

73  
28j



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

## Excavación Convencional para un tunel en Roca

T E S I S

Que para obtener el título de :  
Ingenieros Civiles

P r e s e n t a n :

GUSTAVO TOMAS HERNANDEZ FLORES  
JOSE LOPEZ OLGUIN  
PABLO DOLORES SANDOVAL LAZARO

México, D. F.

1987



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



CAPITULO I

INTRODUCCION

## I.- INTRODUCCION

### 1.- GENERALIDADES:

¿Qué es un túnel? Podemos decir de manera sencilla que túnel es un pasaje subterráneo natural o abierto artificialmente - que sirve para establecer comunicación a través de él.

La palabra "túnel" proviene del sustantivo "tonel" especie de barril grande, cuyo aspecto interno efectivamente recuerda el de un túnel.

El género humano para poder substituir, se ha visto en la necesidad de buscar camino hacia lo subterráneo, ya sea como refugio de protección, para búsqueda y conducción de agua, conseguir metales, atravesar obstáculos o bien para deshacerse - de líquidos sobrantes.

El congestionamiento superficial en las grandes ciudades obliga a invadir el espacio subterráneo, ubicando pasos a desnivel, servicios urbanos (agua, luz y teléfono, etc.), y entre ciudades establecidas las distancias son acortadas mediante túneles ferrocarrileros y carreteros.

### 2.- ANTECEDENTES HISTORICOS:

El hombre en su continua búsqueda de mejores condiciones de vida, empezó siendo usuario de los túneles naturales, según se demuestra por las pinturas encontradas en las paredes de

las grutas de Kent's, Altamira y Lascauz, situadas en Inglaterra, España y Francia, respectivamente.

Probablemente el primer túnel de manufactura humana, de que se tenga noticia fue construido hace 4.000 años en Babilonia bajo el río Eufrates, para comunicar el Palacio de la Reina Semiramis con el Templo de Jove (SZCHY 1970) su longitud se estima en 1 km., su sección transversal en 3.6 x 4.5 m. y fue construido con el método de cortar y cubrir.

Los egipcios construyeron innumerables túneles para tener acceso a canteras de extracción de roca y tumbas, en la India se labraron templos en roca con destreza y calidad notables. Los romanos hace 2.000 años construyeron notables ejemplos de túneles para personas, vehículos, agua potable y drenaje.

En épocas más recientes y en el arranque de la era tecnológica la aparición del ferrocarril, con sus limitaciones de pendiente, incrementó la construcción de túneles. El primer túnel para un ferrocarril de tracción animal fue construido en Francia para la línea Ruan Andressieux en 1826 y en 1829, en la línea Liverpool-Manchester se construyó el primer túnel para un ferrocarril con tracción a vapor.

En 1842, el Ing. Brunel terminó un túnel de dos carriles bajo el río Tamesis, en Londres. En este túnel de 150 m. de longitud con sección de 11.3 x 6.7 m. se empleó un escudo rectangu

lar inventado por el propio Brunel, Greathead perfeccionó el método usando un escudo cilíndrico con todo éxito, en la construcción del túnel de la torre, bajo el mismo río, utilizando dovelas de hierro fundido como recubrimiento.

La necesidad de grandes túneles exigió el desarrollo de nuevas técnicas y herramientas así, durante la construcción del túnel de Mont-Cenis, entre Francia e Italia y empezando en 1857, el taladro hidráulico fue introducido y fue seguido por la pistola neumática perfeccionada por Sommeiller, por otra parte la dinamita fue inventada por Nobel en 1864 y, como resultado, de todo lo anterior, el nuevo túnel fue abierto al tránsito de trenes en 1871.

La construcción de los grandes túneles alpinos, Gotardo, Simplón y Lotschberg en Suiza, Semmenog, Tavera en Australia; Ronco, Col-Di-Tenda en Italia, etc., propició el diseño de equipos y técnicas de construcción más eficiente que las precedentes y asimismo el desarrollo de la teoría del análisis estructural y dimensionamiento del recubrimiento de túneles.

Con el advenimiento del automóvil y la consecuente construcción de grandes autopistas, ha sido necesario perforar un gran número de túneles carreteros de gran sección, la misma necesidad se ha presentado en la construcción de los grandes acueductos actuales, sistemas de drenaje, presas y plantas eléctricas, etc., sin embargo, es en las grandes ciudades

donde el incremento en la perforación de túneles ha sido más espectacular, como los usados para los ferrocarriles urbanos (metro), drenajes, etc., la tendencia general es al uso del sub-suelo, para alojar en el vías masivas de comunicación, en trada de bienes y salida de desperdicios, almacenamiento de mercancías, estacionamientos, tanques para la regulación de aguas de lluvia, etc. Así pues puede asegurarse que la perforación de túneles en las grandes urbes apenas comienza.

Una especial atención se le ha dado en el último cuarto de siglo a los métodos rápidos de túneles con un continuo perfeccionamiento de los equipos, tanto para el método convencional como con escudos y topes.

Actualmente el proyecto mas ambicioso en ejecución es el túnel que los japoneses están haciendo para comunicar sus dos islas mayores Hokhaido y Honshu. El túnel tiene 34.5 km. y pasa bajo el estrecho de Tsugaru.

### 3.- CONSTRUCCIÓN DE TUNELES EN MEXICO.

La habilidad de los Romanos para el tuneleo llega a México a traves de los españoles, y se refleja en la enorme cantidad de galerías construidas en nuestro país para las explotaciones mineras. Un ejemplo notable de esta habilidad se tiene en la construcción del desagüe de la Cd. de México, en Nochtongo, con el propósito de librarla de las grandes inundaciones que periódicamente padecía.



#### 4.- CLASIFICACION DE LAS ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS.

Los túneles forman parte de las estructuras subterráneas por lo que se hace necesario hablar de esta clasificación:

Estructuras empleadas en la industria minera, pueden ser pasajes más o menos permanentes que sirven de redes de transporte del mineral obtenido. En las zonas de explotación existen estructuras con sección variable según las vetas existentes; en éstas el sistema de soporte cuando lo tiene es provisional.

Estructuras constituidas por los túneles propiamente dichos, cuyas características típicas serán descritas más adelante.

La tercera categoría comprende estructuras que pueden proporcionar protección contra ataques aéreos a personas, materiales y aún instalaciones estratégicas desde el punto de vista militar o bien sirven para alojar instalaciones tales como casas de máquinas en los sistemas hidroeléctricos.

Finalmente, con la falta de espacios superficiales se hace necesario el uso de estructuras subterráneas para diferentes servicios, ejemplos típicos de ello tenemos:

Estacionamientos, garajes, bodegas, etc.

Hecho esto procedemos a clasificar los túneles los cuales forman parte de las estructuras subterráneas.

## 5.- CLASIFICACION DE TUNELES.

Los túneles los podemos clasificar de acuerdo a los siguientes criterios:

A.- Clasificación de túneles de acuerdo al uso a que será destinado:

a).- Túneles para tránsito:

De ferrocarril.

De caminos.

De peatones.

De navegación.

Del metro.

b).- Túneles para transporte:

De presión en centrales hidroeléctricas.

Para abastecimiento de agua.

Para drenaje.

Para instalaciones diversas en servicios públicos, energía, comunicaciones, etc.

c).- De mercancías y materiales en plantas industriales y ciudades.

B.- Clasificación de túneles, tomando en cuenta su posición topográfica.

- a).- Túneles de parteaguas o de silla de montar.
- b).- Túneles en espiral
- c).- Túneles en estibaciones de montañas.
- d).- Túneles al pié de taludes inestables  
(túneles falsos)

C.- Clasificación de túneles, en función del tipo de material que atraviesa.

- a).- Túneles en roca.
  - Roca sana.
  - Roca fracturada.
- b).- Túneles en suelos.
  - Compactos.
  - Sueltos, Blandos.

D.- Clasificación de túneles, por su longitud. De lo cual se hace mención sobre los carreteros y los del metro.

- a).- Largos.
- b).- Medios.
- c).- Cortos.

Esta clasificación obedece únicamente a los requerimientos de ventilación, habiéndose establecido como:

Túneles largos son aquellos que tienen longitud superior a 1000 metros.

Túneles medios son aquellos cuya longitud se encuentra entre 300 y 1000 metros.

Túneles cortos son aquellos cuya longitud es menor a 300 mts.

E.- Clasificación de túneles debido a su sección:

Existe gran variedad de secciones transversales que han sido utilizadas a través de la historia de la construcción de túneles, de los cuales presentamos a continuación:

- a).- Rectangular.
- b).- Circular.
- c).- Portal.
- d).- Herradura
- e).- Combinados.
- f).- Conducto abierto
- g).- Túnel falso
- h).- Sifones.

Túneles largos son aquellos que tienen longitud superior a 1000 metros.

Túneles medios son aquellos cuya longitud se encuentra entre 300 y 1000 metros.

Túneles cortos son aquellos cuya longitud es menor a 300 mts.

E.- Clasificación de túneles debido a su sección:

Existe gran variedad de secciones transversales que han sido utilizadas a través de la historia de la construcción de túneles, de los cuales presentamos a continuación:

- a).- Rectangular.
- b).- Circular.
- c).- Portal.
- d).- Herradura
- e).- Combinados.
- f).- Conducto abierto
- g).- Túnel falso
- h).- Sifones.

CAPITULO II

PROYECTO EJEMPLO

Para lograr el objetivo propuesto, el cual es conocer los elementos necesarios y suficientes que sirvan para excavar por el método tradicional un túnel alojado en roca; consideramos que, la manera más sencilla de hacerlo, es partiendo con un ejemplo.

Y así, sobre la marcha ir explicando dichos elementos y la aplicación práctica de la secuencia de cálculo.

#### PROYECTO EJEMPLO

OBRA: Construcción de un túnel en roca.

1.-DESCRIPCION DEL PROYECTO: Esta obra consta de un túnel de conducción, una lumbrera en la entrada y un portal de salida.

A.- La lumbrera tiene una profundidad de 100 m. con sección circular de 3 m. de diámetro.

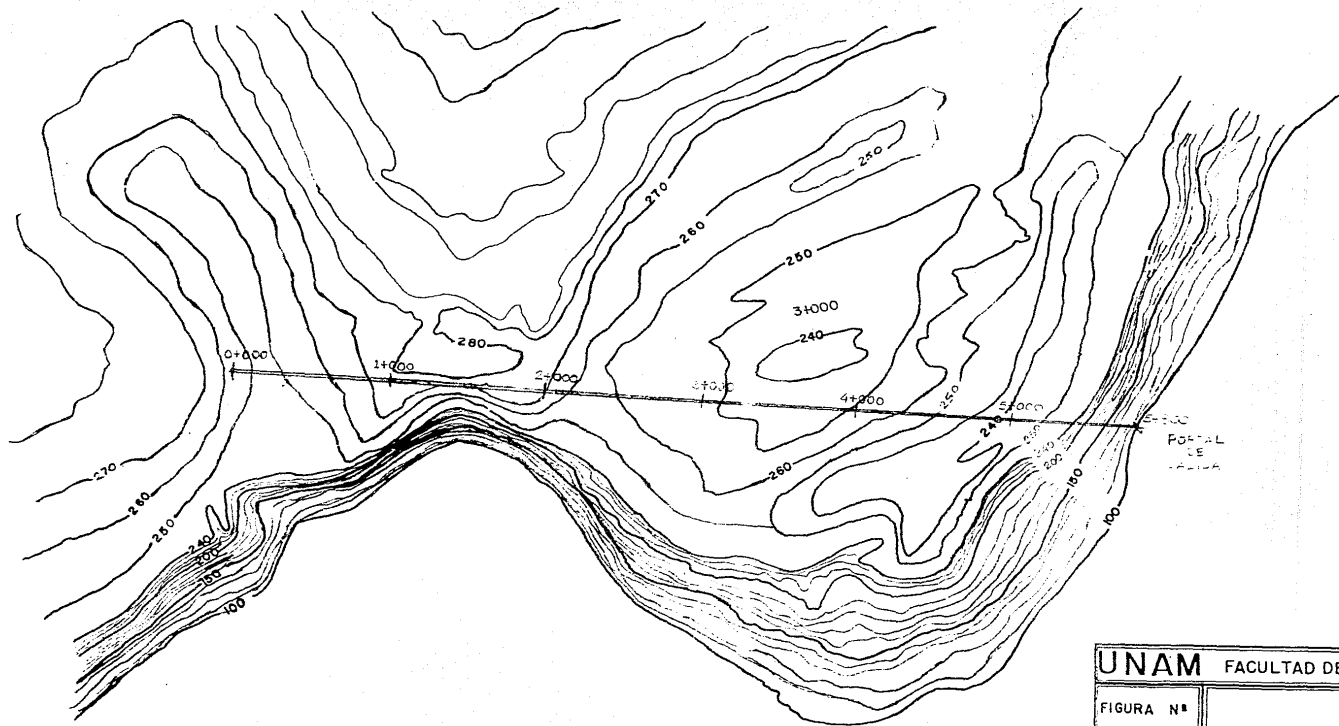
B.- El túnel de conducción tiene una longitud de 5,800 m. con sección de herradura de  $37 \text{ m}^2$  de área.

C.- El portal de salida alojado a pie de talud y excavado en tajo.

**2.- CARACTERISTICAS:**

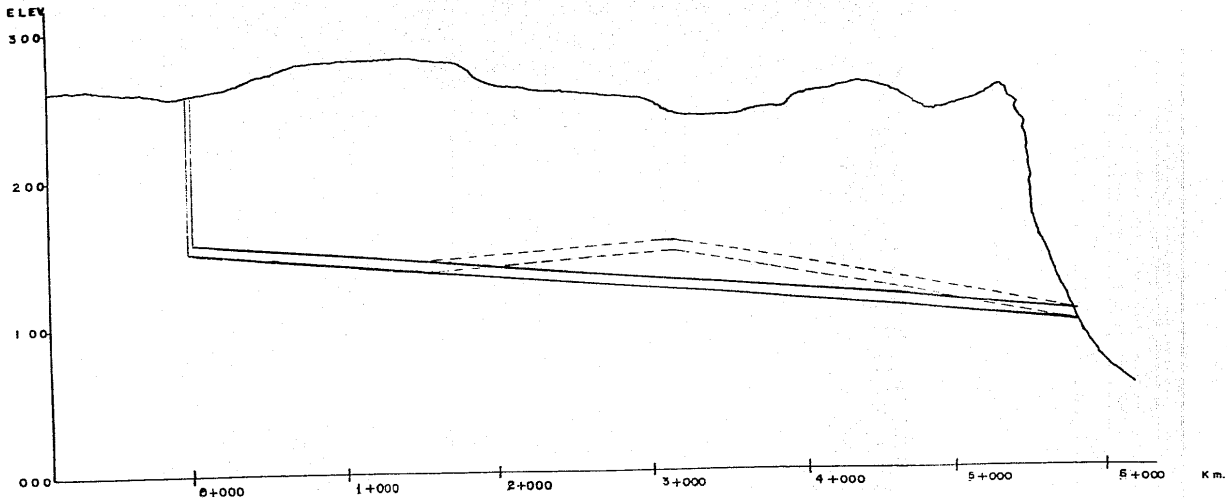
- A.- La obra está situada en roca sana, en la que se espera no tener problemas de derrumbes, ni habrá necesidad de realizar trabajos de ademado que interfieran en forma apreciable las operaciones normales de excavación.
- B.- El tiempo de ejecución total de la obra será de 36 meses.
- C.- Su situación topográfica es como se indica en el plano respectivo.
- D.- Se anexa el perfil del túnel.





PLANTA

<b>UNAM</b> FACULTAD DE INGENIERIA	
FIGURA N°	
II. I	TESIS: EXCAVACION CONVENCIONAL DE UN TUNEL EN ROCA
REALIZARON:	José López Olguín Paño D. Sandoval Lázaro Gustavo T. Hernández Flores
	Vo. Bo. Ing. Julio C. Aceves S.
Escala	1 : 25 000
Fecha:	Diciembre 1966



CADENAMIENTO

# PERFIL

ESC. VERTICAL : 1: 2 500  
 ESC. HORIZONTAL: 1:25 000

— PROYECTADO  
 - - - - - POR MODIFICACION (SEGUN PLAN)

<b>UNAM</b> FACULTAD DE INGENIERIA							
FIGURA N°							
II. 2	TESIS: EXCAVACION CONVENCIONAL DE UN TUNEL EN ROCA						
REALIZARON:	<table border="0"> <tr> <td>Jose López Olguin</td> <td>Vo. Bo.</td> </tr> <tr> <td>Pablo D. Sandoval Lázaro</td> <td>Ing. Julio C. Aceves S.</td> </tr> <tr> <td>Gustavo T. Hernández Flores</td> <td></td> </tr> </table>	Jose López Olguin	Vo. Bo.	Pablo D. Sandoval Lázaro	Ing. Julio C. Aceves S.	Gustavo T. Hernández Flores	
Jose López Olguin	Vo. Bo.						
Pablo D. Sandoval Lázaro	Ing. Julio C. Aceves S.						
Gustavo T. Hernández Flores							
Escuela INDICADA	Fecha: Diciembre 1988						

C A P I T U L O   I I I

PROGRAMA DE CONSTRUCCION

## 1.- ANALISIS GLOBAL DE LA OBRA:

Cada una de las actividades de un proyecto tarda un cierto tiempo en ejecutarse y para programarlo se necesita conocer los métodos posibles de ejecución, de acuerdo con los recursos humanos, de equipo, etc.

### A.- PLAN DE TRABAJO

Los dos primeros meses: Organización (traslado de equipo, campamentos), construcción del portal de salida.

Los 28 meses subsecuentes: excavación del túnel de conducción.

Los 6 últimos meses: Excavación del contrapozo y tiempo de holgura en la excavación del túnel de conducción y ademe del mismo cuando sea necesario.

### B.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

a).- Organización y construcción del portal de salida.

Para la organización se dispondrá de un mes, en el cual se trasladará todo el equipo que se requiera para la ejecución de la obra, se levantarán los campamentos necesarios y se hará la contratación del personal; para el segundo mes se hará la excavación y construcción del portal de salida.

b).- Excavación del túnel de conducción.

Para atacar el túnel podemos atacar por un solo frente, que sería el portal de salida, pero analizando el plano topografico (Fig. ) se observa que a unos 1,500 m. de la entrada existe un valle que permitiría hacer un túnel de trabajo cuya longitud sería de 400 m.; haciendo dicho túnel, tendremos tres frentes de ataque:

Un frente desde el portal de salida y 2 frentes desde el túnel de trabajo haciendo en estos últimos una excavación alternada; es decir, de "péndulo". Para este tipo de excavación se utilizará el mismo equipo para barrenar y para rezagar ambos frentes: ésto quiere decir que mientras en un frente se esté rezagando, en el otro se estará barrenando.

c).- Excavación de la Lumbreira.

La excavación de la lumbreira se hará con una contrapocera, para lo cual se iniciará hasta que se haya llegado a este lugar. Dicha excavación se hará por medio de barrenos, por donde se introducirán los tubos de la contrapocera; el volumen de esta excavación se sacará por el túnel de trabajo.

## C.- AVANCE REQUERIDO

Longitud del túnel: 5,800 m.

Tiempo de ejecución: 28 meses.

a).- Considerando un frente de trabajo (desde el portal - de salida)

Se requiere un avance de  $\frac{5,800 \text{ m}}{28 \text{ meses} \times 25 \text{ días}} = 8.3 \text{ m/día}$

Cumplir este avance con el equipo disponible es muy difícil, por lo que se elige la opción de construir, el túnel de trabajo y así incrementar la producción.

b).- Considerando el túnel de trabajo se tiene lo siguiente:

Con el túnel de trabajo se trabajará en péndulo.

Al trabajar en péndulo se incrementa el avance en un 40% aproximadamente de lo que se haría en un frente normal.

El hacer el túnel de trabajo nos arroja un incremento en la longitud del túnel que sería de 400 m. más.

L total = 5800 + 400 = 6200 m.

- Frentes equivalentes

800 m x 2 frentes = 1600

5400 m x 2.4 =  $\frac{12960}{14560 \text{ m/frente}}$

$$\frac{14560 \text{ m/frente}}{6200} = 2.35 \text{ frentes equivalentes}$$

- Longitud de túnel destinada por frente (frente normal)

$$\frac{6200}{2.35} = 2638 \text{ m.}$$

- c).- En toda obra al inicio, se tienen avances muy bajos del orden del 50% del avance normal debido a que el personal no está suficientemente ambientado a las condiciones de la obra, lo que implica una reducción del tiempo destinado. Normalmente para una obra de esta magnitud se requiere de un tiempo de tolerancia de aproximadamente dos meses.

Tiempo equivalente disponible

$$2 \text{ meses} \times 0.5 \text{ avance} = 1$$

$$26 \text{ meses} \times 1.0 \text{ avance} = \frac{26}{27} \text{ meses}$$

- Avance requerido por frente al mes

$$\frac{2638 \text{ mts.}}{27 \text{ meses}} = 98 \text{ mts./mes}$$

Resumen, se requiere el siguiente avance:

durante los dos primeros meses

$$98 \text{ mts./mes} \times 0.5 = 49 \text{ mts./mes}$$

Los 26 meses subsecuentes: 98 mts./mes.

- d).- Comprobación de que se cumplirá el trabajo en el tiempo programado.

$$49 \text{ mts/mes} \times 2 = 98 \text{ mts.}$$

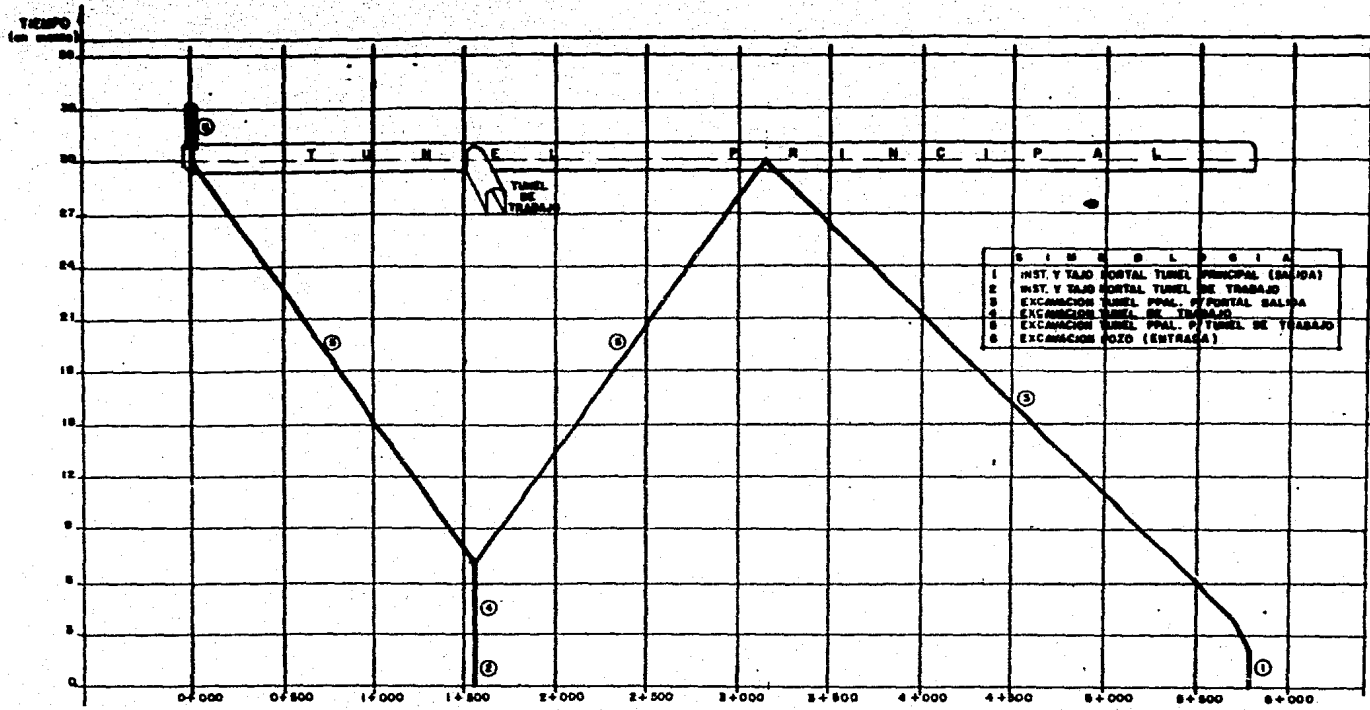
$$98 \text{ mts/mes} \times 26 = \frac{2548}{2646} \text{ mts. de túnel}$$

Si cumple para el frente análisis

## 2.- PROGRAMAS DE CONSTRUCCION







**PROGRAMA DE PICOS**

CONCURSO No. \_\_\_\_\_

OBRA : \_\_\_\_\_

Plazo de Ejecucion: 30 Meses Fecha de inicio: \_\_\_\_\_

**UNAM** FACULTAD DE INGENIERIA

FIGURA No. 2

**TESIS EXCAVACION CONVENCIONAL DE UN TUNEL EN ROCA**

REALIZADOR: José López Ojeda      Vc. Dr. Ing. Julio C. Acosta S.  
Pablo D. Santibañi López  
Carmen T. Hernández Flores

TAMPA      7 de Mayo, Octubre 1968

## CAPITULO IV

### PLANTEAMIENTO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

## 1.- ANALISIS DE CADA UNA DE LAS ETAPAS DEL CICLO BASICO.

### A.- APROXIMACION DEL EQUIPO Y DEL PERSONAL.

La práctica se sabe que fluctúa de 15 a 25 min.

### B.- TOPOGRAFIA DEL TUNEL.

Incluye desde la alineación, hasta el trazo de la plantilla. Este tiempo es calculado en base a estadísticas, el cual varía en función del área de la sección. Y fluctúa de 15 a 20 min.

### C.- INSTALACION DEL EQUIPO DE BARRENACION.

Este tiempo depende del tipo de equipo a utilizar, véase "equipos de barrenación".

Para cuando se utilicen pistolas neumáticas montadas en Jumbo, dependerá exclusivamente del tiempo en que se tarde en armar la estructura, o de acercarla cuando ésta esté montada en camión o estructura con ruedas.

La práctica fluctúa de 15 a 30 min.

### D.- BARRENACION.

Al igual que el inciso anterior, depende del tipo de equipo con que se cuente.

Considerando pistolas neumáticas cuyo avance fluctúa entre los 15 y 20 m/h por unidad, el tiempo requerido para barrenación estará en función de la cantidad de unidades

que se ocupen.

El anterior rendimiento está considerando los tiempos de:

- a) Velocidad de penetración.
- b) Cambios de barras de barrenación.
- c) Ajustes de mangueras y soplado.
- d) Cambio de lugar de la sopladora de un barreno a otro.
- e) Pérdida de tiempo por atoramiento.
- f) Etc.

#### E.- POBLADO

En esta actividad, se está considerando:

- a) Arreglos de las barras retacadoras (faineros)
- b) Limpieza de los barrenos (cuando se requieran)
- c) Transporte de explosivos.

Por lo regular el mismo personal de barrenación es el que realiza la carga, auxiliados por un especialista. Salvo cuando se tengan dos o más frentes de trabajo y resulte conveniente tener una cuadrilla de pobladores destinada a ello.

#### F.- RETIRO DEL EQUIPO.

Normalmente el tiempo que se requiere fluctúa de 15 a 25 min.

#### G.- CONEXION ELECTRICA.

Estudios estadísticos han demostrado que se ocupa un --

tiempo promedio de 10 seg/barreno, generalmente lo realiza el personal encargado de perforar los barrenos, con la supervisión de un electricista.

#### H.- PRUEBA ELECTRICA.

Independientemente de las dimensiones del túnel o magnitud de la tronada, el tiempo que se requiere para este fin es del orden de 5 min.

#### I.- DISPARO.

Incluye el tiempo requerido por el personal de poblado para llegar a las posiciones de abrigo y el del disparo del mismo. Al igual que en el inciso anterior es independientemente de las dimensiones del túnel. Normalmente se emplea un tiempo de 10 min.

#### J.- VENTILACION.

A reserva de modificaciones insignificantes, se considera que para ventilar el túnel se requiere un tiempo de 30 min.

#### K.- AMACISE.

Esta operación consiste en remover rocas flojas que quedan adheridas en las inmediaciones de las paredes y del techo ya que representan un serio peligro para los trabajadores y el equipo.

#### L.- CARGA Y TRANSPORTE DE LA REZAGA.

El tiempo empleado en esta actividad también depende del equipo considerado en la carga y en el acarreo. Así como también del acoplamiento entre el equipo de carga y el de acarreo.

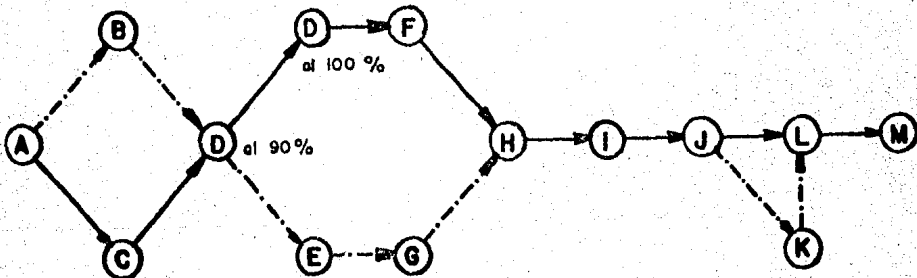
#### M.- ADEME (cuando se requiera)

Esta operación consiste, como ya se dijo anteriormente en aplicar soporte a las paredes y techo del túnel.

#### TIEMPO TOTAL EMPLEADO EN EL CICLO BASICO.

Se calcula con el criterio de la ruta crítica, ya que de las actividades del ciclo básico, habrá actividades simultáneas, por lo que considerando la numeración asignada a las mismas, tenemos que:

Fig. IV.1 Ruta crítica



Donde la ruta crítica es la marcada con — y el tiempo total empleado en el ciclo, será la suma de los tiempos empleados en cada una de las actividades críticas.

## 2.- ANALISIS DE LOS RECURSOS BASICOS REQUERIDOS.

### A.- ESTUDIOS GEOLOGICOS.

La investigación geológica que se efectúa antes de construir un túnel se considera de gran importancia, pues permite tener un panorama completo acerca de la naturaleza y estado de las formaciones que se presenten en el lugar donde se tiene proyectada la obra. No existe proyecto tipo y cada caso particular requiere de un estudio especial. Los estudios geológicos preliminares permiten hacer una evaluación de los costos probables que podrían ocasionar el túnel. Es importante indicar que, aunque los proyectos se hayan basado en estudios de reconocimiento preliminares, no es raro el caso en que los materiales que se encuentren al excavar el túnel sean sensiblemente diferentes, sobre todo en su estructuración, así como la presencia de zonas débiles, o bien la presencia de flujo de agua.

La consecuencia de lo mencionado anteriormente es muy variable ya que en algunos casos se tiene que parar la obra, incrementándose así el costo de la misma.



Es recomendable que los estudios geológicos preliminares se realicen con mucha anticipación a la construcción de la obra, ya que de esta manera se podrá lograr la implantación más óptima y en las mejores condiciones en lo que respecta a la posición de los portales, estabilidad del techo, paredes y detección de zonas potencialmente peligrosas.

Se pueden determinar con anticipación aquellas zonas que requerirán ademe, estimar la posición de las discontinuidades y tener una idea aproximada de la posición de flujos subterráneos.

A medida que las condiciones geológicas se precisen con más exactitud se podrá tener mayor confianza en el proyecto, se podrán también precisar los métodos de construcción para que el túnel se lleve a cabo en la forma más rápida y económica posible.

#### a) RECONOCIMIENTO GEOLOGICO.

El reconocimiento geológico es absolutamente indispensable para permitir desde el inicio los estudios tener una opinión válida sobre las posibilidades reales para la construcción del túnel, ya que la ejecución del túnel depende totalmente de las condiciones geológicas, hidrológicas, así como de las propiedades geotécnicas de las rocas.

Primeramente debe llevarse a cabo la recolección de la ---

información existente tales como: cartas geológicas, estudios geológicos efectuados en la zona y fotografías aéreas de tal manera que se pueda tener información respecto a la morfología, petrografía, estratigrafía e hidrología del lugar. Este trabajo se debe complementar con un minucioso reconocimiento superficial, en cuyo caso debe analizarse a los afloramientos de roca, presencia de diques, fallas visibles, etc. En esta etapa debe también estudiarse las características de drenaje, acidez del agua, presencia de efectos térmicos, gases y ataques químicos.

#### b) ESTUDIOS GEOTECNICOS.

A partir del reconocimiento geológico se deduce la necesidad de realizar estudios complementarios como pueden ser la prospección eléctrica, geosísmica o inclusive la ejecución de sondeos exploratorios.

El fin fundamental de estos estudios consiste en estimar el comportamiento de los materiales tanto durante la construcción del túnel como posteriormente a dicha construcción. Como se mencionó, es conveniente que estos estudios deben ser programados en función de los resultados que se vayan obteniendo, es decir que a partir del reconocimiento superficial y con apoyo en fotografías aéreas, se deberá establecer la necesidad de efectuar ya sea estudios geofísicos, sondeos con obtención de muestras inalteradas o representativas o inclusive la construcción de galerías de

reconocimiento, las cuales podrían aportar una información directa y valiosa sobre la estructura real de la roca.

Los parámetros a estudiar en cada caso son muy variados, - dependiendo de los tipos de materiales encontrados, así como sus espesores, se requiere también la ejecución de pruebas para determinar las características mecánicas o químicas de los materiales. En el caso de rocas se determinan los módulos de las rocas, resistencia a la compresión simple, resistencia al intemperismo, porosidad así como también la obtención del índice de calidad de la roca el cual está definido como:

Porcentaje de núcleos que se recuperan en piezas enteras - de 10 cm. o más del largo del total del barreno.

$$\text{R.Q.D. (\%)} = 100 \times \frac{\text{Longitud de los núcleos mayores de 10 cm}}{\text{Largo del barreno}}$$

El índice de calidad de la roca nos proporciona de manera cualitativa la calidad de la roca. DEERE propuso una relación entre el valor numérico del R.Q.D. y la calidad de la roca.

R. Q. D.	CALIDAD DE LA ROCA
Menor del 25%	Muy mala
25---50%	Mala
50---75%	Regular
75---90%	Buena
90--100%	Muy buena

Considerando que las pruebas de laboratorio no son del todo representativas, debido a que en los especímenes probados no se tiene generalmente una condición semejante a la del macizo rocoso del cual fueron extraídos (fisuras, juntas, diaclasas, fallas, etc.) se tiene que acudir a pruebas hechas en el lugar con el empleo de gatos hidráulicos empotrados en la roca o bien con sistemas de aplicación de carga muy elaborados.

Algunas veces se hace necesario realizar pruebas de carácter especial como podrían ser aquellas en las que se quiera determinar el grado de alterabilidad de la roca al sufrir el ataque de diferentes ácidos o bien las características expansivas de algún tipo de roca.

Generalmente es difícil que el solo reconocimiento superficial y la ejecución de sondeos exploratorios basten para determinar las propiedades estructurales del macizo rocoso; pues el túnel en estudio puede atravesar diferentes tipos de roca con diferentes direcciones y rumbos en los echados. El túnel los puede cruzar en forma perpendicular o puede encontrarse paralelo a ellos, puede alojarse el túnel en un sinclinal o en un anticlinal. Es obvio que tanto el tipo de ademe como la forma de ataque durante la construcción y las precauciones que deban tomarse, dependerán de factores como los anteriormente mencionados. Es aquí donde la geofísica puede resultar de gran ayuda, sirviendo de complemento a los estudios de geología superficial y exploración mediante sondeos mecánicos, la prospec-

ción geofísica puede ayudar a definir con mayor precisión la rasante del túnel, pues se puede estimar la variación de la competencia de la roca para diferentes profundidades así como la posición aproximada de las diferentes anomalías que pudieran existir. Debe hacerse hincapié, sin embargo, que la proyección geofísica se le saca mayor provecho cuando se le acompaña de sondeos mecánicos. En la tabla número IV.A se detallan algunos métodos de exploración geofísica según (NOSSMAN Y HEIM).

Los métodos geofísicos que implican el uso de gravímetros, magnetómetros y resistividad eléctrica pueden usarse para obtener estimaciones de las propiedades de la roca, tales como la porosidad y la densidad.

Desde el punto de vista de la ingeniería, el conocimiento de defecto de la roca y en su intensidad puede ser más importante que el tipo de roca que se pueda encontrar, por lo tanto, durante la exploración hay que dar especial atención a los defectos de la roca. EL INFORME GEOLOGICO deberá contener una descripción detallada de los defectos observados en términos geológicos. También deberá mencionar la roca defectuosa en términos de tuneleo, por ejemplo:

Roca en bloques, junteada, roca que se comprime o se expande. Los defectos más comunes de la roca TERZAGHI los describió en su:

## c) CLASIFICACION DE LAS ROCAS DE TERZAGHI

- Roca inalterada.- No tiene fisuras ni ramaleos. Por lo tanto, cuando se rompió, lo hace a través de la roca sana - debido al daño que se hace a la roca por medio de explosivos, pueden caer del techo desgajes de roca. Esta condición se llama desprendido. La roca dura, inalterada, también puede verse afectada por chasquidos, lo que implica la separación violenta de láminas de roca de las paredes o del techo.

- Roca estratificada.- Está constituida por capas unitarias con poca o ninguna resistencia a la separación a lo largo del plano límite entre estratos, los desprendidos son comunes en este tipo de roca.

- Roca medianamente fisurada.- Tiene fisuras y ramaleos - pero los bloques entre las juntas están soldados o medianamente embonados que las paredes verticales no necesitan refuerzo. En rocas de este tipo se encuentran acompañados - el desprendido o el chasquido.

- Roca agrietada en bloques.- Es químicamente inalterada - cuyos fragmentos se encuentran totalmente separados unos - de otros y no embonan. Esta roca necesita refuerzo.

- Roca triturada.- Es químicamente sana, tiene la apariencia de ser producto de trituradora. Si los fragmentos, en

su mayoría o todos, son del tamaño de arena y no ha habido recementación, la roca triturada que se encuentre abajo - del nivel freático tiene las propiedades de una arena saturada.

- Roca comprimida.- Avanza lentamente en el túnel sin aumento perceptible de volumen. Este tipo de roca generalmente contiene un elevado porcentaje de partículas microscópicas de micas o de minerales arcillosos de poca expansibilidad.

- Roca expansiva.- Avanza básicamente en el túnel debido a su propia expansión. La capacidad de esponjamiento parece estar limitada a las rocas que contienen mineral arcilloso como las montmorillonita, con alta capacidad de expandirse.

METODO	PRINCIPIO	AMBIENTE GEOLOGICO	APLICACIONES	COSTO
GRAVIMETRO	Mide la densidad de la roca.	Cualquiera. Profundidad efectiva mayor de 1000 m.	Localización de cavernas	Mediano
MAGNETOMETRO	Mide la intensidad magnética de la roca.	Cualquiera, pero de preferencia ignea.	Señala la existencia de cuerpos metálicos locales, también puede indicar fallas.	Bajo a Mediano
RESISTIVIDAD ELECTRICA.	Mide conductividad eléctrica relativa de la roca en OHMS	Cualquiera.	Localización de acuíferos y depósitos de grava	Mediano
ELECTRO-MAGNETICO	Mide la amplitud de la fase del campo electromagnético.	Cualquiera	Localización de acuíferos.	Bajo a Mediano.
REFRACCION SISMICA	Mide el tiempo de recorrido de la energía inducida con explosivos.	Rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas.	Determinación de la velocidad de onda.	Alto pero cubre una área grande.
REFLEXION SISMICA	Mide el tiempo de recorrido de la energía inducida.	De preferencia para rocas sedimentarias.	Mide la profundidad y continuidad de los estratos.	Alto.

TABLA No. IV.A.- Método de exploración geofísica según (MOSSMAN Y HEIM).



## B. - ADEMES

El ademe en los túneles tiene el propósito de confinar la masa de roca, evitando que se produzcan esfuerzos y a la vez de rrumbes.

El soporte puede clasificarse como temporal o definitivo, atendiendo a la durabilidad del material que lo forma o también al uso final del túnel.

En épocas pasadas fue común el uso de marcos de acero y revestimiento de concreto para el refuerzo de túneles y otras excavaciones subterráneas. No sucede lo mismo con los sistemas de refuerzo que lo forman otros sistemas de soporte. El sistema de soporte se coloca con la velocidad que se requiera y ésto depende del comportamiento físico del material donde se ejecuta el túnel.

### a) TIPOS DE ADEMES.

Los tipos de ademes que se utilizan generalmente en túneles son:

- Marcos de madera.- Están formados por puntales de sección rectangular o cuadrada, su uso resulta muy económico.

- Marcos metálicos.- Se forman con perfiles estructurales I o H rolados para adaptar su diseño a la sección del túnel. Entre el marco y las paredes del túnel suelen colocarse cuñas, construyendose así el retaque, el cual permi

te al marco presionar contra la roca y así lograr su estabilidad.

- Anclas.- Existen centenares de anclas y varillas, por lo que sería imposible describir todos; es por eso que solo mencionaremos los siguientes:

- . Varillas de madera.- Se usaron en tiempos de escasez de acero, estas varillas sin tensar sólo sirven para refuerzo muy ligero, se emplean muy poco en la actualidad.
- . Varillas de acero ancladas sin tensar.- Estas sólo pueden aceptar cargas cuando se tensan por la deformación de la roca circundante; pero si las varillas se colocan con retraso y a gran distancia del frente, buena parte de la deformación a corto plazo de la roca se habrá efectuado ya y las varillas no surtiran efecto.
- . Anclas mecánicamente fijadas y tensadas.- Las anclas son muy efectivas sólo en rocas de buena calidad y han sido reemplazadas con frecuencia por las anclas con casquillo expansivo.
- . Anclas tensadas e inyectadas.- Se inventaron para lograr mejores anclajes en terreno malo y tener mayor protección anticorrosiva, para las anclas de acero; tal vez sea el sistema predominante en el futuro.

Las anclas pueden combinarse con otros sistemas de soporte - obteniéndose así un mejor anclaje, una combinación podría ser un mortero, el cual es utilizado en roca muy fracturada.

- Malla.- Cuando en el túnel se tienen piedras de pequeña - dimensión, se utiliza malla, también se utiliza como refuerzo para el concreto lanzado. Generalmente se utilizan: Mallas - de eslabones y malla soldada.

. Malla de eslabones.- Esta malla es como la que se utiliza en cercas y está elaborada a base de un tejido de alambre, que puede ser galvanizado para evitar la corrosión, por su forma es muy flexible y resistente. Esta malla puede soportar cargas considerables de roca suelta, dependiendo del esparcimiento de las anclas de fijación, no es recomendable utilizarse como refuerzo para el concreto lanzado por la dificultad que existe para pasar el concreto por las - mallas.

. Malla soldada.- Esta malla es utilizada como refuerzo para el concreto lanzado y consiste en una cuadrícula de alambre de acero que tiene soldadas las intersecciones, los - alambres son de 4.2 mm., colocados en cuadros de 100 mm. (malla de 100X100X4.2) y se encuentra en secciones manejables por uno o dos hombres.

Es difícil obtener malla soldada galvanizada, por lo que se debe tener cuidado de que el alambre quede perfectamente cubierto por concreto.

- Concreto lanzado.- Se tienen dos tipos de concreto lanzado: el concreto lanzado seco, el cual se mezcla en seco y se añade agua en la boquilla del aplicador por medio de una válvula, y el concreto lanzado húmedo que se mezcla como un concreto de revenimiento bajo y así es bombeado hasta la boquilla.

La aplicación del concreto lanzado consiste en "pintar" sobre la superficie recién excavada de la roca una serie de capas de concreto que forman una película, usualmente de 10 a 15 cm. de espesor, que impide el desmoronamiento del material conservándose así un trabajo de arco. En combinación con anclas resulta un excelente método de soporte denominado "nuevo método austriaco"

- Mampostería.- En el pasado constituía el método más común para formar el revestimiento definitivo pero requería de mano de obra especial para su colocación.

- Concreto.- Actualmente es el método más usual de proporcionar revestimiento definitivo a los túneles, especialmente si la superficie interior debe tener un acabado adecuado a la conducción de líquidos.

### C.- EXPLOSIVOS Y MECANICA DE RUPTURA DE LA ROCA.

Para la excavación de un túnel en roca con la ayuda de explosivos, es importante resaltar las siguientes necesidades.

- Producir el mayor número de metros cúbicos de roca por metro lineal de barrenación.
- La voladura tendrá que romper la roca de manera eficiente y económica, y producir una razaga de roca que sea fácil de quitar, transportar, almacenar y procesar.
- El macizo rocoso que quede, deberá dañarse lo menos posible para reducir el mínimo de amacize y los ademes.

Cumplir estos requisitos, es difícil, pero se logra con éxito cuando se conjuntan entre otros elementos los siguientes:

#### Los explosivos y la habilidad del ingeniero para utilizarlos

Por ello es necesario conocer:

- a) Propiedades y características de los explosivos.
  - b) La mecánica básica de la ruptura de la roca con explosivos.
- Lo cual nos permitirá:

El cálculo de la carga necesaria, disposición de los barrenos, y la secuencia de tronado. Dando por resultado el aprovechamiento máximo de las propiedades de los explosivos, al colocarlos estratégicamente en los puntos de mayor efectividad y activarlos en el momento oportuno.

a) Propiedades y características de los explosivos..

Los explosivos son, con algunas excepciones, mezcla de sólidos o de sólidos y líquidos, que son capaces de descomponerse en forma rápida y violenta, dando por resultado su conversión a grandes volúmenes de gas.

- Sensibilidad: Es una medida que nos indica el riesgo que se tiene en su manejo.
  
- Densidad: Es la medida que nos indica el peso del explosivo en relación a su volúmen. Lo cual es de utilidad para definir la cantidad del explosivo, de acuerdo al tipo que se use.
  
- Potencia: Es el contenido de energía de un explosivo en relación a su peso. Por lo general se refiere al contenido de nitroglicerina en %. Y por ello se clasifican como:
  - . Explosivos primarios.- Son aquellos que por su elevada potencia y sensibilidad, son usados como iniciadores de grandes cargas de explosivos (cebos).
  - . Explosivos secundarios.- Son los más comunes, se utilizan en gran escala en trabajos de explotación de roca. Siempre son iniciados por un explosivo primario.

- **Velocidad:** Es la medida expresada en m/seg. de la rapidez con que viaja a través de un explosivo la onda de combustión o detonación, que cuando es baja, el efecto hacia la roca es separador y de levantamiento, y cuando se tiene velocidad alta, el efecto es de trituración y levantamiento. Y se clasifican como:
  - . Explosivos violentos.- Son aquellos cuya descomposición es prácticamente instantánea, por lo que son los más comúnmente usados en las excavaciones de roca.
  - . Explosivos lentos.- Estos se caracterizan por descomponerse más lentamente, simulando una combustión.
  
- **Resistencia al agua:** Es un factor que debe tener un explosivo cuando se trabaja en excavación de roca con presencia del agua.
  
- **Gases que resultan:** Esta consideración es importante cuando se trabaja en obras subterráneas, especialmente si hay poca ventilación, pues pueden resultar de la explosión:
  - . Gases no tóxicos: Bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua.
  - . Gases tóxicos: Monóxido de carbono y óxido de nitrógeno.

- Existencia en el mercado:

Explosivos simples

Explosivos mezclados

Explosivos compuestos (sólidos, semiplásticos y plásticos).

- Dispositivos de iniciación de la explosión:

Estos son los que llevan la onda de detonación al explosivo. El saber utilizarlos, constituye toda una técnica especializada en voladuras, ya que podemos controlar el disparo, la fractura de la roca, las vibraciones, etc., dando por resultado las siguientes ventajas: mejor fragmentación, menor sacudimiento, control del lanzamiento del material, disminución del explosivo y reducción de la posibilidad de que se queden algunos barrenos.

En las tablas que a continuación se presentan, podremos observar las características de algunos explosivos y dispositivos de la iniciación de la explosión.



NOMBRE	PRESENTACION	C A R A C T E R I S T I C A S						I M P O R T A N T E
		SENSIB.	DENSID.	POTEN.	VELOCID.	RESIST. AGUA	GASES	
Dinamita	Cartucho	Alta	Alta	Alta	Alta	No	Tóxicos	
Dinamita	Gelatina	Baja	Alta	Alta	Alta	Si	Buenos	
Nitrato de Amonio	Abono	Baja	Baja	Media	Media	No	Tóxicos	Se combina con diesel, funciona como explosivo cuando se inicia con un cebo de alta potencia. Su uso es muy común por ser económico.
Dinamita	Semigelatina	Media	Alta	Alta		Media	poco tóxicos	Se utilizan perfectamente en excavaciones subterráneas.

TABLA IV.B.- Explosivos.

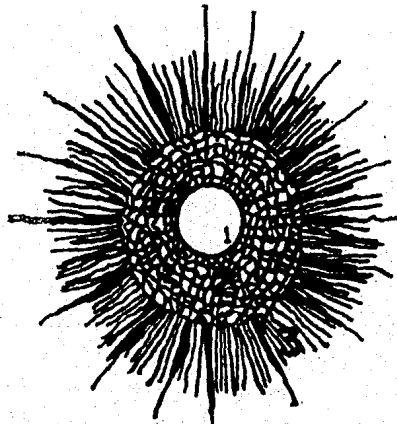
NOMBRE	PRESENTACION	CARACTERISTICAS	IMPORTANTE
Mecha para - Minas	Millar	Iniciador: Conduce fuego	
Fulminante	Millar	Detonador: Se enciende con chispa	Se utiliza sólo pa- ra una carga
Estopín Eléctrico	Por pieza y de diferentes ti- pos de regula- dores de tiem- po.	Detonador: Se regula el disparo a dife- rentes tiempos. Se enciende eléctricamente.	Se conectan y se - pueden disparar va- rias cargas simultá- neamente.
Primacord	Rollo	Cordón Detonante: Insensible y se deto- na por medio de un - fulminante.	Se utiliza para co- nectar el explosivo primario con un -- agente explosivo.
Ignita-Cord	Rollo	Cordon Encendedor:	

TABLA IV.C.- Dispositivos de inicio de la Explosión.

b) Mecánica básica de la ruptura de la roca con explosivos.

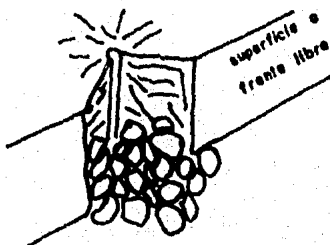
Cuando se detona un explosivo colocado en un barreno, los gases de alta presión que produce la explosión, hacen im-  
pacto en las paredes del barreno y generan una onda de pre-  
sión intensa que viaja hacia afuera de la roca. En las in-  
mediaciones de las paredes del barreno, los esfuerzos pue-  
den rebasar la resistencia de la roca, lo que posiblemente  
ocasionaría ruptura y trituración de la misma, y fuera de  
esta zona en la que se rebasa la resistencia a la compre-  
sión de la roca, se formará una zona de fisuras radiales,  
por el componente de esfuerzos a la tensión tangenciales -  
producto del campo de esfuerzos producido por una explosión,  
esas fisuras se propagan mientras el esfuerzo rebasa la re-  
sistencia a la tensión de la roca.

Fig. IV.2.- Representación idealizada de la fracturación al detonar un explosivo en un barreno.



Cuando el barreno se encuentra cerca de una superficie libre, el desarrollo de la fracturación alrededor del barreno queda influenciado por ello, debido a que la onda del esfuerzo de compresión radial que viaja, hacia afuera del barreno, se convierte en una onda reflejada de esfuerzo a la tensión; provocando el desmoronamiento desde la superficie libre al barreno.

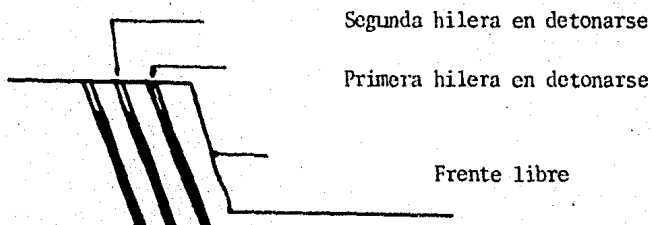
Fig. IV.3.- Desmoronamiento por la detonación de un barreno.



Lo anterior nos indica que la voladura siempre tiene que presentarse hacia el frente libre, y permitir el abundamiento de la roca, evitando así que la voladura se "quede".

En voladuras de banco, existe normalmente un frente libre, y en voladura bien planeada, se provocará que cada hilera de barrenos, empuje la roca, creando así un frente libre nuevo, y así poder ser volada la siguiente hilera.

Fig. IV.4.- Secuencia ideal del tronado en banco.

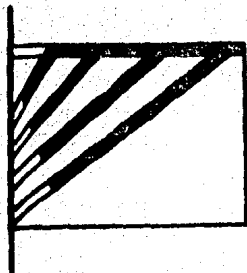


En las voladuras de túnel, no existe ningún frente libre. Por lo que el primer paso, es el de producirlo, y se logra haciendo una cuña. Y la secuencia del tronado será de la cuña hacia el perímetro de la sección del túnel.

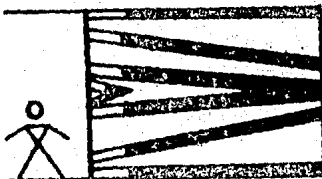
Existen diferentes métodos de lograr hacer las cuñas, de las que citamos los siguientes:

Fig. IV.5.- Diferentes tipos de Cuñas.

a) Cuña en abanico (vista en planta)



b) Cuña en "V" (Vista en planta)



c) Cuña en paralelo (se logra con el auxilio de un barreno de alivio)

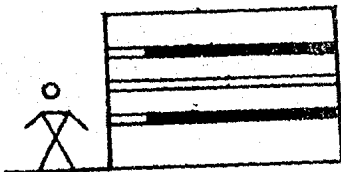
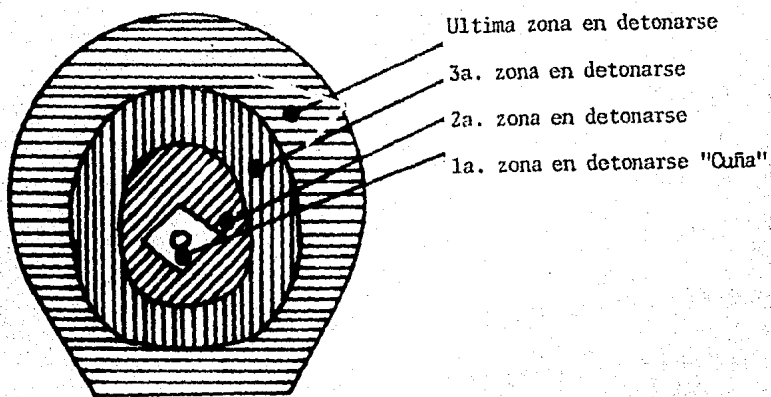


Fig. IV.6.- Representación de la secuencia de tronado en un túnel



Sección Transversal.

#### D. - PRINCIPIOS DE VOLADURAS DE RETARDO.

Para llevar a cabo la explosión de los barrenos de la plantilla de barrenación, es necesario que primero truene la cuña y así se logre un frente libre para que al tronar la siguiente serie de cuñas, la roca producto de la explosión tenga salida libre. Esto quiere decir que en nuestro proyecto emplearemos la voladura de retardo, la cual consiste en que la ignición de los barrenos ocurra en intervalos de tiempo suficientes para que se lleve a cabo el proceso de movimiento de la roca tronada. Para entender mejor ésto, describiremos a continuación:

a) Fragmentación de la roca.- Cuando se detona un explosivo en un barreno, se produce una onda de esfuerzo en la roca, la magnitud y forma de esta onda de rápido movimiento en varios puntos de la roca, dependen de varios factores, tales como:

- Tipo de explosivos.
- Tipo de roca.
- Longitud de columna de explosivo.
- Espaciamiento entre barrenos.
- Número de puntos de cebado.
- Relación de velocidad de detonación del explosivo con la velocidad sónica de la roca.

Estas ondas se mueven rápidamente hacia afuera del barreno a velocidades comprendidas entre los 3000 y 6000 m/seg. dependiendo del tipo de roca que se tenga.

Generalmente la fracturación producida en la roca es radial.

Según estudios realizados por DUPONT y OTROS, las fracturas radiales producidas en la roca viajan a velocidades de 0.15 a 0.40 veces las velocidades de onda, ésto es 2400 m/seg. en roca maciza y densa; en roca con baja velocidad sónica, las grietas se desarrollan a 450 m/seg. y 1216 m/seg.

Por lo tanto las fracturas iniciales son bien establecidas en unos cuantos milisegundos, dependiendo de la plantilla de barrenación.

Se ha estudiado el mecanismo del movimiento de la roca y se ha determinado que el tiempo del movimiento inicial depende de la magnitud del bordo libre.

En túneles con bordos de 0.30 a 1.50 m. este movimiento ocurre en menos de 5 milisegundos. Como guía para saber en qué tiempo ocurre el movimiento de la roca, diremos que ésta se desarrolla a razón de 1 milisegundo por cada pie de bordo o lo que es lo mismo 3.3 milisegundos por metro de bordo.



b) Movimiento de la roca.

El proceso de movimiento de la roca ocurre a una velocidad de 15 a 30 m/seg., lo cual quiere decir que mientras el proceso de fragmentación ocurre en unos cuantos milisegundos, el proceso de movimiento de la roca toma mucho más tiempo, por lo tanto este tiempo tan largo de movimiento representa un factor importante en las voladuras de retardo.

La roca quebrada expulsada por los primeros barrenos y las cuñas deben quitarse del camino antes que se dispare el segundo barreno para que el material producto de éste tenga salida libre.

Por lo tanto, el intervalo de tiempo seleccionado para este tipo de voladura debe ser el adecuado para que la voladura tenga éxito.

Los estopines recomendados por DU PONT para voladura de túneles, son los siguientes:

TABLA IV.C.- Estopines.

ESTOPINES DE RETARDO "ACUDET" MARK V	TIEMPOS NOMINALES
1	500
2	1000
3	1600
4	2300
5	3000
6	3800
7	4600
8	5500
9	6400
10	7400
11	8500
12	9600
13	10800
14	12000

## E.- CONEXION ELECTRICA DE ESTOPINES.

Las voladuras eléctricas con estopines de retardo, han hecho posible el disparo seguro de un gran número de cargas en una secuencia presideñada desde un lugar remoto y seguro.

El éxito de una voladura eléctrica depende de cuatro principios generales que son:

- Selección y trazo apropiado del circuito de voladura.
- Fuente de energía compatible con el tipo de circuito seleccionado.
- Eliminación de todo tipo de riesgos eléctricos.
- Balanceo del circuito, buenas conexiones y prueba del circuito terminado.

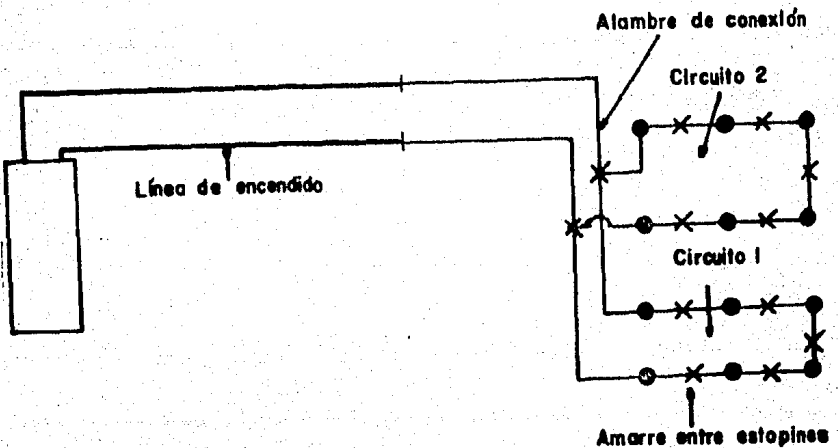
La selección del circuito dependerá del número de estopines a ser disparados. En general un circuito en serie simple, es usado en voladuras pequeñas (menos de 50 estopines involucrados), un circuito en serie paralelo es usado cuando se tiene un gran número de estopines eléctricos. El circuito en paralelo es usado únicamente en aplicaciones especiales.

Para que la iniciación simultánea de los estopines ocurra en forma adecuada, se necesita suministrar al circuito energía suficiente a todos los estopines en pocos milisegundos para que la energía llegue a cada uno de ellos en forma simultánea.

La energía es suministrada a los estopines por medio de los alambres de conexión, generalmente es alambre de cobre de calibres 16 a 20 con aislante plástico, este alambre siempre sufre deterioro cuando se realiza la voladura, por tal motivo se tiene que hacer su reposición en cada una de ellas.

Los alambres de conexión toman la energía eléctrica de las líneas guía, las cuales se denominan también líneas encendido, para hacer esta instalación se utiliza alambre de calibres 10 a 14, esta línea, permanece como instalación fija en todas las voladuras que se realicen. El otro extremo de la línea de encendido va conectada a una máquina explorosa o a un interruptor de corriente de una subestación eléctrica, de lo descrito anteriormente podemos ilustrar la conexión de los estopines de la siguiente manera.

Fig. IV.7.- Conexión eléctrica de los estopines.



Cuando ya se tiene formado el circuito, se procede a realizar las pruebas necesarias al circuito, para verificar la continuidad y resistencia de los circuitos mencionados, las pruebas se llevan a cabo con aparatos de medición eléctricas tales como OHOMETROS Y GALVANOMETROS.

Para realizar las pruebas a los circuitos, se toma en cuenta la resistencia de los estopines, la del alambre de conexión y la de la línea de encendido, en la tabla IV.D se tienen tabuladas las resistencias de estopines, para el alambre de cobre o hierro con diferentes longitudes se utiliza la tabla IV.E.

TABLA IV.D.- Resistencia nominal de los estopines eléctricos de Du Pont en Ohmios por estopín.

Longitud del Alambre en Pies	Alambre de Hierro		Alambre de Cobre		Longitud del Alambre en Pies
	Estopines Instantáneos	Estopines de Retardado Tiempo.	Estopines de Instantáneos	Estopines de Retardado Tiempo	
4	1.26	1.16	2.10	2.00	4
6	1.34	1.24	2.59	2.49	6
7	-	-	2.84	-	7
8	1.42	1.32	3.09	2.99	8
9	-	-	3.34	-	9
10	1.50	1.40	3.59	3.49	10
12	1.58	1.48	4.09	3.99	12
14	1.67	1.57	4.58	4.48	14
16	1.75	1.65	5.08	4.98	16
20	1.91	1.81	6.08	5.98	20
24	2.07	1.97			24
30	2.31	2.21			30
40	2.15	2.06			40
50	2.42	2.32			50
60	2.69	2.59			60
80	2.71	2.61			80
100	3.11	3.01			100
120	3.51	3.41			120
150	4.11	4.01			150
200	5.12	5.02			200
250	6.12	6.02			250
300	7.13	7.03			300
400	9.13	9.03			400

\* A 68° Fahrenheit.

TABLA IV.E.- Resistencia del Alambre de Cobre

(AWG) CAA Celibre No.	Ohmios por 1,000 Pies
6	0.395
8	0.628
10	0.999
12	1.588
14	2.525
16	4.02
18	6.39
20	10.17
22	16.14
(AWG) CAA=Calibre de Alambre Americano      *A 68° Fahrenheit	

a) CALCULO DE LA RESISTENCIA DE LOS CIRCUITOS.

- CIRCUITO EN SERIE.

La resistencia total de un circuito en serie, es igual a la resistencia de cada estopín, multiplicada por el número de ellos, más la resistencia de los metros de alambre involucrados en el circuito.

- CIRCUITO SERIE PARALELO.

En este caso, cada serie debe de estar balanceada eléctricamente, y la resistencia de una serie dividida entre el número de series es igual a la resistencia total. Supongamos que tenemos un circuito de tres series, la resistencia total será:

$R_t = 1/3$  La resistencia de una serie además se sumará la resistencia de los alambres de conexión.

b) DISEÑO DE UN CIRCUITO ELECTRICO DE VOLADURA

Cuando, para suministrar energía a un circuito se utilizan las líneas de fuerza eléctrica, el cálculo de circuito se hace tomando como base los principios básicos de las leyes de OHM y de KIRCHHOFF.

- LEY DE OHM

El flujo de corriente en un circuito eléctrico es igual al voltaje aplicado dividido entre la resistencia.

$$I = V/R$$



donde:

I = Corriente en amperes

V = Voltaje aplicado en volts

R = Resistencia de ohmios

Lo anterior se puede expresar como:

$V = I \times R$  o también  $R = V/I$

#### - LEY DE KIRCHHOFF

- . La suma algebraica de todos los voltajes aplicados y las diferencias de potencial en cualquier circuito cerrado es igual a cero.

$$V_0 - I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_3 R_3 \dots I_n R_n = 0$$

- . La resistencia en un circuito en serie está expresado como:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

- . La resistencia de un circuito en paralelo es:

$$I/R_T = I/R_1 + I/R_2 + I/R_3 + \dots I/R_n$$

- . Potencia eléctrica (Watts)

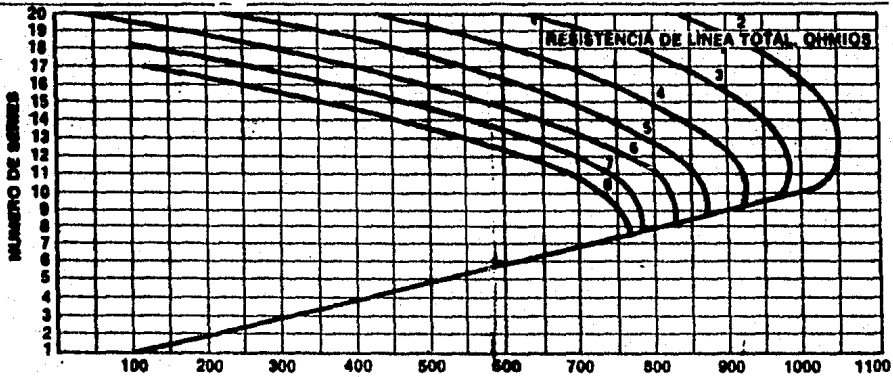
$$P = I V \quad P = I^2 R$$

Cuando se emplean máquinas explosoras por descarga de condensador, los principios mencionados anteriormente no son aplicables, ya que la corriente de descarga de una máquina de este tipo, decae en forma exponencial desde un valor inicial alto, hasta un valor próximo a cero, entonces para calcular los circuitos cuando se tiene esta alternativa, nos basamos en gráficas elaboradas con auxilio de programas de computadora, resultados de pruebas de laboratorio y experiencias de campo.

La Fig. IV.8 muestra los límites de disparo, además quiere decir que si utilizamos la gráfica, debemos convertir la resistencia que tengamos en el circuito en resistencia equivalente a estopines de dos ohmios, dicha conversión se hace de la siguiente manera:

Se multiplica el número de estopines que se tenga para la voladura por la resistencia individual de los estopines que se tengan, el resultado se divide entre dos ohmios encontrándose así la resistencia equivalente.

Fig. IV.8.- Límites de disparo para la máquina explosora  
CD-600 de Du-Pont.



NUMERO TOTAL DE ESTOPINES ELECTRICOS DE DU PONT DE 2 OHMIOS

Para determinar los límites de la máquina explosora cuando se usan estopines con resistencias que no sean de 2 ohmios, encuentre el número equivalente de los estopines de 2 ohmios - como sigue:

$$\frac{\text{No. de Estopines en la Voladura} \times \text{Resistencia por estopín}}{2} =$$

= Número equivalente de los estopines de 2 Ohmios.

Use este número para encontrar el número recomendado de series. Para condiciones de voladura normales use un número de series que esté entre la línea recta y la línea curva especificando la resistencia total de la línea de voladura.

#### F.- EQUIPO BASICO

Una de las actividades fundamentales del ingeniero constructor de túneles está en la de elegir el equipo adecuado para llegar al objetivo, que consiste en extraer el máximo volumen por ciclo de trabajo.

Los equipos que se requieren para la excavación de túneles en roca son:

- a) Equipo de barrenación.
- b) Equipo de carga de la roca tronada.
- c) Equipo de acarreo de la roca tronada
- d) Equipo de elevación de la roca tronada (cuando se requiera)
- e) Equipos auxiliares (topografía, ventilación, bombeo y alumbrado)

Para la elección, se deben considerar los siguientes factores:

- Tipo del túnel y magnitud del mismo (sección, longitud y localización).
- Tipo de material para excavar.
- Volumen que se va a extraer por unidad de tiempo (programa de obra).
- Número de frentes de trabajo necesarios.
- Recursos de la empresa.
- Conocer los equipos disponibles y estar al corriente de los métodos y equipos que en la actualidad ofrecen más ventajas.
- Análisis sobre la compra de equipos nuevos sobre la rentabilidad, existencia en el mercado nacional de refacciones, etc.

A continuación mencionaremos algunas características de los equipos citados, lo cual servirá para seleccionarlos de acuerdo a nuestra conveniencia.

a) EQUIPO DE BARRENACION.

BARRENACION.- Llámese así a la operación de agujerar la roca, lográndose mediante métodos manuales (primitivos) o con el auxilio de equipo; omitiendo los primeros hablaremos sólo de los últimos.

En el uso práctico de equipo de barrenación solamente vamos a mencionar a aquellos que son de uso constante en las obras de ingeniería y están representados por las perforadoras de rotación-percusión; las cuales se componen de tres partes principales:

- Fuente de la fuerza.
- Máquina misma.
- Brocas y Barras.

DESCRIPCION DEL MECANISMO DE PERFORAR LA ROCA  
CON EQUIPO.

Sobre la roca se recibe un golpe con la broca que trabaja como un cincel, produciendo un pequeño esquirlado de la misma, la rotación produce este golpe de cincel a distancias pequeñas que hacen que en cada vuelta completa se rompa una capa de roca igual al de la profundidad que logra la broca por golpe; los polvos y esquirlas del barreno se extraen por medio de un soplado que se logra a lo largo de la barra que tiene una perforación para este objeto, en algunas perforadoras en lugar de soplado, se introduce agua a presión.

Las perforadoras usualmente trabajan con energía neumática - por lo que son alimentadas por compresores para aire comprimido.

La tecnología, siempre en busca de reducir el costo, ha desarrollado nuevas perforadoras que son alimentadas hidráulicamente, lográndose con éstas una velocidad de trabajo muy superior a las primeras, pues dependiendo de la dureza de la roca, con las perforadoras alimentadas por aire, se ha logrado una velocidad de perforación de 5 a 10 m/h mientras que las perforadoras con alimentación hidráulica han triplicado esta velocidad.

La velocidad de perforación es importante en la excavación de túneles, pues el avance depende del tiempo de ciclo de trabajo.

#### MAQUINAS ALIMENTADORAS (FUENTE DE ENERGIA DE LAS PERFORADORAS)

COMPRESORES.- Son máquinas diseñadas para producir y almacenar aire a presión, se fabrican en diferentes capacidades, - indicándose éstas en pies cúbicos por minutos (p.c.m.), su selección está en función del consumo que se requiera para la o las perforadoras que se quiera alimentar.

## MAQUINAS PERFORADORAS ALIMENTADAS POR AIRE COMPRIMIDO

En estas máquinas la percusión se obtiene por medio de un pistón o martillo que golpea la barra de perforación a través de un yunque, el movimiento es recíprocamente o lo obtiene por medio de una válvula auto-actuante que admite el aire comprimido en el momento adecuado, primero en un extremo del cilindro y luego en el otro. La rotación de la barra se logra mediante un mecanismo interno que hace girar el portabarra, el cual arrastra consigo en un giro a la barra de perforación que se encuentre montada por el zanco.

## MAQUINAS PERFORADORAS ALIMENTADAS POR MEDIO HIDRAULICO

En estas máquinas se usa aceite en vez de aire comprimido para impartir la energía a las perforadoras, con ello se varía la presión, la energía por golpe, la frecuencia de golpes y la potencia. La mecánica de percusión a la roca es la misma que la de las anteriores.

La fuente primaria de energía para perforadoras hidráulicas es normalmente la energía eléctrica.

Otra ventaja de las perforadoras hidráulicas además de la velocidad de penetración es que necesita menor energía de lo que necesita una perforadora neumática de igual rendimiento.

Y aunque no se nota esta última ventaja, es más barata la --  
distribución de energía eléctrica que distribuir aire compri-  
mido.

Y ya que señalamos las ventajas, actualmente por ser equipo  
de innovación son muy caras y esa es su desventaja, por lo -  
que para pensar en utilizarlas en alguna obra, deberá de es-  
tudiarse su amortización.



Las máquinas perforadoras las clasificamos de la siguiente manera:

PERFORADORAS DE PERCUSION Y ROTACION	MANUALES	De 25 a 65 lb.; de 3/4" a 1 1/2" de Diámetro, para 4 a 6 m. de profundidad
	MONTADAS	De columna sobre llantas neumáticas; de 1 1/2" a 3" Diam., hasta 8 m. de profundidad. "WAGON DRILL".  De columna sobre orugas; de 2 1/2" a 4 1/2" de Diam., hasta 12 m. de profundidad "TRACK DRILL".  Manuales y de columnas montadas sobre jumbos o estructuras; éstas pueden ser integradas a la estructura o no.

A continuación presentamos figuras de algunas perforadoras utilizadas en la barrenación de túneles.

Fig. IV.10.- Jumbo con 4 brazos.

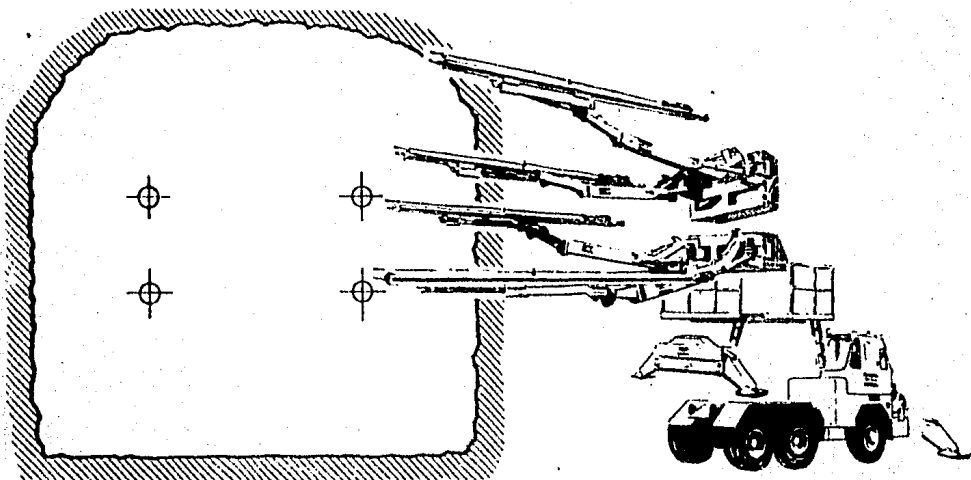
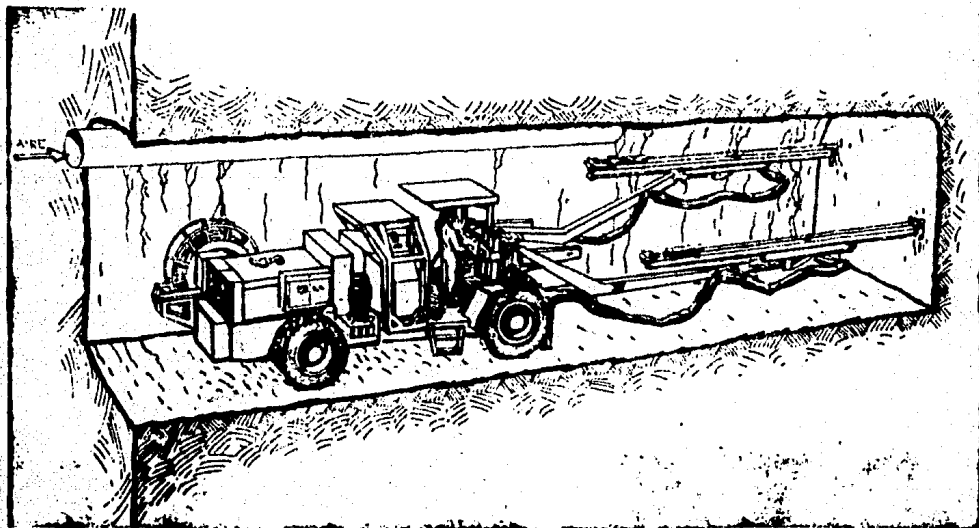


Fig. IV.11.- Perforadora Hidráulica de Atlas Copco.



Boomer M 221 con dos BUT 10 GHH.

## BARRAS Y BROCAS

En las perforadoras de mano casi siempre se usan barras de perforación cuyo extremo cortante tiene una inserción de carburo de tungsteno lo que las hacen más durables.

Mientras que las perforadoras de mayor peso que dan mayores diámetros, trabajan con barras de acero de extensión, en cuyo extremo final se acopla la broca cuyo filo cortador es también de carburo de tungsteno, casi siempre tiene la forma de cruz o de "X", su aplicación es variable en función del tipo de roca y de la profundidad del terreno.

Fig. IV.12.- Diferentes tipos de brocas y barrenos.



Perforación de barrenos largos

R32 y R32L (32 mm, cuerda sogá)

Barras de extensión

(Carburizadas, redondas o hexagonales)

Adaptador No.

1220 mm 1830 mm  
(4pies) (6 pies)  
7803-4200-30

Brocas

- Tipo de plaquitas

48-64 mm  
(1 7/8" - 2 1/2")  
51-64 mm  
(2" - 2 1/2")

- Tipo de botones



**Perforación en galerías y túneles**

R38L (38mm ligera = 32 mm acero)

Barras de extensión R38L  
(carburiadas, hexagonales)

- Cuerda sencilla

- Cuerda tandem

Adaptador No.

Brocas (R32)

- Tipo de plaquitas

- Tipo de botones

3090 - 5525 mm  
(10 pies - 18 pies)

3090 - 5525 mm  
(10 pies - 18 pies)

7804-4200-3-

41-51 mm  
(1 5/8" - 2")

45-51 mm  
(1 3/4" - 2")



**Perforación a cielo abierto**

R32 (32 mm, cuerda sogá)

Barras de extensión  
(AF-endurecidas, redondas)

Adaptador No.

Brocas

- Tipo de Plaquitas

- Tipo de botones

2435-3660 mm  
(8 pies-12 pies)  
7803-4200-30

48 - 76 mm  
(1 7/8" - 3")

51 - 64 mm  
(2" - 2 1/2")

T38 (38 mm, cuerda T)

Barras de extensión  
(carburizadas, o endurecidas  
AF redondas)

- Cuerda sencilla

2435 - 3660 mm

(8 pies - 12 pies)

- Cuerda tandem

1050 mm 3660 mm

(10 pies) (12 pies)

7304-4200-30

Adaptador No.

Brocas

- De plaquita o botones

64-89 mm

(2 1/2" - 3 1/2")

## b) EQUIPO DE CARGA

Para la carga es necesario contar con un equipo ágil y adecuado a las condiciones del túnel. Esta operación se lleva a cabo con mano de obra, con traillas, con palas cargadoras, con cargadoras Joy o con cargadores frontales.

El escombrado a mano está limitado a túneles muy pequeños.

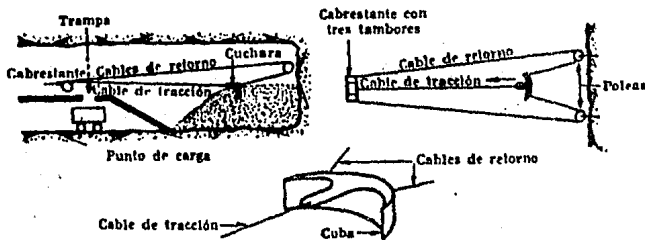
## TRAILLA

La trailla es una cuba rascadora accionada por un cubrestante con tres tambores y tres cables, uno de tracción y dos de retorno, que pasan sobre poleas unidas a cuñas fijadas en el frente de ataque. Con los cables de retorno se pone en posición la cuba sobre los escombros, accionándose después el cable de tracción; la cuba empuja ante ella y a los escombros haciéndolos subir por una rampa que constituye el punto de carga y vertiéndolos en una vagoneta.

Este equipo puede desplazarse a medida que avanza el trabajo o retirarse durante las operaciones de barrenación y de trocado. Su potencia está comprendida entre 5 y 125 CV.

La producción de una trailla de 125 CV alcanza en ciertos casos hasta 500 ton/turno.

Fig. IV.13.- Trailla



#### PALAS CARGADORAS O REZAGADORAS

La verdadera máquina de carga de los escombros en túneles de sección pequeña es sin duda la pala cargadora. Sus dimensiones son reducidas en anchura y altura, carga los escombros ante sí y descombrándolos por detrás a las vagonetas en un movimiento basculante, por lo que la pala no tiene movimiento de rotación lateral que sería imposible dada la estrechez de las galerías. Sin embargo, puede orientarse a derecha e izquierda para servir mejor el frente de los escombros.

Las palas pueden ser de accionamiento eléctrico, o por aire comprimido. Se desplazan sobre carriles (vías de 60 a 100 cm de separación) o sobre orugas. En el caso de las palas que se desplazan sobre carriles, se les engancha en la parte frontal del primer tren de vagonetas que se hace avanzar hacia el frente de ataque, después del final de la ventilación y se les retira con el último tren.

Palas Eimco.- Estas se caracterizan por ser de carga directa, pueden ser ligeras o pesadas, las primeras nos permiten trabajar en túneles de menos de  $15 \text{ m}^2$ , pueden ser eléctricas o de aire comprimido. El útil de carga es un cangilón que bascula hacia atrás.

Fig. IV.14.- Palas Eimco

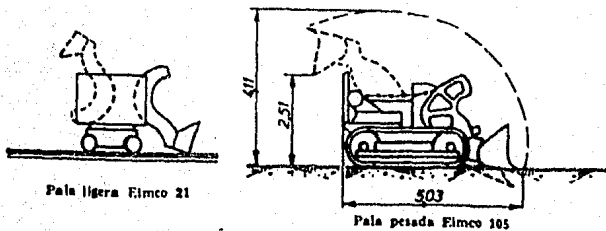


TABLA IV.F.- Características de palas Eimco

Tipo	Clase	Capacidad del cangilón (lit.)	Longitud (cangilón bajado) (m)	Anchura (m)	Altura necesaria (m)	Peso (Kg)	Rendimiento horario medio con materiales disgregados (m <sup>3</sup> )
12 B	Ligera	120-190	1,88	0,71	2,11	1905	8 a 10
21	Ligera	260-300	2,06-2,14	0,85	2,16-2,39	3356	15 a 20
40	Pesada	450	6,31	1,83	2,39	7167	35 a 40
105	Pesada	1140	5,03	2,34	4,115	15700	80 a 100



Palas Conway.- Estas se caracterizan porque su cucharón vierte los escombros sobre un transportador, lo que permite la carga de los vagones largos de gran capacidad; aunque también el útil de carga es un cangilón basculante que está seguido por una vertedera que se levanta con él para alimentar al transportador.

Fig. IV.5.- Pala Conway 100-1

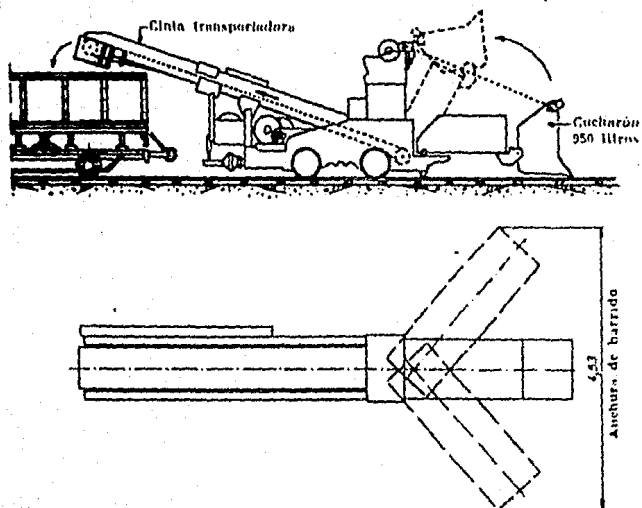


TABLA IV. G. - Características de palas Conway.

Tipo	Clase	Capacidad del Cangilón (lit.)	Longitud cangilón bajado (m)	Anchura (m)	Altura Necesaria (m)	Peso (kg)	Rendimiento horario medio con materiales disgregados (m <sup>3</sup> )
75	Pesada	575	11,25	2,20	3,90	18000	40 a 50
100-1	Pesada	950	11,50	2,20	3,90	23000	130 a 150

## CARGADORAS JOY

Las cargadoras joy, muy empleadas en las minas, especialmente en las de hierro, adecuadas para materiales muy divididos en rocas blandas. Tienen la gran ventaja de poder utilizarse en galerías de pequeña altura; se desplazan sobre orugas, comprenden dos brazos rotativos (patas de alimentación) que, en un movimiento continuo, remueven el escombros dirigiéndolos a un transportador de cinta con listones cuya parte posterior puede elevarse en ángulo de 45° para facilitar la adaptación a galerías no rectilíneas. Estas máquinas vierten, por lo general, sobre las "vagones lanzadera".

Fig. IV.15.- Cargadora Joy

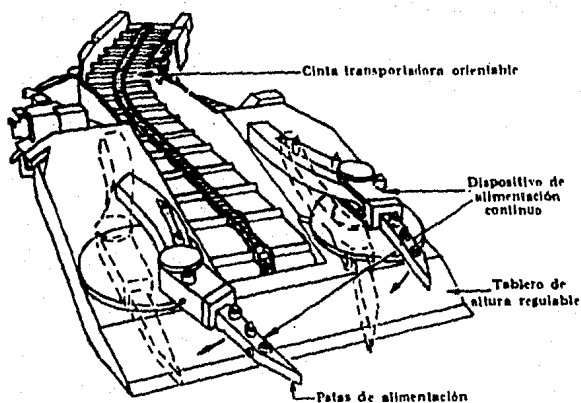


TABLA IV.H.- Características de Cargadoras Joy.

Tipo	Altura Total (m)	Potencia (CV)	Peso (t)
14 BU .....	0,84	65	8,15
18 HR 2....	1,66	110	18,8

#### CARGADORAS FRONTALES

En los grandes túneles en donde no existe problema de espacio, son utilizados los cargadores frontales por su agilidad y versatilidad.

Son clasificados por dos formas:

		Sobre ruedas neumáticas
POR EL TIPO DE TRACCION	<	o
		Sobre carriles
		- Frontal
POR EL TIPO DE DESCARGA DEL CUCHARON	<	- Descarga lateral

La elección por el tipo de tracción, depende del terreno que pisa y del recorrido que hará.

La elección por el tipo de descarga del cucharón, será por el espacio que se tenga en la maniobra de trabajo.

#### PRODUCCION DEL CARGADOR

Todos los cargadores tienen el siguiente ciclo de trabajo

CARGA → GIRO → DESCARGA → GIRO

Donde la producción o rendimiento de un cargador, se calcula multiplicando la cantidad de material que mueve el cucharón en cada ciclo por el número de ciclo/hora.

Cantidad de material que mueve el cucharón "V". - Es la capacidad nominal del cucharón afectado por un factor de carga, el cual depende del tipo de material que se cargue.

Según fabricantes de equipo de carga, el factor de carga es:

MATERIAL DINAMITADO	FACTOR DE CARGA
Bien fragmentado	80 -- 85%
Fragmentación media	75 -- 80%
Mal fragmentado	60 -- 65%

Para obtener el número de ciclo por hora; primero hay que calcular el tiempo por cada ciclo, el cual se ve afectado por el tipo de material, altura de los montones, habilidad del operador, tipo del recipiente en que se cargue, etc. Lo cual nos determina una eficiencia en la operación, según los fabricantes y estadísticas de algunas obras, el tiempo del ciclo básico es del orden de 20 a 25 seg., aumentado el tiempo entre 2 y 5 segundos por los factores anteriormente mencionados.

Así tenemos que:

$$\text{Rendimiento cargador} = (V) \times (\text{ciclos/h}) = V \times \frac{\text{minutos efectuados por hora}}{\text{Tiempo total de un ciclo en minutos}}$$

En la realidad los cargadores de carriles son los que se utilizan en los túneles, y su producción fluctúa entre 30 y 80 m<sup>3</sup>/hora.

Fig. IV.17.- Cargadores:

Frontal y de descarga lateral



## c) EQUIPO DE ACARREO

Las diversas formas de transportar el escombros en un túnel son las siguientes:

- Por vía férrea.
- Por vehículos sobre neumáticos.
- Por cintas o bandas transportadoras.
- Por vía hidráulica.

La elección de la forma adecuada, depende de la sección, longitud y condiciones del túnel. A continuación mencionaremos cómo y con qué elementos se llevan a cabo las soluciones antes descritas.

- Por vía férrea.

En ello se pueden utilizar vías de 60 para secciones inferiores a  $15 \text{ m}^2$ , y vía métrica o normal para secciones

de mayor superficie.

Transporte por vía de 60

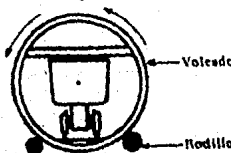
Con la vía de 60, la capacidad de los vagones es de 1 a 2 m<sup>3</sup> para las secciones inferiores a 15 m<sup>2</sup> y del orden de 2 a 3 m<sup>3</sup> para las secciones mayores. De las cuales -- pueden ser:

Vagonetas basculantes de mano

Berlinas metálicas de vuelco automático.- Estas basculan alrededor de un eje, llevan un rodillo de mando que puede subir por un carril de pendiente situado al lado de la vía y que hace bascular la berlina, cuya puerta lateral se abre mediante un dispositivo especial.

Cuando no se cuenta con berlinas, se utiliza el vaciador de vagones, el cual se compone de un cilindro metálico que gira sobre rodillos adecuados y en el que se mete la vagoneta que se invierte y vacía, volviendo después a su posición inicial. Este dispositivo es lento, ya que las vagonetas se invierten una tras otra.

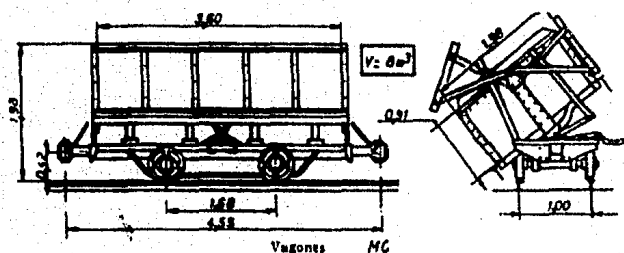
Fig. IV.18.- Vaciador de vagones.



### Transporte por vía métrica o normal

Con la vía métrica, y con mayor razón, con vía normal, pueden utilizarse vagones de capacidad mucho mayor, salvo en la forma que a veces debe adaptarse al perfil de las galerías, para bascular la vagoneta se utilizan los gatos portátiles de vuelco.

Fig. IV.19.- Vagón en Alzado y con la caja basculando.



En lo que se refiere a las máquinas de tracción podemos citar a las locomotoras de vapor, locomotoras de combustión interna, locomotoras de aire comprimido y por último a las locomotoras eléctricas.

Normalmente en túneles se utilizan las locomotoras eléctricas, las cuales son del tipo trole, batería y combinación de las anteriores.



La locomotora tipo batería funciona a partir de un grupo de acumuladores montados directamente sobre la locomotora. Dichos elementos impulsan a la locomotora durante el tiempo de la operación del acarreo, cargándose éstos cuando la energía se haya agotado, por lo que es recomendable proporcionar -- cuando menos dos juegos de acumuladores para que pueda utilizarse un juego mientras se está cargando el otro. (Por lo general el tiempo que tarda en operación un acumulador es de 8 horas).

La capacidad de la locomotora está indicado por su peso, expresado en toneladas. Si tiene la suficiente potencia para patinar las ruedas motrices al estar sobre rieles de acero secos, el máximo esfuerzo de tracción será igual al producto del peso por el coeficiente de tracción entre las ruedas y el riel. Dicho coeficiente fluctúa entre 0.2 y 0.25. Así -- por ejemplo; una locomotora de 8 ton. debe proporcionar un -- esfuerzo de tracción de cuando menos de:

$$Et = 0.2 \times 8000 \text{ kg.} = 1,600 \text{ kg.}$$

Ya teniendo el esfuerzo de tracción disponible, se podrá determinar el número de vagones que se podrán jalar.

Un problema importante es el cambio de trenes de los vacíos y de los llenos tras el aparato de carga, pues las galerías son generalmente estrechas para poder instalar una vía doble.

Se emplean diversas soluciones que tienen por finalidad permitir una sustitución rápida de los vagones vacíos por los llenos, de tal forma que la pala trabaje sin detención.

Cambio de vías californiano.- Es un conjunto simétrico de traviesas y carriles unidos que se coloca sobre la vía central, a lo largo de la que puede desplazarse mediante rodillos. La pala o cargador lo desplaza periódicamente hacia el frente, reitrándolo hacia atrás durante las voladuras y volviéndolo a colocar en posición durante la carga. El tren vacío está sobre una de las vías y el lleno sobre la otra; las vagonetas vacías pasan a la parte delantera, se cargan y se envían hacia atrás después por la otra vía.

Las agujas son automáticas y en los extremos hay pequeñas rampas, de acuerdo móviles. Para evacuar hacia atrás un vagón cuya carga acaba de terminarse, es posible también desenganchar el vagón vacío que está tras él con un cherry-picker, el cual es una estructura aperticada situada sobre la vía y con un cabrestante de aire comprimido; se levanta el vagón vacío para dejar pasar el vagón lleno dejándole de nuevo sobre la vía, pasando a su vez a la etapa de carga.

Fig. IV.20.- Cambio de Agujas Californiano

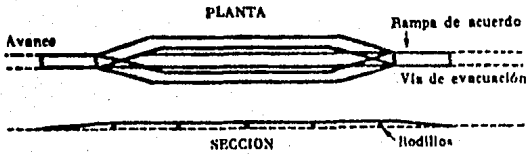
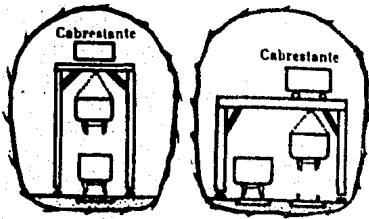
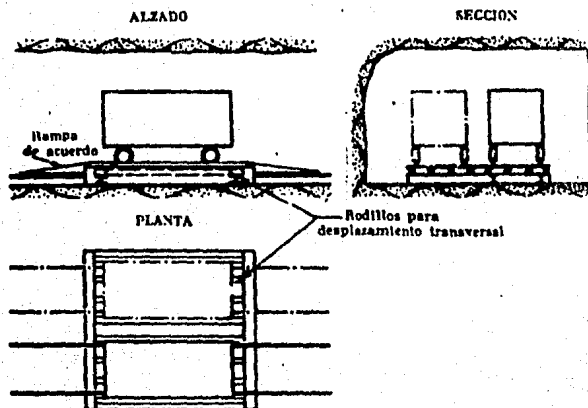


Fig. IV.21.- Cherry-Picker.



Este tipo de dispositivo puede utilizarse también para atender el tajo de carga con una doble vía, realizándose el cambio de las vagonetas vacías y llenas de manera que en lugar de elevar el vagón, es posible, si se tiene espacio suficiente (galibo del túnel), desplazarlo a un lado mediante un puente transversal.

Fig. IV.22.- Puente Transversal para vagones



También puede utilizarse el dixon para cargar trenes enteros sin desenganchar los vagones. Pues la cinta transportadora de la pala vierte los escombros sobre una segunda cinta transportadora soportada por una estructura montada sobre ruedas. Por lo que los vagones del tren que se están llenando pasan debajo de la estructura cargándose en forma continua.

Fig. IV.23.- Dixon

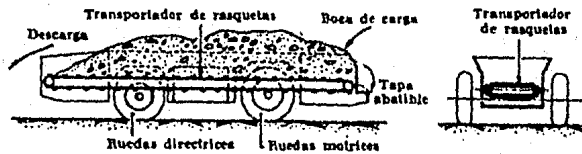


Por vehículos sobre neumáticos.

En el caso del transporte por máquinas sobre neumáticos, se pueden utilizar desde carretillas lanzadera, dumpers, hasta camiones de gran capacidad.

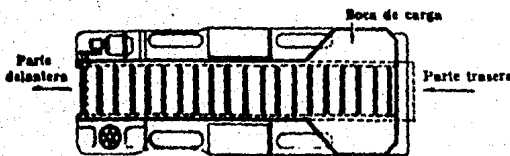
Las carretillas lanzadera se utilizan especialmente en las minas; son camiones rebajados en los que el fondo de la caja tiene un transportador de listones que permite la carga por un extremo y la descarga por el otro. Generalmente de carga mediante las cargadoras Joy, de las que hemos hablado antes.

Fig. IV.24.- Carretilla Lanzadera



SECCION POR EL EJE DEL TRANSPORTADOR DE RASQUETAS

SECCION



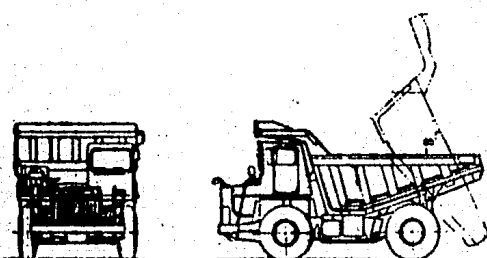
VISTA EN PLANTA

Los dumpers se utilizan en secciones pequeñas y medias.

Los camiones volteo son los más empleados cuando se tienen grandes secciones de túnel.

Muy importante es que se debe tomar en consideración el sistema de extracción del óxido de carbono desprendido por el escape de las máquinas con motor diesel o gasolina. En otras palabras, tener un buen sistema de ventilación

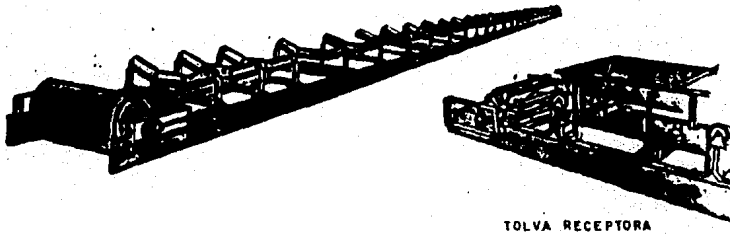
Fig. IV.25 Dumper



Por cintas o bandas transportadoras.

Estas son cintas transportadoras soportadas por una estructura especial accionada generalmente por motores eléctricos en cada tramo.

Fig. IV.26.- Transportadores.



Por vía hidráulica.

El transporte por vía hidráulica puede utilizarse cuando la naturaleza del material a transportar se presta a la obtención de mezclas concentradas y se dispone de canales y agua necesaria.

d) EQUIPO DE ELEVACION.

Pueden ser torres elevadoras a través de lumbreras auxiliares con malacates capaces de levantar el material de reza-ga.

e) EQUIPO AUXILIAR

Para ventilación:

La ventilación de túneles tiene suma importancia, ya que tiene la finalidad de intercambiar aire contaminado por aire fresco además de sacar gases, vapores y polvos nocivos del túnel para así tener en condiciones adecuadas de trabajo al mismo.

traves del cual se provoca vacío originándose así la evacuación si se requiere obtener una ventilación de alta eficiencia durante la barrenación, el sistema deberá auxiliarse con un ventilador.

Inyección y extracción alternadas.

Este sistema da excelentes resultados, siempre y cuando el período de extracción sea suficiente para tener la seguridad de que todo el aire contaminado sea expulsado fuera del ducto antes de invertir el flujo de extracción a inyección, en este método se requiere de la utilización de ventiladores reversibles y ductos metálicos.

#### CALCULO DEL GASTO DE AIRE

Para la ventilación de los gases, producto de los escapes de motores diesel, el Instituto Sueco de la salud industrial ha publicado un informe que fija los valores recomendados para la contaminación ambiental en los lugares de trabajo subterráneo. Asimismo, la Comisión Sueca para la Protección de los Trabajadores, emitió una publicación en 1969, la cual incluye un método para calcular el gasto de aire requerido en la ventilación de túneles.

Valores y métodos recomendados.- Para la concentración de los gases de escape de motores diesel deberá suministrarse un gasto de aire de  $1500 \text{ m}^3/\text{hora}$  por cada kg. de combustible consumido.



## SELECCION DEL SISTEMA DE DUCTOS Y VENTILADORES

La velocidad del aire en los ductos deberá ser entre 12 y 20 M/S, considerando e incrementando además las pérdidas por fricción.

Si se utiliza tela plastificada deberá cuidarse que el sistema de ductos esté adecuadamente tendido y que los codos y conexiones sean de lámina y tengan baja resistencia al rozamiento.

## EQUIPO CONVENIENTE

El ventilador conveniente para la ventilación es el axial de dos etapas o posiciones, el cual proporciona alta presión y permite el control sencillo del flujo de aire, gracias a su característica de dos posiciones, ya que está diseñado para operación reversible, es decir, como inyector y extractor.

Estos ventiladores tienen dos ruedas con motores individuales alojados en un receptáculo cilíndrico. Esto elimina el trabajo que implica el montaje de varias secciones.

Si un solo ventilador no suministra la ventilación requerida pueden instalarse ventiladores en serie, ya sean contiguas o espaciadas.

En túneles muy largos se deben dispensar los ventiladores para evitar la ineficiencia del sistema.

## EVACUACION DE AGUAS

Para la evacuación de aguas, es necesario que en los túneles en construcción se trabaje en seco, por lo cual en los que se construyen en pendiente positiva no se presentan dificultades particulares, si esta pendiente permite la eliminación de aguas hacia la boca del túnel por gravedad a través de cuentas dispuestas para tal fin.

En el caso contrario de ataque en descenso (o contrapendiente) las aguas se concentran en el avance, y es necesaria evacuarlas por bombeo, lo que resulta costoso. Esto por otra parte es fatal si se encuentran bolsas de agua subterránea, que puede sumergir la obra. Esta cuestión de los afloramientos de agua es una de las mayores preocupaciones que se debe tener en cuenta durante la ejecución de los túneles, ya que es difícil hacer una previsión completa. Si bien un estudio de esta naturaleza no tiene un grado de confiabilidad muy elevado, también hay que recalcar que los resultados que arrojan representan una buena base para planear el manejo de las filtraciones en el túnel y su extracción a un lugar adecuado.

Por otra parte, según observaciones en zonas excavadas permite ajustar el análisis, mediante la introducción de parámetros en forma empírica, hasta lograr una precisión razonable.

La obtención de estos parámetros se hace adoptando algunas hipótesis que tienen respaldo estadístico.

Las filtraciones promedio, al iniciar la excavación, medidas en litros/segundos/metros son superiores a las filtraciones promedio cuando ya se tiene una longitud apreciable de túnel excavado.

La variación del flujo de agua en un punto es una curva asintótica, ésto se presentará después de un tiempo razonable y no compatible con la duración de la obra, pudiendose aceptar el volumen constante en base a las hipótesis, se puede seguir el procedimiento siguiente:

Estimar las filtraciones en litros/segundos/metros de acuerdo a la hidrogeología para el túnel.

Hacer aforos inmediatos para tener las reducciones en las aportaciones y comparar con lo supuesto inicialmente. En este punto es conveniente relacionar el avance del frente con el incremento en las filtraciones de manera que el programa de avance esté de acuerdo con una curva de gasto para:

Proponer la localización y capacidad de nuevas galerías de bombeo, incrementando el tamaño y número de cunetas, etc.

Continuar los aforos para ajustar hasta lo posible la curva(s) de gasto mencionada.

La relación de gastos uniforme final a gasto uniforme inicial suele variar entre 0.1 y 0.3 y la de gastos puntual final a gastos puntual inicial entre 0.1 a 0.6.

Una vez mencionada la forma de estimar el agua a evacuar, - siendo el caso más desfavorable cuando hay que utilizar equipo de bombeo, pero que es necesario, por lo cual mencionaremos algunos tipos de bombas comunmente empleadas:

**BOMBAS NEUMATICAS.**- Son de bajo costo, como también de baja carga, son útiles en los frentes de aguas abajo, donde las filtraciones son pequeñas y la presión requerida es como máximo  $6 \text{ kg/cm}^2$ .

**BOMBEO HORIZONTAL.**- Cuando las filtraciones son importantes y se trabaja con frentes de aguas abajo o se necesita hacer un desvío de agua de un dren por alguna razón, el bombeo horizontal es muy recomendable.

**BOMBAS DE POZO PROFUNDO.**- Estas bombas manejan grandes gastos con cargas medias y además alta eficiencia.

Las bombas pueden operarse en serie o en paralelo. Cuando operan en serie, la curva de gastos de operación del conjunto

to, se obtiene sumando las cargas de presión de todas las bombas para cada gasto de funcionamiento y cuando se tienen en paralelo, la curva de gastos de operación se obtiene sumando los gastos correspondientes de todas las bombas para cada carga de funcionamiento. Cuando el túnel es largo, se recomienda proveer estaciones intermedias de bombeo.

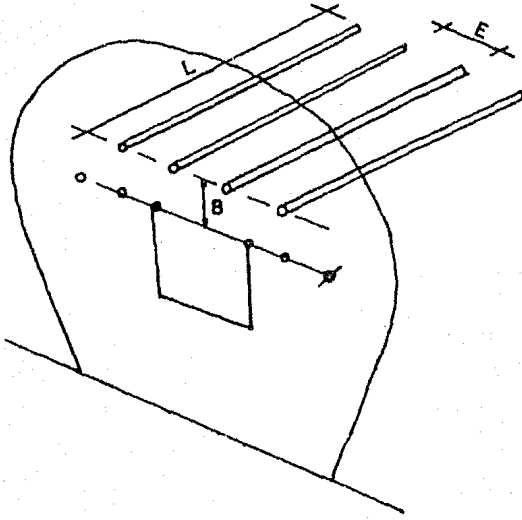
#### G.- DISEÑO DE LA PLANTILLA DE BARRENACION

Para definir el lugar preciso en la sección del túnel donde se harán los agujeros (barrenos), contamos con lo escrito de las experiencias de Ingenieros dedicados a la construcción de túneles y a la minería, además de los datos de los experimentos de las firmas productoras de equipos de barrenación y de explosivos.

Aunque no ha sido aceptada alguna teoría como única, debido a que los datos con los que se cuenta, son memorias de la construcción de las obras que existen; y es imposible que se tenga casos idénticos, ya que influye la geología de la zona, dureza de la roca, calidad de la misma, magnitud de la obra, etc. Son utilizadas como base para iniciar las obras, ajustándose los cálculos al avance y a las condiciones de la misma.

A continuación, ilustraremos las diferentes hileras de barrenos que se tiene en una plantilla de barrenación en la sección de un túnel, cuyo nombre va de acuerdo a la direc-

Fig. IV.28.- Sección del túnel ilustrando conceptos.



- (Ø) Diámetro del barreno
- (L) Longitud o profundidad de barrenación.
- (B) Bordo libre; distancia que existe entre líneas de barrenos
- (E) Espaciamiento; distancia de la separación entre barrenos

a) CALCULO DE (B)

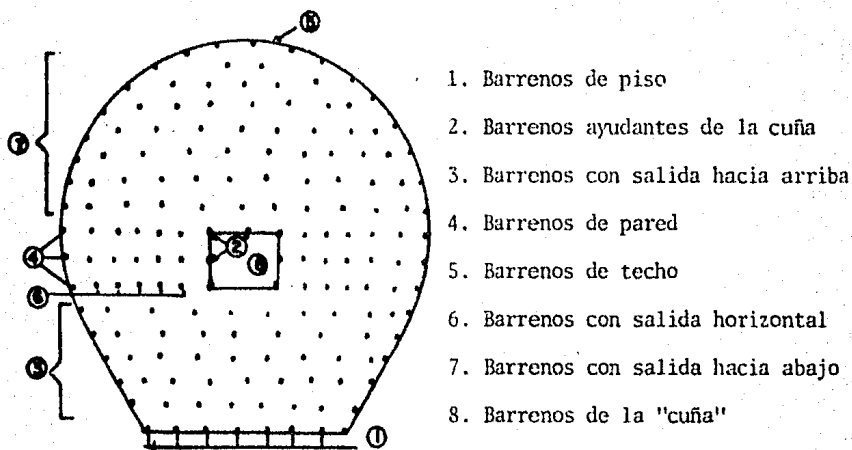
Cuando se utilice las siguientes fórmulas:

$$B_{\text{máx}} = \frac{L - 0.40}{2}$$

$$B_{\text{máx}} = 45 \varnothing$$

ción con que empuja al material y su posición.

Fig. IV.27.- Hileras de barrenos



Antes de mencionar cuáles son las tablas y fórmulas de cálculo más utilizadas en el diseño de la plantilla de barrenación, definamos los siguientes conceptos.



Se aplicará un factor de reducción para definir el bordo libre de diseño. Y para cada línea de barrenos es:

TABLA IV.0

<u>Para barrenos</u>	<u>Considerar</u>
de piso	0.70 B máx.
de salida hacia arriba	0.80 "
de pared	0.90 "
de salida horizontal	0.90 "
de techo	0.65 "
de salida hacia abajo	0.90 "

b) CALCULO DE (E)

Está definido por:  $E = 1.10 B$

También en el diseño de las plantillas son utilizadas las siguientes tablas de datos, productos de resultados prácticos.

TABLA IV.1.- Datos para barrenos de piso

Diámetro del barreno	Profundidad del barreno	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
				Kg.	Kg/m	Kg.	Kg/m	
mm.	M.	M.	M.					M.
33	1.6	0.60	0.70	0.60	1.10	0.70	0.75	0.10
32	2.4	0.90	1.00	0.80	1.00	1.00	0.70	0.20
31	3.2	0.90	0.95	1.00	0.95	1.30	0.65	0.20
38	2.4	1.00	1.10	1.15	1.44	1.40	1.00	0.20
37	3.2	1.00	1.10	1.50	1.36	1.80	0.95	0.20
45	3.2	1.15	1.25	2.25	2.03	2.60	1.40	0.25
48	3.2	1.20	1.30	2.50	2.30	3.00	1.60	0.25
48	4.0	1.20	1.30	3.00	2.30	4.25	1.60	0.25
51	3.2	1.25	1.35	2.70	2.60	3.20	1.80	0.25
51	4.0	1.25	1.35	3.40	2.60	4.75	1.80	0.25

TABLA IV.J.- Datos para barrenos con salida por arriba u horizontal

Diámetro del barreno	Profundidad del barreno	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
				Kg.	Kg/m	Kg.	Kg/m	
mm.	M.	M.	M.					M.
33	1.6	0.60	0.70	0.60	1.10	0.30	0.40	0.30
32	2.4	0.90	1.00	0.80	1.00	0.55	0.50	0.40
31	3.2	0.90	0.95	1.00	0.95	0.85	0.50	0.45
38	2.4	1.00	1.10	1.15	1.41	0.80	0.70	0.50
37	3.2	1.00	1.10	1.50	1.36	1.15	0.70	0.50
45	3.2	1.15	1.25	2.25	2.03	1.50	1.00	0.55
48	3.2	1.20	1.30	2.50	2.30	1.70	1.15	0.60
48	4.0	1.20	1.30	3.00	2.50	2.45	1.15	0.60
51	3.2	1.25	1.35	2.50	2.60	1.95	1.30	0.60
51	4.0	1.25	1.53	3.40	2.60	2.70	1.30	0.60

TABLA IV.K.- Datos para barrenos de pared

Diámetro del barreno	Profundi- dad del barreno	Bordo	Espacia- miento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
				Kg.	Kg/m	Kg.	Kg/m	
mm.	M.	M.	M.					M.
33	1.6	0.55	0.65	0.30	1.10	0.45	0.45	0.30
32	2.4	0.80	0.95	0.40	1.00	0.65	0.40	0.40
51	3.2	0.80	0.95	0.50	0.90	0.90	0.40	0.40
38	2.4	0.90	1.10	0.60	1.44	0.85	0.60	0.45
37	3.2	0.90	1.10	0.75	1.36	1.20	0.55	0.45
45	3.2	1.00	1.20	1.10	2.03	1.80	0.80	0.50
48	3.2	1.10	1.30	1.20	2.30	2.00	0.90	0.55
48	4.0	1.10	1.30	1.50	2.30	2.50	0.90	0.55
51	3.2	1.15	1.40	1.40	2.60	2.10	1.00	0.60
51	4.0	1.15	1.40	1.70	2.60	2.70	1.00	0.60

TABLA IV.L.- Datos para barrenos con salida hacia abajo

Diámetro del barreno	Profundidad del barreno	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
mm.	M.	M.	M.	kg.	Kg/m.	Kg.	Kg/m	M.
33	1.6	0.60	0.70	0.60	1.10	0.30	0.40	0.30
32	2.4	0.90	1.10	0.80	1.90	0.55	0.50	0.45
31	3.2	0.85	1.10	1.00	0.95	0.85	0.50	0.45
38	2.4	1.00	1.20	1.15	1.44	0.80	0.70	0.50
37	3.2	1.00	1.20	1.50	1.36	1.15	0.70	0.50
45	3.2	1.15	1.40	2.25	2.03	1.50	1.25	0.55
48	3.2	1.20	1.45	2.50	2.30	1.70	1.15	0.60
48	4.0	1.20	1.45	3.00	2.30	2.45	1.15	0.60
51	3.2	1.25	1.50	2.50	2.60	1.95	1.30	0.60
51	4.0	1.25	1.50	3.40	2.60	2.70	1.30	0.60

En túneles mayores de  $70m^2$  es posible aumentar bordo y espaciamiento hasta los datos para banquito.

TABLA IV.M. - Datos para barrenos de techo

Diámetro del barreno	Profundi- dad del barreno	Bordo	Espacia- miento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
				kg.	kg/m	kg.	kg/m	
mm.	M.	M.	M.					M
33	1.6	0.55	0.65	0.30	1.10	0.35	0.35	0.30
32	2.4	0.80	0.95	0.40	1.00	0.50	0.30	0.40
31	3.2	0.80	0.95	0.50	0.95	0.70	0.30	0.40
38	2.1	0.90	1.10	0.60	1.44	0.70	0.45	0.45
37	3.2	0.90	1.10	0.75	1.36	0.90	0.40	0.45
45	3.2	1.00	1.20	1.10	2.03	1.30	0.60	0.50
48	3.2	1.10	1.30	1.20	2.30	1.45	0.70	0.55
48	4.0	1.10	1.30	1.50	1.30	1.95	0.90	0.55
51	3.2	1.15	1.40	1.40	2.60	1.10	0.80	0.60
51	4.0	1.15	1.40	1.70	2.60	2.25	0.80	0.60

### c) DISEÑO DE LA CUÑA

Este cálculo está sujeto al tipo de cuña que se elija, las cuales se les hizo mención en el capítulo

Este tema es tan amplio, que solo haremos el análisis del cálculo para el diseño de la cuña del tipo BARRENOS PARALELOS.

#### CUÑA DE BARRENOS PARALELOS

Como su nombre lo indica, esta cuña se forma por una serie de barrenos paralelos entre sí y perpendiculares al frente del tanque. El fundamento de esta cuña consiste en efectuar disparos consecutivos a partir del primer barreno que tiene como frente libre los dos barrenos de alivio - tanto éstos como los subsecuentes en la cuña requieren precisión en la barrenación.

La relación entre bordo libre de la roca delante del o los barrenos de carga y el diámetro "D" de los barrenos de alivio es muy importante para el éxito de la detonación de una cuña de barrenos paralelos; en relación mencionada anteriormente se ha obtenido de manera empírica con la experiencia de varios años de la manera siguiente:

- Cuando se tiene un solo barreno de alivio.

$B = 0.7D$  (del barreno grande)

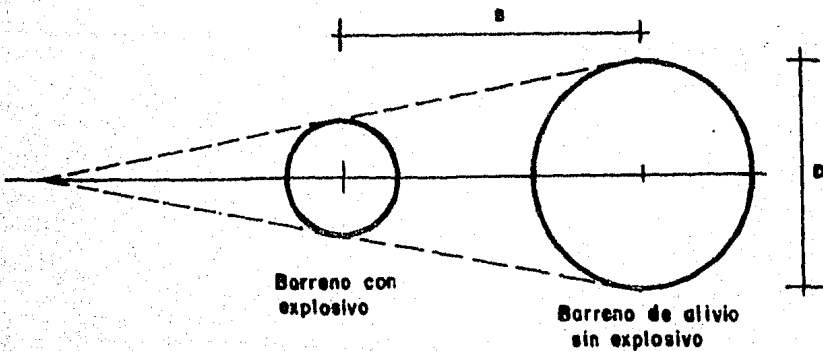
- En caso de que se tengan dos barrenos de alivio, la relación anterior se modifica y queda de la siguiente manera:

$$B=0.7 \times 2 D$$

D= Diámetro del barreno grande.

La cantidad de energía explosiva por metro de barreno es también de importancia en la detonación del primer barreno cuando se tiene una cuña de barrenos paralelos. Si la cantidad de energía es baja, la red de superficies de fracturas no se logra aflojar, en caso de que la carga sea excesiva, la roca circundante al barreno se hará polvo y la cuña fallara por congelamiento.

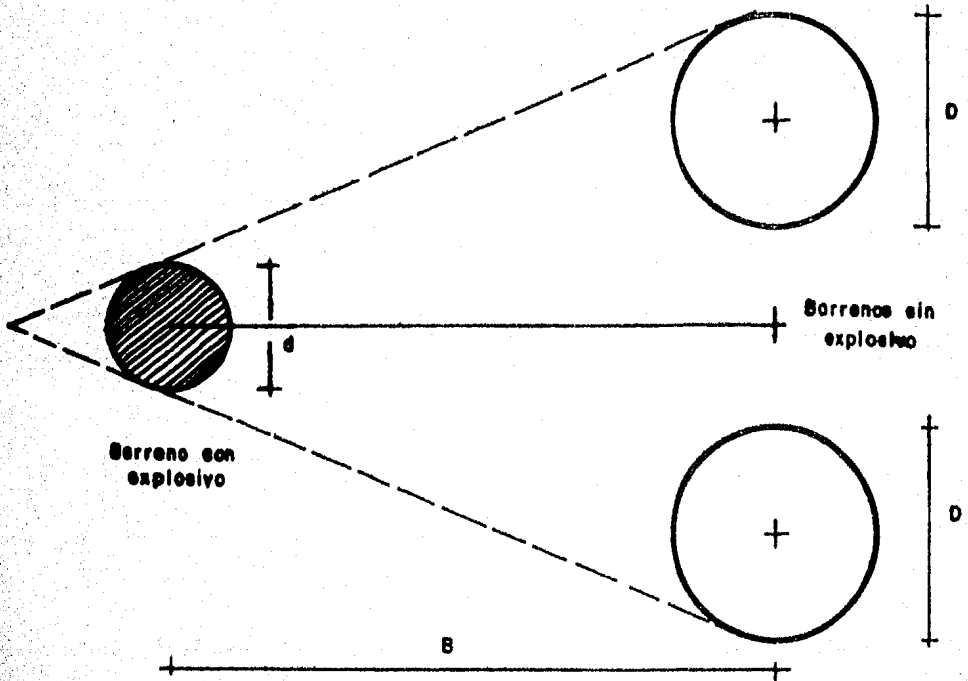
Fig. IV.29.- Relación adecuada existente entre bordo libre y diámetro de un barreno de alivio.



Para este caso, la relación entre B y D es:  $B=0.7D$



Fig. 1V.30.- Relación adecuada existente entre bordo libre y diámetro de dos barrenos de alivio



$$B = 0.7 \times 2 \times D$$

Para las separaciones de los barrenos subsiguientes de la cuña, utilizamos las siguientes fórmulas:

$V$  = Distancia de centro a centro

$B = 2 V$

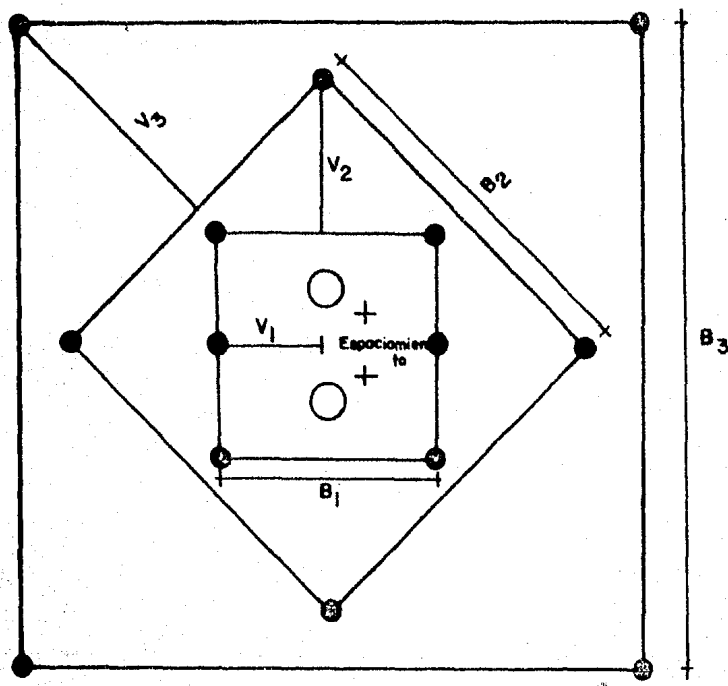
$V = 0.70 B$

$B = 2(V_1 + V_2)^2$

$V = 0.70 B$

donde:

Fig. IV.31.- Separación de los barrenos subsiguientes de la cuña.



NOTA: Es importante hacer notar que para llevar a cabo la perforación de barrenos que están demasiado juntos, es necesario elaborar una plantilla metálica que sirva de guía a las barras perforadoras.

CAPITULO V

COMPARACION DE RESULTADOS DE DOS  
ALTERNATIVAS EN FUNCION DEL COSTO.

COMPARACION DE RESULTADOS DE DOS ALTERNATIVAS  
EN FUNCION DEL COSTO

- 1.- Memoria de cálculo.
- 2.- Análisis del presupuesto.
- 3.- Comparación de resultados

1.- MEMORIA DE CALCULO

A.- DIAGRAMA DE BARRENACION.

- a) Definición de los bordos libres de cada línea de barrenos y la separación entre los mismos.

Para nuestro ejemplo, por recomendaciones de personas que se dedican a la excavación de túneles en roca, utilizaremos las siguientes fórmulas:

$$B_{max.} = (L - 0.40) / 2$$

E = 1.1B a considerar

B<sub>max.</sub> = Bordo libre máximo (m)

L = Longitud de barreno (m)

B a considerar = Bordo libre al cual ya se le aplicó un factor

E = Espaciamiento entre barrenos.

Considerando que L = 3.20 m, al sustituir tenemos :

$$B_{max.} = 3.20 - 0.40 / 2 = 1.40 \text{ m.}$$

Y para definir el B a considerar, nos sujetaremos a la tabla IV.0 el cual como ya lo comentamos anteriormente, para cada línea de barrenos, el valor de su B está en función de un factor de Bmax.; y que es el siguiente:

TABLA V.A.- Bordos libres para diferentes tipos de barrenos

TIPO DE BARRENO	FACTOR	Bmax	B a considerar
De piso	0.75	1.40	1.05
Salida hacia arriba	0.80	"	1.12
de pared	0.90	"	1.26
salida horizontal	0.90	"	1.26
de techo	0.65	"	0.91
salida hacia abajo	0.90	"	1.26

#### b) LA CUÑA Y SUS AYUDANTES.

Como cuñas de alivio utilizaremos dos barrenos de alivio con diámetro  $D=76$  mm., de acuerdo con los datos de la tabla, para dos barrenos de alivio, la separación de los mismos es de 16 cms.

La cuña se inicia con 6 barrenos, por facilidad nosotros utilizaremos una distancia de 15 cms. centro a centro, por lo cual:

$$V_1=15 \text{ cms.}$$

TABLA V.A'.- Datos para la cuña

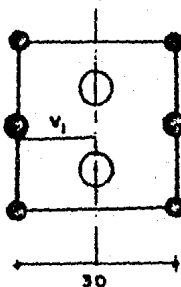
BORDOS PARA CALCULO DE CUÑAS			
Diámetro Barreno Grande	Diámetro Barrenos Pequeños	Bordo	Distancia Centro a Centro
mm.	mm.	mm.	mm
57	32	40	85
76	32	53	107
76	45	53	113
2 x 57	32	80	125
2 x 57	45	80	131
2 x 76	32	106	160
2 x 76	45	106	167
100	45	70	143
100	51	70	146
125	51	88	176

Entonces según la ecuación (a)

Las ecuaciones en referencia son las del capítulo IV.G

$$B1 = 2V1 = 2 \times 15 \text{ cms.} = 30 \text{ cms.}$$

Fig. V.1.- Barrenos de alivio y Primeros ayudantes.



El bordo libre para la siguiente fase V2 es según la ecuación (b)

$$V2 = 0.7 \times B1 = 0.7 \times 30 \text{ cms.} = 21 \text{ cms.}$$

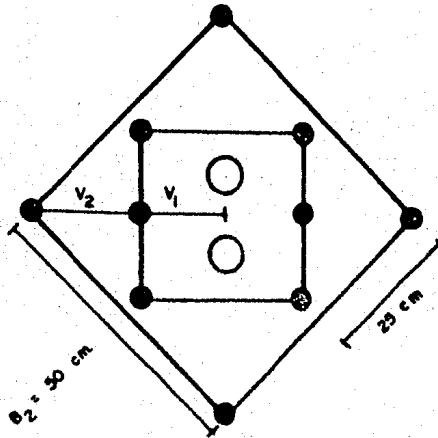
El ancho de la cuña es entonces B2 y se utiliza la ecuación

(c)

$$B2 = \sqrt{2(V1 + V2)^2} = 2(15 + 21)^2 = 51 \text{ cm}$$

Nosotros utilizaremos  $B2 = 50 \text{ cms.}$

Fig. V.2.- Barrenos con primeros y segundos ayudantes



El bordo libre para los terceros ayudantes es:

$$V3 = 0.7 \times 50 = 26 \text{ cms.}$$

Para obtener el ancho de la plantilla para esta etapa necesitamos tener la distancia del centro a uno de los lados de la plantilla de la cuña anterior.

En nuestro caso, la plantilla anterior mide:

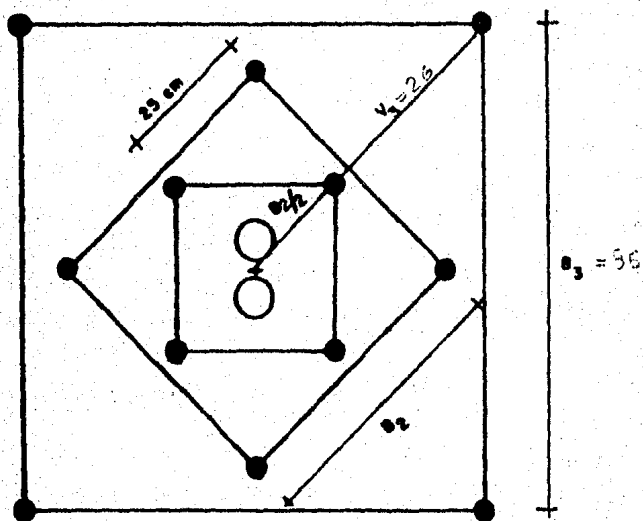
$$B2 \text{ POR LO TANTO } \frac{B2}{2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ cms.}$$

Entonces

$$B3 = (25 + 36)^2 \times 2 = 86 \text{ cms.}$$



Fig. V.3.- Primeros, segundos y terceros ayudantes





Finalmente:

$$V4 = 0.7 \times B3 = 0.7 \times 86 = 60 \text{ cms.}$$

Consecuentemente:

$$B4 = (43 + 60)^2 \times 2 = 146 \text{ cms.}$$

$$\frac{B3}{2} + \frac{86}{2} = 43$$

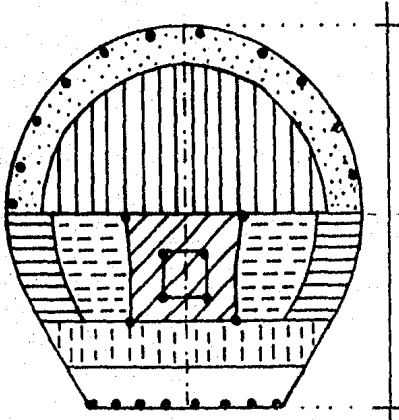
c) REPRESENTACION COMO PLANTILLA EN NUESTRA SECCION.

Una vez hechos los cálculos anteriores, se procede a re-presentarlos como plantilla de barrenación en nuestra sección. Para lo cual nos ajustaremos al siguiente orden:

Como primer paso referimos nuestra sección con unos ejes coordenados, con centro al centro de la sección.

Se elige la secuencia de cálculo y se definen las líneas de barrenación como sigue:

Fig. V.5.- Líneas de Barrenos.



- 1.- Línea de barrenos de piso
- 2.- Barrenos ayudantes de la cuña
- 3.- Línea de barrenos con salida hacia arriba
- 4.- Línea de barrenos de pared
- 5.- Línea de barrenos de techo
- 6.- Línea de barrenos con salida horizontal
- 7.- Línea de barrenos con salida hacia abajo



Se procede a ajustar los resultados de la tabla siguiendo la secuencia anterior:

#### BARRENOS DE PISO

- Bordo libre real:

Debido a que los barrenos de piso llevan una inclinación por la dificultad de que se tiene para perforarse horizontalmente, le restamos al bordo 0.45 m, quedándonos un bordo de  $1.05 - 0.45 = 0.70$  m.

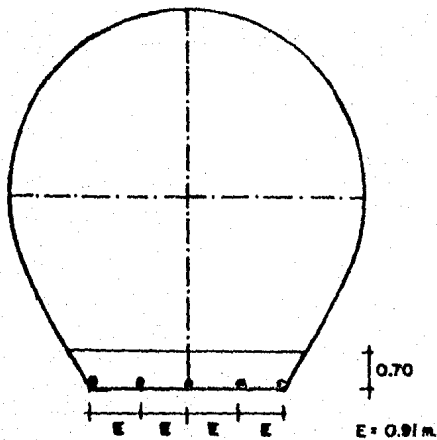
- Separación real entre barrenos.

Ancho del túnel en esta sección = 3.64 m.

Separación calculada = 1.16 m.

Espacios necesarios =  $3.64/1.16 = 3.14$  m; por lo cual consideramos 4 espacios de 0.91 m y 5 barrenos.

Fig. V.6.- Barrenos de piso.



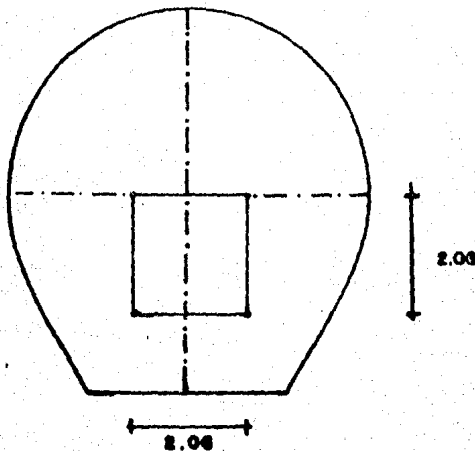
### BARRENOS AYUDANTES DE LA CUÑA

La situación de la cuña así como de sus dimensiones, está dado en función del tipo de la roca, lanzado de la misma y de lo práctico que es llevarla a cabo para la sección de herradura es recomendable colocarla abajo de la línea horizontal y al centro de la sección.

El área que ocupan la cuña y sus ayudantes obtenida anteriormente fue de 2.06 m por 2.06 m, pero esta dimensión se ajustará al cálculo que se haga a los barrenos con salida horizontal y hacia arriba.

A continuación dibujaremos la cuña con las dimensiones obtenidas en el cálculo.

Fig. V.7.- Barrenos ayudantes de la cuña.



## BARRENOS CON SALIDA HACIA ARRIBA

- Bordo libre real

Bordo libre calculado: 1.12 m.

Distancia del centro (eje horizontal) al límite del bordo libre de los barrenos de piso es de 2.85 m., descontando la altura de la zona de los ayudantes de la cuña que es de 2.06 m nos quedaría un bordo libre de 0,79 m, pero no es práctico dar diferentes separaciones a las líneas de barrenos horizontales ya que se tiene dificultad para el trazo, por lo cual uniformizaremos dichas dimensiones de la siguiente manera:

Si dividimos 2.85 m. entre tres bordos (dos de la cuña y uno que tenemos) nos quedarían de 0.95 m cada bordo.

NOTA: Esto corrige el área de los ayudantes de la cuña, ya que  $2 \times 0.95 = 1.90$  m., en lugar de 2.06 m. que tenía anteriormente.

- Separación real entre barrenos.

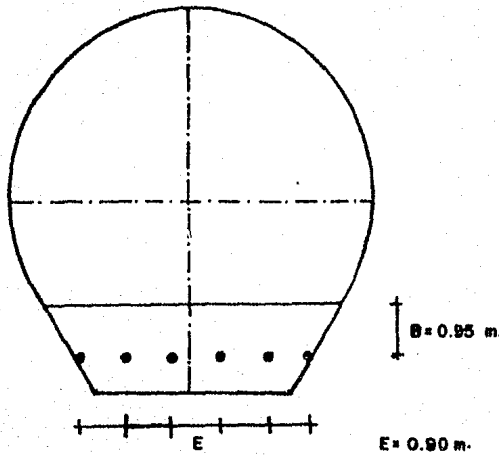
Se obtuvo anteriormente sólo un bordo libre lo cual implica una línea de barrenos.

Ancho del túnel en esta sección = 4.50 m.

Separación calculada = 1.23 m., ésto nos da 4 espacios, pero según la mecánica de ruptura de la roca, los barrenos deben ir alternados por lo cual incrementaremos un espacio, entonces:

$$4.5/5 = 0.90 \text{ m.}$$

Fig. V.8.- Barrenos con salida hacia arriba



#### BARRENOS DE PARED

Aquí sucede que las líneas de barrenos son verticales.

- Bordo libre real:

Bordo libre calculado: 1.26 m.



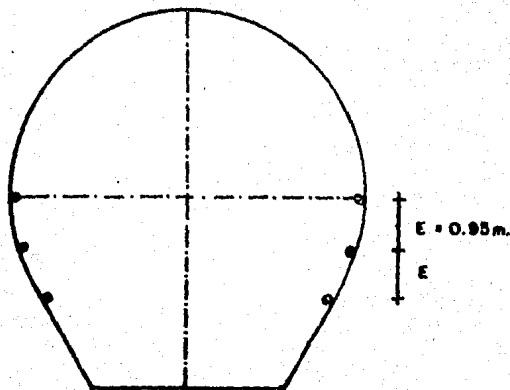
El bordo libre real quedará sujeto al bordo de los barrenos con salida horizontal, así como a la distancia existente entre los ayudantes de la cuña y la pared (véase barrenos con salida horizontal).

- Separación real entre barrenos:

Separación calculada 1.39.

La longitud de la línea de los barrenos de pared será la proyección de los ayudantes de la cuña a la pared; en --- barrenos con salida hacia arriba determinamos la altura de ésta y fue de 1.90 m. por lo que se considera que es la longitud de la línea de barrenos de pared; entonces tendremos dos espacios de 0.95 m. y a su vez tres barrenos separados a 0.95 m.

Fig. V.9.- Barrenos de pared.



## BARRENOS DE TECHO

### - Bordo libre real:

Bordo libre calculado - 0.95 m.; pero por estar en el contorno superior del túnel utilizaremos 0.70 m.

### - Separación real entre barrenos:

Separación calculada = 1.00 m.

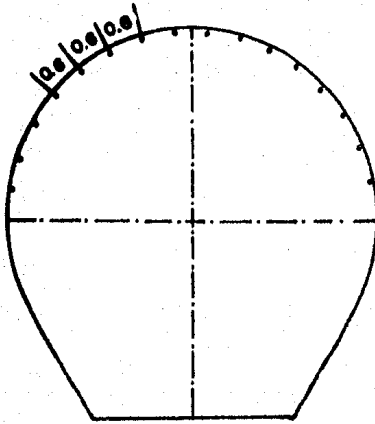
La longitud de la línea de barrenos de techo es

$$l \times d/2 = 10.52 \text{ m.}$$

En estos barrenos se debe tener especial cuidado, ya que se trata de evitar en lo posible hacer daño a la roca, pues si ésta quedara dañada, existirían derrumbes posteriores.

Sustituyendo el valor de  $D=0.37$  mm. del barreno que implica  $s = 0.60$  m. por lo tanto  $10.52/0.60 = 18$  espacios y 19 barrenos separados a 0.60 m (hay que descontar dos barrenos en los extremos que son los de pared).

Fig. V.10.- Barrenos de Techo



#### BARRENOS CON SALIDA HORIZONTAL

- Bordo libre real:

Bordo libre calculado = 1.26 m.

Distancia del centro (línea vertical) al límite del bordo libre de los barrenos de pared = 2.15 m. promedio, si descontamos 1.06 m de los ayudantes de la cuña nos quedaría un bordo de 1.09 m. pero para tener distancias iguales, tomaremos para este caso la distancia del borde de la pared hasta la línea vertical y la dividiremos entre tres, dándonos un bordo de 1.12 m, modificándose así la dimensión de la cuña de 1.06 a 1.12 m.

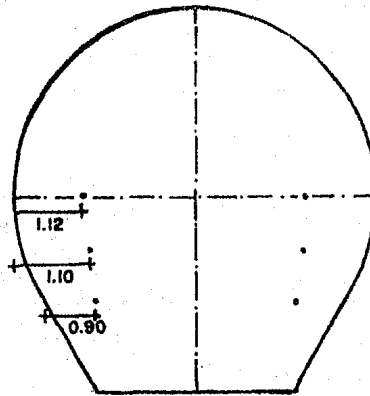
NOTA: Este bordo también corresponde a los barrenos de pared.

- Separación real entre barrenos:

Separación calculada = 1.39 m.

Como se encuentran paralelos a los barrenos de pared así como de los ayudantes de la cuña, se considera una separación igual, entonces colocaremos tres barrenos separados 0.90 m. uno de otro.

Fig. V.11.- Barrenos con salida horizontal



#### BARRENOS CON SALIDA HACIA ABAJO

- Bordo libre real:

Bordo libre calculado = 1.39 m.

Anteriormente se dijo que se debe de tratar diseñar una plantilla de la manera más sencilla posible, por lo que si consideramos la separación entre las líneas de barrenos ho

rizontales iguales a los de salida hacia abajo no existe problema; pero como la distancia de la línea horizontal al límite del bordo libre de los barrenos de techo es de 2.65 m sólo tendremos dos bordos de 0.95 y otro de 0.75 m.

- Separación real entre barrenos.

Separación calculada = 1.39m.

Tenemos tres bordos, entonces tendremos tres líneas de barrenos.

Separación para la primer línea de barrenos:

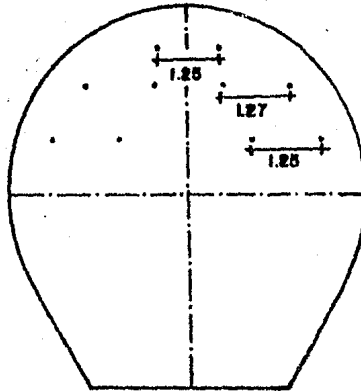
Longitud de línea =  $5.00\text{m}/1.39\text{m} = 3.60\text{m} = 4$  espacios de 1.25 m. y 5 barrenos.

Separación de la línea (línea central)

Longitud de línea =  $3.80\text{ m}/1.39\text{ m} = 2.73 = 3$  espacios de 1.27 m y 4 barrenos.

La línea superior sólo llevará un espacio y éste será de 1.25 m para cubrir así la sección del túnel.

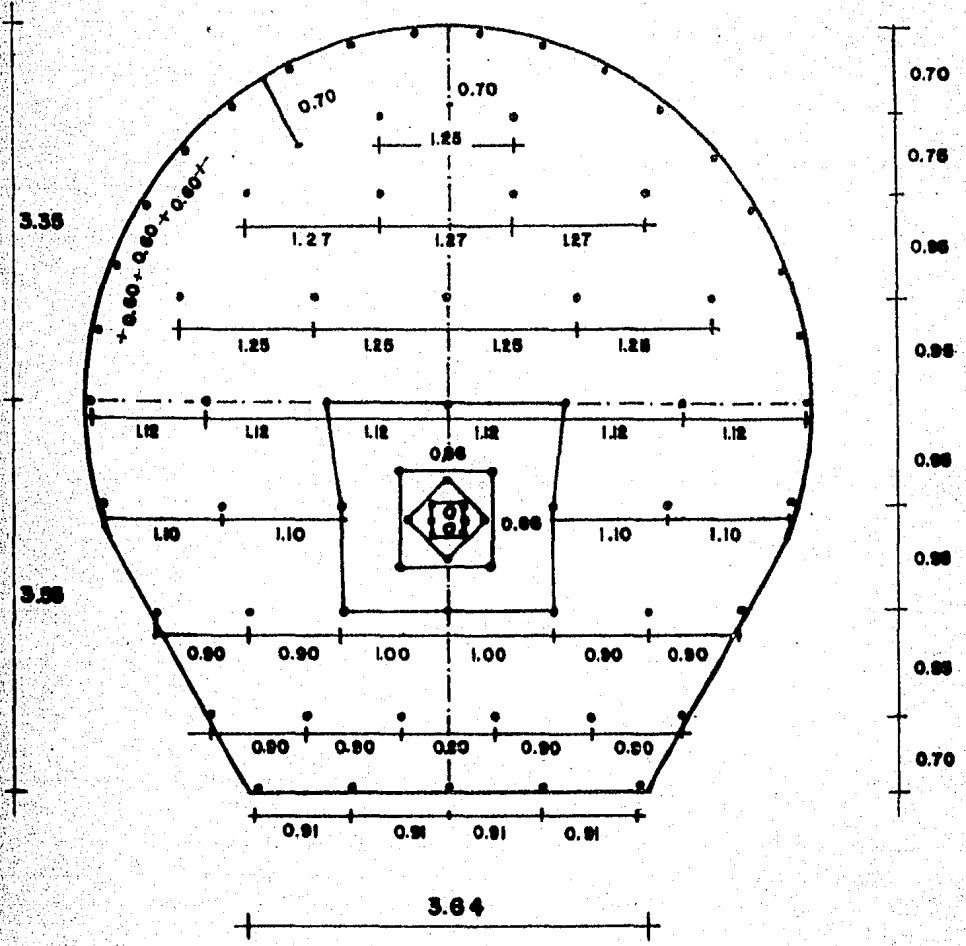
Fig. V.12.- Barrenos con salida hacia abajo.



RESUMEN:

Se presenta en la Fig. V.13, la plantilla de barrenación completa.

Fig.V.13 Planilla de Barrenación



**B. - CALCULO DE LA CARGA DE EXPLOSIVOS.**

Este cálculo está en función de los siguientes factores:

- Forma del túnel
- Características de la roca.
- Número de barrenos
- Diámetro de los barrenos
- Tamaño requerido de la roca fracturada
- Y varios más (tipo de explosivo, etc.)

Para ello los productores de explosivos han desarrollado algunas fórmulas y nomogramas; pero es prácticamente imposible tomar en cuenta con certeza los parámetros anteriores, por lo que no los mencionaremos; y consideraremos como aceptables las tablas de datos de resultados prácticos (X)

Señalando que se utilizarán como base de inicio de obra, ajustándose los valores según los resultados que se obtengan en nuestra obra; así como también para tener idea del volumen explosivo que será requerido.

El tipo de explosivo que utilizaremos para nuestra voladura es el tovox 100 con dimensiones de 1" de diámetro por 8" de longitud: el peso de este explosivo es de 0.200 kg/cartucho.



Es recomendable utilizar un sólo tipo de explosivo en todos los barrenos, pero debe tenerse cuidado al cargar los barrenos de techo para que cuando se lleve a cabo la explosión no se dañe el contorno superior del túnel; los barrenos de techo deben de cumplir con las condiciones siguientes:

Distribución adecuada de los barrenos

Baja concentración de carga

Iniciación simultánea.

La carga de explosivos para nuestra plantilla se muestra en la siguiente tabla.

(X) Estas tablas vienen en el subcapítulo "CALCULO DEL DIAGRAMA (Plantilla de Barrenación)".

TABLA V.B.- CARGA DE LOS BARRENOS

TIPO DE BARRENO	TIPO DE ESTOPIN	NUMERO DE ESTOPINES	NUMERO DE BARRENOS	CARGA (KG) TOVEK 100 1"X8"			CARIUCHOS		SUMA DE CARIUCHOS /BARRENO	CARGA TOTAL kg
				DE FONDO	DE COLUMNA	TOTAL POR BARRENO	CON RETAQUE	CON RETAQUE		
BARRENO DE CUÑA	INSTANTANEO	1	1	0.75	1.00	1.75	1	8	9	1.75
BARRENO DE CUÑA	MS - 50	1	1	0.75	1.00	1.75	1	8	9	1.75
BARRENO DE CUÑA	MS - 100	1	1	0.75	1.00	1.75	1	8	9	1.75
BARRENO DE CUÑA	MS - 150	1	1	0.75	1.00	1.75	1	8	9	1.75
BARRENO DE CUÑA	MS - 200	1	1	0.75	1.00	1.75	1	8	9	1.75
BARRENO DE CUÑA	MS - 250	1	1	0.75	1.00	1.75	1	8	9	1.75
BARRENO DE CUÑA	MS - 300	4	4	0.75	1.00	1.75	1	8	9	7.00
BARRENO DE CUÑA	Ac 1	4	4	0.75	1.00	1.75	1	8	9	7.00
PRIMEROS AYUDANTES	Ac 2	4	4	0.85	1.00	1.85	3	8	9	7.40
SEGUNDOS AYUDANTES	Ac 3	4	4	1.50	1.15	2.65	6	7	13	10.60
CON SALIDA HACIA ARRIBA	Ac 4	2	2	1.50	1.15	2.65	3	10	13	5.30
CON SALIDA HORIZONTAL	Ac 4	2	2	1.50	1.15	2.65	3	10	13	5.30
CON SALIDA HACIA ABAJO	Ac 4	1	1	1.50	1.15	2.65	1	12	13	2.65
CON SALIDA HORIZONTAL	Ac 5	4	4	1.50	1.15	2.65	5	8	13	10.60
CON SALIDA HACIA ABAJO	Ac 5	2	2	1.50	1.15	2.65	2	11	13	5.30
CON SALIDA HACIA ARRIBA	Ac 6	2	2	1.50	1.15	2.65	3	10	13	5.30
CON SALIDA HACIA ABAJO	Ac 6	4	4	1.50	1.15	2.65	4	9	13	10.60
CON SALIDA HACIA ARRIBA	Ac 7	2	2	1.50	1.15	2.65	1	12	13	5.30
BARRENO DE PARED	Ac 7	6	6	0.75	1.20	1.95	5	5	10	11.70
CON SALIDA HACIA ABAJO	Ac 7	2	2	1.50	1.15	2.65	1	12	13	5.30
BARRENO DE PISO	Ac 8	3	3	1.50	1.80	3.30	6	10	16	9.90
CON SALIDA HACIA ABAJO	Ac 8	2	2	1.50	1.15	2.65	4	9	13	5.30
BARRENO DE PISO	Ac 9	2	2	1.50	1.80	3.30	10	6	16	6.60
BARRENO DE TEOJO	Ac 9	4	16	0.75	0.90	1.65	0	9	9	26.40
T O T A L		60	72							158.05

$$\text{COEFICIENTE DE CARGA} = \frac{158.05}{106.56} = 1.48 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{COEFICIENTE DE BARRENACION} = \frac{80 \times 3.20}{106.56} = 2.403 \text{ m/m}^3$$

(Afectado con los 3 barrenos de alivio)

### C. SECUENCIA DE ENCENDIDO

Los estopines utilizados en la cuña para nuestro proyecto son los siguientes:

TABLA V.C.- Estopines utilizados para la cuña

BORDE LIBRE m	ESTOPIN MILISEGUNDO	
	TIPO	NOMENCLATURA
0.15	INSTANTANEO	0
0.15	50	2
0.15	100	4
0.10	150	6
0.10	200	8
0.10	250	9
0.21	300	10

Los tiempos necesarios reales son menores pero los utilizados en nuestra cuña se ha comprobado que son adecuados.

Para la plantilla de barrenación restante utilizamos estopines con períodos que van desde el número 1 hasta el 9 cuyos tiempos nominales en milisegundos están comprendidos de 500 a 6400 milisegundos.

Para dar la secuencia de ignición de nuestros barrenos se -- trató de que cada serie de barrenos tronaran un bloque de ro

ca y ésto se hizo empezando por el bloque del centro que es la cuña, hasta llegar al bloque de los barrenos de techo y los extremos del piso que son los últimos en tronar.

En las siguientes figuras se muestra en forma gráfica la secuencia de ignición de la cuña así como también del resto de los barrenos.

Fig. V.14.- Secuencia de Ignición de la Cuña.

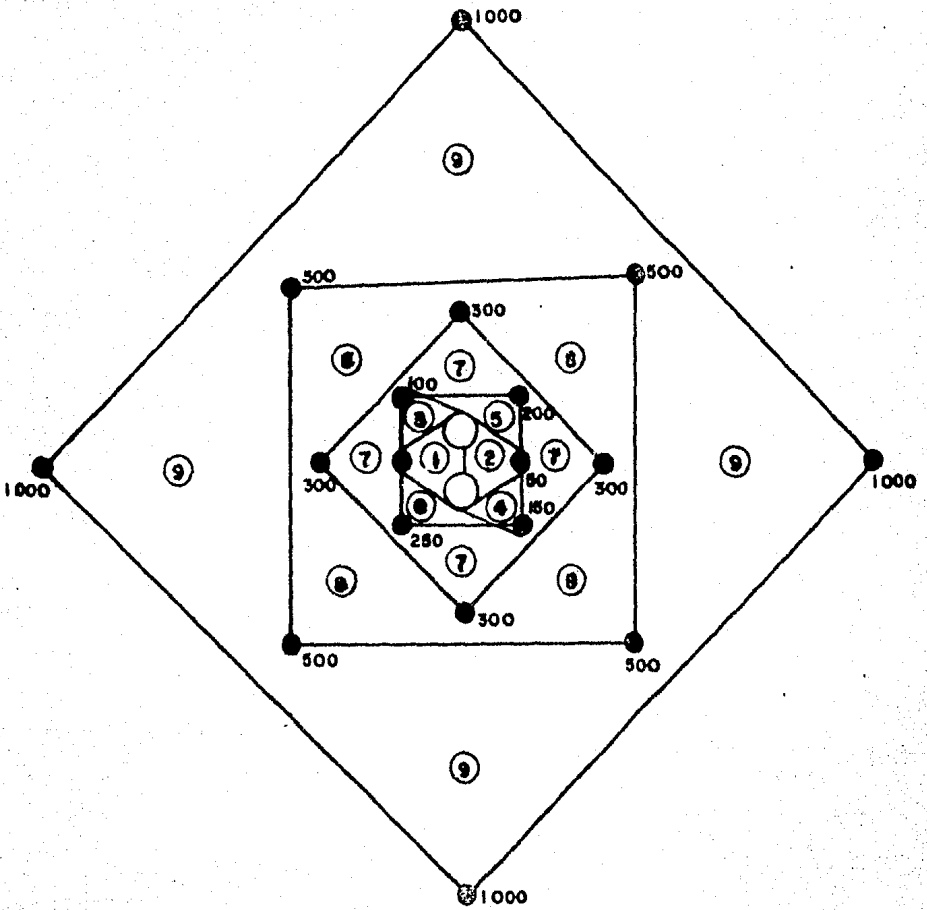
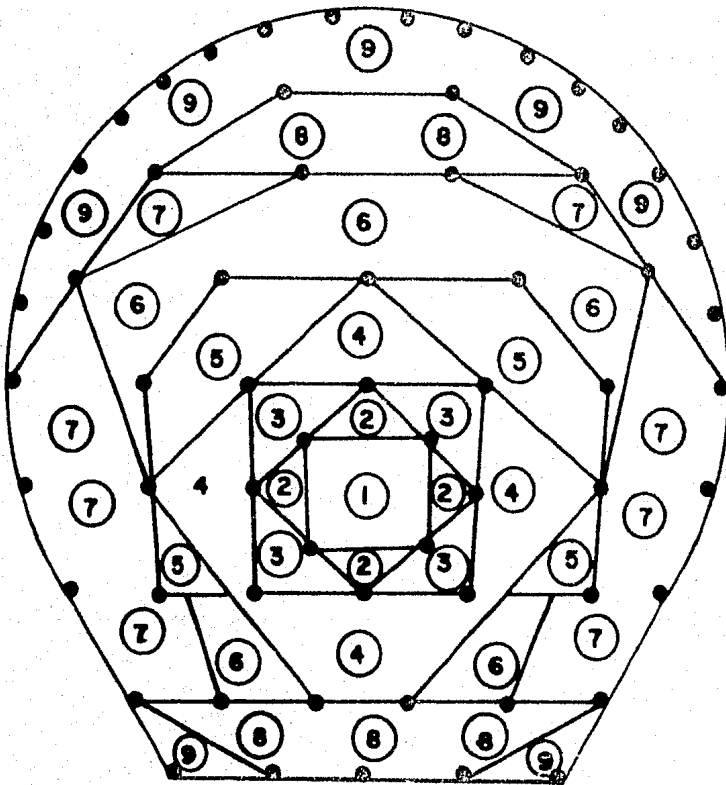


Fig. V.15.- Secuencia de Ignición de la Plantilla



#### D.- CALCULO DE LOS CIRCUITOS.

Tenemos que en nuestra plantilla de barrenación vamos a utilizar 72 barrenos, de los cuales sólo 58 llevan estopín, ya que los 14 barrenos restantes son barrenos de techo, los cuales se iniciarán con dos estopines y se conectarán con cordón primacord.

Para determinar cuantos circuitos vamos a formar, dividiremos 58 entre 4, lo cual nos da 14.5 estopines por serie pero como no se pueden poner fracciones de estopín, a dos circuitos se le asignarán 14 estopines y a los dos restantes 15, lo que nos da el total de estopines.

Los estopines vienen provistos de dos puntas de diferente color y diferente longitud, nosotros utilizaremos estopines con puntas de 16 pies de longitud para que se puedan interconectar los estopines adecuadamente.

#### a) RESISTENCIA DEL CIRCUITO.

Primeramente determinaremos la resistencia de los estopines y después la resistencia de los alambres de conexión y línea de encendido, para lo cual utilizamos las tablas

- Resistencia de estopines

$$R = 14.5 \text{ estopines} \times 1.65 \text{ ohmios} = 24.3 \text{ ohmios}$$

- Resistencia de alambre de conexión.

$$R = (30 \text{ m.} \times 2 \text{ polos} \times 16.14) / 1000 = 0.968 \text{ ohmios}$$

- Resistencia de la línea de encendido

$$R = (50 \times \text{dos polos} \times 0.999) / 1000 = 0.0999 \text{ ohmios}$$

Como el circuito que vamos a emplear es serie paralelo, obtendremos la resistencia equivalente basándonos en la ley de Kirchhoff.

$$1/R_t = 1/(24.33) + 1/4 = 4/24.33 = \frac{1}{6.08}$$

por lo tanto  $R = 6.08$

Si  $I = 2$  amperes entonces multiplicando por 4 series se tiene que;  $I = 8$  amperes.

Aplicando la ley de ohm obtenemos el voltaje necesario.

$$V = I R = 8 \times 7.147 = 57.18 \text{ volts}$$

$$7.147 = 6.08 + 0.098 + 0.0999$$

La potencia es:

$$P = I^2 \times R = 64 \times 7.147 = 457.4 \text{ watts}$$

Por lo tanto nuestras necesidades para llevar a cabo la vola  
dura son:

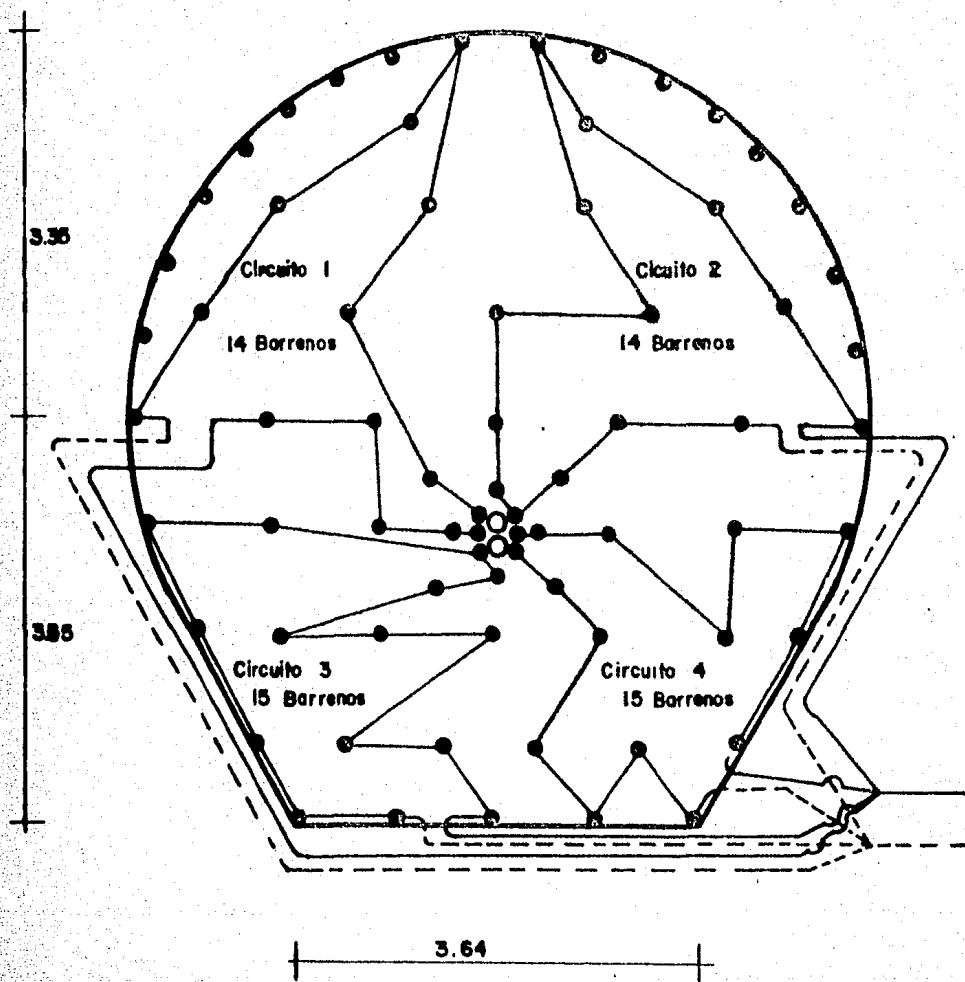
$$\text{Voltaje} = 57.18 \text{ volts}$$

$$\text{Intenidad} = 8 \text{ amperes}$$

$$\text{Potencia} = 457.4 \text{ watts}$$



Fig. V.16.- Conexión eléctrica de la plantilla



### E. CALCULO DEL TIEMPO DEL CICLO BASICO.

De acuerdo a lo mencionado en la sección IV.1 tenemos que para nuestro caso consideramos los siguientes tiempos;

- |   |        |
|---|--------|
| a) Aproximación del equipo y del personal | 15 min |
| b) Topografía del túnel                   | 20 "   |
| c) Instalación del equipo de barrenación  | 20 "   |
| d) Barrenación:                           |        |

Se va a emplear una estructura para soportar las pistolas o brazos de perforación "Jumbo". Se cuenta con pistolas con rendimiento de 20 m/hr. Como primera tentativa consideramos solo 4 pistolas para el trabajo.

Longitud de barrenación:

En la plantilla tenemos 72 barrenos cargados más 2 de alivio de 76 mm. de diámetro, a los cuales consideramos como equivalentes a 8 barrenos de 37 mm de diámetro, por lo cual tenemos un total de 80 barrenos.

- M.L. de barrenación / ciclo.

= 80 barrenos/ciclo x 3.2 m/barr=256 m/ciclo

Tiempo necesario de perforación

$$\frac{256 \text{ m}}{4 \text{ pistolas} \times 20 \text{ m/hr-pistola}} = 3.20 \text{ hr.} \quad 192 \text{ "}$$

### e) -Poblado

- Este trabajo lo realizarán los mismos perforistas.
- En promedio se cargarán 15 cartuchos por barreno
- El tiempo aproximado de colocación por cartucho será de 6 seg.

	$\frac{15 \text{ cart/barr} \times 72 \text{ barr} \times 6 \text{ seg/barr} \times 1 \text{ min}/60 \text{ seg}}{4 \text{ personas}}$	27 min
f) Retiro del equipo		20 "
g) Conexión eléctrica		
	$\frac{72 \text{ barr} \times 10 \text{ seg/barr-persona}}{4 \text{ personas}} = 180 \text{ seg} \times 1 \text{ min} \times \text{seg} =$	3
h) Prueba eléctrica		5 "
i) Disparo		10 "
j) Ventilación		30 "
k) Amacice		10 "
l) Carga y transporte de la rezaga		

Para ejecutar esta actividad tenemos las siguientes alternativas:

- (1) Utilizar equipo sobre llantas.
- (2) Utilizar equipo sobre vía.

Para ésto se cuenta con el siguiente equipo:

- Máquina rezagadora con rendimiento de  $30 \text{ m}^3/\text{hr}$
- Cargador lateral tipo CAT-955L con rendimiento de  $45 \text{ m}^3/\text{hr}$

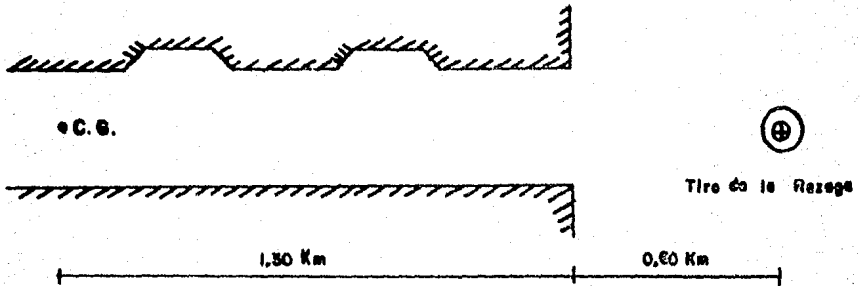
El equipo de acarreo es el siguiente

- Camiones de volteo con capacidad de  $7 \text{ m}^3$
- Vagones de ferrocarril con capacidad de  $4 \text{ m}^3$

Para elegir la alternativa adecuada es necesario hacer el análisis en función del costo y así poder comparar. Para lo cual haremos las siguientes consideraciones, - producto del procedimiento constructivo planteado.



Fig. V.18.- Centro de gravedad del túnel  
y tiro de la rezaga



- Tiempo de carga =  $\frac{7 \text{ m}^3}{45 \text{ m}^3/\text{hr}} = .15 \text{ hr.} = 9 \text{ min}$

- Tiempo en maniobras de carga y giro = 1 "

- Tiempo en acarreo de camión lleno

Velocidad promedio dentro del túnel = 20 km/hr

Velocidad promedio fuera del túnel = 30 km/hr

$\frac{1.3 \text{ km}}{20 \text{ km/hr}} + \frac{0.6 \text{ km}}{30 \text{ km/hr}} = 0.085 \text{ hr} = 5 \text{ "}$

- Tiempo de regreso camión vacío:

Velocidad promedio fuera del túnel = 40 km/hr

Velocidad promedio dentro del túnel = 30 km/hr

$\frac{0.6 \text{ km}}{40 \text{ km/hr}} + \frac{1.3 \text{ km}}{30 \text{ km/hr}} = 0.058 \text{ hr} = 4 \text{ "}$   
19 "

- Número de camiones necesarios:

Normalmente en una obra a ciclo abierto se cal  
cula el número de unidades de transporte con el  
siguiente criterio:

$$\text{Camiones necesarios} = \frac{\text{viajes por hora necesarios}}{\text{ciclo por hora camión}}$$

Donde:

$$\text{Viajes por hora} = \frac{\text{Rendimiento por hr del cargador}}{\text{Capacidad del camión}}$$

$$\text{Ciclos por hr del camión} = \frac{60 \text{ min/hr}}{\text{min/ciclo}}$$

Pero en un túnel de dimensiones reducidas como  
es el de nuestro caso, donde no existe doble -  
circulación, se debe de estudiar que al haber  
2 ó más unidades, éstas tendrían que esperar  
dando paso en las ampliaciones para cruces, co  
locadas éstas a cada 500 m.

Camiones necesarios:

$$\text{viajes por hora} = \frac{45 \text{ m}^3/\text{hr}}{7 \text{ m}^3} = 6.43 \text{ viajes/hr.}$$

$$\text{ciclos por hr camión} = \frac{60 \text{ min/hr}}{19 \text{ min/ciclo}} = 3.16 \text{ ciclos/hr.}$$

$$\text{camiones necesarios} = \frac{6.43 \text{ viajes/hr}}{3.16 \text{ ciclos/hr}} = 2.03 \text{ camiones}$$

Se consideran 2 camiones

Ciclos por hora camión

$$\frac{60 \text{ min/hr}}{19 \text{ min/ciclo}} = 3.15 \text{ ciclos/hr.}$$

Afectados por el tiempo de espera, se considera sólo 3 ciclos/hr.

Producción de rezaga

$$3 \text{ ciclo/hr camión} \times 2 \text{ camiones} \times \frac{7 \text{ m}^3}{\text{ciclo}} = \frac{42 \text{ m}^3 \text{-suelto}}{\text{hr}}$$

Se considera una eficiencia al 95% :

$$\frac{42 \text{ m}^3 \text{-S}}{\text{hr}} \times 0.95 = 40 \text{ m}^3 \text{- S/hr}$$

Tiempo requerido en la rezaga

Volumen a rezagar (volumen suelto)

$$= 37 \text{ m}^2 \times 3.20 \times 0.90 \times 1.60 \text{ (abund)} = 170.50 \text{ m}^3$$

$$\text{Tiempo requerido} = \frac{170.50 \text{ m}^3}{40 \text{ m}^3/\text{hr}} = 4.26 \text{ hr} = 256 \text{ min.}$$

(2) Considerando que se utilizará equipo sobre vía

Tiempo del ciclo del tren de 8 vagones con

capacidad de  $4.5 \text{ m}^3$  c/u

- Tiempo de carga:

$$\frac{4.5 \text{ m}^3/\text{vagón}}{45 \text{ m}^3/\text{hr}} \times 8 \text{ vagones/tren} = 48 \text{ "}$$

- Tiempo en maniobras de cambios de vagones de llenos por vacíos:

$$2.0 \text{ min/cambio} \times 7 \text{ cambios/tren} = 14.0 \text{ min.}$$

- Tiempo en acarreo del tren lleno

Velocidad promedio tren lleno 15 km/hr

$$\frac{1.33 \text{ km}}{15 \text{ km/hr}} = 0.09 \text{ hr} = 5.32 \text{ min}$$

- Tiempo en maniobras de descarga:

$$0.5 \text{ min/vagón} \times 8 \text{ vagones/tren} = 4.0 \text{ "}$$

- Tiempo en regreso del tren vacío:

Velocidad promedio tren vacío=20 km/hr

$$\frac{1.33 \text{ km}}{20 \text{ km/hr}} = 0.07 \text{ hr} = \frac{4.0 \text{ "}}{75.32 \text{ min}}$$

Cálculo del número de trenes necesarios:

Observando el análisis del ciclo, se tiene que con 2 trenes es más que suficiente.

Haciendo el análisis en lo más óptimo, que es que se llenasen los vagones sin demora, excepto en el cambio de vagón vacío a lleno, tenemos que:

$$\text{Tiempo de llenado del vagón} \frac{4.5 \text{ m}^3}{45 \text{ m}^3/\text{hr}} = 6 \text{ min.}$$

$$\text{Tiempo de cambios y maniobras} = \frac{2 \text{ "}}{8 \text{ min.}}$$



Producción del equipo sobre vía:

$$\text{Ciclos por hr} = \frac{60 \text{ min/hr}}{8 \text{ min/ciclo}} = 7.5 \text{ ciclos/hr}$$

$$\text{Producción} = 7.5 \text{ ciclos/hr} \times 4.5 \text{ m}^3/\text{ciclo} = 33.75 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Tiempo requerido en la rezaga

$$\text{Volumen a rezagar} = 170.50 \text{ m}^3$$

(calculado anteriormente)

$$\text{Tiempo requerido} = \frac{170.50 \text{ m}^3 \text{ suelto}}{33.75 \text{ m}^3/\text{hr}} = 5.06 \text{ hr} \quad 304 \text{ min.}$$

En resumen tenemos que el tiempo del ciclo básico es:

Aproximación del equipo y personal $t_1$	20 min.
Topografía e inst. del equipo $t_2$ y $t_3$	20 "
Barrenación $t_4$	192 "
Poblado, retiro del equipo y conexión eléctrica $t_5$ , $t_6$ , y $t_7$	27 "
Prueba eléctrica $t_8$	5 "
Disparó $t_9$	10 "
Ventilación $t_{10}$	30 "
Amacice y rezaga $t_{12}$ (incluye $t_{11}$ y $t_{12}$ )	
Aquí se tienen 2 alternativas	
1.- Utilizando equipo sobre llantas $t_{12}$	256 "
2.- Utilizando equipo sobre vía $t_{12}$	304

Por lo que tendremos 2 tiempos según la alternativa elegida:

Tiempo total del ciclo, utilizando equipo sobre llantas

= 560 min = 9.33 hr.

Tiempo total del ciclo, utilizando equipo sobre vía

= 608 min. = 10.13 hr.

#### F. CALCULO DE VENTILACION

La ventilación en túneles es muy importante ya que con los ventiladores se trata de simular el medio ambiente del túnel con el medio a cielo abierto.

##### a) Requerimientos:

Dentro del cálculo de ventilación se presentan requerimientos para diferentes situaciones; éstas son:

#### BARRENACION, VOLADURA, PERSONAL Y REZAGA

**BARRENACION.**- Para poder hacer los barrenos utilizamos un "Jumbo" con 4 pistolas las cuales están alimentadas por un compresor Chicago Pneum. de 230 HP. Para la maquinaria se recomienda que se tengan  $2.5 \text{ m}^3/\text{min}$ . de aire por cada HP, por lo tanto para este compresor necesitamos el siguiente aire:

$$q = \text{requerimiento de aire} = 2.5 \times 245 = 613 \text{ m}^3/\text{min}.$$

**VOLADURA.**- Como tenemos una carga de explosivos en los barrenos de 158.05 kg., y por experiencia debe de haber un tiempo de ventilación de 30 min., procedemos a calcular el requeri-

miento de aire necesario, mediante la fórmula  $q=36 Q/t$

donde:

q: requerimiento de aire necesario ( $m^3/min$ )

Q: carga de explosivos (kg)

t: tiempo de ventilación (min)

$$q = \frac{36 \times 158.05}{30} = 189.70 \text{ m}^3/min$$

PERSONAL.- Suponemos que cuando más gente hay en el frente es en la barrenación en la que se tienen aproximadamente 20 personas; como cada persona necesita de  $1.5 \text{ m}^3/min$ . de aire.

Por lo que se requiere la siguiente cantidad de aire para el personal:

$$q = 20 \times 1.5 = 30 \text{ m}^3/min.$$

REZAGA.- Para la rezaga se han considerado dos equipos diferentes: uno sobre vía y el otro sobre llantas.

- Equipo sobre llantas:

Nuestro equipo de rezaga constará de 2 camiones de volteo de 200 HP cada uno y un cargador de 130 HP; en el peor de los momentos necesitaríamos aire para un camión y el cargador, ya que el otro camión estaría descargando el material de la rezaga. Por lo tanto el requerimiento de aire será igual a:

$$1 \text{ camión} \times 200 \text{ HP} \times 2.5 = 500 \text{ m}^3/\text{min.}$$

$$1 \text{ cargador} \times 130 \text{ HP} \times 2.5 = \underline{325}$$

$$q = 825 \text{ m}^3/\text{min.}$$

- Equipo sobre vía:

Las locomotoras que operarán en la vía serán eléctricas, éstas no producen gases, por lo tanto no necesitarán ventilación.

En resumen:

Para poder calcular nuestro requerimiento de aire necesario se debe de considerar el momento más crítico, es decir, el caso en que puedan coincidir dos de las cosas consideradas anteriormente; analizándolas llegamos a la conclusión que éstas serían: personal y equipo de rezaga sobre llantas. Por lo que es necesario el siguiente volumen de aire:

$$q = 30 + 825 = 855 \text{ m}^3/\text{min.}$$

Debido a la altura sobre el nivel del mar en que se considera que estará el túnel, habrá que afectar este requerimiento por un factor igual a 1.40 .

$$q_{\text{real}} = 855 \times 1.40 = 1197 \text{ m}^3/\text{min}$$

b) Diámetro de la tubería de ventilación.

Debido a recomendaciones, para evitar turbulencias excesivas y pérdidas altas por fugas y fricciones, se considerará una velocidad del aire en el tubo igual a 20 m/seg.

El diámetro del tubo está dado por la fórmula:

$$d = 0.25 q_{\text{real}} ; q_{\text{real}} \text{ en m}^3/\text{seg}$$

$$d = 0.25 \frac{1\ 200}{60} = 1.12 \text{ m} = 1.20$$

Se escoge el diámetro de 1.20 m.

- c) Cálculo de la capacidad de los ventiladores y de la separación entre cada uno.

Peso volumétrico del aire ( $\gamma_{\text{aire}}$ ) = 1.20 kg/m<sup>3</sup>

Eficiencia de los ventiladores = 80%

Requerimiento de aire fresco  $q = 1\ 200 \text{ m}^3/\text{min} = 20 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

Pérdida por fricción = P mm de columna de agua

#### FORMULA DE CALCULO

$$q \times p \times \gamma_{\text{aire}} = \text{HP}$$

En túneles generalmente se utilizan ventiladores tipo 2 x 25 HP = 50 HP; de aquí encontramos el valor de P y consecuentemente la distancia de separación de los ventiladores; por lo que desarrollando, tenemos:

$$50 = \frac{20 \times P \times 1.2}{75 \times 0.80}$$

$$P = \frac{50 \times 60}{24} = \frac{3000}{24} = 125 \text{ mm de columna de agua a vencer.}$$

Por otro lado, sabemos que la pérdida de fricción por metro - de tubo igual a  $0.25 \text{ mm h}_2\text{O/m}$

La longitud efectiva entre ventiladores será:

$$\frac{125}{0.25} = 500 \text{ m}$$

La longitud calculada implica un tubo prácticamente sin fugas; para que exista más seguridad se considerará una reducción por fugas de 10% por cada 1 000 m. de tubo.

Por lo tanto la longitud práctica entre ventiladores será:

$$0.9 \times 500 \text{ m} = 450 \text{ m.}$$

En resumen:

Diámetro de tubería de ventilación: 1.20 m.

Tipo de ventilador = 2 x 25 HP

Longitud entre ventiladores = 450 m.

## 2.- ANALISIS DEL PRESUPUESTO:

### A.- ANALISIS PRELIMINARES

### B.- ANALISIS DE LOS PRECIOS UNITARIOS.

#### A. ANALISIS PRELIMINARES

- a). Análisis detallado para la determinación del cargo indirecto, utilidad y cargos adicionales.

### CARGOS INDIRECTOS

Los cargos indirectos corresponden a los gastos generales necesarios para la ejecución de la obra, no incluidos en los -- cargos directos que realiza el contratista, tanto en oficinas centrales como en la obra, y que comprenden entre otros, los gastos de organización, dirección técnica, vigilancia, supervisión, administración, financiamiento y prestaciones sociales correspondientes al personal directivo y administrativo y las regalías que proceden en su caso.

Los cargos indirectos se expresan como un porcentaje del costo directo de cada concepto de trabajo. Dicho porcentaje se calculará sumando los importes de los gastos generales que resulten aplicables y dividiendo el resultado de esa suma entre el costo total directo de la obra de que se trate.

Debido a que solamente analizaremos parte del costo total (únicamente el precio de la excavación del túnel) no tenemos to dos los datos requeridos por lo que, para nuestro ejemplo, - consideraremos un cargo indirecto del 25%

### CARGOS POR UTILIDAD

Corresponde a la ganancia que percibe el contratista por la ejecución satisfactoria del concepto de trabajo, incluyendo - el impuesto sobre la renta y quedará representada por un porcentaje sobre la suma de los cargos directos más los indirectos de dicho concepto de trabajo. Para este ejemplo consideraremos una utilidad del 10%

## CARGOS ADICIONALES

Son los correspondientes a las erogaciones que realiza el con tratista por estipularse expresamente en el contrato de obra como obligaciones adicionales y que no están comprendidos dentro de los cargos directos, ni en los indirectos ni en la uti lidad y se expresarán como un porcentaje sobre la suma de los cargos directos, más indirectos, más utilidad. Para este ejem plo consideraremos derechos por inspección y vigilancia un - porcentaje de 0.50%

## R E S U M E N

Cargo Indirecto	25.00%
Cargo por Utilidad	10.0 %
Cargos Adicionales	0.5 %

## b) Lista de materiales

A R T I C U L O	PRECIO PUESTO EN OBRA
Acero integral serie 12 de 1.6 m.	\$ 49,328.00/Pza.
Acero integral serie 12 de 2.4	57,794.00/Pza.
Acero integral serie 12 de 3.20	66,260.00/pza.
Tovex 100	1,760.00/kg.
Estopín instantáneo	750.00/Pza.
Estopín 50	898.00/Pza.
Estopín 100	898.00/Pza.
Estopín 150	898.00/Pza.
Estopín 200	898.00/Pza.
Estopín 250	898.00/Pza.



Estopín 300	\$	898.00/Pza.
Estopín de retardo		898.00/Pza.
Primacord		218.75/Pza.
Cinta masking		590.00/Pza.
Alambre tw-20		29.50/m
Alambre tw-14		78.50/m
Tubería de 6" Ø		5,800.00/m
Anclas y alambre		250.00/m
Tubería de 6" Ø		11,500.00/m
Junta vitaulic		9,465.00/m
Válvula de compuerta de 6" Ø		187,500.00/Pza.
Tubería de 2" Ø		1,275.00/m
Cople de 2" Ø		485.00/Pza.
Tuerca unión de 2" Ø		4,665.00/Pza.
Válvula de 2" de Ø		53,340.00/Pza.
Ancla de varilla de 1"		995.00/m
Cable trifásico cal. No. 4 para 5 KVA		2,037.00/m
Angulo de 2" x 2" x $\frac{1}{4}$ "		172.00/m
Cuchilla porta fusibles tipo cut-cut, 50 amp, 6 KVA		41,152.00/Pza.
Listón fusible 10 A, 6 KVA		370.00/Pza.
Cinta lino $\frac{3}{4}$ " ancho		352.00/Rollo
Cinta Scotch 13 de $\frac{3}{4}$ "		872.00/Rollo
Cinta Scotch 23 de $\frac{3}{4}$ "		1,320.00/Rollo
Cinta Scotch 24 de $\frac{3}{4}$ "		1,726.00/Rollo
Cinta Scotch 33 de $\frac{3}{4}$ "		460.00/Rollo
Transformador trifásico 30 KVA 4160V/440V		729,670.00/Pza.
Interruptor termomagnético 3 polos, 100 Amp		52,500.00/pza.

Arrancador magnético reversible 3 polos	\$ 86,434.00/Pza.
Estación de 3 botones	18,464.00/Pza.
Cable uso rudo 3X10.600V	1,032.00/m
Interruptor termomagnético 3 polos, 50 Amp.	45,014.00/Pza.
Cable uso rudo 3X12	632.00/m
Foco 150 W	450.00/Pza.
Lámpara de cuarzo de 500 watts, 125 volts	18,380.00/Pza.
Filamento de cuarzo de 500 watts	24,960.00/Pza.
Teléfono	257,000.00/Pza.
Convertidor de corriente alterna a directa 110V a.c./13 V.D.C.	25,400.00/Pza.
Interruptor de fusibles 3 polos 30 Amp, 600 volts	16,268.00/Pza.
Cable uso rudo 4X12 con portalámparas a 15 m.	704.00/m
Interruptor termomagnético 3 polos, 350 Amp.	235,426.00/Pza.
Transformador monofásico 175 KVA, 440V/4160V, 60 ciclos	916,454.00/Pza.
Cuchilla portafusibles cut-cut, 59 Amp, 5 KVA	41,152.00/Pza.
Listón fusible de 30	236.00/Pza.
Listón fusible de 50	236.00/Pza.
Listón fusible de 65	236.00/Pza.
Aparatos para 4.5 kw tipo auto-válvula	7,844.00/Pza.
Varilla copperwell de 5/8" $\phi$ , 3 m	3,380.00/Jgo.
Cable armado 3 x 350 MCM	15,970.00/m
Cable desnudo de cobre cal 1/0 semiduro	960.00/m

Transformador trifásico 75 KVA, 4160V/440V	\$ 1'145,568.00/Pza.
Interruptor termomagnético 3 polos 100 Amp.	52,200.00/Pza.
Cable trifásico cal No. 2 Tipo Condulast, 600 volts	1,580.70/m
Interruptor termomagnético 3 polos, 40 Amp.	45,012.00/Pza.
Arrancador magnético clase 8536, tipo BG2 para 15 HP, 440 volts, 60 ciclos	86,434.00/Pza.
Riel de 40 Lb x 1" de 7.30 m.	7,740.00/m
Planchuelas	5,000.00/Jgo.
Tornillo de 3/3"x4", Tuerca de 3/4" y arandela	1,035.00/Jgo.
Durmiente de madera de 8"x8"x1.20	5,720.00/Pza.
Clavo de vía de 9/16" cabeza gota de agua	290.00/Pza.
Agujas de 12 m.	2'000.000.00/Jgo.

## c) Lista de salarios

CATEGORIA	SALARIO B A S E	FACTOR DE INCREMENTO	SALARIO R E A L
Peón	2065.00	1.54	3180.10
Albañil	3065.00	1.49	4492.35
Fierrero	2905.00	1.49	4328.45
Carpintero de obra negra	2805.00	1.49	4179.45
Poblador	2975.00	1.49	4432.75
Cabo	3925.00	1.49	5848.25
Ayudante general	2580.00	1.49	3844.20
Electricista	2945.00	1.49	4388.05
Soldador	2975.00	1.49	4432.75
Tubero	2975.00	1.49	4432.75
Chofer de camión	3085.00	1.49	4596.65
Perforista	2975.00	1.49	4432.75
Operador traxcavo	3070.00	1.49	4574.30
Operador locomotora	3070.00	1.49	4574.30

d) Determinación del factor de incremento al salario base por concepto de prestaciones, según la Ley Federal del Trabajo.

Días no laborables del año:

Domingos	52
Días festivos(Art. 74 Ley Fed.)	7
Vacaciones (Art. 76 Ley Federal)	6
Por enfermedad (no cubiertos por el I.M.S.S.)	<u>3</u>
T O T A L	68 días

Días laborables al año 365-68=297 días

Días que se pagan:

Ordinarios	365
Aguinaldo	15
Prima vacacional	<u>1.50</u>
	381.50 días

De donde tenemos

a Incremento por días no lab.	$\frac{381.50}{297.00} = 1.2845 = 28.45\%$
b Incremento por el Impuesto sobre remuneraciones pagadas	$\frac{3.8}{270.00} = 0.0128 = 1.28\%$

Por cuota patronal al seguro social

Días que se pagan al año con  
cargo al seguro 365.00

Días laborables al año	297.00
Factor	<u>365.00</u> = 1.2290
	297

El IMSS fija sobre este factor los porcentajes de 19.6875 para el salario mínimo y de 15.9375 para el superior al mínimo

c El incremento por cuota patronal resulta:

Para salario mínimo	1.2290 x 19.6875 = 24.20%
Para salario superior al mínimo	1.2290 x 15.9375 = 19.59%

#### R E S U M E N

	MINIMO	SUP. AL MIN.
a por días no laborables	28.45	28.45
b impuesto sobre remuneraciones pagadas	1.28	1.28
c por cuota patronal IMSS	<u>24.20</u>	<u>19.59</u>
	53.93	48.32
Factores de incremento	1.54	1.49

## e) Lista de equipo

M A Q U I N A	C O S T O S   H O R A R I O S	
	ACTIVO	INACTIVO
Camión volteo	12,144.44	3,921.44
Compresor Chicago Pneum	13,306.46	6,025.35
Traxcavo de descarga lateral Cat-955	28,723.71	17,605.33
Grupo electrógeno	12,307.58	4,655.37
Camión c/estructura jumbo	10,567.86	4,392.37
Bomba de agua 3" diámetro	1,111.04	338.15
Pistola perforadora	1,505.59	1,070.84
Locomotora eléctrica	25,316.67	18,157.87
ventilador	1,967.97	562.78

NOTA: Las anteriores cantidades se refieren al cálculo del costo hora máquina, cuya secuencia se muestra solamente a través de un análisis, el cual es el del camión volteo (se anexa).

f) Ejemplo tipo de un costo hora máquina.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

**SUBSECRETARIA  
DE  
INFRAESTRUTURA**

Concurso No. \_\_\_\_\_  
 Fecha \_\_\_\_\_  
 Máquina Camión volteo 7m<sup>3</sup>  
 \_\_\_\_\_  
 Modelo \_\_\_\_\_

**FORMA  
CT-9a**

**HOJA No.  
de \_\_\_\_\_**

**COSTO DE HORA MAQUINA**

Capacidad 7 m<sup>3</sup> Motor Gasolina Potencia 200 HP a \_\_\_\_\_ RPM.  
 Precio actual de la Máquina \$ 11,600,000.00 Horas efectivas por año 2,000  
 Precio de las llantas \$ 850,000.00 Años de vida útil 5  
 Diferencia \$ 10,750,000.00 Valor de rescate 10% \$ 1,075,000.00

	CARGOS	FORMULA	CALCULO	COSTO HORARIO		
				ACTIVO	%	INACTIVO
FIJOS	DEPRECIACION	$D = \frac{V_a - V_r}{V_e}$	$D = \frac{9,675,000}{10,000}$	967.50	15	145.13
	INVERSION	$I = \frac{(V_a + V_r)I}{2Hg}$	$I = \frac{11,825,000}{2(2000)} (0.8772)$	2,593.22	100	2593.22
	SEGUROS	$S = \frac{(V_a + V_r)S}{2Hg}$	$S = \frac{11,825,000}{2(2000)} (0.02)$	59.13	100	59.13
	MANTENIMIENTO	T=QD	T= 1.50 X 967.50	1451.25	0	0.00
POR CONSUMOS	COMBUSTIBLES	E = cPc	E = 40.8780 X 126.00	5,150.63	5	257.63
	LUBRICANTES	L = aPI	L = ( 0.70 X 645.00	451.50	5	22.58
	LLANTAS	$LI = \frac{VII}{Hv}$	$LI = \frac{850,000}{2000}$	425.00	15	63.75
	OTROS CONSUMOS	% de consumo	0.05 X 5 602.13	280.11	5	14.01
OPERACION	$O = \frac{So}{H}$	$O = \frac{4596.65}{5.00}$	756.11	100	766.11	

Nombre y firma del postor

**COSTO TOTAL HORA MAQUINA** 12 144.44

3 921.44

Atenciones al reverso



## B. ANALISIS DE LOS PRECIOS UNITARIOS

- a) Excavación de un túnel en roca, por unidad de obra determinada. El precio incluye: materiales, mano de obra, equipo y herramienta; necesarios para el trazo, excavación carga, amacice, acarreo dentro del túnel y fuera de él (acarreo libre de 600 m., medido a partir del portal de salida al lugar del tiro del material, producto de la excavación), alumbrado, ventilación, bombeo cuando se requiera, y todo lo necesario durante la construcción del túnel.

Sin incluir ademe.

Utilizando en el acarreo de la rezaga equipo sobre llantas.

### Datos generales:

1. Túnel excavado en roca sana
2. Area de la sección : 37 m<sup>2</sup>
3. Tipo de la sección : herradura
4. Longitud del túnel : 5800 m
5. Factor de incremento al costo por construcción del túnel de trabajo de 400 m.  

$$= \frac{6200}{5800} = 1.07$$
6. Longitud de barrenación (LB) : 3.20
7. Longitud efectiva de barrenación : 2.88
8. Número de barrenos por voladura : 80 barr.

9. Longitud de barrenación por voladura	
= $80 \times 3.20 =$	: 256 m
10. Número de perforadoras	: 4 pist.
11. Tiempo de barrenación	: 3.20 hr.
12. Volumen excavado por voladura	
$37 \text{ m}^2 \times 2.88 \text{ m} =$	: $106.56 \text{ m}^3$
13. Volumen a rezagar por voladura	
$106.56 \text{ m}^3 \times 1.60 (\text{abundamiento}) =$	: $170.50 \text{ m}^3$
14. Equipo de rezaga	: 1 cargador 2 camiones
15. Tiempo de rezaga	: 4.27 hr.
16. Coeficiente de barrenación $\frac{256 \text{ m}}{106.56 \text{ m}^3}$	: $2.403 \text{ m/m}^3$
17. Coeficiente de carga del explosivo	
$V_o = \frac{158.05 \text{ kg}}{106.56 \text{ m}^3} =$	: $1.48 \text{ Kg/m}^3$
18. Tiempo de ciclo promedio aproximado	
equipo y personal	: 0.33 hr
Topografía e Inst. equipo	: 0.33 "
barrenación	: 3.20 "
poblado, retiro equipo y conex.:	: 0.45 "
Prueba eléctrica	: 0.08 "
disparo	: 0.17 "
ventilación	: 0.50 "
rezaga	: <u>4.27 "</u>
T o t a l	: 9.33 "

19. Avance requerido: 100m/mes =

4 m/día

20. Número de tronadas por día

$$\frac{4 \text{ m/día}}{2.88 \text{ m/ciclo}} =$$

1.39 /día

21. Turnos de trabajo por día

$$\frac{1.39 \text{ cic/día} \times 9.33 \text{ hr/cic.}}{8 \text{ hr/día} \times 0.8 \text{ eficiencia}} =$$

2 turnos de 8 hr.

# ANALISIS

## I. EQUIPO

Máquina	num.	Activo		Costo Horario		Importe		
		Activo	Inactivo	Activo	Inactivo	Activo	Inactivo	
Cargador	1	4.27	5.06	28,723.71	17,605.33	122,650.24	89,082.97	211,735.21
Camión de volteo	2	4.27	5.06	12,144.44	3,921.44	103,713.52	39,684.98	143,398.50
Perforadora	4	3.20	6.15	1,505.59	1,070.84	19,271.55	26,257.00	45,528.55
Camión Jumbo	1	1.11	8.22	10,567.86	4,392.37	11,730.32	38,605.28	47,835.60
Compresor	1	3.20	6.13	13,306.46	6,025.35	42,580.67	36,935.40	79,516.07
Ventilador	6	9.33	0.00	1,967.97	562.78	110,166.96	0,000.00	110,166.96
Planta de Luz	1	9.33	0.00	12,307.58	640.70	114,829.72	0.00	114,829.72
Bomba de Agua	1	4.00	5.33	1,111.04	338.15	4,444.16	1,802.34	6,242.60
CARGO POR CICLO =								\$ 759,251.21

$$\text{CARGO por Equipo por M.L. de Túnel} = \frac{\$ 759,251.21}{2.88 \text{ m}} = \$ 263,628.89/\text{m}$$

## II.- MANO DE OBRA

## PLANTILLA DE PERSONAL

C A T E G O R I A	TURNOS		TOTAL	SALARIO	IMPORTE POR DIA
	1o	2o			
Cabo de Perforistas	1	1	2	5,848.25	11,696.50
Poblador	1	1	2	4,432.75	8,865.50
Ayudantes	4	4	8	3,844.20	30,753.60
Bordero de Rezaga	2	2	4	3,180.10	12,720.40
Tubero	1	1	2	4,432.75	8,865.50
Electricista	1	1	2	4,388.05	8,776.10
Maniobrista	1	1	2	5,848.25	11,696.50
S U M A					93,374.10

Avance diario: 4 m/día

Cargo por Mano de Obra por M.L. de Túnel:

$$\frac{\$ 93.374.10}{4 \text{ m/día}} = \$ 23,343.53/\text{m}$$

### III.- MATERIALES

#### 1.- DE CONSUMO

##### a).- Acero de Barrenación:

Acero integral serie 12 de 1.6 m:

1 x 0.50 x \$ 49,328.00/Pza = \$ 24,664.00/Jgo

Acero integral serie 12 de 2.4 m:

1 x 0.25 x \$ 57,794.00/Pza = 14,448.50 "

Acero integral serie 12 de 3.2 m:

1 x 0.25 x \$ 66,260.00/Pza = 16,565.00 "

S U M A \$ 55,677.50 "

Vida económica: 175 m.

Coef. de Barrenación 2.403 m/m<sup>3</sup>

Volumen por metro lineal: 37 m<sup>3</sup>/m

Cargo lineal de túnel =

$\frac{55,677.50/\text{Jgo} \times 2.403 \text{ m/m}^3}{175 \text{ m}} \times 37 \text{ m}^3/\text{m} =$

Cargo por metro lineal de túnel = \$ 28,287.67/m

## b) Explosivos

Tovex 100	:	$1.48 \text{ kg/m}^3$	x	$\$1,760.00/\text{kg}$	=	$\$ 2,604.80/\text{m}$
Estopín Inst.	:	$\frac{1 \text{ Pza}}{106.56 \text{ m}^3}$	x	$750.00/\text{Pza}$	=	$7.50/\text{m}$
Estopín 50-300	:	$\frac{1 \text{ Pza}}{106.56 \text{ m}^3}$	x	$898.60/\text{Pza}$	=	$80.87/\text{m}$
Estopín Retardo	:	$\frac{62 \text{ Pza}}{106.56 \text{ m}^3}$	x	$898.60/\text{Pza}$	=	$521.19/\text{m}$
Primacord	:	$\frac{15 \times 3.20 \text{ m}}{106.56 \text{ m}^3}$	x	$218.75/\text{Pza}$	=	$98.54/\text{m}$
Cinta Masking	:	$\frac{2 \text{ Rollos}}{106.56 \text{ m}^3}$	x	$590.00/\text{Pza}$	=	$11.07$
Alambre TW-20	:	$\frac{50.00 \text{ m}}{106.56 \text{ m}^3}$	x	$29.50/\text{m}$	=	$13.87/\text{m}$
Alambre TW-14	:	$\frac{50.00 \text{ m} \times 2}{106.56 \text{ m}^3}$	x	$78.50/\text{m}$	=	$7.37/\text{m}$
S U M A						$\$ 3,345.21/\text{m}$

Cargo por metro lineal del túnel =

$$3,345.21/\text{m} \times 37 \text{ m}^3/\text{m} = \$ 123,772.77/\text{m}$$

## 2.- EN INSTALACIONES

	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	DEPRECIACION	IMPORTE
a) Ventilación	Tubería de 6" de diámetro	m	1	5,800.00	0.80	4,640.00
	Anclas y alambre	Jgo	4/14	250.00	1.00	72.50
SUBTOTAL						4,712.50
b) Aire Comprimido	Tubería de 6" de diámetro	m	1	11,500.00	0.50	5,750.00
	Junta Vitaulic	Pza	1/12	9,465.00	0.50	394.40
	Válvula de compuerta 6" ø	Pza	2/500	187,500.00	0.50	375.00
SUBTOTAL						6,519.40
c) Agua p/Barrenación	Tubería de 2" de diámetro	m	1	1,275.00	0.50	637.50
	Coples de 2" de diámetro	Pza	1/6	485.00	0.50	40.40
	Tuerca unión de 2" de diám.	Pza	1/120	4,665.00	0.50	19.45
	Válvula de 2" de diámetro	Pza	1/500	53,340.00	0.50	53.35
SUBTOTAL						750.70
d) Anclaje para soste ner las líneas	Anclas de var. de 1"	m	1.7/6	995.00	0.50	140.96
SUBTOTAL						140.96
e) Inst. Eléctrica (Por cada 450,m. de túnel)	Cable trifásico cal. No. 4 para 5 KVA	m	1	2,037.80	0.75	1,528.55
	Angulo de 2"x2"x1/4"	m	2.1/450	172.00	1.00	0.80
	Cuchilla port. tipo cut- cut, 50 Amp, 6 KVA	Pza	6/450	41,152.00	0.75	411.50
	Listón fusible 10 a,6KVA	Pza	6/450	370.00	1.00	4.95
	Cinta lino 3/4" ancho	Rollo	7.5/450	352.00	1.00	5.90
	Cinta Scotch 13 de 3/4"	Rollo	3.8/450	872.00	1.00	7.40
	Cinta Scotch 23" "	Rollo	15/450	1,320.00	1.00	44.00
	Cinta Scotch 24" "	Rollo	1.5/450	1,726.00	1.00	5.75
	Cinta Scotch 33" "	Rollo	15/450	460.00	1.00	15.55



Transformador Trifásico 30 KVA 4160V/440V	Pza	1/450	729,670.00	0.60	972.90
Interruptor termomagnético 3 polos, 100 Amp	Pza	1/450	52,200.00	0.75	87.00
Arrancador magnético reversible 3 polos	Pza	1/450	86,434.00	0.75	144.05
Estación de 3 botones	Pza	1/450	18,464.00	0.75	30.80
Cable (interconexión) uso rudo 3 x 10,600 V.	m	30/450	1,032.00	1.00	68.80
Interruptor de fusibles 3 polos 30 Amp, 600Volts	Pza	1/450	16,268.00	0.75	27.10
Cable rudo 4x12 con porta lámparas a 15 m.	m	1	704.00	0.75	528.00
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>3,882.65</b>

f) Instalación para el servicio desde la - subestación al tú- nel.	Interruptor termomagnético 3 polos, 350 Amp	Pza	1/5 800	235,426.00	0.75	30.40
	Transf. monofásico, 75 KVA, 440V/4160V 60 ciclos	Pza	1/5 800	916,454.00	0.40	63.20
	Cuchilla Portafus. cut- cut, 59 Amp, 5 KVA	Pza	3/5 800	41,152.00	0.75	15.95
	Listón fusible de 30, 50 y 65 Amp.	Pza	9/5 800	236.00	1.00	0.40
	Apartarrayos para 4.5 KW tipo auto-válvula	Pza	3/5 800	7,844.00	0.75	3.05
	Varilla copperwell de 5/8" Ø, 3 m.	Jgo	2/5 800	3,380.00	1.00	1.20
	Cable armado 3x350 MCM	m	40/5 800	15,970.00	1.00	110.15
	Cable desnudo de cobre cal. 1/0 semiduro	m	30/5 800	960.00	1.00	5.00
	Cable trifásico Cal No.4 para 5 KVA	m	60/5 800	3,716.00	0.75	28.85
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>258.20</b>	

g) Instalación para el servicio del frente.	Transformador trifásico 75 KVA, 4160V/440V.	Pza	1/5 800	1'145,568.00	0.60	118.50
	Interruptor termomagnético 3 polos, 100 Amp.	Pza	1/5 800	52,200.00	0.75	6.75
	Cable trifásico cal. No.2 tipo condulast 600 Volts	m	450/5 800	1,580.70	0.60	73.60
	Interruptor termomagnético 3 polos, 40 Amp.	Pza	1/5 800	45,012.00	0.75	5.80
	Arrancador magnético clase 8536 tipo BG2 para 15 HP, 440 Volts. 60 ciclos	Pza	1/5 800	86,434.00	0.75	11.20
	Interruptor termomagnético 3 polos, 50 Amp	Pza	1/5 800	45,014.00	0.75	5.80
	Cable uso rudo 3 x 12	m	100/5 800	632.00	0.75	8.20
SUBTOTAL						229.85
h) Consumo de focos para la iluminación del túnel.	No. de Portalamp. Prom:					
	<u>5 800 m/2</u> = 96.7 Aprox.					
	5 m x 6					
	No. de focos que se consumen por semana-portalamp.=2					
	No. de Semanas: 28 meses x 4.3 sem/mes = 120.40 sem.					
	No. de focos consumidos durante la excavación:					
	96.7 x 2/sem x 120.4 sem.=					
	23,285.36 focos de 150 W	Pza	23,285/5 800	450.00	1.00	1,806.60
SUBTOTAL						1,806.60

i) Iluminación de los frentes de trabajo	Lámparas de cuarzo de 500 Watts, 125 Volts	Pza	6/5 800	18,380.00	0.80	15.20
	Filamentos de cuarzo de 500 Watts	Pza	18/5 800	24,960.00	1.00	<u>77.45</u>
					SUBTOTAL	92.65
j) Comunicación Telefónica	Teléfonos	Pza	4/5 800	257,000.00	0.70	124.10
	Cable 4 x 18					
	Convertidores de corriente alterna a directa 110V a.c./13 V.D.C.	Pza	4/5 800	25,400.00	0.70	<u>12.25</u>
					SUBTOTAL	136.35
TOTAL DE MATERIALES EN INSTALACIONES						\$ 18,549.85

## RESUMEN DE MATERIALES

## 1.- DE CONSUMO

a) Acero de Barrenación	\$ 28,287.67/m
b) Explosivos	123,772.77/m

## 2.- EN INSTALACIONES

a) Ventilación	4,712.50/m
b) Aire comprimido	6,519.40/m
c) Agua para barrenación	750.60/m
d) Anclaje para sostener líneas	140-96/m
e) Instalación eléctrica	3,882.65/m
f) Instalación para el servicio desde la Sub-estación	258.20/m
g) Instalación para el servicio del frente	229.85/m
h) Focos para la iluminación del túnel	1,806.60/m
i) Iluminación de los frentes de trabajo	92.65/m
j) Comunicación telefónica	136.35/m

S U M A                    \$ 170,590.30/m

## INTEGRACION DEL PRECIO

I	EQUIPO	\$ 263,628.89
II	MANO DE OBRA	23,343.53/m
III	MATERIALES	<u>170,590.30/m</u>
	COSTO DIRECTO	\$ 457,562.72/m
	INDIRECTOS 25%	<u>\$ 114,390.68/m</u>
	S U M A	\$ 571,953.40/m
	UTILIDAD 10%	<u>\$ 57,195.34/m</u>
	S U M A	\$ 629,148.74/m
	CARGOS ADICIONALES 0.5%	<u>\$ 3,145.74/m</u>
	PRECIO UNITARIO	\$ 632,294.48/m

b) Idem. al anterior pero:

Utilizando en el acarreo de la rezaga equipo sobre vía:

Datos generales:

1. Túnel excavado en roca sana
2. Area de la sección : 37 m<sup>2</sup>
3. Tipo de la sección : herradura
4. Longitud del túnel : 5800 m
5. Factor de incremento al costo por construcción del túnel de trabajo de 400m =  $\frac{6200}{5800}$  = : 1.07
6. Longitud de barrenación (LB) : 3.20 m
7. Longitud efectiva de barrenación : 2.88
8. Número de barrenos por voladura : 80 barr.
9. Longitud de barrenación por voladura =  
80 x 3.20 : 256 m
10. Número de perforadoras : 4 pist.
11. Tiempo de barrenación : 3.20 hr.
12. Volumen excavado por voladura 37m<sup>2</sup>x2.88m = : 106.56 m<sup>3</sup>
13. Volumen a rezagar por voladura  
106.56 m<sup>3</sup> x 1.60 (abundamiento) = : 170.50 m<sup>3</sup>
14. Equipo de rezaga : 1 cargador  
2 trenes con 8  
vagones cada uno.
15. Tiempo de rezaga : 5.07 hr.
16. Coeficiente de barrenación  $\frac{256 \text{ m}}{106.56 \text{ m.}}$  : 2.403 m/m<sup>3</sup>

17. Coeficiente de carga del explosivo=
- $$\frac{158.05 \text{ kg}}{106.56 \text{ m}^3} = 1.48 \text{ kg/m}^3$$
18. Tiempo de ciclo promedio:
- |                                 |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| Aprox. equipo y personal        | : 0.33 hr.         |
| topografía e inst. equipo       | : 0.33 "           |
| barrenación                     | : 3.20 "           |
| poblado, retiro equipo y conex. | : 0.45 "           |
| prueba eléctrica                | : 0.80 "           |
| disparo                         | : 0.17 "           |
| ventilación                     | : 0.50 "           |
| rezaga                          | : 5.07 "           |
| <b>t o t a l</b>                | <b>: 10.13 hr.</b> |
19. Avance requerido: 100 m/mes= 4 m/día
20. Número de tronadas por día  $\frac{4 \text{ m/día}}{2.88 \text{ m/ciclo}}$  1.39 / día
21. Turnos de trabajo por día
- $$\frac{1.39 \text{ cic/día} \times 10.13 \text{ hr/cic.}}{8 \text{ hr/día} \times 0.8 \text{ (eficiencia)}} = 2 \text{ turnos de } 9 \text{ hr.}$$

Equivalente a dos turnos normales más dos horas extras.

NOTA: Cuando se utilizan horas extras se debe considerar que:  
 1 hr. extra = 2 hrs. normales en costo; por lo que se hace necesario aplicar un factor de incremento al salario por trabajar 1 hr. extra por turno.

$$\begin{aligned} & 8 \text{ hr / turno} \\ & + \\ & \frac{2 \text{ hr. normal}}{10 \text{ hr / turno}} = 1 \text{ hr. extra} \\ \text{Suma} & = \end{aligned}$$

$$\text{Factor} = \frac{10 \text{ hr/ turno}}{8 \text{ hr/ turno}} = 1.25$$

## ANALISIS

## I. EQUIPO

MAQUINA	NUM.	HORAS		COSTO HORARIO		I M P O R T E S		T O T A L
		ACTIVO	INACTIVO	A C T I V O	INACTIVO	A C T I V O	INACTIVO	
Cargador	1	5.07	5.06	28,723.71	17,605.33	145,629.21	89,082.97	234,712.18
Locomotora	2	5.70	5.06	25,316.67	18,157.87	256,711.03	183,757.64	440,468.68
Perforadora	4	3.20	6.93	1,505.59	1,070.84	19,271.55	29,683.68	48,955.24
Camión Jumbo	1	1.11	9.02	10,567.86	4,392.37	11,730.32	39,619.18	51,349.50
Compresor	1	3.20	6.93	13,306.46	6,025.35	42,580.67	41,755.68	84,336.35
Ventilador	6	10.13	----	1,967.97	562.78	119,613.22	-----	119,613.22
Planta de Luz	1	10.13	----	12,307.58	640.70	124,675.79	-----	124,675.79
Bomba de Agua	1	4.00	6.13	1,111.04	338.15	4,444.16	2,072.86	<u>6,517.02</u>
							S U M A	1'110,627.98

CARGO POR EQUIPO POR M.L. DE TUNEL=  $\$ \frac{1'110,627.98}{2.88 \text{ m}} = 385,634.71/\text{m}$

## II.- MANO DE OBRA

## PLANTILLA DE PERSONAL

CATEGORIA	TURNOS		TOTAL	SALARIO	IMPORTE POR DIA
	1o	2o			
Cabo de perforistas	1	1	2	5,848.25	11,696.50
Poblador	1	1	2	4,432.75	8,865.50
Ayudantes	4	4	8	3,844.20	30,753.60
Bordero de Rezaga	2	2	4	3,180.10	12,720.40
Tubero	1	1	2	4,432.75	8,865.50
Electricista	1	1	2	4,388.05	8,776.10
Peones p/colocar rieles	4	4	8	3,180.10	25,440.80
Maniobrista	1	1	2	5,848.25	11,696.50
<b>S U M A</b>					<b>118,814.90/día</b>

Factor de incremento por horas extras = 1.25

Avance diario: 4 m/día

Cargo por mano de obra por ML de túnel =

$$\frac{\$ 118,814.90/día}{4 \text{ m/día}} \times 1.25 = \$ 37,129.69$$

## III.- MATERIALES

## 1.- DE CONSUMO

- a) Acero de Barrenación  
(Igual que en el concepto anterior) \$28,287.67/m
- b) Explosivos  
(Igual que en el concepto anterior) 123,772.77/m



## 2. EN INSTALACIONES

a) Ventilación (Igual que en el concepto anterior)	\$ 4,712.50/m
b) Aire comprimido (Igual que en el concepto anterior)	6,519.40/m
c) Agua para barrenación (Igual que en el concepto anterior)	750.60/m
d) Anclaje de sostén líneas (Igual que en el concepto anterior)	140.96/m
e) Instalación eléctrica (Igual que en el concepto anterior)	3,882.65/m
f) Instalación p/serv. Subestación (Igual que en el concepto anterior)	258.20/m
g) Instalación p/serv. frente (Igual que en el concepto anterior)	229.85/m
h) Focos iluminación del túnel (Igual que en el concepto anterior)	1,806.60/m
i) Iluminación frente túnel (Igual que en el concepto anterior)	92.65/m
j) Comunicación telefónica (Igual que en el concepto anterior)	136.35/m
k) Vías para los trenes:	

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	DEPRECIACION	IMPORTE
Riel de 40 Lb x 1" de 7.30 m	m	13,600/5,800	7,440.00	0.50	\$ 8,722.76
Plachuelas	Jgo	1,863/5,800	5,000.00	0.50	803.02
Tornillos de 3/4" x 4", tuerca de 3/4" y arandela	Jgo	7,452/5,800	1,035.00	0.50	664.90
Durmientes de madera de 8"x8"x1.20 m tratadas con creosota, separados a cada 20 cm	Pza	17,000/5,800	5,720.00	0.75	12,574.14
Clavos de vía de 9/16" x 5 1/2" cabeza gota de agua.	Pza	68,000/5,800	290.00	0.75	2,286.21
Agujas de 12 m	Jgo	1/5,800	2'000,000.00	0.75	<u>258.62</u>
			SUBTOTAL		25,309.65/m
			Más 10% por cambios		<u>2,530.97/m</u>
			S U M A		\$ 27,840.62/m
			CARGO POR MATERIALES POR M.L. DE TUNEL:		198,430.92/m
			INTEGRACION DEL PRECIO		
I. EQUIPO -----					\$ 385,634.71/m
II. MANO DE OBRA -----					37,129.69/m
III. MATERIALES -----					<u>198,430.92/m</u>
			COSTO DIRECTO:		621,195.32/m
			INDIRECTOS 25%		<u>155,298.83</u>
			S U M A		776,494.15/m
			UTILIDAD 10%		<u>77,649.42</u>
					854,143.57/m
			CARGOS ADICIONALES 0.5%		<u>4,270.72</u>
			PRECIO UNITARIO=		\$ 858,414.29/m

### 3. COMPARACION DE RESULTADOS Y ELECCION DE ALTERNATIVA.

De los análisis elaborados se tienen los siguientes costos:

La alternativa a) (utilizando camiones de volteo)	
en el acarreo de la rezaga:	\$ 632,294.48/m
y la alternativa b) (utilizando equipo sobre	
vía)	858,414.29/m

Observese una diferencia en el costo de 226,119.81/m  
en favor de la alternativa a)

Y ya que nuestro objetivo es el económico, elegimos desarrollar el trabajo utilizando la alternativa a)

Generalmente es usual que, cuando se tienen cosotos se utilicen camiones volteo siempre y cuando las condiciones lo permitan, y utilizar equipo sobre vía en acarreos largos, por el ahorro que se tiene en el consumo de combustible, invirtiéndose así el costo en las alternativas.

NOTA: Se hace notar que no está aplicado el factor de incremento debido a la construcción del túnel de trabajo, pero éste si se debe de cobrar; por lo que el costo real que se cobraría para la alternativa elegida (a) será de:  $632,294.48 \times 1.07 = \$676,555.09/m$ .

C A P I T U L O VI

ORGANIZACION Y CONTROL DE OBRA

## VI.- ORGANIZACION Y CONTROL DE OBRA

Cuando se pretende conocer, si nuestra planeación funciona y las decisiones que vamos tomando van encaminadas a lograr el objetivo, después de manejar un gran conjunto de variables, estudiando sus relaciones y comprendiendo sus limitaciones. No se debe esperar a que finalice la obra, sino revisar a lo largo del proceso y hacer comparaciones de lo realizado con lo planeado.

Analizando continuamente las diferencias, y cuando éstas sean significativas, revisar nuestro plan, y modificarlo si es necesario.

Para lograr lo anterior, se hace necesario "organizarse" y así llevar un buen control tanto administrativo como de calidad de la obra.

### 1. ORGANIZACION:

"Organización" Sinónimo de acomodar con orden.

En este capítulo se trata de la organización del personal, por lo que una buena organización estriba en la de elegir y colocar al personal en el puesto apropiado y en la cantidad adecuada para el desarrollo óptimo en cada actividad que le sea asignada.

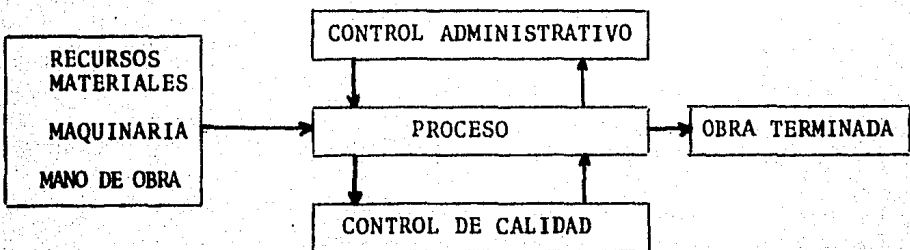
A continuación presentamos un organigrama típico de una Em presa constructora. (Fig. No. III).

## 2. CONTROL

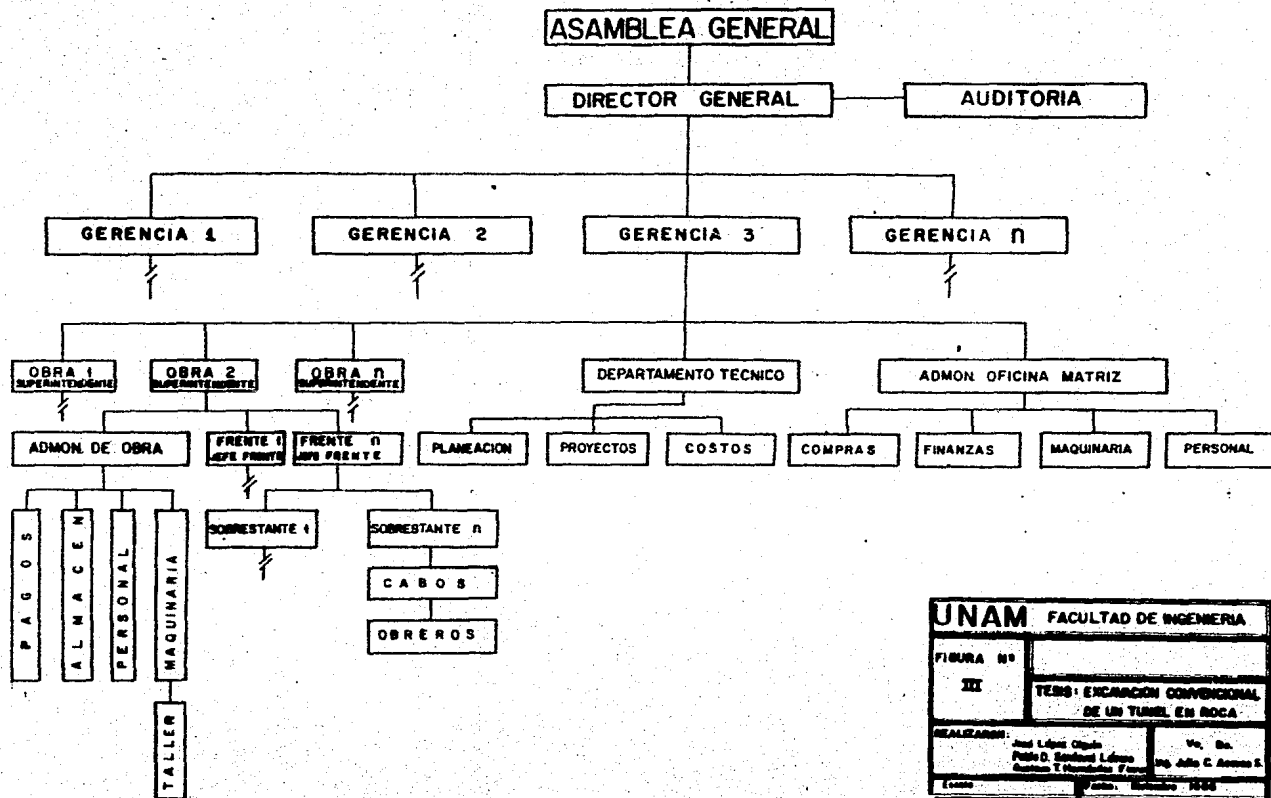
**Control Administrativo** Es aquella revisión y actuación - que se lleva a cabo para corregir el proceso en función del costo - mediante programas de utilización de recursos, planes financieros, y el más importante es sin duda las técnicas de contabilidad del dine ro.

**Control de calidad** Es aquella revisión y actuación - que se hace para conocer si el - producto terminado va con la cali dad especificada por el proyectis ta mediante comparaciones de mues tras con un estandar.

Esto aplicándolo al proceso constructivo, lo podemos presentar así:



# ORGANIGRAMA TIPOICO DE UNA EMPRESA CONSTRUCTORA



<b>UNAM</b> FACULTAD DE INGENIERIA	
FIGURA N°	
III	
TITULO: EJECUCION CONVENCIONAL DE UN TUNEL EN ROCA	
REALIZADO:	
Jose Luis Orta	Mo. Sa.
Pablo D. Sanchez Lopez	196 Julio C. Gomez S.
Guillermo Hernandez Flores	
Lugar:	Fecha: Octubre 1968

### A'. CONTROL ADMINISTRATIVO.

Para llevarlo a cabo, se cuenta con un sinnúmero de formas impresas útiles para este fin; y que cuando no se tienen a la mano, se elaboran a criterio, según el tipo de obra y - de los resultados.

A continuación mencionaremos algunas formas comunmente utilizados por las empresas constructoras.

En Materiales	:Vales de salida de almacén, formas de inventarios, archivos en computadoras, etc.
En personal	:Listas de raya, de asistencia, etc.
En equipo	:Programa de utilización de equipo, etc.
En avance	:Programas de avance Juntas y observaciones, cuantificación de obras estimaciones.
En costos y utilidad:	Indices de productividad, estimaciones, estadísticas de gastos, etc.

### B. CONTROL DE CALIDAD.

Normalmente se lleva a cabo en laboratorios que bien pueden pertenecer a la empresa constructora o al contratante.



C A P I T U L O    V I I

C O N C L U S I O N E S

## C O N C L U S I O N E S

El presente trabajo fue el resultado de una serie de consultas a personas dedicadas a proyectos de construcción de túneles.

Se eligió este tema, al notar la necesidad de tener algo escrito sobre la excavación de túneles en roca en forma de paquete, ya que aunque existen personas con amplios conocimientos sobre el tema, no se tiene material de consulta para tal fin.

En la elaboración de la tesis se trató de explicar todos los capítulos que contiene ésta, de la manera más clara posible para facilitar su consulta.

El método de ataque elegido en nuestro proyecto fue el convencional, aunque éste no es el único existente para excavar túneles en roca. Es importante destacar que este proyecto sólo contempla la excavación del túnel, ya que no se analiza el revestimiento, instalaciones ni acabados, lo cual podría ser tema para otra tesis si alguien así lo quisiera.

En el cálculo de la plantilla de barrenación así como de las cargas de explosivos se utilizaron fórmulas empíricas, éstas

han sido obtenidas en base a experiencias y pruebas realizadas desde los inicios del uso de explosivos hasta la actualidad, los encargados de hacer dichas pruebas actualmente son los proveedores de explosivos, así como de accesorios para la iniciación de los mismos.

En el rezagado del túnel se eligieron dos alternativas, las cuales son:

- 1a. Equipo de acarreo sobre neumáticos.
- 2a. Equipo de acarreo sobre vía.

Para ésto se hizo el análisis de costos, resultando la 1a. alternativa como la más factible, debido a que es la que cuesta menos.

## B I B L I O G R A F I A

- Facultad de Ingeniería, UNAM.- Diseño y Construcción de túneles 1a. y 2a. Parte. División de Educación Continua. Curso Septiembre-Octubre 1985.
- E. Hoek, D. S.C. (Eng.)  
E. T. Brown, Ph. D.- Excavaciones Subterráneas en Roca. Editorial Mc. Graw Hill. 1a. Edición, 1985.
- Paul Galabru.- Maquinaria General en Obras y Movimiento de Tierras.- Editorial Reverté. 2a. Edición, 1973.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos.- Manual Sobre el Cálculo de Precios Unitarios de Trabajos de Construcción, Tomo IV. Talleres Gráfico de la Nación. 1a. Edición, 1963.
- R. L., Peurifoy.- Métodos, Planteamiento y Equipo de Construcción.
- Paul Galabru.- Cimentaciones y Túneles. Editorial Reverté. 2a. Edición, 1970.
- Herbert L. Nichols, Jr..- Movimiento de Tierras. (Manual de Excavaciones). Editorial Continental. 2a. Edición, 1983.
- Facultad de Ingeniería, UNAM.- Apuntes de Movimiento de Tierras.
- Facultad de Ingeniería, UNAM.- Apuntes de Ruta Crítica.
- Ing. Francisco Riccs Chacón.- Explosivos y Voladuras. Instituto de Ingeniería, A. C.
- Frederick S. Merrit.- Manual del Ingeniero Civil.- Mc. Graw Hill.
- Cámara Nacional de la Industria de la Construcción.- Los Costos en la Industria de la Construcción. Bay Gráfica y Ediciones, S. de R. L., 1a. Edición, 1971.
- Manuel Sánchez Rodríguez.- Control de Costos en la Construcción.- Ediciones CEAC, S. A. 13a. Edición, 1977.