

*2ej 8*

**U. N. A. M.**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**



**"CONSTRUCCION DEL TUNEL"**

**ANALCO - SAN JOSE**

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

**JAIME HONORIO ANDREW HERNANDEZ**

**MEXICO, D. F.**

**1981**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

# I N D I C E

1. **ANTECEDENTES**
  - 1.1 Descripción del Proyecto Cutzamala
  - 1.2 Importancia de las Lustreras
  - 1.3 Generalidades sobre construcción de túneles.
4. **ADICIONALES**
  - 4.1 Exploración y Muestreo del subsuelo.
  - 4.2 Características Geológicas de la Roca
  - 4.2.1 Marcos
  - 4.3 Concreto lanzado
2. **PROYECTO DEL ATAQUE**
  - 2.1 Métodos de Ataque
    - 2.1 a Empotramiento
  - 2.2 Equipo empleado para la construcción de túneles.
  - 2.3 Instalaciones Especiales
3. **EXCAVACION**
  - 3.1 Diagrama de barrenación
  - 3.2 Barrenación
    - 3.2 a Cuchas.
  - 3.3 Limpieza ó sopleteo de la barrenación
  - 3.4 Carga de explosivos.
    - 3.4 a Agentes explosivos y sus propiedades.
  - 3.5 Conexión eléctrica
  - 3.6 Retiro de Jumbo y voladura
  - 3.7 Ventilación.
    - 3.7 a Factores que determinan la ventilación
    - 3.7 b Determinación de la cantidad de aire requerido.

1.- ANTECEDENTES

Desde épocas antiguas la ciudad de México se abasteció por medio de manantiales cercanos a ella. A mediados del siglo pasado se inició la perforación de pozos, método de extracción que rápidamente se popularizó y cuya consecuencia fue el abatimiento de los acuíferos y la desaparición de los manantiales.

Hacia 1930 el área metropolitana de la Ciudad de México estaba todavía totalmente comprendida dentro del Distrito Federal. El problema del hundimiento, debido a la extracción de agua del sub-suelo, era sumamente grave; por tal razón se consideró por primera vez la posibilidad de conducir aguas desde fuentes externas al Valle de México y se procedió a elaborar los diseños ejecutivos para tal fin. En 1941 se iniciaron las obras para conducir aguas desde la cuenca del Lerma, extraídas por medio de pozos profundos y conducidas hasta la ciudad de México por medio de tuberías y de un túnel que atravesaría la sierra de las cruces. Las obras fueron e iniciaron su operación en 1951.

A mediados de los 60's se construyó una segunda etapa de captación y conducción de las obras del Lerma;

no fue necesario construir un segundo túnel, pues el anterior tenía suficiente capacidad para conducir las nuevas aguas.

A principios de la década de los 70's el área metropolitana de la ciudad de México ya había sobrepasado los límites políticos, y además del Distrito Federal ocupaba ll municipios del Estado de México, estos municipios abastecieron a su población por medio de pozos profundos para ese entonces era impostergable el planteamiento del problema del abastecimiento de agua potable al área metropolitana de la ciudad de México.

Este planteamiento requería forzosamente ser manejado por un organismo federal, por las implicaciones de su ejecución.

La organización encargada de diseñar, ejecutar, operar y administrar las obras para el abastecimiento del área metropolitana de la ciudad de México, fue la antes - Secretaría de Recursos Hidráulicos, a quien de acuerdo con la ley Orgánica de Secretarías y Departamentos de Estado le corresponden el manejo del agua a nivel federal. A su vez, la Secretaría de Recursos Hidráulicos decidió formar una comisión que específicamente se encargará de resolver

el problema. Esta Comisión fue llamada Comisión de Aguas del Valle de México.

Actualmente la Comisión de Aguas del Valle de México es una dependencia de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Al crearse la Comisión de Aguas del Valle de México, ya existía la conciencia de que era imperativo alejar las captaciones del área metropolitana; sin embargo, no se disponía de proyectos ejecutivos para captar y conducir el agua provenientes de otras cuencas, por tal razón, y dado que la demanda era creciente y su satisfacción impostergable, fue necesario construir las captaciones a base de pozos dentro del Valle de México; a efecto de minimizar los problemas del hundamiento, estas captaciones se construyeron en zonas alejadas del área urbana, o bien en la zona del sur, donde el subsuelo basáltico -- hace que el problema disminuya.

#### OFERTA DE AGUA EN EL AREA METROPOLITANA

El área metropolitana se abastece de pozos, una parte de ellos en el Valle de México y otra parte en la -

cuenca del Alto Lerma.

En 1977 se estimaba que la producción de las - fuentes operadas por el Distrito Federal, era del orden - de 35 M<sup>3</sup>/s. y la de las operadas por el Estado de México, del orden de 7.6 M<sup>3</sup>/s. incrementadas en 1.1 M<sup>3</sup>/s. que -- este estado recibe del acueducto del Lerma, con lo que se llega a 8.8 M<sup>3</sup>/s. la Comisión de Aguas del Valle de México, produce actualmente un caudal del orden de 12.5 M<sup>3</sup>/s.

Además de agua potable, se produce en el área - metropolitana agua captada del drenaje y tratada para su utilización en diversos procesos industriales que no re- quieren agua potable, y un riego de áreas verdes, la pro- ducción total de estas plantas es del orden de 2 M<sup>3</sup>/s.

El acuífero del Valle de México es el princi- pal abastecedor de agua potable para el área metropolita- na. Además de la extracción de agua para usos urbanos, - el acuífero es explotado para usos agrícolas dentro del Valle de México. Se ha calculado que la recarga natural es del orden de 20 a 25 M<sup>3</sup>/s. mientras que la extracción total es de más de 50 M<sup>3</sup>/s.

Otros abastecedores importantes del área metro-

politana son los acuíferos de los Valles de Toluca e Ixtlahuaca. En estos acuíferos la extracción total, incluyendo usos agrícolas, es del orden de 20 M<sup>3</sup>/s, mientras que su recarga natural es aproximadamente de 12 M<sup>3</sup>/s. - En estas zonas también han aparecido grietas que podrían poner en peligro las presas Ignacio Ramírez y Antonio Alzate.

DEMANDA DE AGUA EN EL AREA METROPOLITANA  
DE LA CIUDAD DE MEXICO.

La demanda de agua en el área metropolitana se ha dividido en 3 grandes grupos: doméstico, industrial y por último comercios y servicios.

Para estimar estas demandas se han hecho muestras estadísticas que indican que la dotación para cada grupo es de 216 lts/hab/día para el uso doméstico, de 74 lts/hab/día para consumo industrial y para comercios y servicios de 70 lts/hab/día. Así, la dotación total estimada es de 360 lts/hab/día.

Un factor importante que puede hacer variar la dotación en un futuro es la conciencia de la población sobre el uso racional de agua, ya que el agua es -

un producto valioso y de disponibilidad limitada, que - entre más se desperdicie, más caras resultarán las obras futuras, y que cada gota que se use es una gota que no - llega a las clases que carecen de ellas, generalmente - clases marginadas.

Con la dotación resultante de 360 lts/hab/día, se ha proyectado el abastecimiento futuro del área metro politana.

La proyección de población que se ha utilizado es la desarrollada por el Colegio de México en 1975, por encargo del Departamento del Distrito Federal, la - cual establece una cifra del orden de los 29 millones de habitantes para el año 2000, con base en una tendencia - media. En 1978 se desarrolló el plan Nacional de Desarrollo Urbano, el cual contempla la cifra de 20 millones de habitantes para el año 2000.

Entre estos dos extremos se ha planeado el -- abastecimiento futuro de agua al área metropolitana de - la ciudad de México.

En resumen, además del agua demandada por el crecimiento poblacional del área metropolitana, éstas -

demandará entre 1981 y el año 2000, 17 M<sup>3</sup>/s. para sustituir el caudal que por diversas causas ya no se obtendrá (10 M<sup>3</sup>/s cancelados dentro del Valle de México, 1 M<sup>3</sup>/s cancelado dentro de los valles de Toluca e Ixtlahuaca y 6 M<sup>3</sup>/s que abastecerán a las poblaciones en desarrollo en estas zonas).

El abastecimiento total de agua al área metropolitana en el año 2000 será entre 88 M<sup>3</sup>/s para 20 millones de habitantes y 119 M<sup>3</sup>/s para 29, dependiendo del crecimiento demográfico que se tenga.

SATISFACCION DE LA DEMANDA DE AGUA EN EL  
AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO  
ENTRE 1982 Y EL AÑO 2000.

La conclusión final a que se llegó, después de varios estudios fue que el abastecimiento futuro del área metropolitana debería provenir de las partes altas de las cuencas de los ríos Cutzamala, Amacuzac y Tecolutla, los proyectos que se construyan en estas cuencas alcanzarán hasta el año 1993 o hasta más allá del año 2000, dependiendo de cuál sea el crecimiento demográfico del área metropolitana. Los caudales posibles de --

obtener son 19, 13 y 22 M<sup>3</sup>/s respectivamente.

El proyecto producirá 5 M<sup>3</sup>/s captados en Villa Victoria y Chilesdo, 6.1 M<sup>3</sup>/s captados en Valle de Bravo y 7.9 M<sup>3</sup>/s captados en presas que enviarán el agua - al Vaso de Colorines.

El proyecto consistirá entonces de presas de almacenamiento y derivadores, plantas de bombeo, canales tuberías a presión de acero y concreto presforzado, sifones, túneles, tanques de oscilación, cajas rompedoras de presión, tanques de regulación y planta potabilizadora, todas estas obras localizadas a lo largo de unos -- 150 Kms. de longitud de sus líneas de conducción, desde el inicio en el vaso de Colorines hasta la entrada del agua en bloque a la salida del Túnel Analco-San José, - para su posterior distribución en el Area Metropolitana de la Ciudad de México.

El Túnel Analco-San José tiene 16 Kms. de longitud y una sección de herradura de 4 mts. de diámetro - y entregará el agua para su distribución final en las -- cercanías de la población de Huixquilucan.

En resumen, para el proyecto Cutzamala habrá que construir en términos generales 2 presas derivadoras, 180 Km. de tubería de concreto presforzado de -- 2.50 m. de diámetro, 4.5 Km. de tubería de acero de -- 3.10 m. de diámetro, con espesores entre 7/16" y 1 1/2", 18 Km. de túneles de 4 m. de diámetro, 9 Km. de canal - cubierto, 120 Km. de caminos de acceso y operación, una planta potabilizadora para 24 M<sup>3</sup>/s y 7 plantas de bombeo que elevarán el agua un total de 1100 m., aproximadamente 7 veces la altura de la Torre Latinoamericana

La construcción del proyecto Cutzamala se encuentra en proceso y se espera terminarla a principios de 1982.

### 1.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO CUTZAMALA .

El abastecimiento al Area Metropolitana de la ciudad de México, la que crece a razón de 600,000 habitantes cada año, los cuales se ubican principalmente en los municipios conurbados del Estado de México (Huixquilucan, Naucalpan, Tlalnepantla, Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli, Tultitlán, Coacalco, Ecatepec, Ciudad Netzahualcóyotl, Los Reyes - La Paz y Chimalhuacán), es un problema que requiere el máximo esfuerzo del Gobierno Federal.

Este crecimiento equivale a que cada año se anexa al Area Metropolitana una ciudad del orden de dos veces la ciudad de Morelia, por ejemplo. Hasta la fecha la demanda de agua generada por este crecimiento ha sido satisfecha por medio de pozos en los Valles de México y Lerma.

Para continuar satisfaciendo esta demanda ya no es deseable perforar más pozos en los Valles de México y Lerma, ya que los hundimientos del Area Metropolitana, ya que en algunos puntos llegan a 9 m. en lo que va del siglo, y por otra parte, las grietas que han apa

recido en ambos valles, exigen detener este proceso de deterioro ecológico, por razón fue indispensable buscar las nuevas captaciones de agua en otras cuencas. Después de analizar las posibilidades de captación en aproximadamente 15 cuencas, se decidió seleccionar la cuenca alta del Río Cutzamala, como la más conveniente para abastecer al Area Metropolitana a partir de 1982.

Posteriormente se atacarán las cuencas de -- Amacuzac y Teocolutla, con las cuales se cubrirá la demanda hasta aproximadamente el año 2000.

El Proyecto Cutzamala, actualmente en construcción permitirá no sólo abastecer al Area Metropolitana a partir de 1982, sino también concelar algunos pozos - en las zonas más afectadas del Valle de México. Ver plano 1-I.

El Proyecto consiste en captar 19 metros cúbicos por segundo, de agua de las presas Villa Victoria, - Valle de Bravo y Colorines, (ya construídas), y de 2 -- más, llamadas Chilesdo y Filtraciones del Bosque (por - construir).

segundo de la presa Calorines, a donde llegan las aguas.  
**Esta agua será conducida hasta el Área Metro-**  
**politana de la ciudad de México mediante 7 plantas de**  
**bombeo, 2 tuberías de concreto preforsada de 90 kilóg-**  
**ros de longitud y 2.50 metros de diámetro cada una, --**  
**4.5 kilómetros de tubería de acero de 3.10 metros de di-**  
**metro con un espesor de 1 1/2". 2 túneles con longitud**  
**total de 18 kilómetros con diámetro de 4 metros y un --**  
**canal cubierto de 9 kilómetros de longitud.**

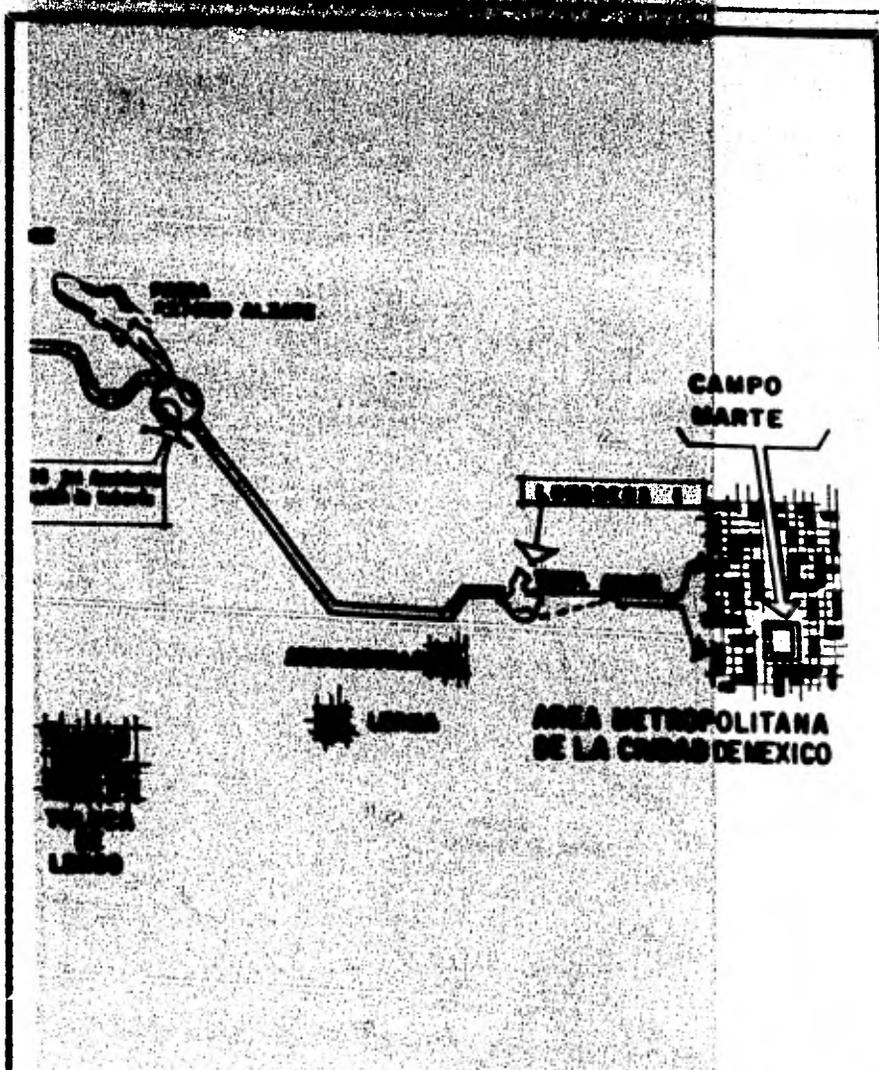
**Área Metropolitana. Se construyen obras de beneficio**  
**para permitir la construcción y operación de**  
**las obras de construcción 160 kilómetros de caminos de**  
**acceso y operación.**

ayudarán a mejorar el nivel de vida de los campesinos

**La primera fase del proyecto captará 5 metros**  
**cúbicos por segundo de las presas Villa Victoria y Chi-**  
**leso. Esta fase iniciará su operación en febrero de**  
**1982 y tendrá un costo de 3200 millones de pesos.**

**La segunda fase captará 6 metros cúbicos por**  
**segundo de la presa Valle de Bravo. Esta fase inicia-**  
**rá su operación en abril de 1983 y tendrá un costo de -**  
**5500 millones de pesos.**

**La tercera fase captará 8 metros cúbicos por**



U N A M	<b>FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL</b>
	<b>CONSTRUCCION DEL TUNEL ANALCO SAN JOSE</b>
	<b>PLANO DEL SISTEMA CUTZAMALA</b>
	<b>TESIS PROFESIONAL POR: HONORIO ANDRES HERNANDEZ</b>
	<small>MEXICO, D.F. - 1981 PLANO N° 1-1</small>

## 1.2 IMPORTANCIA DE LAS LUMBRERAS

Dada la longitud y profundidad de la obra fué necesario proyectar para su ataque accesos verticales - (dominados Lumbreras) por medio de las cuales fuera posible y costeable la ejecución de la obra.

Siendo la longitud del Túnel Analco-San José de 16 Kmts. tal como lo indica el plano No. 1-II.

Es obvio pensar que la única forma de construir el túnel es por tramos, pero debido a que nuestro proyecto "Cutzamala" como ya se explicó anteriormente - es casi paralelo al proyecto "Lerma" que se llevó a cabo en 1955, con la variación de que el anterior túnel - a 19 mts. más de profundidad y con un desplazamiento paralelo de 35 m. tal como lo indica el plano No. 1-III.

Debido a lo anterior y a un estudio que se - llevó a cabo se procedió a utilizar las mismas Lumbreras, de dicho sistema; con algunas modificaciones; estas Lumbreras tenían una sección rectangular terminada de 6x3.00 m. agrandandose a 6.60x3.60 m. para dar cabida - al elevador Alimak (para el personal), botes de manto, instalaciones, tuberías, líneas, escalera de emergencia

etc. indicado en los planos No. 1-IV y No. 1-V.

Dichas Lumbreras quedarón con una profundidad de 197.706 al piso del cañón, y al piso de la placa de concreto y total de profundidad de 209.456 m. y la otra a una profundidad de 189.096 m. al piso del cañón y con una profundidad total de 200.546 m.

El revestimiento es de concreto lanzado (llamado Shot Crete), con malla de acero y con un espesor de 0.20 m. a base de cemento normal con un  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup>, y con un 3% de Acelerante.

A travez de estas Lumbreras se realizaron todas las operaciones necesarias para la construcción del Túnel a saber: Barrenación, poblado, tronada, ventilación, rezagado, ademe, bombeo, revestimiento, instalaciones eléctricas, tuberías de aire comprimido, acceso de personal y equipo.

Una vez concluidas las Lumbreras sirven a veces (en nuestro caso no) para controlar el flujo de las aguas que circulan a lo largo del Acueducto, funcionando como pozos de oscilación, evitando presiones excesi-

vas en el túnel, también se utilizan para la conservación del mismo.

Nuestras Lumbreras No. 1 y No. 2 se hayaban - excavadas aproximadamente hasta los 70 m. a partir de - ahí hubo la necesidad de reexcavar; se instaló el equipo definitivo de trabajo que consistia en una Torre de -- Acero de 25 m. de altura, diseñada para soportar una - carga estática vertical de 500 Ton., y con dos botes - uno de ellos solo hace la función de contrapeso y el - otro es el que manteea por medio de una compuerta que - abren al llegar a ciertas alturas, automáticamente al - seguir unos rodillos, unas guias; los botes de  $4.5 \text{ m}^3$  - con guias de cable de acero de  $1 \frac{1}{2}$ " y puntero de --  $1 \frac{1}{2}$ "; como lo indica el plano No. 1-VI.

Se estubo trabajando provisionalmente hasta - que se terminó la Lumbrera con un malacate eléctrico - con una capacidad para 6 Ton., y el definitivo es un ma lacate eléctrico con una capacidad de 20 Ton.

Al finalizar la lumbrera, se optó también por colocar bombas de pozo profundo, en el interior de la -

Lumbrera: estas bombas son de 300 H.P. cada una, Lumbrera No. 1  
yendo un gasto máximo de 40 lts/seg. a una altura de --

198 m. como máximo, con tuberías de descarga de 15", el

La otra curva se comunica con el frente No. 4  
cuerpo de tazonas de las bombas, están colocado a un ni  
al cual este tiene que comunicarse con el frente del --  
vel inferior al piso del túnel, en un cárcamo (Galería

Portal de Entrada del Túnel Analco-San José. En el cual  
de Bombeo) construida especialmente para recolectar los  
existe una distancia de Lumbrera No. 1 al Portal de --  
escurrimientos procedentes de las frentes de trabajo --

Entrada de 3.3 Km.  
del túnel, este cárcamo es de forma rectangular y con -  
una capacidad de 300 m<sup>3</sup> funciones del encapillado son:

Las de servir de acceso a las vaguetas

**ENCAPILLADO** a descarga del material las cuáles

llegan a unas tolvas de acero, donde es-

Las Lumbreras al finalizar están con un en-

hidráulica, a los skips (botas de reza-

capillado, que es de suma importancia en la función del  
medio de un malacate eléctrico.

avance del túnel. La lumbrera se encuentra situada, en

el centro del encapillado debido a que las manibras de

capillado una espada, que sirve para dar

trabajo se llevan a cabo al rededor de la Lumbrera. --

llamado dentro del túnel.

Este encapillado se hizo debido a que, por uno

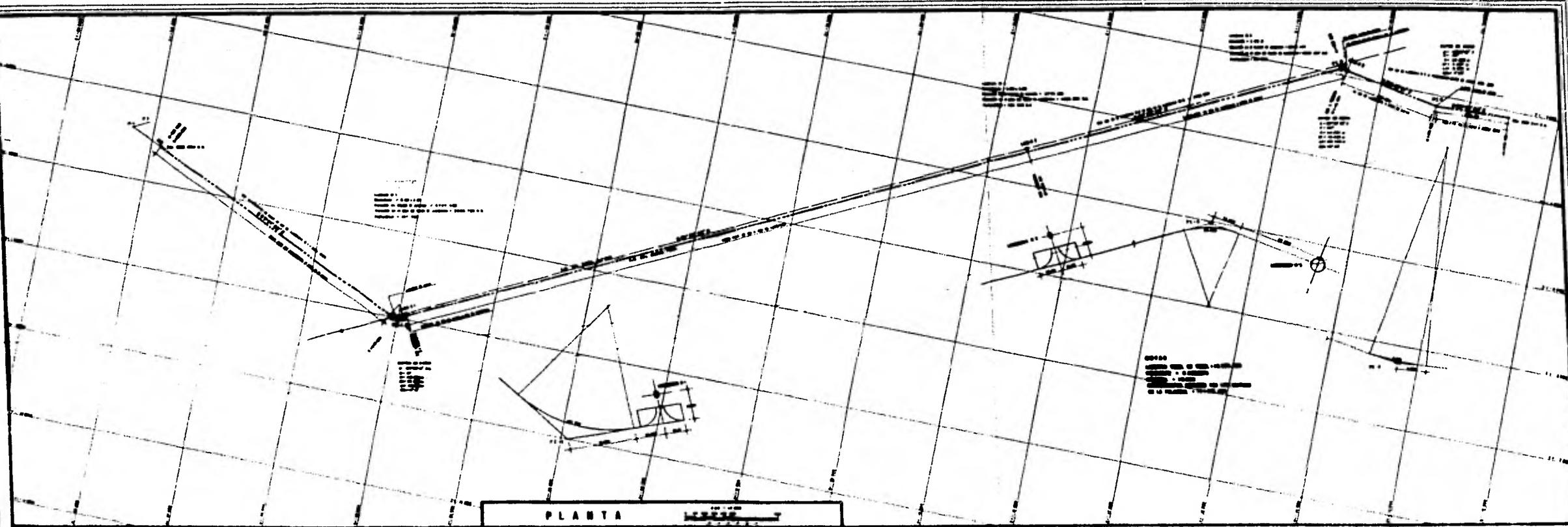
de sus extremos se hicieron las dos curvas que se comuni-

can con el eje del túnel una curva se comunica con un --

frente llamado No. 3 al cual esté se comunica con el --

frente No. 5 que viene de la otra lumbrera No. 2 en la

la construcción del encapillado, se tubo que excavar --  
una longitud de 30 m. de largo por 11.80 de ancho y 8m.  
de alto, como lo indica el plano No. 1-VII.



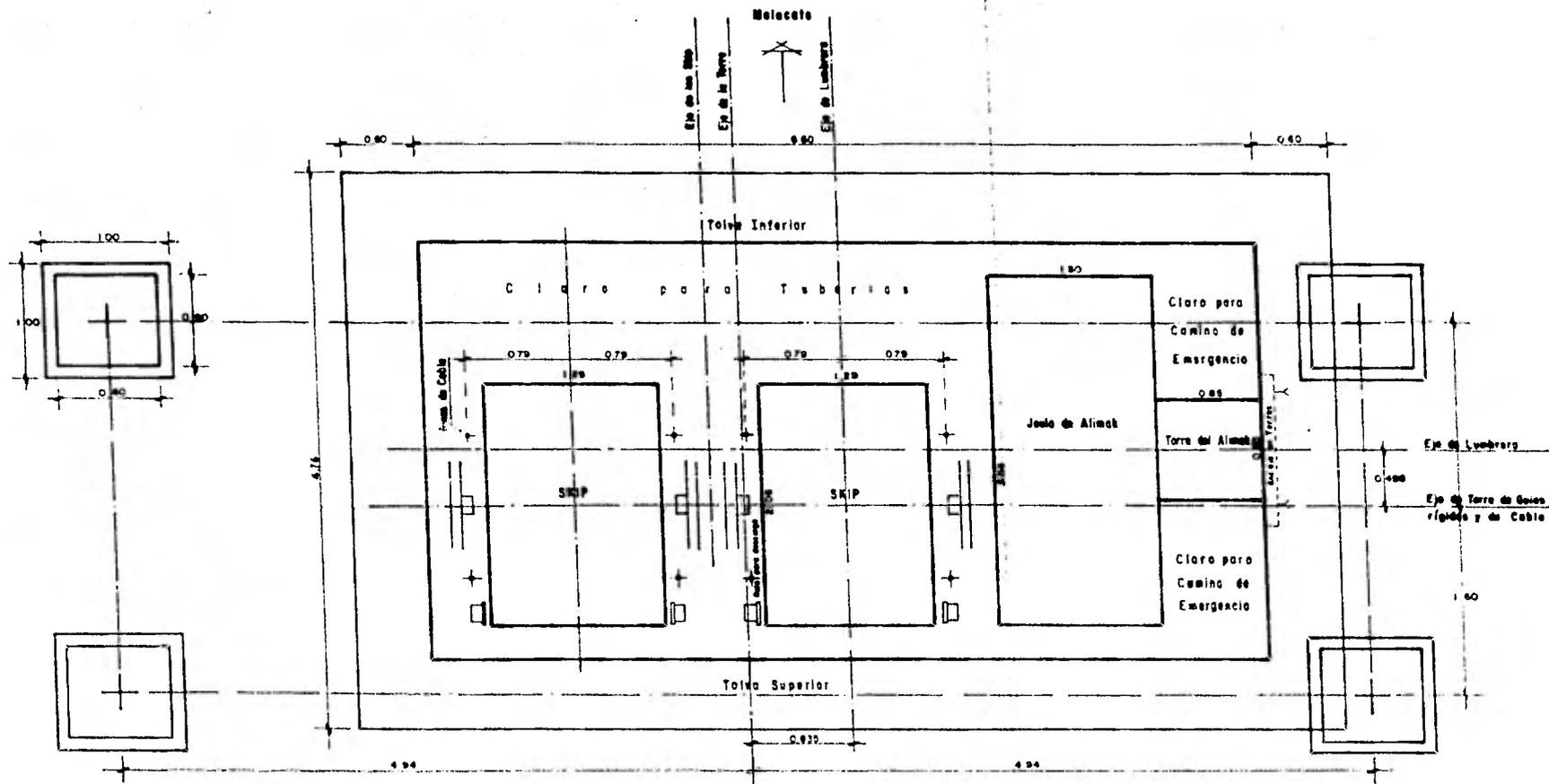
PLANTA

LINEA	DESCRIPCION	LONGITUD	ANCHO	OTROS
1	...	...	...	...
2	...	...	...	...
3	...	...	...	...
4	...	...	...	...
5	...	...	...	...
6	...	...	...	...
7	...	...	...	...
8	...	...	...	...
9	...	...	...	...
10	...	...	...	...

-----

U  
 N  
 A  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 CONSTRUCCION DEL TUNEL  
 PLANO GENERAL DEL TUNEL  
 TESIS DE GRADUACION  
 ALUMNO: ...



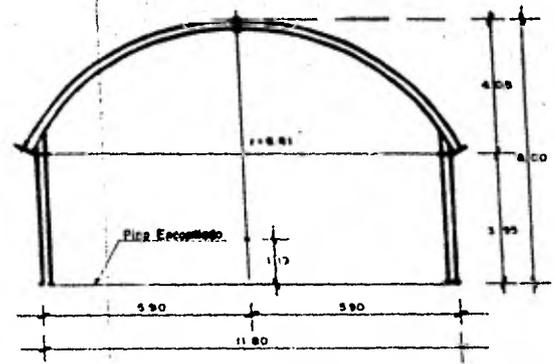
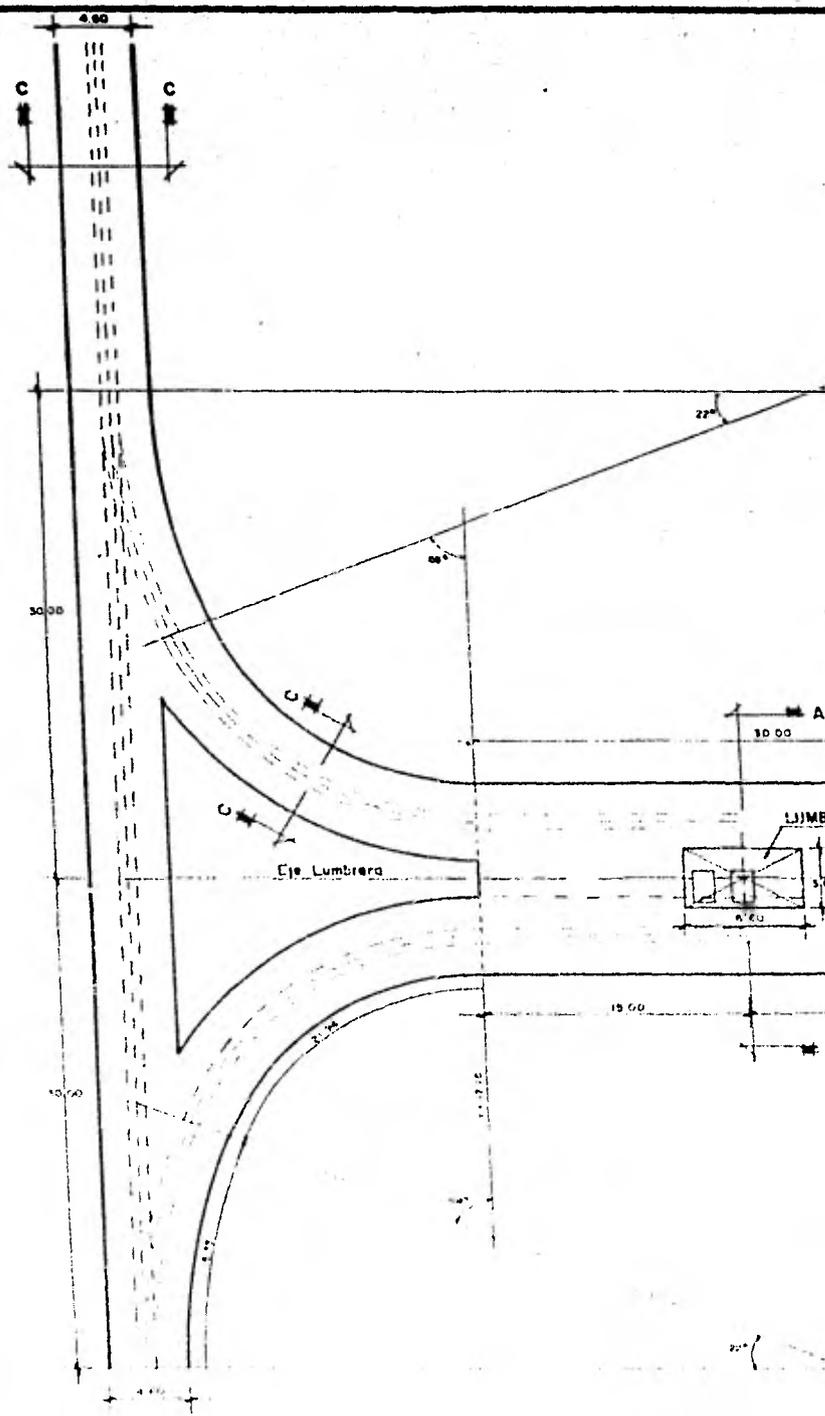


ESCALA 1:25

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA
	INGENIERIA CIVIL
	CONSTRUCCION DEL TUNEL ANALCO SAN JOSE
	DISTRIBUCION DE EQUIPO EN EL CLARO DE LA LUMBRERA N° 2
	TESIS PROFESIONAL JAIMY HONORIO ANDRÉS HERNÁNDEZ N° FOLIO 783374-9 SERIE 07 19 01 PLANO 1

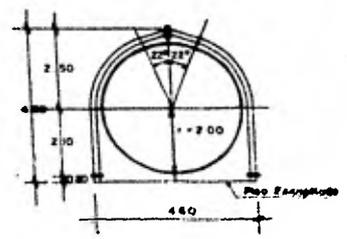






CORTE B - B

ESCALA 1 : 100



CORTE C - C

PLANTA GENERAL

ESCALA 1 : 200

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA
	INGENIERIA CIVIL
	CONSTRUCCION DEL TUNEL ANALCO SAN JOSE
	PLANO GENERAL DE ESCARPIADO
TERCER PROFESIONAL JAIME HUGO ANTONIO GONZALEZ	

### 1.3 GENERALIDADES SOBRE CONSTRUCCION DE TUNELES.

La construcción de Túneles tiene fines múltiples según el servicio que estos presten y haciendo una clasificación general se tienen los siguientes usos:

- A.- Servir como pasajes a través de montañas y bajo el agua en carreteras y vías ferreas.
- B.- Servir como vía de acceso en las minas.
- C.- Servir como conductos de agua.

Los estudios explorativos, tanto superficiales como subterráneos son fundamentalmente básicos en la perforación de un túnel como medio para proporcionar un servicio determinado. Estos estudios se realizan antes de seleccionar la localización exacta de la línea ya que de esta manera puede determinarse las formaciones geológicas existentes, así como las profundidades en que se encuentre el nivel de aguas freáticas.

#### 1.3 A EXPLORACION Y MUESTREO DEL SUBSUELO

Existen diversos métodos para el estudio del

subsuelo y en el caso particular de Túneles excavados - en terreno rocoso ó variable los más usuales son generalmente de investigaciones profundas.

En general se tendrán 2 tipos de sondeos, preliminares y definitivos.

#### I.- METODO DE SONDEOS PRELIMINARES

- a).- Pozos a cielo abierto, con muestras alteradas o inalteradas.
- b).- Perforaciones con posteadora, barrenos helicoidales o métodos similares.
- c).- Método de lavado.
- d).- Método de penetración estandard.
- e).- Método de penetración conica
- f).- Perforaciones en boleos y gravas.

#### II.- METODO DE SONDEO DEFINITIVO

- a).- Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado
- b).- Métodos con tubo de pared delgada
- c).- Métodos rotatorios para roca

#### METODO DE SONDEOS PRELIMINARES

- a).- Pozos a cielo abierto.

Consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes, para que un técnico pueda bajar y examinar los diferentes estratos del suelo en su estado natural.

- b).-Perforaciones con posteadora, barrenos helicoidales ó métodos similares.

En estos sondeos la muestra del suelo es alterada y solamente es representativa en lo referente a contenido de agua, la muestra se extrae con barrenos helicoidales.

- c).-Método de lavado

El método consiste en hincar al ademe necesario, de tubería, a base de golpes de un martinete suspendido en una polea y con un peso de 80 a 150 Kg. El ademe debe ser de mayor diámetro que el de la tubería que se usa para la inyección del agua.

- d).-Método de Penetración estándar.

Este procedimiento es el que rinde mejores resultados en la práctica y proporciona -- más información en torno al subsuelo.

Consiste en un penetrometro que se enrosca a la tubería de perforación y la prueba -- consiste en hacerlo penetrar a golpes dados por el martinete con un peso de 63.5 - Kg. y 76 cms. de altura con todo el número de golpes para lograr una penetración de - 30 cms.

- e).-Método de Penetración Conica.

Este método consiste en hacer penetrar una punta conica en el suelo y medir la resistencia que esta ofrece.

- f).-Perforaciones en boleó y gravas.

Este tipo de perforación se hace con herramientas más pesadas, del tipo de barretones con taladros de acero, que se suspenden y dejan caer sobre el terreno en cuestión, manejandolos con cables.

#### METODOS DE SONDEOS DEFINITIVOS

- a).-Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado.

Descrito anteriormente en los sondeos preliminares.

- b).-Métodos con tubo de pared delgada.  
El procedimiento consiste en hincar un -- muestreador con una presión continúa y -- nunca a golpes.

- c).-Método rotatorio para roca.  
Cuando en un sondeo se localiza una capa de roca más o menos firme se requiere -- el uso de máquinas perforadoras. A rotación, con broca de diámante o del tipo -- de cáliz.

El equipo de perforación rotatorio trabaja -- con cuatro diámetros y en la siguiente tabla No. 1.1 -- aparecen sus dimensiones usuales.

T A B L A 1.1

BROCA	DIAMETRO EXTERIOR DEL ADEME.		DIAMETRO EXTERIOR DE LA BROCA		DIAMETRO INTERIOR DE LA BROCA	
	mm	Pulg.	m.m.	Pulg.	m.m.	Pulg.
Ex	46	1 13/16	37.5	1 15/32	20.5	2 7/32
Ax	57	2 1/4	47.5	1 7/8	20.5	1 3/16
Bx	73	2 7/8	51.5	2 11/32	42.0	1 21/32
Nx	89	3 1/2	75.5	2 61/64	52.0	2 5/32

### 1.3 b. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DE LA ROCA.

Debe tenerse en cuenta, la influencia que ejerce el estado de la roca en las operaciones de construcción de un túnel, ya que al igual que en cualquier excavación la roca puede ser suave, medianamente dura, o muy dura afectando con esto los rendimientos de barrenación y cargas específicas ( $\text{Kg}/\text{M}^3$ ) de explosivos para una fragmentación adecuada.

El estado en que se encuentre la roca afectada en forma muy especial, ya que al encontrarse alterada - por movimientos tectónicos, los cuales han dado origen - a grietas, fallas, fisuras, etc., surgen problemas que - determinan la táctica de trabajo a seguir.

Un ejemplo muy común es el que se presenta -- cuando un sismo da origen a fallamientos y grietas secundarias en la roca, dejando una zona de roca triturada -- entre los planos de movimiento de los bloques contiguos, en el cual el material tiende a desprenderse y por lo -- tanto, cuando el frente llega a la zona fallada, deben - realizarse trabajos de protección tales como además con marcos metálicos retacados con madera para recibir la bo

veda y paredes del túnel; ademe con concreto lanzado, -  
pare evitar el reacomodo del material; pernos de ancla-  
je cuando las fallas están en un plano paralelo, así co  
mo mallas o redes protectoras para material más pequeño  
etc. Es muy común que en las zonas falladas se presen-  
ten filtraciones de agua, máxime cuando el túnel está -  
por debajo del nivel freático de la zona del túnel; por  
lo cual se requiere un sistema de desagüe por medio de  
bombeo que en ocasiones resulta muy costoso.

En las zonas falladas en que se localizan --  
grietas, fisuras o fallamientos o en general en donde -  
el material tienda a desprenderse, los trabajos de pro-  
tección deben coordinarse con los trabajos de avance y  
para esto los sondeos geológicos son de mucha importan-  
cia, pues pone sobre aviso para organizar y coordinar -  
los diferentes trabajos realizados dentro del túnel.

El ademe de túneles puede o no ser necesario  
según la naturaleza de la roca según se va avanzando, -  
pero si es conveniente, para formarse un mejor criterio  
estudiar los diferentes sondeos geológicos, pues el ma-  
terial muchas veces está formado por capas de diferen--

tes tipos de material con planos horizontales, verticales o inclinados, y puede suceder que se este a travessando una zona de roca aceptable y sin embargo en la -- clave existe una capa de escasa dimensión y arriba soportando un estrato de arena, arcilla, lodos, material suelto que está cargando sobre este y en un momento dado fracture esta capa y produzca un caido de gran con sideración.

CRITERIO GENRAL PARA EL ADEMADO DE TUNELES EN ROCA

T A B L A 1.2

DONDE: Hp= ALTURA DE ROCA ACTUANTE SOBRE EL TUNEL  
 H = ALTURA DEL TUNEL  
 B = ANCHO DEL TUNEL

T A B L A 1.2

ESTADO DE LA ROCA	C A R G A Hp (m)	O B S E R V A C I O N E S
Roca sana e intacta	Cero	Ademe ligero, si hay roca explosiva.
Roca sana estratificada	0 a 0.5 B	Cuando sea necesario ademe ligero.
Roca moderadamente fisurada.	0 a 0.25 B	Ademe ligero, si hay roca explosiva
Roca moderadamente fragmentada	0.25B a 0.35(B+Ht)	Ademe en techo, raro en paredes, nunca en piso.
Roca muy fragmentada	0.35 (B+ Ht) a 1.10 (B+ Ht)	Ademe en el techo y en las paredes.
Roca triturada y químicamente intacta	1.10 (B+Ht)	Recomendable ademe circular
Roca que fluye plásticamente (Roca Prof.)	1.10 (B + Ht) a 2.10 (B + Ht)	Conviene el ademe circular
Roca que fluye plásticamente (gran Prof.)	2.10 (B + Ht) a 4.50 (B + Ht)	Ademe circular
Roca expansiva	Hasta 70 m. independiente del(B+Ht).	Indispensable el ademe circular

2.- PROYECTO DEL ATAQUE

## 2.- PROYECTO DEL ATAQUE

La ejecución del Ataque de un Túnel es debido a las ideas y conceptos del Ingeniero, si no tiene claro estos términos mencionados anteriormente, es muy probable que en su planeación, se enfrente aún mayor problema que la misma ejecución de la obra.

Dentro de la ejecución de las obras de Ingeniería, puede decirse que las excavaciones subterráneas --- presentan toda clase de problemas, debido principalmente por las grandes sorpresas que puede dar la naturaleza en la estructura interna del suelo.

En la planeación; se lleva a cabo un proceso de combinaciones con los recursos básicos siguientes:

- a).- Mano de Obra
- b).- Materiales
- c).- Equipo.

En las excavaciones subterráneas los adelantos técnicos, han abarcado todas aquellas actividades que -- están relacionadas con el ciclo de dichas excavaciones.

En los trabajos de excavación subterránea; las

operaciones de trabajo, que se realizan son sucesivas -- aunque en algunos casos puede haber traslape de estas, - pero en muchas ocasiones estos traslapes de operaciones para reducir tiempo, resulta contraproducente pues las - operaciones hechas de ésta manera crean cierto grado de interferencia que se traduce un bajo rendimiento por ciclo.

Las operaciones de trabajo del ciclo son las - siguientes:

- 1.- Plantilla de Barrenación
- 2.- Barrenación
- 3.- Limpia ó Sopleteo de la Barrenación
- 4.- Carga de Explosivos
- 5.- Conexión Eléctrica
- 6.- Retiro de Jumbo y Voladura
- 7.- Ventilación
- 8.- Rezaga
- 9.- Ademe (Protección de la Excavación)
- 10.- Topografía.

En el capítulo próximo se describirá cada una de las actividades del ciclo de Excavación.

## 2.1 METODOS DE ATAQUE

Como se puntualizará más adelante, la forma de realizar una obra como la tratada, está constituida por una serie de trabajos encadenados los cuales en conjunto vamos a llamarles "Ciclo ó Ciclos de Trabajo"

Tendremos básicamente tres grandes ciclos, que llamaremos:

- 1.- Preparación
- 2.- Excavación y Ademado
- 3.- Recubrimiento

1.- PREPARACION.- Dentro de este primer ciclo, están todos los trabajos o actividades como su nombre lo indica de "Preparación.

Están incluidos: La Excavación y Recubrimiento de las lumbreras, la instalación de la torre rezagadora, las estructuras de fondo ó de alcancía, instalaciones y servicios de superficie, equipo, vías y servicios en el piso del túnel, etc., es decir, todas las actividades necesarias para una buena realización de la obra.

2.- EXCAVACION Y ADEMADO.- El segundo ciclo,-

será el que abarque todos los trabajos para realizar la Excavación y el Ademado. Se enumeran las siguientes actividades:

Barrenación, carga, tronada, ventilación, reza ga, colocación y entibado del ademe metálico.

Atendiendo a la barrenación podemos decir lo siguiente, ésta dependerá directamente del material encontrado, el número de barrenos para la sección del túnel podrá variar de 30 a 60 según sea la carga y localización de los barrenos. Se barrena con la utilización de una máquina perforadora neumática llamado "Jumbo" el cual consiste de dos brazos hidráulicos, manipulados por 12 palancas que son dirigidos por 2 operadores, estos brazos tienen cada uno una barra de acero para la perforación de longitud de 3.60 m.

Estos brazos giran en cualquier dirección, y permiten colocar en cualquier punto, cualquier barreno.

Una vez terminada la barrenación se procede a cargar los barrenos, con la utilización del mismo "Jumbo" de barrenación; llevando a cabo las conexiones respectivos se hace la tronada y a continuación se ventila-

con extracción e inyección de aire.

Inmediatamente se procede a efectuar el rezagado, el cual se hace con la utilización de una rezagadora frontal, con cucharón lateralmente movible, de descarga trasera sobre la vagoneta que conecta y empuja cuando se ha llenado, permitiendo la entrada de una nueva vagoneta vacía.

El movimiento de vagonetas en la frente se -- lleva a cabo al "cambio california" en el cual de un lado tenemos las vagonetas vacías con una locomotora de -- diesel mandandoles al frente y por el otro lado del "cambio california" tenemos las llenas en el cual otra locomotora de marca Balco Diesel los jala hacia el cambio -- para que así acompletar la corrida de vagonetas llenas.

Lo anterior se lleva a cabo en el frente, los movimientos de rezaga a la superficie se realizarán con la utilización de un equipo inglés: Torre, malacates, guías, tolva, botes, etc., las vagonetas llenas correrán a un lado de las vías de la torre sobre la alcancía, colocandose un dispositivo de volteo que hará descargar a la vagoneta en una tolva que tiene una capacidad sufi--

ciente para no entorpecer el movimiento de vagonetas y - alcanzar a llenar el bote de rezaga, el cual una vez sido llenado es izado a la superficie, en donde descarga - automáticamente a una segunda y ultima tolva.

Como se vaya avanzando con el rezagado y - dependiendo de la firmeza del terreno, se irá ademando y amacizando, logrando con ésto tener un margen de seguridad que cubra cualquier accidente. Este amacizado puede lograrse mediante tablado detrás de los perfiles de - acero o con concreto lanzado, el que cuenta con muchas - cualidades.

3.- RECUBRIMIENTO.- El tercer y último ciclo será el que corresponda a la terminación del proyecto, - con la colocación del Revestimiento final de concreto.

Existen varios métodos de ataque para la perforación de túneles, cuya selección depende principalmente de:

- a).- Condiciones del Terreno
- b).- Tamaño de la sección
- c).- Equipo disponible

### METODO DE SECCION COMPLETA

Este método es el más usado en la actualidad, - como su nombre lo indica se emplea una barrenación para sacar de una sola vez el área total del frente. Es usual en túneles con áreas menores de 80 M<sup>2</sup>., por este procedimiento. Sin embargo, desde la aparición y perfeccionamiento del "Jumbo" que es una máquina que consta de 2 brazos hidráulicos perforadores, y las máquinas rezagadoras verdaderamente eficientes, este sistema ha sido adoptado para túneles de todas medidas con limitación de sección y terreno.

En este método la operación de sacar la rezaga debe terminarse antes de comenzar la siguiente perforación de lo cual se deduce la importancia de la misma.

Otra actividad importante, de este método es la perforación ya que de el resultado de ella dependen las demás actividades, lo mismo que el avance.

En la figura No. 2.1 se ve un frente de sección completa.

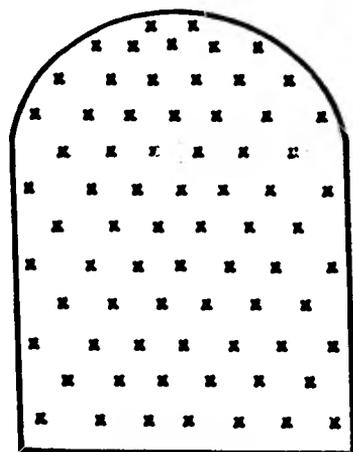
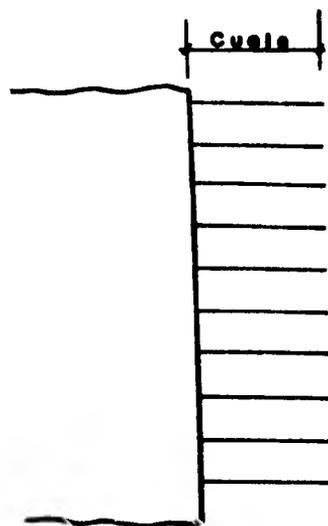
FRENTEPERFIL

Fig. 2.1

METODO DE GALERIA Y BANQUEO, O MEDIA SECCION

En éste método, se excava inicialmente un frente superior en la sección del túnel, de 2.50 mts. de alto y tan ancho como va a ser la sección del túnel, la parte baja o restante se saca en uno o más escalones o bancos. El banco queda generalmente una barrenación -- atrás del frente de la galería superior.

Este método fue muy usado en túneles de sección grande, antes de la existencia de los "Jumbo", pues ofrecía dos frentes de trabajo con dimensiones apropiadas para la eficaz utilización del equipo de la época.

En la actualidad es aconsejable únicamente para roca cuyo período de acción de puente obliga la colocación de los soportes inmediatamente después del dinamitado y ventilación, pues en estas condiciones ofrece las siguientes ventajas:

a).- Sirviendo el banco como plataforma de trabajo, puede ser colocados con rapidez además bajo las zonas que muestran signos de falla.

b).- La extracción de la rezaga puede realizarse simultáneamente con la colocación de ademes en la frente superior, la barrenación para el siguiente ciclo de trabajo puede hacerse al mismo tiempo.

Los barrenos del banco y el frente se perforan y cargan al mismo tiempo, pero se disparan primero los del frente mediante el sistema de voladuras con retardos. Con este método y cuando los explosivos están bien colo--

cados la mayor parte del material del frente superior -- que se abre, cae al piso del túnel, permitiendo así la extracción del material sin entorpecer otras operaciones del trabajo.

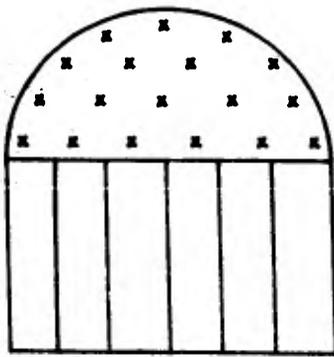
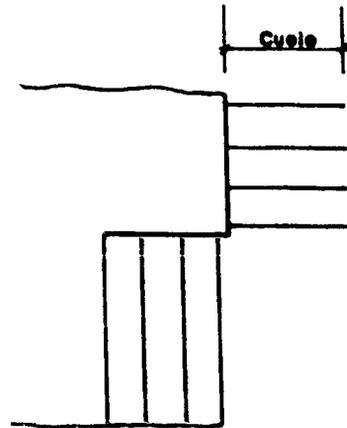
FRENTEPERFIL

Fig. 2.2

En la figura No. 2.2 se ve una barrenación típica de galería superior y bancos empleando barrenos verticales en el banco.

#### METODO DE GALERIA CENTRAL O TUNEL PILOTO

Este método se ha venido usando en la perfora-

ción de muchos grandes túneles. Se abre una galería de 2.44 por 2.44 mts. ó de 3.05 por 3.05 mts., en el centro del túnel proyectado, de acuerdo con los sistemas usuales.

Como regla general, esta galería se abre atravesando de lado a lado el túnel en proyecto antes de iniciar el ensanchamiento, aunque ésto último no es absolutamente indispensable si se dispone de algún medio para rezagar al mismo tiempo el material tanto del túnel piloto como del ensanchamiento.

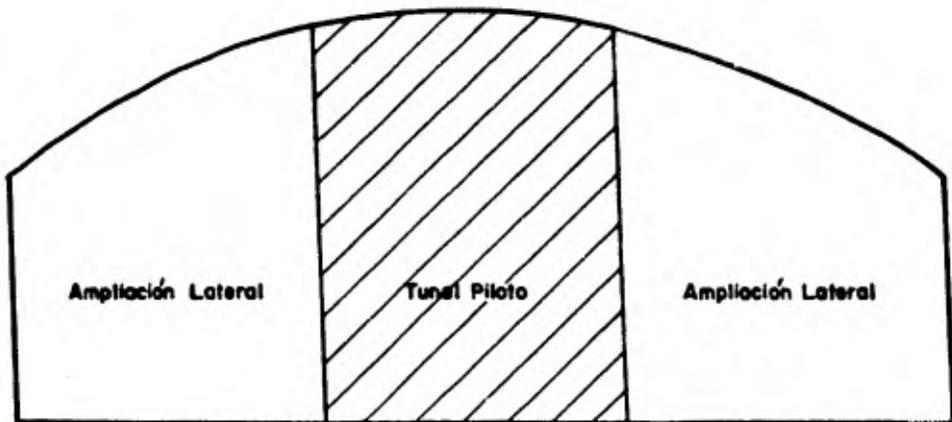


Fig. 2.3

En la figura No. 2.3 se ve la sección típica - por túnel piloto.

Las dimensiones del túnel piloto las delimita el equipo disponible y el proyecto del túnel mismo. --- Este túnel piloto sirve a su vez de túnel explorador.

#### METODO DEL TUNEL EXPLORADOR

En los grandes túneles se ha usado este método combinandose frecuentemente con el método del túnel piloto que acaba de describirse.

Se perfora una pequeña galería de 2.50 x 2.50 paralelo al túnel principal y como a 15 ó 25 mts. de distancia del mismo; ésta galería es llamada "Túnel de Exploración".

Generalmente su excavación se adelanta considerablemente a la del túnel principal teniéndose de esta manera aviso oportuno de cualquier cambio de importancia en la formación de la roca; para así poder alterar a --- tiempo el método empleado en el túnel principal. Además a intervalos de más o menos 500 mts. Se abre cruceros que parten del túnel explorador hasta la línea que lleva al túnel principal ofreciéndose así dos frentes más desde los cuales puede perforarse el frente del túnel pilo-

to o el frente total principal.

El Túnel de Exploración no solamente sirve para abrir un gran número de frentes en el túnel principal y así permitir una perforación más rápida, sino que ofrece también un camino para desalojar la rezaga y un medio para mejorar la ventilación en los diversos frentes.

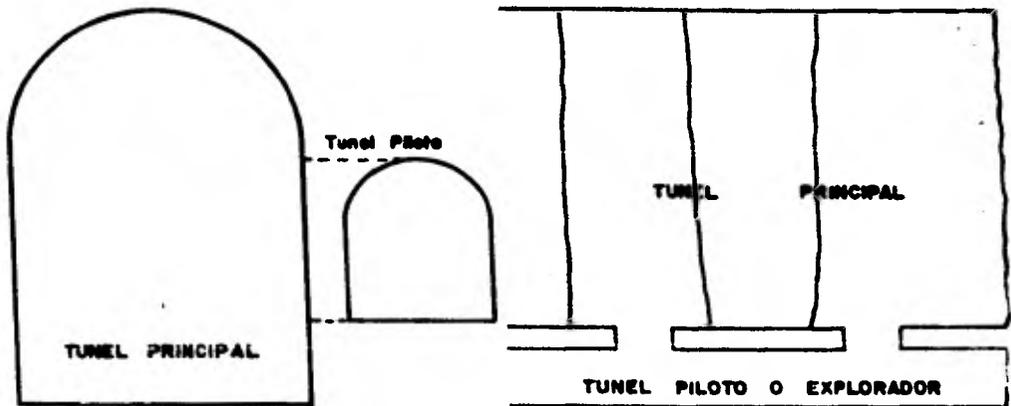


Fig. 2.4

En la figura No. 2.4 se ve la sección Túnel - Explorador.

### 2.1a. EMPORTALAMIENTO

Los primeros trabajos para el emportalamiento de un túnel son los cortes del tajo donde se alojará el mismo. Dichos trabajos se efectúan con los métodos tradicionales de corte en terracerías; usando Track Drill, Tractores y Cargadores etc.

Quedando después del corte un tajo con un frente que puede ser el Portal de Entrada ó Salida, para el Túnel "Analco-San José dichos cortes tienen los siguientes volúmenes.

Tajo Portal Entrada = 65,778 M<sup>3</sup>  
 Tajo Portal Salida = 21,382 M<sup>3</sup>

Es de suma importancia la estabilidad del talud donde se alojará el portal ya que del mismo depende la seguridad del túnel.

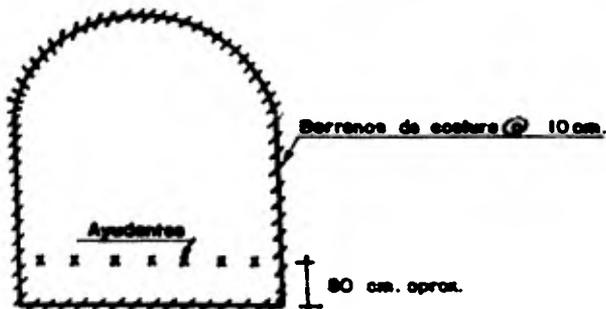
Una vez hecho el corte, amacizado el frente - se continúa por el emportalamiento propiamente dicho el cual se puede hacer por varios métodos dependiendo del tipo de terreno con que se cuente.

Mencionaremos unos métodos los cuales pueden -

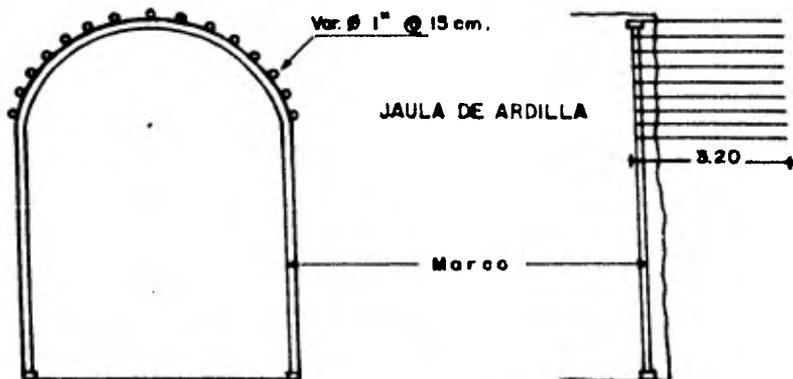
tener las variaciones convenientes para un terreno determinado.

#### METODO - BARRENACION DE COSTURA

Se barrena costurando toda la sección a 10 cm. con profundidad de 2.40 mts., se cargan solamente los barrenos de piso y una serie de ayudantes superiores tro--  
nándolos.



Se rezaga y colocamos un marco de apoyo pegado al frente en donde se mete una jaula de ardilla de 3.20 ML. de longitud con una separación de 15 cm. de media --  
sección hacia arriba.



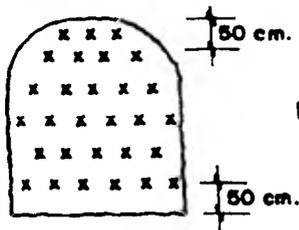
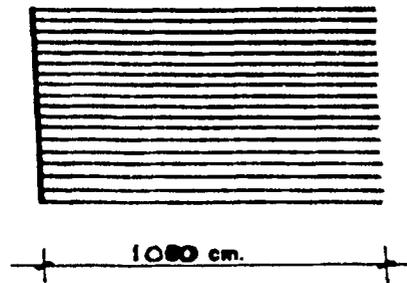
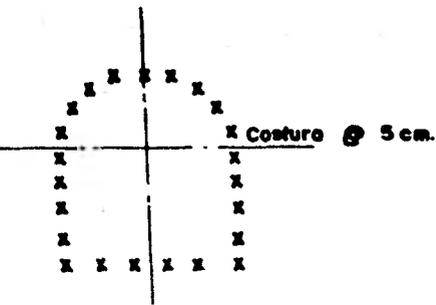
Después de colocada la jaula de ardilla se barren a media sección inferior y se truena; viendo que cae de la costura que tenemos para poner un marco a 50 cm. - del primero que tenemos; colocando los que quepan a cada 50 cm. Se continúa así hasta llegar a los 2.40 m. de la costura y se procede a poner a otra jaula de ardilla para poder tronar a sección completa.

Se sigue poniendo marcos a cada 50 cm. hasta encontrar material consistente.

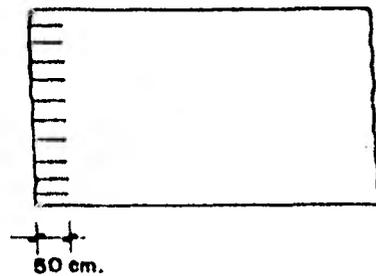
Este método se ocupa en cualquier material; se recomienda en materiales tajeados o fracturados, arenas compactadas, no es aplicable en arcillas o suelos.

#### METODO - PRECORTE

En éste método se costurea a cada 5 cm., con una profundidad de 10 m. los cuales se cargan con primacort, lo cual garantiza el precorte, al tronar, se barre na toda la sección a 50 cm. de profundidad y a 50 cm. - de retirado de la costura.



BARRENACION



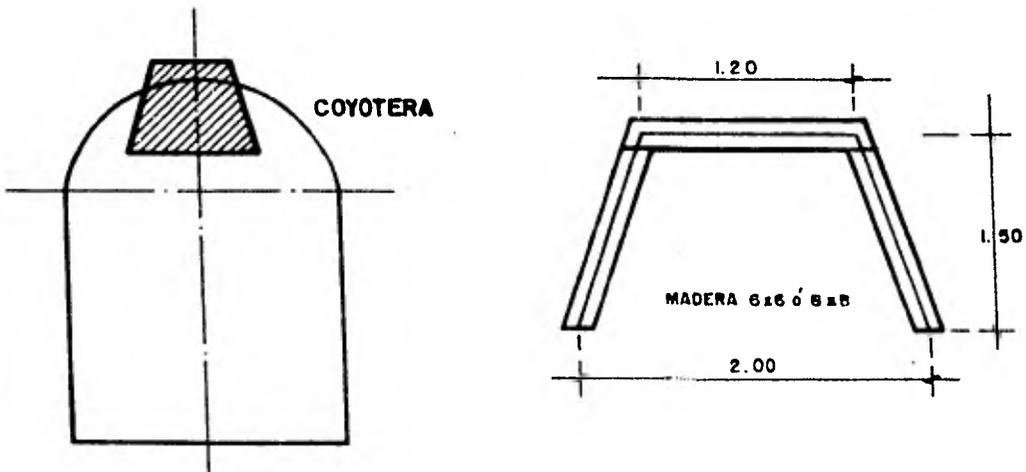
Se limpia el frente y se pone el primer marco a 50 cm. y se continúa así hasta encontrar terreno firme.

Este método se usa en terreno muy fracturado-- pero siempre roca.

METODO - COYOTERAS

Se hacen coyoterías de 2 m x 1.50 x 1.20 mts. - a 20 cm. arriba de la clave del túnel, con las cuales se excavan 10 m., permitiendo así conocer el terreno que se va a encontrar y proceder a tronar media sección o sección completa.

En la coyotería se colocan marcos de madera a cada 50 cm.



Estos son los métodos para emportalar un túnel, es conveniente mencionar que no son los únicos y que se puedan seguir otras recomendaciones como anclar el talud del frente; lanzarlo de concreto, etc., para dar mayor seguridad a los trabajos de emportalamiento.

## 2.2 EQUIPO EMPLEADO PARA LA CONSTRUCCION DE TUNELES .

Se estudió los ciclos de trabajo completo de los cuales el primero es el de la preparación de las lumbreras, equipo y estructuras de trabajo para la construcción del túnel.

El principal equipo dentro de este ciclo es sin duda el que llamamos Torre de Rezaga, porque en realidad se realizan toda clase de trabajos en ella. En lo que respecta al fondo hay que adaptar dos tolvas en los extremos de la "alcancía", las cuales tienen dos volteadores hidráulicos para recoger el material de las vagonetas.

En la parte superior de la torre se encuentra un descargador neumático y un Malacate Eléctrico accionado por dos motores (baja y alta velocidad) con capacidad de trabajo de 12 ton., y con sistema de control automático.

### EQUIPO DE PERFORACION

Consiste en máquinas denominadas "Jumbo", estas máquinas constan de dos brazos<sup>A</sup> hidráulicos en los cuales

están montadas las barras de barrenación que tienen una longitud de 3.60 mts. Estas máquinas ó "Jumbo" Allimak son hidráulicos marca Allimak todas con palancas hidráulicas estos "Jumbos" tienen un consumo de 5 Kg/cm<sup>2</sup>. de aire. Los brazos son rotatorios que pueden girar en todas las direcciones las conexiones son directas al aire y al agua, las barras que se utilizan son de acero con pastilla de carburo de tungsteno con diámetro de 7/8", el zanco de las barras es de 4 1/4" de longitud. Además cada brazo tiene una dotación de mangueras tanto para aire como para el agua de 3/4"Ø y de 1/2"Ø respectivamente. Aparte tienen una dotación de mangueras que van conectadas al tubo de aire de 2"Ø y con una longitud de 20 mts., y la del agua de 3/4" de diámetro y con longitud de 25 mts. y tiene un depósito de aceite en medio de los brazos.

Se tiene también pistolas neumáticas marca -- Atlas-Copco tipo BBL-24 WTH, dotadas con empujador neumático. Estas pistolas tienen un consumo de 160 ft<sup>3</sup>/min.. de aire, las barras tienen las mismas características que las del "Jumbo" mencionados anteriormente, para ca-

da pistola se tenía una escala de acero de barrenación, - la cual consta de varias barras cuya longitud va aumen-- tando de 80 en 80 cm., hasta la de 7.20 mts., para cada perforadora se tenía una dotación de 30 mts. de manguera de 3/4" de diámetro para aire y agua y un lubricador.

Otra marca de perforadora que se utilizó fue - la de Chicago Pneumatic C. P. 69. (Se puede utilizar como martillo demolador).

Perforadoras sobre vagoneta (Wagon Drill) mar- ca INGERSOLL-RAND dotadas de barras de extensión y bro-- cas con inserción de carburo de tungsteno de 2 1/2" de - diámetro, estas brocas son desmontables. (Estas perfora doras así como las Chicago Pneumatica se utilizaron prin cipalmente para barrenos "Guías" con objeto de checar to pografía y para barrenos donde se colocan anclas pre-es- forzados tipo BBRV de 18 mts. de profundidad.

Martillos demoledores marca Chicago Pneumatic tipo CP 124 con entrada para cuña de 1 1/4" de diámetro.

Los equipos más usuales para efectuar la carga son principalmente de dos tipos.

- a).- Sobre rieles, las que destacan las rezagadoras.
- b).- Sobre orugas siendo los más importantes los cargadores frontales, las palas y -excavadoras.

En lo referente a acarreo se clasifica en dos grandes grupos:

- a).- Sobre rieles (locomotoras diesel y vago netas).
- b).- Sobre llantas (camiones ligeros y pesados).

Dentro del equipo auxiliar se considera lo siguiente:

- a).- Bombas horizontales, verticales, etc.
- b).- Transformadores
- c).- Cambios california (via móvil al frente de trabajo)

Para la conducción de fluidos y energía, se considera cuatro grupos.

- a).- Tubería de aire comprimido
- b).- Tubería para agua de barrenación
- c).- Tubería para ventilación
- d).- Conducciones eléctricas
  - d.1).- Alumbrado (normalmente monofásico de 110v).
  - d.2).- Energía trifásica de alta y baja tensión (220-44-v).

### d.3'.- Líneas telefónicas.

Para las plantas generadoras de energía se pueden enmarcar en tres aspectos principales:

- a).- Corriente eléctrica
- b).- Casa de compresores
- c).- Casa de bombas.

### AIRE A PRESION

A 50 mts. del Portal del Túnel de acceso se -- instala un banco con 6 compresores eléctricos, marca Chicago Pneumátic, con cap. de 600 f'<sup>3</sup>/min. de aire y 0.98% de eficiencia. Estos compresores se encuentran en serie.

Se cuenta además con otros compresores de marca ATLAS COPCO DT4 y ENGERSOLL-RAND de 600 PCM., estos se - utilizan en las lumbreras para su excavación, los compresores es un equipo necesario para el gasto de aire comprimido ya que todos los equipos de rezaga trabajan con aire comprimido a excepción de las locomotoras que trabajan con baterías y diesel.

### EQUIPO DE REZAGA

La rezaga del material producido por las trona

nadas se hizo con la ayuda de rezagadoras y trascavos -- los cuales tienen los siguientes tipos:

Rezagadoras frontales de descarga trasera marca EIMCO-640 las cuales se mueven sobre vías, a través de las cuales, se llenan las vagonetas vacías de 4.5 - M<sup>3</sup>. de capacidad.

Estas vagonetas son llevadas a la "alcancía" - (donde se tira la rezaga) por locomotoras diesel marca Balco y que después los botes del malacate la ponen en tolvas de vacío, hacia los camiones de volteo marca --- Ford. Se utilizó también Trascavos marca Caterpillar tipo 955 H con capacidad de 1.34 M<sup>3</sup>, de descarga frontal - y lateral y montado sobre orugas.

#### VENTILACION

Se utilizaron ventiladores para los efectos - de purificación de aire, con la particularidad de que - puedan invertir su flujo, es decir, están capacitados a - trabajar tanto como ventiladores como extractores de aire, la marca de estos ventiladores son MARELLI con 2 motores de 30 HP c/u y con un diámetro de 90 cms. Se cuenta también con otros de marca JOY de 28,000 PCM. eléc--

tricos. Los ventiladores anteriores se encuentran dotados de tubería de lámina, en tramos de 6 mts.

#### EQUIPO ELECTRICO

Debido a que se cuenta con corriente de 110 - volts, 220 volts y 440 volts. y en ciclaje tanto de 50-cps., como de 60 cps. para los voltajes mencionados, se hizo necesario contar con muy distintos tipos de transformadores, para utilizar la corriente eléctrica en la mejor forma posible.

Estos transformadores los clasificaremos como estacionarios y manuales, de acuerdo a las dificultades que por su paso ofrecen para ser transportados.

Entre los estacionarios mencionaremos:

Transformadores de 500 KVA marca MEXA

Transformadores de 200 KVA marca MEXA

En cuanto a los transportables son:

Transformadores de SKVA

Transformadores de ZKVA

Los transformadores de mayor capacidad se co-

locaron a fuera del túnel de acceso y los de menor capacidad se alojaron cerca de los frentes de ataque.

#### EQUIPO DE BOMBEO

El bombeo dentro de la obra se divide en dos partes:

Alimentación de agua al interior de la obra. - Se utiliza agua para el enfriamiento de las perforadoras y para las actividades relacionadas con la colocación del concreto lanzado. Este bombeo se realiza con una bomba eléctrica marca BYRON JACKSON de 6" de diámetro, con motor IEM de 40 HP.

Extracción de agua desde los frentes de ataque. Debido a que la filtración de agua es reducida (5 lts/--seg. aproximadamente), esta actividad se limita a bombear el agua mencionada en el párrafo anterior ya los escurrecimientos producidos por las precipitaciones pluviales. Se cuenta con las siguientes bombas para realizar esta parte del bombeo.

Bombas Neumáticas, tipo sumergible con capacidad equivalente a una bomba de 1" de diámetro.

Bomba Portátil sumergible marca BARNES de 2" -

de descarga con motor eléctrico de 1 HP y bombas de 4"- de diámetro marca RELIANCE con motor eléctrico de 20 HP- (estas son de traspaleo a cada 200 mts. de distancia).

El frente de ataque presenta mayor filtración de aguas que el resto de la obra, para este frente se -- encuentran destinados las bombas de evacuación sumergibles marca ATLAS COPCO, DIP 30 y DIP 60.

Para el servicio de los carcamos de bombeo 6 - galería de bombeo se encuentran bombas de pozo profundo, marca JOHNSTAN verticales tipo turbina con capacidad nominal media de 110 l/seg., a una velocidad de 1760 RPM.- Estas bombas desalojan el agua del cárcamo (aguas que -- vienen del bombeo de los frentes de ataque), y las bom-- bean hacia el exterior de la lumbrera por medio de la - columna que son tuberías de 14" de diámetro y también - se bombea horizontalmente por tuberías de 14" de diámetro esta agua sale por el portal de acceso 6 portal de - entrada.

### 2.3 INSTALACIONES ESPECIALES

Durante la construcción del túnel se requirió de unas instalaciones llamadas "Especiales" para la ejecución de los trabajos, y estas son:

- a).- Monta cargas mixto, para personal y material (elevador Alimak Scando).
- b).- Planta de fuerza (abastecedor de -- energía eléctrica).

#### ELEVADOR ALIMAK SCANDO.

El elevador Alimak es un transporte vertical -- que se desplaza a través del tiro de la lumbrera. Su -- función es bajar y subir al personal que labora en el túnel, como también los diferentes materiales que se hayan utilizando o desechando a través de la excavación del túnel.

Es de una gran utilidad para el funcionamiento del avance del túnel pues su desplazamiento es de una velocidad de 0.65 m/seg. con capacidad de carga por cabina de 1,500 kg. y el número de personas que pueden trasladarse en ella es de 18 personas por cabina, y además --- está adaptado con contrapeso y 2 motores ASEA de 10 CV-c/u. y de 1,440 RPM.

Este elevador ó montecarga tiene dimensiones-- de cabina de 1.3 x 3.0 m. y altura de 2.7 m. y su funcio-- namiento es a través de cremalleras en vez de cables, por los cuales escala la cabina, la maquinaria de acciona--- miento está situada en la cabina, la unidad de acciona-- miento es propulsada por 2 motores eléctricos de 10 CV. del tipo MS 132 1,440 RPM. los motores transfieren la - energía a los piñones, los cuales engranan en la crema-- llera a través de un embargue y de un tornillo sinfin,-- el elevador se detiene por medio de frenos magnéticos, el dispositivo de seguridad está situado debajo de la maqui-- naria y está conectado a está.

Los cálculos standard permiten una altura de - torre de 200 m., sin embargo, con algunas modificaciones simples pueden obtenerse alturas ilimitadas.

#### PLANTA DE FUERZA

Estas instalaciones nos proporcionan la ener-- gía eléctrica utilizada en el funcionamiento de los dis-- tintas máquinas y equipo, así como la iluminación inte-- rior del túnel.

Las plantas de emergencia tienen las siguien--

**tes características:**

Consta de dos motores diesel marca General Motors, un alternador marca Kato Engine Co. la potencia es de 2000 KW ó sea 2500 KVA., la tensión de trabajo es de - 2400 volts. ó 4160 volts, según la conexión que se realice, la frecuencia es de 60 ciclos/seg. trifásico, la -- marca de la máquina ensamblada es Mid. Continent.

Están instaladas sobre una superficie de 205 -- M<sup>2</sup> tomando en cuenta el cuarto de control, la base de sustentación está hecha de concreto armado de una resistencia de 250 Kg/cm<sup>2</sup> con las siguientes dimensiones:

5 m.ancho, 1.5 m.alto 15 m. largo, con varilla de 1/2" de diámetro, a cada 30 cm., cuenta con anclas de acero roscañas en forma de bastón y con una camisa de tubo de 2", siendo el diámetro de estas de 1 1/4", en donde es sujeta dicha planta de emergencia, mediante tuercas exagonales.

Las instalaciones complementarias para el trabajo correcto, están alojadas en ductos subterráneos con paredes de concreto, y fijadas a estas, mensulas donde des-

cansan tuberías y charolas para conductores eléctricas.

El método económico que se lleva a cabo para -- suministrar la corriente eléctrica, consiste en traerla - a alto voltaje (23,000 voltios) y por medio de transfor-- madores reducirla a los voltajes usuales, que son 2,300-- y 220 volts. y 110 volts.

El cálculo de energía máxima requerida para un trabajo se estima mediante el consumo máximo de todas las máquinas que puedan trabajar simultáneamente, sumando ade más los consumos por iluminación.

3.-

E X C A V A C I O N

### 3.- EXCAVACION

#### 3.1.-DIAGRAMA DE BARRENACION

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

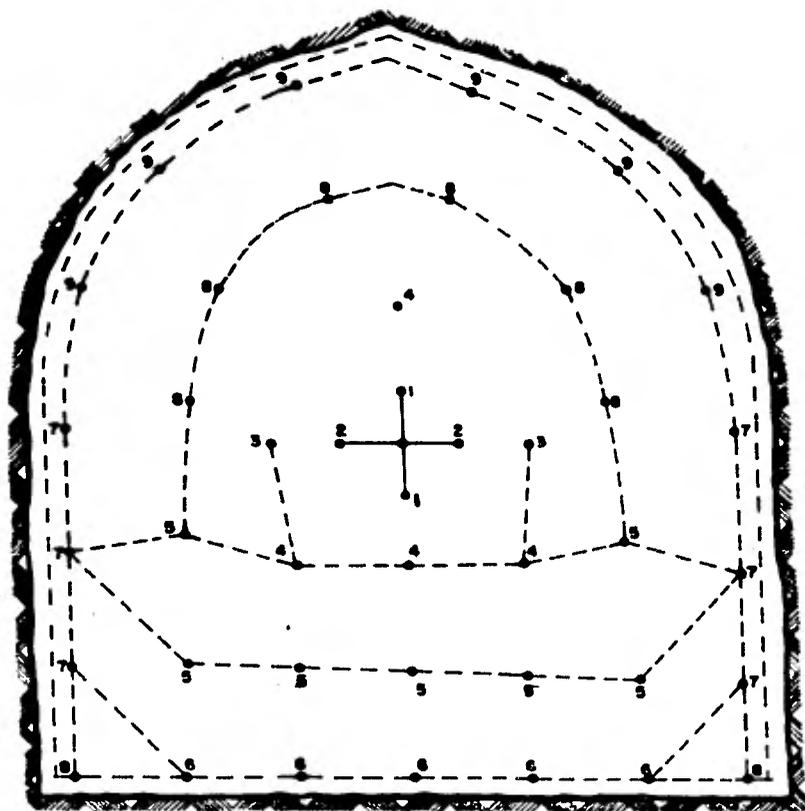
Los Diagramas de Barrenación, constan de cuatro tipos de barrenos:

- 1.- Barrenos de cuña
- 2.- Barrenos ayudantes
- 3.- Barrenos de corte
- 4.- Barrenos de piso

En los Diagramas de Barrenación siguiente, se observa algunos tipos de cuña y materiales necesarios --

# DIAGRAMA CON CUÑA EN CRUZ

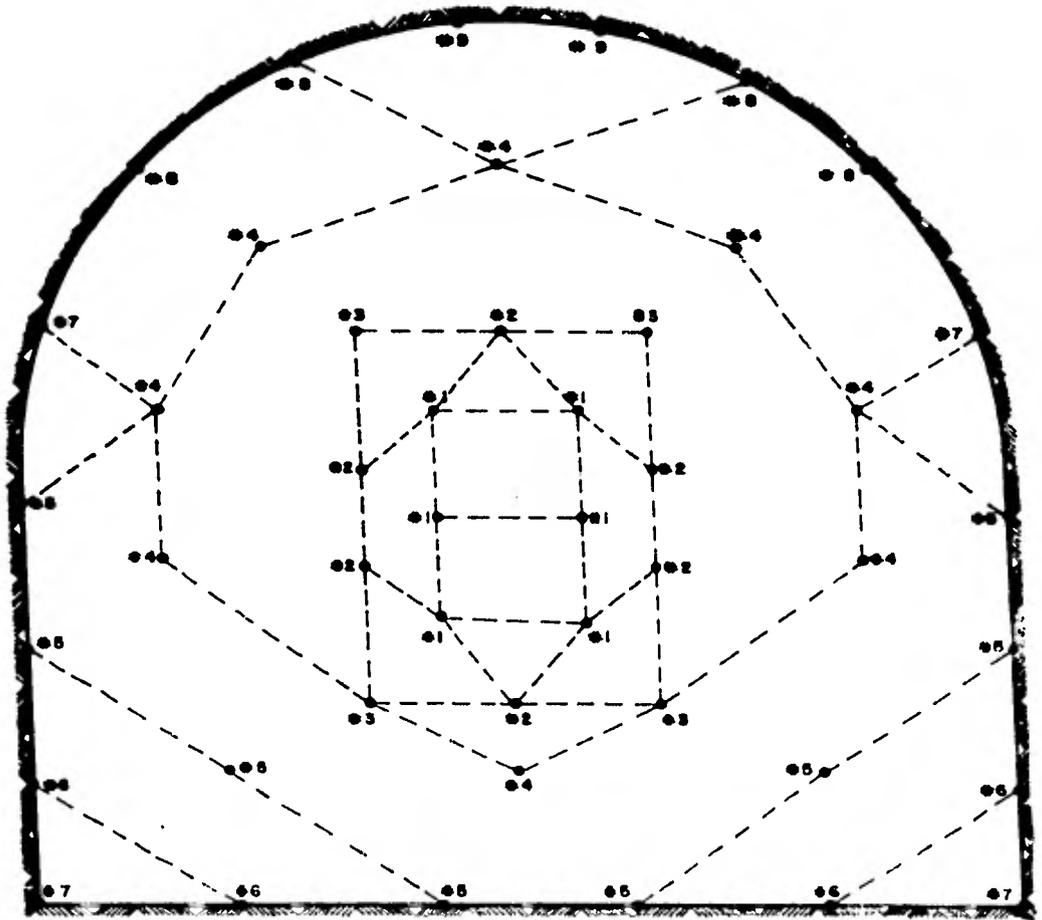
61



CONSUMOS		FACTOR
DINAMITA	32.70 KGS.	$32.7/19.1 = 1.71 \text{ KGS./M}^3$
MEXAMON	75.00 KGS.	$75.0/19.1 = 3.92 \text{ KGS./M}^3$
ESTOPINES	42.00 PZAS.	$42/19.10 = 2.19 \text{ PZAS./M}^3$
AREA: 19.10 M <sup>2</sup>		LONG. BARR: 2.50 M.

CONSTRUCTORA ESTRELLA S. A.
TUNEL ANALCO - SAN JOSE
FRENTE N° 6 PORTAL SALIDA
CUÑA DE BARRENACION EN CRUZ

## DIAGRAMA DE BARRENACION CON CUÑA EN V°



que se utilizan en las tronadas de los diferentes frentes de trabajo.

Los materiales necesarios, para la barrenación en cuña en "v" en una tronada es el siguiente:

## A.- Estopines

Período de retardo	Cant.
No. 1	6
2	6
3	4
4	8
5	8
6	4
7	4
8	4
9	2
	<u>46</u>
	Pzas.

## B.- Barrenos:

Tipos	
Cuña	- 6
Aydes.	- 10
Piso (pata)	- 6
Aydes. (pata)	- 3
Corte (tabla)	- 6
Ayd. (tabla)	- 4
Corte (clave)	- 8
Ayde. (clave)	- 3
	<u>46</u>
	Barrenos.

## C.- Dinamita Gelatina Extra 60% de l 1/8"Ø y peso de 0.185 Kgs.

8 Bombillos x 6 Barrenos = 48 Bombillos
7 " x 10 " = 70 "
8 " x 6 " = 48 "
6 " x 3 " = 18 "
6 " x 6 " = 36 "
6 " x 4 " = 24 "
6 " x 8 " = 48 "
6 " x 3 " = <u>18</u> "

310 Bombillo x 0.185 = 57.35 Kgs.  
Total de dinamita.

Por lo tanto, en túneles es necesario experimentar físicamente varios tipos de diagrama de barrenación hasta --

obtener uno, que satisfaga las necesidades, tanto de ---  
avance como económicas.

### 3.2 BARRENACION

Esta operación comprende desde que empieza a - trabajar el Jumbo de Barrenación y consiste en hacer las perforaciones necesarias de acuerdo con el "Diagrama de Barrenación" propuesto. La barrenación se inicia una -- vez que se trazo el contorno de la sección así como los ejes vertical y horizontal sobre el frente de trabajo.

Las barrenaciones normalmente se nombran por - el tipo de cuña que se utiliza para abrirlas. El tipo - de cuña empleada, la longitud de barrenación y el número de barrenos por disparo, dependen del tamaño del frente - que se esté trabajando y de la dureza del material que - se debe romper además del equipo disponible para el tra - bajo.

Al planear una excavación con el uso de explo - sivos, debe definirse en primer término el coeficiente - de barrenación, la resistencia del material que se va a - remover y la longitud de barrenación. Estos datos, resul - tan básicos para preparar correctamente los diagramas de barrenación. Por otra parte, de la barrenación que se realice, depende la sección del equipo, la cantidad de -

barrenos necesarios, para la voladura depende del diámetro de los mismos, de la resistencia del material, del tipo de cuña que se elija y de la fragmentación deseada.

Las figuras 3.1 y 3.2 nos ayudan con el número de barrenos por voladura, el coeficiente de barrenación en valores promedio relacionados con la sección neta del frente.

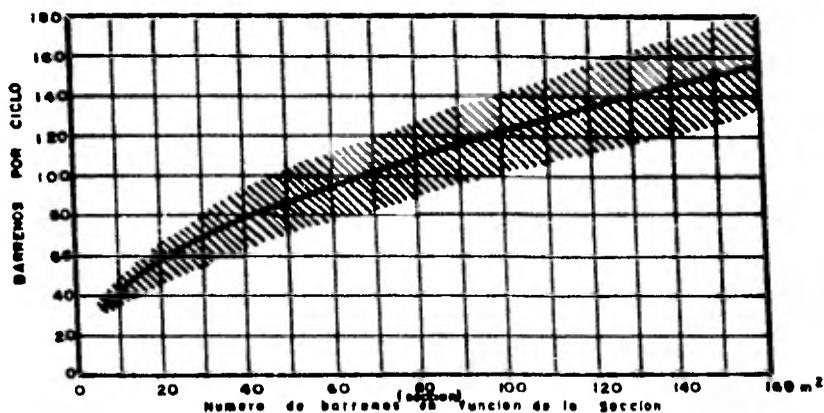
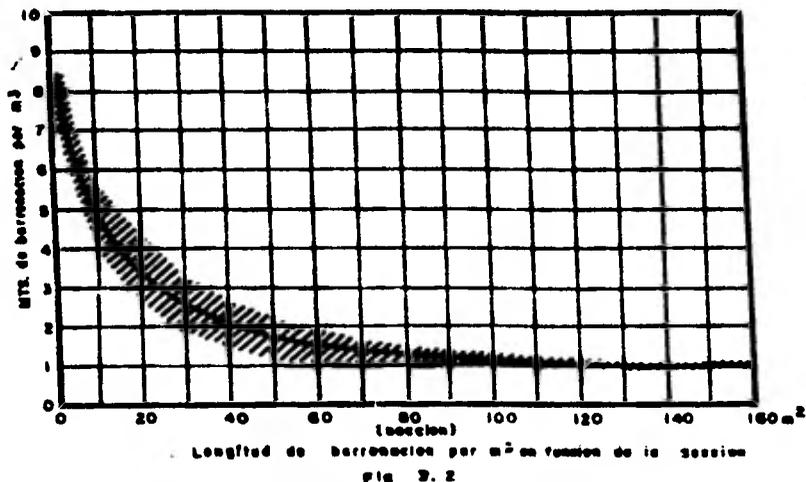
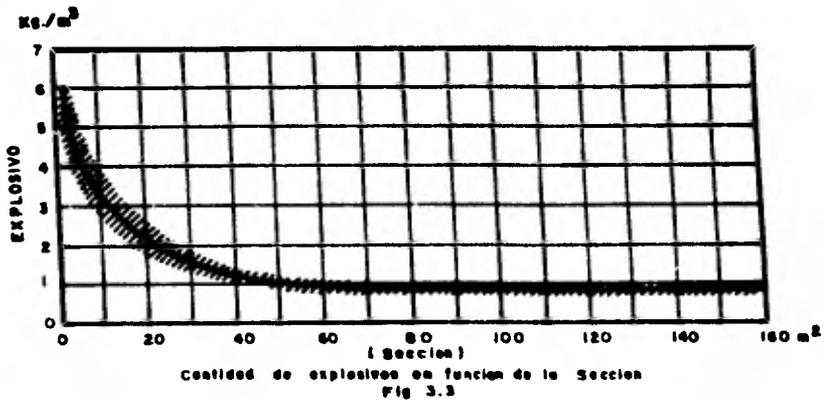


Fig 3.1



Hay que destacar que la barrenación teórica no es siempre solución económica, ya que si se incrementa - el coeficiente de barrenación o la cantidad específica - de explosivos, puede obtenerse mayor avance y balancear el volumen de rezaga con la capacidad de equipo disponible para removerla.

Para obtener la cantidad de explosivos, la figura 3.3 muestra volores prácticos como una función del área neta excavada, esta gráfica nos proporciona una manera rápida y muy acertada de la forma de calcular la cantidad de explosivos por tronada. de otra manera se puede calcular esta cantidad, considerando la carga de fondo con densidad de  $d^2/\text{gr}/\text{M.}$ , y definiendo como fondo del barreno una longitud de aproximadamente  $1.3 v$ , la cuña debe cargarse con 40% a 100% de dicha densidad y debe dejarse de 0.5 a 1.0 m. para taco.



si este cálculo se puede realizar, debe compararse con el valor obtenido por la gráfica y hacer las correcciones necesarias.

En frentes muy pequeños, la barrenación puede-

consistir únicamente de la cuña, un par de ayudantes y los barrenos de tabla; en tanto que, en frentes grandes, la barrenación puede incluir la cuña; varios juegos de ayudantes y varias líneas de segundos ayudantes.

Cuando se emplea fulminante y mecha para iniciar las barrenaciones, es imposible asegurar que dos barrenos disparen simultáneamente, a menos que se junten ó casi lo hagan, pueden dispararse a la vez por propagación puesto que en la práctica es difícil que se realice lo anterior, todos los barrenos cargados deben-arse por separado; y en barrenaciones con cuñas en ángulo debe hacerse cualquier esfuerzo para que algunas parejas de barrenos disparen en el mismo instante, la experiencia indica que solo de este modo puede obtenerse la máxima eficiencia en voladura, especialmente en roca dura.

La forma de asegurar que dos o más barrenos disparen prácticamente al mismo tiempo, es utilizando estopines eléctricos de retardo. También a menudo es deseable emplear retardos en cuñas en V colocadas para proporcionar una secuencia de disparo de pequeños intervalos en los diferentes pares de barrenos. Este método

usualmente mejorará la fragmentación y reducirá el lanzamiento de materiales de la cuña.

Después de haber disparado la cuña, el resto de la barrenación rompe hacia la abertura proporcionada; para la obtención de los mejores tiempos, el método de disparo eléctrico es el recomendado para retardar la barrenación.

Los tiempos de disparo en la cuña son los menores, después pueden cebarse con el mismo período de retardos grupos de barrenación que no interfieran entre sí.

### CUÑAS

Existen tres tipos de cuñas en general:

- a).- La Cuña en ángulo, dentro de los que destacan la cuña triangular (utilizada para secciones grandes de 60 M<sup>2</sup> en adelante) la cuña de abanico (utilizada en secciones muy alargadas longitudinal o verticalmente) y la cuña piramidal (utilizada en secciones pequeñas, donde se usan perforadoras montadas).

b).- La cuña quemada ó fragmentada

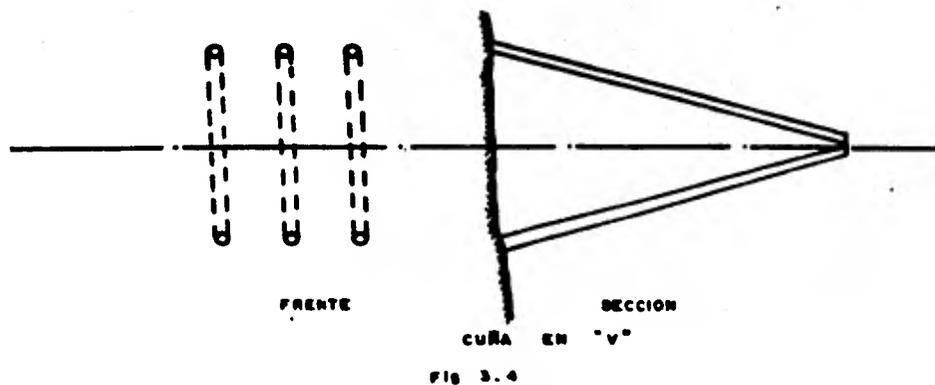
c).- Combinaciones de la otras dos.

Las cuñas en ángulo se basan en que los barre-- nos se hacen formando un ángulo con la frente para propor-- cionar la mayor libertad de movimiento que sea posible pa-- ra la roca quebrada. Este tipo de cuñas utilizan menos -- barrenos por disparo y usualmente su consumo de explosi-- vos es menor por metro de avance.

Una desventaja es que la V de roca formada por-- la cuña puede salir lanzada desde el frente en piezas --- grandes hacia atrás.

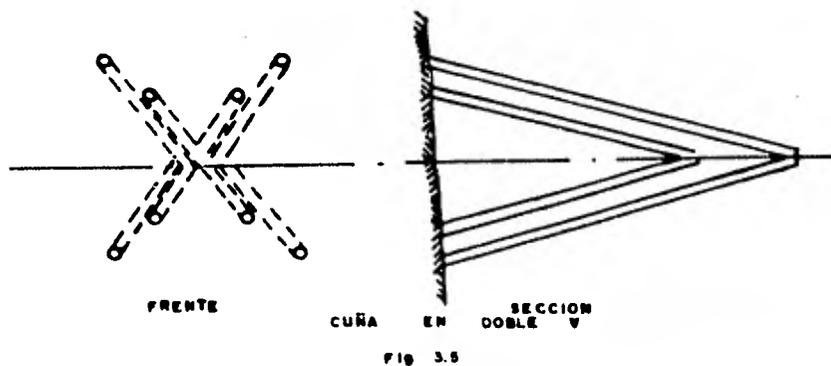
En donde sea necesario reducir el lanzamiento -- de roca grande y ayudar a romper una cuña en ángulo pro-- fundo, puede empliarse pequeñas cuñas en V.

Cada cuña en V consiste en dos barrenos hechos-- a partir de dos puntos tan retirados como sea posible, so-- bre la frente para sentarse ó casi hacerlo en los fondos-- de los barrenos, como se ve en la figura No. 3.4 siguien-- te:

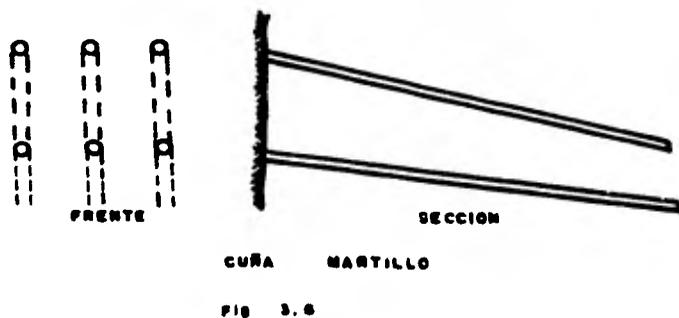


la cuña puede consistir en una V ó en varias V, perforadas paralelamente una a la otra.

En barrenaciones más profundas ó en rocas muy - difíciles de romper, las cuñas pueden ser W, conociendose como doble V, como se muestra en la figura 3.5



Una modificación de la cuña en V, es la conocida como cuña martillo figura 3.6



Es particularmente útil en pequeños frentes, -- donde se usa pistola montada en pierna y hay poco espacio para perforar.

Las cuñas quemadas ó fragmentadoras, consisten en hacer varios barrenos muy próximos entre sí y perpendiculares al frente, y en la que solamente algunos de ellos se disparen para romper hacia el espacio abierto proporcionado por los barrenos vacíos.

Es de lo más importante que los barrenos de una

cuña quemada se hagan exactamente paralelos y a la distancia adecuada. También la cuña quemada debe perforarse de 15 a 20 cm. aproximadamente más larga que los otros barrenos de voladura.

Fundamentalmente, todas las variaciones de la cuña quemada utilizan el mismo principio, a diferencia de las cuñas en ángulo, que están diseñadas para romper una pirámide ó un cono de material, las cuñas quemadas se diseñan para romper la roca, en pequeños fragmentos que salen lanzados por la voladura para dejar abertura más ó menos en líneas.

Las siguientes figuras muestran varios de los patrones más comunes.

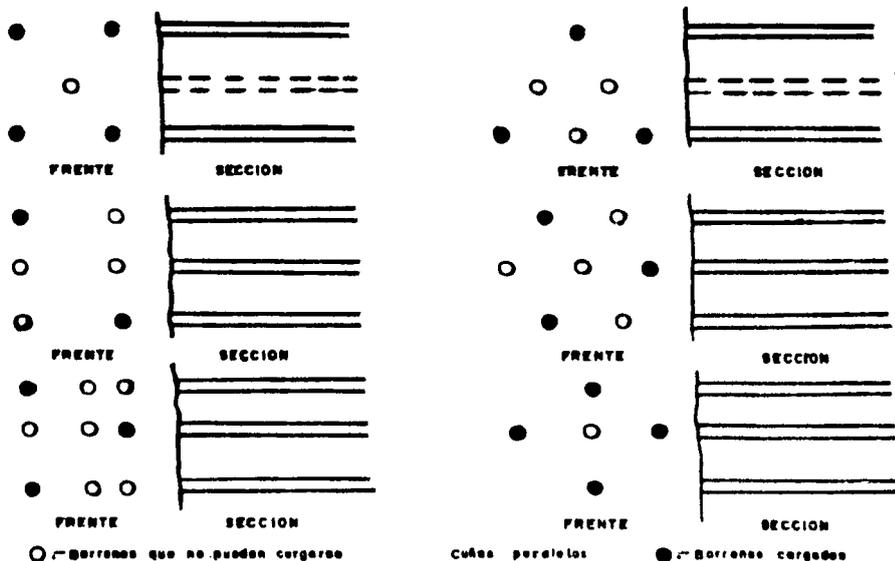


Fig. 5. 7

### 3.3 LIMPIA O SOPLETEO DE LA BARRENACION

Una vez terminada la barrenación y antes de --  
iniciar la carga de explosivos, se procede a limpiar la-  
barrenación con aire, con ayuda de un "Soplador" el cual  
consiste en una varilla de tubo galvanizado de 1/2"Ø .

La limpieza del barreno se puede hacerse con -  
la misma máquina de barrenación (jumbo) al terminar el -  
barreno aunque en la realidad pocas veces se hace, siem-  
pre y por ahorro de tiempo se hace al terminar la barre-  
nación.

### 3.4 CARGA DE EXPLOSIVOS

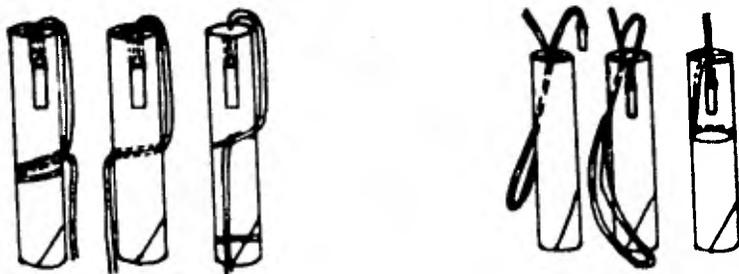
Esta operación comprende desde que se empieza-  
a cargar, incluso antes de que se termine la limpieza de  
los barrenos ó la barrenación misma, hasta que se termi-  
ne de cargar el último barreno.

Esta operación es la más delicada y debe tomar  
se todas las precauciones necesarias para el manejo de -  
los explosivos, desde que se bajan de la lumbrera ---  
hasta su transporte al frente, por lo regular deben ----  
transportarse separados la dinamita y los estopines, es  
decir el carro de explosivos debe tener 2 compartimien-

tos forrados de madera, uno para la dinamita y otro para los estopines, la cantidad de carga que se transportará será calculada de acuerdo con el diagrama de barrenación más un 10%.

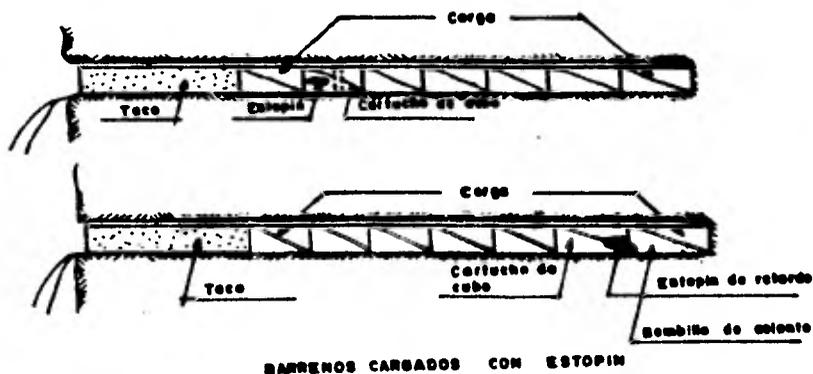
El transporte de la dinamita se hará en el caro de explosivos enganchado de una locomotora. Una vez que el carro de explosivos ha llegado al frente, se procede a la carga del frente para lo cual se prepara con anticipación de acuerdo con el diagrama de barrenación un número determinado de cebos. La carga no debe ini---ciarse hasta que se termine la barrenación aunque esto por lo regular no se lleva a cabo.

Para insertar el estopin eléctrico en el bombillo de dinamita, debe perforarse éste con un "punzon" de madera y hacer la lazada firmemente, como se indica en la figura 3.8



AMARRE EN CEBO

La carga de la barrenación se hará introduciendo un bombillo de "asinto" y después el "cebo" ó expoleta y a continuación el resto de los bombillos para lo cual se proceda a retacar de dos en dos con un "fainero" de madera, como se muestra en la figura 3.9



BARRENOS CARGADOS CON ESTOPIN

Fig 3.9

Debe tenerse cuidado que no se maltraten los "guías" de los estopines los cuales permanecen en "corto circuito" hasta al momento de hacer la conexión eléctrica.

#### AGENTES EXPLOSIVOS Y SUS PROPIEDADES

### DINAMITA

Las dinamitas son mezclas sensibles a la cápsula que contienen un compuesto explosivo, ya sea con sensibilizador ó como el medio principal para desarrollar energía, y el que, cuando se inicia adecuadamente, se descompone a velocidad de detonación, la mayor parte de las dinamitas contienen nitroglicerina como sensibilizador. Las propiedades y características de la dinamita pueden modificarse para producir compuestos que proporcionen una acción de voladura óptima para cada tipo de trabajo.

### AGENTES EXPLOSIVOS

Un agente explosivo comercial ó mezcla química insensible al fulminante, que no contiene ingredientes explosivos y que pueden hacerse detonar cuando se inicia con un cebo explosivo de alta potencia. De las muchas ventajas ofrecidas por estos compuestos o mezclas sin nitroglicerina, sin duda las más importantes son la seguridad en el manejo, su uso y su bajo costo.

### PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

La mayoría de las propiedades utilizadas en la actualidad para caracterizar los explosivos, fueron diseñados inicialmente para las dinamitas y otros altos explosivos. Dentro de estas que han sufrido modificaciones y que se han adaptado para su uso con otros explosivos comerciales y agentes explosivos, se encuentran:

- 1.- **Potencia.**- Se refiere al contenido de energía de un explosivo, que a su vez contribuye a la fuerza y poder que desarrolla y, al trabajo que es capaz de efectuar.
- 2.- **Densidad.**- Esta se expresa de un modo conveniente por el número de cartuchos de 1 1/4" X 8" que contiene una caja de 25 Kg. y se expresa en gr/cm<sup>3</sup>.
- 3.- **Sensibilidad.**- Esta propiedad se refiere a la medición de su capacidad de propagación y se mide por la distancia en pulgadas.
- 4.- **Velocidad.**- Es una medida de la rapidez con que viaja la onda de detonación a través de una columna de explosivos, las dinamitas varían en su velocidad desde 4000 pies hasta 23 000 pies/seg.
- 5.- **Resistencia al agua.**- Si el explosivo debe permanecer bajo el agua por algún tiempo, tiene que utilizarse un tipo resistente al agua, como una dinamita gelatina.

- 6.- Resistencia a la Congelación.- Permite efectuar voladuras en tiempo frío sin necesidad de utilizar el peligroso proceso de deshielar explosivos congelados.
- 7.- Inflamabilidad.- Esta propiedad se refiere a la facilidad con que un explosivo puede incendiarse.
- 8.- Emanaciones.- Son los gases que se obtienen como resultado de la detonación de explosivos como carbón, nitrógeno y oxígeno.
- 9.- Sensitividad.- Esta propiedad es una medida de la capacidad de propagación.

### 3.5 CONEXION ELECTRICA

Esta operación comprende desde que se termina de cargar el último barreno hasta que se hace la conexión a la línea de disparo, por lo regular se van uniendo las guías de los estopines según se va cargando.

Consiste en conectar las "guías" de los estopines entre sí, por lo regular en túneles se hacen las conexiones en series paralelas, nunca en serie, pues es -- muy difícil de detectar en un momento dado, una "falsa"-conexión para el caso de un diagrama de barrenación de - 50 a 70 piezas, se deberán, hacer cuatro series como mínimo.

En esta forma se podrá comprobar si cada serie está conectada correctamente con el galvanometro antes - de conectarse en paralelo, si una vez conectadas las series en paralelo el "galvanometro" no da una lectura infinita, se desconectan las series y se comprueba cada una de ellas.

Las series en paralelo se conectan a la línea-troncal la cual se probó previamente con un foco, la comprobación de las conexiones eléctricas se puede hacer -- con un Ohmetro ya que en esta forma se puede calcular-

la resistencia total de su circuito y comprobarla con la lectura de este aparato y si el cálculo y la lectura es más de 5% deberá volverse a comprobar físicamente el circuito.

**Dispositivos Eléctricos.-** La forma principal de un dispositivo eléctrico de iniciación es un estopín eléctrico. Estos están equipados con sistema eléctricos de ignición de tal modo que pueden disponerse mediante una corriente eléctrica, básicamente, todos los estopines eléctricos consisten en un casquillo metálico dentro del cual se colocan diferentes cargas de polvorín, y de un elemento eléctrico de ignición conectado a un par de alambres aislados.

En los estopines eléctricos de retardo, se interpone entre la mezcla de ignición y la carga de cebo, un elemento de retardo, los alambres de todos los estopines eléctricos pueden ser conductores sólidos, ya sea de cobre estañado o de hierro estañado.

Los estopines eléctricos más utilizados son:

1.- Estopines Eléctricos Instantáneos de Alam

bre de Hierro.- Generalmente se utilizan en minas subterráneas de carbón.

2.- Estopines Eléctricos Sismográficos "SSS"- Son utilizados básicamente en la explosión sísmica.

3.- Estopines Eléctricos de Retardo.- Estos son diseñados para detonar a un período predeterminado después de aplicar energía eléctrica de ignición

4.- Retardos de Milisegundos.- Estos se fabrican en 19 retardos. Estos períodos también se identifican por número de MS, los que indican su tiempo de disparo nominal en milisegundo y que van de 25 en 25. Así el período 1 es MS-25 y los otros en orden son: MS-50, Ms-75 etc.

El disparo de estos estopines tienen las siguientes ventajas sobre los disparos con intervalos largos:

- 1).- Mejor fragmentación
- 2).- Menor vibración
- 3).- Lanzamiento controlado
- 4).- Menor número de barrenos controlados y menor cantidad de pólvora sin explotar en la rezaga.

5).- Menor cantidad de explosivos y menor costo.

### 3.6 RETIRO DE JUMBO Y VOLADURA

Una vez terminado de conectar eléctricamente -- las series, se retira el "Jumbo" neumático de barrenación a una distancia de unos 40 mts. del frente para protegerlo de la tronada.

Después de conectar las series en paralelo a la línea troncal se retira el personal hasta el interruptor de disparo, el cual debe estar a una distancia de 300 -- mts. Si la voladura se hace con corriente eléctrica, esta puede ser de 440 v/220 v/110 v, ó con un explosor de capa cidad adecuada.

En una voladura, son factores importantes:

- a).- Constante de roca,  $c = 0.4 \text{ kg/m}^3$ .
- b).- Proyección
- c).- Lanzamiento
- d).- Hinchamiento
- e).- Fragmentación

Tal vez, en una voladura, lo que más nos inte-- resa es la fragmentación, ya que, si logramos lo que de-- seamos, podemos así, mejorar tiempos de carga, material - para lo que se necesite etc.

Variables de las cuales depende la fragmenta---

ción.

- Las propiedades de la roca (frecuencia y tamaño de las fisuras, etc.).
- La carga específica (Kg/m<sup>3</sup>)
- El tipo de explosivo
- Distribución de carga
- Longitud del taco
- La barrenación específica (m/m<sup>3</sup>)
- Desviación de la barrenación
- Intervalos entre los estopines
- Condiciones en los límites de la tronda.

### 3.7 VENTILACION

El propósito de la ventilación es mantener el aire fresco en el interior del túnel, especialmente cerca del frente de trabajo, evitando así la contaminación por gases tóxicos, polvo, calor, etc.

La ventilación se obtiene generalmente por la circulación de aire desde el portal de entrada (o en su caso lumbrera) del túnel, hacia el lugar de trabajo por medio de ductos que transportaran el aire que es arrojado.

do por ventiladores. Este sistema de ventilación de --- aire, comunmente se le llama Ventilación por el método de "Soplo". Cuando el aire se extráe del interior del túnel hacia afuera se le denomina "Ventilación de Escape". Cabe hacer la aclaración que la ventilación se puede efectuar también por un sistema combinado de soplo y escape simultáneamente, utilizando para este efecto ventiladores reversibles, es decir que puede soplar y extraer el aire.

La selección de un sistema de ventilación se puede basar en las siguientes consideraciones:

- 1.- Determinación de los factores relativos a la ventilación en el área de trabajo, siendo los más importantes:
  - a).- El tipo de ventilación
  - b).- La cantidad de aire requerida
  - c).- La distancia desde el portal de entrada hasta el frente de trabajo.
- 2.- Selección del ventilador y el tipo de ducto para proporcionar la cantidad de aire requerido en el área de trabajo.

## FACTORES QUE DETERMINAN LA VENTILACION

### 1.- Causas de contaminación en el aire.

- a).- Gases producidos por explosiones.-- Después de cada tronada, una cierta parte del túnel es cargado con gas- y el humo que se forma, debido a la desintegración de los explosivos. - Estas fases contienen monóxido de carbono y vapores nítricos que son tóxicos en concentraciones.
- b).- Formación de polvo.- La explosión- en un túnel produce un alto contenido de polvo, y no solamente durante esta operación, sino durante la barrenación misma.
- c).- Formación de gases debido a los motores de combustión interna.- Estos gases contienen una cierta cantidad de gases tóxicos que contienen monóxido de carbono. Es necesario mantener el aire fresco del túnel dado ciertos límites permisibles, como son: 0.06 - 0.01% para el monóxido de carbono.
- d).- Calor producido por las rocas.- Cuando la temperatura de la roca es alta, la ventilación también es requerida para mantener temperaturas máximas de 35° sobre todo en el área de trabajo.

### 2.- Remoción de la carga explosiva.

Esto se debe principalmente a problemas - ocasionados por un mal sistema de ventilación, destacando: la circulación de la ventilación, cortina de humo, -

excesiva ventilación para todos estos casos existen tablas y fórmulas para valvar ó corregir la cantidad de aire y se encuentran asentados en el manual de voladuras de roca editado por la Cía. Atlas Copco.

#### DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO

Una vez descritas las causas que dan origen a una ventilación adecuada en un túnel, es necesario determinar el gasto o cantidad de aire requerida para mantener el túnel en condiciones de trabajo.

Para ello utilizamos una regla muy simple pero que en la práctica ha dado buenos resultados: El volumen de aire que debe circular en un túnel debe ser igual a  $v = 2n \text{ m}^3/\text{m}$ , donde  $n$  es el total de la fuerza expresada en caballos de fuerza del total de vehículos de combustión interna que trabajan en el interior del túnel.

Después de aplicar está regla empírica, el contenido de monóxido de carbono contenido en los gases puede ser determinado directamente tomado de los gases de escape de los vehículos. Así si este contenido de monóxido de carbono se representa por  $CI$  y si  $V$  es el volumen

de los gases de escape dado por un vehículo en  $M^3/\text{seg.}$ , - el volumen requerido para disipar el contenido de monóxido de carbono es el túnel y 0.01% (1/10,000) debe ser:

$$Q = 10,000 \text{ V. CI}$$

para aplicar ésta fórmula es necesario lógicamente conocer V. cualquier que sea el tipo de ventilación adaptada, como una regla práctica, la velocidad del aire debe fluctuar entre 0.5 a 1 Km/hr., la ventilación debe durar aproximadamente 30 minutos.

### 3.8 REZAGA

Esta operación comprende desde que empieza a - trabajar la rezagadora, cargador, etc., hasta que se inicia el movimiento del "Jumbo" de barrenación a la frente.

La operación de la rezaga consiste de cinco -- partes principales que son las siguientes:

- 1.- Carga del material en la frente a carros mineros (vagonetas).
- 2.- Transporte en vagonetas con locomotoras de la frente a la base de la --- lumbrera (encapillado).

- 3.- Vaciado en las alcancias en la base lateral de las lumbreras.
- 4.- Izado (manteo) del material del fondo de la lumbrera a la superficie - en botes especiales (skips) de vaciado automático.
- 5.- Carga del material de la torre de las lumbreras a camiones para transportarlas al tiro de material.

La rezaga depende del volumen promedio que -- salga en cada voladura. Si se considera un avance por - tronada de 2.50 ml., más resultaría un promedio de 70.50 M3, aproximadamente para lo cual se necesita tener un -- cargador adecuado, para rezaga existen cargadores de --- orugas de descarga lateral, cargadores neumáticos, rezagadoras neumáticas sobre ruedas o vías.

El tiempo de rezaga en un túnel debe durar --- aproximadamente de 3 a 4 hrs.

### 3.9 ADEME (PROTECCION DE LA EXCAVACION)

La operación consiste en proteger la zona ex--

cavada, mediante el sistema de ademe convenido de antemano y el cual puede ser de tres tipos generales:

- a).- Marcos metálicos y retaque de madera
- b).- Pernos de anclaje ó de soporte.
- c).- Concreto lanzado (shotcrete).

Estos tipos generales de ademe, se describen cada uno de ellos en el siguiente capítulo.

### 3.10 TOPOGRAFIA

Esta operación, se realiza después de terminada la rezaga y en el movimiento de acercamiento del --- "Jumbo" de barrenación a la frente. El cual se aprovecha para los trazos topograficos.

Esta actividad la ejecuta el Departamento Topográfico, el cual marca al centro y nivel del túnel; si es necesario marca cada uno de los barrenos de la -- sección del túnel.

El tiempo de esta actividad es de 15 minutos-- aproximadamente. Es de suma importancia llevar bien -- controlada la línea y nivel del túnel, para lo cual se-

referencian puntos en el transcurso de la excavación -- dentro del mismo, para evitar errores que a la postre - serian contraproducentes.

4.- A D E M E

## ADEME

4.1 Protección de la excavación consiste en soportar la excavación convenientemente, mediante los procedimientos y sistemas más adecuados. El propósito de este trabajo consiste en describir esta actividad, que es una de las más importantes del ciclo de excavación de una galería subterránea perforada en diferentes tipos de roca.

Se refiere a la colocación del soporte temporal, que nos garantiza la estabilidad del túnel y la seguridad del personal, utilizando los equipos más idóneos para poder realizar eficientemente las excavaciones.

El soporte temporal más adecuado está en función de las propiedades mecánicas de la roca que circundan la cavidad, de los procedimientos constructivos de la rapidez de su colocación. Debido a esto debemos conocer, sentir e interpretar todas las variedades que involucran esta actividad con el fin de poder definir los ademes más apropiados. Es por tanto muy importante aprovechar con mayor eficiencia los conocimientos y las experiencias ya existentes y cubrir con una mejor técnica constructiva, con el auxilio permanente de la mecánica -

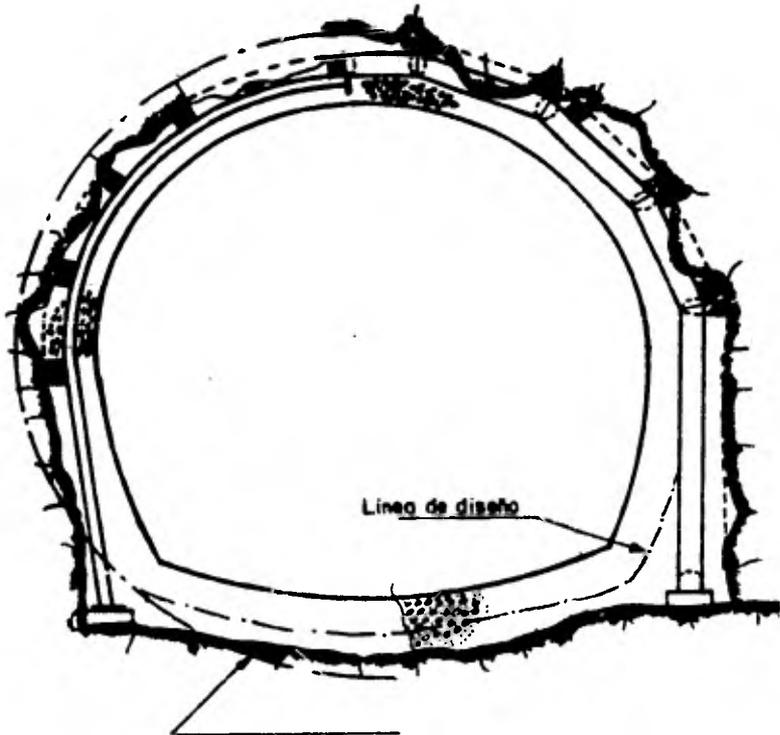
de roca y de la geología esta actividad tan determinante del ciclo de excavación de una galería.

Debemos hacer hincapié que los cálculos de los ademes son teóricos, por tanto, se debe modificar sobre la marcha de acuerdo con la intuición y la experiencia - del diseñador y constructor a la vez. Es lo más frecuente que el constructor no tenga suficiente experiencia y - más frecuente aún es que el diseñador sea menos intuitivo que el constructor, por tanto, un análisis de soporte temporal con métodos teóricos debe respaldarse permanentemente con intuición, imaginación, conocimientos empíricos, material y equipo necesario para poder modificar -- violentamente el procedimiento.

#### 4.2 MARCOS

Dentro de las estructuras de carácter temporal destacan por sus singulares ventajas y características - los marcos que pueden ser metálicos o de madera. Dependiendo de las características de la roca y del tamaño -- del túnel a excavar, decidiremos entre uno u otro, en -- todo caso será conveniente realizar un estudio económico para hacer una elección adecuada del tipo de ademe, pero sabemos de antemano que para secciones medianas ó gran-- des conviene más el marco de acero debido a la facilidad de colocación y amplio espacio libre que deja; si usaramos marcos de madera, sería necesario colocarlo formando una estructura muy elaborada que incrementa la posibilidad de falla, sin embargo, en secciones pequeñas se emplean marcos de madera, por ejemplo cuando es posible -- aprovechar la madera del área de desmonte en una zona de construcción, en la fig. No. 4.1 podemos observar las -- siguientes ventajas del marco metálico sobre el de madera:

- Más manejable, rápida colocación, mayor economía.
- Menor sección de excavación



**NOTA:** Esta línea representa el diámetro, exterior del marco circular, más alejado, donde esta sección es convertida a circular para — resistir compresiones.

**FIG. 4.1** SOPORTE DE ACERO Y DE MADERA DISEÑADOS PARA EL MISMO TRABAJO ROCA SANA

- Requiere menor volumen de concreto para el revestimiento definitivo.
- Refuerza la sección de concreto
- Deja mayor espacio libre en el túnel.

Siendo las características de resistencia y du ración más desfavorable en los marcos de madera que en el concreto, los primeros deben quedar fuera de la sección de revestimiento; por otra parte, al diseñar el espesor del concreto, los marcos de acero deben quedar integra-- dos a la sección de revestimiento definitivo.

En esta forma los marcos quedan protegidos con tra la corrosión y aumenta el factor de seguridad de la protección definitiva considerando que el ademe de por - si, está soportando la carga de roca aunque temporalmen- te.

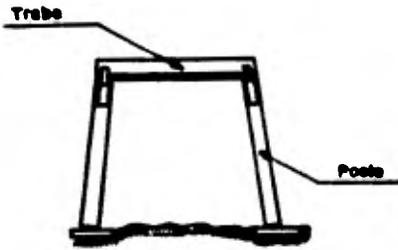
El marco de madera es colocado con personal muy especializado, siendo cada vez más difícil conseguirlo y el marco metálico requiere de menor gente para su coloca ción, ya que, se coloca casi armado, su personal se habi lita fácilmente y, en general, su montaje es mucho más - rápido.

En función de las ventajas y desventajas anteriormente comentadas acerca del marco de madera, elegiremos éste, siempre y cuando su estructura no sea muy complicada y se coloque en túneles de sección pequeña; como las que a continuación se describen.

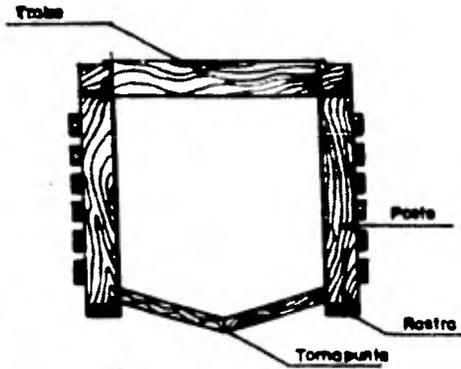
En la fig. 4.2 a. Se muestra la forma más sencilla de un marco de madera, que consiste en una trabe para resistir la carga de roca del techo y la utilización de dos postes para soportar dicha trabe, este ademe es utilizado en secciones pequeñas como galerías auxiliares de minas, túneles de exploración, accesos para personal etc., donde no se presentan empujes laterales.

Cuando tenemos cargas en las paredes del túnel podemos usar un marco similar al anteriormente comentado, aumentándole una tornapunta en la parte inferior de éste, con el objeto de evitar desplazamientos laterales de los postes, logrando así su estabilidad; fig. 4.2 b.

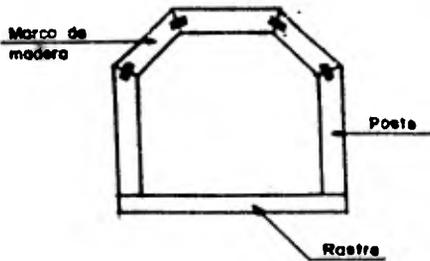
A comparación de los marcos anteriores, el --- mostrado en la fig. 4.2 c., se puede usarse para secciones medianas excavadas en roca medianamente fracturada. El-



A) - MARCO DE MADERA EN SU FORMA MAS SENCILLA



B) - MARCO DE MADERA CON RASTRA PARA EVITAR DESPLAZAMIENTOS LATERALES.



C) - MARCO DE MADERA PARA SECCIONES MEDIANAS EXCAVADAS EN ROCA MEDIANAMENTE FRACTURADA.

FIG-4.2-PRINCIPALES MARCOS DE MADERA PARA TUNELES

arco de madera de la parte superior de este ademe permite salvar claros mayores, por lo tanto, se usará en túneles medianamente ancho, si existen empujes laterales del terreno, puede usarse una tornapunta para evitar movimientos en los postes.

El marco de madera, aunque se sigue usando en minas donde puede presentarse acumulaciones de gas metano o grisó, se utiliza cada vez menos en excavaciones -- subterráneas para obras de ingeniería civil, ya que las ventajas económicas ya comentadas que nos dan las secciones de acero hacen que éste prevalezca.

La elección del ademe metálico depende del método de ataque elegido y éste a su vez de las propiedades de la roca y de las dimensiones de la sección.

Los métodos más usuales para el ataque de galerías son:

- Sección completa
- Media sección superior y banqueo, (fig 4.4)
- Media sección superior en primera etapa y banqueo en segunda etapa

- Con túneles piloto laterales. (fig 4.5).
- Con túneles piloto múltiples

Este no es muy usado debido a su complejidad, solo se lleva a cabo sino fuera posible utilizar alguno de los métodos de ataque anteriores por las características de la roca.

Los principales marcos de acero, adaptables a los métodos de excavación antes comentados, se muestran en la fig. No. 4.6.

Tipo I.- MARCO CONTINUO.-, Se fabrican generalmente de dos piezas ligeras y manejables para su rápida colocación en algunas ocasiones se hacen de dos, tres o cuatro piezas, el costo de colocación y fabricación es muy bajo.

Pueden usarse excavando a sección completa, con galerías laterales o con galerías múltiples

Tipo II.- Marcos Ensamblados en clave y apoyos. pueden usarse atacando con cualquier método; se usa en túneles donde el arco y la pared vertical forman un ángulo abierto en su intersección, es muy usual para ade

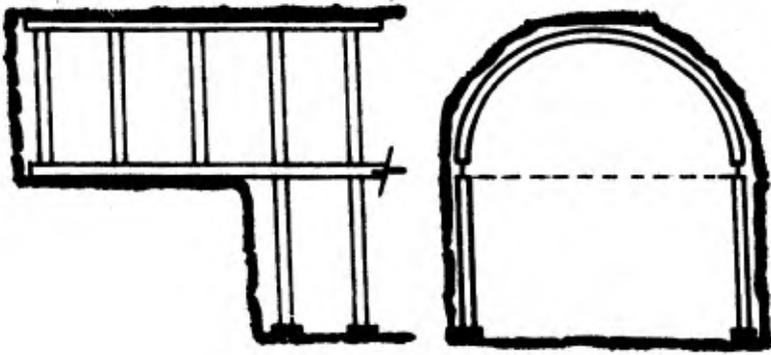


FIG-4.4.-ATAQUE A MEDIA SECCION SUPERIOR Y BANQUEO

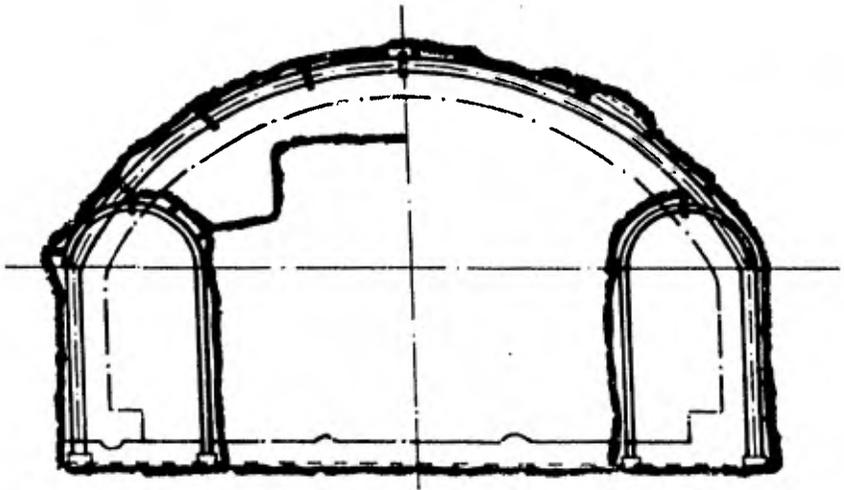


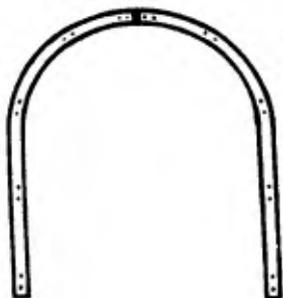
FIG-4.5 -ATAQUE CON TUNELES PILOTO LATERALES

mar atacando a sección completa, con galerías laterales y galerías múltiples., puesto que las piezas son también ligeras y manejables, es utilizado donde existen restricciones de manejo y embarque.

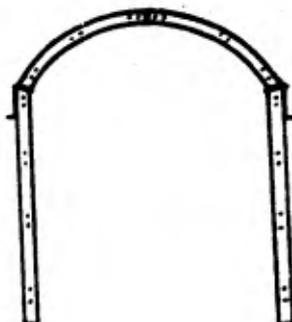
Tipo III.- Marcos Ensamblados en clave con ras tras en los apoyos. Usualmente se fabrican de dos piezas, aunque también los hay de tres o más piezas para -- secciones grandes excavadas en roca no competente. Tienen bajo costo de montaje y fabricación. Son ademados -- para atacar media sección y banqueo; media sección en la primera etapa y banqueo en segunda etapa y a sección completa cuando solo se protege el techo.

Tipo IV.- Marcos Ensamblados en clave con ras tras de apoyo y postes. Son usados en ataque de media -- sección y banqueo simultáneo; colocando primero los arcos sobre las rastras y apoyando éstas en los postes al banquear.

Se usan en túneles excavados en roca de mala -- calidad donde se requiere recibir rápidamente el techo; también cuando se excava a sección completa y los sopor



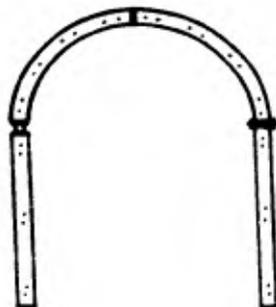
**MARCO TIPO I**  
MARCOS CONTINUOS ENSAMBLADOS  
EN LA CLAVE



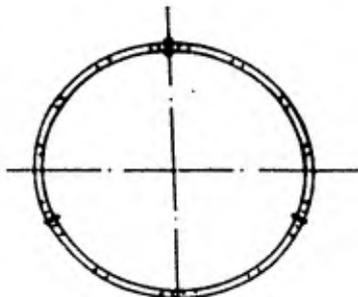
**MARCO TIPO II**  
MARCO ENSAMBLADO EN LA  
CLAVE Y APOYOS



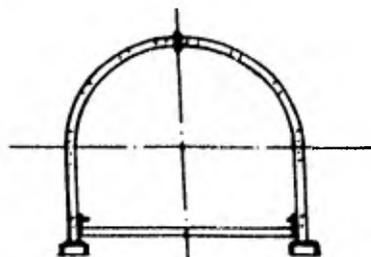
**MARCO TIPO III**  
MARCO ENSAMBLADO EN LA CLAVE  
CON RASTRAS EN LOS APOYOS



**MARCO TIPO IV**  
MARCOS ENSAMBLADOS EN LA CLAVE  
CON RASTRAS DE APOYO Y POSTES



**MARCO TIPO V**  
MARCOS CIRCULARES CON ENSAMBLE EN TRES PUNTOS.



**MARCO TIPO VI**  
MARCOS CONTINUOS CON TORNA PUNTA

tes no se requieren muy cercanos al frente, si el arco y la pared vertical forman un ángulo abierto por condiciones impuestas por diseño, el ademe a usar podrá ser también de este tipo.

**TIPO V.- Marcos Circulares con ensamble en -- tres puntos.** Se usan cuando se ataca a sección completa y en media sección superior y banqueo, en túneles donde existen empujes laterales provocados por rocas expansivas o rocas trituradas que fluyen plásticamente, y tienden a cerrar la sección, debido a los empujes radiales.

**Tipo VI.- Marcos Continuos con tornapunta.- -** Son semejantes a los marcos tipo V, pero básicamente -- éstos soportan empujes laterales en las paredes.

Existen otros tipos de marcos metálicos que -- actualmente han tenido gran éxito; consisten en estructuras formadas con perfiles tubulares, perfiles tipo MON--TEN y marcos de armadura o en celosía. Tienen la ventaja de ser ligeros, manejables y rápidos de colocar y tienen una gran capacidad de carga.

**MONTAJE Y COLOCACION DE MARCOS.-**

Los marcos deben colocarse en línea y nivel, - de acuerdo al proyecto al terminar de rezagar y antes de iniciar la siguiente barrenación; el espacio entre el pa<sub>u</sub>stín exterior del marco y el terreno natural se retaca -- con madera formando "huacales" que transmiten las cargas al marco, fijándose firmemente con cuñas de madera. Este retaque de madera nunca debe fijarse con clavos ya que - la condición es que debe ser flexible, para que logre su acomodo con las presiones desarrolladas.

Los segmentos de los marcos de madera se ligan entre si con clavos, así como los separadores; en el caso de los marcos metálicos es necesario la utilización - de tornillos y soldadura para lograr la liga entre ellos

Las "patas", de los marcos deben colocarse con un "escantillón" para garantizar la separación transversal, que tenga una marca ó punto al centro del mismo, para que ligado provisionalmente a las "patas" del marco - en soporte inferior, se mueva a uno y otro lado, según - señales del topógrafo para que el punto quede en coincidencia con la visual del tránsito que dará el alineamiento

to por el eje del túnel, la parte superior de los postes se alineará en la misma forma que la inferior. Una vez que los postes del marco están nivelados y centrados, se ligan al marco anterior con sus respectivos tensores y separadores, la verticalidad en el sentido longitudinal se comprueba con nivel de alfiler.

Al verificarse la colocación de los postes, inmediatamente después se procede al montaje de los marcos que pueden llevarse a cabo normalmente con un malacate de aire, estrobos y una polea suspendida del techo por medio de una ancla llamada "patesca", auxiliándose en caso necesario, con el equipo de carga o con la plataforma de barrenación. El topografo con el tránsito dirige la maniobra centrando el arco, dirigiendo su visual a la unión de las piezas.

Una vez que se ha verificado la posición co---rrecta del marco, las placas de unión debe atornillarse fuertemente. En algunas ocasiones sobre la plataforma de barrenación se montan las piezas que forman los arcos de tal manera que puedan deslizar, subir y bajar con mucha rapidez, deslizandolos sobre un riel o canal hacia -

el frente de trabajo en donde son recibidas por alguna - estructura móvil que nos auxilia en el ensamble con las - patas del marco.

Con el marco en su posición correcta se procede de inmediato al retaque de madera que consiste en el aseguramiento o "castigo" del marco y en el acufiamiento.

El castigo del marco consiste, de acuerdo al - diseño de éste, en colocar en los puntos de transmisión - de cargas, bloques de madera (vigas de 4" x 8" ó de 8" x - 8") entre el patín exterior del marco y la superficie de la excavación; estos puntos deben ser dos en la clave, - uno en cada extremo del eje horizontal y varios puntos - más a uno y otro lado del eje, equidistantes del eje del marco, según sea el tamaño de la sección.

Por otra parte, el retaque consiste en rellenar en forma ordenada con madera de dimensiones adecuadas, - el espacio comprendido entre los bloques de madera y el terreno en el claro entre dos marcos, soportando la ro-- ca, pero sin llegar a cubrirlo totalmente, tanto el castigo como el retaque de madera, deben amacizarse con cuñas de madera colocadas perfectamente.

Las cuñas de madera se deben colocar a presión nunca con el uso de clavos ya que son elementos indispensables para recastigar el ademe, esto es a medida que el conjunto marco - retaque va tomando su acomodamiento definitivo.

En el frente de trabajo siempre debemos tener madera para el retaque de 2"x8"x8", 4"x8"x8", 8"x8"x8" - y cuñas de 3"x6"x6" para los trabajos anteriormente comentados.

El período de acción de puente afecta la secuencia de las operaciones del ciclo de excavación de la manera siguiente:

Si el período de acción de puente es muy corto y nos permite la rezaga con seguridad, es necesario - cambiar la secuencia de las operaciones y soportar el techo del túnel antes de rezagar. Si dicho período permite rezagar con seguridad, las operaciones del ciclo se - realizan normalmente y la erección del ademe se puede -- llevar a cabo desde el jumbo de barrenación por ejemplo.

Por otra parte, si el período de acción de puente es muy largo, equivalente a tener buenas condiciones

de roca, el montaje del ademe se puede llevar indepen---  
dientemente del ciclo apoyandonos en una plataforma espe-  
cial que permite al flujo permanente del equipo. Este -  
caso, aunque no es muy recomendable, porque en general -  
no se tiene el suficiente cuidado en los aspectos de se-  
guridad, es muy tentador ya que acorta considerablemente  
el tiempo del ciclo de excavación.

#### 4.3 CONCRETO LANZADO

El concreto lanzado es definido como "Mortero a concreto conducido a través de una manguera de alta -- presión y proyectado neumáticamente a alta velocidad contra una determinada superficie".

La efectividad del concreto lanzado se ha comprobado en la prevención del aflojamiento de la roca en múltiples condiciones geológicas.

Las funciones principales del concreto lanzado para que cumpla con la idea de soporte y protección en una excavación subterránea son las siguientes:

- a).- Para cumplir con la función de liga necesaria, el concreto lanzado es introducido con gran fuerza a través de fisuras, juntas abiertas y en aquellas partes donde la superficie de la roca no sea regular. Con esto se establecerá la superficie expuesta del túnel inmediatamente después de la tronada.
- b).- El concreto lanzado impide la filtra--

ción del agua a través de las juntas y de las fisuras en la roca, y así evita que los materiales de relleno de las juntas se erosionen y que las superficies expuestas por la excavación queden protegidas del intemperismo.

c.- La resistencia al esfuerzo cortante -- del concreto lanzado y su capacidad de adhesión a la superficie de la roca, -- impiden la caída de bloques sueltos de roca desde el techo del túnel, es decir, proporciona una estructura adecuada de soporte temporal o permanente al túnel.

d.- El concreto lanzado constituye un soporte estructural en forma de anillo-cerrado o de un elemento fijo en forma de arco, siempre y cuando se aplique una capa continua de 15 a 20 cms.

Para que todas estas funciones se cumplan, el

concreto lanzado debe contar para su aplicación con equipo y mano de obra altamente especializados.

El concreto lanzado debe ser aplicado inmediatamente a la superficie de roca recién expuesta para que tenga la flexibilidad suficiente para desplazarse o --- fluir plásticamente junto con la roca vecina y a la vez, contar con la capacidad estructural necesaria para manener la estabilidad, por lo tanto, para garantizar la estabilidad de un túnel se requiere del cumplimiento de -- los siguientes requisitos:

- Evitar lo más que se pueda el aflojamiento de la roca.
- Aprovechar el tiempo requerido para que la roca empiece a deformarse.
- La roca debe estar provista de un soporte lateral, mediante fuerzas aplicadas oportunamente, y así evitar esfuerzos uniaxiales.

La ventaja del concreto lanzado es que se puede aplicar muy rápidamente para soportar toda la periferia de un túnel. asimismo, puede aplicarse en cualquier momento y traslaparse con otras actividades del proceso de excavación, logrando importantes ahorros de tiempo en

el ciclo de trabajo, obteniéndose así un mayor avance.

Para la aplicación del concreto lanzado existen dos procedimientos, el de mezcla húmeda y el de mezcla seca.

**Mezcla Húmeda.**- Consiste en mezclar conjuntamente agregados, cemento y agua de acuerdo a las especificaciones.

Dicha mezcla se conduce neumáticamente a través de una manguera para expulsarla finalmente por una boquilla, tiene la ventaja de que se lleva un control muy estricto de la relación agua - cemento (a/c) para fines de resistencia.

Por otra parte, los aditivos acelerantes no se pueden mezclar correctamente, ya que por su acción rápida debe añadirse necesariamente en la boquilla, provocándose antes de la expulsión como mezcla imperfecta entre el aditivo y el concreto fresco. Además, en las excavaciones subterráneas las condiciones del terreno van cambiando y al tener una relación a/c establecida, se presta menos a la flexibilidad de aplicación que se re-

quiere. Este procedimiento es adecuado en accesos de -  
minas de pequeñas dimensiones.

**Mezcla Seca.-** Consiste en dosificar en seco -  
y con esta mezcla alimentar a una máquina lanzadora de  
la cual se envía neumáticamente por medio de una manque  
ra hasta la boquilla de expulsión donde se añade el agua  
y el operador la regula con un "chiflón", los aditivos  
se añaden en la lanzadora si son, polvos, si son liqui-  
dos se mezclan con el agua antes de llegar a la boqui--  
lla.

La calidad del concreto lanzado depende de la  
calidad de los materiales que lo componen, de la granu-  
lometría de los agregados, de la relación a/c y del grado  
de compactación, por lo tanto, el agregado debe cum-  
plir con las normas dictadas por la ASTM para obtener -  
máxima densidad, impermeabilidad, resistencia, buena --  
compactación y mínimo rebote; el contenido de cemento -  
en una mezcla dada se determina por el tamaño máximo del  
agregado y por los requisitos de resistencia; esto im--  
plica que si éstos son exagerados el contenido de cemento  
será muy alto, produciéndose grietas y contracciones

muy altas. El contenido de cemento requerido para obtener buenas características es de 480 a 500 Kg/M<sup>3</sup>.

Una vez aplicado el concreto, tiene un mayor contenido de cemento que la mezcla previa al lanzado y su relación a/c es menor que la especificada; esto es debido al rebote que se forma principalmente de grava y en menor grado por arena y lechada. Debido a esto, el concreto deberá aplicarse con una consistencia lo más húmeda posible, siempre y cuando permanezca estable, las gráficas de la fig. No. 4.7 muestran la relación a/c en función de otras características.

Los aditivos acelerantes dan características muy importantes al concreto lanzado como el control de filtraciones de agua y el poder aplicarse en terreno prácticamente mojado. El acelerante debe dosificarse por lo general entre 3% y 5% del peso del cemento. Con este porcentaje, el espesor de las capas del concreto lanzado podrá aumentarse y la rapidez del fraguado y la alta resistencia a edades tempranas, permitirán que el concreto soporte tronadas a pocas horas de su aplicación obteniéndose así un mayor avance.

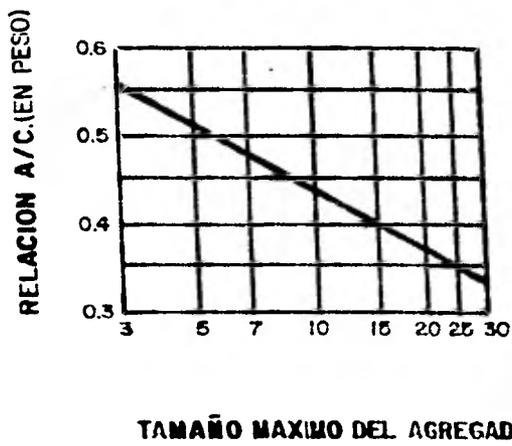
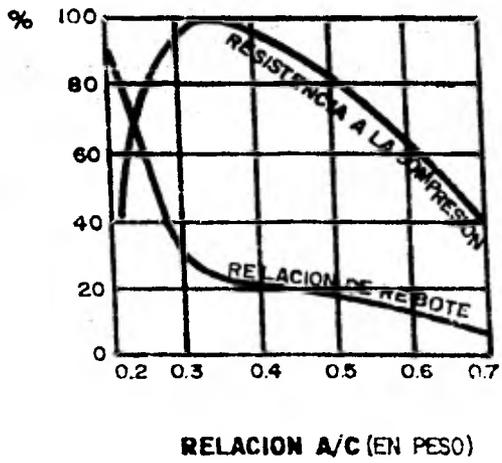


FIG. 4.7- RELACION A/C EN FUNCION DE OTRAS CARACTERISTICAS

El concreto lanzado puede alcanzar una resistencia a la compresión a los 28 días entre 150 y 300 --  $\text{Kg/cm}^2$ , las resistencias al corte, a la flexión, tensión depende de la resistencia a la compresión, como se muestra en la Fig. No.8 (Resistencia en  $\text{Kg/cm}^2$ ).

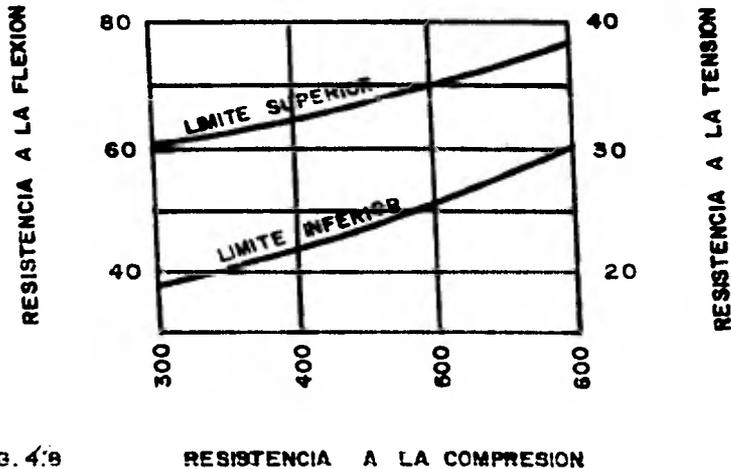


FIG. 4.9

RESISTENCIA A LA COMPRESION

El aditivo hace que la resistencia del concreto se reduzca; para que sea aceptable ésta reducción, no debe exceder del 20%, la siguiente table nos muestra la resistencia a la compresión con diferentes tiempos de fraguado, considerando un concreto de  $280 \text{ Kg/cm}^2$ .

Con 3 a 4% de acelerante en peso del cemento:

Tiempo de Fraguado (Horas)	Resistencia a la compresión (Kgs/cm <sup>2</sup> )
2	14 - 18
12	56 - 60
24	98 - 105

Para acelerar el avance de excavación de un Túnel, el concreto lanzado debe traslaparse con las etapas de barrenación o de rezaga, pudiendo ser aplicada en una gran variedad de terrenos y de condiciones de flujo de agua.

Un buen aprovechamiento del concreto lanzado es considerado cuando obtenemos un buen corte de la sección, cuando tenemos mínimo rebote, y en general, buena calidad en las mezclas y en la colocación. Si vemos todas estas características, nos damos cuenta que el concreto lanzado es una técnica muy especial.

Una de las principales funciones del concreto

lanzado consiste en lograr una resistencia al esfuerzo - cortante suficiente para evitar el aflojamiento de la ma sa rocosa a lo largo de las fracturas o juntas de unión, haciendo que el arco natural del terreno se mantenga lo más próximo a la periferia de las excavaciones recién -- abiertas.

Dentro del equipo de colocación se fabrican -- dos tipos de máquinas lanzadoras de concreto para el proce so de mezcla seca:

a).- El Tipo Revólver.- Consiste en la introduc--- ción continua de la mezcla seca a una tolva lo calizada en la parte superior de la máquina; - dicha mezcla caerá al cilindro rotatorio tipo revólver que consta de nueve ó más comparti--- mientos cilindricos.

Cada carga de mezcla en cada compartimiento - cae por medio de una escotadura que al pasar- sobre el cuello da salida, la mezcla es impul- sada hacia las mangueras con una corriente de aire a presión, producen más polvo y más pie- zas de desgaste. Como ejemplo de estas máqui

nas intermitentes cabe mencionar por su efectividad la "Aliva" de Suiza y la "Reed" americana, que pueden ser de motor neumático eléctrico, dependiendo de los requerimientos de la obra.

- b).- La que esta dotado de una tolva de alimentación que opera como intermediaria entre el carro de agregados y el rotor con cavidades cilindricas, la tolva está acoplada sobre el tambor de dosificado, y tiene a su vez un agitador para el fin de lograr un paso de material al rotor más rápido y uniforme. El rotor con cavidades es accionado por una transmisión de engranes, impulsada a su vez por un motor eléctrico o de aire comprimido. El motor de aire puede ser regulable en el número de revoluciones. El rotor con cavidades lleva el material de impulsión debajo de una boca de entrada de aire comprimido y encima de la boca de salida del material, las diferentes cavidades del rotor se vacian aquí debido a la propia gravedad y a la corriente de aire compri-

mido, originandose una corriente uniforme y -- continua a través de las mangueras hasta la boquilla de salida donde se anexa agua con una presión de 3 Kg/cm<sup>2</sup> como minimo. El aire comprimido necesario para la impulsión y para el motor de aire debe tener una presión de 5 - 6 Kg/cm<sup>2</sup> con el motor neumático y de 4-6 Kg/cm<sup>2</sup> con motor eléctrico, la conexión deberá ser de 2"Ø (51 mm).

Generalmente se usan una o dos mezcladoras por frente de trabajo, requiriendo además de una de repuesto.

Para preparar las mezclas y transportarlas al frente de trabajo hay diferentes procedimientos, uno de los más usados en México es con la utilización de carros tolva con mezcladores de gusano de la "Stabilator AB" de Suecia". Consta de dos compartimientos, el cemento se lleva en el delantero y los agregados dosificados en el compartimiento posterior, y los transportadores helicoidales sincronizados dan de acuerdo a su velocidad de rotación la mezcla adecuada.

Para la aplicación de concreto lanzado, es indispensable que los operadores de lanzadora y de chiflón sean capacitados y hábiles, ya que de esto depende la calidad de la colocación. Además la superficie de la roca debe quedar limpia de polvo o de otras materias extrañas y debe quedar húmedo para lograr una buena adherencia -- del concreto lanzado con la roca.

La aplicación debe desarrollarse en capas sucesivas de 2.0 cm., hasta completar el espesor de proyecto. Dicho espesor se mide constantemente por medio de "Maestras" para llevar un buen control. El aire y el agua deben mantenerse a presiones constantes de 3.5 a 4.0 Kgs/cm<sup>2</sup> y de 1.0 Kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, la presión del aire debe aumentarse 0.3 Kg/cm<sup>2</sup>, por cada 15.0 m. de manguera, que se añade a los primeros 30 m.

El lanzador debe colocarse a una distancia de 1.0 a 1.2 m. a la superficie de la roca; y el lanzamiento debe ser en posición normal a dicha superficie.

Las superficies demasiado húmedas y el agua de filtración, hace que el rebote aumente; también depende-

de la calidad del lanzado. En dichos lugares donde se encuentran flujos de agua, éstos deberán controlarse y canalizarse con pedazos de tubo de fierro o de plástico de diámetro adecuado, de tal modo que la mayor parte del flujo pase por el tubo, luego se colocará concreto lanzado alrededor, cercando el tubo hasta dejar concentrado todo el escurrimiento por este. En las áreas mojadas o húmedas donde la cantidad de agua sea tan pequeña que no se pueda drenar, en la forma antes dicha, se aplicará -- concreto lanzado para eliminar los escurrimientos. El rebote es función de la calidad de los agregados, aumenta-- la segregación con las presiones variables del agua y del aire, descarga irregular, etc.

La diferencia en rebote entre un buen lanzado y otro malo puede ser del 20%. En el techo de los túneles se tiene al máximo desperdicios, nunca debe exceder del 50% y en las paredes debe ser de 15% a 20%, las figuras No. 4.9 y 4.10 muestran la influencia del ángulo y la distancia del lanzado con respecto a la cantidad de rebote.

Uno de los propósitos básicos del concreto lanzado debe ser el de acortar el ciclo de trabajo, por tanto

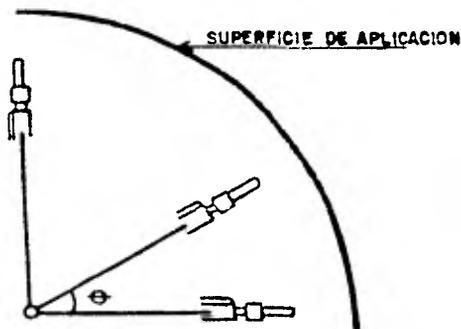
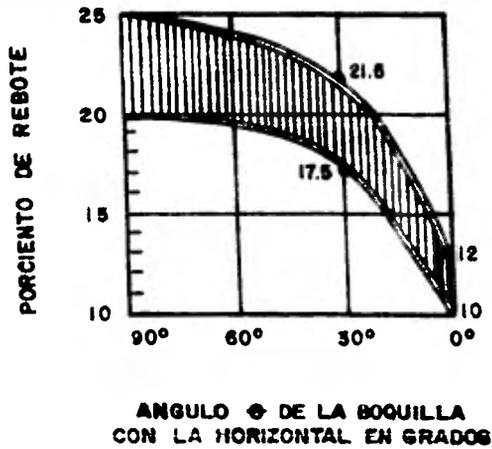
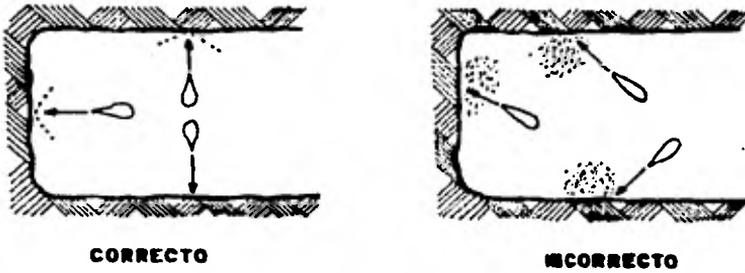
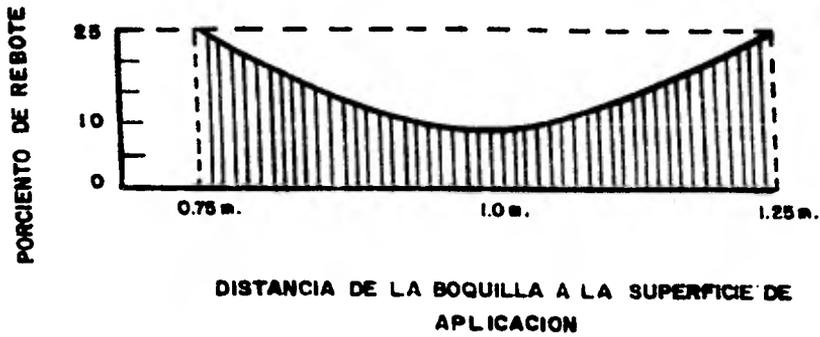


FIG. 4.9 — EFECTO DE LA DIRECCION DEL LANZADO EN EL PORCIENTO DE REBOTE (NOTESE QUE LA BOQUILLA SE MANTIENE — PERPENDICULAR A LA SUPERFICIE MIENTRAS QUE EL ANGULO CON LA HORIZONTAL VARIA).



**ANGULO DE LANZADO**

**FIG. 4.10. — INFLUENCIA DE LA DISTANCIA DEL LANZADO CON RESPECTO A LA CANTIDAD DE REBOTE.**

el equipo y las instalaciones deben diseñarse o adoptarse para lograrlo, como se verá a continuación:

**JUMBO.**- Debe tener una plataforma deslizante en el frente para llegar hasta la pared recién expuesta y poder lanzar de inmediato a la bóveda. Al mismo tiempo, se inicia la rezaga; desde plataformas intermedias - del Jumbo se puede ejecutar el lanzado a las paredes del Túnel.

**ESPUELA DE VIA PARA EL EQUIPO DE LANZADO.**- Debe colocarse una espuela de vía lo más cercano posible - al frente (máximo a 80 m. de distancia) con la finalidad de tener ahí el carro con lanzadoras y los carros de agregados, sin interrumpir la rezaga por las vías principales la espuela puede ser sustituida por un "Cambio California" o mejor por un cambiador lateral con una pequeña longitud de vía, suficiente para que quepan el carro de lanzado y el de agregados.

El tiempo entre la tronada y la iniciación del lanzado nunca deberá exceder de una hora; tratando de --- acortarlo a 30 min., incluyendo 15 min. , de ventilación.

Después de tronar se debe acomodar la rezaga; acercar el Jumbo y preparar las plataformas de lanzado; se debe ama cizar este equipo; se acerca el equipo de lanzado y se - inicia el concreto lanzado en el arco.

Para obtener un ambiente propicio dentro del - túnel es necesario una buena iluminación y ventilación, - además de un control sobre el mantenimiento de todo el - equipo.

VENTILACION.- Con el empleo de equipo diesel - sin filtros y escape, el aire está ya bastante contamina do y si no se controla el concreto lanzado para evitar - la producción de una gran cantidad de polvos, obtendríamos condiciones insoportables de trabajo, al menos que - se utilice una ventilación adecuada y suficiente.

ILUMINACION.- Los operadores de lanzado deben contar con una muy buena iluminación para que su trabajo sea eficiente y la calidad del concreto buena. Se de be contar con un suministro de corriente trifásico y --- transformadores de línea a lo largo del túnel. En túneles de gran longitud se maneja con cables de alta ten---

ción a 2400 volts, cerca del consumo se baja el voltaje a 440 volts, ó 220 volts, usándose para esto varias sub-estaciones.

En túneles cortos se baja a 440 bolts. y 220 - volts, desde arriba (en lumbreras por ejemplo) y a lo -- largo del túnel se trabaja por baja tensión.

Como conclusión de este tema, podemos decir -- que las principales ventajas del concreto lanzado son -- las siguientes:

- Disminuye el tiempo del ciclo, por lo que, se logra un mayor avance.
- Su colocación es mu rápida
- El equipo que se utiliza es muy ligero y fá-- cil de maniobrar.
- Disminuye el tamaño de la sección de excavación
- Presenta enormes ventajas para recibir y con-- trolar desprendimientos del techo del túnel
- Se necesitan pocas gentes para colocarlo en el frente.

Lo podemos utilizar en un gran número de casos.

5. -

CONCLUSIONES

## 5.- CONCLUSIONES

Se hace mención en los temas anteriores del - procedimiento empleado en excavación corresponde al que podríamos catalogar como "Tradicional", utilizando en - su mayor parte equipo convencional.

Cada día se perfecciona la maquinaria de construcción o inventan equipos para dar soluciones a pro--blemas específicos.

En el caso de la construcción de túneles existen equipos de perforación tales como los topos (en roca sanas), escudos (en suelos blandos), máquinas mine--ras (cortadores), máquinas "Jumbo" (todo tipo de suelos) etc.

Para cada una de las actividades de la cons--trucción se debe tener una idea preestablecida en cuanto a la planificación de la obra para que salga lo más-económico posible, y evitar los riesgos.

En los trabajos de cierta importancia bajo la dirección del Superintendente General ó del Superinten--dente de Construcción, puede pensarse en la convenien--cia de especializar a los ingenieros que empiezan a tra

bajar en cada una de las grandes actividades que componen el ciclo de excavación, con el fin de que conozcan con más detalle las actividades de:

- a).- Carga y transporte de Rezaga
- b).- Barrenación, carga y Ventilación
- c).- Ademe.

Cubriendo por etapas estos tres grandes conceptos se pudiera llegar a tener con el tiempo muy buenos tuneleros.

En el Túnel Analco-San José es definitivo, sin requerir más que el común mantenimiento físico de cualquier obra. Trabaja sin la erogación de fuerza motriz de alguna especie, solo por la acción de la gravedad. - Esta libre de todos los hundamientos posibles del Valle.

Las dimensiones y especificaciones de estructuración localización cumplen con todas las necesidades y características del proyecto, teniendo una trayectoria base de Norte a Sur, para el desalojo de la Agua Potable.

Dentro de la trayectoria del eje del Túnel se interceptan los Ramales del Norte y los Ramales del Sur,

que consisten en el estudio de las condiciones de la ciudad de México

DEL PROYECTO ARALCO SAN JOSE

D. F. M. E. COMITE DE AGUAS DEL VALLE DE

MEJICO DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION

PRINCIPIOS DE GEOLOGIA Y GEOTECA

PARA TUNELADOS

D. P. ZAMBRANO - W. R. JONES

2. MECANICA DE TUNELADOS

R. JONES BULLOCK Y A. FIGUEROA

APUNTES DE ENRIAMACIONES SUSPENDIDAS

VICTOR M. BARRI

ESTUDIOS DE LAS CONSTRUCCIONES

JOSE CARRANZA M.

ESTUDIOS DE CONSTRUCCION DE TUNELADOS

ESTUDIOS DE ESTACIONES SUBTERRANEAS

ESTUDIOS DE ESTACIONES SUBTERRANEAS

ESTUDIOS DE ESTACIONES SUBTERRANEAS

ESTUDIOS

CONCRETO LANZADO

INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO A.C.

T.F. RYAN

APUNTES DE LAS MATERIAS DE CONSTRUCCION

FAC. DE INGENIERIA

BITACORA DE LA OBRA.