desventajas de

diversa índole y reúne además condiciones específicas para su aplicación.

Antes de poder definir el tipo de estructura más adecuada necesitamos saber por donde pasará nuestra red y para - ésto es necesario realizar algunos estudios.

Algunas veces podemos tener trazos ideales que teóricamente pueden establecerse para ubicar las líneas iniciales de una red subterránea de transporte colectivo, están sujetos a modificaciones tendientes a localizaciones más adecuadas, to mando en cuenta condiciones de servicio a determinadas zonas urbanas, tipo de sub-suelo, interferencias con instalaciones - municipales subterráneas o con monumentos históricos, antiguas construcciones, etc.

Naturalmente dichas modificaciones no son radicales, - en relación al trazo inicial, si este se ha determinado mediante estudios debidamente fundados.

Para la selección de cada uno de los tipos de estructura se toman en cuenta los siguientes factores en términos generales.

- Costo de obra civil por Km.
- Tiempo de ejecución de la obra civil.
- Obstrucción de la vfa pública durante su ejecución.

- Interferencias con los servicios municipales.
- Conservación de obras y equipo.
- Mantenimiento de la vía, paisaje urbano, futura disponibilidad vial.

Ya se conocen muy bien los problemas que representa - realizar excavaciones profundas en la arcilla del Valle de México, como es el caso de la alta plasticidad y expansibilidad, así como también su baja resistencia al corte.

Otro problema importante es la existencia de aguas freáticas superficiales.

Es importante mencionar que los temas "Razones para la selección del procedimiento utilizado" y "Comentarios de - aspectos sobresalientes", que forman parte del desarrollo del presente trabajo, contienen elementos muy relacionados, por - lo cual se decidió analizarlos en forma conjunta.

# EXCAVACION EN TUNEL

## CAPITULO II.

### II.1.- Generalidades.

El túnel lo podemos definir, de una manera muy simple como una estructura subterránea, la cual se aloja en una oquedad construída tratando de no afectar la superficie. (o bien - como toda oquedad que se hace en el seno del subsuelo sin re tirar el terreno sobre ella).

Las estructuras que nos permiten acceso a la excava-- ción de un túnel son las lumbreras, las cuales consisten en - pozos verticales de los que posteriormente se hablará en forma más detallada.

### Clasificación de Túneles.-

a) Túneles de producción: Podemos citar a los túneles de explotación minera; algunos comprenden pasajes más o menos permanentes que sirven de redes de transporte del mineral obte nido y otros, en las zonas de explotación que cambian continua mente de acuerdo con las vetas; generalmente el sistema de so porte, cuando lo tienen, es provisional.

b) Túneles de protección: Son estructuras que, o bien pueden proporcionar protección contra cualquier ataque a per-- sonas, materiales y aún a fábricas enteras, desde el punto de vista militar, o bien sirven para alojar instalaciones delicadas como es el caso de casas de máquinas en los sistemas hidro eléctricos.

c) Túneles de Servicio: Las demandas de transporte de pasajeros y bienes se han incrementado notablemente en los últimos tiempos y el propósito de los túneles es asegurar esa -transportación y/o conducción, salvando ciertos obstáculos como pueden ser ríos, montañas, áreas urbanas, etc.

Estos se clasifican en:

Túneles para tránsito

Ferrovianos

Para caminos

Para peatones

Para navegación

Para metro

Túneles de conducción

Túneles de presión para centrales hidroeléctricas.

Para conducción de aguas negras.

Para abastecimiento de agua potable.

Para alojar instalaciones diversas (energía, comunicaciones, etc.)

## 11.2.- Estudios a realizar.

En la realización de cualquier proyecto de construcción de un túnel intervienen un gran número de estudios entre los cuales puedo mencionar los siguientes:

### a) Estudio socio-económico.

#### 1.- El análisis económico.

El análisis económico, uno de cuyos aspectos más importantes es la estimación del beneficio-costos, de las obras subterráneas a realizar.

#### 2.- Estudios sociales.

Estos estudios deben comprender o analizar las necesidades de la sociedad con respecto a la obra a construirse, y las ventajas que esta pueda acarrearles. Asimismo, se deben tomar en cuenta las repercusiones que pueda tener la obra en la misma sociedad o comunidad tanto política como económicamente.

### b) Estudios Geológicos.

Las condiciones geológicas son de los factores más importantes que determinan el costo y el tiempo de ejecución de una obra subterránea y por consiguiente, es esencial preverlos.

Estos consisten en el estudio geológico del terreno

mediante inspección del campo con la asistencia de especialistas, este debe abarcar en toda su extensión al trazo proyectado, y sus posibles variantes.

Según la situación de las capas subterráneas que este estudio nos permite prever, se puede determinar con cierta aproximación la naturaleza de los terrenos encontrados, su ubicación a lo largo del trazo y sus propiedades mecánicas.

c) Estudios topográficos.

El estudio topográfico nos sirve para conocer la configuración del terreno, y aún más importante llevar un control topográfico riguroso, debido a las tolerancias en la implantación de la vía, condicionada por los gálibos permisibles de curvas horizontales y verticales, así como los problemas propios de excavación de túneles, este control debe ser llevado por el proyectista, el constructor y el supervisor de la obra.

d) Geotécnicos.

El proyecto de un túnel desde el punto de vista geotécnico, presenta algunos puntos importantes, entre los cuales puedo mencionar:

1.- Exploración del subsuelo: Entre los estudios que se requieren de este tipo para la construcción de un túnel están los sondeos. En el caso del túnel del metro (Línea 7),

estos se efectuaron a cada 100 m., y en algunos casos, en donde, por las características especiales del subsuelo, fué necesaria una separación de entre 40 y 50 m., estos sondeos sirven para conocer las propiedades del subsuelo que atravesará el túnel. Estas propiedades pueden ser las índices (contenido de agua, relación de vacíos, peso volumétrico, etc.), mecánicas y físicas, etc.

## 2.- Trazo y localización.

Este estará definido por ciertos factores que obedecen a la operación del sistema, de la óptima transportación de los pasajeros en el trayecto origen destino y del servicio de la línea dentro de las condiciones generales de la red.

También referente a este punto se debe mencionar que casi nunca la geotécnica es un factor que determine el trazo de una línea, lo que puede llegar a suceder es que se cambie parcialmente este, debido a que el trazo original pase por encima de construcciones pesadas, y la cimentación de estas, pueda afectar el túnel o viceversa, que durante el proceso de tuneleo pueda haber deformaciones que causen daño a las estructuras superficiales, por este motivo es recomendable, siempre que las circunstancias lo permitan que el trazo sea ubicado sobre calles y avenidas, también de ser posible que el trazo quede localizado fuera de tuberías de agua potable, colectores, cables subte-

rráneos de alta tensión, gasoductos, oleoductos o vías de ferrocarril.

### 3.- Perfil y profundidad.

Por lo que corresponde a este caso, la geotécnica tiene prioridad fundamental sobre el trazo, debido a que con la información obtenida del perfil geológico y estratigráfico de los suelos donde puede quedar alojado el túnel dependerá la profundidad de este.

### 4.- Flujo de agua.

Es muy común que durante la construcción del túnel o de los accesos a éste, se tengan filtraciones de agua, en donde la magnitud del problema dependerá de las condiciones geohidrológicas que se atraviesan. El conocimiento de estas condiciones geohidrológicas de las formaciones por atravesar, permite mediante la utilización de las técnicas existentes de bombeo para abatimiento de presiones, o sea minimizar los efectos y riesgos causados por las aportaciones de agua a la estructura en construcción.

### 5.- Geometría de la sección transversal.

Esta depende de la estabilidad propia de la sección y del proceso constructivo que se planea seguir para cada tipo de túnel.

### II.3.- Previsiones a realizar antes de la excavación del túnel.

Debido a que el túnel del metro está construido en zonas urbanas se deben tomar algunas de las siguientes precauciones.

1.- Desalojos. Cuando no se puede modificar el trazo del túnel en algún tramo, y éste tiene que pasar por abajo de instalaciones municipales, tales como: edificios, escuelas, casas habitación, etc.. Cuando haya necesidad se deberá desalojar estas, en prevención de algún accidente en las mismas.

2.- Inyecciones. Debido a las causas antes mencionadas debe estudiarse la posibilidad de reforzar el suelo antes del tuneleo, mediante tratamiento de inyecciones desde la superficie, o cualquier otro procedimiento, en caso de que el suelo no fuera lo suficientemente adecuado en sus características mecánicas.

3.- Apuntalamiento y ademes. Otra previsión que debe tomarse antes de llevar a cabo un tuneleo, será apuntalar y ademar algunas estructuras o minas cercanas al trazo del túnel, cuando se trate de estructuras viejas o con cimentaciones deficientes.

4.- Instrumentación. Con la finalidad de poder me-

dir y observar los efectos del tuneleo, en las construcciones vecinas al trazo del túnel, comportamiento del propio túnel y el poder confirmar las hipótesis de diseño, es necesario instalar secciones de instrumentación en la superficie y dentro del túnel.

#### II.4.- Procedimiento Constructivo.

Para la elaboración de este trabajo se usará como ejemplo el procedimiento constructivo de la línea 7 que en su totalidad es túnel.

Construcción de las lumbreras (Fig.1): Estas lumbreras consisten en pozos verticales, se construyeron aproximadamente a cada 500 m., algunas lumbreras quedan sobre el eje del trazo del túnel y otras quedan a un lado, según sean las facilidades de construcción y estudios realizados.

Son obras que nos sirven para llegar en forma fácil y segura al nivel en donde se iniciará el túnel, además nos sirven para poder introducir el equipo necesario para su construcción, sacar material producto de la excavación, instalaciones eléctricas de aire y agua, acceso de personal, etc. Las lumbreras son de sección circular, generalmente con un diámetro libre de 10.20 m, en donde la sección excavada tiene un diámetro aproximado de 11.0 m.

12

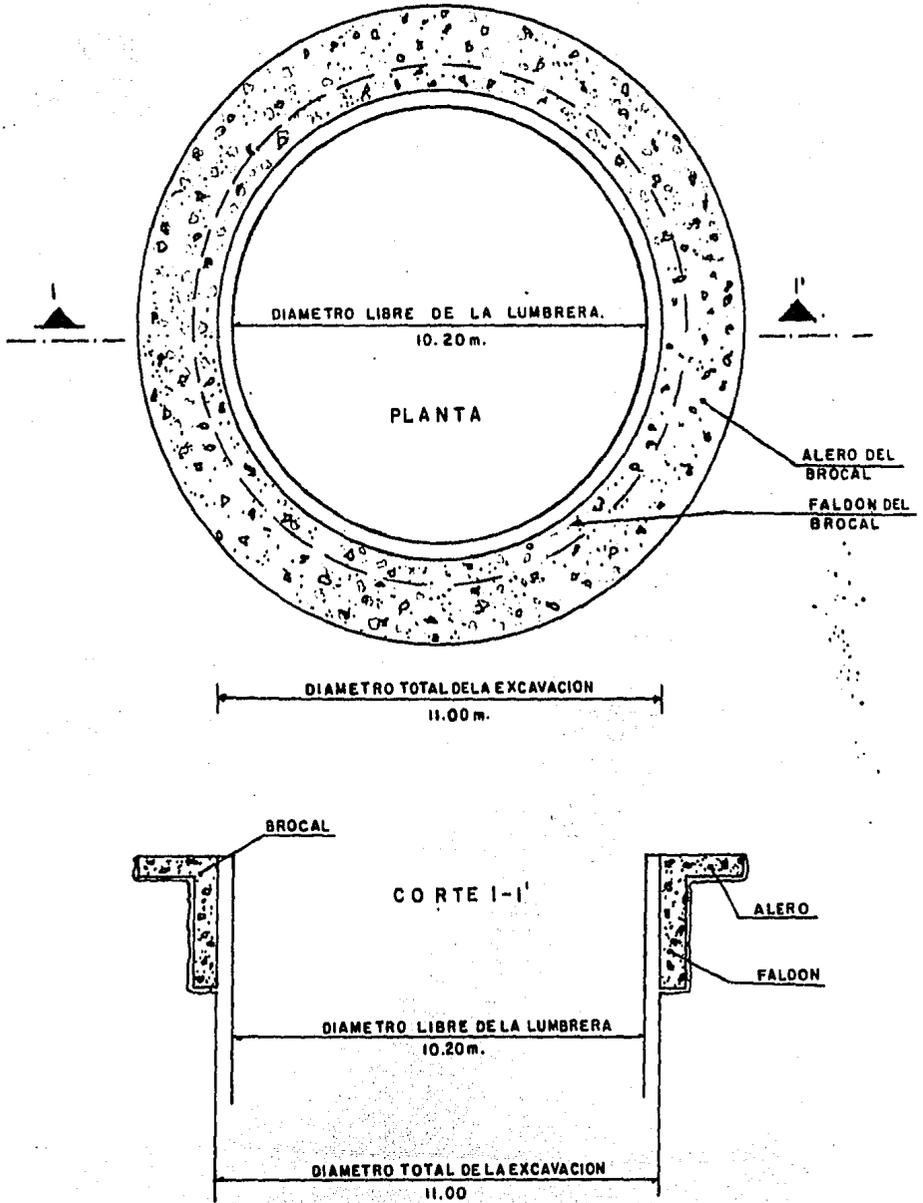


FIGURA 1 .

Antes de comenzar la excavación de la lumbrera, para evitar filtraciones (abatimiento del nivel de aguas freáticas), se perforan pozos de bombeo, cerca del perímetro exterior de la lumbrera, logrando con esto una excavación en seco, estos pozos funcionan durante todo el proceso de excavación. Estos pozos se instalan siempre que sea necesario.

La excavación para la construcción de las lumbreras se efectuó a cielo abierto, siguiendo métodos tradicionales que a continuación se describe:

1.- Construcción del brocal: El brocal de la lumbrera es una estructura de concreto armado, que tiene el fin de servir como gufa de excavación de la lumbrera, como banco de nivel, proteger y sostener los bordes superiores de la excavación, sirve como superficie de apoyo para la torre de manto, en la cual se efectuará el montaje del mecanismo de rezagado, del cual forma parte.

El brocal está formado por 2 partes: Una horizontal llamada alero, que sirve como una pequeña losa, que servirá para que la máquina de excavación pueda rodar libremente, sin peligro de que se produzca algún caído en la superficie de la lumbrera.

La otra parte del brocal se llama faldón, se cons-

truye cuando ya se tiene definido sobre el terreno el trazo de la lumbrera, se excava a mano o maquinaria hasta una profundidad de 2.50 m., y en un ancho de 1.0 m., en donde quedarán contruidos estos faldones, los cuales se colaran por medio de una cimbra apoyada contra el terreno de la excavación.

- Excavación del Núcleo.

Para la excavación del núcleo, se utilizó una draga con cucharón de almeja y, en otros casos, se uso traxcavos. Para extraer la rezaga se usaron botes izados por dragas.

Una vez contruido el brocal y que el concreto haya alcanzado su resistencia de proyecto, se podrá iniciar la excavación de la lumbrera, esta se hará en el área de dicha lumbrera en tramos de 2 m., (o más si el proyecto lo permite) de profundidad cuando se alcance esta profundidad, se coloca una estructura de contención formada por un recubrimiento provisional, el cual estará constituido por una capa de concreto lanzado de 15 cms. de espesor y reforzado con una malla electro soldada del tipo 6 x 6 - 6/6.

Este proceso se suspenderá cuando se haya alcanzado la profundidad máxima de proyecto (Fig. 2).

Una vez alcanzada esta profundidad se debe colocar inmediatamente una plantilla de concreto pobre de 10 cms., de

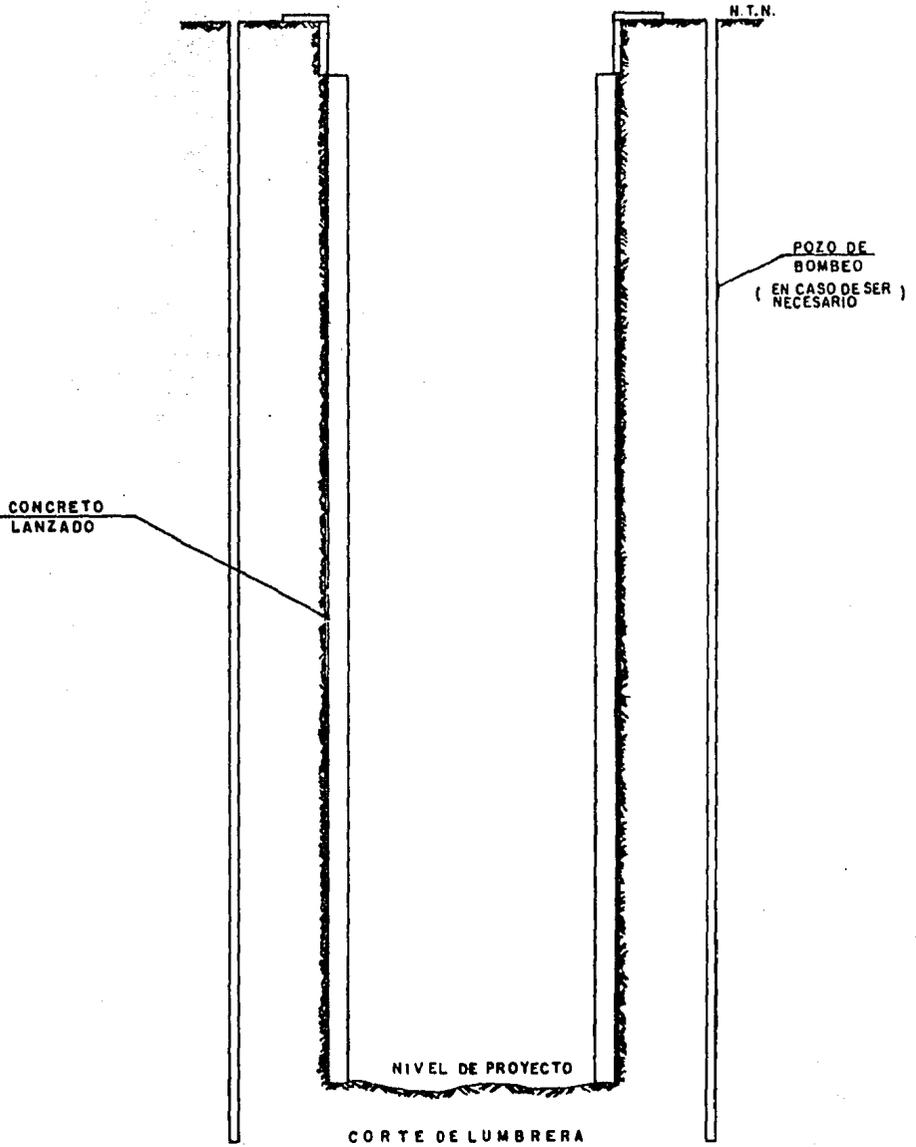


FIGURA 2

espesor, una vez que está haya fraguado, se puede iniciar el armado y colado de la losa de piso; dejando las preparaciones necesarias para la liga estructural con el muro de ademe definitivo, el cual consiste en recubrimiento de concreto armado y colado con cimbra convencional o con cimbra deslizante; y se deja como tapón, una cercha de madera con la configuración del tunel por excavar.

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

Cuando se observen signos de inestabilidad en las paredes de la lumbrera, deberán colocarse anillos metálicos - constituidos por viguetas 1-6", separados como a continuación se indica:

Profundidad	Separación entre uno y otro anillo
De 0.00 m a 5.00 m	1.00 m
De 5.00 m a 10.00 m	0.70 m
De 10.00 m en adelante	0.40 m

Excavación del túnel de unión entre la lumbrera y el túnel de tramo o estación (Polánco).

Este túnel de unión se construye en el caso de que

la lumbrera no quede sobre el eje del trazo del metro.

Estos túneles de unión (o conexión) son perpendiculares a la línea del metro, en la intersección de ambos túneles se provoca una discontinuidad, que forma una zona de encapillado misma que amerita un procedimiento cuidadoso.

El ataque del túnel se inicia con un emportalamiento en la intersección con la lumbrera, colando en una ranura perimetral una trabe de borde de concreto, así como anclas de fricción en la parte superior del portal, este emportalamiento tiene el objeto de obtener una mayor estabilidad en el terreno al inicio de la excavación del túnel.

Una vez construída la trabe de borde, se procede a construir una trabe de liga entre la trabe de borde construída originalmente y la nueva trabe.

Una vez construídos estos elementos se puede iniciar la excavación y construcción del túnel de unión, el cual a continuación se explica.

La excavación de este túnel tiene un soporte o ademe provisional a base de concreto lanzado reforzado con 2 mallas electrosoldadas, apoyado sobre zapatas, y un revestimiento definitivo constituido por un muro de concreto armado y colado con cimbra convencional; la secuencia es la siguiente:

- a) Excavación de la sección.
- b) Extracción de la rezaga.
- c) Colocación del concreto lanzado.
- d) Colocación del revestimiento definitivo.

a) Excavación de la sección.

La excavación de la sección se inicia en la mitad superior del frente de ataque, se va formando un banquero cuya longitud máxima de avance es de 1.20 m., de acuerdo a la secuencia indicada en las figuras 3 y 4. El frente de ataque será vertical, y para la excavación se usa herramienta manual o neumática, dependiendo de las condiciones de estabilidad del terreno.

La excavación de la sección media inferior se realizará incluyendo la zanja que alojara la zapata de apoyo.

b) Extracción de la rezaga.

A medida que se vaya atacando el frente, el material producto de la excavación se va depositando en camiones ya sea directamente o a través de un cargador frontal, o bien mediante una tolva; estos camiones llevan el material hasta la lumbrera, en donde es vaciado a las tolvas receptoras, o en su defecto extraerlo directamente hasta la superficie mediante una draga o malacate.

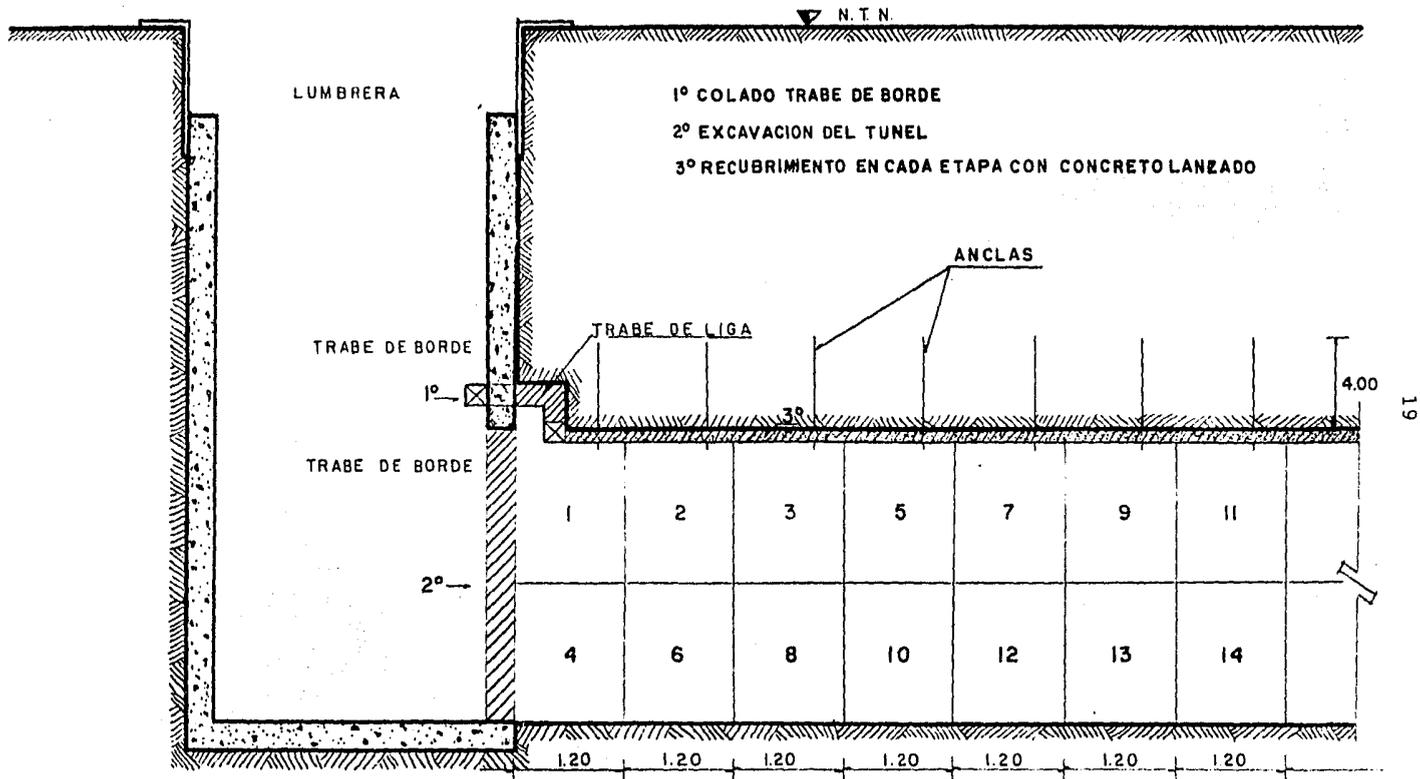


FIGURA 3 ETAPAS DE EXCAVACION TUNEL DE UNION

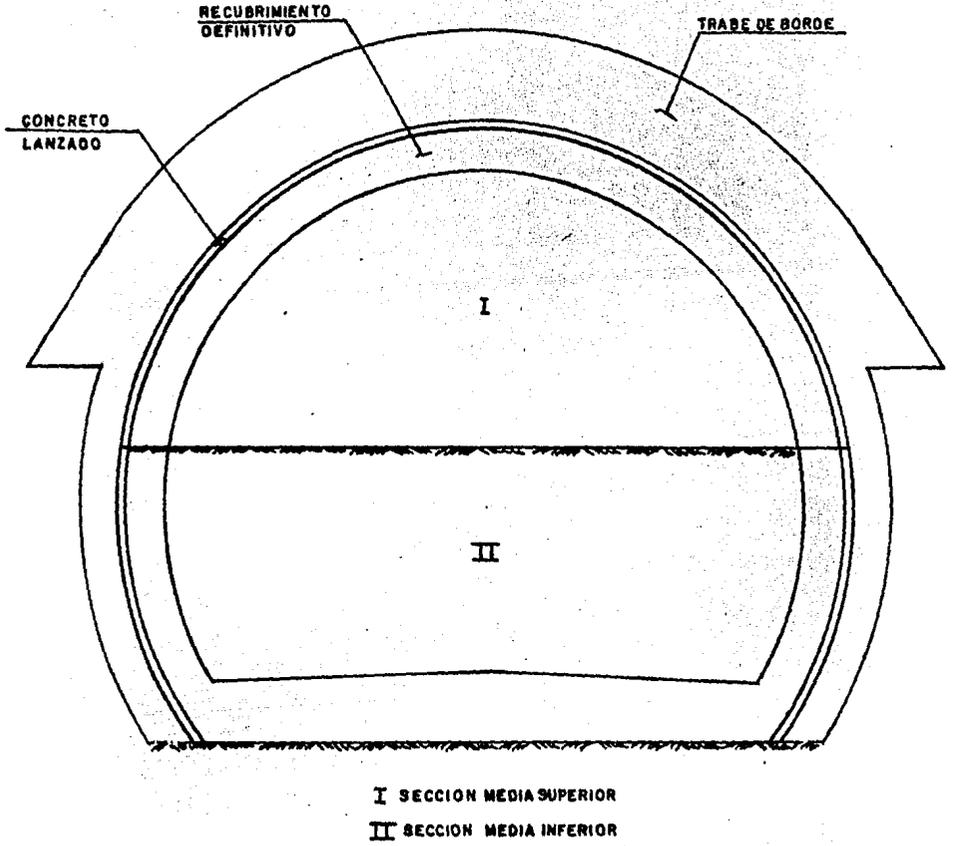


FIGURA 4. SECCIONES DE ATAQUE DE EXCAVACION

c) Colocación del concreto lanzado. (fig. 5)

Esto consiste en colocar el concreto en las paredes de la excavación mediante máquinas especiales llamadas "lanzadoras", las cuales lo aplican utilizando aire comprimido - inyectado a la máquina, a través de una manguera se inyecta el agua para formar la mezcla, a la cual se le agrega un aditivo acelerante de fraguado.

Antes de colocar la primera capa de concreto lanzado se debe colocar un emboquillado con manguera de PVC de 2" de  $\emptyset$ , en los sitios en donde se instalaran anclas de soporte.

El soporte provisional compuesto por 2 mallas electrosoldadas y 3 capas de concreto lanzado tiene un espesor de 15 cm para la sección media superior se tiene:

Una vez que ya se tiene el avance de 1.20 m, se lanza una 1° capa de concreto de 3.0 cms., de espesor, y sobre esta una malla electrosoldada del tipo 6" x 6" - 4/4, una vez colocada esta se hace el segundo lanzado de concreto de 9.0 cms., de espesor, para posteriormente colocar una segunda malla del mismo tipo que la anterior, colocada esta se hace el 3er y último lanzado de concreto de 3.0 cms., de espesor. Para la sección media inferior tenemos:

Una vez descubierto cada tramo de 1.20 m de longitud

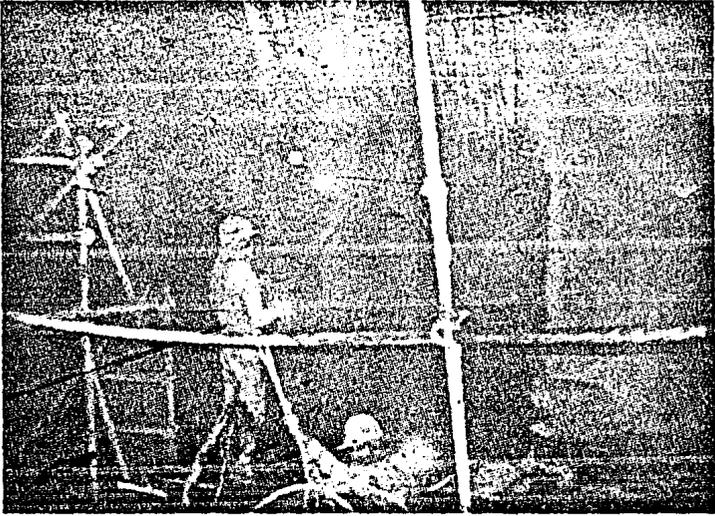


FIGURA 5. CONCRETO LANZADO

que incluye la de la zanja para colocar la zapata de apoyo, se lanza una 1a capa de concreto de 3.0 cm., de espesor, tanto en las paredes del túnel, como en el fondo de la zanja, y sobre esta se coloca una malla electrosoldada tipo 6" x 5" - 4/4, posteriormente se coloca la 2A capa de concreto lanzado de 9.0 cms., de espesor, incluyendo el colado de las zapatas, enseguida se coloca una 2a malla de tipo 6" x 6" - 4/4, debiéndose efectuar el amarre y traslape con la malla de la sección superior y con la de la zapata.

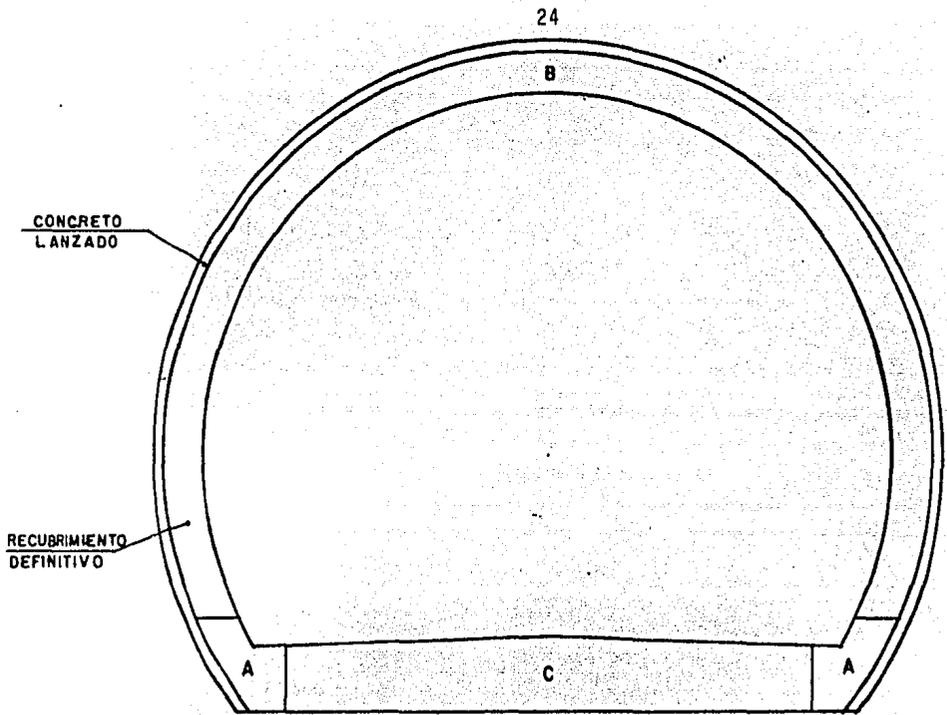
Por último se lanza concreto con un espesor de 3 cm., y con esto tenemos un soporte provisional de 15 cm., de espesor.

Una vez que ya se tiene este revestimiento primario, se debe de colocar un sistema adicional de soporte que esta constituido por anclas de acero (varillas de 1" de diámetro), cuando esto ya este hecho, se puede empezar el colado del revestimiento definitivo.

#### d) Colocación del revestimiento definitivo.

El colado del revestimiento definitivo se hace con concreto armado colado con cimbra convencional.

La secuencia de este colado se puede observar en la figura 6, en donde podemos ver que 1° se cuelan las guarnicio



**TUNEL DE UNION. SECUENCIA DE COLADO**

- A) GUARNICIONES
- B) CLAVE Y MUROS
- C) LOSA DE FONDO

**FIGURA 6**

nes del túnel, después el resto del arco y por último la losa del piso. Como observación puedo decir que el colado de la losa de piso debe hacerse de una manera que no se tenga interferencia con el sistema de transporte de la rezaga.

#### II.5.- Ejemplo de la Excavación de un tramo de túnel. (Linea 7)

De acuerdo con las características de los suelos y los techos existentes en cada tramo, se llevó a cabo una zonificación sobre los procedimientos de excavación y propiedades del ademe primario, dicha zonificación es la siguiente:

Zona 1.- Para la excavación se utiliza un escudo de frente abierto, con un diámetro exterior de 9.14 m.

Zona 2.- a) Sin marcos: La excavación del túnel se hace por medio de un banquéo, dividiéndose la sección transversal del túnel en 2 secciones: Sección media superior y sección media inferior.

La longitud de avance máximo será de 1.20 m., y el avance de banco es de 2.40 m.

El recubrimiento provisional es de concreto lanzado de 25 cm., de espesor con doble malla electrosoldada del tipo 6" x 6" 4/4. En la sección media inferior se construirán zapatas de apoyo de 0.80 x 0.40 m.

b) Con marcos metálicos: La excavación del túnel se efectúa por medio de un banquéo dividiendo la sección transversal del túnel en 2 secciones, la longitud de avance máximo y de avance de banco es similar a la antes mencionada.

El recubrimiento provisional es con marcos metálicos, concreto lanzado de 15cms., de espesor y una malla electrosoldada. Deben de construirse zapatas de apoyo al marco de 0.80 x 0.40 m., en la sección media inferior.

Zona 3.- La excavación del túnel será a media sección por medio de un banquéo, la longitud de avance máximo será - de 2.40 m., y el avance de banco de 4.80 m.

El recubrimiento provisional es de concreto lanzado de 15 cm., de espesor y doble malla electrosoldada. En la - sección media inferior también se construyen zapatas de apoyo.

Zona 4.- El procedimiento es similar al anterior, con la diferencia de que el espesor de concreto lanzado es de 25 cms.

Zona 5.- La excavación se efectúa a media sección por medio de un banquéo, la longitud de avance máximo es de 2.40 m., y el avance de banco de 4.80 m. El recubrimiento provisional es con marcos metálicos y concreto lanzado de 15 cms. de espesor.

Como en esta zona existe arena pumítica sobre la clave del túnel, es necesario colocar gunita con malla de gallinero o lámina acalanada con el objeto de evitar caídas. En la sección media inferior deberán construirse zapatas de apoyo al marco.

Como podemos ver en las zonas 2, 3 4, 5; el procedimiento utilizado es en base a un banquéo, lo que cambia en las diferentes zonas es el recubrimiento provisional, así como la distancia máxima excavada sin ademe (1.00, 1.20 ó 2.40 m.)

A continuación se describe el procedimiento de excavación de un tramo de túnel mediante un banquéo (fig. 7). Una vez que ya se tiene construido el túnel de unión entre la lumbrera y el túnel de tramo, se procede a descubrir dentro del revestimiento provisional en el túnel de unión, el área correspondiente a la sección del túnel del tramo, se debe realizar un emportalamiento y construcción de la trabe de borde, como le hemos visto anteriormente, una vez hecho esto el ciclo de trabajo es el siguiente:

- a) Excavación de la Sección.
- b) Extracción de la Rezaga.
- c) Colocación del concreto lanzado.

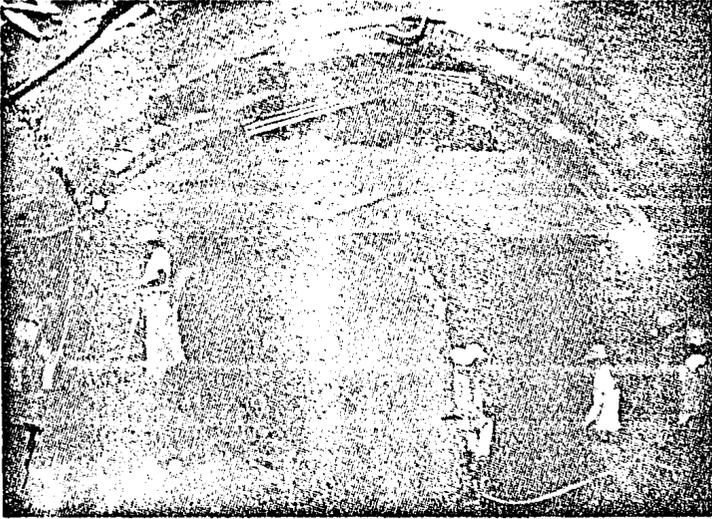


FIGURA 7. FRETE DE ATAQUE MEDIANTE BANQUEO

d) Colocación del revestimiento definitivo.

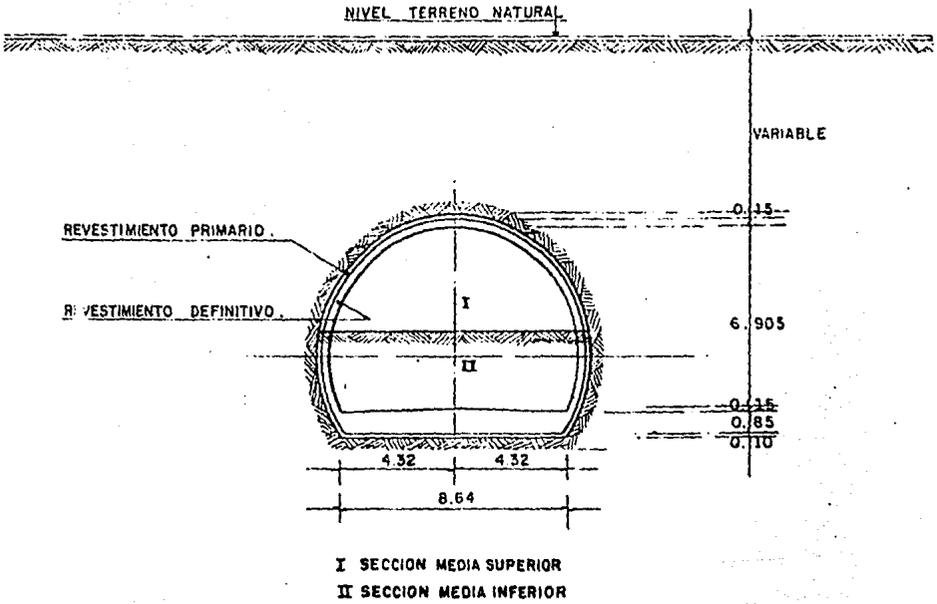
a) Excavación de la Sección: La excavación se inicia en la mitad superior del frente de ataque, siguiendo la secuencia indicada en la (Fig. 8 y 9) este ataque va formando un "banquéo" cuya longitud de avance máximo es de 2.0 m., la excavación del frente es vertical, se usa para la excavación - pistolas neumáticas o equipo de corte especializado ( rozadoras, máquina del tipo "Alpine" o similar, etc.) dependiendo de las condiciones de estabilidad del terreno, la longitud de avance máximo (2.0 m) podrá incrementarse, previa aprobación por escrito por parte del proyectista.

b) Rezaga del material producto de la Excavación.

A medida que se vaya atacando el frente de la excavación, el material de rezaga, se va depositando en camiones, - ya sea directamente, a través de un cargador frontal o mediante tolva, los que transportan este material hasta la lumbrera en donde se procede a vaciarlo en tolvas receptoras, o en su defecto extraerlo directamente hasta la superficie mediante una draga o malacate.

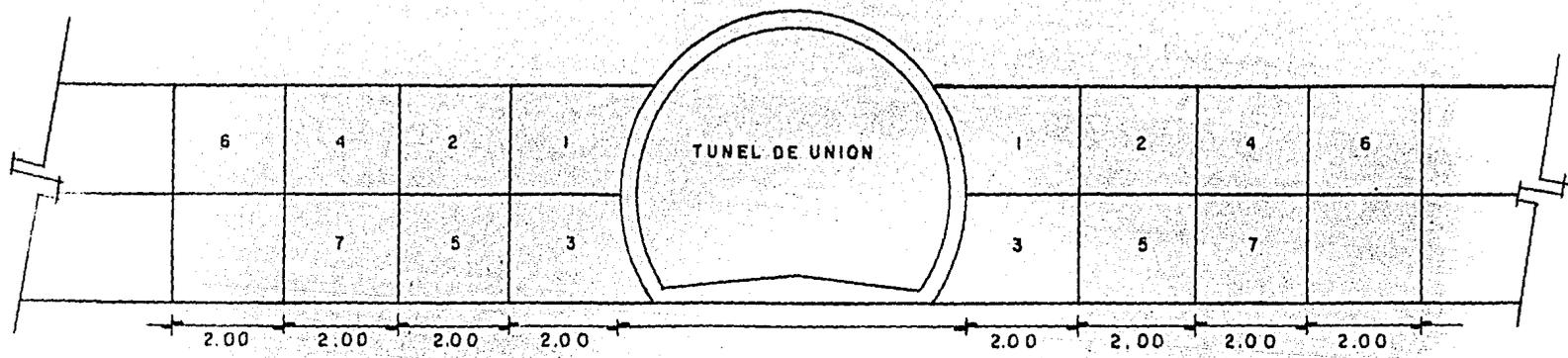
c) Colocación del concreto lanzado. (Fig.10)

Una vez terminada la excavación de la longitud máxima de ataque (2.00 m) de la sección superior, se colocan anclas que nos sirve de soporte para la malla electrosoldada



ACOTACIONES EN METROS

FIGURA 8.

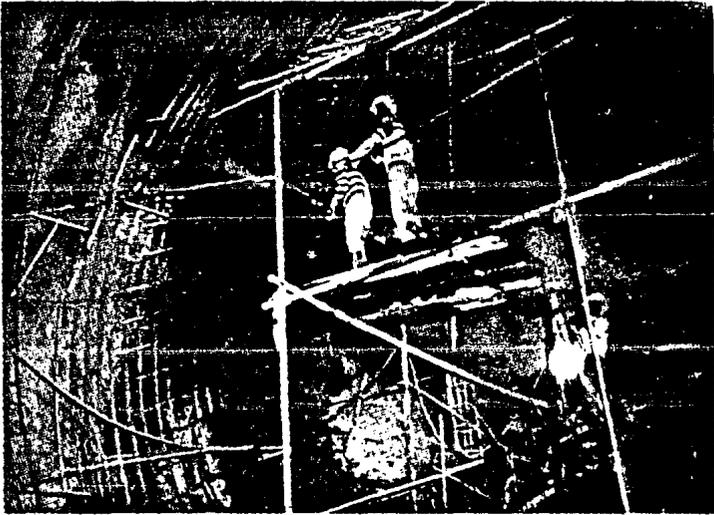


ETAPAS DE EXCAVACION

TUNEL DE TRAMO

FIGURA 9.

SIN ESCALA  
ACOTACIONES EN M.



**FIGURA 10. CONCRETO LANZADO**

(tipo 6" x 6" 6/6), y nos definen el espesor del concreto lanzado ya estipulado en las especificaciones, en nuestro caso se coloca la malla antes mencionada, se lanza una primera capa de 5 cms., de espesor, la cual se le agrega aditivo acelerante de fraguado, después de fraguado esta capa se procede a lanzar una última capa de 10 cms., de espesor, y así sucesivamente al ir descubriendo los tramos de 2.0 m.

Para la excavación del banco inferior se puede hacer con traxcavo, ya que su geometría se presta para ello o con la propia rozadora, para alojar la zapata de apoyo del concreto lanzado de la parte inferior, así como para afine se emplean las pistolas neumáticas.

La excavación se suspende hasta que no se haya completado el lanzado del concreto (cuyo procedimiento es el mismo al antes mencionado), apoyándolo en las zapatas extremas.

d) Colocación del recubrimiento definitivo: Una vez que se tienen además las paredes del túnel se realiza el armado y colado del revestimiento definitivo, para esto se utiliza una cimbra convencional (Fig.11) de 6.0 m de longitud, para colar paredes y clave del túnel, la secuencia es la siguiente (Fig.12):

1° Se cuelan las guarniciones

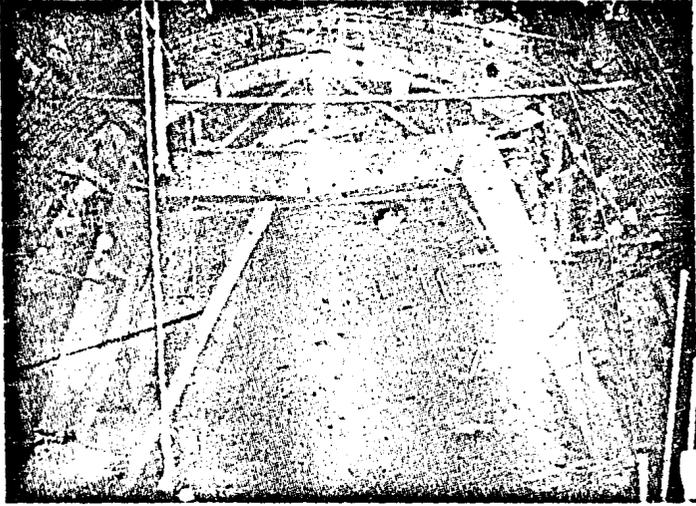
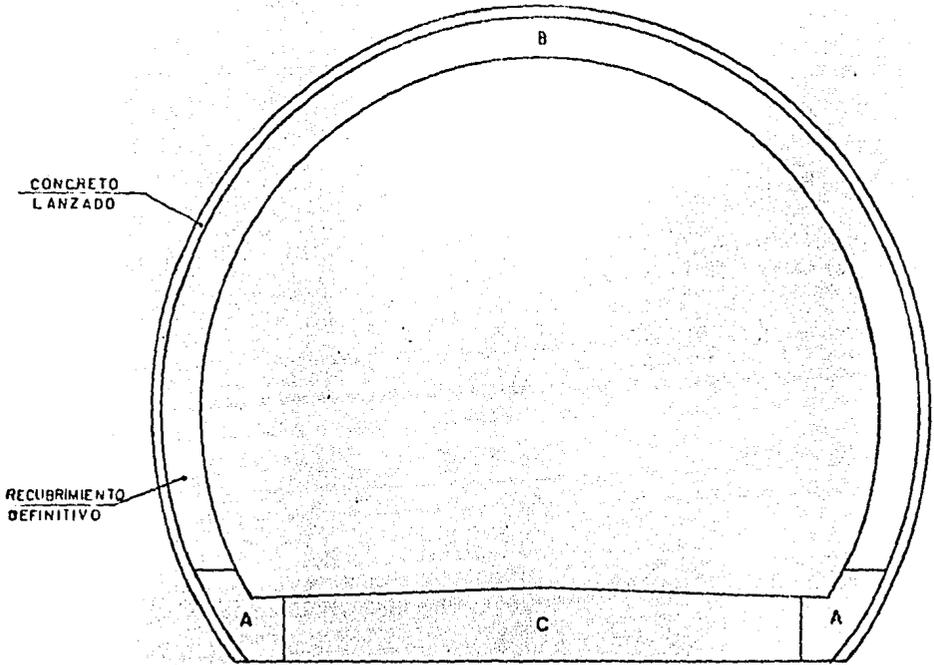


FIGURA II. COLADO DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

2° Se cuelan clave y muro,

3° Colado de la losa de fondo.

Una vez terminadas estas secuencias se concluye la obra civil, siendo la siguiente parte del proceso la colocación de los rieles y los equipos electromecánicos.



TUNEL DE TRAMO. SECUENCIA DE COLADO

- A) GUARNICIONES
- B) CLAVE Y MUROS
- C) LOSA DE FONDO

FIGURA 12.

EXCAVACION EN CAJON

CAPITULO III:

### III.1.- Estudios previos y previsiones.

En los estudios preliminares se analizan y cuantifican las posibles soluciones del tipo de estructura en base a los movimientos diferenciales, peso necesario, procedimientos recomendables, influencia de los sismos en los comportamientos de las estructuras; esto se realiza en base a un estudio detallado de vialidad y del terreno (exploración del subsuelo) en que se alojará la línea.

III.1.1.- Trazo: El objeto del trazo es definir la ubicación de las estructuras del metro, estación y tramos en cajón. El orden de actividades se puede describir de la siguiente manera.

a) Planteamiento preliminar: Esto es una vez que se ya se tiene seleccionada la ruta que va a seguir el metro, se procede a efectuar el planteamiento preliminar del eje del trazo, por medio de una poligonal gráfica llevada sobre copias de los planos fotogramétricos con escala 1:500. El criterio que se siguió fué de tratar de colocar dicho eje aproximadamente en el centro de la calle o a una distancia determinada de los paramentos.

Esto permite calcular, en forma semigráfica, la posición de puntos de apoyo para tangentes del trazo, así como el

valor de las deflexiones aproximadas entre tales tangentes. Con estos valores predeterminados, lo que sigue es el planteamiento de curvas que unirán sucesivamente los tramos rectos ya definidos.

b) Verificación de la geometría preliminar: Lo que se hace aquí es localizar en el terreno los puntos obligados del trazo determinados en la etapa anterior, llevando por ellos una poligonal abierta.

c) Elaboración del proyecto definitivo y ubicación en el terreno. Con los datos obtenidos del terreno en el paso anterior, se procede a afinar el proyecto, para esto se calculan las curvas reales, de acuerdo con las medidas lineales y angulares verdaderas.

d) Proyecto de perfil: A lo largo del eje del trazo y, sobrepuesta a éste, se lleva a cabo una nivelación de precisión apoyada en los bancos de nivel profundo. El siguiente paso es proyectar el trazo en perfil. Los criterios que debieron seguirse fueron:

1.- Pendientes longitudinales máximas de 7% y mínimas de 0.1%.

2.- Relleno sobre el techo de la estructura con valor mínimo de 1 m. En el hombro (dentro de este espacio, fué -

posible localizar la mayoría de las instalaciones menores de servicios municipales).

3.- Curvas verticales de enlace de ecuación parabólica.

e) Dimensiones y normas de proyecto: La sección -- transversal típica de la estructura del cajón tiene las medidas interiores necesarias para cumplir con los requerimientos mínimos de espacio para el paso de los carros.

En el sentido horizontal, el ancho en tramo recto es de 6.90 m que resulta de 2 anchos de carro de 2.50 m c/u, un espacio intermedio de 0.40 m y 2 andadores laterales de 0.75 m c/u. La altura tiene en total 4.80 m (en algunos casos - 4.90 o 4.95 m), constituidos por 0.40 m de espesor de balasto 0.31 m de durmientes y la pista de rodamiento, 3.60 m de altura del vehículo, y 0.49 m de espacio libre sobre el techo del tren. En el caso de curvas, las dimensiones deben incrementarse debido al "coleo" y la sobrelevación transversal que en estos lugares se presentan. Estas dimensiones interiores quedan (generalmente) como sigue: Para una curva de 150 m de radio, 7.040 m en el sentido horizontal y 5.05 m en el sentido vertical.

f) Obras secundarias. Los túneles del sistema requieren de una serie de obras adicionales previstas para albergar

equipos electromecánicos tales como aparatos de cambio de vía, acometidas de cables provenientes de las subestaciones de rectificación eléctrica, etc. Estas obras complementarias son: nichos de seguridad; de subestación de rectificación; de interruptor tele dirigido, de visitadores; de seleccionamiento; de acometida de cables del puesto central de control, nichos para motor de aparato de cambio de vía; rejillas de ventilación natural, de absorción y de extracción de tiro forzado.

### III.1.2.- Estudio del subsuelo.

a) Muestreo. Con el fin de determinar la estratigrafía y propiedades del subsuelo a lo largo de donde se va a construir el metro, se realizan una serie de sondeos de exploración, de los cuales se extraen 2 tipos de muestras: Inalteradas y Alteradas.

Las primeras se obtienen siempre que la consistencia del suelo lo permita, hincando a presión tubos muestreadores de pared delgada, tipo Sheldy, de 9 cm. de diámetro interior. Si la consistencia del suelo no hace posible el hincado de esos tubos, se utiliza el barril doble giratorio tipo Denison, introducido a presión y rotación, del cual se obtienen muestras de 10 cms., de diámetro.

Las muestras alteradas se extraen hincando a percusión.

sión tubos muestreadores de pared gruesa con diámetros de 3.5 cms., el interior y 5 cms., el exterior. Simultáneamente, con cada muestreo alterado se llevó a cabo una prueba de penetración normal.

En todos los sondeos, el avance y rimado de la perforación se hace con broca tricónica, y en la estabilización y limpieza de la misma se emplea lodo bentonítico.

El criterio que se estableció para determinar el tipo y profundidad de cada sondeo fué el siguiente:

- Se hizo por lo menos un sondeo inalterado en los sitios en que se construirían estructuras importantes, como estaciones, edificios, sifones, etc., y se llevaron a la profundidad requerida para obtener muestras del subsuelo que se ría afectado con la construcción y funcionamiento de la estructura. Además, en los tramos de línea entre estaciones se realizaron 3 sondeos de este tipo por lo menos, localizados a igual distancia entre sí.

- Los sondeos alterados se llevaron a cabo con el fin de correlacionar las características del subsuelo entre sondeos inalterados. La profundidad que alcanzaron dependió de la de los sondeos inalterados que correlacionaron.

- Por último al centro de los tramos de línea entre estaciones o en los tercios de los mismos cuando fueron -

excesivamente grandes, se realizaron sondeos mixtos, de los cuales se obtuvieron muestras inalteradas de la parte superior y alteradas del resto. Generalmente, en este tipo de sondeos se pudieron muestrear los materiales que subyacen a la formación arcillosa superior.

b) Laboratorio: Todas las muestras extraídas son clasificadas en el laboratorio y se determina su contenido natural de agua. Además se calculan las siguientes propiedades en muestras representativas de cada estrato:

- Peso volumétrico natural.
- Plasticidad de los suelos finos, mediante límites de consistencia.
- Resistencia al esfuerzo cortante bajo diferentes condiciones de velocidad de carga y drenaje.

Esta propiedad se estudió mediante diversos ensayos.

Una vez que ya se tiene todo este estudio se está en posibilidad de diseñar el cajón apropiado para cada tipo de terreno.

### III.2.- Procedimiento de la excavación en cajón.

#### III.2.1.- Antecedentes.

A partir de la 1a. etapa del metro, la estructura más usada para alojar tramos de 1, 2 y algunas veces 3 vías, ha sido el cajón. Gracias a la experiencia adquirida en la construcción de la 1a. etapa, se han mejorado los procedimientos de construcción que, con algunas diferencias, se han ido aplicando en la ejecución de la 2a. y 3a. etapa de la ampliación del metro.

Podemos hacer notar que el diseño es casi igual en la 2a. y 3a. etapas de ampliación del metro, ya que utiliza las mismas 2 variantes: "cajón con muros tablestaca y muros de acompañamiento" y "cajón con muros tablestaca estructurales", esto de acuerdo a las prioridades del suelo y al empuje a que van a estar sometidos estos muros.

Ya se conocen muy bien los problemas que representa construir excavaciones profundas en la arcilla del Valle de México, algunos de estos problemas pueden ser:

a) La alta plasticidad del material y por consiguiente su notable compresibilidad y expansibilidad, así como también su baja resistencia al corte.

b) La existencia de aguas freáticas superficiales.

Estos problemas nos pueden representar, en mayor o menor grado, según la magnitud de la excavación y el tiempo que estará al descubierto, algunos fenómenos entre los cuales

puedo citar:

- a) Expansiones en el fondo.
- b) Flujo de agua a través del fondo de la excavación.
- c) Disminución de la resistencia al corte por causa - de las expansiones.
- d) Falla del fondo de la excavación.
- e) Movimientos importantes durante la construcción de la estructura.

En base a todo esto visto podemos ver lo difícil que es excavar a profundidades mayores de 4 ó 5 m., sin el riesgo que se presenten los problemas antes mencionados.

La necesidad de hacer excavaciones a cielo abierto, en calles angostas y con sobrecargas considerables, a profundidades peligrosas y en terreno saturado de agua, obligó a pensar en una solución que permitiera trabajar con seguridad tanto para la excavación como para las construcciones vecinas. La solución era un tablestacado capaz de soportar los empujes del terreno exterior, y a la vez lo suficientemente impermeable para permitir abatir localmente el nivel freático dentro de la excavación sin afectar las construcciones vecinas.

Estas características se podrían encontrar en un tablestacado metálico de los comunmente usado para trabajo

bajo agua.

Sin embargo, la necesidad de sustituir parcialmente el peso del material excavado con el peso de la estructura, hubiera obligado a colar grandes moles de concreto como lastre, y de ahí nació la idea de que tablestacado tuviera la doble función de tablestaca y de lastre, o sea con la doble función de servir como ademe impermeable y como parte integrante de la estructura con el peso requerido.

III.2.2.- Construcción de los brocales: (Fig. 1 y 2)  
Estos se construyen una vez que se ha localizado en el terreno el eje de trazo de la línea del metro, son elementos de concreto armado en forma de "L" invertida colocados frente a frente y tienen la finalidad de retener los rellenos sueltos superficiales y de servir de guías a las herramientas de excavación de los muros colados del cajón.

Para que cumplan perfectamente con esta función deberán dejar espacio libre de 65 cm (para muros de 60 cms. de espesor) o 85 cms (para muros de 80 cms. de espesor) y su alineamiento debe ajustarse al trazo.

Para la construcción de estos brocales se excava primero la parte superior de las zanjas donde se van a alojar los muros, hasta una profundidad variable de acuerdo con el espesor de los rellenos, pero no menor de 1.50 m, ni mayor que la

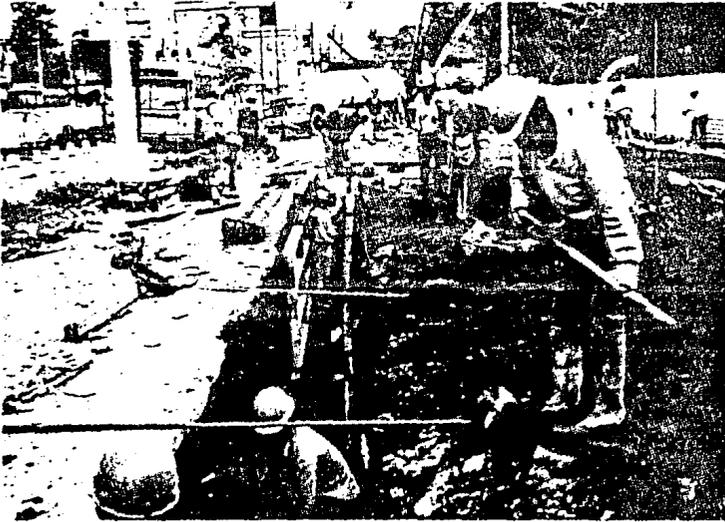
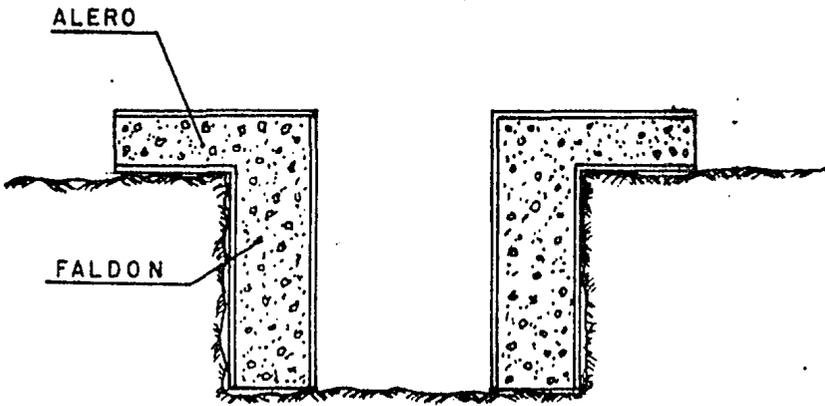


FIGURA I. EXCAVACION, ARMADO Y CIMBRADO DE BROCALES



SIN ESCALA

FIGURA 2. CONSTRUCCION DE BROCALES

profundidad a la que se encuentra el nivel freático. Por lo tanto la profundidad del faldón es variable según el tramo a excavar. Debido a que en los 2 primeros metros de excavación se encuentran la mayoría de los tubos y ductos de los servicios municipales, es por esto que la excavación de las zanjas guía debe de hacerse con precaución ya sea a mano o con maquinaria, para no dañarlos.

Para colocar las ramas verticales (faldones) del brocal, se debe cimbrar. La cimbra de un lado se apoya contra la del otro mediante puntales, con esto se trata de evitar irregularidades o abolsamientos.

Las ramas horizontales de los brocales, sirven como pequeñas losas sobre las cuales podrán rodar las máquinas de excavación, el ancho mínimo de estas ramas horizontales es de 0.50 m, pero esta medida se puede modificar a criterio de la supervisión de acuerdo con las condiciones que presente el terreno de apoyo, de tal manera de garantizar siempre que el brocal quede bien apoyado sin peligro de voltearse durante la excavación.

Cuando ya esten colados los brocales y las zanjas ya están limpias de estorbos, se deben de colocar compuertas de madera o de acero para aislar tramos de zanja guía correspondientes a la longitud del tablero del muro que se va a cons-

truir (generalmente 6.0 m). Cada tramo aislado por las compuertas se llenará enseguida con lodo bentonítico, hasta alcanzar un nivel de 80 cms. Abajo del borde superior del brocaí. Este nivel de lodo debe mantenerse durante todo el proceso de excavación y colados posteriores.

### III.2.3.- Construcción del Muro Milan (Tablestaca)

( Fig. 3.)

Una vez que ya se tiene aislado el tramo de zanja por excavar, y vaciado el lodo bentonítico en esta, se empieza la excavación usando para esto maquinaria de corte guiado, esto con el fin de garantizar la verticalidad, alineamiento e integridad de las paredes de la zanja, y que con esto se logre sin problemas la profundidad del muro especificada en el proyecto. Es absolutamente necesario que se utilice maquinaria cuya herramienta de corte sea guiada, pues en caso contrario no se puede garantizar la verticalidad y se provocan derrumbes durante la excavación.

Hay que tener cuidado de que la herramienta se excava ción se deslice con suavidad, sin chicotéo ni golpes, hincarla sin dejarla que choque o que caiga libremente contra el lodo o contra las paredes de las zanjas para evitar efectos de embolo en el lodo, cortar firmemente la arcilla hincando la

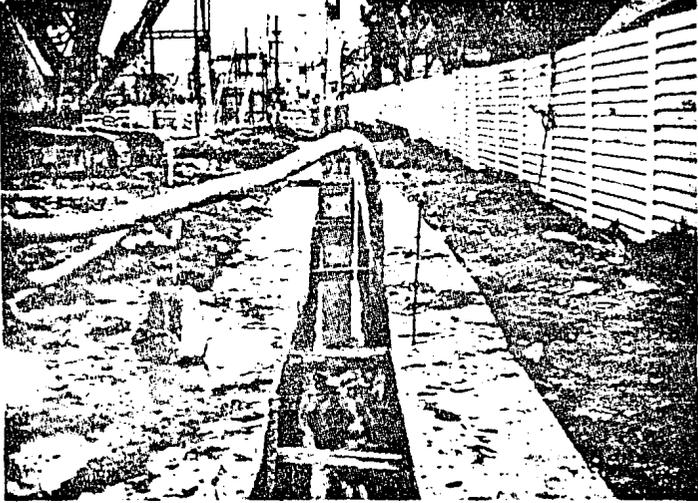


FIGURA 3. CONSTRUCCION DEL MURO MILAN

herramienta a presión sin sacudir ni arrancar de súbito. Una excavación hecha con destreza y siguiendo las precauciones antes indicadas nos lleva a buenos acabados en los muros, colado limpio y ahorra problemas posteriores de rellenos, rectificaciones o afinaciones de los muros.

Las excavaciones de las zanjas se harán en forma alterna, es decir no deberán excavarse tableros contiguos en forma simultánea, además no se podrá excavar ningun tablero hasta que el concreto del contiguo haya alcanzado su fraguado inicial.

La longitud de las zanjas excavadas que alojarán los muros del cajón no deben ser mayor de 6.0 m.

La profundidad de la excavación de las zanjas es la indicada en el proyecto para cada caso en particular.

Durante la excavación debe efectuarse un control de las propiedades del lodo bentonítico, este control consiste en efectuar las pruebas necesarias para confirmar que dichas propiedades cumplan con los límites especificados.

Debido a que el lodo cumple un papel muy importante durante el proceso de excavación se mencionaran algunas propiedades importantes. El lodo estabilizador deberá ser una suspensión estable de bentonita sódica en agua, se dice que es

tixotrópica porque presenta una cierta resistencia al corte en reposo, que es cuando actúa como un gel, mientras que en movimiento, cuando se agita o se bombea, que es cuando actúa como un sol no la presenta.

El lodo estabilizador deberá tener una densidad mayor que la del agua con el objeto de que el empuje hidrostático que ejerza sobre las paredes sea mayor que el de ésta. El lodo se deberá vaciar en el interior de los tableros antes de iniciar la excavación, hasta alcanzar un nivel superior al nivel freático con el objeto de generar un gradiente de presiones sobre las paredes de la excavación que ayude a detenerlas o mantenerlas estables. El gradiente además producirá filtraciones de lodo hacia el interior de las paredes, por lo que deberá cuidarse la proporción agua-coloides, con el objeto de que dicha infiltración sea mínima. Al producirse la infiltración, en la frontera lodo-suelo una película de pequeño espesor de moléculas de lodo que constituye una membrana impermeable y resistente conocida en la terminología inglesa como "cake".

La tixotropía del lodo al pasar del sol a gel y las fuerzas electroquímicas y de tensión capilar que se generan entre lodo y suelo en la frontera de los 2 materiales durante el filtrado, contribuyen a la formación de esta película y a

la adquisición de su resistencia.

Esta resistencia se suma a la presión hidrostática del lodo para estabilizar las paredes de los tableros por - excavar. No puede dejarse una zanja totalmente excavada y - ademada con lodo por mucho tiempo, por esto no deben de pasar más de 24 horas, entre el inicio de la excavación de un ta- - blero y el inicio de su colado.

Por otra parte no deben transcurrir más de 6 horas entre el momento que se alcance la máxima profundidad de ex- cavación y el inicio del colado.

Como consecuencia de que la herramienta de excava- ción es curva, la profundidad de excavación se hará 20 cen- tímetros más de lo que se marca en el proyecto.

Una vez terminada la excavación, se debe limpiar la zanja del azolve que pueda tener, para esto se utiliza - un tubo eyector, que se pasa por todo el piso de la zanja, o bien utilizar la almeja para retirar el azolve.

Hecho esto se procede a verificar la profundidad

de la zanja y las propiedades del lodo, a continuación se introducen las juntas metálicas y la parrilla de refuerzo. (Fig. 4).

Las juntas son tubos metálicos huecos que tienen la forma para machimbrar, además contienen la banda de PVC integrada.

Las parrillas irán contraventeadas con rigidizadores, así mismo es necesario dejar dentro de la parrilla espacios li bres para el paso de las trompas de colado.

Una vez colocadas las trompas de colado, deberán levantarse a una altura de 30 cm., del fondo de la zanja.

El concreto debe ser suficientemente fluido para que sin necesidad de vibrarlo penetre y se distribuya uniformemente por todo el tablero.

#### III.2.4.- Abatimiento del nivel freático.

Antes de comenzar con la excavación del núcleo, es necesario abatir el nivel de aguas freáticas. Esto con la finalidad de facilitar la extracción del material, así como incrementar la resistencia del suelo al disminuir el contenido del agua y con esto impedir hasta donde sea posible, el riesgo de una "falla de fondo" que en muchas ocasiones puede provocar serios problemas en la estabilidad de los taludes de construcción.

Para el abatimiento del nivel de A.F. se han usado 2

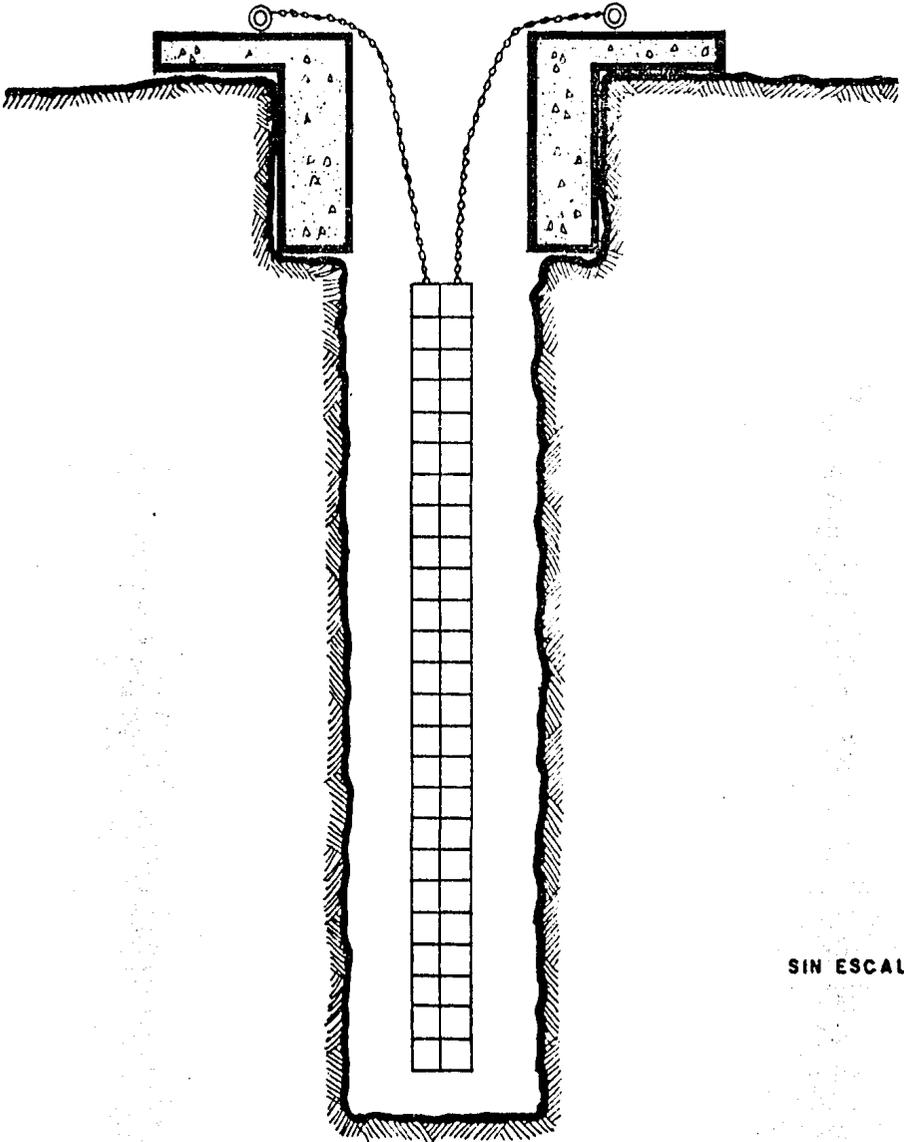


FIGURA 4. INSTALACION DE LA PARRILLA DENTRO  
DENTRO DE LAS ZANJAS

Sistemas:

- a) Bombeo por gravedad
- b) Bombeo a base de electrólisis.

a) Bombeo por gravedad. Para la ejecución de cada pozo se siguen los siguientes pasos:

- 1.- Perforación
- 2.- Colocación de ademe
- 3.- Colocación de filtro
- 4.- Colocación de bombas eyectoras.

Para el abatimiento del nivel freático, primero se estudia y analizan las localizaciones de los pozos de bombeo, - generalmente van ubicados sobre el eje del trazo y a una profundidad que varía entre 2 y 3 metros bajo la profundidad máxima de excavación.

El bombeo se empieza de 6 a 8 días antes de comenzar la excavación y se suspende el bombeo en cada pozo cuando se vaya a proceder con el colado de la losa de piso de la etapa correspondiente.

Los pozos tienen un diámetro de 30 cm., y se perforan con broca tricónica o de diente, no se debe emplear en la perforación herramienta que no utilice agua a presión en el lavado, tampoco debe usarse lodo para hacer la perforación de

los pozos.

Para tener las perforaciones en estado de poder instalar el equipo de bombeo dentro de ellas, deberán estar limpias y libres de azolve. Para la limpieza se emplearán cucharas de percusión para extraer el azolve grueso y después de terminar esta operación, se lava la perforación con agua a presión.

Antes de ademar la perforación como más adelante se explica, será necesario mantenerla llena de agua hasta rebo-sar, para evitar que sus paredes se cierren.

Los ademes de los pozos de bombeo serán tubos de fierro de 4" ó 6", de acuerdo a la especificación de cada tramo por construir. Estos tubos se ranuran con el objeto de que el agua por bombear penetre libremente a su interior, el % de área de filtración del tubo no debe ser menor del 3% ni mayor que el 5% del área perimetral del tubo. Para evitar que el filtro pase al interior del ademe, se debe colocar una malla alrededor del ademe.

Entre las paredes del pozo y las del ademe, se coloca un filtro de arena gruesa y grava fina limpia, cuya granulometría este comprendida entre los siguientes tamaños: 1.0 cm., para el máximo y 0.25 cm., para el mínimo.

Con el fin de establecer el flujo hidráulico en el po

zo y hacer con ello más eficaz el bombeo, después de colocado el ademe y el filtro, se agita en el interior del ademe con una cuchara de percusión. Si esta operación no resulta suficiente para activar el flujo hidráulico, se arroja hielo seco al fondo del pozo para que el monóxido de carbono liberado destape los espacios entre partículas que hayan sido bloqueados.

Las bombas que se emplean son de pozo profundo del tipo eyector de 1" x 1 1/4" ó de a 1/4' x 1 1/2", de acuerdo al diámetro del ademe en que se instalen, siendo la primera para el de 4" y la segunda para el de 6".

Para el control del abatimiento del nivel freático, se registran en cada turno, la presión de operación de las bombas ( $5 \text{ kg/cm}^2$ ), el gasto de extracción y el nivel dinámico en cada pozo, y con los datos registrados se elaboran unas gráficas tiempo V/S presión de operación, tiempo V/S gasto extraído y tiempo V/S nivel dinámico.

Los principales problemas a evitar con este abatimiento son los siguientes:

- Controlar las filtraciones durante la excavación.
- Limitar las expansiones de las arcillas a valores tolerados para evitar que disminuyera su resistencia -

al corte.

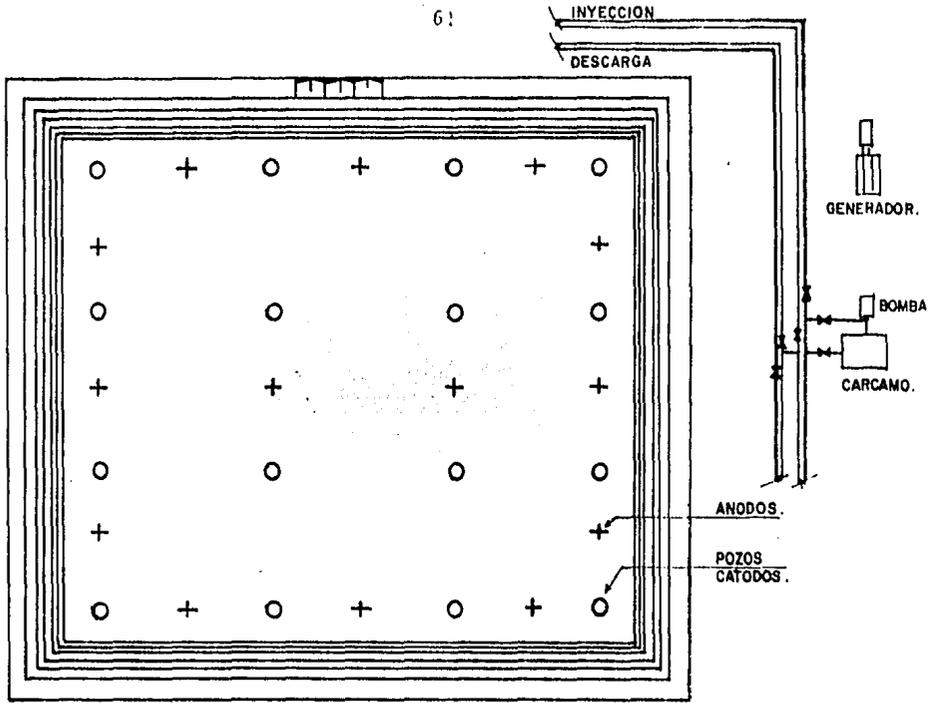
- Crear fuerzas de filtración descendentes bajo la excavación para evitar la falla de fondo.
- Eliminar las subpresiones de las capas permeables localizadas bajo la excavación.
- Eliminar el empuje hidrostático de los taludes y de la parte posterior de algunos muros.

b) Bombeo a base de electrosmosis. (Fig. 5).

Cuando se trata de suelos de baja permeabilidad como las arenas arcillosas, los limos arcillosos y las arcillas de mediana o alta plasticidad, cuyo coeficiente de permeabilidad es del orden de 10 cm/seg. o menor, la aplicación del sistema de vacío es insuficiente para lograr el abatimiento rápido del nivel freático; en estos casos el bombeo puede auxiliarse con la aplicación de un gradiente de potencial eléctrico que acelere el flujo del agua a través de los poros del suelo y desarrolla, de manera semejante al sistema de vacío, un estado de tensión en el agua de los poros del suelo que incrementa temporalmente la resistencia al corte, efecto que unido a la eliminación de las fuerzas de filtración, estabiliza los taludes.

Es bien conocido que el abatimiento local del nivel freático produce hundimientos por consolidación de la arcilla,

cuya magnitud es función del tiempo que actúa la sobrecarga producida por el abatimiento. Si el abatimiento se logra en un tiempo corto, alrededor de una semana, los hundimientos locales no exceden de unos 10 cms. Este abatimiento rápido se consigue con el auxilio de la electrósmosis. Al ejecutar la excavación después de haber abatido el nivel freático, pueden excavar grandes áreas, produciéndose expansiones de magnitud muy semejante a los asentamientos provocados previamente durante la etapa de abatimiento del nivel freático. La figura (5) ilustran la instalación de este sistema en el que se emplean pozos de bombeo cuyo ademe metálico está diseñado para servir también como electrodo negativo hacia el cual fluye el agua del suelo impulsada por el potencial eléctrico creado en el terreno mediante la instalación de varillas de acero colocadas entre los pozos, las cuales sirven de electrodos positivos. Los pozos catodos (-) y las varillas anodos (+), se conectan a los bornes correspondientes de un generador de corriente continua, creándose así el gradiente de potencial eléctrico, cuyo valor se mantiene entre 0.1 y 0.3 volts/cm de separación entre electrodos, el agua es extraída del interior del ademe mediante una pequeña bomba de pozo profundo, del tipo eyector (trompa de vacío) operada por un chiflón de agua producido por una bomba centrífuga de alta -



PLANTA .

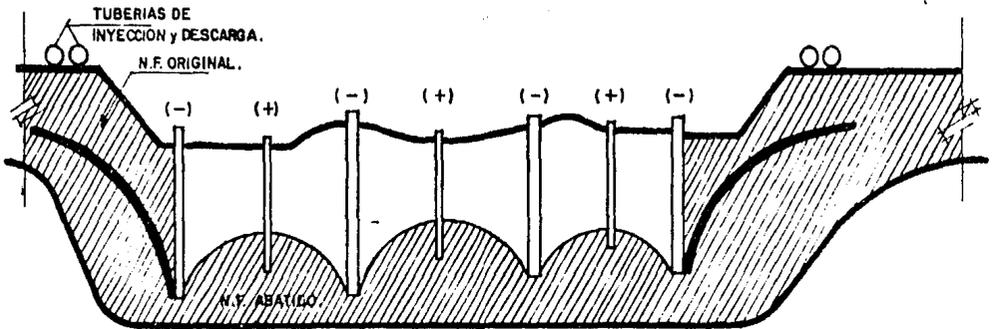


FIGURA 5

PERFIL.

INSTALACION PARA ABATIMIENTO ELECTROSMOTICO EN ARCILLAS.

presión, el agua inyectada en el eyector, junto con la extraída del suelo, fluyen por una tubería de retorno que regresa hasta el cárcamo de la bomba centrífuga que se encuentra en la superficie, desde donde es recirculada y reinyectada para la operación continua de los eyectores.

En arcillas de alta compresibilidad la distribución de los electrodos en el área de la excavación y el gradiente de potencial aplicado se diseñan de manera tal que se reduzcan al mínimo los asentamientos de la corona de los taludes y de la zona vecina a la excavación, con el fin de evitar daños a estructuras vecinas y prevenir el agrietamiento de los taludes, lo cual empeoraría su estabilidad.

#### 2.5.- Excavación del Núcleo. (Fig. 6)

Abatido el nivel freático se crea en el área por excavar una sobrecarga local, esta sobrecarga reduce la magnitud de las expansiones del fondo, producidas por la descarga de las arcillas al excavar. El control de la magnitud de las expansiones tiene el doble propósito de impedir la disminución de la resistencia al corte de la arcilla, y reducir los asentamientos diferenciales que se presenten por recuperación de las expansiones al volver a cargar el terreno con el peso de la estructura y los materiales que se emplean para rellenar nuevamente la excavación realizada.

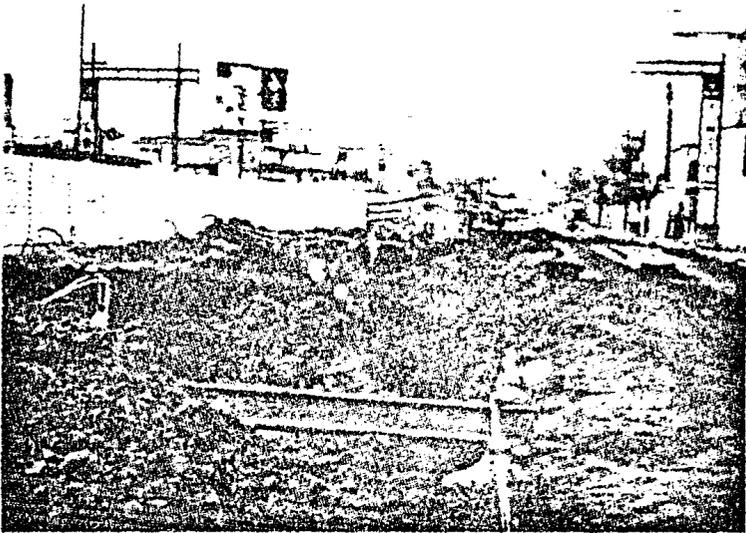


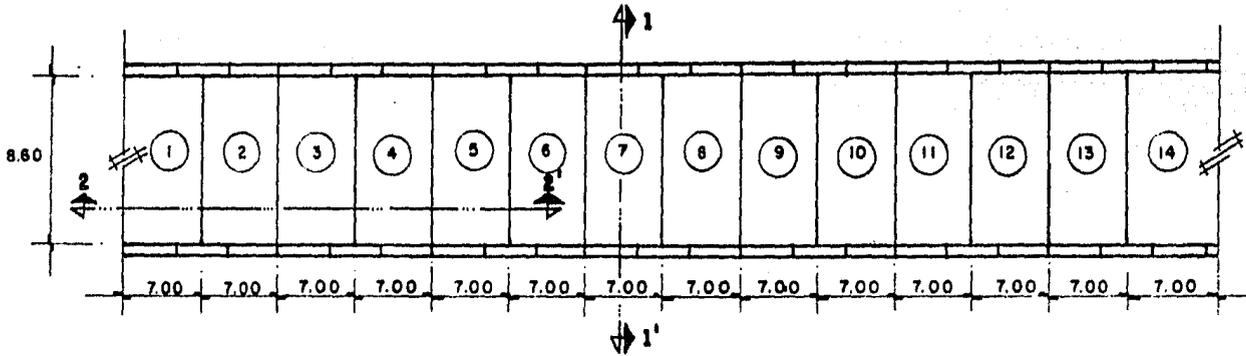
FIGURA 6. EXCAVACION DEL NUCLEO

La excavación se realiza entre taludes (Fig.8) (1: 1; 1.25: 1; 0.75: 1; horizontal a vertical), los cuales se analizan con sobrecarga o sin ella, con diferentes inclinaciones, etc; dependiendo de las características que se presenten en la realidad. El avance máximo de excavación (Fig.7) varía de 5 a 7 m., o más, si el terreno lo permite, para construir tramos de losa de fondo de 5, 7m o más respectivamente.

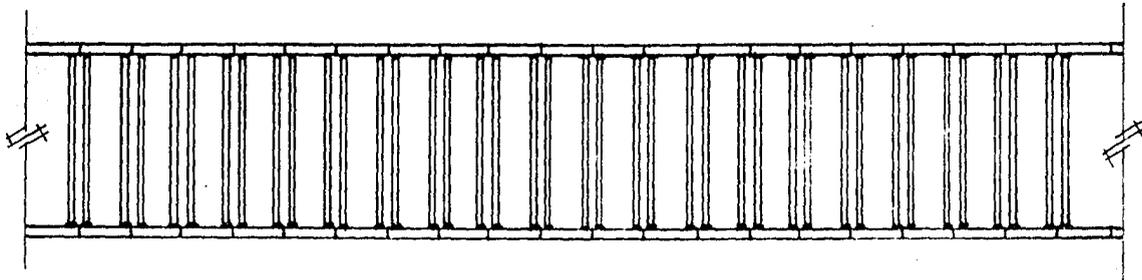
Conforme la excavación vaya descubriendo los puntos donde se localizarán se colocarán estos en pares, de manera que queden simétricamente colocados con respecto a la junta de construcción de los muros. Se colocan tantos niveles de puntales (Fig. 9 y 10) como se requiera, lo cual está en base a la profundidad y al empuje de tierras en los muros. Estos puntales se colocan con una precarga (generalmente 30 ton) de acuerdo con los requerimientos de los empujes de tierras y tienen la finalidad de mantener la verticalidad de los muros para evitar deformaciones y desplazamientos en la estructura, lo cual provocaría esfuerzos por excentricidades.

Una vez alcanzada la profundidad máxima de excavación, se construye una plantilla de concreto simple que tiene espesores variados desde 10 cms., según la sobrecompensación que tenga. Tiene como objetivo dar a la losa de piso una superficie de terreno uniforme.

PLANTA

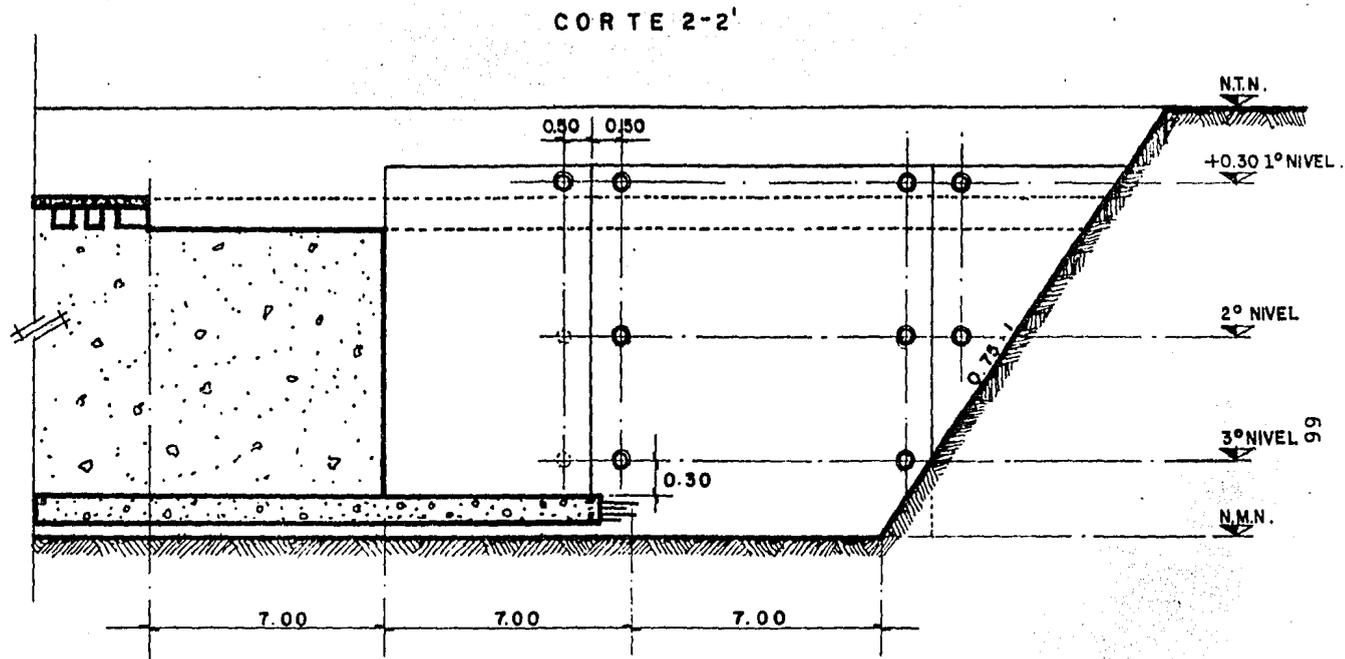


ETAPAS DE EXCAVACION



APUNTALAMIENTO

FIGURA 7



**FIGURA 8.**

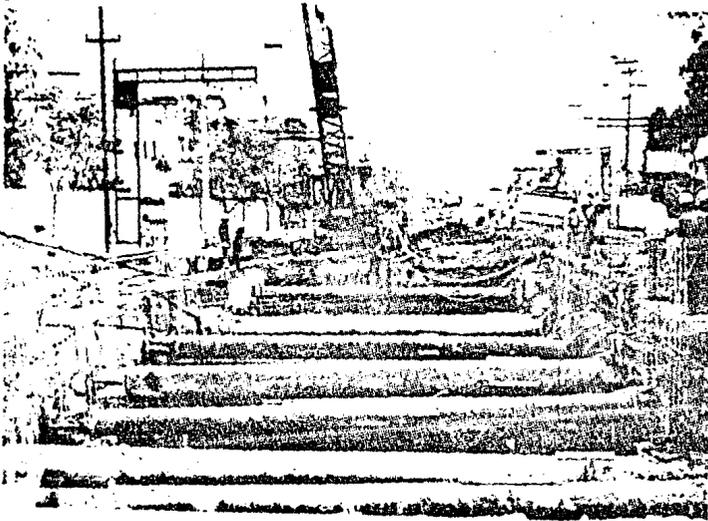


FIGURA 9. PRIMER NIVEL DE TROQUELES

CORTE 1-1'

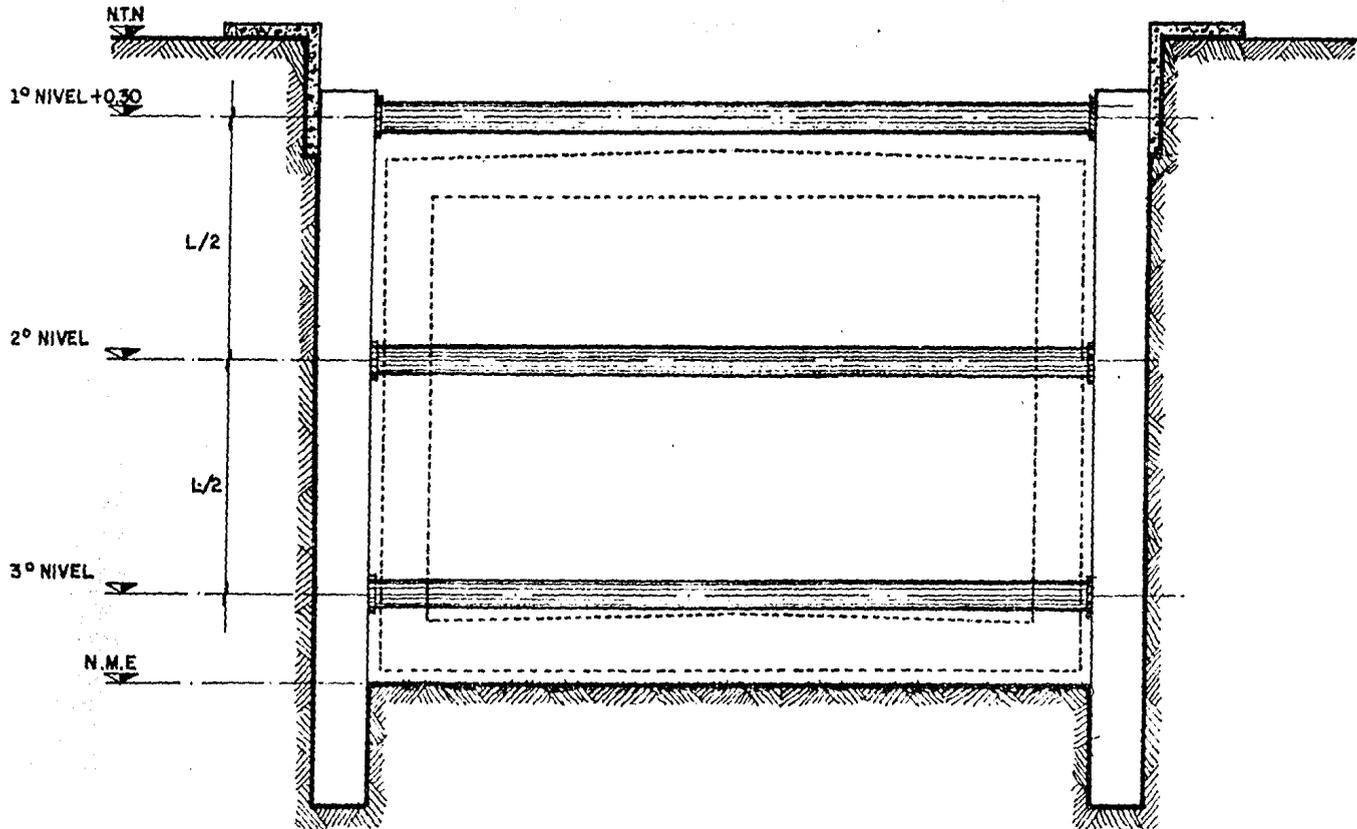


FIGURA 10. NIVELES DE APUNTALAMIENTO

Después de colada la plantilla, se procede al armado y colado de la losa de piso, la cual se diseña en cada caso según los requerimientos propios y en base a la sobrecompensación.

Se diseñará el cajón del metro con muro de acompañamiento (Fig. 10 y 11), cuando el ancho de la calle por la cual pasará el trazo del metro lo permita, así como también en base a la sobrecompensación.

La actividad del retiro de puntales se irá realizando conforme avance la construcción del cajón del metro, debiéndose tener en cuenta las circunstancias que se pueden presentar al ser retirados estos y evaluar dichos efectos tanto a la obra del metro como a las construcciones cercanas a esta.

Una vez que el concreto de los muros que sostendrán la losa de techo haya alcanzado su resistencia de proyectos se procederá a colocar las tabletas encima de estos muros, una vez colocadas las tabletas se construirá sobre éstas una firme de compresión. Tanto las tabletas como el firme de compresión conforman lo que será la losa de techo, la cual trabajará en conjunto como tal.

#### III.2.5.1.- Rejillas de ventilación.

Las rejillas de ventilación son elementos que se co-

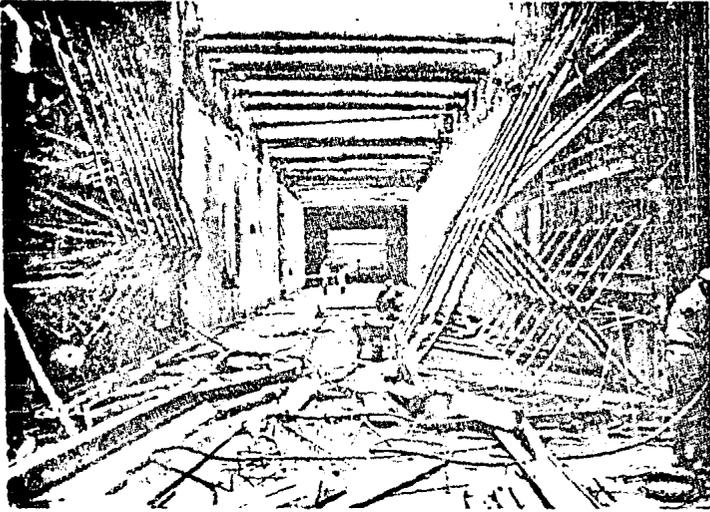
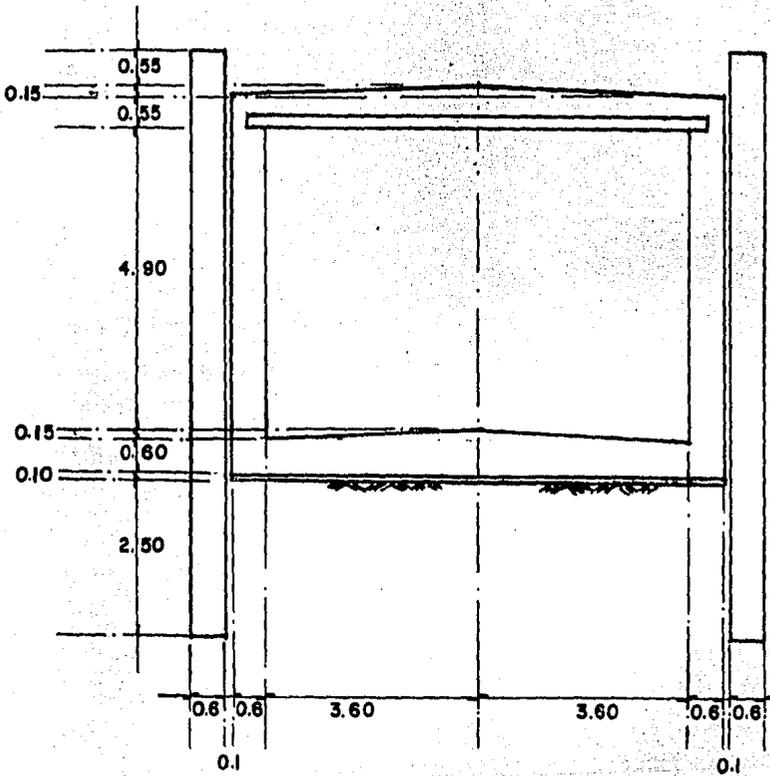


FIGURA 10'. CAJON CON MURO DE ACOMPAÑAMIENTO



ACOTACIONES EN M.

FIGURA II. CAJON CON MURO ESTRUCTURAL  
DE ACOMPAÑAMIENTO

locan en lugar de la losa de techo y que se localizan hasta el nivel del terreno, esto se hace con la finalidad de dar ventilación al tramo.

Estas rejillas además sirven para el acceso y salida de los materiales de construcción y refacciones para el equipo de trabajo.

#### III.2.5.2.- Relleno y pavimentos.

El relleno sobre el cajón, deberá efectuarse después de que el concreto empleado en la losa del techo haya alcanzado su resistencia de proyecto.

Los materiales que se emplean generalmente para rellenos son tepetate y grava cementada con tepetate.

El cuerpo del pavimento estará integrado por capas de material de terracería, sub-base y carpeta asfáltica, dependiendo del nivel de la superficie del pavimento y zonas jardinadas con respecto a la rasante de proyecto, el espesor y tipo de materiales variará de acuerdo al problema que se presente.

#### III.2.5.3.- Reinstalación de servicios.

Al realizarse la construcción del metro se tiene que hacer desvíos de colectores, agua potable y servicios municipales en general, los cuales se reinstalan una vez que se concluyó la construcción en la zona de desvío.

Algunas veces estos desvíos se hacen paralelos al tramo del metro, pero igualmente se contempla su diseño y construcción de dichos desvíos.

MAQUINARIA UTILIZADA EN LA  
EXCAVACION EN TUNEL

CAPITULO IV.

#### IV.1.- Generalidades.

Este tema tiene como objetivo principal presentar el equipo básico que se ha utilizado y se utiliza en la excavación de los túneles del metro de la Ciudad de México. Es por esta razón que no se nombrarán muchas máquinas existentes para este tipo de obras, por no adecuarse a las características implantadas por los materiales a cruzar. También quedarán excluidos los aspectos de revestimiento definitivo e inyección de contacto.

Dentro, pues del reglón excavación, las actividades que la integran son:

- a) El corte del material.
- b) El soporte temporal.
- c) La extracción del producto o rezaga.

Desde luego se han realizado todos los estudios necesarios, para demostrar la factibilidad de la obra, enmarcada en una serie de restricciones, que son justamente las que integran las especificaciones y los planos de construcción. Así, se determinarán los ciclos y los tipos de soporte temporal, y hasta definitivo, para las diferentes zonas de la obra.

Con esta información, y sin pretender los aspectos -

económicos se puede hacer un planteamiento del equipo idóneo a utilizar en cada uno de los tres renglones antes mencionados.

Los materiales típicos cruzados son los siguientes:

- 1a) Materiales altamente plásticos como las arcillas de la zona norte de la Línea 7 Norte.
- 1b) Materiales limo arenosos, que con variaciones en su composición de limo y arena se localizan en la mayor parte del trazo de las líneas 3 - Sur II y 7 Norte.
- 1c) Boleos empacados en una matriz limo arenosos como los que se localizan en el tramo comprendido entre las lumbreras 20 y 22 de la Línea 7 Sur.
- 1d) Gravas y boleos empacados en una matriz esencialmente friccionante como los que se encuentran en los frentes de la lumbrera 23.
- 1e) Capas de material puramente friccionante, estratificadas e intercaladas en estratos de arena limo

sa y limo arenoso, como sucede en las lumbreras 18 y 25.

#### IV.2.- Selección del Equipo.

##### IV.2a) Escudo de frente abierto (Fig. 1)

Aquellos materiales blandos como los señalados - en el inciso Ia) sufren deformaciones importantes si no se dispone de una estructura capaz de impedirlo. En estos materiales se decidió el escudo de frente abierto, que consiste en una coraza metálica, del diámetro de la excavación, provista de plataformas de trabajo. En su parte delantera lleva gatos capaces de soportar el frente de la excavación y en la parte posterior, un brazo capaz de colocar un ademe primario prefabricado que impide el desplazamiento del terreno. El mecanismo de avance del escudo consiste en gatos hidráulicos que se apoyan contra ese ademe para impulsarse hacia adelante.

El ataque del frente se puede hacer con maquinaria neumática liviana o con un brazo hidráulico de capacidad suficiente. El avance en cada ciclo de trabajo queda determinado por la longitud correspondiente a un anillo de dovelas de ademe. Algunas características técnicas importantes son las siguientes:

Cilindro de acero con un diámetro exterior de 9.14 m

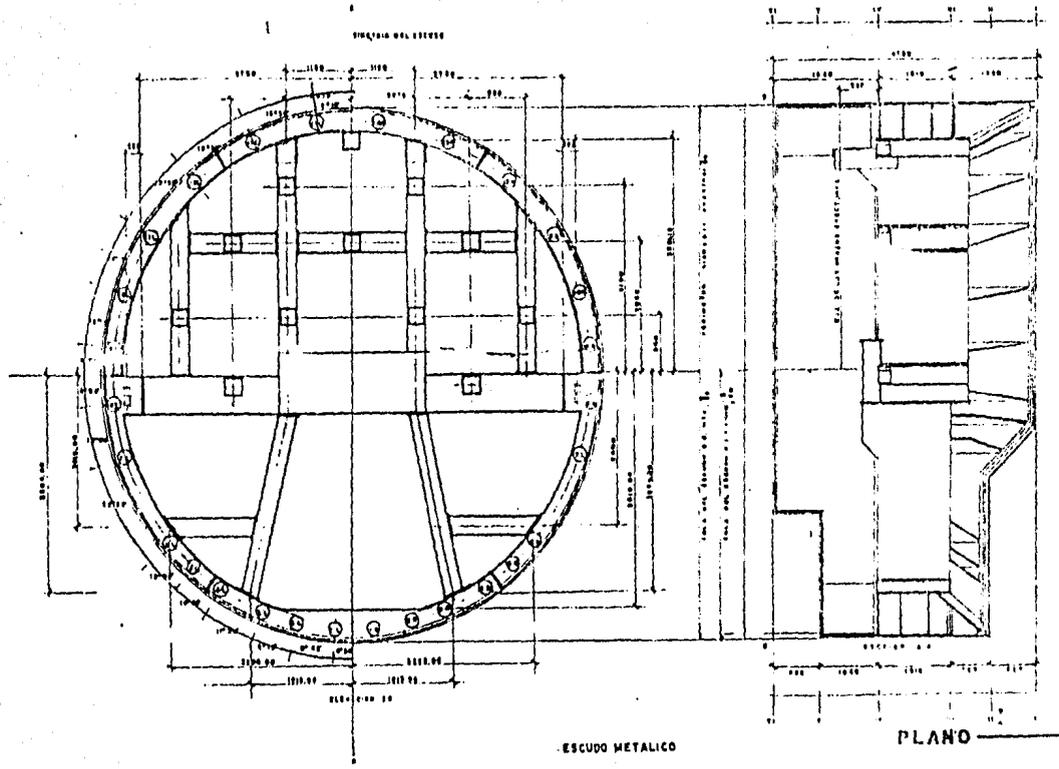


FIGURA I.

y una longitud de 4.70 m y un espesor promedio de 2 3/4" con un peso de 140 ton.

Para ademar el frente en caso necesario, el escudo cuenta con 17 gatos frontales de 68 ton c/u que puede proporcionar una presión confinante máxima al frente del escudo de 17.5 ton/m<sup>2</sup>. En el perímetro de la parte central se encuentran alojados 28 gatos de 182 ton c/u y una carreta de 91 cm; lo que dá un empuje máximo total de 5,096 ton. Estos gatos proporcionan la fuerza necesaria para avanzar siempre manteniéndose dentro del eje del túnel.

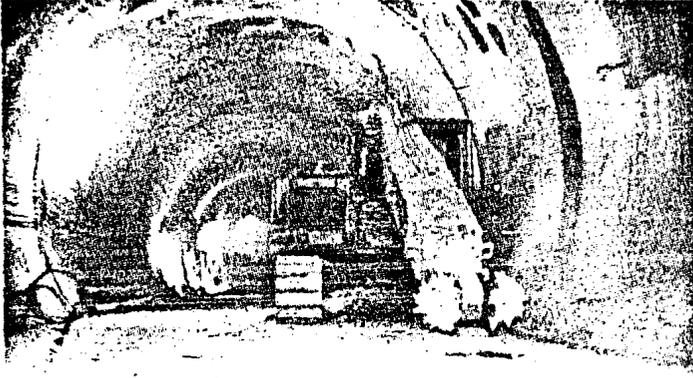
#### IV.2b) Máquinas rascadoras (Fig. 2)

En los limos arenosos compactos, las máquinas rascadoras tienen su campo de aplicación más adecuado.

Consiste en una máquina sobre orugas con un brazo movido hidráulicamente, que en el extremo de ataque lleva una cabeza giratoria conteniendo los dientes que destruyen la estructura del terreno donde se aplica.

Los motores para tránsito son de combustión (diésel) y los que mueven la cabeza giratoria son eléctricos.

Se han utilizado 2 tipos: las fabricadas íntegramente para este trabajo, que además son capaces de rezagar y aquellas que consisten en un brazo rascador montado sobre



**FIGURA 2. RASCADORA**

una retroexcavadora.

En las primeras, el giro de la cabeza hace que los dientes rocen hacia arriba y depositen el material en una banda transportadora que la conduce a la parte posterior, cargando camiones.

En las otras el giro de la cabeza rascadora ayuda a arrojar el material hacia el piso, lo que implica la utilización de un equipo adicional para realizar la carga del producto del corte. Estas máquinas tienen un alcance mayor que las anteriores y capacidad de girar 360° sobre el sistema de tránsito.

Como quedó dicho, el terreno ideal para estas máquinas es el limo arenoso, sin embargo su desempeño no es malo cuando tiene incrustadas gravas y aun boleos aislados.

Las piezas de desgaste son los dientes y su vida depende de la abrasividad del terreno.

Por tratarse de máquinas sumamente pesadas (36 tons aproximadamente), su desplazamiento es lento y solo cuando los dos frentes de una lumbrera están muy cercanos se pueden utilizar en ambos. Por otra parte, su ataque es violento y produce vibraciones que pueden ocasionar desprendimientos en terrenos menos estables como aquellos con alto contenido de materiales friccionantes.

#### IV.2c) Rompedoras neumáticas. (Fig. 3)

Para fines de excavación estas máquinas se usan, en su versión liviana, ( de 11 kgs a 14 kgs de peso) en todos los frentes; tanto en los que llevan escudo, para cortar el frente, como los que llevan rascadora, para afinar las paredes. Además en aquellos frentes donde esas dos máquinas no son aplicables, se utilizan para la excavación de una ranura, de dimensiones adecuadas, en la media sección superior, pudiéndose proceder a cortar el banco con otra máquina de mayor capacidad, previa protección del corte superior.

#### IV.2d) Cargador sobre orugas. (Fig. 4)

Estas máquinas también son de utilización común en todos los frentes, tanto para cargar vehículos de transporte con el producto del corte, como para cargar en los bancos - después de haber hecho el corte de la sección superior. Aún en el caso del uso de rascadoras con banda transportadora, - para carga, es necesario el empleo de cargador para el manejo del producto de afinar clave, paredes y piso de excavación. Esta máquina se vera con mayor detalle en el capítulo siguiente.

(IV.2e) En la línea 3 Sur II, las excavaciones se hicieron mediante el uso de explosivos, para este fin de utiliza-

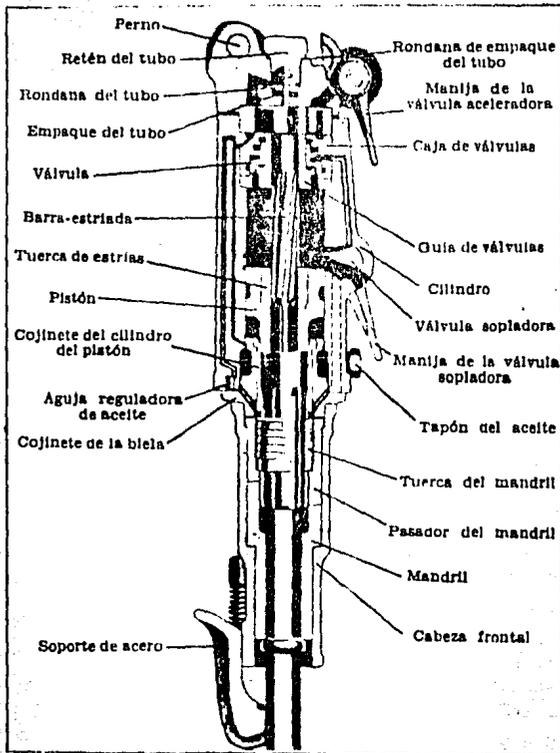


FIGURA 3. ROMPEDORA NEUMATICA



**FIGURA 4. CARGADOR SOBRE ORUGAS**

ron perforadoras con empujador neumático para hacer las barrenaciones. El consumo aproximado de explosivo fué de 1.2 kg por m<sup>3</sup> de roca. Por tratarse de una longitud corta de excavación en roca, no se justificó la implementación de un equipo más sofisticado.

#### IV.3.- Equipo para Ademe. (Fig. 5)

El proyecto señala como ademe general, un revestimiento primario a base de concreto lanzado. Desde luego no excluye la utilización de marcos metálicos, que en realidad no requieren de equipo especial para su colocación; anclas, cuya necesidades de equipo son perforadoras, y dovelas para el caso de escudo y cuyo equipo para colocación está integrado al propio escudo.

Por lo tanto, esta parte queda restringida al equipo para concreto lanzado en su sistema de aplicación por vía seca, como señalan las especificaciones.

Aparte de las instalaciones necesarias en superficie para el suministro de agregados, como tolvas y almacenes, y para cemento como silos y tuberías, el equipo para la aplicación de concreto lanzado ha consistido en tolvas dosificadoras de mezcla y lanzadoras de revolver. Las tolvas están montadas sobre camión y son una para agregados y otra para

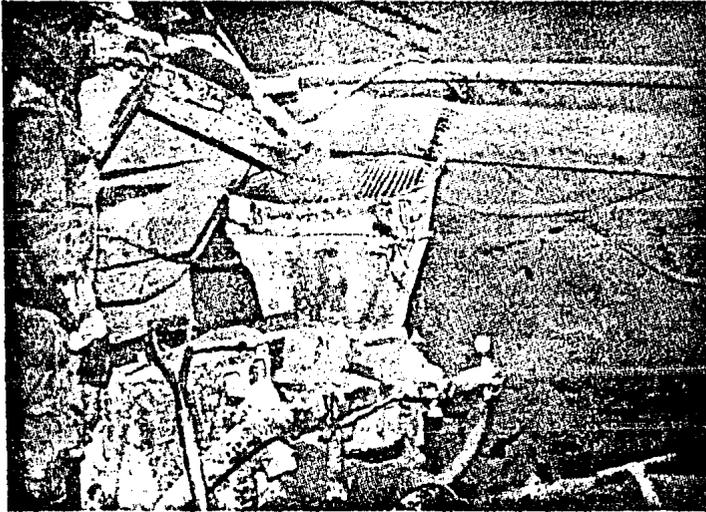


FIGURA 5. LANZADORA DE CONCRETO

cemento. Los materiales son transportados por medio de gusanos de tal manera que el que transporta el cemento lo deposita en la zona central del que transporta el agregado, quedando entonces una longitud aproximada de 2.5 m de recorrido de la mezcla seca, lo que permite una buena integración de los materiales que la integran. El aditivo acelerante de fraguado se incorpora en el mismo punto. Cada una de estas tolvas es capaz de alimentar dos lanzadoras de concreto.

La unidad de fuerza es, en la mayor parte de los casos, un motor reductor eléctrico. En algunos casos se usan motores neumáticos. La lanzadora de concreto consiste en un revolver con cilindros en los que penetra la mezcla seca para ser impulsada después, por medio de aire comprimido a lo largo de un conducto hasta el sitio de aplicación. En la boquilla de salida, se le incorpora el agua para convertirla en mezcla húmeda.

El acelerante utilizado tiene una presentación en polvo y para la incorporación se han diseñado y se están instalando dosificadores cuya fuerza motriz será dada por el mismo motor que excita los gusanos transportadores.

Datos más importantes de una lanzadora de concreto marca aliva modelo 250:

a) Capacidad de lanzado 4 a 5 m<sup>3</sup>/h.

- b) Tamaño de agregados 25 mm.
- c) Alcance máximo horizontal 300 m.
- d) Alcance máximo vertical 100 m.
- e) Dimensiones; Longitud 1400 mm, ancho 800 mm, altura 1500 mm., peso 600 kgs.
- f) Motor eléctrico, potencia 4.4 kv. a 1,440 R. P.M.

#### IV.4.- Equipo de rezaga y extracción. (Fig. 6)

Como ya se dijo anteriormente, el equipo típico de carga es el cargador sobre orugas. Dependiendo de la zona se han utilizado, para el transporte, camiones volteo, como en el caso de la zona sur de la línea 3 Sur II, en donde estos vehículos salían directamente a superficie por el portal y la rampa. También se utilizan, y es el caso más general, camiones plataforma cargando 2 botes con capacidad individual de  $3 \text{ m}^3$ , aproximadamente.

Estos camiones se trasladan al punto de extracción, que también en el caso más general es una lumbrera y, por ella, se izan los botes para descargarse a camiones volteo que llevan el producto de la excavación a los tiraderos.

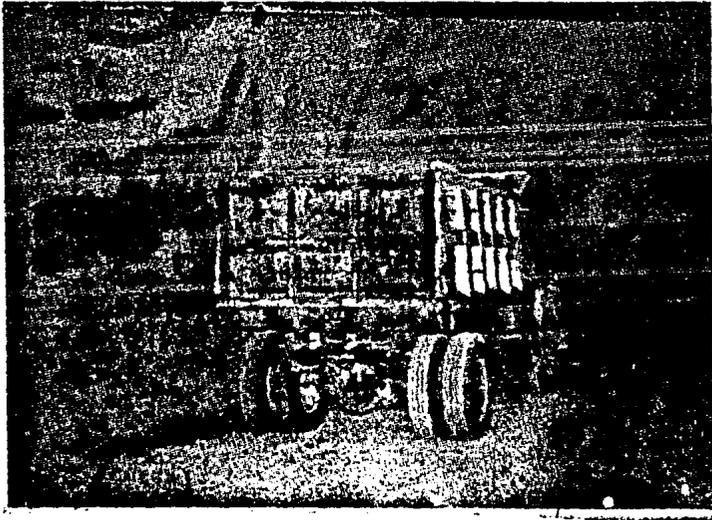
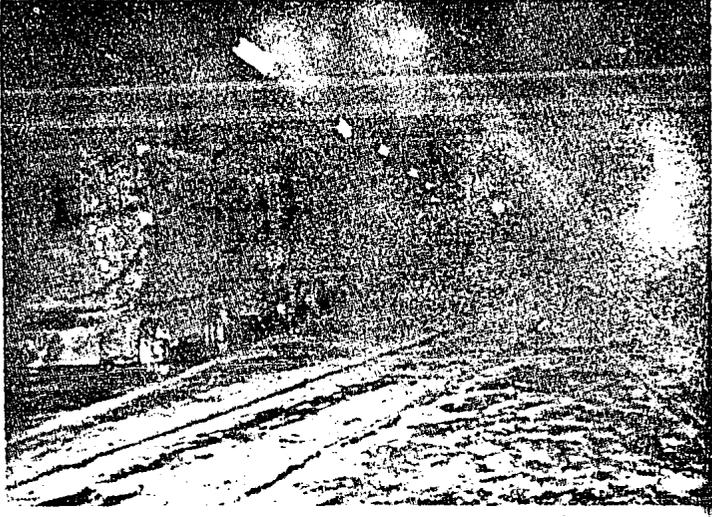


FIGURA 6. EQUIPO DE REZAGA

En el caso de la excavación con escudo ha resultado mas conveniente, por razones de geometría, el empleo del sistema de vfas. En este caso, las vagonetas son llenadas también con un cargador sobre orugas y llevadas a la zona de extracción, donde son izadas y descargadas en camiones de volteo.

En aquellas lumbreras donde se cuenta con una excavación adicional por debajo del nivel del piso del tunel, se instalaron tolvas almacenadoras con compuerta para llenar botes. En estos casos el transporte del material por el túnel tambien se hizo en camiones de volteo y la extracción por medio de torres de manteo y malacates. (Fig. 7)

Este último sistema, el de malacates y torre de manteo, se ha utilizado no sólo en el caso en que se cuente con tolvas de almacenamiento en el fondo de la lumbrera.

También en donde no las hay se ha podido implementar mediante el uso de guías de cable y un balancín para impedir el giro del bote. El otro equipo generalmente utilizado para la extracción de los botes es la draga.

Las dragas ofrecen una mayor versatilidad que la torre de manteo ya que en caso de necesidad puede ser utilizada como grúa para introducción y extracción de equipos y materiales. Esto último lleva implícito, como factor negativo un mayor costo.

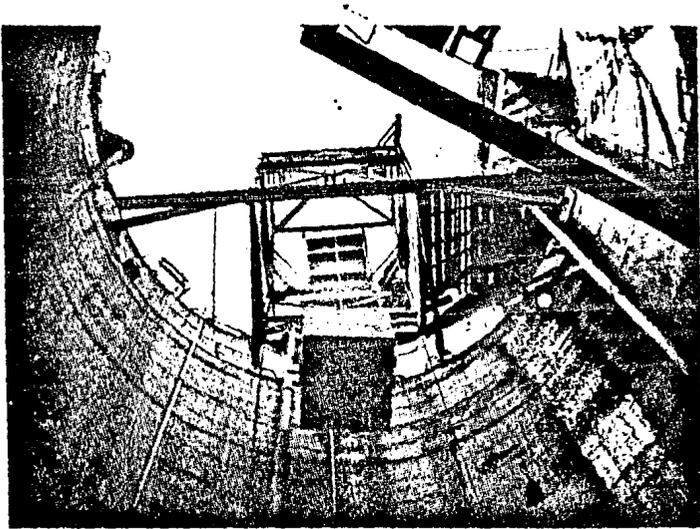
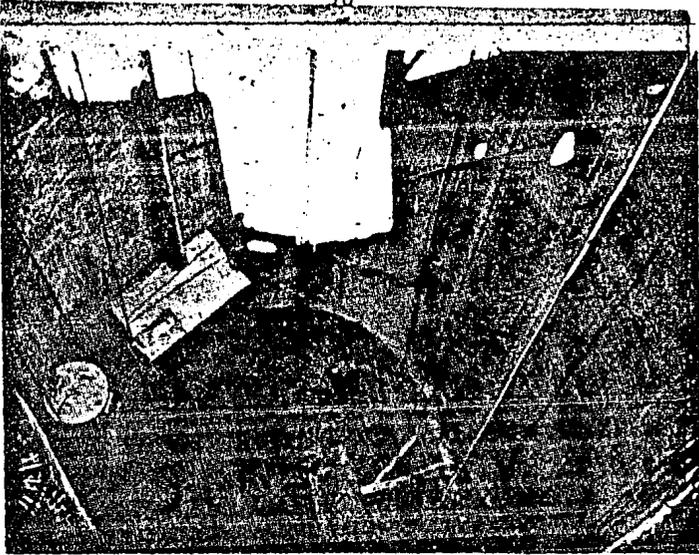


FIGURA 7. LUMBRERA Y TORRE DE MANTEO

#### IV.5.- Equipo Común.

Lo que aquí se está identificando como equipo común se refiere a los compresores. (Fig. 8)

El aire comprimido se utiliza tanto para la excavación como para la colocación del concreto lanzado. En realidad su versatilidad alcanza todas las actividades, desde soplear un piso para eliminar el polvo hasta servir como fuente de energía de máquinas.

Hechos los estudios de las necesidades de aire comprimido en cada lumbrera, se han instalado compresores estacionarios eléctricos para el suministro en caudal y presión suficiente, adicionalmente se ha contado, como práctica general, con compresores portátiles, con motor de combustión, para suplir cualquiera de aquellos que requiera una reparación.

Para seleccionar un compresor adecuado para una situación particular de construcción, se necesita determinar lo siguiente:

1.- Las herramientas y demás equipos que han de ser accionados por el aire comprimido entregado por el compresor.

2.- Necesidades totales de aire, en  $m^3/mim.$ , P.C.M. que demandarán los equipos a utilizar.

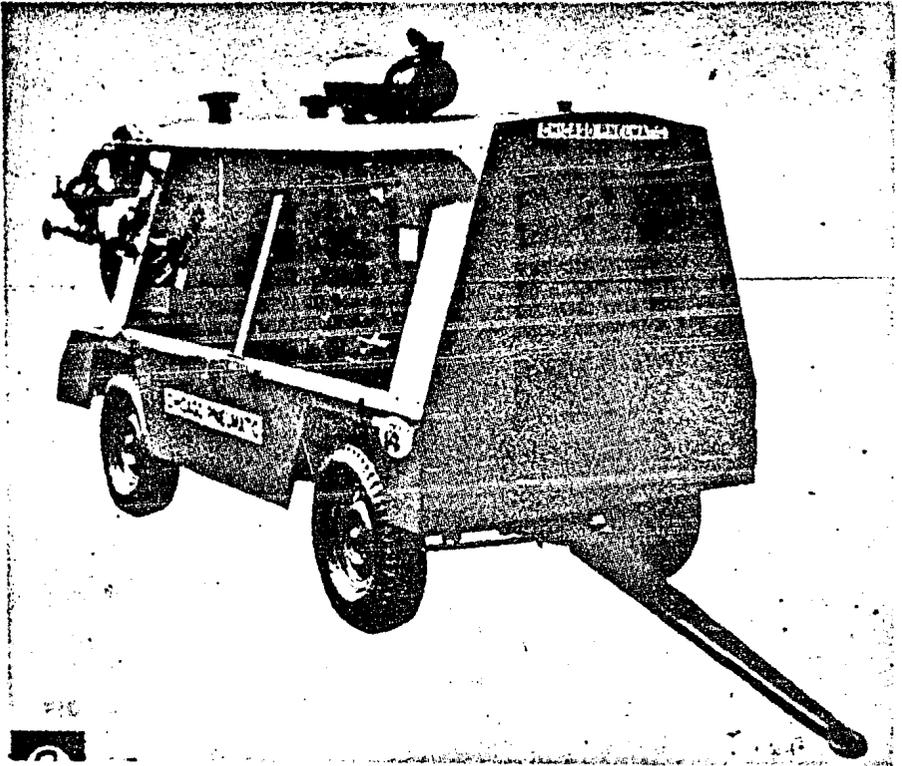


FIGURA 8. COMPRESOR

3.- Necesidades de presión, en  $\text{kg/cm}^2$ , para cada equipo neumático que ha de utilizar el aire comprimido.

4.- Sistema de tuberías y mangueras, incluyendo las longitudes de las tuberías de conducción, procedentes del compresor y situadas estratégicamente para alimentar a los distintos equipos.

5.- La presión de aire deseada en el recipiente del compresor para proporcionar la presión requerida en el equipo que la rige y compensar las pérdidas de presión entre ellos.

6.- La cantidad de presión admisible del compresor, para generar la presión deseada en el recipiente.

7.- El tamaño teórico del compresor para generar la capacidad de aire y la presión tomando en cuenta la diversidad de los equipos de aprovechamiento que han de alimentarse.

8.- El compresor económico, comercialmente disponible, que satisface o sobrepasa ligeramente las necesidades del compresor de tamaño ideal.

El aire comprimido se transmite en movimiento lineal simple, mediante diversos mecanismos, el movimiento se controla simplemente con válvulas y canales de dirección. La fuerza impulsora que produce el movimiento, se genera mediante un diafragma, un embolo o un impulsor giratorio alojados en el

interior del compresor.

#### Tipos de compresores de Aire.

Los compresores de aire usados en la construcción son de dos categorías: los de desplazamiento positivo y los de tipo dinámico. El compresor de desplazamiento positivo es semejante a la bomba de bicicleta, en cuanto a que en el se confinan sucesivamente volúmenes de aire en un cilindro de espacio cerrado, y se comprimen a una presión más alta antes de descargarlos. Estos compresores, que son los de uso más común en la construcción, son: 1) Del tipo recíprocante ó 2) Del tipo rotatorio, como se explica más adelante.

El compresor de tipo dinámico es aquel en el que la acción dinámica (de alta velocidad) de las aspas o impulsores rotatorios, imparte velocidad y presión al aire contenido en un espacio confinado. Estos compresores dinámicos son del tipo combinado de flujo mixto, y son aplicables principalmente en los campos del petróleo, de los productos químicos y del procesamiento de materiales.

- Compresores de aire recíprocantes. En el compresor de aire recíprocante, la compresión de aire se produce por el movimiento recíprocante, hacia adelante y hacia atrás, del embolo o pistón del compresor, accionado mediante un cigueñal

y una biela desde el eje motor del motor de combustión interna.

El control del ciclo de compresión se efectúa mediante simples válvulas "check" que permiten el paso del aire en una sola dirección. El movimiento del embolo en alejamiento del extremo del cilindro, en el que se encuentra la válvula, permite que se abra una válvula de succión y que pase aire a llenar el cilindro. Después, el movimiento hacia el extremo de la válvula, abre la válvula de descarga cuando la presión es suficientemente grande para descargar el aire del cilindro para utilización y almacenaje.

Los modelos de compresores reciprocantes usados en la construcción son, generalmente, compresores de aire portátiles. Un compresor portátil es una planta integral para producir aire comprimido, que tiene un motor de combustión interna, un compresor, un recipiente y asimismo, mecanismos para arranque, enfriamiento, lubricación y autoregulación. Los motores para los compresores portátiles hasta de  $8.5 \text{ m}^3/\text{min}$ . de capacidad, son de gasolina o diesel, mientras que los de los compresores mayores son por lo general de diesel.

- **Compresores Rotatorios:** El compresor rotatorio es un tipo de compresor de desplazamiento positivo, que tiene cierta semejanza con el compresor reciprocante rotatorio fun-

ciona con un impulsor rotatorio que fuerza el paso del aire a través de una cámara curvada de confinamiento para comprimirlo a una presión mayor. Sirve para accionar la misma variedad de accesorios, y en consecuencia, tiene esencialmente los mismos usos de construcción que el compresor reciprocante. Sin embargo, el compresor rotatorio trabaja a mayor velocidad (r.p.m.) y requiere más potencia para una entrega dada de metros cúbicos por minuto.

El compresor rotatorio genera el aire comprimido mediante varios tipos generales de mecanismos.

El primero que se desarrolló para superar al compresor reciprocante, fué el mecanismo de compresión de espas deslizantes. Este mecanismo comprime el aire hasta alrededor de  $3.5 \text{ kg/cm}^2$  en la primera etapa, y a  $8.75 \text{ kg/cm}^2$  en dos etapas, lo cual no era nuevo. Para este tipo de compresor rotatorio se acciona con motores que desarrollan hasta 700 h.p., lo cual permite lograr la generación de volúmenes de aire mucho mayores que los compresores reciprocantes portátiles. Sin embargo, la eficiencia del compresor de espas deslizantes es menor.

Una de las innovaciones más importantes, y de gran aceptación para compresores portátiles de tipo rotatorio, es el del mecanismo de tornillos giratorios. El centro de este mecanismo

consiste en dos rotores helicoidales encajados, que giran en direcciones contrarias dentro de una cámara de compresión.

MAQUINARIA UTILIZADA EN LA  
EXCAVACION EN CAJON

CAPITULO V.

Para la descripción de la maquinaria utilizada se hará un resumen del proceso constructivo mencionando la maquinaria usada en cada caso.

Muros Tablestaca: Estos muros necesitan una gufa para ser construidos, esto se logra mediante la construcción de brocales que son elementos que no forman parte de la estructura definitiva, cuya función principal es, servir de guía a las almejas hidráulicas para la excavación de zanjas donde se alojan los muros tablaestaca de concreto. (Muro Milán).

Están formados por dos escuadras de concreto reforzado de 0.15 m de espesor variando de 1.50 a 2.50 m en el ala vertical dependiendo de la profundidad a la que quedará el nivel superior de la tablaestaca y con una separación aproximada entre las alas opuestas verticales de 0.66 m.

Para la construcción de los brocales, es necesario excavar previamente a mano con la finalidad de detectar instalaciones municipales, posteriormente se realiza el armado, cimbrado y colado por los procedimientos comunes.

Para efectuar la excavación del muro milán es utilizada una draga montada sobre orugas ya sea Link Belt 118 ó 108 a la cual se le adapta un equipo guiado para excavación vertical pudiendo ser mecánico como el Williams o Polenski, o hidráulicos como el Soilmec o Casa Grande.

Se excava el tablero que generalmente mide 6 m., de longitud y 0.60 m de ancho y hasta la profundidad proyectada, simultáneamente a la excavación es llenada la zanja con un lodo estabilizador para evitar que se desprendan capas de suelo de la propia excavación lo que genera defectos de colado. Este lodo es preparado en las plantas de bentonita y suministrado desde la planta o utilizando camiones pipa para su acarreo. La rezaga es depositada en camiones de volteo que la llevan a la zona de tiro.

Al finalizar la excavación del tablero, con una grúa montada sobre neumáticos (autogrúa o pato) o con una draga LS 68 se transportan las juntas de colado, metálicas de sección trapecial (llave de cortante) las cuales a través de una ranura longitudinal sostienen una banda de P.V.C. que queda ahogada por mitad en el concreto al realizarse el colado. La otra mitad de la banda queda libre para ahogarse posteriormente en el muro contiguo, después de esta operación, con la misma máquina se transporta y coloca entre las juntas el armado de acero o "parrilla", que ha sido previamente armada en los patios de habilitado.

Para el colado se transportan dos tuberías de acero de 10 pulgadas de diámetro y se introducen en espacios previs-

tos dentro de la parrilla y rematadas en su extremo superior con tolvas que reciben el concreto de los camiones mezcladores; durante el proceso estas tuberías son constantemente sacudidas utilizando tripies y malacates con el objeto de evitar taponamientos y de lograr un mejor acomodo del concreto. A medida que se va colocando el concreto, el lodo bentonítico es desplazado de la zanja y colocado en un tablero vecino o retirado a camiones pipa con las bombas de lodos.

El tiempo máximo que transcurre entre el momento de introducción de la parrilla y el colado es de 4 horas. Períodos mayores favorecen la formación de costras reduciendo la adherencia acero concreto.

Una vez terminado el colado y cuando el concreto haya terminado su fraguado inicial se retiran las juntas por medio de autogrúa procurando evitar la rotura de las bandas de P.V. C. Se limpian estas y se engrasan para el siguiente colado.

Excavación del Núcleo: Ya que se tiene un determinado avance con los muros milán se extrae el agua del sub-suelo mediante el bombeo a base de electrosmosis que es la inducción del agua a pozos excavados previamente, interconectando a un sistema general de bombeo de tipo eléctrico, o bien se usa el sistema de bombeo por gravedad.

Después de una primera etapa de excavación superficial, con una draga LS-98 montada sobre carriles y bote de arrastre, o una retroexcavadora también montada sobre bandas, se coloca por medio de una autogrúa (pato) el primer nivel de puntales con una separación de 5.0 m o sea quedando a cada lado de la junta de construcción de los muros. El diámetro de estos troqueles es de 12" y para su colocación se les aplica una precarga de 30 ton., mediante el empleo de un gato hidráulico. La 2a. etapa consiste en excavar con una draga LS-98 ó LS-108 ó similar equipada con almeja, hasta 5 m de profundidad e instalar el 2° nivel de apuntalamiento.

El 3er nivel de puntales se realiza al haber completado la excavación hasta el nivel de la plantilla, (en caso de profundidades mayores de 9.00 , se establecen niveles adicionales de troquelamientos). Los taludes del corte deberán ser estables, respetando las indicaciones del proyecto. Todo el producto de excavación mediante camiones de volteo son llevados al tiradero.

Losa de fondo: Inmediatamente al llegar al fondo de la excavación, es necesario colar una plantilla de concreto pobre y sobre esta previo armando, se cuela la losa que se realiza por medio de "trompas de elefante" (conos de láminas conectados entre sí para evitar la disgregación del concreto) y por

medio de canalones y bandas transportadoras.

Una vez fraguado el concreto de la losa inferior, por medio de una autogrúa es retirado el último nivel de puntales. En el caso del cajón del tipo pesado son armados, cimbrados y colados los muros de acompañamiento.

El cajón se cierra mediante una combinación de elementos prefabricados, colocados mediante autogrúas de 22 ton., de capacidad y losas coladas en sitio. Terminada la construcción del cajón y alcanzada la resistencia del proyecto en los concretos de la losa de techo, se efectúan los rellenos, generalmente con tepetate que ha sido transportado del banco; se humedece a la humedad óptima y se extiende en capas mediante el empleo de motoconformadoras y es compactado con aplanadoras o rodillos al porcentaje de su peso volumétrico que marque la especificación hasta llegar a la capa subrasante. Después de esta etapa son colocados los materiales de sub-base y base a los que también se les incorpora agua mediante un camión pipa y tendidos armados y compactados con motoconformadora y rodillos vibratorios del tipo Vap o Muller.

En el caso de pavimentación, es utilizada una petro-lizadora para efectuar los riegos de impregnación y liga, al tendido de las carpetas de concreto asfáltico se efectúa con -

pavimentadora Barber grande o similar, la compactación se realiza con aplanadora de rodillos, tandem y duopactor o cajón neumático.

Resumiendo

Equipo

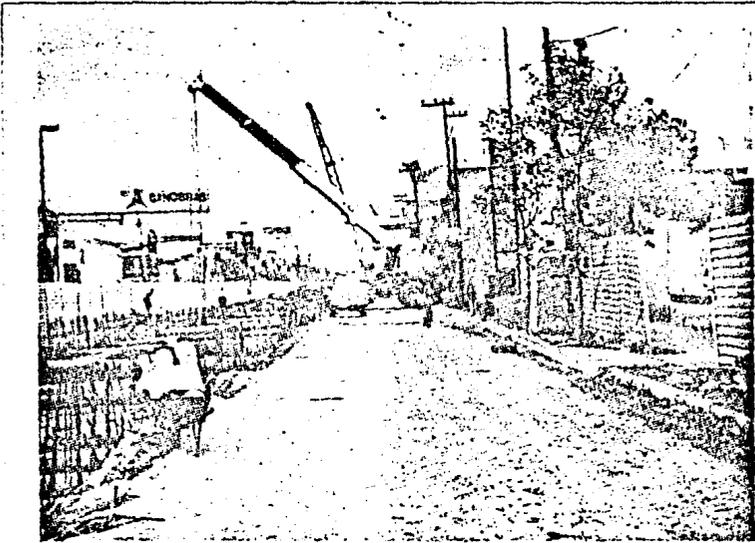
Brocales	1 Compresor de 325 PCM 4 Rompedoras neumáticas 1 Cargador frontal o retroexcavadora.
Muro Tablestaca	1 Draga sobre orugas de $1\frac{1}{2}$ Yd <sup>3</sup> 1 Equipo hidráulico guiado 1 Grúa hidráulica de 22 ton. 4 Bombas para lodos 4" 2 Malacates para tambor. 1 Planta de Bentonita con capacidad de 80 m <sup>3</sup> /24 horas.
Tramos y Estaciones	1 Compresor 600 P.C.M. 8 Rompedoras neumáticas. 1 Grúa hidráulica de 22 ton. 2 Dragas sobre orugas de $1\frac{1}{2}$ Yd <sup>3</sup> .

### V.1.- Grúas. (Fig. 1)

La grúa móvil es un equipo básico y versátil del grupo de las palas mecánicas y demás excavadoras. Las unidades montadas en orugas tienen las mismas partes básicas y el mismo mecanismo. La plataforma de la superestructura, el mecanismo de potencia y el bastidor de forma de "A" son muy semejantes, sea que se trate de una grúa, de una pala o de alguna otra excavadora. Estas partes fundamentales tienen su soporte y giran sobre la base del montaje de la unidad.

La excavadora del tipo de grúa tiene una pluma sostenida al frente de la plataforma de la superestructura. La pluma puede consistir en una estructura metálica reticulada, del tipo de torre, con líneas de cable para controlar sus movimientos, puede ser también del tipo telescópico y de controles hidráulicos. La unidad de potencia, como unidad motriz que sirve para accionar los controles de la grúa, igual que sucede para una pala, puede ser un motor diesel, un motor de gasolina o uno eléctrico. Para los controles hidráulicos puede tenerse un motor separado del de la unidad motriz primaria de la grúa.

Su función principal es levantar, girar y bajar cargas sostenidas por cables de movimiento. Sirve de base común a las excavadoras, como la draga de arrastre, la de



**FIGURA I. GRUA HIDRAULICA CON PLUMA TELESCOPICA**

cucharón de almejas y las unidades de cucharón de gajos. La grúa es también la unidad básica para los equipos destinados al hincado de pilotes y a la perforación de hoquedades para columnas de cimentación de gran tamaño. Se debe tener en combinación con la capacidad fundamental de la grúa para elevar y manejar cargas, la necesaria estabilidad en su base y en todo el equipo, para evitar su volteo.

- Descripción: La parte distintiva de la grúa móvil es la pluma, que puede ser una estructura reticulada abierta o una estructura cerrada telescópica. En cualquier de los dos casos, la pluma está articulada en la base, en su punto de soporte, y puede pivotar en su plano vertical. Para mover una carga lateralmente, la pluma gira con toda la superestructura en un plano horizontal,

La unidad controlada por cables tiene 2 tambores en el conjunto de potencia de la superestructura. Estos corresponden a los tambores del malacate principal y del malacate secundario. En el caso de la grúa, alojan respectivamente, al cable principal de elevación y al de la pluma de extensión o jiba si la tienen. Un tercer tambor sirve para los controles de movimiento de la pluma. Para cada tamaño de la grúa hay una longitud básica de la pluma. Para lograr mayor alcance-horizontalemente, verticalmente, o en ambos sentidos -

puede adquirirse plumas más largas o secciones adicionales de pluma, o bien, puede agregarse un pluma de extensión o jiba que pivotea en un plano vertical sobre el extremo superior de la pluma. La jiba es una sección más pequeña de pluma, sujeta en tal forma que puede ponerse en una posición más horizontal que la pluma principal. Cualquier medio que alargue el alcance de la pluma, reducirá la capacidad de elevación de pesos de una grúa dada.

Para aumentar un poco el alcance y mantener aún la capacidad de elevación, puede agregarse contrapeso adicional a la parte trasera de la superestructura. Esta manera de aumentar la capacidad de la grúa se ve limitada por la capacidad de carga de la estructura de la pluma y la estabilidad de todo el equipo. Una grúa se diseña cuidando el equilibrio de sus partes.

Por lo tanto si en un momento dado se requieren mayores alcances o capacidad de carga para más de una ocasión aislada, el encargado de planeación debe recurrir a una grúa más grande.

La pluma telescópica hidráulica puede cambiar su longitud con facilidad con el equipo básico.

La pluma está formada por varias secciones concéntricas que pueden ser rectangulares, triangulares, o tubulares redondas, que tienen una acción telescópica hacia arriba y hacia fuera, quedando la sección más grande en el punto de soporte de la base. Un conjunto de cilindros y pistones, accionados hidraúlicamente, rigen la acción telescópica. Estas grúas controladas hidraúlicamente tienen también una pluma articulada que les dá el mismo tipo de beneficio de alcance horizontal que da la jiba a una pluma reticulada. Como en el caso de las plumas reticuladas o de celosía, la mayor extensión de la pluma telescópica a un ángulo dado, reduce la capacidad de carga de la grúa.

Estas grúas son utilizadas ampliamente en las obras del metro por su rapidez y capacidad de carga, siendo las más usuales las grúas hidraúlicas autopropulsadas con capacidades de carga de 12 y 22 tons.

A continuación se describen las más usadas:

- Grúa Hidráulica Autopropulsada marca Grove RT-58 con motor diesel de 4 cilindros marca General Motors, modelo 453 N de 112 H.P. a 2800 R.P.M., con capacidad máxima de 12, 700 kg., con la pluma retraída.

La longitud de la pluma telescópica extendida es de

18.29 m. El peso total de la máquina es de 18,100 kg y tiene una velocidad máxima de desplazamiento de 43.40 km/hr.

- Grúa Hidráulica Autopropulsada marca Grove, modelo TR-522 con motor diesel de 4 cilindros marca General Motors, modelo 453 N con potencia de 115 H.P. a 2,800 R.P.M., con pluma telescópica extendida, se obtiene una longitud de 21.2 m. La capacidad máxima con la pluma completamente retractada es de 20,000 kg., peso total de la máquina es de 22,370 kg y velocidad máxima de 23.30 km/hr.

- Grúa Hidráulica autopropulsada marca Pettibone, modelo 30 MK equipada con motor diesel de 4 cilindros marca General Motors, 453 N con potencia de 120 H.P. a 2,400 R.P.M., capacidad máxima de carga: 13,950 kg. La longitud de la pluma telescópica es de 26.83 m. El peso total de la máquina es de 17,400 kg., con una velocidad máxima de 43.1 km/hr.

- Grúa Hidráulica autopropulsada Pettibone modelo - 36 MK con motor diesel de 4 cilindros marca General Motors, modelo 453 de 120 H.P. a 2,400 R.P.M. La capacidad de carga es de 16,300 kg., con la pluma retractada, la longitud máxima de la pluma telescópica extendida es de 26.82 m peso total de la máquina 39,200 kg., velocidad máxima de traslación: 43.1 km/h.

Grúa hidráulica autopropulsada marca Link Belt, modelo HSP-25, equipada con motor diesel 4 cilindros marca G.M.C., 453 N de 136 H.P. a 2,800 R.P.M., con capacidad máxima de carga de 22,680 kg. longitud de la pluma extendida: 21.34 m., peso total de la máquina: 21,901 kg.

- Grúa Hidráulica autopropulsada marca Link Belt modelo HSP 8020 con motor diesel de 4 cilindros, marca GM. modelo 453 N de 136 H.P., a 2,800 R.P.M. La capacidad de carga de esta máquina es de 18,140 kg. La pluma telescópica extendida alcanza un máximo de 27.74 m de longitud siendo el peso total de la máquina de 21,628 kg.

## V.2.- Dragas (Fig. 2)

Equipo que se denomina de uso múltiple, montada sobre camión y neumáticos o sobre orugas como a continuación se describe: Se emplean en la construcción del metro para la excavación del núcleo, muros tablestacas, montaje de troqueles e izaje de parrillas principalmente.

Datos técnicos.

	LS-68	LS-98	LS-108
Peso	17,672 kg	27,742 kg	38,388 kg
Extensión			

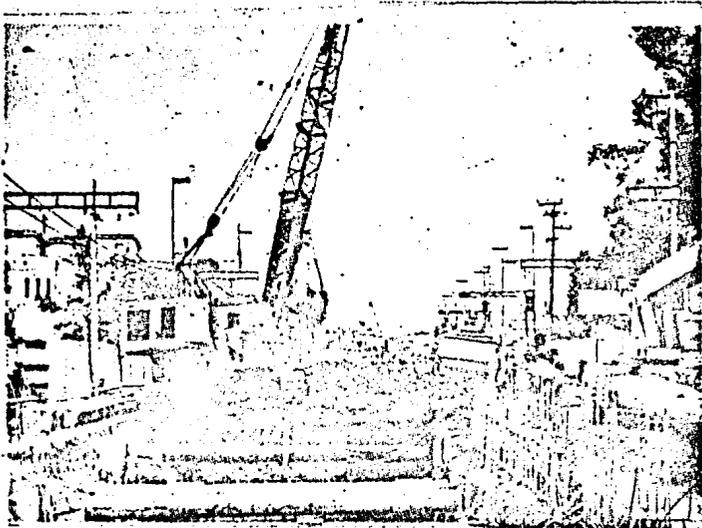


FIGURA 2. DRAGA EXCAVANDO NUCLEO CENTRAL

	LS-68	LS-98	LS-108
Máxima	40'12 m	60'18 m	60'18 m
Pluma	(3 secciones)	(3 secciones)	(3 secciones)
Capacidad carga	15 ton	27 ton	45 ton
Motor	Diesel	Diesel	Diesel

Las dragas LS-68 son utilizadas principalmente como grúas de excavación con almeja en tramos cortos.

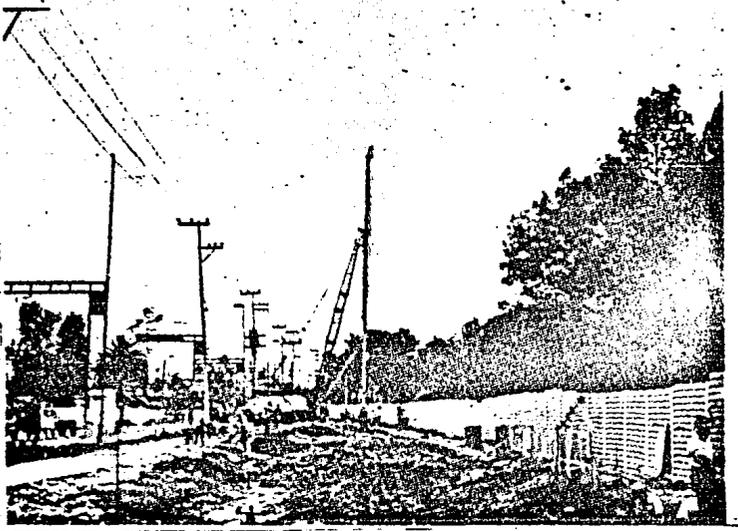
Las dragas LS-98 se emplean en excavación ya sea con bote de arrastre o con almeja de  $1\frac{1}{2}$  Yd<sup>3</sup>.

A las dragas LS-108 les son acoplados los equipos - guiados para muro milán, además de la almeja de  $1\frac{1}{2}$  Yd<sup>3</sup>, ó del bote de arrastre.

#### Equipos Guiados. (Fig. 3)

- Equipo Hidráulico BSP equipado con motor Perkins de 4 cilindros modelo M4236 de 78 H.P. a 2,100 R.P.M., para una - profundidad máxima de excavación de 25 mts., con mordazas de 24 ft<sup>3</sup> (700 lts.) de capacidad; el área de excavación es de - 1,880 mm x 610 mm y el peso de las mordazas es de 1,900 kgs.

- Equipo Hidráulico BHP Soil-Mec 600-1000 equipado - con motor de 4 cilindros marca General Motors, modelo 453 N



**FIGURA 3. EQUIPO HIDRAULICO GUIADO PARA  
EXCAVACION DE MURO MILAN**

de 110 H.P. a 2,200 R.P.M., la profundidad máxima de excavación de este equipo es de 25 mts., con unas mordazas de área de excavación 2,500 mm x 600 mm., capacidad de 24 ft<sup>3</sup> y 1,950 kg de peso.

- Equipo Hidráulico Casa Grande, modelo Kt-30 con - profundidad máxima de excavación de 30 mts., equipado con motor marca Deutz modelo 912 de 4 cilindros y mordazas con área de excavación de 2,200 mm x 600 mm., con capacidad de 600 litros y peso de 2,000 kg.

### V.3.- Retroexcavadoras. (Fig. 4')

Introducción: Las retroexcavadoras son equipos que se utilizan en una amplia variedad de trabajos de excavación, donde el material a excavar se encuentra bajo el nivel del piso (generalmente) en el que se apoya la máquina.

Este tipo de excavadoras existe desde hace mucho tiempo (más de 40 años), y se desarrolló a partir de un diseño básico de orugas y operadas con motor de gasolina o diesel. Originalmente aparecieron en el mercado de maquinaria de construcción operadas por cable y con capacidades de 3/8 a 3/4 Yd<sup>3</sup>. - Posteriormente, con el desarrollo del equipo de construcción fueron perdiendo aplicaciones al haber sido desplazadas por

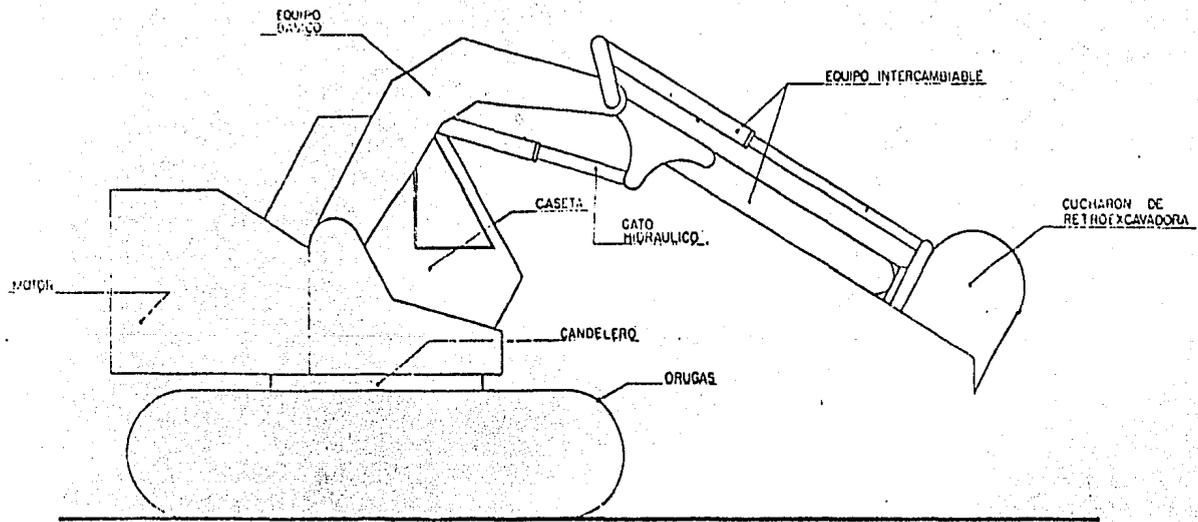


FIGURA 4' RETROEXCAVADORA

equipo operado hidráulicamente.

Recientemente resurgieron con un nuevo diseño, completamente hidráulico y con un mayor poder de excavación dando por resultado una mayor productividad en los trabajos a desarrollar. Las retroexcavadoras hidráulicas pequeñas, de  $3/8$  y  $5/8$  Yd<sup>3</sup> de capacidad, además de trabajar en alcantarillas y líneas de agua como sus antecesoras operadas con cable, hacen obras de excavación para cimentaciones y urbanizaciones.

Las retroexcavadoras más grandes de  $2\frac{1}{2}$  a 3 Yd<sup>3</sup> de capacidad, gracias a su alcance, profundidad y productividad se han abierto paso a nuevas aplicaciones en excavaciones en general, trabajos de cantera y manejo de materiales y han desplazado, en algunos casos, a los cargadores sobre llantas, palas y dragas, que efectuaban esos trabajos.

#### Zona de trabajo.

Una retroexcavadora tiene un rango de acción bastante amplio en el cual se puede mover económica y eficientemente; obtener su carga correctamente, colocar el cucharón para descargar y finalmente, hacer la descarga.

Zona aproximada de trabajo de una retroexcavadora hidráulica (capacidad de 1 a 3 Yd<sup>3</sup>).

- Alcance 10 a 15 m

- Profundidad                    6 a 10 m
- Altura de carga                4 a 7 m

La zona de trabajo se divide en dos áreas:

1.- Area de Excavación.

El área de excavación (generalmente) esta bajo el pi-  
so en el que se apoya la máquina. Esta limitada por el alcan-  
ce de la pluma, brazo de excavación y cucharón. Estas piezas  
también limitan la máxima profundidad a la cual la máquina pue-  
de excavar.

2.- Area de vaciado.

Esta área está sobre el piso y su alcance está defi-  
nido por la distancia a la que la retroexcavadora puede vaciar  
su cucharón fuera del área que está excavando, alrededor de si  
misma, sin moverse del lugar.

El límite económico de la zona de trabajo se estable-  
ce mediante la comparación de algunas alternativas, o con al-  
gunas otras máquinas que hagan el mismo trabajo, por ejemplo,  
una retroexcavadora tiene características favorables para ex-  
cavar una zanja, pero su área de vaciado está limitada, puede  
moverse utilizando sus medios de tracción y aumentar así su  
alcance de descarga, dentro de ciertos límites; pero esto re-  
duce su productividad.

### Características de operación:

#### Movilidad.

Depende del tipo de tracción que posea, puede ser montada sobre orugas o montadas sobre llantas.

Las retroexcavadoras más comunes son las montadas sobre orugas. Por lo general, las retroexcavadoras montadas sobre neumáticos, por su mayor movilidad, tienen un uso adecuado para excavaciones de alcantarillas y obras auxiliares en caminos y obras de urbanización.

Se utilizan donde es posible mover grandes volúmenes sin necesidad de desplazamientos grandes.

Las demás características de operación y diseño son:

- a) Alcance
- b) Profundidad de excavación
- c) Area de excavación
- d) Altura de descarga
- e) Giro
- f) Capacidad de cucharón.

Selección del cucharón apropiado.

Existe un amplio diseño de cucharones cuya selección se hace de acuerdo a:

- Tamaño de la retroexcavadora
- Tipo y peso del material que va a ser excavado
- Profundidad y ancho de la zanja que se requiera hacer.

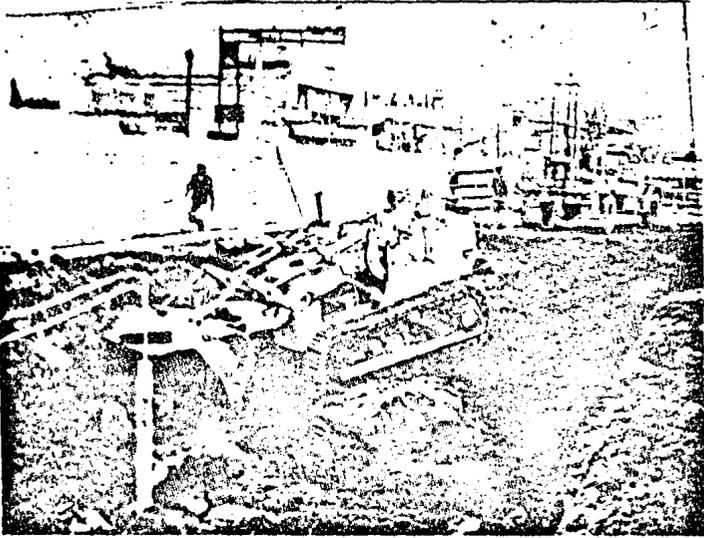
También existen equipos opcionales (cuchillas y dientes) según las necesidades del constructor, así como distintos tipos de cucharones, además de los comunmente empleados.

Las retroexcavadoras más usadas en las obras del metro son la Poclain LC-80 ó similar, están montadas sobre carriles y equipadas con cucharones de  $1\frac{1}{2} Y^3$ , teniendo una capacidad de carga de 5,300 kg su peso es de 15,200 kg.

#### V4.- Cargadores.

- Origen de los cargadores.

La evolución de tractores potentes para el movimiento de tierras y el manejo de otros materiales pesados se ha producido con tal rapidez que es imposible generalizar acerca de las mejoras adicionales que aún puedan conseguirse en este tipo de máquinas. En pocos años transcurridos, el desarrollo de nuevos tipos de neumáticos, grupos motopropulsores, convertidores de par, transmisiones automáticas, reducciones por planetarios en las ruedas, materiales estructurales y diseño



**FIGURA 4. CARGADOR SOBRE ORUGAS**

general del tractor han hecho una realidad tanto de los tractores de ruedas como de orugas que son en la actualidad adecuados virtualmente para todo tipo de trabajo intensivo realizable con tractor.

Originalmente los tractores cargadores solo tenían movimiento de giro del bote y vertical a lo largo de un marco que le servía de gufa al bote, que se colocaba en la parte de lantera del tractor. Cuando el bote estaba a nivel del piso, el tractor avanzaba hacia adelante y el bote se introducía en el material para cargar, después se subía el bote a base de cables y poleas accionadas por una toma de fuerza del motor del tractor, y con el bote en esta posición, el tractor se movía hasta colocarse con el bote en la parte superior del vehículo, que se deseaba cargar y se dejaba que el bote girara por el peso del material, y del bote mismo, aflojando uno de los cables de control. De este tipo de equipo quedan muy pocos trabajando, pero fueron el origen de los actuales.

Los tractores cargadores de hoy en día nacieron principalmente de las necesidades económicas de la vida. El constructor de carreteras, por ejemplo se enfrentó con el uso de maquinaria que no se adaptaba al ritmo de aumento de costo de los trabajos. Acudió pues, a los fabricantes de maquinaria para la construcción, la necesidad inmediata era conseguir una

máquina que excavara y cargara, es decir, un tractor cargador que proporcionase:

- a) Mayor producción
- b) Menor costo de funcionamiento
- c) Mayor movilidad
- d) Más facilidad de servicio.

Para esto fué necesario desarrollar motores más potentes, mejores transmisiones, componentes hidráulicos más eficaces, en el caso de cargadores con llantas estas deberían de ser más grandes y con base más ancha, diseñadas para suministrar la tracción y equilibrio necesario.

Todo el concepto de mover una amplia variedad de materiales, en mayores cantidades, a menor costo gracias a la velocidad, potencia y movilidad, operando eficazmente, y con una sola máquina, paso de ser un proyecto para convertirse en un hecho tan pronto como los ingenieros desarrollaron los nuevos componentes.

El campo de aplicación de los tractores sobre ruedas se ha popularizado al resolverse paulatinamente el problema - histórico de obtener en la barra de arrastre la potencia adecuada en las más variadas condiciones, problema que ha señalado durante mucho tiempo la división entre tractores de oruga

y sobre neumáticos.

En el año de 1954, Clark Equipment Company, lanzó al mercado su primer tractor Michigan con tracción en las cuatro ruedas, convertidor de par, transmisión automática y reducciones planetarias en las ruedas, bajo la denominación de cargador modelo 75-A, el papel del tractor de ruedas en las tareas de movimiento de tierras y manejos de otros materiales pesados, se hallaba estrechamente limitado.

Al principio, en la línea de tractores cargadores, resultaba evidente que el eslabón más débil era los organismos de transmisión de la fuerza motriz desde el motor hasta las ruedas. De hecho, para fabricar una línea de tractores cargadores que pudiese resistir las cargas de una ardúa excavación y al mismo tiempo proporcionar otras características deseables, se hizo preciso proyectar piezas diseñadas exclusivamente para este tipo de máquinas.

El convertidor de par reemplazó al embrague convencional. Para excavar y cargar materiales compactos el convertidor suministra un par de torsión que varía en forma continua. A diferencia del embrague de fricción corriente, el convertidor de par tiene la capacidad de multiplicar la torsión. El par de torsión suministrado se adapta automáticamente a la

demanda de carga. Para aprovechar plenamente la potencia que se desarrolla mediante el conjunto moto convertidor de par, se instaló un cambio automático de 4 velocidades. Todos los ejes se montaron sobre rodamientos de bola y rodillos, de larga duración y funcionamiento suave. Los engranajes de toda la gama de velocidades hacia adelante y hacia atrás engranan en forma constante. Los embragues hidráulicos de acción rápida que controlan el par suministrado al árbol principal de transmisión se accionan con facilidad y precisión mediante la palanca de control situadas en la columna de dirección.

Los ejes motores, tanto el de dirección como el de carga y sus carcasas tuvieron que fabricarse con aceros de la más alta resistencia, para que pudieran soportar las durísimas condiciones de trabajo inherentes a la utilización de las máquinas en los terrenos más accidentados.

#### Clasificación de los Cargadores.

Se puede clasificar a los cargadores desde dos puntos de vista: en cuanto a su forma de descargar y en cuanto al tipo de rodamiento.

A) por la forma de efectuar la descarga se clasifican en:

a) Descarga frontal

- b) Descarga lateral
- c) Descarga trasera.

Descarga frontal.

Los cargadores con descarga frontal son los más usuales de todos. Estos voltean el cucharón o bote hacia la parte delantera del tractor accionandolo por medio de gatos hidráulicos.

Su acción es a base de desplazamientos cortos y se usa para excavaciones en sótanos, a cielo abierto, para la manipulación de materiales suaves o fracturados, en los bancos de arena, grava, arcilla, etc.

También se usa con frecuencia en rellenos de zanjas y en alimentación de agregados a plantas dosificadoras o trituradoras.

Una derivación de este tipo de descarga, es cuando, se usa el cucharón tipo concha de almeja al que también se le llama bote de uso múltiple. Este se puede abrir en dos para cargar o descargar, además de que se puede usar como bote de descarga frontal.

El objeto de que el bote se abra es que, cuando el labio superior que es el que forma la caja del bote se separa de la parte vertical y está queda como cuchilla topadora, y

se puede usar como tal, además de que cuando está cargado se pueden forzar ciertos materiales a entrar dentro de él al cerrar las dos partes del bote. En la parte trasera del cucharón, un par de cilindros hidráulicos de doble acción hacen que éste se abra o se cierre.

#### Descarga lateral.

Los cargadores de descarga lateral tienen un gato adicional al bote volteándolo hacia uno de los costados del cargador. Esto tiene como ventaja que el cargador no necesita hacer tantos movimientos, para colocarse en posición de cargar al camión o vehículo que se desee, sino que basta que se coloque paralelo al vehículo.

Desde luego este tipo es más caro que el de descarga frontal, y solo se justifica su uso en condiciones especiales de trabajo, por ejemplo, en sitios donde no hay mucho espacio para maniobras, como en rezaga de túneles de gran sección, o en cortes largos de camino, ferrocarriles o canales.

#### Descarga trasera.

Los equipos de descarga trasera se diseñaron con la intención de evitar maniobras del cargador. En estos el cucharón ya cargado pasa sobre la cabeza del operador y descarga hacia atrás directamente al camión o a bandas transportado-

ras o a tolvas, etc.

Estos equipos resultan sumamente peligrosos y causan muchos accidentes, porque los brazos del equipo y bote cargado pasan muy cerca del operador:

Algunos de estos equipos han sido diseñados con una cabina especial de protección, pero esto resta eficiencia a la máquina porque reduce la visibilidad, además de que añade peso al cargador.

En realidad han sido desechados para excavaciones a cielo abierto y solo se usa en la rezaga de túneles, cuya sección no es suficientemente amplia, para usar otro tipo de cargador.

A este tipo de descarga trasera diseñado especialmente para excavaciones de túneles se les llama rezagadores y hay algunas fábricas que se han dedicado especialmente a perfeccionarlos por lo que en muchas ocasiones resulta ser el equipo adecuado para cargar el producto de la excavación dentro de túneles, vienen montados generalmente sobre orugas, aunque algunos pequeños vienen sobre ruedas metálicas que ruedan sobre una vía previamente instalada dentro del túnel. Es muy raro encontrar este equipo montado sobre llantas.

B) Clasificación por la forma de rodamiento:

a) De carriles (orugas)

b) De llantas (neumáticos)

Las orugas son de calibre ancho para mejorar la estabilidad contra el volcamiento lateral cuando se acarrean - cargas pesadas.

Los cargadores montados sobre llantas pueden ser de dos o cuatro ruedas motrices. Generalmente se utilizan llantas muy grandes. Estas sirven para proporcionar una excelente flotación que les permite trabajar en la mayoría de los terrenos.

Cargadores frontales montados sobre neumáticos.

Los cargadores frontales montados sobre neumáticos, son equipos de excavación, carga y acarreo que tienen un cucharón o bote para estos fines y que se adaptan en la parte delantera de los tractores.

Mediante la selección de convertidor de par, bombas, motores adecuados, ejes de transmisión diferencial y reducciones planetarias perfectamente conjuntados para suministrar la máxima potencia utilizable con pérdidas por rozamientos mínimos, se pueden realizar las siguientes funciones:

1.- Transmitir fuerza suficiente a las ruedas para proporcionar una acción de empuje adecuado al peso de la -

a) De carriles (orugas)

b) De llantas (neumáticos)

Las orugas son de calibre ancho para mejorar la estabilidad contra el volcamiento lateral cuando se acarrearán cargas pesadas.

Los cargadores montados sobre llantas pueden ser de dos o cuatro ruedas motrices. Generalmente se utilizan llantas muy grandes. Estas sirven para proporcionar una excelente flotación que les permite trabajar en la mayoría de los terrenos.

Cargadores frontales montados sobre neumáticos.

Los cargadores frontales montados sobre neumáticos, son equipos de excavación, carga y acarreo que tienen un cucharón o bote para estos fines y que se adaptan en la parte delantera de los tractores.

Mediante la selección de convertidor de par, bombas, motores adecuados, ejes de transmisión diferencial y reducciones planetarias perfectamente conjuntados para suministrar la máxima potencia utilizable con pérdidas por rozamientos mínimos, se pueden realizar las siguientes funciones:

1.- Transmitir fuerza suficiente a las ruedas para proporcionar una acción de empuje adecuado al peso de la

máquina.

2.- Suministrar fuerza al sistema hidráulico que excavará , levantará y volcará las cargas adecuadas por anticipado. Estas máquinas por lo tanto no son simple tractores - equipados con componentes adecuados para la excavación y carga, sino que son máquinas básicamente proyectadas para excavar elevar y cargar, cada una de ellas formada por componentes estructurales, motrices y mecánicos, plenamente integrados y - concebidos para trabajar conjuntamente.

#### Neumáticos.

Si los motores y trenes de transmisión han experimentado cambios lo suficientemente amplios para hacer posible la consecución del moderno cargador, para trabajos intensivos, - los neumáticos también han evolucionado. Los de base estrecha inflados a alta presión han sido sustituidos por neumáticos de amplia base, alto índice de tracción, gran flotación y larga vida en servicio.

Quizas el resultado más significativo de las investigaciones sobre neumáticos, llevadas a cabo por los fabricantes es el desarrollo de neumáticos de gran base, sin cámara, especiales para el movimiento de tierra y para actuar sobre roca. Las presiones de inflado más bajas y las bases más amplias,

han impulsado a una reconsideración de los conceptos de resistencia a la rodadura.

Otro resultado de la investigación llevada a cabo con neumáticos de base ancha es el referente a la presión por pulgada cuadrada ejercida sobre el suelo por el neumático, que es aproximadamente igual a la presión de inflado del neumático. Se ha conseguido aún otra mejora que relaciona la duración de los neumáticos con la cantidad de lonas utilizadas en su fabricación según las diversas condiciones de trabajo. Se ha demostrado mediante una gran cantidad de estudios efectuados sobre el terreno que, por ejemplo, un neumático del tipo que se utiliza en las máquinas para el movimiento de tierra, equipado con pocas lonas, suministra un área de apoyo superior.

- Protección de los neumáticos.

Para aumentar la duración de las costosas llantas, se debe recomendar a los operadores que no acomoden las cargas mediante arrancones y frenajes bruscos, pues esta pésima costumbre, se traduce en severos impactos y frecuentemente causan la rotura del tejido de las lonas de los neumáticos. La presión de aire apropiado, es base para la duración y el buen funcionamiento de estos equipos.

Cuando la superficie de rodamiento esta compuesta de

materiales abrasivos y fragmentos de roca que puedan dañar a los neumáticos, es práctica recomendable proteger a éstos, por medio de accesorios que constan de zapatas y eslabones de acero.

- Mandos finales.

Los cargadores montados sobre neumáticos pueden ser de dos o cuatro ruedas motrices.

Por las duras condiciones de trabajo los cargadores de dos ruedas motrices están siendo desplazados en el movimiento de tierra y su aplicación más bien es para fines agrícolas.

Los cargadores con tracción en las 4 ruedas, puesto que aprovechan un mayor porcentaje de peso en la máquina comparado con los de tracción en solo eje, realizan la acción de excavado y acarreo mucho mejor.

La mayoría de los cargadores de cuatro ruedas motrices se dirigen con las ruedas traseras, sin embargo, los hay con dirección frontal e inclusive en las cuatro ruedas.

- Sistema de frenos.

Los cargadores cuentan con frenos de servicio y para estacionamiento. Los de servicio son hidráulicos con circuitos independientes para los ejes delanteros y traseros; y están dotados de un sistema de alarma con objeto de que

cuando se produzca algún fallo en cualquiera de los circuitos entre en función el freno de emergencia de modo automático y se detenga la máquina. Los de estacionamiento son de disco y se aplican manualmente.

- Cucharones. (Fig. 5)

Son elementos básicos de carga, los más usados son los siguientes:

- a) Bote ligero
- b) Bote reforzado
- c) Bote super reforzado con dientes
- d) Bote para demolición
- e) Bote eyector de roca
- f) Bote de rejilla.
- a) Bote ligero.

Los equipos que unicamente van a cargar materiales sueltos y poco abrasivos tienen un bote ligero y en la parte extrema del labio inferior está reforzado por una cuchilla que es la que primero penetra en el material que se va a mover.

- b) Bote reforzado.

Cuando se necesita excavar además de cargar entonces el bote es un poco más fuerte que el anterior y viene equipado



FIGURA 5. BOTE O CUCARON

con una serie de puntas o dientes repartidos en el mismo sitio en que el anterior lleva cuchilla.

Los dientes tienen por objeto facilitar la penetración del cucharón dentro del material.

Estos dientes están cubiertos por un casquillo de acero especial, resistente a la abrasión y cuando sufren desgaste considerable se cambian por nuevos con objeto de proteger a los dientes y al bote mismo.

c) Bote super reforzado con dientes.

Cuando el material que se va a cargar es roca fragmentada o lajar entonces se debe usar un bote especial, super reforzado, que es igual al bote de excavaciones pero más fuerte. Algunos botes para roca tienen su borde inferior en forma de "V" y no llevan dientes sino cuchilla.

d) Bote para demolición.

Este tipo sirve para cargar desechos y escombros de forma irregular, para esto cuenta con una mandíbula con fuerza hidráulica cuyos bordes son dentados. Las planchas laterales son desmontables para mejor agarre de materiales grandes.

e) Bote eyector de rocas.

El eyector es utilizado para descargar el material -

que se encuentra en el bote, ya que este avanza hasta el extremo delantero, por esta causa es posible regular la eyección del material a fin de situar bien la carga y minimizar los choques en la caja del camión. La cuchilla en "V" truncada - facilita la penetración y la carga.

f) Bote de rejilla.

Se utiliza para el manejo de roca suelta. Las aberturas del fondo permiten que el material indeseable caiga a través de éstas.

Las capacidades más usuales de los botes varía de  $\frac{1}{2}$  a 5 Yd<sup>3</sup> aunque actualmente hay fábricas que están haciendo equipos más grandes que pueden dar magníficos resultados en determinados trabajos.

- Sistema hidráulico.

El conjunto brazo cuchara de los cargadores, se acciona por medio de un sistema hidráulico, que está formado por una bomba que recibe movimientos del motor del tractor, un depósito general de aceite, una red de circulación cerrada del fluido, los correspondientes pistones y los controles instalados al alcance del operador en el puesto de mando en el propio tractor.

Casi en todos los cargadores son dos pares de gatos

los que se accionan, sirviendo uno de los pares para subir y bajar el equipo, mientras que el otro para accionar el cucharón en sus movimientos de excavación y volteo.

El tamaño de los cilindros, la presión hidráulica y la longitud de los brazos de palanca mediante los cuales se transmite la fuerza hidráulica, nos determina la fuerza de ruptura que puede ser desarrollada en el borde de ataque de la cuchara.

Los cilindros de elevación proporcionan la fuerza suficiente para elevar una carga capaz de hacer bascular la máquina sobre su eje delantero, cuando la cuchara se encuentra situada en su posición de máximo alcance hacia adelante. Esta carga se define como carga de vuelco.

Como es lógico suponer otra bomba hidráulica independiente a la del sistema de carga y descarga de material, permite en todo momento accionar la dirección del cargador. Este sistema de dos bombas proporciona rendimientos óptimos cuando la máquina se encuentra debidamente conjuntada con el convertidor de par y con la adecuada selección de marchas.

- Motor.

El puesto del operario por lo general se encuentra en la parte delantera del cargador pues esto permite una vi-

sibilidad máxima de la zona de trabajo y mejor distribución del peso, debido al efecto contrapesante del motor. Se dispone igualmente de mejor accesibilidad para el servicio puesto que el motor se encuentra alejado de los mecanismos de carga.

El motor de los cargadores por lo general es diesel, con potencias que varían de 80 a 570 H.P., de cuatro tiempos y de cuatro a ocho cilindros, todo esto dependiendo de las características de cada cargador.

Las marcas de los motores que se usan con más frecuencia son Caterpillar, Cummins y General Motors.

Una de las funciones del motor de un cargador, es proporcionar la potencia necesaria para generar fuerza hidráulica para el movimiento del bote y la dirección. Hasta el 35% de la potencia del motor en H.P., es recomendable para satisfacer a ésta. La otra función es transmitir fuerza suficiente a las ruedas para proporcionar una acción de empuje adecuada.

-Cargadores frontales montados sobre orugas.

Al conjunto formado por el tractor de orugas y el equipo se le llama cargador frontal, tractor pala y más comúnmente traxcavo, que viene del nombre de un modelo de una marca

determinada, pero que en México se ha generalizado y se le nombró a la de todas las marcas.

En cuanto al sistema hidráulico, controles, cucharones y motor, se rigen en forma general bajo el mismo principio que los cargadores montados sobre neumáticos ya descritos. Por esto se verán solamente las diferencias más significativas.

- Orugas.

El sistema de tránsito de estos cargadores consta de cadenas formadas por pernos y eslabones, a las cuales se atornillan las zapatas de apoyo.

Estas cadenas se deslizan sobre rodillos, conocidos comunmente como roles. En el extremo posterior de la cadena se encuentra la catarina que es un engranaje propulsor que transmite la fuerza tractiva.

Un adecuado ancho y largo de las orugas es necesario para la estabilidad contra el volcamiento lateral, cuando se acarrearán cargas pesadas.

Estos tipos de cargadores tienen una conexión rígida entre el bastidor de las orugas y el bastidor principal, pues de esta manera se mejora la estabilidad.

El tipo de zapatas de las orugas utilizadas, tienen

una influencia considerable en la técnica de excavación. En ocasiones se utiliza la zapata lisa para no deteriorar la superficie de trabajo, pero esta tiene el inconveniente de que patinan bastante sobre muchos suelos e impide que toda la potencia de la máquina se aplique al trabajo. Cuando por condiciones de trabajo se necesita que el cargador gire muy frecuentemente, se usan zapatas con garra pequeña de  $\frac{1}{4}$ " a  $\frac{3}{4}$ " aproximadamente.

A medida que la zapata con semigarra se desgasta, las cabezas de los pernos de sujeción quedan expuestas y se desgastan y las orillas de las zapatas se debilitan de manera que pueden doblarse, su vida puede prolongarse soldando una tira de aleación a lo largo de la barra central. Un cargador soldado de esta manera podrá tener buena tracción, pero puede producir una marcha molesta sobre terrenos duros.

Las zapatas lisas o de semicarga no son adecuadas para trabajar en terrenos lodosos, ya que se hacen tan resbalosos que proporcionan poca tracción y no sujetan tabloncillos u otros objetos colocados debajo de ellas para ayudar a salir de los agujeros, también permiten que la máquina se deslice cuesta abajo cuando trabaja sobre un talud lateral, la garra grande da muy buena tracción pero presenta dificultad en el pivoteo o giro. También hacen a la máquina muy susceptible a dar tirones y somete a esta y al cucharón a impactos y sobrecargas

que pueden acortar la vida del cucharón.

- Dirección.

La dirección de los cargadores montados sobre orugas se maneja por medio de un sistema de tres pedales.

Mediante estos se hacen todos los giros y paradas. Para soltar el embrague de la dirección, a fin de hacer un giro lento, se oprime hasta la mitad el pedal de la derecha o de la izquierda cuando se requiere un giro más cerrado, se oprime el pedal hasta el fondo. El pedal del centro frena también am los carriles, pero no suelta los embragues y puede fijarse como freno de estacionamiento. Los embragues de la dirección se enfrían con aceite y tienen varios discos para servicio pesado.

Los cargadores más utilizados en la construcción de el metro son:

Los de oruga Caterpillar 955 con cucharones de descarga frontal o lateral, con capacidades de 2 Yd<sup>3</sup>.

Los cargadores Michigan 45B con capacidad de 1.5 Yd<sup>3</sup> son utilizados también en diversos trabajos de excavación y carga son equipos muy rápidos y al tener articulación en el centro pueden trabajar en espacios reducidos.

**RAZONES PARA LA SELECCION DEL PROCEDIMIENTO**

**USADO**

**CONCLUSIONES**

**CAPITULO VI.**

## CAPITULO VI

RAZONES PARA LA SELECCION DEL  
PROCEDIMIENTO USADO Y CONCLUSIONES

El sistema está constituido por estructuras de tipo superficial, elevada y subterránea, ya sea en cajón o en tunel, cada una de las cuales ofrece ventajas y desventajas de diversa índole y reúne además condiciones específicas para su aplicación. Para la selección de cada uno de estos tipos se tomaron en cuenta los siguientes factores en términos generales:

- Costo de obra civil por Km
- Tiempo de ejecución de la obra civil.
- Obstrucción de la vfa pública durante la ejecución.
- Interferencias con los servicios municipales.
- Conservación de obras y equipos.
- Mantenimiento de la vfa, paisaje urbano, futura disponibilidad vial.

A continuación se hacen algunos comentarios sobre los puntos arriba indicados y conclusiones.

Análisis de los trazos posibles.

Antes de poder definir el tipo de estructura más adecuada necesitamos saber por donde pasará nuestra red y para esto

es necesario realizar algunos estudios. Algunas veces podemos tener trazos ideales que teóricamente pueden establecerse para ubicar las líneas iniciales de una red subterránea de transporte colectivo, están sujetos a modificaciones tendientes a localizaciones más adecuadas, tomando en cuenta condiciones de servicio a determinadas zonas urbanas, tipo de subsuelo, interferencias con instalaciones municipales subterráneas o con monumentos históricos, antiguas construcciones, etc. Naturalmente dichas modificaciones no son radicales, en relación al trazo inicial, si este se ha determinado mediante estudios debidamente fundados.

En términos generales, puede decirse que una red urbana de transportes rápidos se inicia con 2 líneas principales, perpendiculares entre sí, y se desarrolla mediante la creación de nuevas líneas paralelas a las iniciales, formándose así una cuadrícula que cubre poco a poco el área urbana.

Entre los estudios para determinar el trazo tenemos:

- 1.- Población. Con base en los censos se determinó la distribución de la población, en el área urbana y su proyección futura, cada una de las delegaciones en que se divide el D.F., se sub-dividió a su vez en varias secciones, analizándose el crecimiento demográfico en cada una de ellas.

2.- Uso de la tierra. La Ciudad de México, por su extensión y por la ubicación de los principales centros educativos y de trabajo, obliga a sus habitantes a excesivos recorridos a través de ella.

La zona de que mayor problema presenta es la zona centro, debido a que a su alrededor se encuentran los edificios principales de la ciudad; tanto oficiales como comerciales y aún educacionales, lo que ha propiciado un gran desarrollo en toda su vecindad.

3.- Origen y destino de los obreros. Con base en los censos se determinó el número de obreros que habitan en cada delegación. Se establecieron los probables flujos de pasajeros hacia las zonas industriales, destacándose la importancia de la zona norte, así como la dirección del flujo del pasaje del centro hacia la periferia de la ciudad.

4.- Origen y destino de los empleados en forma análoga. Al movimiento de obreros, se estudió el de los empleados, determinándose el número de ellos en cada delegación, y estableciéndose las corrientes de flujo de las zonas de habitación hacia los centros de trabajo, el resultado fué que el destino de casi todos estos pasajeros es el centro de la ciudad.

5.- Alimentaciones exteriores. La importancia del mo-

vimiento diario de pasajeros en autobuses de procedencia foránea y sub-urbana es significativo pues 273,000 entran y otros tantos salen, con un total superior al medio millón de pasajeros diarios. Las líneas sub-urbanas y foráneas de la ciudad innecesariamente llegaban a la zona céntrica o penetraban en ella rumbo a sus terminales localizadas precisamente en esa área.

Con la información obtenida de los análisis mencionados, se obtuvo la expresión gráfica de la envolvente general de flujo de vehículos y pasajeros de la ciudad, dentro de la cual deben alojarse las líneas de la primera etapa del sistema de transporte colectivo.

Partiendo de la citada envolvente, se estudiaron en forma exhaustiva 14 alternativas de posibles trazos, calificándose en cada una de ellas primordialmente el cumplimiento de los principios básicos establecidos, así como el grado de dificultad representado por factores técnicos, económicos, sociales, urbanísticos, etc., involucrados en cada caso, y la valoración cualitativa y cuantitativa de las afectaciones requeridas, así como de las interferencias con los servicios municipales y con el tránsito de superficie.

Una vez ya definido el trazo es posible analizar el -

tipo de construcción a utilizar considerando los puntos antes citados.

En lo que se refiere al costo de la obra civil por kilómetro, el más alto corresponde a la línea subterránea ya sea en cajón o en túnel, aunque en la mayoría de los casos se usa la solución subterránea en cajón debido a que es la más recomendable para el tipo de sub-suelo de la Ciudad de México.

El costo de la línea superficial es cercano al de la solución elevada. Parecería que línea superficial sería bastante más económica que la elevada, sin embargo, al adicionar a esta el costo de los desvíos, pasos a desnivel perpendiculares con una frecuencia aproximada de 1 km., limitación del derecho de vía de 10 metros de ancho. Este tipo de línea necesita un ancho de avenida mínimo de 40 metros, para alojar en la parte central al metro.

Por lo que respecta a los tiempos de construcción, la velocidad para la solución subterránea es del orden de 90 a 110 metros por mes, en tanto que para la solución elevada es de 70 a 90 metros por mes, por lo que se puede observar que para la solución subterránea la velocidad de construcción es ligeramente mayor que la de la elevada. Por lo que toca a la solución superficial, los rendimientos que se alcanzan son de 130 a 150 metros por mes. Las velocidades antes mencionadas

son desarrolladas por un solo frente de trabajo.

En cuanto a la obstrucción de la vía pública durante la construcción, la solución que causa mayores problemas es la subterránea tipo cajón, reduciéndose estas en la solución elevada.

Las interferencias con instalaciones municipales son totales en el caso subterráneo tipo cajón, obligando en ocasiones a desvíos importantes de grandes colectores o de redes de distribución de agua. Estas interferencias causan menos problemas en solución subterránea en túnel, elevada y superficial.

Por lo que respecta a la conservación y mantenimiento de los equipos, la solución subterránea presenta mejores condiciones que la superficial y elevada, debido a que los equipos no están expuestos a la intemperie.

En lo que se refiere al paisaje urbano se debe tomar en cuenta, además, el tipo de zona por la que atraviesa la línea, industrial, comercial o residencial, el tipo de usuarios a quienes beneficiará y la formación de una barrera continua que no existe para el tipo de solución elevada y subterránea.

En relación a la futura disponibilidad vial, la solución subterránea no la afecta, en tanto que la solución superficial ocupa un ancho equivalente a tres carriles de circula-

ción y la elevada ocupa solamente dos.

En lo referente a la selección adecuada del procedimiento para la construcción de un túnel es necesario hacer los estudios geotécnicos necesarios y suficientes, para elegir en primer lugar un trazo adecuado de una línea de metro y posteriormente seleccionar el adecuado procedimiento constructivo y maquinaria a emplear, es decir, excavar el túnel por métodos convencionales o la posibilidad de utilizar alguna máquina integral de perforación de túneles. (Escudo)

Como conclusión final puedo decir que durante el desarrollo del presente trabajo, se logró apreciar la gran diversidad de elementos que intervienen durante la excavación en túnel y en cajón del metro de la Ciudad de México, lo cual nos indica que no se pueden establecer reglas generales para los procedimientos de excavación, sino que en cada caso particular se debe hacer un análisis del problema.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- "TUNELES EN SUELOS BLANDOS Y FIRMES"  
Sociedad Mexicana de Mecanica de Suelos, A.C., 1981
- 2.- "REVISTA DE INGENIERIA"  
Num. 1, Vol. LII, 1982
- 3.- "PUBLICACION COVITUR 77-82"
- 4.- "MAQUINARIA PARA CONSTRUCCION"  
David A. Day, Editorial Limusa.
- 5.- "METODOS, PLANEAMIENTO Y EQUIPO DE CONSTRUCCION"  
R.L. Peurifoy, Editorial Diana.
- 6.- INFORMACION PROPORCIONADA POR LA COMISION DE VIALIDAD Y ---  
TRANSPORTE URBANO, (COVITUR).