

5143

---

FACULTAD DE INGENIERIA

U. N. A. M.

DESCARTE

**PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION EN UN TRAMO  
DEL EMISOR CENTRAL**

**T E S I S**

Que para obtener el título de  
**INGENIERO CIVIL**

p r e s e n t a

**FRANCISCO ALVAREZ LEDESMA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

Con mi mas grande  
cariño y agradeci  
miento a mis padres.

MA. EUGENIA  
MARTHA

A mis hermanos, Ma. Eugenia,  
Martha, Jorge y Jaime con -  
cariño.

A mi querida Abuelita.

Agradesco al Sr. Ing. Emilio Gil Valdivia,  
el haber dirigido la presente tesis.

Agradesco también, la cooperación brindada  
por la Division de Ingeniería y Planeación  
de TUSA.

A la Facultad de Ingeniería, a mis maestros y compañeros.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
Exámenes Profesionales  
Núm. 40-751  
Exp. Núm. 40/214.2/

Al Pasante señor Francisco ALVAREZ LEDERER,  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es -  
grato transcribir a usted a continuación el tema que apro-  
bado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Emilio -  
Gil Valdivia, para que lo desarrolle como tesis en su Exa-  
men Profesional de Ingeniero CIVIL.

"PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION EN UN TRAMO DEL EMISOR  
CENTRAL".

- I. Introducción.
- II. Generalidades sobre túneles.
- III. Procedimiento de excavación en un tramo del tunel del emisor central.
- IV. Ejemplo numérico.
- V. Conclusiones.

Ruego a usted tomar debida nota de que en -  
cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones,  
deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de  
seis meses como requisito indispensable para sustentar Exa-  
men Profesional; así como de la disposición de la Direc-  
ción General de Servicios Escolares, en el sentido de que-  
se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis,  
el título del trabajo realizado.

atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPERANZO"  
México, D.F. 23 Septiembre de 1972  
EL DIRECTOR

*Juan Casillas G. de L.*  
Dr. Juan Casillas G. de L.

*EW*  
JCGL'Gsn'mrg.

## CAPITULO I

### INTRODUCCION.

La necesidad de evacuar el agua pluvial y los desechos, que obligadamente se producen en cualquier agrupación de personas, ha sido un problema al que se ha enfrentado el hombre desde que empezó a hacer una vida sedentaria.

A pesar de ser este problema tan antiguo y de tan inminente solución, los sistemas de alcantarillado existentes hasta antes del siglo XIX, -- eran solo para eliminación de aguas pluviales.

El caso de México no puede ser ajeno a éste problema y se ha enfrentado a él, desde que los aztecas llegaron a poblar el valle del Anáhuac.

El primer sistema usado por los aztecas para drenar, lo que ahora es la ciudad de México, fue el de canales abiertos que fungían como colectores y además las propias calles eran pequeños arroyos; este sistema siguió durante toda la época colonial.

Es en los comienzos del siglo XVII que en la ciudad de México, se empiezan a construir obras grandes para el desalojo de las aguas pluviales, pues se construyó el túnel de Nochistongo. Esta obra se concluyó en el año 1608. Es en el año de 1789 que se termina el tajo de Nochistongo.

Posteriormente, en el año 1856, se aprueba la construcción del gran canal del desagüe y del túnel viejo de Tequisquiac, se realizaron las obras construyéndose el gran canal, bajo el gobierno del Gral. Porfirio Díaz. Los trabajos concluyeron en el año 1900.

La ciudad de México siguió desarrollándose y su población aumentó grandemente, con lo cual aumentaron también sus necesidades, entre las que se cuenta una mayor demanda de agua. Con el fin de satisfacer esta necesidad, se perforaron pozos para extraer agua del subsuelo; a raíz de esto, se produjeron asentamientos del suelo por lo que se provocaron problemas en la red del drenaje, haciéndose necesario un costoso mantenimiento, además de constantes repara-

ciones. Estos hundimientos, tuvieron tal importancia, que provocaron que la salida de las aguas negras al gran canal, quedara abajo del nivel de éste último, lo cual, obligó al establecimiento de estaciones bombeadoras. Debido al crecimiento de la ciudad, como antes se mencionó, aumentó la demanda de agua y consecuentemente los desechos fueron en aumento también, de tal suerte, que el gran canal tuvo que conducir gastos aproximadamente del doble del gasto de diseño.

Esta serie de problemas que vinieron presentándose, hicieron urgente el contar con algún sistema de drenaje adecuado para la ciudad, -- que tuviera una vida útil grande y que evitara en lo posible, las plantas de bombeo.

Se ha querido resolver el problema del desalojo de las aguas, desde entonces, por varios métodos.

Una de las formas en que se pensó, que sería eficiente la red de drenaje existente en la ciudad, era la de construir pequeñas presas en las partes bajas de las zonas altas que circundan la ciudad de México. Estas pequeñas presas tendrían una doble función, pues detendrían el agua un poco y después dejarían pasar ésta, pero con un gasto que la red del drenaje fuera capaz de conducir eficientemente; además, al --

estar el agua estancada durante algún tiempo en las presas, algo de ella se infiltraría y compensaría en parte el agua extraída del subsuelo. Este procedimiento se llevó a cabo, pero no dió los resultados que se esperaban.

Otra forma de tratar de evitar las inundaciones, fue la de entubar algunos ríos que cruzan la ciudad de México y así se hizo con algunos de ellos, por ejemplo el río de la Piedad, el río Consulado, el río Churubusco, etc., pero ésto no resolvió el problema y las inundaciones persistieron.

Hacia el año de 1940, se empieza a construir el túnel de Tequisquiac. En el lapso de los años 1951 a 1958, se tuvieron que construir más plantas de bombeo y colectores.

La solución al problema de un drenaje eficiente siguió en estudio y es en los años de 1958 a 1960, que se dan pasos eficientes para conseguir la. La medida consiste en la construcción de un gran interceptor en la zona poniente de la ciudad. Es éste un conducto cerrado, que intercepta los ríos que escurren a la ciudad por el oeste y aleja las aguas.

Este interceptor, que es un túnel en el ciudad de México, pasa por el túnel del Cristo y después se convierte en canal abierto hasta llegar al río Zaragoza. Se considera que este interceptor ha aliviado grandemen

te a la red. Además de este interceptor, se construyen actualmente (1972), otros dos túneles más en la ciudad de México, uno en la zona oriente y el otro por el centro de la ciudad. Estos dos túneles se unen en uno sólo al norte de la ciudad y de ahí parte un solo túnel -- emisor que tiene salida en El Salto, Hgo., de donde continuarán las aguas por un canal abierto hasta desembocar en el río Tula.

Estos interceptores y emisor, constituyen un nuevo sistema para -- evacuar las aguas de la ciudad de México.

Este sistema de drenaje profundo, que es así como se ha llamado, -- es del tipo combinado.

El interceptor central nace en la zona sur de la ciudad de México, -- en la Av. de Miguel Angel de Quevedo y atraviesa la ciudad por su parte más céntrica. Recibe aportaciones a lo largo de su recorrido, tanto de aguas negras como de lluvia.

Este túnel tendrá al quedar terminado, un diámetro de 5.00 m. y -- está diseñado para trabajar como canal: su pendiente es  $S = 0.0005$ . La longitud de este interceptor es de 25.00 Km. atravesando la ciudad de sur a norte. Se han hecho para la construcción de éste túnel, 13 lumbreras, entre las cuales varían las distancias de una a otra, según las necesidades de construcción de la obra y de espacio en la superficie. La terminación del interceptor central, está marcada --

por la existencia de la lumbrera 0 (cero), donde confluye al mismo punto que el interceptor oriente. Este interceptor tiene su origen, al igual que el central, al sur de la ciudad y con objetivos semejantes recorre la zona este de la ciudad. Tendrá un desarrollo total de 27.0 Km. y un diámetro de 5.00 m. A lo largo de éste túnel, existen 13 lumbreras y termina su recorrido en la lumbrera 0.

El sistema de drenaje queda completo, al añadirle el emisor central a los tres interceptores mencionados.

Es éste, el túnel sobre el cual se basa el presente trabajo.

Para proyectar este sistema de drenaje, se han tomado en consideración todos los aspectos necesarios de los sistemas combinados.

En la figura I-1, se muestra un plano de localización de los tres interceptores y del emisor central. En la figura I-2 se muestra el perfil geológico, obtenido en el trazo del emisor. Este se inicia, como antes se mencionó, en la lumbrera 0 (cero) recibiendo los volúmenes que conducen los interceptores central y oriente y sigue su curso hacia el norte. Tendrá, al ser terminado, un desarrollo de 50.0 Km. desde la lumbrera 0 hasta el portal de salida.

Tiene en total proyectadas a lo largo de su eje, 21 lumbreras; la profundidad de éstas es mayor en el emisor que en los interceptores. La

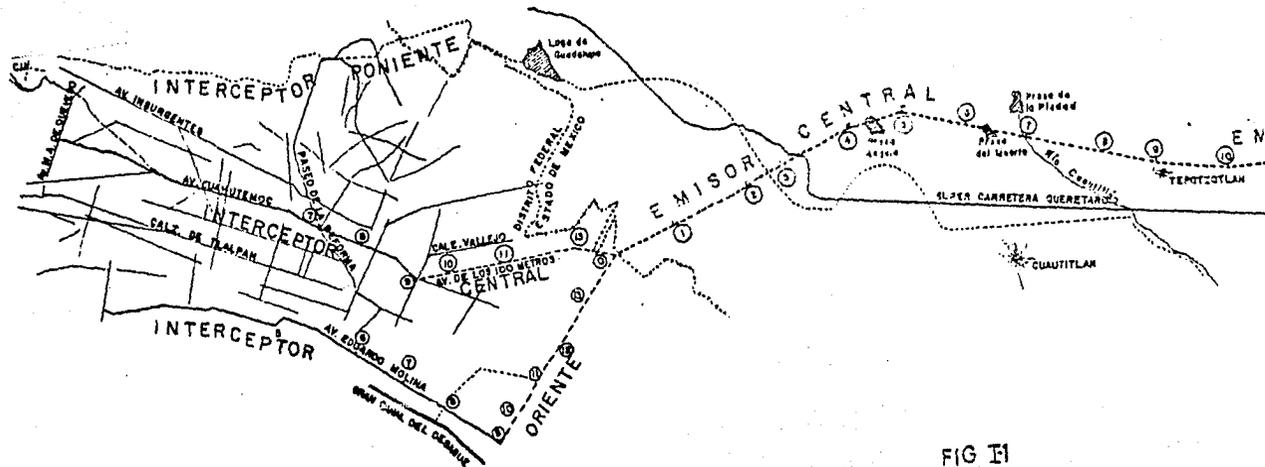


FIG 11

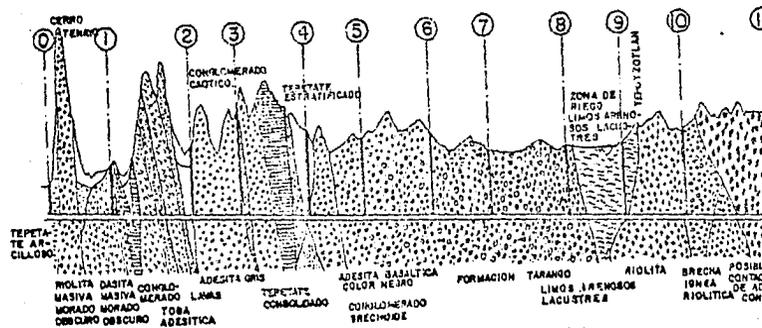


FIG I-2

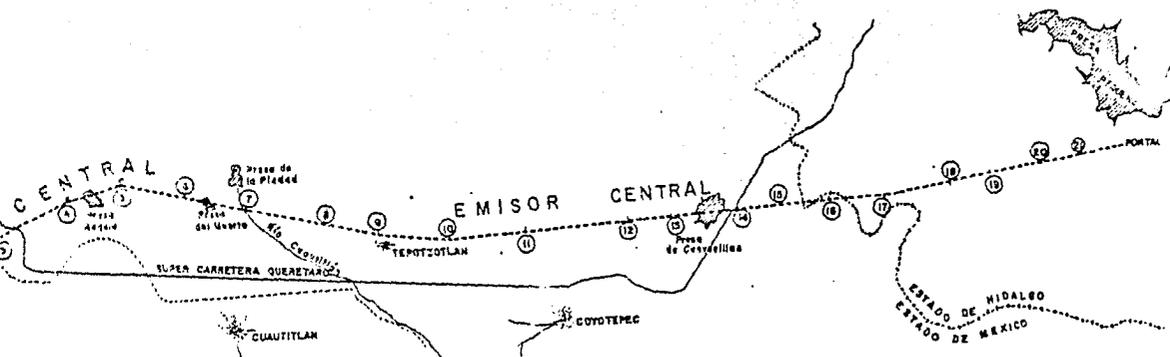


FIG I-1

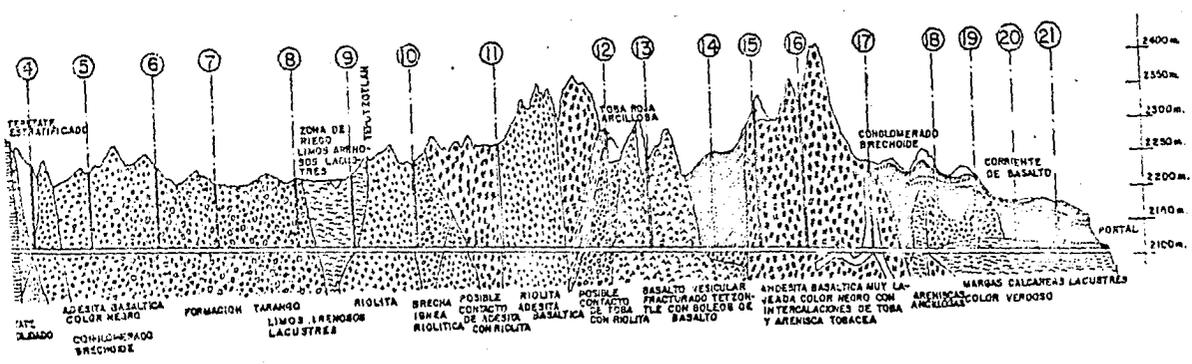


FIG I-2

profundidad promedio de dichas lumbreras es de 130.0 M. aprox.

En la figura I-2 se muestra también un perfil del terreno, en un plano sobre el eje del túnel, en el que se pueden apreciar las variaciones de la profundidad del túnel.

El recorrido de este emisor iniciado en los límites del Distrito Federal con el Estado de México, cruza éste y en el tramo entre las lumbreras 15 y 16 sale, para volver a entrar al Estado de México, después de haber cruzado tierras del Estado de Hidalgo; en el tramo de la lumbrera 16 a la 17, penetra definitivamente en el Estado de Hidalgo, por el cual continua hasta el lugar del portal de salida, todo lo cual puede apreciarse en la figura I-1.

El tunel del emisor, trabajará por gravedad, teniendo una pendiente  $S = 0.00197$ . La sección definitiva tendrá un diámetro de 6.50 m. y será capaz de llevar gastos de  $200 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Después de salir el túnel a la superficie, como se ha mencionado ya, se continúa la conducción del agua por un canal que desembocará en el cauce del río Tula. Se usará una parte del agua en las presas Requena y Endó que están próximas al portal.

Con las características descritas, del sistema de drenaje, se estima que tendrá éste una vida útil de 50 años.

Se habla a continuación de los diferentes tipos existentes de drenaje, sus características y forma de cálculo.

### SISTEMAS DE ALCANTARILLADO.

DEFINICION. - Un sistema de alcantarillado, es un conjunto de tuberías que trabajando como canales desalojan y alejan las aguas residuales, apartándolas de la población.

Existen diferentes tipos de alcantarillado, a saber:

- 1). - Combinado o unitario. - Se llama así un sistema, si en el mismo tubo se conducirán aguas negras y de lluvia.
- 2). - Sistema separado o divisor.
  - a). - Alcantarillado sanitario. - Es un sistema diseñado para conducir solamente aguas negras.
  - b). - Alcantarillado pluvial. - Es un sistema hecho con la finalidad de transportar solo agua de lluvia.

En la clasificación anterior, se entiende como aguas negras, los desechos líquidos de habitaciones, comercios, edificios, etc. En el sistema combinado, pueden ser aguas negras domésticas con residuos - --

industriales.

Se hará a continuación una clasificación de los diferentes conductos usados en los sistemas de alcantarillado, para en lo sucesivo tener como base esta clasificación:

1. - Alcantarillado.

a). - Albañal. - Se usan dentro del predio.

b). - Conexión domiciliaria. - Se halla fuera del predio conectando con la red de alcantarillado.

c). - Atarjea. - Tubería que corre por la calle; se puede clasificar como sigue:

c-1. - Tributaria ó ramal. - Solamente recibe carga de las tomas domiciliarias.

c-2. - Troncal. - Recibe varias tributarias.

c-3. - Sub-colector. - Recibe varias troncales.

c-4. - Colector. - Conduce las aportaciones de varios sub-colectores.

c-5. - Interceptor. - Lleva gasto de dos ó más colectores.

c-6. - Emisor. - Toma carga de dos ó más interceptores y es el conducto de mayor diámetro, en un alcantarillado.

Los sistemas de alcantarillado deben trabajar por gravedad y el trazo general de la tubería será de tal manera que las aguas alcancen -

un punto de concentración, con el menor recorrido posible.

Los modelos o patrones de configuración de los sistemas, están en función de:

1. - Tipo de sistema.
2. - Trazo de las calles.
3. - Topografía, geología e hidrología del área drenada.
4. - Localización y naturaleza de las obras de disposición y tratamiento.

Planos y Zonificación. - Los planos generales, se hacen a escala -- 1:2000 para los perfiles en escala horizontal y 1:200 la vertical.

- Los trabajos de topografía, son muy importantes y debe tenerse bien claro el lugar del emisor, con una poligonal perimetral con cierre 1:10000 y poligonal secundaria. En los planos debe tenerse curvas de nivel a 1.00 m. de equidistancia, en caso de tratarse de terrenos planos, con pendiente menor de 5% y curvas de nivel a 0.5 m., si la pendiente del lugar es mayor del 5%.
- Es muy importante tener pozos de cota y conocer el tipo de terreno en que deberá excavarse para instalar las tuberías.
- La intersección de calles, posición de lagos y corrientes, ferrocarriles, parques, etc. es conveniente tenerla bien localizada.

En lo referente a la zonificación, existen tres tipos principales, que son:

1. - Por densidad de población.

- a). - Zona comercial.
- b). - Zona residencial.
- c). - Zonas industriales.
- d). - Zonas sub-urbanas.

2. - Por la existencia de servicio de agua.

- a). - Por toma domiciliaria.
- b). - Con hidrantes colectivos.
- c). - Sin servicio.

3. - Por las etapas de construcción en el periodo de diseño.

- a). - Inmediata.
- b). - Futura.

El periodo de utilidad de las diferentes estructuras de un alcantarilla do se estiman en función de las características de cada una de ellas. Así por ejemplo, los colectores, interceptores y emisores, que son estructuras costosas y de difícil ampliación, tienen periodos grandes de 40 a 50 años. Las atarjeas y tubos de menos de 30 cm. de diámetro, de las cuales las condiciones de trabajo, en una determi-

nada zona pueden cambiar, su funcionalidad se estima para el período de diseño ó hasta que sea necesario modificarlas.

### Población y Areas Futuras.

La población de los pueblos y ciudades tiene constantes variaciones, pues ésta disminuye por muertes o emigraciones y aumenta con nacimientos e inmigración o anexión en términos generales. Pero existen otras razones para variar la población de un lugar, por ejemplo cambios políticos, guerras, instalación de nuevas industrias, etc.

Existen varios métodos para prever una población futura.

#### 1. - Métodos analíticos.

- a). - Método aritmético.
- b). - Método geométrico.
- c). - Método de incrementos diferenciales.
- d). - Método logístico.
- e). - En general ajuste de curvas.

#### 2. - Métodos gráficos.

- a). - Método aritmético.
- b). - Método geométrico.
- c). - Prolongación de la curva de crecimiento a ojo.
- d). - Comparación con otras poblaciones.

### 1. - Métodos analíticos.

a). - Aritmético. - Se dice que el crecimiento es aritmético, si el aumento de la población  $\Delta p$ , en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , es una constante. Figura I-3. Su forma matemática es como sigue:

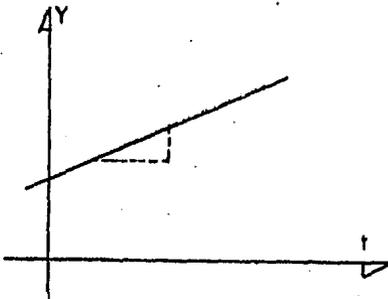


Fig. I-3

$$\frac{dy}{dt} = a ; a = \text{cte.}$$

$$dy = a dt ; y = at + c \quad y = mt + y_0$$

$y$  = Población futura en el año  $t$ .

$y_0$  = Población actual en el año 0.

$m$  = Pendiente de la recta que es la constante de crecimiento aritmético.

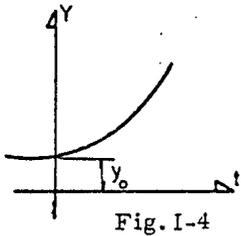
$m$ , se obtiene de la siguiente manera:

Año	Población	
$f$	$P_f$	$m = \frac{P_h - P_f}{h - f}$ en que $f < g < h$
$g$	$P_g$	
$h$	$P_h$	

b). - Método geométrico. - Se dice que es así, si la rapidez instantánea de crecimiento es proporcional a la población en el instante, ó sea el incremento de la población  $\Delta p$ , en el intervalo de tiempo  $\Delta t$  es proporcional al tamaño de la población. Figura I-4.

$$\frac{dy}{dt} = ky ; \frac{dy}{y} = k dt \quad \therefore \ln y = kt + c \quad \text{si } t=0 \text{ y } y=y_0 ; \ln \frac{y}{y_0} = kt ; \frac{y}{y_0} = e^{kt} ; y = y_0 + e^{kt}$$

c). - Método de incrementos diferenciales. - De la curva del caso anterior:



$$d^2y/dt^2 = C_1 ; (dy/dt) = C_1 t + C_2$$

Si  $t = 0$  y  $y = 0$  ;  $C_2 = \left(\frac{dy}{dt}\right)_{y = y_0}$

$$dy/dt = C_1 t + \left(\frac{dy}{dt}\right)_{y = y_0}$$

$$y = C_1 t^2 / 2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)_{t = t_0} t + C_3$$

ó sea se toma la segunda diferencia constante para el crecimiento. La población, crece como una ecuación de segundo grado.

d). - Método logístico. - En los métodos anteriores, se ha supuesto -- que la población crece indefinidamente con el tiempo, lo cual no es -- cierto. Este método si toma en cuenta ésto y dice: la rapidez instantánea de crecimiento, es proporcional al crecimiento de la población -- entre el valor de saturación  $k$ , y a lo que le falta por llegar a dicho -- valor ( $k$ ).

La expresión matemática de lo antes dicho se llama "curva logística" fig. I-5 . La determinación del valor de saturación depende de las -- condiciones de vida en el tiempo que se llegue al valor de saturación.

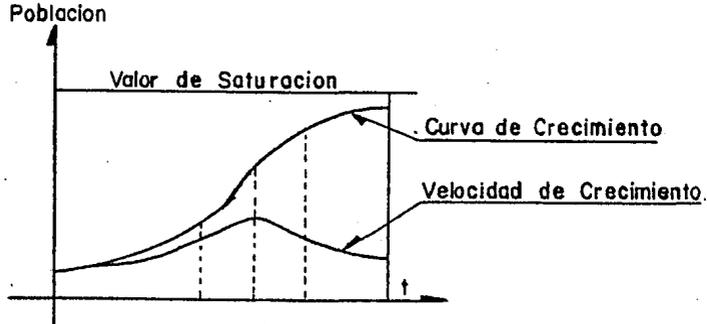


Fig. I-5

## 2. - Métodos gráficos.

a). - Método aritmético. - Véase figura I-6.

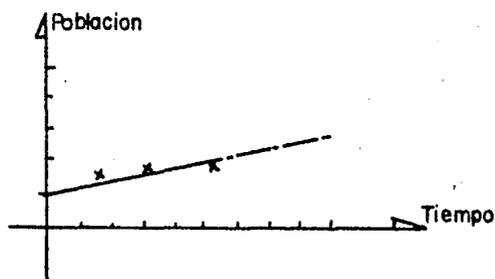


Fig. I-6

b). - Método Geométrico. - Si la curva que sirvió de base para obtener las expresiones algebraicas de éste método, se grafica en papel semilogaritmico, se obtiene una recta como la del método aritmético. Figura I-6.

c). - Prolongación de la curva de crecimiento a ojo. - Mediante este procedimiento, solo puede prolongarse una curva de crecimiento, obtenida con datos de censos, tomando en cuenta la variación de la curva y su tendencia. Los resultados que se obtengan con este método, dependen del criterio y experiencia de quien continúe la curva.

d). - Método por comparación con otras poblaciones. - Se basa éste método, en la suposición de que una ciudad crece de la misma manera que otra mayor, que se haya desarrollado en circunstancias parecidas. La manera de emplear este procedimiento, es dibujar sobre una gráfica, las curvas de variación de población-tiempo de -

las poblaciones que se tengan datos y en la misma gráfica se dibuja la curva correspondiente a la población en estudio, hasta donde es posible. La curva de la población que se estudia, se prolonga interpolando en las curvas de las poblaciones mayores. Figura I-7.

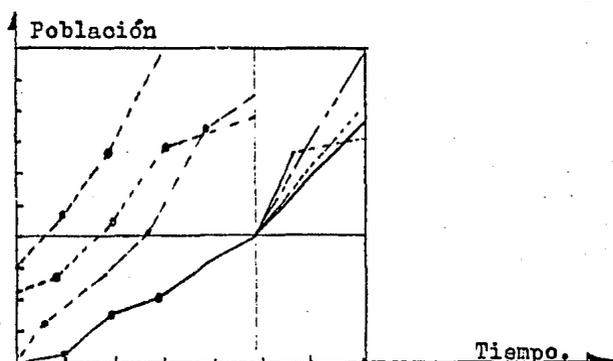


Figura I-7

#### Densidad y Areas Futuras

Es importante para el diseño de un alcantarillado, saber el área en que se localizará la población. Existen muchos aspectos que intervienen para determinar la densidad de población de una zona específica. El establecimiento de fuentes de trabajo, la extensión de servicio de energía eléctrica, etc. contribuyen a la modificación de la densidad de población de una zona en estudio.

Todas las zonas que pueden representar aportadores en potencia a una red de alcantarillado, deben tomarse en consideración. De acuerdo al principio del método logístico antes visto, se tienen que una densidad de población, aumenta hasta un cierto valor de saturación.

A continuación se proporciona una tabla con valores de densidad de población normales. Tabla I- I.

Densidad de Población.

	<u>Personas/Ha.</u>
1. - Areas Residenciales	
a). - Casas de una familia con lotes grandes	12 - 37
b). - Casas de una familia con lotes chicos	37 - 86
c).-- Multifamiliares	86 - 250
d). - Edificios de departamentos	250 - 2500
2. - Areas Mercantiles y comerciales	37 - 75
3. - Areas industriales	12 - 37
4. - Total, exclusivo de parques, campos deportivos y cementerios.	25 - 125

TABLA I-I

Existen algunas fórmulas para determinar las densidades de población, por ejemplo, la de Greeley y Sanley.

$$\frac{D \text{ max}}{D} = \frac{(2.90 \times 1.026^{0.4043D}) \cdot \log. P.)}{1.026}$$

$$\frac{0.4043D^2}{1.026}$$

Donde:  $D \text{ max.}$  = densidad máxima probable, en número de personas / Ha.

$D$  = número promedio de personas / Ha.

$P$  = % de población que comprende la zona considerada.

### ALCANTARILLADO PLUVIAL.

Al hacer el diseño de un sistema de drenaje pluvial, debe considerarse - estudios hidrológicos. El ciclo hidrológico se acostumbra expresar en -- forma compacta por la ecuación:

$$P = E + I + V$$

Donde:  $P$  = Precipitación.

$E$  = Escurrimiento superficial.

$I$  = Agua que se infiltra.

$V$  = Evaporación.

### Diseño de Alcantarillados Pluviales.

Estimación de gastos y ocurrencia de la lluvia. - El problema fundamental a resolver, es el de conocer las aportaciones de las aguas de precipitación. Dicha aportación es factible de calcularse por varios medios:

1. - Fórmulas empíricas ( Burklin Ziegler ) o por algunos métodos reconocidos como:
2. - Método racional. - Basado en datos estadísticos.
3. - Método alemán. - Que es un método gráfico.

4. - El método axiomático, en que:  $K = ACi$ .

Donde:  $Q =$  Caudal o gasto de una área dada.

$A =$  Area drenada.

$C =$  Coeficiente de escurrimiento, que se define como sigue:

$$C = \frac{\text{Volumen que escurre}}{\text{Volumen llovido}}$$

En la Tabla I-II se da una serie de valores de C:

AREAS	C
Tabla I-II	
1. - Techos impermeables	0.70 - 0.95
2. - Pavimentos de asfalto en buen estado	0.85 - 0.90
3. - Pavimentos de empedrado o adoquines junteados con cementante	0.75 - 0.70
4. - Los mismos pero juntos sin cementante	0.50 - 0.70
5. - Pavimentos de macadam	0.25 - 0.60
6. - Pavimentos de grava	0.15 - 0.30
7. - Superficies sin pavimentar	0.10 - 0.30
8. - Parques, jardines, prados dependiendo de su pendiente y características del subsuelo	0.05 - 0.25
9. - Areas boscosas dependiendo de la pendiente y subsuelo	0.01 - 0.20
10. - Zona de la ciudad más densamente poblada o construida	0.70 - 0.90

C por zonas:

AREAS	C
1. - Zonas mercantiles	0.70 - 0.95
2. - Zonas comerciales	0.60 - 0.85
3. - Zonas industriales	0.55 - 0.80
4. - Zonas residenciales:	
a). - Departamentales	0.50 - 0.70
b). - Casas solas	0.25 - 0.60
5. - Parques	0.25
6. - Areas no desarrolladas.	0.05 - 0.25

La intensidad de lluvia se define como la rapidez de variación de la altura de lluvia respecto al tiempo.

$i = H(\text{altura}) / t(\text{tiempo}); i = \Delta h / \Delta t$  ; se expresa en cm/hora ó mm/hora

Las intensidades de lluvia se obtienen de un pluviografo; es éste un instrumento en el que cae el agua y al subir el nivel de ésta dentro de aquel, se va dibujando una gráfica mediante un mecanismo instalado en el pluviografo. Dicha gráfica recibe el nombre de "pluviograma". El pluviografo puede ser de flotador, de resorte o de pesada y basculante, según sea el mecanismo para graficar.

#### Cálculo de intensidades máximas en base a los pluviogramas.

Para el diseño, interesa conocer las máximas intensidades de lluvia, éstas pueden obtenerse de los pluviogramas. Las intensidades interesan para diseñar con diferentes periodos de tiempo, y los periodos recomendados para emplear, son de: 5 min. ; 10 min. ; 15 min. ; 20 min. ; 30 min. ; 45 min. ; 60 min. ; 80 min. ; 100 min. ; 120 min. ; 150 min. y 180 min.

Se tiene:

$i = H \cdot 60/t$  donde:

$i$  = intensidad en cm/hora ó mm./hora

$H$  = altura en cm. ó mm.

$t$  = tiempo en minutos.

Frecuencia de lluvias. - Una vez que se han determinado las intensidades máximas, interesa conocer la frecuencia con que se presentan los aguaceros de diferente duración.

Tiempo de concentración. - Es el tiempo que se le considera a una superficie, dado un punto de concentración de las aguas pluviales, para que toda el área aporte.

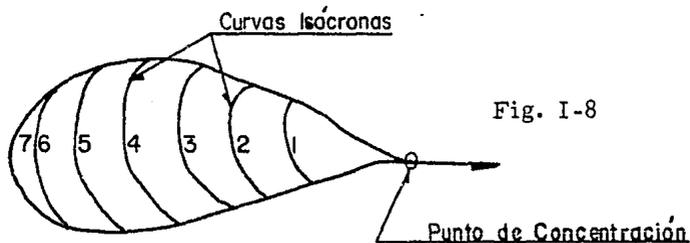


Fig. I-8

Tiempo de concentración = tiempo de entrada + tiempo de escurrimiento.  
Las curvas isócronas Fig. I-8 unen puntos de igual tiempo de concentración.

Tiempo de entrada. - Es el tiempo que tarda en establecerse el escurrimiento en el área por drenar. Sus valores son empíricos y van desde 3 minutos como mínimo, 15 min., 20 min. y en ocasiones de 30 min., --

dependiendo de la pendiente y permeabilidad del suelo.

Tiempo de escurrimiento. - Este se define como el cociente de la longitud del tubo entre la velocidad del agua, si escurriera lleno. El tiempo que tarda en llenarse el tubo, se llama tiempo de almacenamiento.

El escurrimiento se ve afectado también, por la forma del área por drenar. Sucede en ocasiones, que el gasto medio en una zona de aportación parcial, es mayor que cuando toda el área aporta. La explicación a éste fenómeno, estriba en que: el área de aportación crece al crecer el tiempo, en tanto que "i" (intensidad) varía inversamente proporcional a "t". Y entonces el producto  $A \cdot i$  puede ser máximo cuando  $A \leq A_{\max}$ .

Valores de "i". - De acuerdo con las características de la lluvia en la ciudad que sea objeto del estudio, se desprecian las de baja intensidad. Se puede usar la siguiente relación empírica:

$$i = 3 + \frac{45}{t}$$

Donde: i = intensidad mínima a ser considerada en cm./hora.

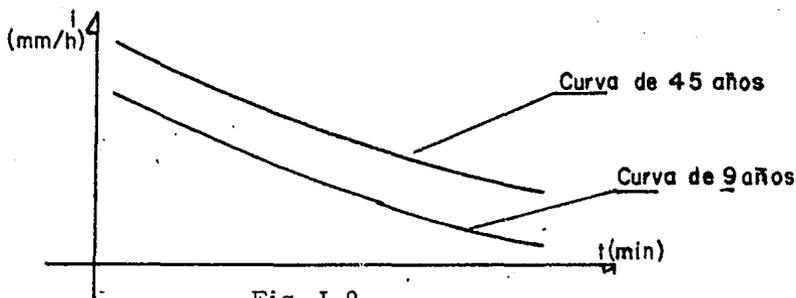
t = duración de la lluvia en minutos.

Con los datos que sobren, se puede hacer una tabla del número de lluvias para una intensidad y duración determinadas.

Si se fija una frecuencia, se pueden conocer los valores de la intensidad para los tiempos tabulados y tener la relación de duración-intensidad-frecuencia.

La gráfica de los datos "i" y "t" para cada intensidad, proporciona,

una familia de curvas de frecuencia. Figura I-9.



La máxima "i" corresponde a una lluvia que se presentó una sola vez en el período estudiado ( 45 años ).

La curva de 9 años tuvo una frecuencia de  $45/9 = 5$ ; 5 veces en 45 años.

Secuencia de cálculo para el diseño de un sistema de alcantarillado pluvial, con el método racional.

1o. - Se elegirá una curva de lluvias apropiada, dependiendo de la clasificación de la zona donde se haga la red, por ejemplo, una curva de lluvia de 5 ó 10 años, es adecuada para zonas residenciales, en una zona comercial, se usará una de mayor tiempo.

2o. - Calcular las áreas efectivas de aportación y tiempos de concentración de la atarjea más alejada hasta la primera interconexión.

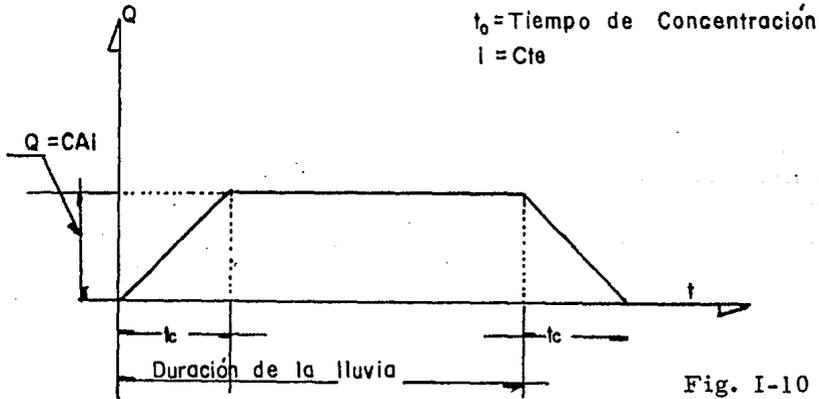
3o. - Hacer lo mismo que el punto 2, para las atarjeas concurrentes.

4o. - Calcular el gasto máximo en cada interconexión, como el producto

Si Ai tributarios a ella, por la intensidad debida al mayor tiempo de concentración, considerando todas las atarjeas concurrentes. Es posible que en esta forma, no se obtenga el máximo Q, pero es usual el método.

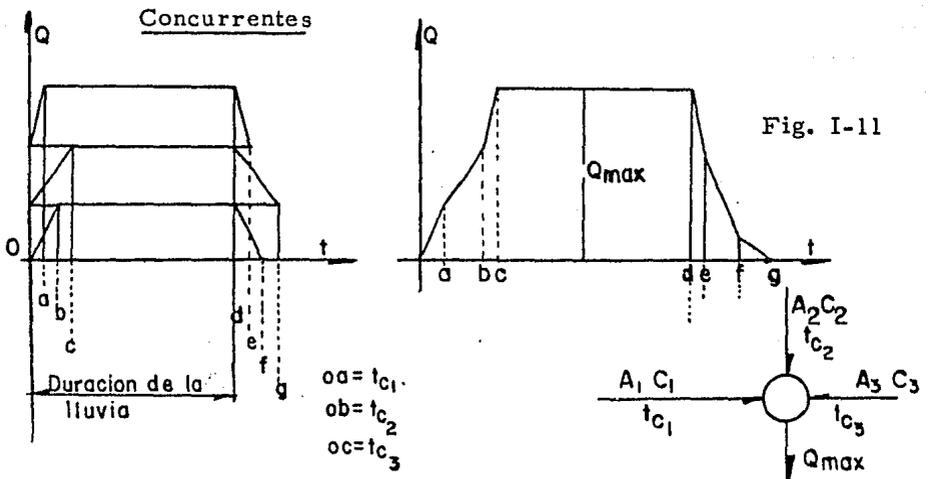
50. - Continuar en la misma forma aguas abajo.

Método gráfico. - La Figura I-10 representa el hidrograma del escurrimiento debido a un aguacero en un punto dado



En el presente método, se consideran dos posibilidades:

- 1) - Atarjeas concurrentes
- 2) Atarjeas consecutivas



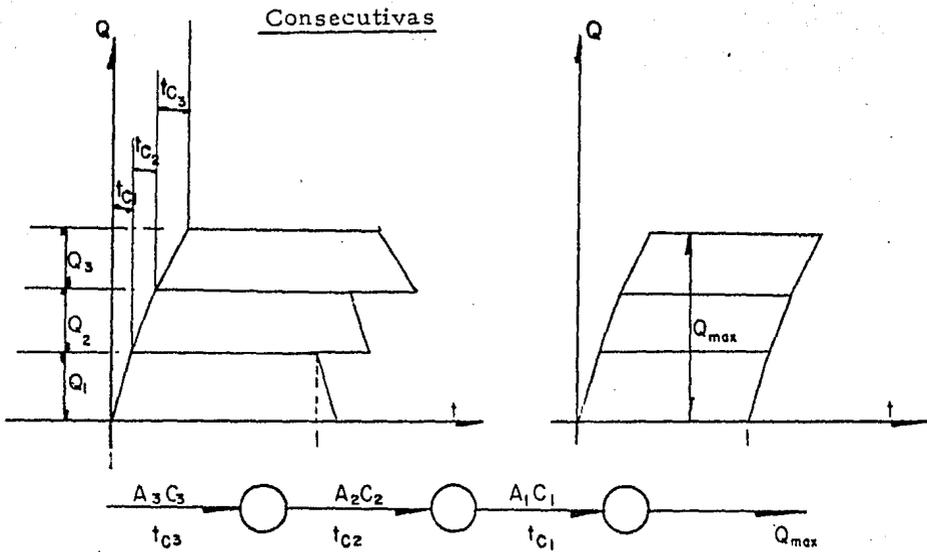


Fig. I-12

Para la aplicación de éste método, se deben considerar los 3 puntos siguientes:

1. - Deben determinarse tiempos de concentración para tramos independientes.
2. - Se supone a la lluvia la duración del promedio de los tiempos de concentración para toda la red. Y se desprecian los tiempos de concentración muy grandes.
3. - Una vez conocida la duración de la lluvia, se calcula "i", con las curvas, ó la ecuación correspondiente.

Fórmulas empíricas. - Además del método gráfico, existen fórmulas empíricas que pretenden calcular un  $Q_{max}$ . con exactitud. Las fórmulas - se han desarrollado para zonas en especial y por tanto son diferentes, -

sin embargo casi todas son de la forma:

$$Q = CA^x iS^y$$

Donde: Q = gasto máximo

S = pendiente superficial promedio del área drenada, a lo largo de la tubería, en milésimas.

x, y Son exponentes que varían para cada zona en particular.

#### Trazo de alcantarillados pluviales.

Los sistemas pluviales de alcantarillado, no se trazan por todas las calles y se puede pensar en descargar esas aguas, en algunos sitios, que sería prohibitivo en el caso de aguas negras. Con ello, se obtienen estos sistemas menos extensos que los mixtos o combinados y los sanitarios. En su trazo, debe considerarse primordialmente, el sentido del escurrimiento superficial, evitando siempre que se pueda el bombeo.

Para el trazo de éstos alcantarillados, se toman como base los siguientes pasos:

Primer paso. - Localización de tuberías. - Se hará de tal modo que permita recolectar el agua de las coladeras.

Segundo paso: Localización y tipo de coladeras pluviales. - Se hará de tal forma que el agua no cruce ninguna calle ó acera para llegar a una coladera, por ello, éstas se instalan en esquinas e intersecciones y a distancias que no provoquen sobrecarga de acuerdo a su capacidad.

Se usan en general los siguientes tipos de coladera:

Coladeras de banqueta, usadas en calles con pendiente menor del 2%.

Coladeras de piso y banqueta. Se usan en calles con pendiente entre 2 y 5%.

Coladeras de piso. Se usan en calles con pendiente mayor de 5%.

Tercer paso: Determinación de gastos máximos en las tuberías, en base a los escurrimientos superficiales. Para ésto se dibujarán las áreas tributarias a cada tramo, siendo una forma aceptable de hacerlo, el dividir lo -- más simetricamente posible, pero las líneas de división serán marcadas por la pendiente del pavimento, patios pavimentados, etc.

Es muy probable que en una área tributaria, existan zonas de diferente - C; se puede tomar una C obtenida de un promedio ponderado:

$$C = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i}$$

Con A y C conocidas, se pueden determinar tiempos de concentración, si se emplean los métodos racional o gráfico; ó la pendiente para usarse en las fórmulas empíricas.

Cuarto paso: Cálculo de diámetros y pendiente. - La forma de determinar los, se muestra en el caso de alcantarillados sanitarios en éste mismo - Capítulo y su cálculo es en forma similar.

### ALCANTARILLADOS SANITARIOS.

Este tipo de alcantarillado tiene como función conducir aguas negras.

Estos sistemas, conducen aguas residuales de los abastecimientos pú- blicos y privados, desechos industriales y aguas freaticas que se - -

infiltran.

Se basa principalmente el diseño de estos alcantarillados, en la cantidad de aguas negras que pueda aportar la zona. El gasto de aguas negras es variable y las principales causas son:

1. - Período de diseño. - Varían en general de 30 a 50 años.
2. - Aumento probable de la población, así como del área durante el período de vida útil del sistema.
3. - Gasto estimado de agua utilizada en usos domésticos e industriales, tanto de abastecimientos públicos como privados.

La cantidad de aguas negras, debe ser una función del abastecimiento. El agua suministrada a la población por los sistemas de abastecimiento se llama dotación y se expresa en lts. /ha /día. Se puede considerar -- que las aportaciones al alcantarillado sanitario, son del orden del 70 - al 80% de las dotaciones.

4. - Agua de infiltración y fugas. - Estos dos aspectos son problemáticos pues no es deseable la existencia de ninguno de ellos. Las infiltraciones, disminuyen la capacidad de los tubos para su fin principal y las fugas, - por conducirse aguas negras, son foco de infección, que deben evitarse.

La cantidad de agua de infiltración, es función de:

- a). - El cuidado con que se haga la construcción; calidad del acabado de juntas.

- b). - El tipo de suelo.
- c). - El nivel del agua freática.
- d). - Dimensiones de las atarjeas.

Las aportaciones por infiltración, se pueden expresar en:

lts./día / Ha; lts./km. / día ;

En la ciudad de México las aportaciones por infiltración varían de 15 a 40 m<sup>3</sup>/Km./día.

Variación de las aportaciones. - Las aportaciones de las poblaciones a los alcantarillados, varían con las estaciones del año, el día y la hora. Los valores máximo y mínimo de las aportaciones, se requieren para el diseño, de tal forma que no se asolve el sistema con el Q mín. y sea capaz de conducir el Q máx.

Existen ecuaciones para determinar los Q máx. En general se expresan los Q máx. y Q mín. en función del Q medio. Las ecuaciones más conocidas son:

La de Babbit; Q máx. es = M Q medio.

$M = 5\bar{q}/p^{0.2}$  Donde: p = población en miles

q = gasto medio

Esta fórmula es aplicable sólo para  $1 \leq p \leq 1000$ .

$$\text{La de Harmon: } Q = q \frac{18 + \sqrt{p}}{4 + \sqrt{p}}$$

Esta fórmula no tiene limitaciones.

Otras expresiones que se usan comunmente son:

$$Q \text{ máx diario} = 2 \times q \text{ medio diario}$$

$$Q \text{ máx horario} = 1.5 \text{ } Q \text{ máx diario}$$

$$Q \text{ máx horario} = 3 \text{ } q \text{ medio diario}$$

$$Q \text{ mín diario} = (2/3) \text{ } q \text{ medio diario}$$

$$Q \text{ mín horario} = (1/2) \text{ } Q \text{ min diario}$$

$$Q \text{ mín horario} = (1/3) \text{ } Q \text{ medio diario}$$

Las relaciones de gasto mínimo y máximo al gasto medio en zonas industriales y residenciales, varía mucho, por ello debe tomarse en consideración experiencias anteriores para su determinación.

#### Trazo de los Sistemas. -

Primero se toma un plan general, de acuerdo a las necesidades, se determina así en forma primera la colocación de colectores, interceptores y emisor. Se hacen varias alternativas procurando tener un solo emisor y teniendo especial cuidado en el sitio de disposición de las aguas.

- Las atarjeas y sub-colectores, se trazan tomando como punto muy importante, el sentido del escurrimiento superficial.

Se colocan en el eje de la calle y si ésta es muy ancha, se tiran dos líneas, evitándose en lo posible, desvíos mayores de  $90^{\circ}$ ; éstos deben evitarse en tuberías menores de 0.76 m. siempre que sea factible hacerlo.

- Se colocarán pozos de visita en los cambios de dirección, pendiente, elevación o tamaño de tuberías, en las cabezas de atarjea e intersecciones con otras tuberías o ejes de calles. Se colocarán los pozos de visita a una distancia de 0.9 m. a 1.5 m. en tuberías menores de 0.76 m. En tuberías mayores, se pueden alejar, y en tubos mayores de 1.52 m. se pueden eliminar los pozos.

La profundidad a que se instalen las tuberías es un aspecto importante. Sobre una atarjea y hasta la superficie, debe proporcionarse un colchón de relleno y cuando se pueda, seguirá la tubería una pendiente similar a la superficial. Las velocidades de escurrimiento en las tuberías, deben ser tales que no se presente sedimentación de lodos y cuerpos en general.

Cuando una calle tiene una pendiente muy pequeña, al seguir esta in-clinación la tubería, pueden presentarse velocidades muy bajas, en tal caso, se dará a la tubería la pendiente necesaria para dar al agua la velocidad mínima, que es del orden de 0.30 m/seg. correspondien

do a época de mínimo escurrimiento, lo cual provocará un tubo trabajando 17% lleno, así cuando el tubo trabaja lleno, las velocidades son del orden del doble. Es recomendable que al principio de una atarjea, se de al agua una velocidad mayor de la mínima, pues en esta zona la aportación es muy poca y el tubo no trabaja a 17% lleno. Hay valores máximos tope, para evitar erosiones; esta velocidad es de 3 m/s. para aguas negras y 12 m/s. para aguas pluviales.

Quando la pendiente de una calle es demasiado fuerte, daría velocidades fuera de lo permitido; en este caso, se dará a la tubería la pendiente máxima permisible y se pondrán tantos pozos de caída como sea necesario.

Si se da a una tubería una velocidad mayor de la crítica, se pueden presentar fenómenos hidráulicos de escurrimiento no uniforme. A continuación se presenta la Tabla I-III, para diferentes tamaños de tubería y proporcionando la pendiente mínima, que se les debe dar para que trabajen con una velocidad  $V = 0.60$  m/s, cuando trabajen a tubo lleno. Se proporcionan dos valores de la pendiente, obtenidas con las fórmulas de Manning y de Chezy/Kutter respectivamente.

Diámetro	Pendiente	
	Manning	Chezy-Kutter
20 cm _____	0.0033 _____	0.0041 _____
25 _____	0.0025 _____	0.0028 _____
30 _____	0.0019 _____	0.0022 _____
38 _____	0.0014 _____	0.0016 _____
45 _____	0.0011 _____	0.0012 _____
60 _____	0.00077 _____	0.00080 _____
76 _____	0.00057 _____	0.00059 _____
91 _____	0.00043 _____	0.00045 _____

TABLA I- III

La fórmula de Manning usada es:

$$V = \frac{1}{n} r^{2/3} S^{1/2} \quad S = \frac{V^2 n^2}{r^{4/3}}$$

Donde: S = pendiente

V = velocidad

n = coeficiente de Manning

r = radio hidráulico

Se usó n = 0.013

Fórmula de Chezy-Kutter:  $S = V^2 / C^2 r$

Donde: S = pendiente

r = radio hidráulico

V = velocidad

C = coeficiente de Chezy-Kutter

-- Las tuberías de los alcantarillados, deberán situarse de tal manera que coincidieran los tirantes normales de los gastos de diseño. Sin embargo para aplicarse en la práctica, se dan las siguientes reglas generales:

1. - Cuando se une una tubería menor de 60 cm. con otra también menor de 60 cm., debe unirse plantilla con plantilla.
2. - Cuando sean tuberías menores de 60 cm. con tuberías mayores de éste diametro, se unirán clave con clave ó eje con eje.
3. - Al unir dos tuberías mayores de 60 cm. debe hacerse la unión juntando eje con eje, ó clave con clave. ( Fig. I-13 ).

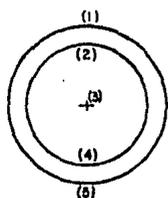
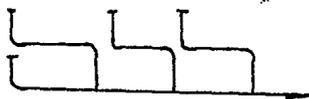


Fig. I-13

- (1) lomo
- (2) clave
- (3) centro
- (4) plantilla
- (5) base

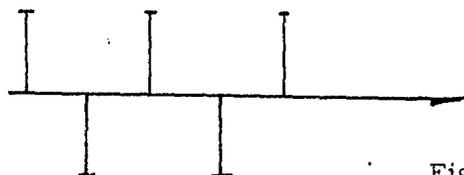
Todas las uniones antes mencionadas, se pueden presentar. Los trazos de atarjeas más comunes se muestran a continuación: (Fig. I-14).



Balloneta



Peine sencillo



Peine doble

Fig. I-14

### Cálculo y Planos.

Para hacer el cálculo de los gastos puede, habiéndose hecho una división de la población por zonas, considerarse que ésta está distribuida uniforme y proporcionalmente a lo largo de la red. Este método es -- muy empleado.

Otra manera de hacerlo es considerar áreas drenadas y hacer la misma consideración anterior.

Si se usa el primer criterio citado, se tiene:

$$\text{Densidad Lineal} = \frac{\text{Población}}{\text{Longitud de la Red}}$$

y en ésta forma se estima la población tributaria, en cualquier punto de la red.

La aportación por metro lineal de tubería, se llama "Aportación Espe- cífica" y es útil para determinar los gastos en cualquier lugar de la red.

$$\text{Aportación Específica} = \frac{\text{Aportación total de la zona}}{\Sigma L}$$

El cálculo propiamente dicho de gastos y tuberías, es un trabajo bastan- te laborioso, para desarrollarlo de la mejor manera, se elabora una ta- -- bla que se explica en forma simplificada a continuación.

Los datos que corresponden al pozo, tendrán (P) y los correspondientes

al tramo entre dos pozos, se indicará con (IP).

Los datos indicados en el renglón del número del pozo corresponden a los del cruce; y los anotados en el renglón intermedio a dos pozos, corresponden al tramo.

Columna 1. - Nombre de la calle donde se localiza el tramo. ( IP ).

Columna 2. - Nombre de las calles donde principia y termina el tramo. ( P ).

Columna 3. - Número del pozo. ( P ).

Columna 4. - Longitud del tramo entre dos pozos. ( IP ).

Columna 5. - Longitud de las tuberías que descargan en el pozo. ( P ).

Columna 6. - Longitud total de tuberías que deben considerarse para el cálculo de un tramo = longitud tributaria en el pozo aguas arriba más longitud del tramo. ( IP ).

Columna 7. - Población tributaria en el tramo = columna (6) por densidad lineal ( IP ).

Columna 8. - Gasto medio = columna (6) por aportación especial.

Columna 9. - El Q máx. = Q medio por el coeficiente de variación, ( Harmon, Babbit, etc.). Se usa en ese caso la columna (7). ( IP ).

Columna 10. - El gasto de infiltración se estima y se multiplica por la columna (6). Esta columna puede no existir ó indicarse en la columna (9), usando un coeficiente adecuado ( IP ).

Columna 11. - Gastos significativos de residuos industriales ( IP ).

Columna 12. - Suma de las columnas (9), (10) y (11). (IP).

Columna 13. -  $Q \text{ mín.} = \frac{\text{Columna (8)}}{\text{Coef. de variación}} + \text{Columna (10)} + Q \text{ mínimo de residuos industriales. (IP)}$ .

Columna 14. - Cotas del terreno en los pozos de visita ( P ).

Columna 15 - Cotas de la plantilla de la tubería en los pozos de visita  
( P ).

Columna 16 - S =  $\frac{\text{Diferencia de Nivel entre dos pozos}}{\text{Longitud del Tramo.}}$

Columna 17 - Cálculo del diámetro con la fórmula de Manning y su factor de sección, así como la gráfica respectiva, ó con el nomograma de Hazen-Williams. (IP). Figuras I-15 y I-16.

Columna 18 - Con el diámetro comercial n y S se calcula el Q a tubo lleno. (IP).

Columna 19. - Con el diámetro comercial n y S se calcula la velocidad a tubo lleno. (IP).

Columna 20. -  $\frac{\text{Columna (12)}}{\text{Columna (18)}}$  (IP)

Columna 21. -  $\frac{\text{Columna (13)}}{\text{Columna (18)}}$  (IP)

Columna 22 y 23. - Con los datos de las columnas (20) y (21) se pueden hallar las relaciones de  $\frac{V \text{ máx}}{V (19)}$

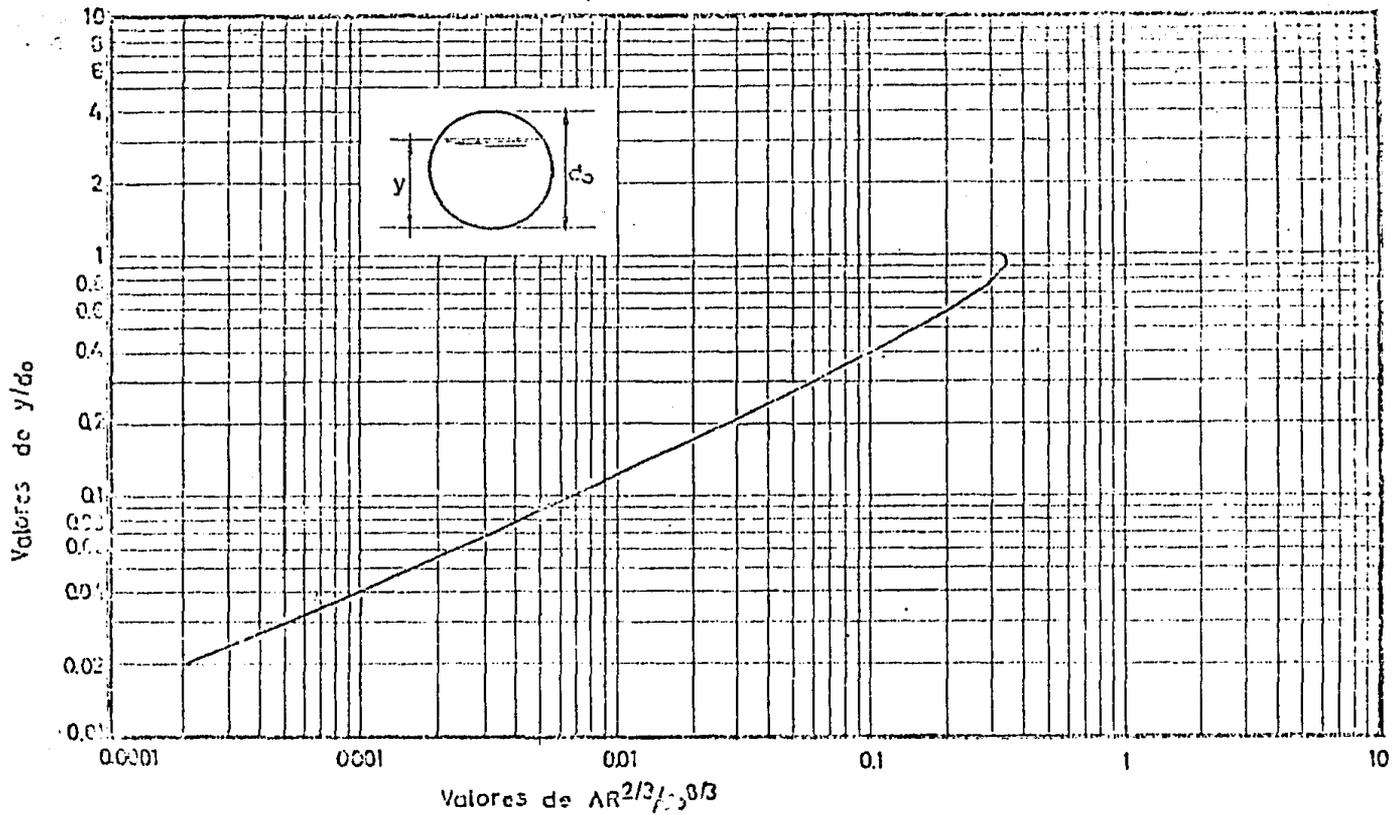
y de  $\frac{V \text{ mín}}{V (19)}$  Cálculos que son útiles para revisar el diseño (IP).

Columna 24 - Columna (14) - columna (15) + espesor del tubo + espesor de la cama (P).

Columna 25. - Promedio de dos valores consecutivos de la columna (24) (IP)

Columna 26. - Ancho de la zanja, de acuerdo con el diámetro del tubo y ripo de terreno (IP).

Columna 27. - Columna (25) por columna (26). (IP).

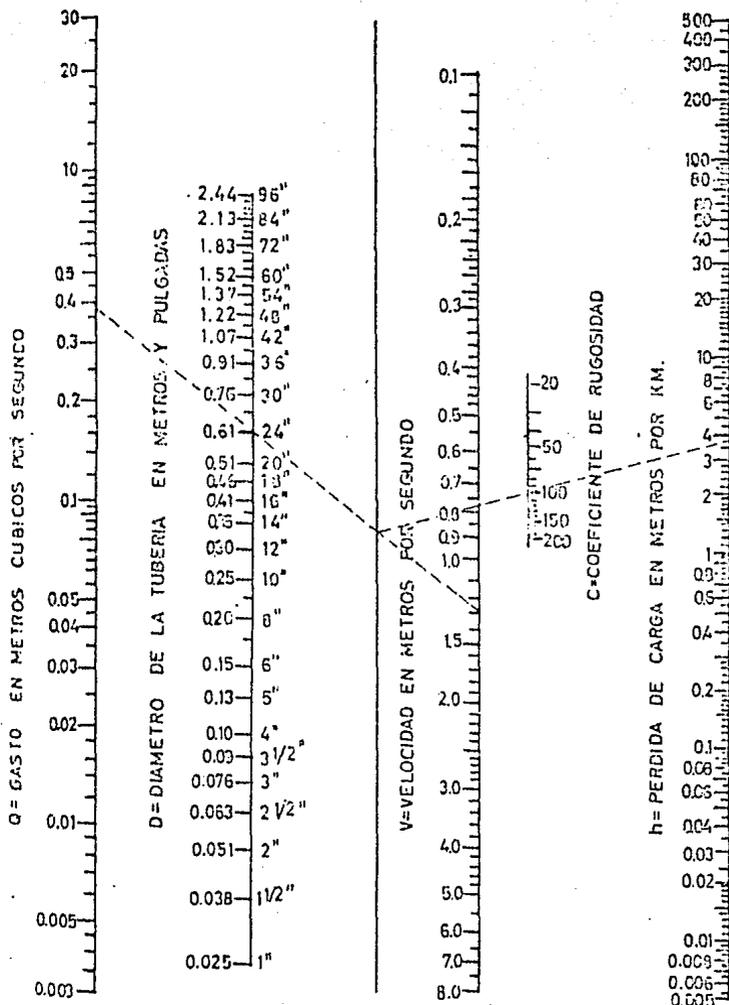


CURVA PARA DETERMINAR EL TIRANTE NORMAL

Figura I-15

NOMOGRAMA DE HAZEN WILLIAMS

PARA CALCULO DE TUBERIAS .



VALORES DE C :

ACERO SIN COSTURA	110
ACERO REMACHADO	90
FIERRO FUNDIDO	100
ASBESTO CEMENTO	149
CONCRETO (FABRICA)	130
PLASTICO	150

Figura I-16

### Sistema de Alcantarillado Mixto ó Combinado.

Cuando se usa un alcantarillado combinado, teóricamente debe éste, tener capacidad suficiente para conducir simultáneamente, el gasto máximo de aguas negras más residuos industriales y el de agua de lluvia.

El agua pluvial que debe conducirse por un sistema de alcantarillado, es mucho mayor que el volumen de aguas negras y es por ésta razón, que al hacerse el diseño de un sistema mixto, se procede en forma similar a como se hace en el caso de alcantarillados pluviales, considerando las aportaciones industriales. De esta manera el volumen de aguas negras variará muy poco o nada, los diámetros de tubos elegidos para las condiciones antes citadas.

Es un aspecto importante de considerar, el funcionamiento de éstos sistemas en tiempo de estiaje. Estos pequeños gastos influyen en ocasiones para elegir el tipo de conductos.

## CAPITULO II

### GENERALIDADES SOBRE TUNELES.

#### NOTA HISTORICA.

La existencia de los túneles es muy antigua; el hombre empezó a hacer cavidades en el terreno desde la época prehistórica. Hacía las perforaciones con el fin de tener un lugar para protegerse de las inclemencias del tiempo y de los animales.

Hay evidencias arqueológicas de la existencia de obras subterráneas - de finales de la edad de piedra, cuando se empezaron a hacer los descubrimientos metalúrgicos.

De acuerdo con la información actual, la estructura subterránea más anti

gua que se haya construido con el fin de servir como una comunicación, es un túnel construido hace aproximadamente 4,000 años en Babilonia, comunicaba el palacio Royal con el templo de Jové, tenía una longitud de 1 Km. y una sección transversal de 3.6 m. X 4.50 m.

La sección del túnel fue cubierta con una bóveda de arco y fué recubierto con enladrillado, junteado con mortero bituminoso.

Para la ejecución de la obra, se desvió el cauce del río Eufrates. (Cuando se construyó este túnel, los babilónicos ya habían hecho obras de este tipo.)

Para percatarse de la importancia de esta construcción, cabe mencionar que la siguiente obra de este tipo, fué hecha en el año de 1843 en Londres, bajo el río Thames.

Después del túnel de los babilónicos, se construyeron muchos más, algunos de ellos, con fines principalmente militares, se hicieron también minas subterráneas.

Se han encontrado túneles milenarios, en los templos y tumbas egipcios. En la India, en Perú y en México se han encontrado también túneles muy antiguos.

En el año de 1400, se construyó un túnel en la mina Biber en Selmecbánya, Hungría, con una longitud de 5.6 km. siendo esta obra el más importante proyecto de túnel en su tiempo.

Posteriormente, durante el siglo XVI se desarrolló más la construcción de túneles para navegación.

La pólvora empezó a usarse en este tipo de obras, aproximadamente en el año de 1769 en Francia. Antes de este tiempo, se empleaban herramientas manuales para fracturar la roca.

Hacia el año 1556 se publicó una obra referente a túneles, su autor fué el alemán Georg Bauer, el título de la obra es, en latín, "De Re Metallica". Esta obra fué considerada como la mejor durante unos 300 años - en lo referente a túneles, minas y metalurgia.

El entusiasmo por la construcción de túneles, se vió aumentado con el advenimiento de los ferrocarriles, para los que representaba un problema difícil de solucionar, los accidentes del terreno, debido a su limitación en cuanto a pendiente.

El primer túnel para un ferrocarril movido por vapor, fué construido entre 1826 y 1829 en Inglaterra, en la línea Liverpool - Manchester.

El ferrocarril adquirió gran demanda y se pensó en aumentar y ampliar sus líneas, lo cual involucraba la construcción de nuevos túneles.

Al haber necesidad de construir más conductos subterráneos, se fueron mejorando los métodos y equipos de excavación y puestos en operación - otros nuevos.

En esta misma época, en el año de 1857, se introdujo el uso de la perforadora hidráulica en el túnel Mont Cenis. Posteriormente fué reemplazada por la perforadora neumática que fué usada por G. Sommelier. - Además en este tiempo, hacia el año de 1866, fué inventada la dinamita

por el químico sueco Alfred Bernhard Nobel.

Conjuntamente con los métodos constructivos se desarrollaron las teorías de presiones de roca, análisis estructural y diseño de revestimientos.

Todo lo cual constituyó progresos importantes para la construcción de este tipo de obras.

Posteriormente en el período de 1918 a 1934, se hizo en Japón el túnel Tanna, de 8.0 Km. de longitud. Durante la construcción de esta obra se presentaron problemas muy especiales. Se tenían los frentes constantemente inundados, el agua fluía con una carga hidráulica de 200.00 metros y a una temperatura de  $31^{\circ}$  C. El revestimiento final es en algunos lugares de 2.00 m. de espesor.

La experiencia acumulada en la construcción de estas obras, ha sido empleada atinadamente en nuevos túneles. Los problemas que se han presentado en los túneles recientes para la conducción de agua, están relacionados con el diseño de revestimientos.

Al crecer grandemente el tránsito en las calles de las ciudades y debido a la gran rapidez de la vida urbana, se vió un aumento en la demanda de túneles para vehículos, ferrocarriles, conducción de agua y otros servicios públicos, lo que ha propiciado el desarrollo y perfeccionamiento de métodos constructivos, así como el uso de nuevos materiales para -

responder a esa demanda.

La rapidez de construcción de los túneles hasta ahora obtenida, puede superarse en lo futuro, mediante el uso de maquinaria moderna, empleada adecuadamente y sustituyendo métodos convencionales de excavación, por procedimientos como el del escudo, del cual se habla más adelante en el presente capítulo, que permite aprovechar de manera eficiente, los equipos mecánicos.

Las obras de túnel que se han realizado, hacen patentes los beneficios que éstas representan. Lo cual ha provocado que haya una tendencia en la actualidad a incrementar la realización de este tipo de obras.

En la actualidad se ve que la construcción de estructuras subterráneas está principalmente interesada en túneles para carreteras de alta velocidad, ferrocarriles subterráneos, túneles para conducción de agua, túneles de presión en plantas hidroeléctricas, en algunos países para la protección de bombardeos y servicios públicos en general.

Entre las estructuras subterráneas más importantes que se han construido, existen tiendas, estacionamientos, varios tipos de carreteras, ferrocarriles, etc., etc.

#### CONSIDERACIONES GENERALES.

Según las necesidades y la función que vaya a tener un túnel, se tienen lineamientos generales para considerar una probable localización de la obra.

Al hacerse el trazo de un túnel, se procura siempre que éste sea de la menor longitud y se halle lo más superficial posible.

Si una línea recta puede ser la trayectoria, además de ser la distancia menor entre los puntos que une, presenta la construcción menos problemas que si se tuviera curvatura. Esta situación es siempre deseable; sin embargo muy frecuentemente el trazo no puede ser así. En el caso particular de los túneles para ferrocarriles y carreteras, se presenta a menudo el problema de resultar una pendiente demasiado grande si el túnel tiene poco desarrollo. Esto puede resolverse solamente dando mayor longitud en la medida que sea necesario para que la pendiente resultante sea de un valor admisible. Este aumento de longitud se logra dando curvatura al túnel. Por este motivo se han construido obras de este tipo, que forman un rizo completo.

#### JUSTIFICACION ECONOMICA.

Cuando se construye un túnel, antes de decidir su ejecución, se deben valorar las ventajas que representa su elaboración, y compararlas con las de otra construcción de diferente naturaleza que pudiera realizarse en su lugar.

Actualmente la construcción de un túnel, es siempre precedida de un análisis económico que justifique su elaboración y la elección del método constructivo que se quiera seguir. Estas obras son siempre costosas y por ello es tan importante el estudio económico en un trabajo

de ésta índole.

El elevado costo de la construcción de los túneles, se justifica en ocasiones por la disminución de distancias y bajos costos de operación.

Hay ocasiones en que se elige la construcción de una obra subterránea, porque evita muchos problemas que se presentarían en el caso de ser la obra en superficie; tal es el caso de las grandes ciudades.

#### ESTUDIOS PREVIOS.

La construcción de un túnel requiere de trabajos previos a la ejecución de la obra. Después de que se ha hecho el trazo, deben hacerse estudios geológicos, mediante los cuales se obtengan datos que den elementos suficientes de juicio para aceptar o modificar dicha localización.

Las características geológicas de un terreno, afectan las consideraciones de carga sobre el túnel y el método constructivo que deba elegirse. Los estudios geológicos previos, pueden ser auxiliados mucho con planos geológicos de la zona, donde deba construirse una estructura subterránea, son de gran utilidad los reportes y datos en general que pudiera haber si se han hecho antes exploraciones geológicas próximas a la zona de interés. Los métodos de interpretación de fotografías aéreas, proporcionan datos importantes en zonas amplias; la experiencia de las personas que ejecuten estos trabajos, es un factor muy importante que contribuye al éxito de los estudios.

Las características geológicas detalladas de una zona, no se pueden obtener mejor que con exploraciones y sondeos.

En el caso de los túneles es siempre recomendable incluir en los estudios preliminares, sondeos. Estos no siempre se ejecutan exactamente sobre el eje del trazo, porque puede ocasionar problemas en especial, cuando el terreno es permeable, pues se provoca una zona de drenaje, produciéndose la saturación del terreno, lo cual dificultará el trabajo en éste lugar cuando se cruce por ahí construyendo la obra.

Los pozos construidos para sondeos sirven en ocasiones durante la construcción para dar ventilación o para ejecutar la obra.

Los portales (puntos de inicio y terminación del túnel), son lugares que presentan problemas especiales. Desde éstos y los pozos construidos se hacen algunas veces pequeños túneles piloto, para obtener datos de las características del terreno. En algunos métodos constructivos, se realizan éstos túneles piloto durante la excavación de la obra en sí.

### SECCION TRANSVERSAL.

La elección de la sección de un túnel, es un punto importante que se ve afectado para su determinación, tanto de las funciones que deba desempeñar la estructura, como de las condiciones que la rodean.

- Un punto importante que influye, es el gálibo que deba proporcionarse.
- Afecta también la forma de la sección transversal los esfuerzos que soportará la estructura, el contenido de humedad y las presiones del te-

rreno.

- Los túneles deben siempre revestirse, sólo en el caso de que el terreno esté constituido por roca sana, no se requiere esta protección, pero aún en éstos casos se reviste la estructura para evitar pérdidas por rugosidad excesiva. El material de que se haga el revestimiento contribuye también a escoger una sección determinada. Las cargas interiores son elementos que deben considerarse además de los mencionados.
- El método de construcción es un factor que hace pensar en determinadas secciones, para que la realización de la obra se facilite.

A continuación se muestran algunas secciones transversales típicas de los túneles para diferentes funciones:

#### Túneles para conducción de agua.

Las alcantarillas que tienen casi siempre una pendiente pequeña y deben construirse de forma tal que se puedan inspeccionar, se hacen con frecuencia con una sección como la que se muestra en la Figura II-1. En los acueductos y galerías hidráulicas es común que se emplee la forma circular que presenta algunas ventajas, como son: el ser la forma que da menos pérdidas por rozamiento, tiene la máxima resistencia a los empujes del terreno y es la forma económica. Se usan también otras secciones, como las mostradas en las Figuras II-2 y II-3.

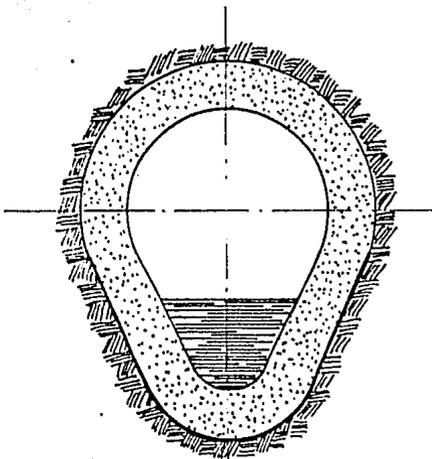


Fig. II-1

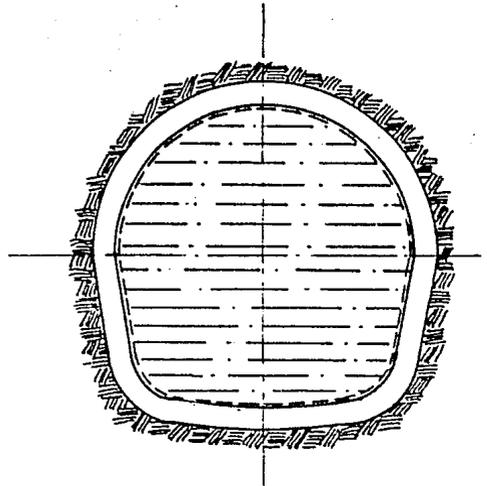


Fig. II-2

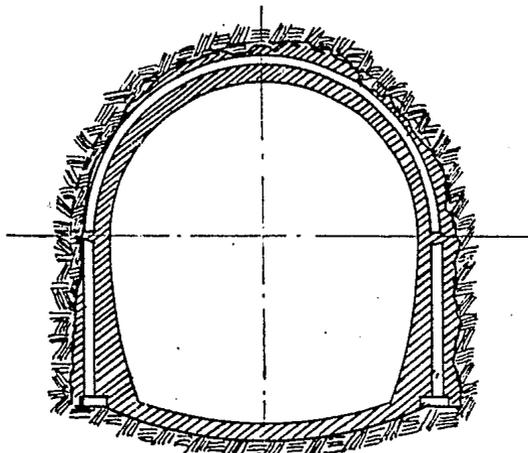


Fig. II-3

**SECCIONES**

**TIPICAS.**

La forma de herradura se usa en ocasiones por la gran comodidad que representa durante la construcción. A veces durante la excavación se emplea esta sección y después, al hacer el revestimiento final, se le da la forma circular. Tal es el caso del Emisor Central.

#### Túneles para vías férreas.

Para las vías férreas, se usan diferentes secciones, según el tipo de vía y de terreno. Las secciones pueden semejarse a las indicadas en las figuras II-4 II-5 y II-6 , dependiendo de la calidad del terreno. Cuando el túnel es profundo se hace en ocasiones dos conductos circulares paralelos, Figura II-7 .

#### Túneles para navegación.

Los túneles para navegación interior, son generalmente grandes y su forma típica, es la que se muestra en la figura II- 8 .

#### Túneles para peatones y conducción de ductos, tuberías, etc.

Estos túneles se construyen generalmente de sección transversal rectangular o circular, siendo esto función de si se localizan cercanos o no a la superficie, o si se hallan bajo el cause de algún río. Las secciones más comunes son como las de las figuras II-9 y II- 10 .

#### Túneles para carreteras.

Para éste objeto, se han adoptado muchas formas de sección transversal. En general, cuando son de una sola vía, son más amplios que los de ferrocarril, y cuando son de dos ó más vías de circulación, se ensancha, dándoles un perfil aplanado. Las secciones aplanadas son más comunes cuando

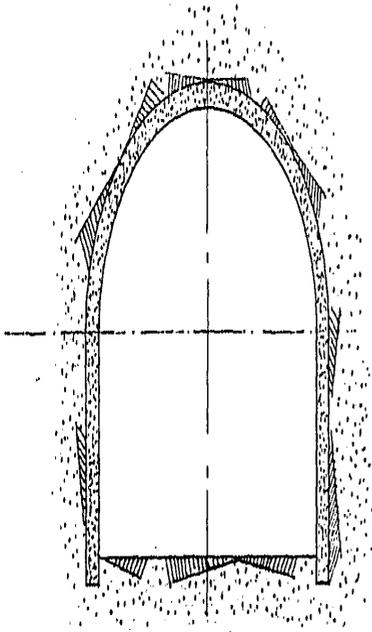


Fig. II.4 Terreno Bueno

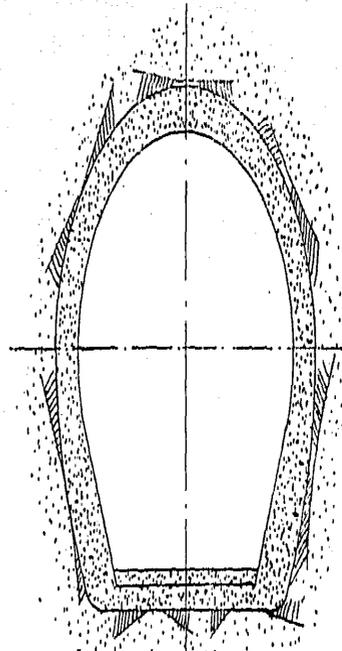


Fig. II.5 Terreno Medio

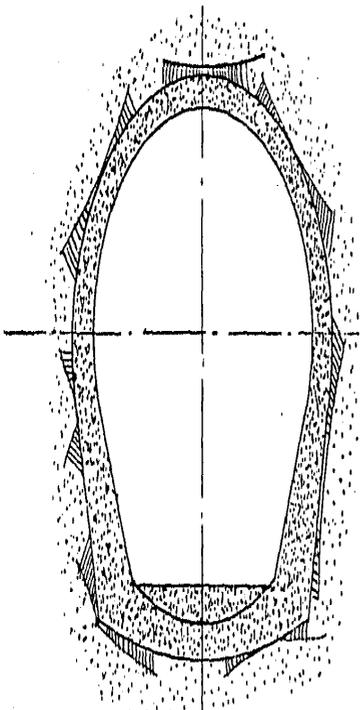


Fig. II.6 Terreno Malo

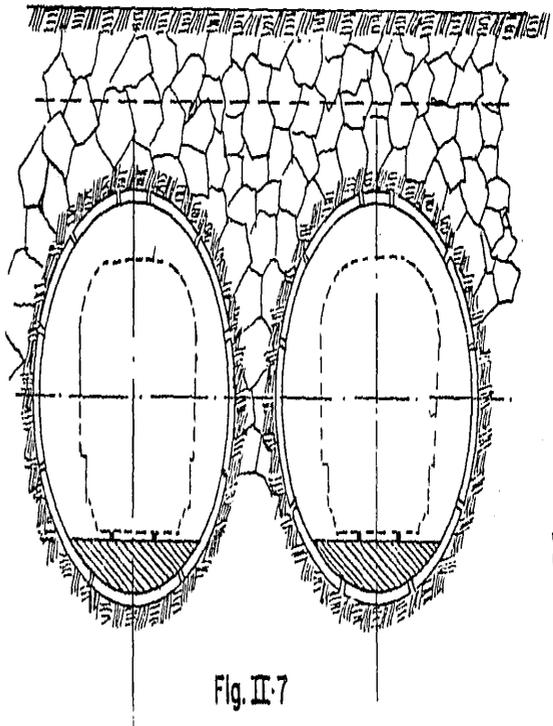


Fig. II.7

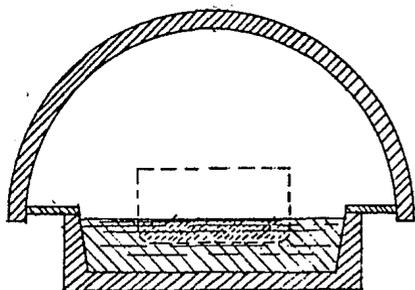


Fig. II-8

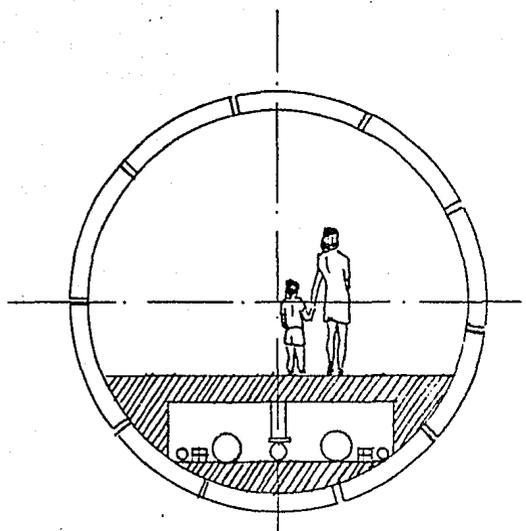


Fig. II-9

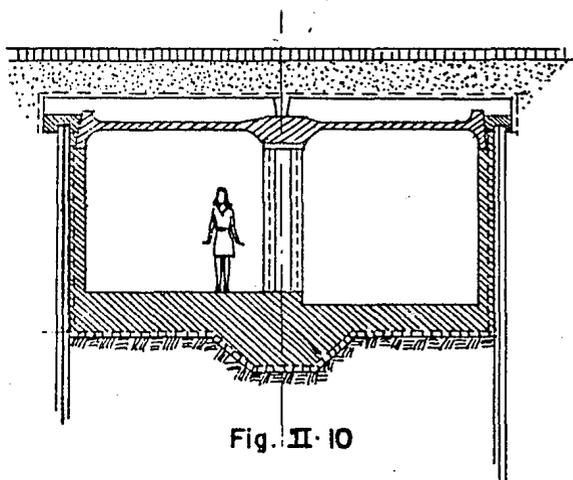


Fig. II-10

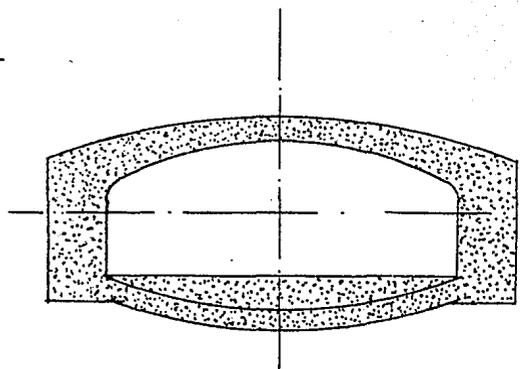


Fig. II-11

el túnel está en las ciudades. Figura II-11.

Hay túneles para vehículos que se han construido bajo de algún río y éstos tienen en general sección circular. La razón de ésta sección, es - - porque en los materiales de que está constituido el terreno bajo los ríos, se usa frecuentemente el método de escudo para la excavación del conducto. También se han hecho túneles de éste tipo con sección aplanada, generalmente cuando para su construcción se han empleado elementos prefabricados. Figura II-12 . En éste tipo de estructuras, es importante tener una buena iluminación, dada la función que se le ha destinado.

#### Ventilación.

La ventilación durante la construcción de la obra, es un problema que se trata en el presente trabajo en los Capítulos III y IV, pero ya en operación este problema es especialmente importante en el caso de túneles para ferrocarriles ó carreteras y aún más crítico en este último, donde se debe limitar el contenido de oxido de carbono (CO) en el ambiente.

En la gráfica II-1 se indica el efecto que las concentraciones de CO causan al organismo humano.

La ventilación se puede lograr de una manera natural, en el caso de conductos cortos con diferencia de nivel entre sus extremos. En el caso de estructuras de mayor desarrollo, se ha resuelto este problema mediante la instalación de ventiladores o extractores de aire.

Para lograr la ventilación que se puede llamar transversal se han dispues

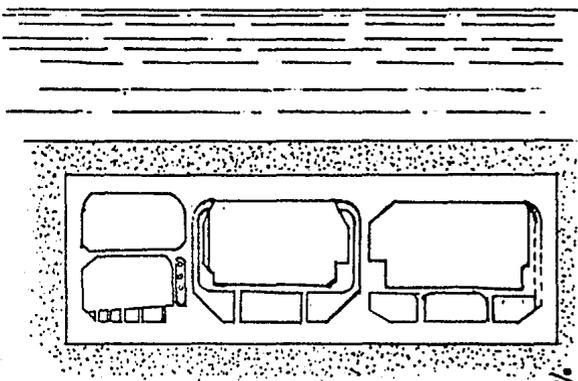
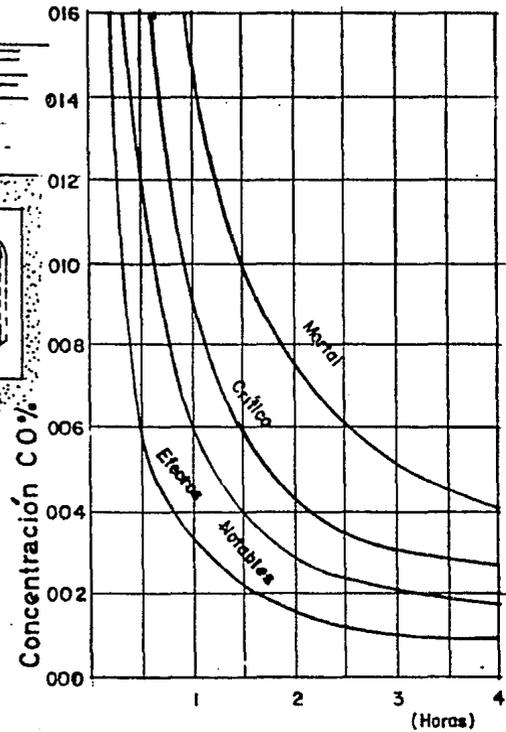


Fig. II-12



Gráfica II-I

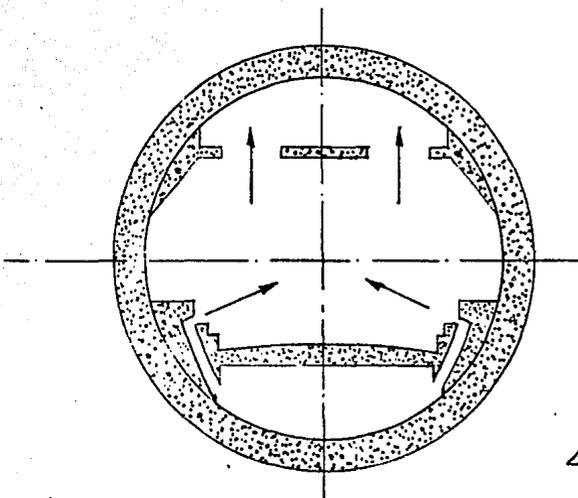


Fig. II-13

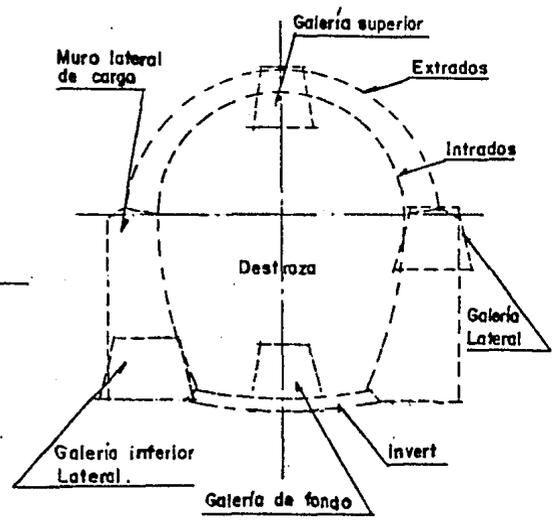


Fig. II-14

to conductos de entrada y salida de aire. Una forma de hacerlo, es la que se muestra en la figura II-13.

#### Otras Instalaciones .

Se debe prever la forma de eliminar el agua de un túnel en explotación. Esto se consigue dejando instalaciones adecuadas .

En algunos casos debe considerarse la existencia de espacio suficiente para protección de los trabajadores, cuando el túnel está en operación; ésto es especialmente importante en el caso de túneles para ferrocarriles .

#### CONSIDERACION DE CARGAS .

Uno de los aspectos más importantes y de más difícil solución, es el -- análisis de las cargas que gravitan sobre un túnel. Es función de los re resultados obtenidos de este tipo de estudios, se calcula y diseña el ade me de la excavación y también, regirá en la determinación de la magni tud y distribución del revestimiento definitivo.

En todo problema de análisis estructural, es necesario conocer la geo metría y sollicitaciones de lo que quiere estudiarse, pues de éstos aspec tos dependen los resultados a que se llegue. Hay casos en los que la de terminación de las cargas actuantes es más difícil que en otros. En el caso de los túneles, el conocer las sollicitaciones presenta problemas -- especiales .

Las cargas que actúan sobre la estructura, varían grandemente, dependiendo de la naturaleza de la roca ó suelo, contenido de humedad, altura del nivel freático, etc. El ademe de un túnel puede ser tan importante que su costo pueda compararse con el del revestimiento definitivo y puede ocurrir que no sea necesario.

Cuando el túnel atraviesa un terreno constituido por roca sana o moderadamente fracturada, puede no requerir ademe, pero dependiendo de su alteración o agrietamiento excesivo, necesitará más o menos ademe y en ocasiones llega a requerirse uno muy importante en éste tipo de material. Se sabe que el valor de la carga que actúa sobre un túnel, depende en parte del estado de esfuerzos de la masa de roca, antes de la perforación.

En general, la presión vertical de roca es mayor en masas no perturbadas; pero en general no hay forma de conocer el estado de esfuerzo de la masa de roca y sólo se puede saber algo acerca de ello por manifestaciones externas del material.

En una masa de roca plegada, depende su estado de esfuerzos, de si la fuerza que causó la deformación ha desaparecido o no. La existencia de fuertes presiones horizontales en la masa de roca ocasiona la existencia de roca explosiva.

Este aspecto es pues de gran importancia y su estudio es muy extenso, por ello sólo se hace mención de él en éste trabajo.

## METODOS DE CONSTRUCCION.

En los trabajos de construcción de túneles, se pueden distinguir dos fases principales; la primera de ellas, es la excavación; la otra, el revestimiento.

Excavación. - En lo referente a la perforación, existen diferentes métodos de hacerla, dependiendo principalmente la elección de una forma de terminada de trabajar, del tipo de material por atacar y del equipo disponible.

En ocasiones el terreno que se presenta al construir una obra de este tipo, no es un material de muy alta calidad, de tal forma que puede excavarse sin hacer uso de explosivos para fracturarlo. Sin embargo tampoco es un terreno de tan baja resistencia que requiera de un soporte continuo al ir haciendo la excavación, sino que el material es capaz de mantenerse por si mismo, sin necesidad de ademe durante algún tiempo, -- que variará según las características del terreno en cada caso particular. En éstos casos se pueden usar variados métodos de excavación, atacando el frente ya sea a plena sección ó en partes.

La sección de un túnel, puede dividirse en zonas, según se indica en la Figura II-14 y la nomenclatura de sus partes es la ahí indicada.

Según el método que se siga en la construcción del túnel, habrá una o varias galerías, llamadas también túneles piloto e inclusive puede no haberlas.

A continuación se explica en forma breve, un método de construcción - aplicable en terrenos constituidos por materiales de las características antes mencionadas.

El procedimiento se conoce generalmente como "método de las dos galerías" ó "austriaco".

Con este procedimiento se ataca la sección del túnel por partes y se usa un sólo camino para sacar los materiales producto de la excavación. Este punto es importante, pues no se congestiona el frente y puede trabajar se con espacio suficiente.

La secuela de ataque se indica en la figura II-15 . La numeración indica el orden de excavación. Como lo indica la figura, lo primero en ser excavado, es una galería de cuneta, con la cual se avanza hasta una determinada profundidad; después que se ha hecho ésto, se perfora un contrapozo que llegue a la altura de la galería G2 y de ahí se avanza en dos sentidos, hacia la cara del túnel y en la dirección del avance del mismo. Todo el material que se obtiene en la perforación, se vacía por el contrapozo - - hacia el nivel inferior y de ahí es sacado con los medios de que se disponga para la rezaga . Se llega así, con la galería superior hasta la cara del túnel y debe entonces, atacarse por los lados marcados con (3). Al avanzar la excavación se adema apoyándose éste en la destroza. Al terminar ésta operación se pone el revestimiento de la bóveda, que se apoya en el terreno. Después de quitar la cimbra de ésta, se sigue el trabajo exca--

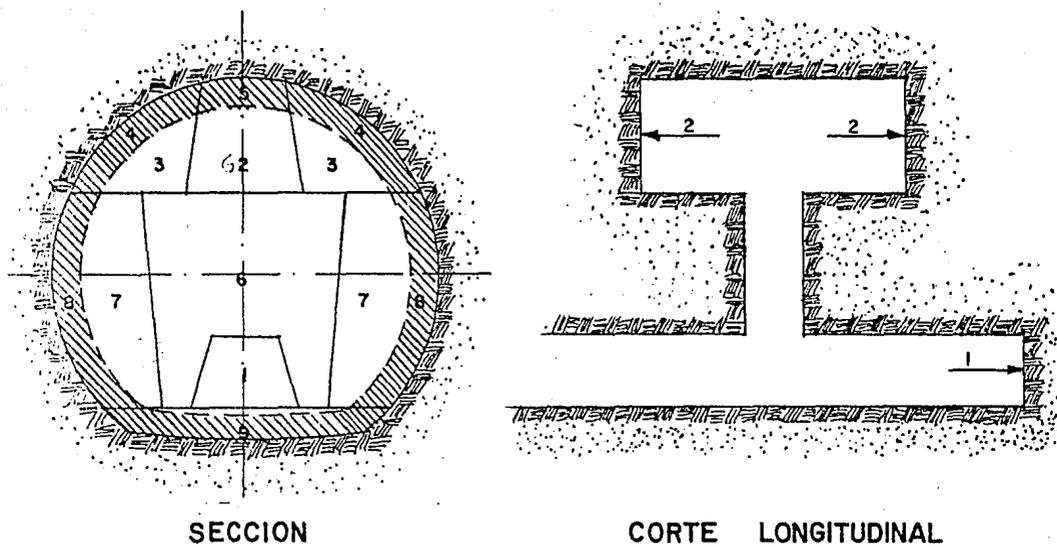


Figura II · 15

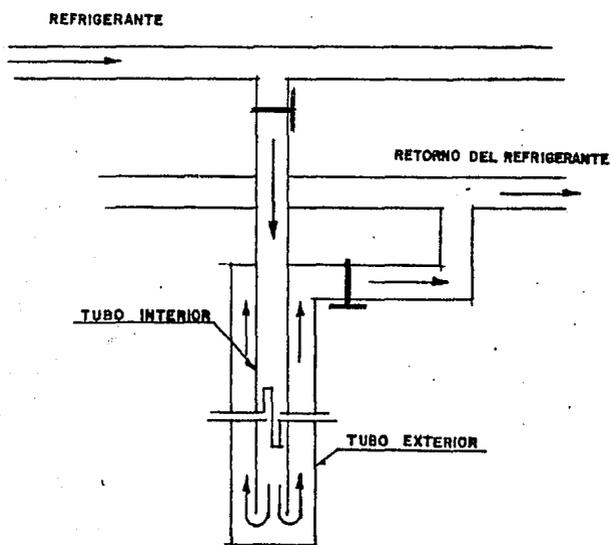


Fig. II · 16

vando la destroza (6); después los emplazamientos de muros (7) y por último se hacen los muros subiendo hacia la bóveda ya construida. Es tos muros se hacen con elementos de pequeña longitud.

La porción (9) no siempre se necesita, pero cuando se requiere, es el último elemento en construirse.

Hay algunos tipos de materiales en los cuales no se puede hacer la excavación si no se les proporciona un soporte continuamente. Estos materiales pueden ser arenas finas saturadas, arcillas muy blandas y otros. Para trabajar en éste tipo de material, se han desarrollado métodos y formas especiales de excavación y tratamiento del terreno.

Entre éstos métodos constructivos, se cuenta con el método de escudo, que se describe a continuación:

#### METODO DE ESCUDO.

Este método fué inventado por el Ing. Brunel durante la construcción del túnel bajo el río Thames, cuyos trabajos se iniciaron en el año de 1807 y se terminaron en 1843. A éste túnel se ha hecho referencia ya en el presente Capítulo en la parte correspondiente a "Nota Histórica".

De su primera aplicación a la fecha, se ha modificado y mejorado grandemente este sistema.

El método consiste en esencia, en hacer la excavación del túnel bajo la protección de una armazón metálica, de sección circular un poco mayor

que la sección transversal que se desee tener en el túnel, desde luego también con forma circular. En el extremo delantero, la estructura - tiene una cuchilla que se incrusta en el terreno y lo corta cuando ésta avanza. Para lograr el avance, en la parte posterior de la forma metálica se tienen instalados gatos hidráulicos, que apoyándose en el revestimiento de una zona ya excavada y protegida, impulsa a la estructura completa. Esta estructura con su cuchilla, gatos y algunos accesorios más, es lo que se llama "escudo".

Cuando se hace una perforación con éste método, el revestimiento de la cavidad, se hace inmediatamente después del paso de la forma. El revestimiento se hace con dovelas metálicas o de concreto prefabricadas. El escudo viene equipado con un brazo mediante el cual, se pueden colocar las dovelas en su posición correcta rápidamente. Después de esto - se sellan las juntas con materiales plásticos o con mortero de cemento. Este método se ha empleado en algunos tramos del túnel del emisor central del sistema de drenaje profundo de la ciudad de México a que hace - referencia este trabajo. También se empleó en un tramo del Metropolitano de la Ciudad de México y en algunos lugares del subterráneo de Paris, esto, por citar algunos ejemplos.

Otros procedimientos especiales que se han usado con éxito, son:

\_\_\_ El de hincado con aire comprimido de elementos prefabricados.

El empleo de maquinaria para excavación, como la máquina llamada topo, y otros.

Entre los tratamientos del terreno, se pueden mencionar los siguientes:

Congelación del terreno. - Mediante éste método se busca congelar el agua subterránea, lo cual permite trabajar en un suelo en el que no sería posible hacerlo en sus condiciones normales.

Para hacer la congelación, se hacen sondeos entubados rodeando la zona por excavar. La separación de las barrenaciones varía con el diámetro y la profundidad.

En las perforaciones. se introducen tubos congeladores. Figura -- II-16.

En Italia se ha usado este procedimiento, en excavaciones importantes, usando como elemento refrigerante, nitrógeno. En túneles se ha usado este tratamiento en la construcción del Metro de Paris.

Consolidación del Terreno por medio de inyecciones. - Este método no es muy antiguo. Se atribuye su invención al Ingeniero francés -- C. Berigny, quien en el año de 1802 inyectó con éxito morteros de arcilla y cemento; éstos últimos mezclados ocasionalmente con -- puzolanas.

El objetivo de las inyecciones aplicadas en la construcción, es impermeabilizar o consolidar los medios sólidos porosos y permeables, tales como, rocas fisuradas, arenas, alubiones, etc.

También se emplean las inyecciones en la reparación de obras ejecutadas por el hombre.

Deben llenarse los huecos del medio a inyectar, con un producto líquido que con el tiempo se solidifica en mayor o menor grado. Estos productos líquidos se conocen como mortero de inyección o mezcla.

La elección de la mezcla a usar, depende del tipo de terreno de que se trate, del cual interesa conocer de una manera especial el coeficiente de permeabilidad. Es usual hacer las inyecciones a una presión de  $7 \text{ Kg/cm}^2$  y a veces hasta  $25 \text{ Kg/cm}^2$ . Hay bombas que permiten hacer la operación, cuando así se requiere, a  $100 \text{ Kg/cm}^2$  y en algunas minas se usan presiones aún mayores.

Cuando existe agua en los huecos del material que se quiere tratar, es necesario inyectar a una presión mayor a la del agua para que la lechada la expulse y pueda así, impregnar el terreno.

Las lechadas más comunes están hechas en general de:

1. - Mezcla de cemento y agua.
2. - Mezcla de cemento, arcilla y agua.
3. - Mezcla de productos químicos petrificantes o gelificantes.
4. - Mezcla de productos bituminosos o plásticos.

Las mezclas indicadas en el último renglón se emplean para impermeabilizar suelos de huecos muy pequeños.

Así como la mezcla, que deben emplearse es diferente para distintos tipos

de suelo, varía también el método de inyección con el tipo de material de que se trate.

Para mostrar en forma clara el procedimiento general de inyección de -- suelo, se presenta a continuación la forma de inyectar en terrenos de alu**bi**ón.

Inyección de Arriba Abajo. - Para hacer la inyección de suelos con éste - procedimiento, se hace una perforación hasta una determinada profundidad. Figura II-17. Se coloca en la entrada de la perforación, un tubo, -- cuya unión con el terreno se sella. Se pasa a través de éste conducto, la tubería que conduce la mezcla y entonces se empieza a inyectar hasta que se termina con una zona "A".

Después de esto, se perfora hasta una mayor profundidad "H" y se repite la operación.

Inyección de Abajo Arriba. - Consiste el procedimiento, en hacer la per- foración en toda la profundidad que se vaya a tratar el terreno. Figura II-18 Se introduce entonces el tubo de inyección en la oradación hasta el fondo, a continuación se hace subir una altura de 20.0 ó 30.0 cms. aproximada- mente y se inyecta el mortero. Cuando se ha inyectado una zona "A", se vuelve a elevar la tubería de inyección 20.0 ó 30.0 cms. y se repite la - operación.

Este método tiene el inconveniente de que algunas veces entra la lechada entre el terreno y el tubo, con lo que se adhiere éste con aquel.

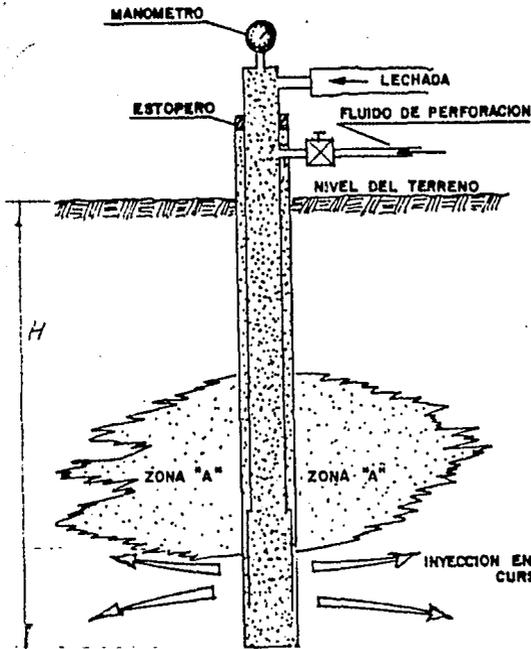


Fig. II-17

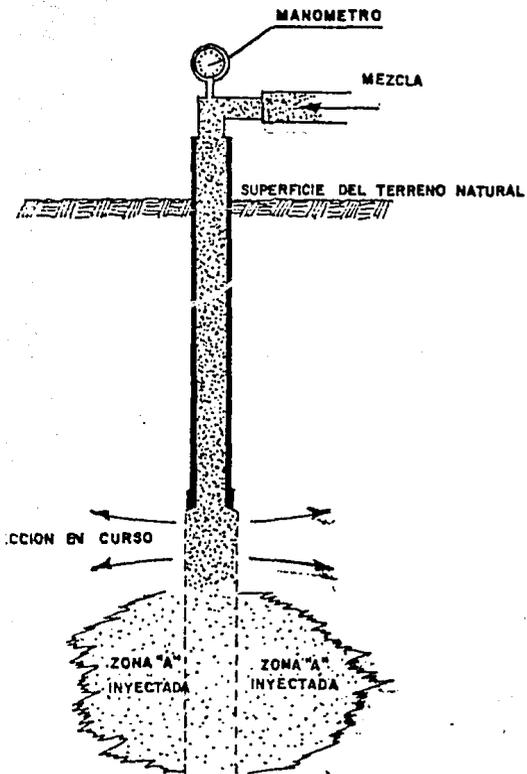


Fig. II-18

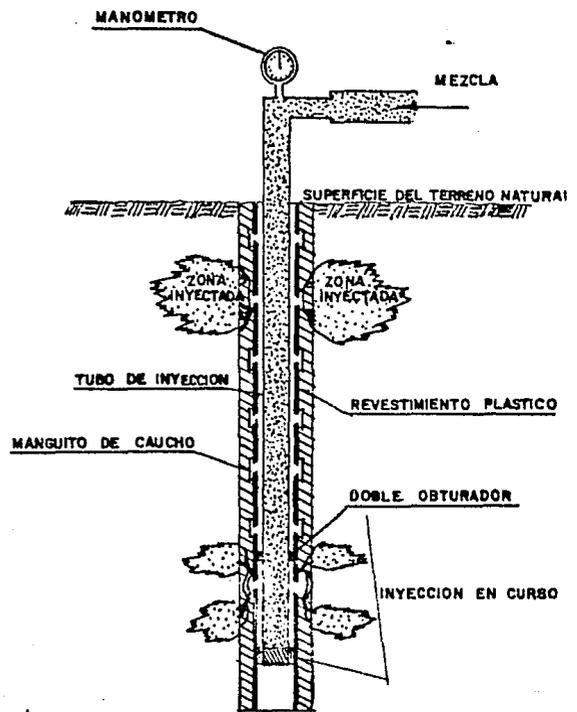


Fig. II-19

Con el fin de eliminar esta dificultad, se hace uso de unos tubos llamados "de manguitos".

Para usar estos tubos, se hace la perforación hasta la profundidad que se vaya a inyectar, a continuación se introduce hasta el fondo un tubo de manguitos, de diámetro menor al de la oradación; el espacio libre entre el tubo y el terreno, se llena con una lechada de cemento-arcilla. Figura II-19.

Los tubos de manguitos, tienen perforaciones a cada 30.0 ó 40.0 cms. y están provistos de unos anillos de caucho que cubren la perforación de -- tal manera que funcionan como una válvula. Estos anillos o casquillos se denominan "manguitos".

La tubería de inyección, que lleva un doble obturador, se coloca en el interior del tubo de manguitos, colocando al antes citado obturador, a la altura de un manguito y después de ello, se inyecta la mezcla a una presión tal, que obligue al anillo de caucho a desprenderse, con lo que queda descubierta la perforación del tubo, sale la mezcla, rompe el sello formado por la lechada entre tubería y terreno y penetra en éste último.

En el caso de los túneles, las perforaciones además de verticales pueden ser horizontales, con diferente inclinación y también hacia arriba.

El uso de las inyecciones en túneles ha sido de gran utilidad. En el caso del Emisor Central, se emplea con éxito este método de tratamiento del terreno, para reducir su permeabilidad y darle estabilidad.

Cuando el terreno por excavar es rocoso y se requiere del uso de explosivos para disgregarlo, se aplica el método "de barrenación y voladura".

Al atacar un túnel mediante éste procedimiento, es usual hacer la perforación a plena sección. Este método es ampliamente usado en la excavación del túnel del Emisor Central y se trata con detenimiento en el Capítulo III del presente trabajo.

Revestimiento. - El revestimiento es un aspecto importante en los túneles y deben hacerse estudios amplios de éste en cada caso particular.

Los revestimientos son muy comunmente de concreto colado en el sitio y en el caso de túneles de mucha longitud se fabrica el concreto dentro del mismo túnel. En algunas ocasiones el revestimiento es de mampostería y en el caso de hacer la excavación con escudo, se emplean anillos metálicos ó dovelas de concreto prefabricadas, lo cual se había mencionado antes en éste Capítulo.

Son diversas las razones por las cuales deben recubrirse las cavidades subterráneas que constituyen los túneles.

— Una razón importante es proporcionar un sistema resistente adecuado, que sea capaz de soportar las solicitaciones que el sólo terreno perforado no podría resistir.

— Considerando las necesidades de tipo hidráulico en túneles cuya fina

lidad sea la de conducir agua, es conveniente el recubrimiento para reducir pérdidas de carga debidas a la rugosidad; ésto aún cuando el revestimiento no sea necesario por razones estructurales. Además se impermeabiliza reduciendo ó eliminando las pérdidas de agua.

≡ Se protege al material de alteraciones químicas que se presentan en algunas rocas.

Las razones arriba mencionadas son de gran importancia y deben siempre ser tomadas en consideración.

Cuando al excavar un túnel se ha dejado algún sistema de soporte que obstruya la sección, el revestimiento deberá forzosamente construirse por partes y podrá en tales casos ser preferible la colocación de mampostería a la de concreto.

Por otro lado, si la sección del túnel está libre, y el sistema de ademe se ha colocado de tal manera que se pueda integrar al revestimiento, se impone el uso del concreto.

Para construir el revestimiento en los túneles de gran longitud, se instalan plantas dosificadoras de concreto en el interior de éste y se emplean cimbras metálicas para su colocación.

En el caso del túnel del Emisor Central, para el colado de revestimiento, se tienen dentro del túnel plantas dosificadoras, desde las cuales, con

carros especiales llamados "carros agitadores", es transportado el concreto hasta una bomba; ésta lo manda por una tubería hasta la cimbra metálica que recibe a éste.

Una de las cimbras que se usan para el revestimiento del túnel del Emisor Central, tiene 10.0 m. de longitud y está compuesta por varios módulos, cada uno de los cuales al estar en un extremo del molde, puede colapsarse y pasar por el interior de la cimbra, hasta el otro extremo, donde se vuelve a abrir y colocar en posición de seguir colando.

Trabajando de ésta manera, es posible hacer un sistema de colado sin interrupción.

A éste sistema de colocar el revestimiento, se le llama "tren de colado continuo!"

### CAPITULO III

#### PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION EN UN TRAMO DEL TUNEL DEL EMISOR CENTRAL.

Para desarrollar el presente Capítulo, se dará primero una imagen general de la forma como se construye el túnel del Emisor Central y a -- continuación se detallará el método constructivo de "barrenación y voladura".

Cuando se construyen túneles de poca longitud, puede llevarse a cabo -- la excavación desde un sólo acceso, que es el portal del túnel y atacar por tanto en un solo frente. Esta práctica, sin embargo, resulta antieco -- nómica cuando la distancia de acarreo del frente de trabajo al exterior, es demasiado grande y además, se provoca un congestionamiento general.

Cuando el túnel es de mucha longitud, conviene tener más accesos a la obra además del portal. Tanto la localización de dichas entradas ( Lumbreras ), como el número de ellas, variará para las condiciones de cada caso en particular.

En la Figura III-1, se muestra el perfil de un túnel con lumbreras:

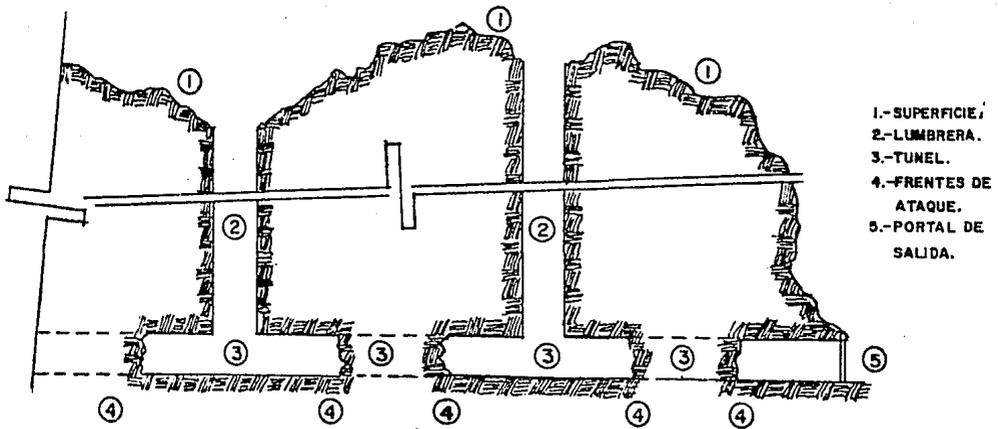


Fig. III-1

Al existir las lumbreras, se logra tener varios frentes de ataque, --  
( dos por lumbrera ).

En el lugar que se localiza un acceso de éstos, deben tenerse instalaciones adecuadas para proporcionar al frente de trabajo, aire comprimido, energía eléctrica, ventilación, etc. Deben además ser un conducto lo suficientemente amplio para poder sacar a la superficie el material producto de la excavación; que se puedan colocar en ellas, instalaciones para extraer el agua freática; deberá ser suficiente dicha lumbrera, para permitir el paso de los materiales y equipos necesarios para la construcción y por supuesto, ser un acceso adecuado para el personal.

En la Figura III-2 se muestra en planta una lumbrera tipo con las instalaciones de superficie necesarias.

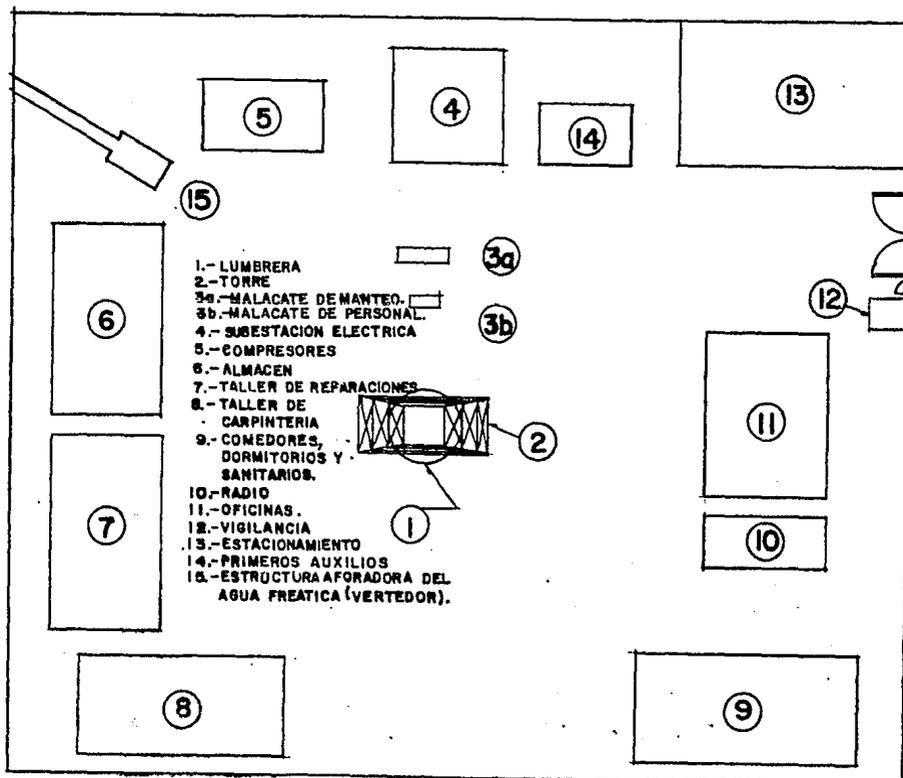


Fig. III-2

En la Figura III-3 se presenta en corte una porción de túnel, donde se indican las instalaciones que existen en él y diferentes procesos de trabajo, de los que se hablará más adelante.

La zona comprendida en la llave, es donde se colocan instalaciones generales, como bombas, tolvas para cargar skips, etc. Esta zona recibe el nombre de "encapillado".

#### Procedimiento de excavación de barrenación y voladura.

En éste sistema de excavación se pueden diferenciar cinco pasos principales que son los siguientes:

1. - Barrenación.
2. - Carga explosiva y conexiones eléctricas.
3. - Retiro, detonación de los explosivos y ventilación.
4. - Rezaga, acarreo horizontal y manto.
5. - Protección de la excavación.

El orden de las actividades antes citadas, es de gran importancia en el desarrollo del trabajo y su adecuada sincronización, permite desarrollar las operaciones, con mayor facilidad, seguridad y eficiencia.

Se verá ahora con detenimiento cada uno de los pasos antes mencionados:

1. - Barrenación. - Esta operación consiste en hacer perforaciones pertinentes sobre el frente de ataque.

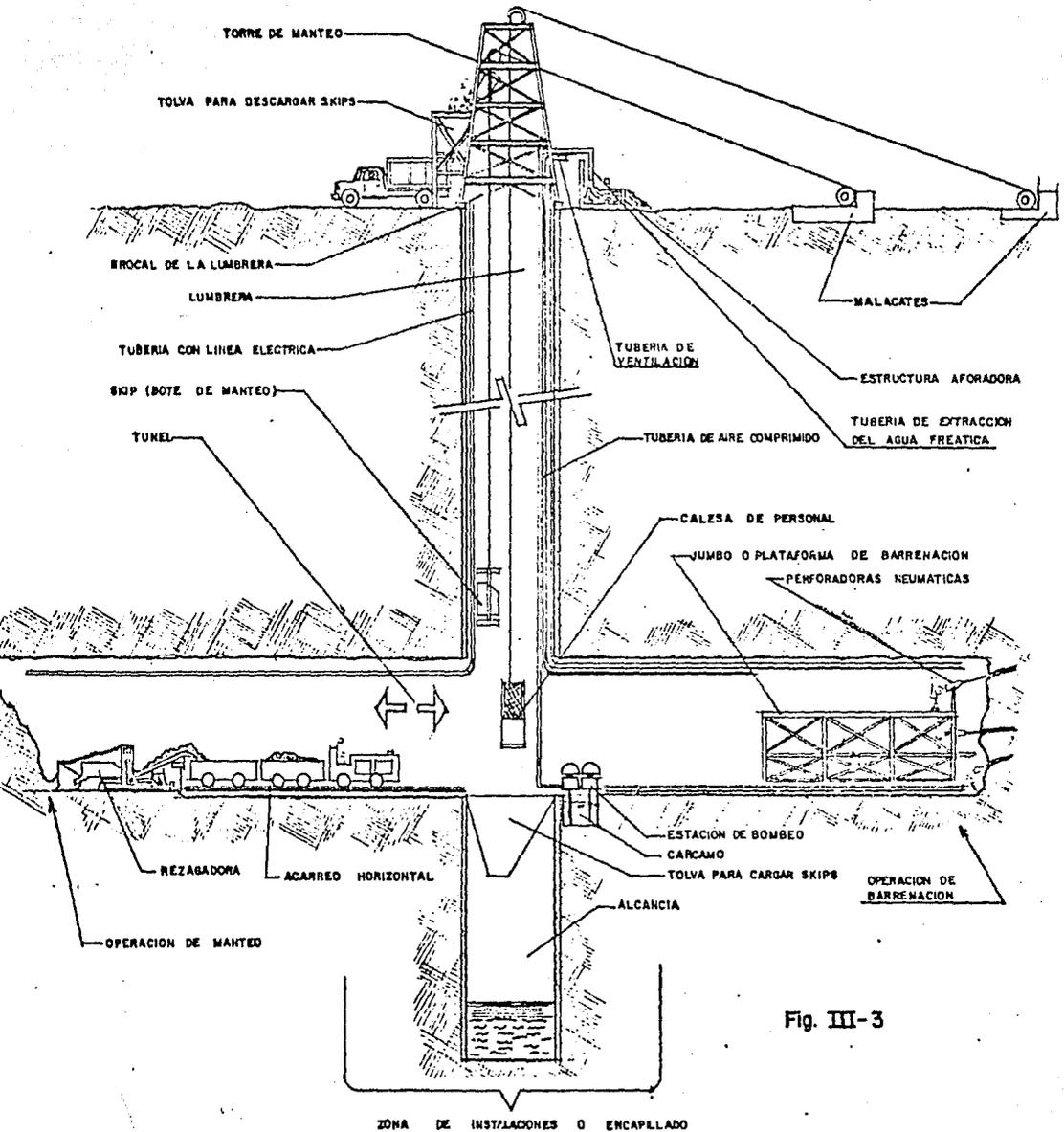


Fig. III-3

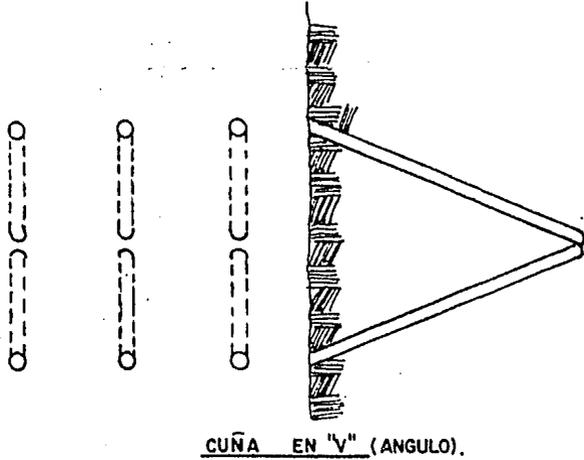
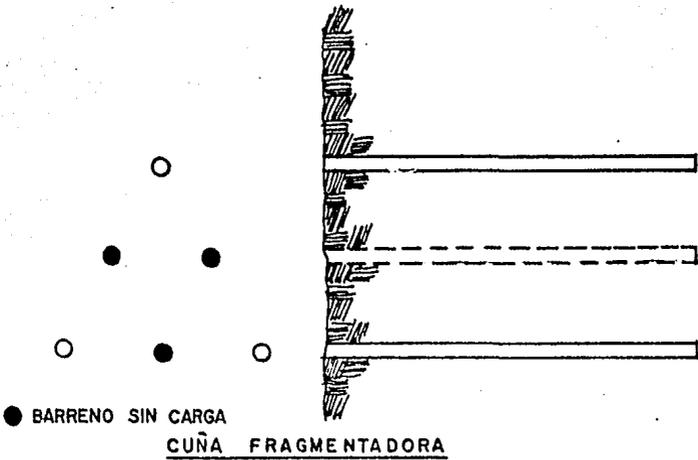
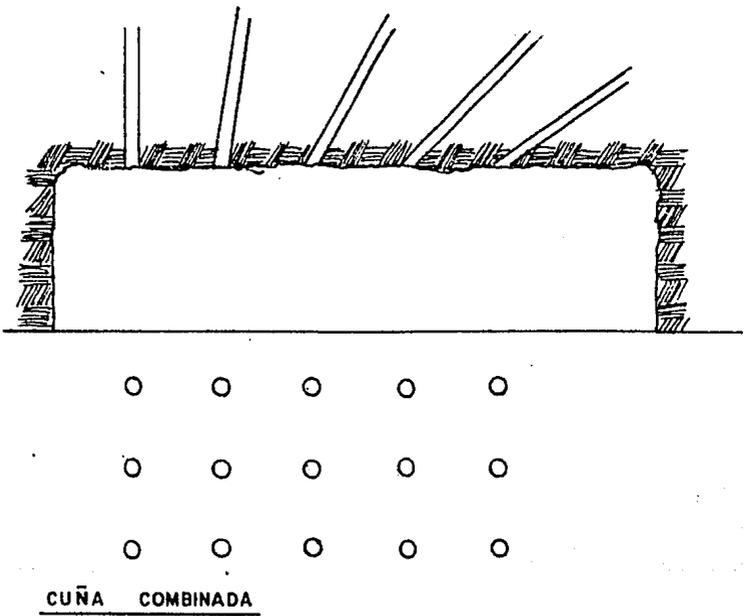


fig-III-4.



Las perforaciones en el terreno, se hacen en base a un diagrama estudiado detenidamente con anterioridad. Dicho diagrama recibe el nombre de "diagrama de barrenación"; éste indica la posición de las perforaciones en la cara del túnel, al avanzar un ciclo de uso de explosivos (tronada).

El trazo o diagrama de barrenación, dependerá de las características del túnel, tales como:

Area de la sección transversal.

Forma geométrica de la sección.

Tipo de material por atacar y

Equipo disponible.

Las barrenaciones funcionan produciendo una abertura inicial en el material por atacar; a éste espacio abierto se dirige el efecto del resto de la barrenación.

La abertura inicial recibe el nombre de "cuña" y las hay de varios tipos, a saber: cuñas en "V" ( ángulo), cuñas fragmentadoras y combinaciones de ambos tipos. Figura III-4.

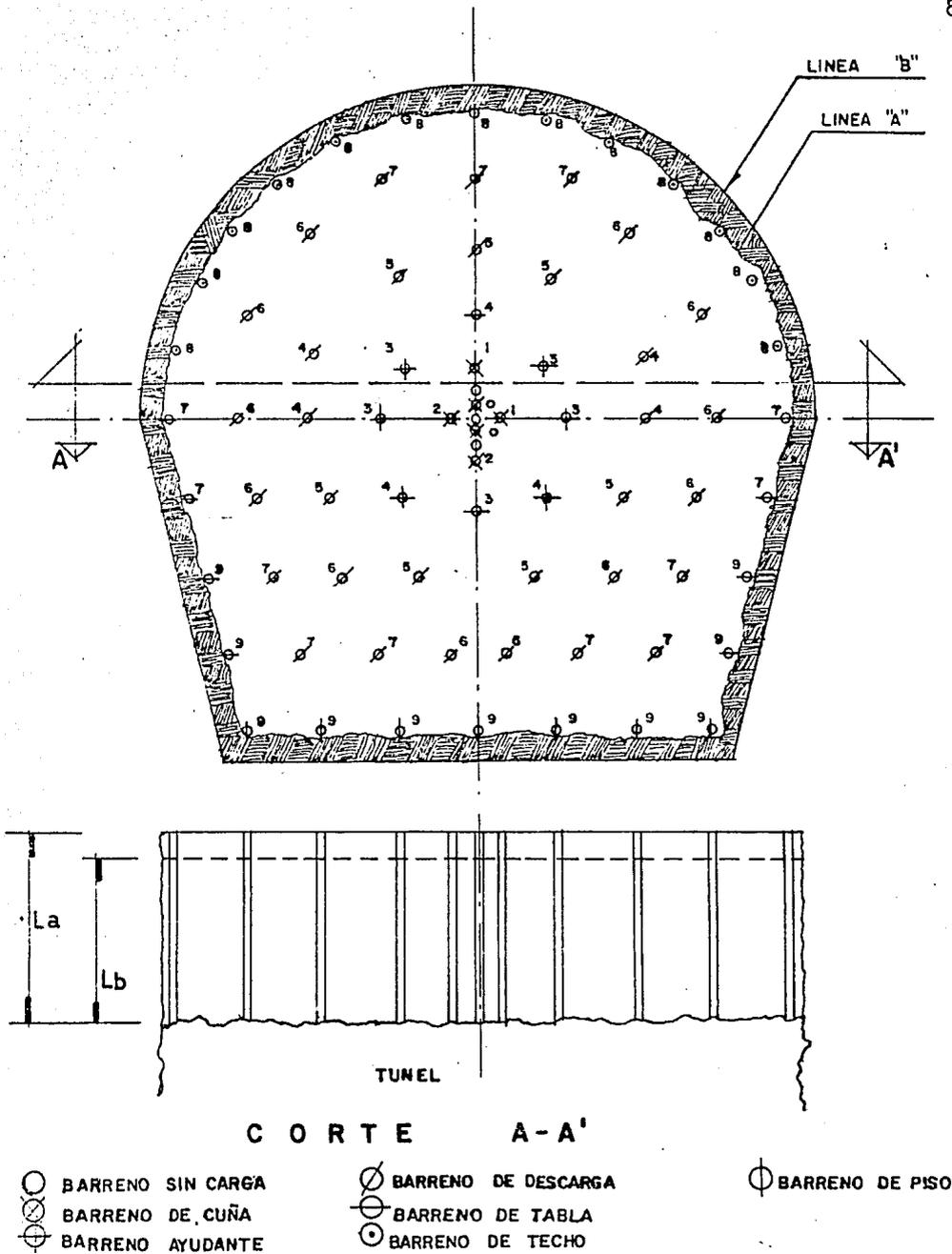
Hay ocasiones en que todos los barrenos que han sido cargados se hacen estallar simultáneamente, para fracturar el material. Otras veces, se hacen detonar los barrenos unos después de otros, con diferencias de tiempo en general pequeñas. En el caso de las voladuras que se hacen en la construcción del túnel del Emisor Central, son casi siempre dando un -

orden determinado, de detonación a los diferentes barrenos.

Debido a su posición en el diagrama de barrenación y a los efectos que producen al detonar, los barrenos reciben diferentes nombres. Figura III-5, que en general son los siguientes:

- a). - Barrenos de cuña.
- b). - Barrenos auxiliares de cuña.
- c). - Barrenos de descarga.
- d). - Barrenos de periferia.
  - d. 1) de Tabla
  - d. 2) de piso
  - d. 3) de techo

- a). - Los barrenos de cuña, son los abocados a formar la cuña ó primera oradación en la roca, para que después el material fragmentado con los demás barrenos, tenga lugar por donde salir fácilmente. - Estos barrenos son los primeros en ser detonados.
- b). - Este tipo de barrenos es el que se encuentra junto a los de cuña, detonando a continuación de éstos últimos, provocando el agrandamiento de la cuña.
- c). - Los barrenos de descarga, son con excepción de los que se encuentran en la periferia de la sección por excavar, todos los restantes y su función es romper el material que caerá en el espacio proporcionado por



El número adjunto a cada barreno, indica el orden de detonación. Primero se hace estallar el barreno de número menor. Los estopines de los barrenos marcados con "0" (cero), son instantáneos.

**Fig. III.5 SECCION DE TUNEL CON PLANTILLA DE BARRENACION.**

la cuña y los barrenos auxiliares.

d). - Estos barrenos son los que se hallan en la parte exterior de la sección por excavar y se dividen en los tres tipos antes mencionados. - De los cuatro tipos de barrenos, los de periferia son los últimos en detonar y generalmente en el siguiente orden: de tabla, de piso, de techo.

Cuando éstos barrenos son detonados, existe ya una zona libre para el desalojo del material hacia el centro de la sección. La existencia del hueco antes citado es importante, pues de lo contrario, al estallar la carga del barreno se romperá el material de tal manera que provocará una sobreexcavación, con aumento de material por reza--gar y siendo necesario después sustituir el material fracturado por dicha sobreexcavación, con el material que se haga el revestimiento cuando éste sea construido, lo cual es antieconómico.

Sin embargo, a pesar de que una plantilla de barrenación sea adecuada y los barrenos se detonen de manera conveniente, el corte de la sección no es exacto. Es por ésta razón que al construir los túneles se consideran dos perfiles de excavación, uno llamado línea "A" y otro línea "B". La línea "A", define la sección transversal que se desea excavar y la -- "B" es una línea paralela a la anterior, que define una sección mayor que la línea "A". La distancia entre ambas líneas es de 30 cm. aproximada--

mente. Esta separación es un valor aceptable de sobreexcavación.

En la Figura III-5 se muestra una sección de túnel y su plantilla de barrenación, se identifican los barrenos con sus nombres correspondientes y se marca con números el orden de detonación de los mismos.

Cuando por alguna razón dos barrenos quedan demasiado cerca uno del otro, sucede que parte del material que debe romper la carga explosiva de uno de ellos, es fracturado por el barreno contiguo, lo cual provoca que el material fragmentado por el barreno que rompió más roca de la que se deseaba, queda demasiado grande y al detonar la carga explosiva del otro barreno, se desperdicia la energía de la explosión.

Cuando esto sucede, se dice que hubo un "barreno robado". Cuando la carga de algún barreno no explota, se dice que es un "barreno quedado".

Para realizar la barrenación, existen muy variados equipos con diferentes características de tamaño, capacidad, forma de operación, etc., y la selección de equipo adecuado dependerá principalmente del tipo de material que se pretende perforar, el tamaño de los barrenos, las características del material que se quiera obtener con la voladura y del tipo y tamaño de la obra.

Un equipo de uso generalizado, es el taladro de percusión; éste rompe la roca en pequeños trozos por efecto del impacto de golpes repetidos.

barrenas integrales  
nomenclatura

SANDVICH  
Corumant

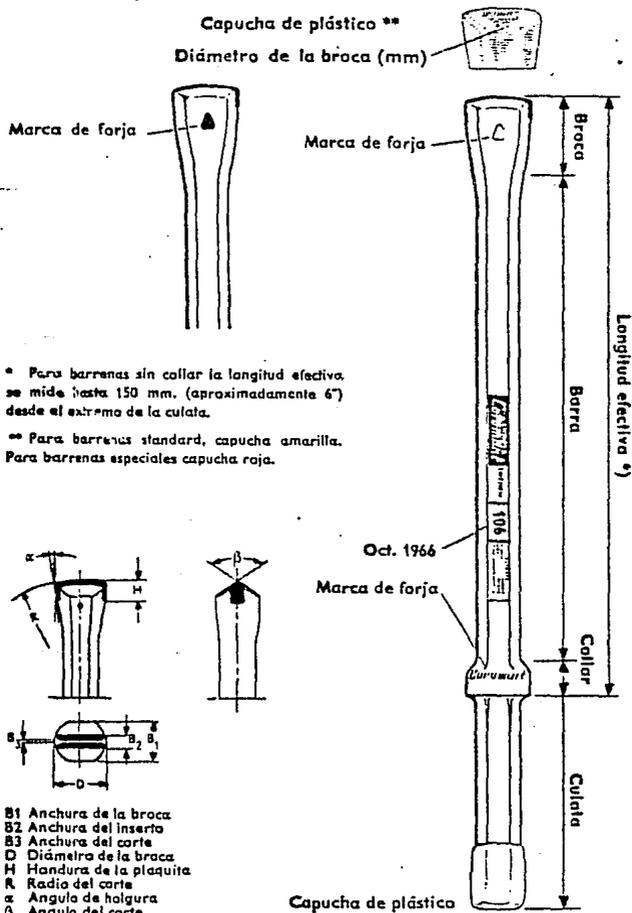


fig III- 6

Es también bastante usual el empleo de los taladros abrasivos; este tipo de taladros hace girar una barrena que en su extremo libre tiene una broca que queda en contacto con el terreno y por abrasión muele la roca.

Por el tamaño del taladro, recibe éste diferentes nombres y así existen taladros de piso, de pierna y otros.

Un taladro neumático de percusión que requiera por su tamaño de un montaje mecánico, se llama perforadora.

Las perforadoras, se montan frecuentemente sobre las plataformas de barrenación o Jumbos, como el que aparece en la Figura III-3. Estos Jumbos son estructuras de dos ó más niveles y cada uno de éstos está hecho para poder trabajar en la operación de barrenación principalmente, aunque permite esta estructura, ser empleada para otras actividades, tales como soportar tuberías para bombear concreto, apoyo de muchas instalaciones que se mueven frecuentemente, etc. haciéndose así este Jumbo, de gran utilidad en el proceso de construcción de los túneles.

Se presente en la Figura III-6, un tipo de barrena usada en los trabajos del túnel del Emisor Central. Esta barrena es de la Fábrica "Sandvik - Coromant".

## 2. - Carga explosiva y conexiones eléctricas.

Una vez que se ha terminado por completo con la barrenación, el paso siguiente es el de colocar explosivos en los barrenos para --

detonarlos y fracturar el material a un tamaño adecuado, para poderlo levantar con el equipo de rezaga y ser transportado hasta la lumbrera en vagonetas ó el medio que se emplee para el transporte.

Actualmente hay muchos tipos de explosivos y es necesario seleccionar el más adecuado de éstos, para que la voladura que se produzca sea la deseada para el trabajo en cuestión.

Este aspecto es de gran importancia y se mencionan por ello, algunos tipos de explosivos y sus características principales.

Los explosivos son sustancias químicas que pueden descomponerse rápida y violentamente. Las sustancias químicas originalmente líquidas ó sólidas se transforman en su mayor parte, en gases, incluyendo vapor de agua que tienen un volumen mucho mayor al original. Con la transformación se genera calor, que sirve para dilatar considerablemente los gases.

Los explosivos comerciales se conocen comunmente con el nombre de dinamita. Entre las principales características que hay que considerar de un explosivo para su selección, se estiman las siguientes:

Potencia. - Se considera como la energía contenida en un explosivo. Esta energía es la que determina el empuje que puede desarrollar el

explosivo, por tanto el trabajo que es capaz de desarrollar.

Densidad. - Es el volumen de explosivo en proporción a su peso. Se expresa en función del número de cartuchos de  $1\frac{1}{4}$ " X 8" que contiene una caja de 50 libras.

Velocidad. - Es la rapidez con que se propaga la onda de detonación, a lo largo de una columna de explosivos. Salvo otra indicación, los datos de velocidad de un explosivo están referidos a una columna de  $1\frac{1}{4}$ " de diámetro y se expresa en metros/segundo.

Resistencia al agua. - Esta varía no sólo con la clase de explosivo, sino también con la manera en que esté retacado y envuelto. Hay explosivos como las gelatinas por ejemplo, que son practicamente impermeables. Las dinamitas amoniacaes de gran densidad, tienen bastante resistencia al agua, en cambio las amoniacaes de baja densidad y las llamadas permitidas tienen muy poca ó nula resistencia al agua.

Emanaciones. - Con la explosión de la dinamita se produce principalmente bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua, que en general no son tóxicos, pero también se forman monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, que son gases venenosos. Es muy importante considerar ésta propiedad, cuando se van a utilizar explosivos en trabajos subterráneos. - La clase y cantidad de gases tóxicos producidos en una explosión, varían de acuerdo al tipo de dinamita usada.

Inflamabilidad. - Esta propiedad varía grandemente, pues hay tipos de -

dinamitas que se incendian facilmente y se queman violentamente, mientras otros tipos no son combustibles, a menos que se les aplique una flama exterior directa y constante. Ejemplo de éstos últimos es la dinamita amoniaca, principalmente la que tiene altos porcentajes de nitrato de amonio.

Para provocar la detonación de las cargas explosivas, se usan elementos especiales llamados detonadores, de los cuales existen varios tipos entre los que se cuentan los siguientes:

Fulminantes. - Estos detonadores son tubos o casquillos cerrados en un extremo y que contienen una carga de uno ó más explosivos de gran sensibilidad; detonan con las chispas que produce una mecha. Figura III-7 .

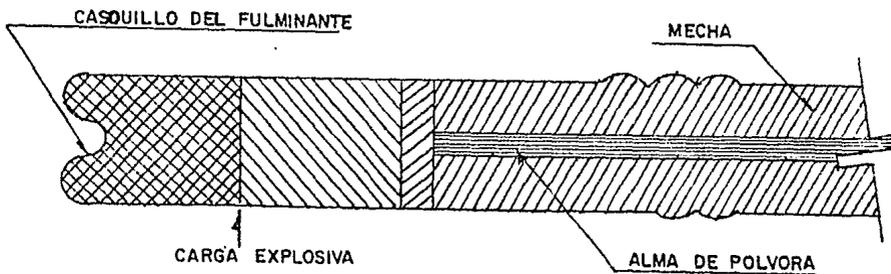


Fig. III-7

Estopines eléctricos. - Estos aditamentos son fulminantes elaborados de tal manera que pueden detonarse con corriente eléctrica. El estopín se hace detonar por medio del calor producido por la energía que fluye a través de un puente alambrico, situado dentro del estopín. Con éstos aditamentos es posible retardar la detonación; el tiempo de retardo -- puede ser de varios segundos.

Estopines de tiempo M. S. - Estos estopines están diseñados para retardar las detonaciones durante un intervalo de tiempo muy corto; éste -- puede ser de una pequeña fracción de segundo.

Este tipo de estopines se puede obtener de diferentes períodos y se identifican por las letras M. S., seguidos de un número que indica el tiempo que es retardada la detonación en milésimas de segundo. Hay estopines M. S. de 14 períodos, que son:

M. S. -25, M. S. -50, M. S. -75, M. S. -100, M. S. -125, M. S. - 150, - - -  
M. S. - 175, M. S. -200, M. S. -250, M. S. -300, M. S. -350, M. S. -400, -  
M. S. -450, y M. S. -500.

Aunque es muy usado el tamaño de cartuchos al que se ha hecho mención al definir la densidad de la dinamita, éstos se pueden obtener de diferentes dimensiones.

En la Tabla III-I se muestran las características de los cartuchos que ofrece la Fábrica "Dupont", y en la Tabla III-II las características de los explosivos de la misma Compañía.

En la Tabla III-III, se indican las propiedades que de cada tipo de explosivo proporciona la Compañía "Atlas Copppco".

Nitrato de Amonio. - El nitrato de amonio, cuya fórmula química es --  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  es un abono de nitrógeno que se usa en voladuras de barrenos medianos y grandes. Si se somete a un fuerte calor bajo confinamiento ó detonación directa de altos explosivos, se descompone explosivamente en agua, nitrógeno y oxígeno.

El  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  es tan insensible que no se cataloga como explosivo. Sin embargo puede arder y al hacerlo produce oxígeno, lo cual provoca que sea muy difícil apagarlo.

La potencia explosiva de este producto y su sensibilidad, se pueden aumentar considerablemente combinándolo con productos orgánicos que absorban oxígeno al quemarse. Para usar el nitrato de amonio como explosivo, se ha usado combinado con aditivos como el negro de humo, el carbón en polvo, aceite combustible y otros.

Los explosivos deben tratarse cuidadosamente siempre que se usen y cuando se transportan debe tenerse todas las precauciones posibles.

Para el traslado de explosivos dentro de la República Mexicana, debe contarse con permiso de las autoridades competentes.

Para reducir en lo posible los riesgos inherentes que existen al - - -

NUMERO DE CARTUCHOS POR CAJA DE 25 KGS. NETOS.							
(ESTAS CIFRAS TIENEN UN MARGEN DE VARIACION DE 3%).							
CLASES DE DINAMITA	2.22 x 20.32 cms. 7/8 x 8"	2.54 x 20.32 cms. 1 x 8"	2.857 x 20.32 cms. 1 1/8 x 8"	3.175 x 20.32 cms. 1 1/4 x 8"	5.71 x 40.64 cms. 2 1/4 x 16"	6.35 x 40.64 cms. 2 1/2 x 16"	7.62 x 40.64 cms. 3 x 16"
Dinamita Extra 40%	242	184	151	121	20	14	10
Dinamita Extra 60%	242	184	151	121	20	14	10
Gelatina Extra 30%	193	151	123	98	15	12	8
Gelatina Extra 40%	196	153	126	99	16	12	8
Gelatina Extra 60%	207	164	135	108	16	12	9
Gelatina Extra 75%	216	171	143	112	17	12	9
"Gelamex" No. 1	236	180	150	121	21	16	11
"Gelomex" No. 2	261	198	165	134	20	16	11
"Mexobel" No. 2		248	201	165	25	20	14
"Duramex" G	309	248	204		25	20	14
"Dinamex" A	261	198	165	134			
"Geomex" sin cople 60%					16		8-9
"Geomex" con cople 60% en 2 1/4 x 24" - 10 cartuchos.							
Granulada 4 bolsas de 6.25 Kg. c/u. aprox.							

TABLA III-I

## CARACTERISTICAS

CLASE	POTENCIA	VELOCIDAD		RESISTEN CIA AL AGUA	GASES TOXICOS
		PIES/SEG	MTS/SEG		
Dinamita Extra	40%	10200	3110	Regular	Muchos
Dinamita Extra	60%	12200	3720	Regular	Muchos
Gelatina Extra	30%-75%	13200-16400	4200-5000	Excelente	Muy pocos
Gelomex No. 1	60%	13100	4000	Muy Buena	Muy pocos
Gelomex No. 2	45%	12600	3940	Buena	Muy pocos
Mexobel No. 2	60%	9000	2740	Regular	Muy pocos
Duramex G	25%	8900	2710	Ninguna	Pocos
Dinamex A	50%	9900	3020	Buena	Muy pocos
Geomex	60%	19700	6010	Excelente	Muchos
Granulada No. 4	40%	4400	1340	Ninguna	Muchos
Granulada No. 5	75%	5100	1535	Ninguna	Muchos

TABLA III-II

## CARACTERISTICAS DE LOS EXPLOSIVOS DE ALTA POTENCIA

TIPO	MARCA	Potencia %	Número de cartuchos de 1 1/4" x 8" por caja de 50 libras	Velocidad de detonación (en pies por segundo). Cartuchos de 1 1/4" x 8" sin confinamiento.	Resistencia al agua	Nemo	Consistencia
Gelatina pura	Gelatina pura	100	100 a 110	20,000	Excelente	Regular-Mal	De goma
Explosivo para pozos de petróleo	Explosivo para pozos de petróleo	80 a 100	Cartuchos grandes	20,000	Excelente	Regular-Mal	De goma
Gelatina	Gelatina Atlas	20 a 100	85 a 110	6,500 a 20,000	Excelente	Bien-Mal	Muy plástica
Gelatina amoniacal	Gelatina Giant	30 a 90	85 a 110	7,000 a 20,000	Muy buena	Bien-Mal	Plástica
Semigelatina	Gelodyne	65	110 a 125	10,000 a 12,000	Buena	Bien	Bastante plástica
Dinamita de nitroglicerina	Dinamita de nitroglicerina	20 a 60	105 a 115	8,200 a 19,000	Regular	Regular-Mal	Muy cohesiva
Dinamita amoniacal	Dinamita Extre	15 a 60	105 a 115	7,500 a 12,000	Limitada	Regular	Cohesiva
	Amadyne	65	118 a 122	5,800 a 10,000	Limitada	Bien-Regular	Cohesiva
Dinamita amoniacal de baja densidad	Apcodyne	65	128 a 153	7,000 a 9,000	Limitada	Bien-Regular	Cohesiva
	Apex	20 a 70	Cartuchos grandes	10,500 a 17,000	Buena	Mal	Granular
	Flo-Dyn, Canyon Bag	10 a 65	En sacos	4,000 a 5,500	Limitada	Regular-Mal	Granular
De seguridad gelatinoso	Gelcalite	35 a 55	97 a 126	8,200 a 16,400	Buena-Muy buena	Bien-Regular	Plástica
De seguridad, dinamita	Coalite	55 a 60	120 a 256	4800 a 8,700	Limitada	Bien-Regular	Cohesiva
Dinamita para prospección sísmica	Petrogel no. 1 HV	60 a 100	Cartuchos grandes	15,000 a 20,000	Excelente	Bien	Muy plástica
	Petrogel Giant	60	Cartuchos grandes	16,000	Muy buena	Mal	Plástica
Dinamita para agricultura y explotaciones forestales	Farmex para zozas	50	105 a 108	15,000	Buena	Mal	Muy cohesiva
	Farmex para tocones	65	165 a 173	7,500	Limitada	Regular	Cohesiva
	Pólvoras para tocones	15 a 65	105 a 162	7,400 a 8,000	Limitada	Bien-Mal	Cohesiva

TABLA III - III

transportar explosivos, deben llevarse a cabo las operaciones de carga, descarga y del propio transporte con especial esmero. Los vehículos - que se usen para este trabajo deben estar en buenas condiciones de funcionamiento, el piso debe ser de madera ó de algún material aprobado - para este uso, por ejemplo aluminio, y proteger la carga contra impactos y el fuego.

Todas las precauciones que se tomen durante el traslado, son aconsejables, tales como evitar llevar sustancias inflamables, ácidos, etc. Al llegar a su destino, debe revisarse la carga y constatar su buen estado ó corregir cualquier anomalía en caso contrario.

Una vez que éstos productos llegan a la obra, deben ser almacenados de una forma adecuada, para lo cual se hace una construcción especial con éste único fin; dicha construcción se llama "polvorín".

Los aspectos más importantes que han de considerarse en los polvorines es que deben estar ubicados, protegidos, construidos y administrados de tal forma que se evite una explosión accidental de los productos almacenados y que en caso de llegar a ocurrir ésta, no causen daño a personas ó propiedades.

Al transportar los explosivos del polvorín a la obra en donde van a ser usados, se deben tener las mismas precauciones que se han mencionado. Deberá evitarse el transportar juntos explosivos violentos y detonadores,

deben protegerse éstos materiales, de golpes, fricciones, chispas, etc. Los alambres de los estopines deben protegerse de corrientes eléctricas dispersas.

En la obra del Emisor Central, cuando han llegado los explosivos a la lumbrera, son llevados hasta el frente de trabajo, siguiendo normas internas de seguridad. A una distancia prudente de la cara del túnel, se separan las cargas y se preparan los cebos que se indiquen en el diagrama de barrenación.

Un cebo es un cartucho ó bombillo de dinamita, al que se le ha incertado un detonador.

Para efectuar la operación de carga se delimita por zonas el área del túnel para distribuir el trabajo. Antes de colocar los explosivos en las perforaciones, deben limpiarse éstas con agua y/o aire a presión.

Para realizar la carga de los barrenos, el Operador está provisto de un atacador ó fainero, que le será necesario para colocar los explosivos en el barreno. Este instrumento es generalmente de madera.

Los cartuchos más comunmente usados en el túnel del Emisor Central, son de 8" de longitud y su diámetro varía en función del tamaño del barreno. Los diámetros del cartucho y del barreno deben ser lo más parecido posible, pero es adecuado que exista entre ellos una diferencia de  $\frac{1}{4}$ " para que el cartucho deslice sin dificultad al cargar el barreno.

Los barrenos se cargan colocando en el fondo de éste el cebo y después de él, los cartuchos que se indiquen en el diagrama de barrenación, -- comprimiéndolos con el atacador.

Los barrenos no se llenan totalmente, sino que se deja siempre una porción libre; ésta parte queda hacia afuera del barreno. Por varias razones de seguridad y eficiencia, es aconsejable llenar ésta parte con un material inerte, como arena, residuos finos de perforación, etc., que sea adecuado para encerrar los explosivos. Esta porción recibe el nombre de "taco".

Un barreno cargado queda como se muestra en la Figura III-8.

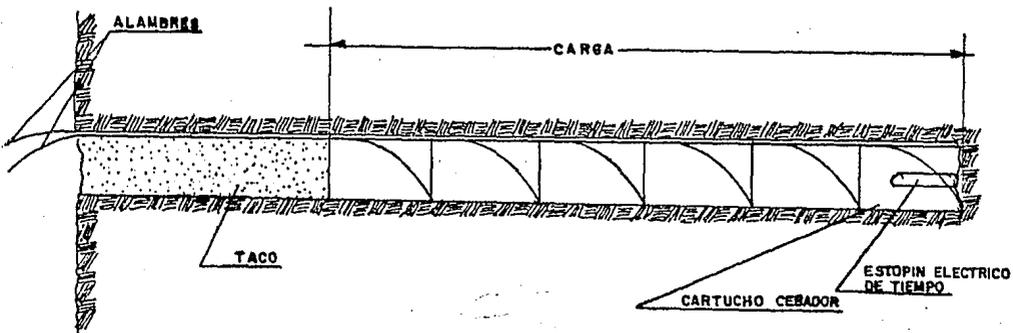


Fig. III. 8

Una vez que se han cargado los barrenos con el explosivo adecuado, - se procede a hacer las conexiones necesarias para producir la detonación de los barrenos.

Los disparos con electricidad son funcionales y prácticos, pero exigen el cumplimiento de ciertos requerimientos para su correcto funcionamiento. En general, para que una voladura de éste tipo tenga éxito, se deben desarrollar con cuidado los siguientes pasos:

- a). - Selección y disposición del circuito de voladura.
- b). - Conexión de los alambres y protección de las conexiones.
- c). - Prueba del circuito.
- d). - Utilización de la energía eléctrica disponible.
- e). - Protección del circuito de voladura de electricidad extraña.

Selección y disposición del circuito de voladura. - Para calcular el alambrado de cualquier voladura con electricidad y trazar correctamente su esquema, se hace uso de la Ley de Ohm (Gerg Simón Ohm (1789-1854), - la cual se expresa de la siguiente manera:

$$I = E/R$$

Donde: E = voltaje de la fuente de fuerza.

R = resistencia del circuito en Ohms.

I = corriente en ampers.

Existen tres tipos de conexiones que se usan comunmente para disparos - múltiples de estopines eléctricos y son los siguientes:

- a). - Circuitos en serie.
- b). - Circuitos en paralelo.
- c). - Circuitos en series paralelas.

La elección de cualquiera de éstos circuitos, se ve afectada principalmente por, 1) naturaleza y fuente de la corriente disponible, 2) el número de estopines que se desea detonar y 3) la resistencia total del circuito.

a). - Circuitos en serie. - Cuando se conectan los estopines en ésta forma, la corriente tiene solo un camino para llegar a todos los estopines del circuito. Las Figuras III-9 y III-10, muestran la forma de hacer un circuito en serie, para una ó varias líneas de barrenos.

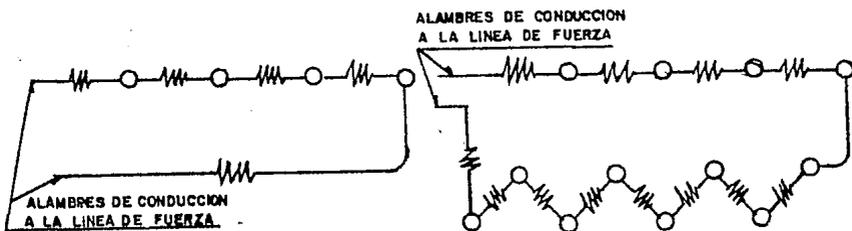


Fig. III-9

Fig. III-10

b). - Circuitos en paralelo. - En este tipo de circuito, las líneas de éste se desarrollan paralelamente entre sí; se une un alambre del estopín a una línea y el otro alambre del mismo detonador a la otra línea del cir-

cuito. Para aclarar esta explicación, se muestran en las Figuras III-11, III-12, III-13 y III-14.

c). - Circuitos en series paralelas. - Este tipo de circuitos se usa para detonar un número grande de estopines. Es una combinación de los dos tipos antes vistos, en las Figuras III-15 y III-16 se muestran croquis de estos circuitos.

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo de cada uno de los tipos de circuitos antes mencionados.

Circuito en Serie. Sea una voladura con estopines instantáneos, conectados en serie. Se supondrá que el circuito tiene el número máximo recomendado de estopines en este tipo de conexión. ( 50 estopines).

Los alambres de conducción se considerarán en el presente ejercicio, de cobre y de una longitud de 305 m. (1,000 pies) y del número 14. Los datos de resistencia, tanto para estopines como para cables, están dados en las Tablas III-IV y III-V.

Con las condiciones anteriores, se puede calcular la resistencia del circuito y por ende, la cantidad de energía requerida para hacer la voladura.

La resistencia total del circuito, será la que se obtenga de sumar la de los estopines y la de los alambres de conducción.

Resistencia de los Estopines. - En la Tabla III-V se observa que la resistencia para los estopines con alambre de 7.32 m. (24 pies), que son los --

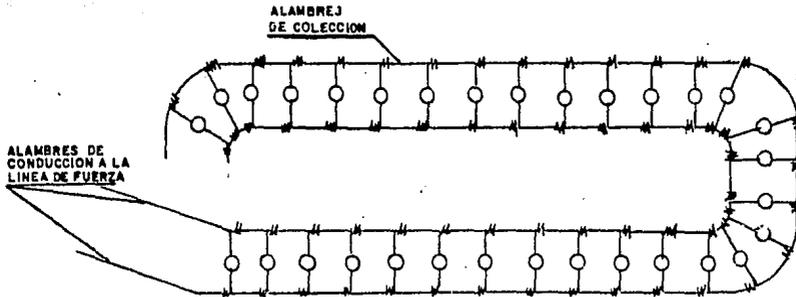


Fig. III.11

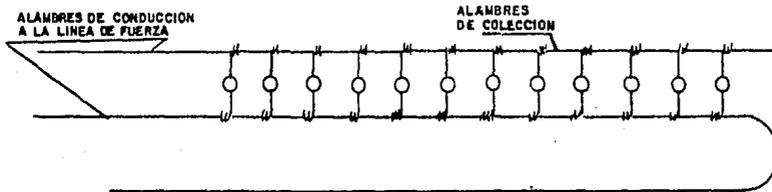


Fig. III.12

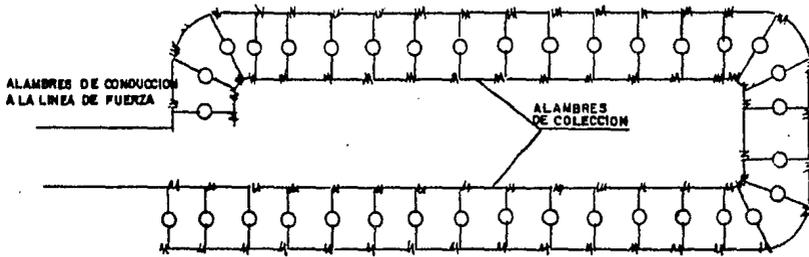


Fig. III.13

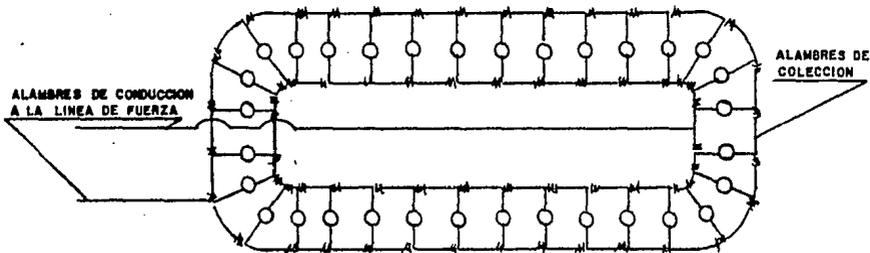


Fig. III.14

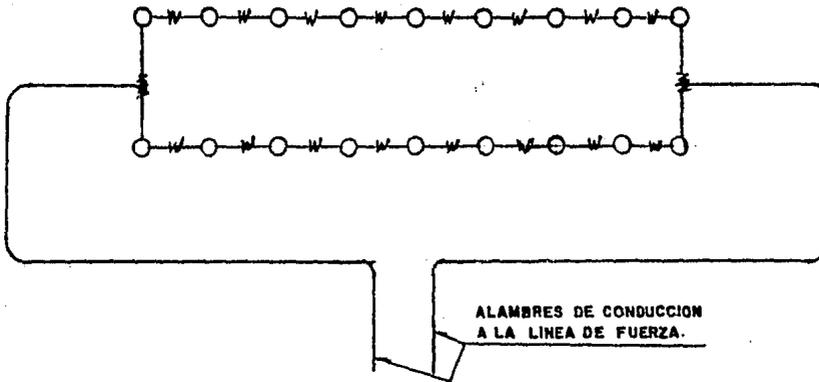


Fig. III-15 Circuito de serie doble.

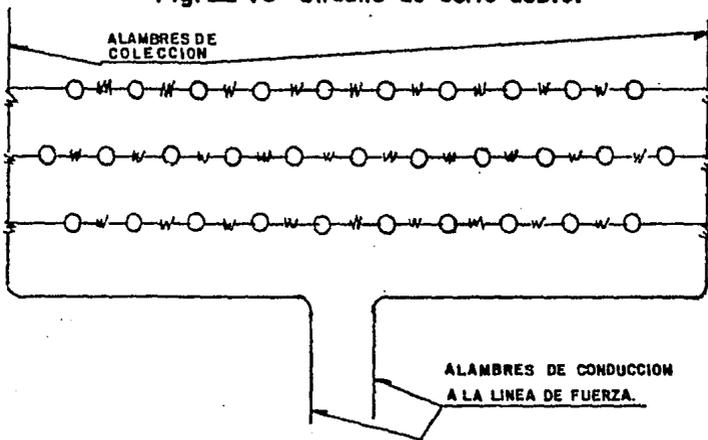


Fig. III-16 Serie en paralelo.

## RESISTENCIA DE ALAMBRE DE COBRE Y DE ALUMINIO

Calibre No.	Ohms por cada 1000 pies (305 metros)	
	Cobre	Aluminio
0	0.098	0.161
2	0.156	0.256
4	0.249	0.408
6	0.395	0.648
8	0.628	1.01
10	0.999	1.64
12	1.588	2.61
14	2.525	4.14
16	4.02	6.59
18	6.39	10.50
20	10.15	16.70
22	16.14	26.50

Tabla III-IV

## RESISTENCIA DE LOS ESTOPINES ELECTRICOS EN OHMS POR ESTOPIN

Longitud del alambre		Alambre de cobre		Alambre de Hierro	
		Estopines instantáneos	Estopines de tiempo regulares y "MS"	Estopines instantáneos	Estopines de tiempo regulares y "MS"
4'	1.22 m.	1.23	1.18	2.00	1.87
6'	1.83 "	1.29	1.24	2.40	2.27
7'	2.13 "	1.33	1.28	2.60	2.47
9'	2.74 "	1.39	1.34	3.01	2.88
10'	3.05 m.	1.42	1.37	3.21	3.08
12'	3.66 "	1.49	1.44	3.61	3.48
16'	4.88 "	1.61	1.57	4.42	4.29
20'	6.10 "	1.74	1.69	5.23	5.10
24'	7.32 "	1.87	1.82	6.04	5.91
30'	9.14 m.	1.70	1.66	7.25	7.12
40'	12.19 "	1.91	1.86	9.27	9.14
50'	15.24 "	2.11	2.06	11.29	11.16
60'	18.29 "	2.31	2.26		
80'	24.38 "	2.72	2.67		
100'	30.48m.	3.12	3.07		
150'	45.72 "	4.13	4.08		
200'	60.96 "	5.14	5.09		
250'	76.20 "	6.15	6.10		

Tabla III-V

que se considerarán en el presente ejemplo, es de 1.87 Ohms por estopín.

En la Tabla III-IV se indican las resistencias de los alambres:

$$50 \text{ (estopines)} \times 1.87 \text{ (Ohms/estopín)} = 93.5 \text{ Ohms.}$$

$$\frac{2,000 \times 2.5}{1,000} = \underline{5.0 \text{ Ohms.}}$$

$$\text{Resistencia total: } 98.5 \text{ Ohms.}$$

En libros especializados, se recomienda que la intensidad de corriente, en el caso de voladuras con conecciones en serie, no sea menor de 1.5 ampers.

Por ello se considerará este valor y se tendrá:

$$I = E/R$$

Donde: I = Intensidad de la corriente en ampers.

E = Voltaje.

R = Resistencia del circuito, en Ohms.

$$E = IR = 1.5 \times 98.5 = 147.75 \text{ volts.}$$

La fuerza teórica necesaria para la voladura, Potencia absorbida, es:

$$I^2 R = 1.5^2 \times 98.5 = 212 \text{ watts.}$$

Cuando en el circuito existen tanto estopines instantáneos como de retraso, la serie es combinada y debe en lo posible, evitarse, pero cuando éste es el caso, deben proporcionarse 2 ampers en lugar de 1.5. Si esto fuera, se tendría:

$$E = 2.0 \times 98.5 = 197.0 \text{ volts.}$$

La fuerza teórica será:  $2^2 \times 98.5 = 394.0 \text{ watts.}$

Circuito en Paralelo. - Se considerará en este ejemplo, un circuito de -  
80 estopines instantáneos en paralelo directo.

En libros de explosivos, se recomienda dar una intensidad de corriente de  
0.5 ampers por estopín, en este tipo de circuitos, por tanto se necesitará  
en este caso, 80 (estopines) X 0.5 (ampers/estopín) = 40 ampers.

Para calcular la resistencia de los estopines, se tiene:

$$\text{Resistencia total de los estopines} = \frac{\text{Resistencia de un estopín}}{\text{Número de estopines.}}$$

$$\text{Por tanto la resistencia será: } R = \frac{1.87 *}{80} = 0.0235 \text{ Ohms.}$$

\* De la Tabla III-V para estopines instantáneos, con alambre de cobre  
de 24 pies.

Esta resistencia es muy pequeña comparada con la de los alambres de --  
colección y conducción y puede en general despreciarse, considerándose  
solamente la resistencia de los alambres antes citados.

Se considerará que los estopines están conectados con 450 pies de alambre  
de colección calibre 14, y éstos unidos a su vez, a dos alambres de conduc-  
ción, calibre 12, de 100 pies de longitud cada uno, siendo todos los alam--  
bres de cobre. De donde:

Resistencia debida a los alambres de colección (se considera la mitad):

$$\frac{450}{2} = 225 \text{ pies}$$

De la Tabla III-IV, se tiene que la resistencia de 305.0 m. de alambre de cobre calibre 14, es 2.525 Ohms.

$$\text{Por tanto: } \frac{225 \times 2.525}{305} = 1.86 \text{ Ohms.}$$

Y debido al alambre conductor:

$$\frac{610 \times 1.588}{305} = 3.176 \text{ Ohms.}$$

$$\text{Entonces: Resistencia total} = 1.860 + 3.176 = 5.036 \text{ Ohms.}$$

El voltaje necesario es:

$$E = I R = 40 \times 5.036 = 201.44 \text{ Volts}$$

La fuerza teórica será:

$$F = I^2 R = 40^2 \times 5.036 = 805.76 \text{ watts.}$$

Circuitos en Series Paralelas. Considerando para este ejemplo un circuito de series en paralelo, en el que existen 10 series de 30 estopines eléctricos instantáneos, en cada una, con 305 m. ( 100 pies ) de alambre de colección de cobre calibre 16 y 2 alambres conductores calibre 12 de 610 m. cada uno, también de cobre.

Es importante que en este tipo de circuito, cada serie reciba 1.5 ampers cuando se usan solo estopines instantáneos. Si se mezclan estopines de retraso e instantáneos, deberán proporcionarse: 2.0 ampers por serie.

En este ejemplo se tiene:

$$I = 10 \text{ (series)} \times 1.5 \text{ (ampers/serie)} = 15.0 \text{ ampers}$$

La resistencia de cada circuito es:

$$30 \text{ (estopines)} \times 1.87^* \text{ (Ohms./estopín)} = 56.1 \text{ Ohms.}$$

\* De la tabla III-V.

La resistencia de todos los circuitos, es por estar en paralelo:

$$R_1 = 56.1/10 = 5.61 \text{ Ohms.}$$

La resistencia del alambre de colección, será:

$$R_2 = (305/2) \times 4.02/305 = 2.01 \text{ Ohms.}$$

La resistencia de los alambres conductores es:

$$R_3 = 610 \times 1.588/305 = 3.174 \text{ Ohms.}$$

La resistencia total será:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = 5.610 + 2.010 + 3.176 = 10.796 \text{ Ohms.}$$

El voltaje necesario será:

$$E = I R = 15.0 \times 10.796 = 161.94 \text{ volts.}$$

La fuerza teórica necesaria es :

$$E = I^2 \times R = 15.0^2 \times 10.196 = 2,429.10 \text{ watts.}$$

Conexión de los alambres y protección de las conexiones. - Consiste en conectar los alambres de los estopines a las líneas del circuito, protegiendo las uniones con material aislante. Antes de que sean -- conectados los alambres de los detonadores, deberán permanecer - las puntas de éstos en corto circuito.

Prueba del circuito. - Cualquier tipo de circuito de los antes vistos, que se emplee, es probado al tiempo que se termina de conectar ca da serie o circuito en paralelo, con un galvanómetro para garanti-- zar que el circuito está correctamente conectado, o en caso de no - ser así, localizar falsos contactos o fugas de energía en el circui-- to para corregirlas, hasta que el galvanómetro indique que la co-- nexión es correcta.

Utilización de la energía eléctrica disponible. - Cuando se va a rea- lizar la voladura, la iluminación del frente no se hace tomando ener- gía de la línea general, sino debe hacerse usando las baterías de -- una locomotora y/o con reflectores instalados en la plataforma de barrenación.

Se debe verificar que sea posible detonar el circuito elegido con la- energía que proporciona la línea disponible en la obra.

Protección del circuito de voladura de electricidad extraña. - Los circuitos deben protegerse de electricidad extraña que pudiera llegar a él, pues podría producirse una voladura prematura.

Existen muchos medios por los que puede llegar este tipo de energía a los circuitos; las formas o fuentes de ésta son muy diversas, por ejemplo, electricidad estática, transmisores de radio, corrientes dispersas, etc.

Cualquiera que sea el circuito elegido para la voladura, se dibuja en el diagrama de barrenación, indicando su alambrado y secuencia de la detonación.

3. - Retiro, detonación de los explosivos y ventilación. - Después de quedar preparado y conectado el circuito de voladura, se retirará todo el equipo y el personal a una distancia adecuada.

No hay una regla general para determinar los límites de una zona de voladura, de tal manera que deberá estimarse ésta en base a la experiencia y tomando en cuenta que dicha zona es el tramo en que por efecto de la explosión pueda herirse el personal o resultar dañado el equipo; se dará además un margen de seguridad.

A continuación se hace llegar la energía eléctrica a los detonadores, tomándola de la línea instalada con ésta finalidad, y así se lleva a cabo la voladura.

Al producirse la detonación, el frente se llena de polvo y gases. Para que alguna persona pueda acercarse a la cara del túnel, debe esperar a que se despeje la zona, pues es en extremo peligroso hacerlo sin una adecuada visibilidad. El tiempo máximo para que ésta exista, es en general de 30 minutos, en los frentes del túnel del Emisor Central. Para lograr en éste tiempo una zona despejada, es necesario contar con un equipo de ventilación adecuado.

Este aspecto de la ventilación, es de primordial importancia cuando se trabaja en túneles, y en especial cuando se usan explosivos.

Existen tres sistemas generales de ventilación que pueden usarse durante la construcción de los túneles. En los tres se requiere tener una tubería de ventilación que se acerque lo más posible al frente. Figura III-3 por la cual el aire fresco llega,  $\delta$  se extrae el viciado.

Uno de los procedimientos mencionados, consiste en inyectar aire fresco al frente, originándose así una corriente de aire, del frente hacia la lumbrera, por la cual sale el aire contaminado.

Este sistema tiene el inconveniente de provocar que a lo largo del túnel exista siempre una atmósfera viciada.

Otro sistema consiste en extraer por el tubo de ventilación, el aire -- del túnel, forzándose de ésta manera a que el aire fresco entre por la lumbrera y recorra el túnel hacia el frente de trabajo. Con éste sistema se logra una atmósfera más limpia a lo largo de la obra, pero el - aire viciado se concentra en el frente, que es una zona de intenso tra- bajo, lo cual no es aconsejable.

El sistema de ventilación que queda por explicar, consiste en inyec-- tar aire del exterior durante todas las actividades, pero al hacer una voladura, se extraen los gases producto de la explosión y después de ello se vuelve a inyectar aire fresco hasta la siguiente tronada.

Las instalaciones para ventilación que existan en un túnel, deben ser capaces de extraer o proporcionar una cantidad de aire, que varía en - función de los motores existentes en el túnel, del personal que labore en el tramo por ventilar y del volumen de humo y gases producidos - en cada tronada.

Para poder valorar las necesidades de aire, existen algunas especifi- caciones al respecto.

Según el Reglamento de Seguridad en los Trabajos de las Minas, Artículo 140 "Las concentraciones de gases tóxicos en el escape, no excede-- rán en los siguientes límites por volumen:

Monóxido de Carbono	0.25 %
Dióxido de Nitrógeno	0.10 %
Dióxido de Azufre	0.10 %
Aldehídos	0.001%

Según el Artículo 141, en el aire ambiente, el contenido de oxígeno no será menor del 20% por volumen y los gases nocivos no excederán de los siguientes límites por volumen:

Dióxido de Carbono	0.50 %
Monóxido de Carbono	0.01 %
Dióxido de Nitrógeno	0.0005 %
Dióxido de Azufre	0.0005 %
Metano	1.00 %

El Artículo 144 especifica como mínimo suministro de aire en una mina, el de 1.5 metros cúbicos de aire por minuto y por persona".

En la construcción de Emisor Central se consideran los gastos de aire siguientes:

- a). - Para personal:  $Q = 200 \text{ ft}^3/\text{min}/\text{hombre}$
- b). - Motores Diesel  $Q = 70 \text{ ft}^3/\text{hp}/\text{min.}$
- c). - El gasto de aire requerido por efecto de los explosivos, se obtiene

con la siguiente fórmula empírica:

$$Q = 36 S/T$$

Donde: S = Carga total de explosivos. (kgs.)  
T = Tiempo de Ventilación (min.)  
Q = Capacidad de ventilación. ( $\text{M}^3/\text{min.}$ )

Con los gastos obtenidos de las fórmulas (a) y (b) se tiene el caudal de aire necesario para el desarrollo de las actividades normales. Con la fórmula (c), se conoce el tiempo necesario para eliminar los humos que se producen al hacer una voladura, dado un equipo de ventilación. Hasta que se han disipado los gases, es posible acercarse al frente. Es común que después de la explosión queden rocas muy flojas en el techo ó paredes, lo cual constituye un serio peligro. Por éste motivo las primeras personas que se aproximan al frente, llevan barretas para comprobar la firmeza del terreno y quitar del lugar peligroso el material que se halle en las condiciones antes mencionadas.

Debe tenerse especial cuidado con la posible existencia de barrenos quedados. Si éstos existen, en el caso de usar estopines eléctricos, como se hace en el Emisor Central, se prueban las puntas del estopín del barreno quedado después de haber desconectado los cables de conducción; si se encuentra que existe circuito, se vuelve a tronar; si esto vuelve a fallar o no se detectó antes circuito, se cebará nuevamente el barreno para detonarlo.

Cuando ha quedado el frente preparado, se acerca el equipo de rezaga y en algunas ocasiones simultáneamente el necesario para poner algún ademe, por ejemplo concreto lanzado, del cual se hablará más adelante.

4.- Rezaga, acarreo horizontal y manteo. - El paso a seguir, es sacar el material fragmentado. Esto se consigue de la siguiente manera: lo primero que debe hacerse, es la rezaga. Consiste ésta en levantar el

material suelto y colocarlo en las vagonetas en las que se hará el acarreo horizontal, hasta la base de la lumbrera. Este acarreo constituye un segundo paso. En la alcancía esperan la carga de las vagonetas, dos skips; cuando uno de ellos es cargado, se efectúa el manto ( izado del material hasta la superficie ). Los skips son operados desde la superficie por medio de un malacate.

En el Emisor Central se usan como equipos de rezaga:

Rezagadora " Conway " Modelo 100-2

Cargador de descarga lateral " Caterpillar " 955-H ó 955-K

Pala " Yumbo ".

La forma en que se lleva a cabo el transporte del material excavado del frente de trabajo a la lumbrera, es de gran importancia y puede variarse en función del equipo de rezaga empleado.

En el Emisor Central se emplean para el transporte, carros mineros, - Estos carros o vagonetas, son movidos por tres locomotoras. Una de -- ellas, llamada " de tránsito ", lleva las vagonetas cargadas del frente a la lumbrera y regresa al frente con vacías. Otra de las locomotoras designada como " de frente ", acerca las vagonetas vacías al equipo de rezaga para que éste las llene, prepara además el tren de vagonetas llenas, que la de tránsito deberá llevar a la lumbrera.

La tercera locomotora del sistema, acerca las vagonetas llenas hasta la alcancía para que sean vaciadas en los skips; esta misma locomotora prepara el tren de vagonetas vacías y aguardará a la de tránsito.

El ciclo se repite hasta terminar de sacar todo el material

El manto o izado del material, forma parte integral del sistema, pues una alteración en él afectaría todo el proceso.

5. - Protección de la excavación . - Debe colocarse un sistema de ademe al terreno excavado, lo antes posible. La excavación se mantiene sola en general, por un cierto tiempo, pero si en este período no se proporciona al terreno una forma adecuada de sostenimiento, terminará por caer el material. Sólo en el caso particular de encontrarse con roca sana, sería factible no poner el ademe, pero éste no es el caso general.

En el Emisor Central, se usan 4 tipos generales de ademe que se han empleado a lo largo del túnel. Estos son:

- a). - Marcos metálicos y retaque de madera.
- b). - Pernos de soporte.
- c). - Concreto lanzado.
- d). - Tratamientos.

Se considera que la protección de la excavación se realiza después de --

haber terminado la rezaga, pero siempre es recomendable el traslapar estas operaciones.

A continuación se verá cada uno de los medios de protección de la excavación antes mencionados, en forma breve.

a). - Marcos metálicos y retaque de madera. - Los marcos a colocarse como ademe, deben quedar bien orientados, tanto en línea como en nivel. Los marcos se colocan por secciones en el túnel. Se ponen en su lugar primeramente, las columnas ó patas del marco, sobre una plantilla que previamente se ha puesto a nivel. La separación de las columnas del marco, darán el ancho del túnel, el que está determinado por el proyecto.

La posición correcta de las patas del marco se puede determinar con -- ayuda del Ingeniero Topógrafo que indicará la colocación correcta, de -- acuerdo a la visual de su Tránsito. Esta visual, será la prolongación -- del alineamiento general del túnel.

Una vez puestas las columnas en su lugar, se colocarán separadores de éstas al marco contiguo, así como los tensores necesarios. Con las columnas del marco niveladas, centradas y aseguradas, se procede a ce--rrar el marco con su cabezal, el cual está formado por dos arcos unidos en la parte central y que se apoyan en la parte superior de las columnas a las que se ligan por medio de tornillos. También en ésta actividad el --

Topógrafo seguirá la acción para asegurarse de la correcta colocación del marco. Una vez colocado totalmente el marco, que es el ademe de la excavación, se procede de inmediato a realizar el retaque de madera.

Para hacer el retaque del marco, se colocan primeramente bloques de madera, entre el terreno por ademar y el patín exterior del marco con objeto de transmitir al marco, cargas en lugares determinados; generalmente los bloques de madera se colocan en la parte superior e inferior de las patas; en la clave se colocan dos, además uno en cada extremo del eje horizontal y tres en puntos intermedios equidistantes en cada lado del arco. A lo anterior, se llama "castigo del marco". Después de esto se procede a cubrir con madera los espacios dejados por los bloques anteriores, cubriendo el claro existente entre marco y marco, pero sin tapar totalmente. Así se detiene el material que hay entre dos marcos consecutivos. Esto último se llama "tupido de madera".

El "castigo" y el "tupido" se aseguran todavía con cuñas de madera.

Existe un punto importante a considerar aún, en éste tipo de ademe. Cuando se prevé que los empujes laterales del terreno serán importantes, se da al marco de ademe un elemento resistente más, que une la parte inferior de las columnas; dicho elemento recibe el nombre de "tornapunta".

b). - Pernos de soporte. - Son éstos pernos, anclas de una longitud --

adecuada, dependiendo ésta última del tipo de terreno en que se usen. -  
Funcionan apoyándose en la misma roca que van a soportar, pero la re-  
gión de apoyo no está tan próxima a la superficie de la roca, como la --  
parte de la misma que va a ser soportada. Estas anclas tienen un meca-  
nismo en un extremo, de tal manera que puede meterse cerrado en un ba-  
rreno; una vez dentro se expande de tal manera que se apoya en la roca  
misma. Generalmente se colocan perpendicularmente a la roca por so--  
portar, aunque debe en ocasiones, ponerse de otra manera, de tal forma  
que siendo perpendicular a la estratificación de la roca, garantice buenos  
resultados. En la parte de afuera, es decir, entre la superficie exterior  
de la roca y la porción de ancla que quedó descubierta, se coloca una pla-  
ca metálica que proporciona una área mayor de apoyo.

En el Emisor Central, cada vez que se hace una voladura, se verifica -  
el correcto estado de las anclas preexistentes, pues por efecto de la ex-  
plosión podrían aflojarse las tuercas de anclaje.

c) Concreto lanzado. - El concreto lanzado, es un sistema de ademe -  
provisional. Puede colocarse con gran rapidez, después de la voladura,  
aún sin haber retirado el material de rezaga. Es posible colocar el con-  
creto lanzado al mismo tiempo que trabaja el equipo de rezaga, sin in-  
terferirse las operaciones. Esta protección es apropiada cuando existe  
terreno de fácil intemperización.

Consiste este ademe, en la aplicación de concreto a presión, con equipo especial. Este equipo está constituido por un carro-tolva, que es un vehículo dotado de dos tolvas, una adelante de otra; la que se encuentra en la parte delantera, tiene la función de contener el cemento, en la otra se colocan los agregados, grava y arena, en la proporción deseada. Estos carros se llevan hasta otra máquina llamada "lanzadora", la cual se encuentra cerca del sitio donde se aplicará el concreto; el carro en el que se transporta el cemento y los agregados, está dotado de un transportador de hélice en la parte inferior de las tolvas, de tal suerte que lleva consigo agregados y cemento al girar, y los deposita en la tolva de la "lanzadora". El citado transportador, está diseñado de tal forma que las cantidades que toma, tanto de agregado como de cemento, son las suficientes para dar una resistencia predeterminada. La "lanzadora" es una máquina neumática, que despidе de sí por una manguera, el material que se deposita en su tolva; en el extremo de la manguera, tiene acoplado un chiflón, por medio del cual se le adiciona a la mezcla, el agua necesaria para hacer reaccionar el cemento y los aditivos que se le hayan puesto para el rápido fraguado.

La presión con que es lanzado el concreto, es del orden de  $5.0 \text{ Kg/cm}^2$ . Al tocar el concreto la superficie de la roca, parte de él se adhiere a ésta y el resto rebota; éste rebote no debe ser mayor del 50%.

d). - Tratamiento. - Estos son diferentes formas de actuar sobre el terreno, de tal manera que se consiga controlar el material, para poder trabajar en el túnel en condiciones de seguridad aceptables.

Este aspecto ha sido mencionado en el Capítulo II. De los tratamientos - - ahí indicados, se usa con mucha frecuencia en el Emisor Central, el de - - "Inyección de Suelos".

Quedan por hacer trabajos eminentemente topográficos. En éstos debe obtenerse la sección de la excavación que se acaba de hacer; debe prolongarse el alineamiento del túnel y marcar éste en el frente .

El alineamiento mencionado puede prolongarse desde fuera del área de trabajo de una rezagadora y es siempre recomendable traslapar ambas actividades. Se localizan los ejes horizontal y vertical de la sección y con esto se puede trazar la nueva sección que se tratará de obtener en la siguiente voladura.

Los Ingenieros Topógrafos deben vigilar que los niveles y alineamientos - se respeten al colocar los marcos de ademe y dejarán también señales para poder prolongar el alineamiento del túnel, mientras se trae el alineamiento de precisión. Este último se corrobora generalmente cada semana, en el Emisor Central.

Los trabajos topográficos antes mencionados, excepto el de alineamiento de precisión, se conocen en la práctica como "trabajos de frente".

El realizar el citado "Alineamiento de precisión" constituye otra fase del trabajo de topografía; ésta es la Topografía de Precisión.

Este alineamiento se baja a través de las lumbreras y la línea de precisión se marca en el túnel en placas metálicas que están ancladas en el piso ó techo. Este último trabajo se hace con los medios más avanzados.

De ésta manera se avanza en la excavación del túnel del Emisor Central, - cuando el material, es desde roca muy dura hasta material blando, pero - susceptible de hacer sobre él una barrenación y una voladura.

Cuando un tramo de túnel ha quedado perforado y debidamente protegida la excavación con el ademe adecuado, se hace el revestimiento final del túnel, el cual dará a éste la sección de proyecto y la apariencia que tendrá durante toda su vida útil. Esta apariencia dista mucho de la que se presenta a la vista del Ingeniero, cuando se acaba de hacer una voladura.

## CAPITULO IV

### EJEMPLO NUMERICO.

En este Capítulo se presenta un ejemplo numérico del proceso constructivo descrito en el Capítulo precedente.

Las características geométricas consideradas, son las del túnel del Emisor Central, así mismo son tomadas de la construcción de este túnel las características del terreno y todas las consideraciones hechas aquí son -- las comunmente aceptadas en la construcción.

#### 1. - Barrenación.

Las características geométricas de la sección del túnel, son de la siguiente manera: Sección en forma de herradura, formada en la parte superior

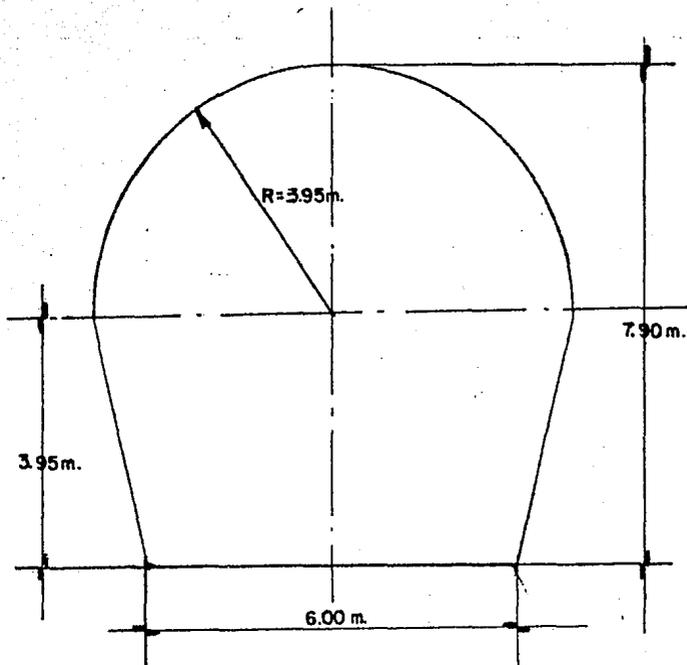


Fig. IV · 1.a.

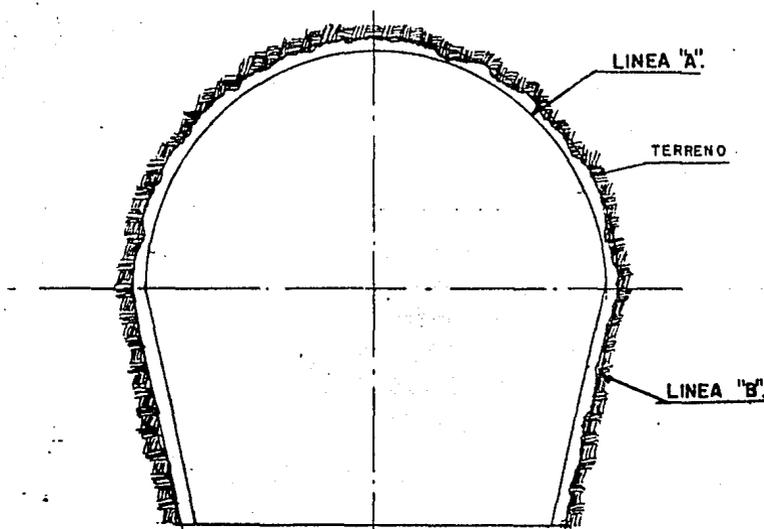


Fig. IV · 1.b

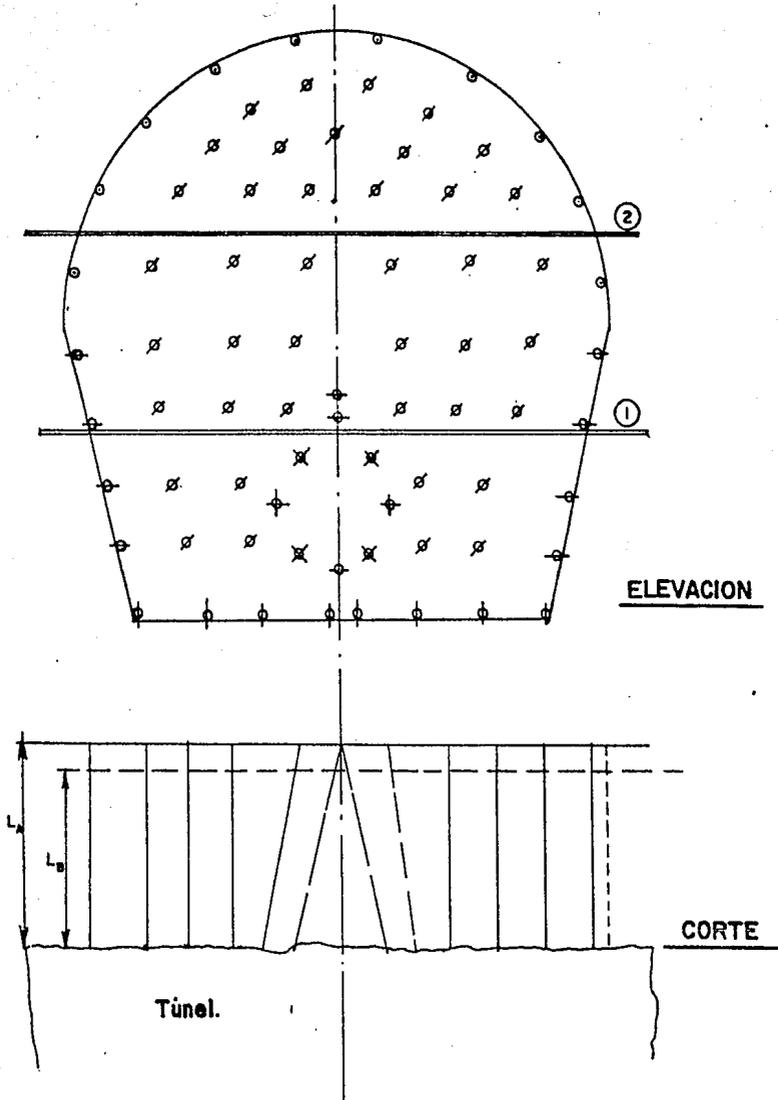


Fig. IV·2

PLANTILLA DE BARRENACION. LOS CIRCULOS INDICAN LA POSICION DE LOS BARRENOS Y LOS SIMBOLOS, CRUCES, Y DIAGONALES, EL TIPO DE LOS MISMOS, DE ACUERDO A LA SIGUIENTE CLAVE:

- |   |                      |   |                    |
|---|----------------------|---|--------------------|
| ⊗ | BARRENOS DE CUÑA.    | ⊖ | BARRENOS DE TABLA. |
| ⊕ | BARRENOS AYUDANTES.  | ⊙ | BARRENOS DE TECHO. |
| ⊘ | BARRENOS DE DESCARGA | ⊚ | BARRENOS DE PISO.  |

- ① y ② NIVELES DE LA PLATAFORMA DE BARRENACION (JUMBO).  
 $L_A$  = PROFUNDIDAD DE BARRENACION.  
 $L_B$  = AVANCE ESPERADO.

por una semi-circunferencia con un diámetro de 7.90 m. y a partir de su diámetro horizontal, se trazan dos líneas rectas que en el piso tienen una separación de 6.00 m., siendo la altura total de la sección, de 7.90 m. - también. Figura IV-1.a y IV-1 b.

El área de la sección, es la siguiente:

$$A = \frac{1}{8} \times \frac{7.9^2}{2} + \frac{(7.90 - 6.0)}{2} \cdot 3.95 = \underline{\underline{52.00 \text{ m}^2}}$$

Para diseñar una plantilla de barrenación adecuada, es necesario conocer las características del terreno por excavar.

Este terreno está constituido por un conglomerado, o sean, gravas redondeadas cementadas. Este material aunque tiene ya características de roca, no es muy duro.

Tomando en cuenta las características antes mencionadas, examinando los diferentes tipos de cuña y su funcionamiento y con la experiencia adquirida en voladuras anteriores, se optó, en éste caso, por usar una cuña en "V", (en ángulo). Considerando así mismo las recomendaciones mencionadas en el Capítulo anterior, se diseñó una plantilla de barrenación como la que -- muestra la Figura IV-2. En ésta figura se indica claramente la colocación, tipo y número de barrenos que deben hacerse. La clasificación de los barrenos, es la dada en el Capítulo III. En el corte de la misma figura, se - puede ver claramente como los barrenos que forman la cuña, casi se - - -

unen en el fondo, de tal manera que cuando se detonen sacarán la cuña proporcionando espacio libre al resto de la voladura.

De una inspección de la figura se pueden localizar 4 barrenos de cuña, 4 ayudantes, 41 de descarga y 26 barrenos perimetrales; de éstos últimos, 8 son de tabla, 10 de techo y los 8 restantes de piso, haciendo un total de 75 barrenos en la sección. También se indican en el mismo dibujo, las alturas a que quedan los niveles de la plataforma de barrenación (Jumbo).

Al hacer la plantilla de barrenación, debe especificarse la longitud de los barrenos ( $L_a$ ) y en base a la experiencia estimarse el valor ( $L_b$ ), que es el avance que se espera obtener.

En el presente ejemplo, se fijó una longitud de barrenación ( $L_a$ ) = 2.90 m., aproximadamente la mitad del ancho del túnel ( 3.0 m.), pero por haber hecho otras voladuras y ver el avance logrado, se estima que la longitud real volada será  $L_b = 2.54$  m.

De lo anterior se desprende que se deberá perforar una longitud de:

Longitud barrenada Total = 2.90 m. X 75 barrenos = 217.50 m.

Se tendrá un volumen teórico de roca fragmentada de:

Volumen de Roca Fragmentada (insitu) =  $52.0 \times 2.54 = 132.08 \text{ m}^3$ .

A este volumen teórico, todavía debe aumentársele un porcentaje por efecto de material, que aunque no se desprenda de la masa de roca en el momento de la explosión, queda tan fracturado ó flojo por efecto de ésta, que termina por caer. El porcentaje que se adicione depende del tipo de mate-

rial, explosivo usado, etc. y del criterio y experiencia de la persona que haga tal estimación. En el presente caso se consideró ese aumento de 9%, de tal suerte que se tiene:

Volumen de Roca por Tronada =  $132.08 \text{ m}^3 \times 1.09 = 143.97 \text{ m}^3$ .

En la platilla de barrenación se mostrará también el diámetro de los barrenos y el tipo de acero de barrenación a usar. En éste caso se seleccionó acero integral de barrenación, Serie 12 de 3.20 m. de longitud y 37 mm. de diámetro.

Con la plantilla de barrenación preparada, se procede a la ejecución del trabajo.

Para que los perforistas hagan los agujeros en la posición correcta, se marcan éstos en la cara del túnel con pintura. Esta actividad se lleva a cabo con ayuda de Topografos y el hacerlo tomó un tiempo de 20 minutos.

Para realizar la perforación, se usaron en este caso, 8 perforadoras de pierna marca "Atlas Coppco" y además se tenían como reserva otras 4.

Las perforadoras son neumáticas y tienen un consumo de aire de  $160 \text{ ft}^3/\text{min}$  a una presión de  $85 \text{ lb/pulg}^2$  a nivel del mar.

Para satisfacer éstos requerimientos de aire, se tiene en superficie compresores capaces de alimentar a las perforadoras y demás equipo neumático que se irá mencionando conforme se desarrolle el ejemplo.

En ésta actividad, se necesitó un perforista y su ayudante para cada máquina. Se cronometró un tiempo de una hora y 35 minutos desde el comienzo de la barrenación hasta que la última perforadora dejó de trabajar.

## 2. - Carga explosiva y conexiones eléctricas.

Siguiendo el orden normal de las actividades, el paso que sigue es el de llenar los barrenos con material explosivo y hacer los preparativos pertinentes para la voladura.

En la plantilla de barrenación, que se preparó en la actividad anterior, debe especificarse también la carga que se colocará en cada perforación, haciendo una especificación clara, tanto del tipo de explosivo a usar, como de su dosificación y clase de cartucho, aclarando si han de usarse estopines de retardo o no y todos los datos que puedan ser de utilidad para evitar confusiones y pérdida de tiempo a la hora de ejecutar las acciones.

El tipo de explosivo seleccionado en éste ejemplo, es "gelatina extra 40%". Este tipo de explosivos son resistentes al agua y no producen muchos gases. La potencia de la dinamita se escoge en base a las características del material por excavar y del diagrama de barrenación.

Se indica pues, la carga que debe llevar cada barreno, especificando la carga de fondo, que es el cebo del barreno y la columna de explosivo después de éste, diciendo el número de cartuchos ó bombillos que deban colocarse en cada una de las perforaciones.

Es importante especificar claramente si la columna de explosivos es continua, como la de la figura III-8, ó no, pues en ocasiones se separa un cartucho de otro ó grupo de cartuchos en el mismo barreno. En tal caso se -- usan detonadores especiales, como Primacord.

En lo que a éste aspecto concierne, las especificaciones para el ejemplo, son las siguientes:

- a). - Todos los barrenos se llenarán con una columna continua de explosivos.
- b). - La carga de fondo ó cebo, es también la misma para todos los barrenos y deberá ser un bombillo de gelatina extra 40%, de 1 1/8" de diámetro por 8" de longitud y un peso de 198 gramos, promedio.

El peso de los cartuchos debe especificarse, pues en la línea actual de explosivos, que los fabricantes ofrecen al consumidor, las cajas de -- cartuchos de 1 1/4 de diámetro por 8" de longitud de 50 libras, varían en su contenido de cartuchos entre 90 y 162 bombillos aproximadamente.

- c). - La columna de carga de cada barreno, se hará también con bombillos de 1 1/8" por 8". Quedará la carga de la siguiente manera:
  - Cada uno de los 4 barrenos de cuña deberán tener 12 bombillos.
  - Los barrenos ayudantes, 4 en total, tendrán 11 cartuchos cada uno.
  - Todos los barrenos de descarga ( 40) tendrán 9 bombillos cada uno.
  - Los barrenos perimetrales estarán cargados como sigue:

Los de tabla, 8 bombillos por barreno.

Los de techo 7 bombillos por barreno.

Los de piso 12 bombillos por barreno.

De ésta manera queda bien definida la forma como deben cargarse los barrenos.

Debe ahora, en base al diagrama de barrenación, buscarse la forma más conveniente de conectar los barrenos, ya sea con circuitos en serie, en paralelo o series en paralelo.

Para la selección del circuito más conveniente, se tomaron en consideración los aspectos indicados para éste punto, en el Capítulo III.

Como el número de estopines es grande, no es conveniente elegir un circuito en serie; si se conectan más estopines de los recomendados en este tipo de circuitos, la resistencia de éste empieza a ser muy grande.

Un circuito en paralelo, puede considerarse apropiado para los 75 barrenos, sin embargo el conectar el circuito con varias series, presenta también ventajas, como la de poderse probar serie por serie al conectarlas y después el circuito completo.

Por las razones expuestas y además por haber experimentado voladuras previas durante la excavación de éste túnel, usando en ellas la conexión con series en paralelo y obteniéndose resultados satisfactorios, se eligió este tipo de conexión.

Debe entonces seleccionarse una distribución de las series de la manera más conveniente. Se formarán éstas procurando que tengan el mismo número de estopines, y de tal manera que el conectarlas resulte sencillo y no se crucen

o estorben los alambres. Se optó por formar 6 series, de las cuales 4 están formadas por 12 estopines cada una y de las 2 restantes, una tiene 11 y la otra 16 estopines. La Figura IV-3 muestra una sección de túnel con la colocación de barrenos y series, así mismo se indica el orden que habrán de seguir para la detonación.

#### Cálculo del Circuito:

El cálculo se hace de la forma indicada en el Capítulo III, de tal manera que para éste caso se tiene:

Intensidad de la corriente:

$$I = 6 \text{ (series)} \times 2^* = 12 \text{ Amperios}$$

\* 1.5 es el voltaje recomendado en libros de explosivos para suministrar a cada serie en éste tipo de circuitos, cuando solo hay estopines M.S. y cuando en el circuito existen estopines de retardo e instantáneos, este valor es 2.

La resistencia de las series, es:

a). - De las de 12 estopines:  $R = 12 \times 1.37^* = 16.44 \text{ Ohms.}$

b). - De la de 11 estopines:  $R = 11 \times 1.37^* = 15.07 \text{ Ohms.}$

c). - De la de 16 estopines:  $R = 16 \times 1.37^* = 21.92 \text{ Ohms.}$

\* Tomado de la tabla III-V para estopines de tiempo y reguladores M.S. con alambres de 3.05 m.

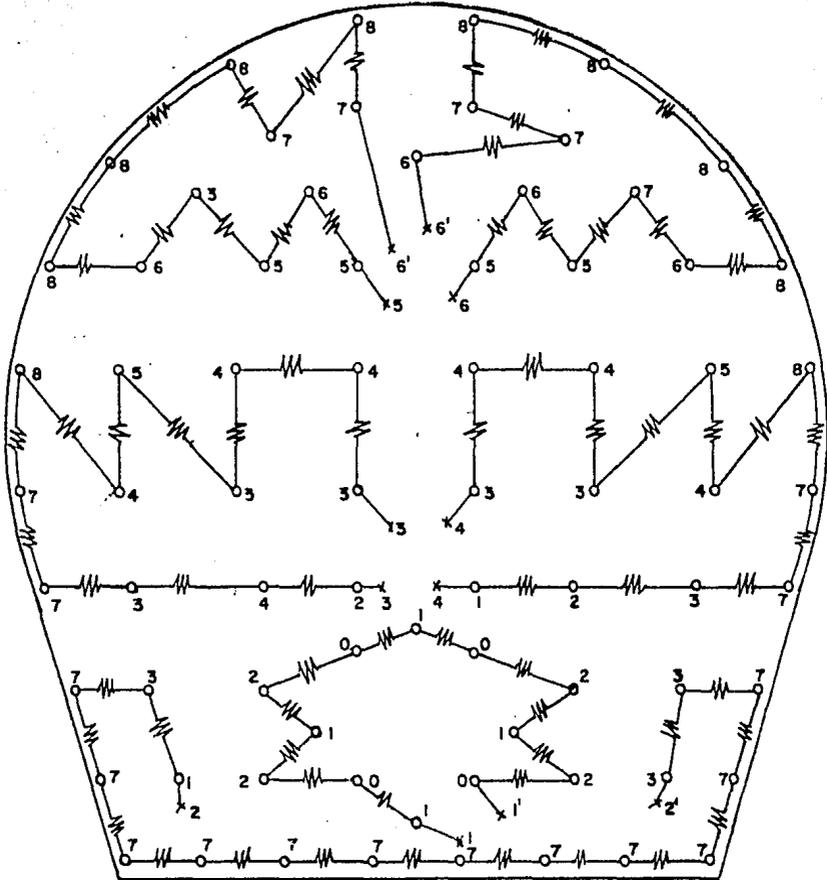


Fig. IV-3

PLANTILLA DE BARRENACION DISPOSICION DE SERIES  
ELECTRICAS Y EL CIRCUITO TOTAL.

( Los barrenos marcados con "0" tienen un estopín instantáneo. La numeración indica el orden de explosión.)

La resistencia colectiva de los circuitos, por estar en paralelo, es:

$$\text{Resistencia colectiva} = \frac{\text{Resistencia de una serie}}{\text{Número de series}}$$

Tomando la resistencia mayor, se tiene:

$$R_c = 21.92/6 = 3.653 \text{ Ohms.}$$

Los alambres de colección, son del número 20 y con una longitud de 20.0 m. cada uno. La resistencia de éste alambre, es la mitad de la resistencia total. Tomando resistencias de la Tabla III-IV, se tiene:

$$\frac{10.15}{305} = \frac{X'}{20} ; X' = 20.3/305 = 0.665 \text{ Ohms.}$$

Los alambres de conducción ( 2 ), son del número 14 y tiene cada uno, una longitud de 130.0 m. Al igual que todos los alambres que se han considerado en el ejemplo, son éstos de cobre. Entonces:

$$\frac{2.525}{305} = \frac{X''}{260} ; X'' = 2.15 \text{ Ohms.}$$

La suma de las resistencias es la resistencia total del circuito.

$$\Sigma R = R_T ; R_c + X' + X'' = R_T = 6.468 \text{ Ohms.}$$

La caída de voltaje es:

$$12 \text{ Amp.} \times 6.468 \text{ Ohms.} = 77.616 \text{ Volts.}$$

La fuerza teórica necesaria será:

$$I^2 R = 12^2 \times 6.468 = 931.39 \text{ Watts.}$$

Esta voladura puede realizarse con una corriente de 125 Volts, con un márgen de seguridad.

La fuerza teórica calculada sirve para determinar la capacidad mínima del transformador que debe usarse.

La operación de carga, es realizada por el mismo personal que hace la barrenación.

Desde el momento, en que empieza la carga de los barrenos, se corta la energía eléctrica de la línea principal y el alumbrado se hace con reflectores auxiliares o con luces de las locomotoras. Antes de introducir la carga explosiva, el perforista limpia el barreno de polvos y detritos con un soplador; después se efectúa la carga.

El trabajo de conectar los alambres de los estopines para formar el circuito elegido, lo hace un Poblador y su ayudante. Forma una a una las 6 series probándolas por separado; se conectan a los alambres de colección y conducción.

El tiempo transcurrido desde que se empezó a limpiar el primer barreno y hasta que se terminó con las conexiones, fué de 1 hora y 5 minutos.

Para realizar estas actividades, se empleó como equipo de trabajo, 8 sopladores, el Jumbo, galvanómetro y demás herramientas menores.

3. - Retiro, Detonación de los explosivos y Ventilación. - Teniendo ya todos los preparativos para la voladura, debe retirarse del frente el equipo y el personal.

El Jumbo se retira usando para ello una locomotora, el equipo de rezaga, si es apropiado para ésto o con algún elemento de los que siempre se tienen cerca del frente para trabajos de maniobras en general.

La distancia que se retiran personal y equipo, debe estimarse tomando en consideración las recomendaciones descritas para ello, en el Capítulo anterior.

El personal que permanece más cerca del frente al realizar la tronada, será el encargado de hacer el disparo, el Ingeniero en Jefe y un electricista que probará por última vez antes de hacer la voladura, el correcto estado del circuito. Hechas todas estas actividades, se procede al disparo.

El retiro de personal y equipo y el disparo, llevaron un tiempo de 15 minutos.

Después del disparo debe ventilarse el frente de gases y humo, en un tiempo no mayor de 30 minutos, para lo cual debe haberse calculado el equipo de ventilación adecuado.

En éste caso se contaba ya con el sistema de ventilación, pero debe éste revisarse para saber si es suficiente o no.

El croquis de la Figura IV-4 indica la disposición de éstas instalaciones.

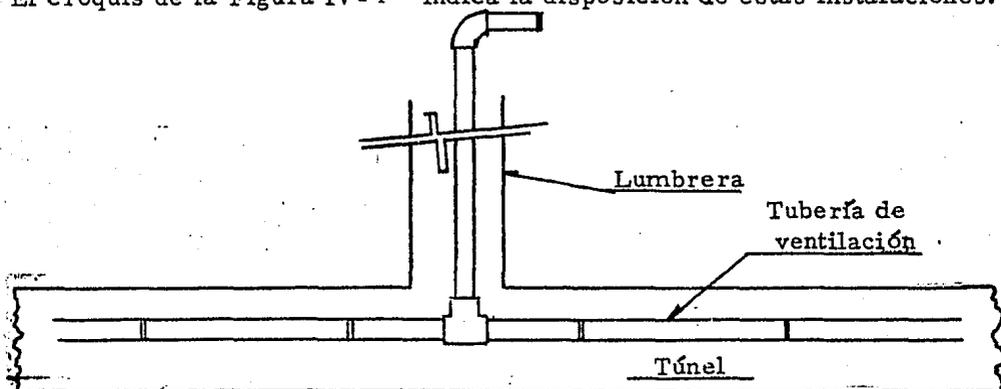


Fig. IV-4

Como paso inicial se calculará la distancia a que pueden estar separados los ventiladores entre sí, trabajando eficientemente.

La tubería para ventilación es de 36" de diámetro..

Con éstas condiciones, se tiene que para el ventilador que se halla en la superficie, con una carga de 7" de columna de agua y para un gasto de 32,000 C. F. M., deben considerarse como pérdida de fricción, 0.65" - por cada 100 pies de tubería. Gráfica IV-I. De tal manera que las 7" de carga se perderán en una longitud dada, al cabo de la cual se deberá - - instalar otro ventilador, en caso de no haber más pérdidas que considerar.

Entonces, por fricción:

$$\frac{0.65 \text{ pies}}{100} = \frac{7''}{X} ; X = 1080 \text{ pies}$$

Como en este caso no solo existen pérdidas por fricción, sino también - por cambio de dirección, éstas pérdidas al sumarlas a las primeras, reducirán la distancia para colocar el siguiente ventilador.

En la Figura IV -4; se ve que existen dos cambios de dirección, uno medante un codo de 90° y otro con una T. Para el cálculo de las pérdidas

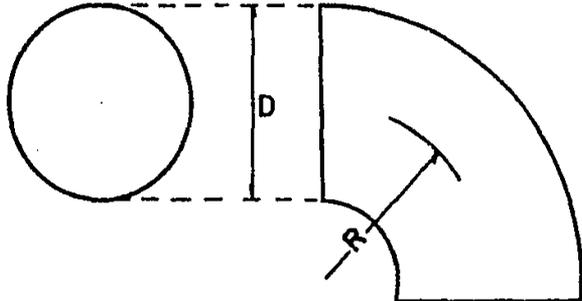
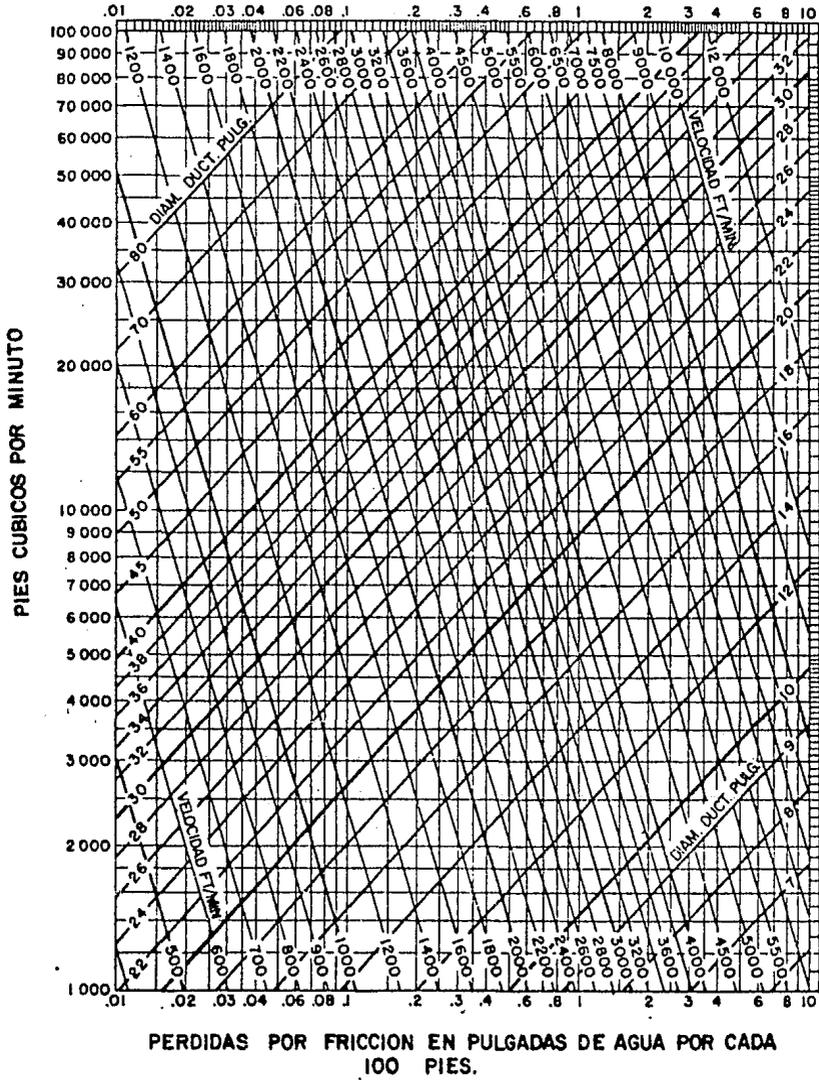
ELEMENTO	CONDICIONES	LONGITUD EQUIVALENTE
	$\frac{R}{D} = 0.5$	43D
	$\frac{R}{D} = 0.75$	23D
	$\frac{R}{D} = 1.00$	15D
	$\frac{R}{D} = 1.50$	10D
	$\frac{R}{D} = 2.00$	9D

fig IX-5

FRICCION DE AIRE



Basado en aire estandar de 0.075 lbs/pt<sup>3</sup>, a través de ductos de metal, galvanizado, redondo y limpio, con 40 juntas aproximadamente en cada 100 pies. .

GRAFICA IV-1

se considerarán ambos cambios como codos con una relación  $R/D = 1.5$ .  
 Figura IV-5. Para estos codos las pérdidas son equivalentes a un desarrollo de tubo de 10 diámetros.

Entonces se tiene:

$$\text{Pérdida por codos} = 2 (30 \text{ pies}) = 60 \text{ pies.}$$

Esta longitud debe restársele a los 1080 pies.

$$\begin{aligned} \text{Distancia entre ventiladores primero y segundo} &= 1080 \text{ pies} - 60 \text{ pies} \\ &= 1020 \text{ pies} = 310.0 \text{ m.} \end{aligned}$$

Del segundo ventilador en adelante, no existen cambios de dirección del tubo, válvulas ni cambio de sección, etc., por tanto la distancia entre el segundo y tercer ventilador y subsecuentes, será de 328.0 m. (1080').

El gasto de que se partió (32,000 C.F.M.), es teórico. Se sabe que al trabajar un ventilador de éstos con corriente de 50 ciclos, (la usual en México), se reduce el gasto en un 15% aproximadamente. Así que solo puede esperarse un caudal de aire de 27,500 C.F.M. para 7" de columna de agua y una posición dada de las hélices.

Con esta producción de los ventiladores, es con la que debe compararse las necesidades de ventilación.

El caudal de aire requerido es el siguiente:

Del Capítulo III, se tiene que los requerimientos por equipo y personal son:

Por equipo:  $Q_1 = 70 \text{ ft}^3/\text{HP}/\text{min.}$

Por personal:  $Q_2 = 200 \text{ ft}^3/\text{min.}/\text{hombre.}$

En el presente ejemplo, solo se tienen locomotoras, con motores Diesel.

2 locomotoras de 10 ton.	_____	220 HP
1 locomotora de 8 ton.	_____	60 HP
		<u>290 HP</u>

Por tanto:  $Q_1 = 20,300 \text{ C.F.M.}$

Por personal:

Se puede considerar un promedio de 30 personas. Entonces  $Q_2 = 6,000 \text{ CFM}$

El volumen total requerido es:

$$Q_1 + Q_2 = 26,300 \text{ C.F.M.}$$

Como 26,300 C.F.M. < 27,500 C.F.M. el sistema de ventilación es - -  
adecuado.

Este gasto es el que se necesita para las operaciones normales.

Si se considera que el sistema de ventilación es combinado, es decir, se -  
inyecta aire fresco durante las operaciones normales y se extrae aire cuan-  
do se efectúa una voladura, debe verificarse la eficiencia del sistema para  
este caso.

Para extraer aire del túnel debe invertirse el sentido de rotación de las as-  
pas del ventilador, lo cual reduce la eficiencia de este en un 50% y entonces  
deben realizarse los cálculos considerando una capacidad del sistema para  
extracción, de 13,750 C.F.M.

Para determinar el tiempo que este sistema requiere para despejar el - -

frente de trabajo, de gases y humos, se usa la fórmula dada en el Capítulo anterior:

$$T = \frac{36 S}{Q} \quad \text{Donde:} \quad \begin{array}{l} T = \text{Tiempo de Ventilación.} \\ S = \text{Carga total de explosivos.} \\ Q = \text{Capacidad de Ventilación.} \end{array}$$

Ecuación (1)

Para este caso se tiene que el explosivo total usado será:

	# de barrenos	# de cartuchos	peso por cartu- cho en Gms.	peso de la colum- na en Gms.
Barrenos de cuña	4	13	198	10,196
Barrenos ayudanted	4	12	198	9,504
Barrenos de descarga	41	10	198	79,398
Barrenos de tabla	8	9	198	14,256
Barrenos de techo	10	8	198	15,810
Barrenos de piso	8	13	198	18,216
				147,510

Tomando el peso total de explosivos = 148 Kg. = S

$$36 \times S = 5,328 \text{ m}^3 = 186,480 \text{ ft}^3 ; \quad \text{de ecuación (1)}$$

$$T = \frac{186,480}{13,750} = \underline{\underline{13.6 \text{ min.}}}$$

Para asegurar una eficiencia del 100% en la ventilación, se deja como tiempo para ésta el doble del aquí calculado, con lo cual se tendrá un tiempo de 27.20 min. para la ventilación. Se consideran 30 min.

4. - Rezaga, acarreo horizontal y manteo. - Para inicial el rezagado del material, producto de la voladura, de be acercarse el equipo de rezaga. Este --

equipo está constituido por una rezagadora "Conway Wabco 100-2", dos locomotoras Diesel de 10 ton. cada una, una más de 8 ton y 24 vagonetas de 4.5 m<sup>3</sup> de capacidad.

El tiempo utilizado en acercar la rezagadora hasta un lugar del cual pueda empezar a trabajar y colocar el primer tren de vagonetas en posición de carga, fué de 10 min.

En la práctica estos trabajos se estudian con detalle y se hacen análisis de tiempos y movimientos de cada uno y en conjunto, para lograr la mejor sincronización de las actividades y lograr así la mayor eficiencia en el desarrollo de las tres facetas de este trabajo (rezaga, acarreo y manto).

Estos estudios y análisis se realizan en gabinete (oficinas), y se emplean para su estudio, métodos modernos, como los de la Ingeniería de Sistemas. En base a estos estudios, se implanta en los frentes de trabajo la forma de realizar las operaciones y las combinaciones de equipo más adecuadas.

Cuando en la práctica constructiva se realiza este cuarto paso del método de barrenación y voladura, es costumbre, al menos en el caso del Emisor Central, detectar anomalías y registrarlas en bitácoras. El tiempo empleado para realizar las tres actividades, fue en este caso, de 3 horas y 55 min.

Además del equipo mencionado anteriormente para realizar estas actividades, debe considerarse también los skips que conducen el material a la superficie y el malacate que los impulsa. El malacate usado es eléctrico y -- mueve alternadamente los dos botes. Con este movimiento alternado, se reduce el par torsor que debe vencer el malacate, pues al subir un skip lleno, bajo el otro vacío, lo cual sirve como contrapeso.

5. - Protección de la excavación. - En este caso, el ademe se realizó con marcos de acero.

Como se usa en el presente ejemplo una rezagadora "Conway", ésta máquina no podrá auxiliar en el trabajo de colocación del ademe, por tanto deberá realizarse la operación con el equipo disponible para maniobras.

La colocación de los marcos de ademe que fueron necesarios para el tramo avanzado con la tronada, fueron 3 y se requirió de 3 horas y 30 min. -- para su instalación.

También se usó como sistema de ademe el concreto lanzado; el tiempo que requirió su colocación no aumentó el tiempo de duración del ciclo, pues la operación se realizó simultáneamente con la de rezaga.

Ha de considerarse además, para estimar el tiempo del ciclo, las interrupciones entre actividad y actividad.

Por este concepto se tiene un tiempo de 30 min.

Además del equipo señalado hasta aquí, deben considerarse dos bombas - - neumáticas de membrana para lodos. Estas pequeñas bombas toman los lodos y agua de los charcos para llevarla hasta los drenes que descargan finalmente en un cárcamo, desde el que se saca el agua a la superficie.

El equipo de bombeo, consta en este caso, de dos bombas neumáticas - - - "Ingersoll Rand". Estas bombas necesitan recibir aire a una presión de -- 85 lb/pulg<sup>2</sup> y con un gasto de 50 ft<sup>3</sup>/min. a nivel del mar, para su correcto funcionamiento.

Cada vez que se completa un ciclo, debe hacerse un reporte o informe -- con la finalidad de analizarlo para encontrar errores, demoras, etc., sacar conclusiones y que sirva de base para mejorar el sistema.

Una forma que ayuda a esta finalidad, es un diagrama de barras en el que puedan verse los tiempos requeridos para cada actividad. Al analizar éste, no debe perderse de vista el equipo empleado y las circunstancias generales en que se desarrollaron las actividades. El diagrama de barras para el presente ejemplo, es el de la Figura IV-6.

ACTIVIDADES	T I E M P O ( H R S )												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1) BARRENACION.	▨												
2) CARGA EXPLOSIVA Y CONEXIONES ELECTRICAS.	▨												
3) RETIRO, DETONACION DE LOS EXPLOSIVOS Y VENTILACION.	▣												
4) REZAGA, ACARREO HORIZONTAL Y MANTEO.	▨												
5) PROTECCION DE LA EXCAVACION.	▨												
6) TIEMPO POR INTERRUPCIONES.	▣												

Fig. IV-6

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES.

Al terminar la construcción del sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México, contará ésta con un medio apropiado para la eliminación de las aguas.

El desarrollo de los túneles para los interceptores Central y Poniente y el Emisor Central, es en conjunto de 102 Km.

Se estima que al concluir la obra, se hayan excavado 3.500,000 m<sup>3</sup> de materiales.

Este sistema es una gran obra de infraestructura, cuyos servicios de tipo social beneficiarán a la población del Distrito Federal, lo cual justifica el

costo de la obra.

Como se ha dicho antes, en la actualidad las obras en túnel gozan de gran aceptación y se prevé que en lo futuro se sigan desarrollando.

La experiencia adquirida en la elaboración del Emisor Central podrá ser aprovechada para adoptar sistemas constructivos, para estimar en obras obras la eficiencia y tener mejores bases para elaborar programas que proporcionen obras con mínimos costos y mayores avances.

## BIBLIOGRAFIA

- |  |  |
|--|--|
| Inyección de Suelos  | Henri Cambefort<br>Barcelona. (1968)                                 |
| Cimentaciones y Túneles  | Paul Galabru<br>México. (1965)                                       |
| The Art of Tunnelling  | Károly Széchy<br>Budapest. (1966)                                    |
| Movimiento de Tierras  | Herbert Z. Nichols Jr.<br>México. (1966)                             |
| Manual Para el Uso de Explosivos<br>Primera Edición de la Cia. Mexi-<br>cana de Explosivos. (1958) |  |
| Mecánica de Suelos. - Tomo II  | Eulalio Juárez Badillo y<br>Alfonso Rico Rodríguez<br>México. (1967) |
| Apuntes de la Clase de Abasteci-<br>miento de Aguas y Alcantarillado                               | Ing. Arnulfo Paz Sánchez   |
| Apuntes de la Clase de Abasteci-<br>miento de Aguas y Alcantarillado                               | Ing. Francisco Montejano U.  |
| Apuntes de Instrucción   | Ing. Victor Hardy  |

Impresiones "Aries"

Consuelo Morena Pérez