



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

28  
94

**CONSTRUCCION DE TUNELES EN ROCA  
POR MEDIO DE EXPLOSIVOS**

# **Tesis Profesional**

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

presenta

**JOSE LUIS HERNANDEZ DUARTE**



**México, D. F.**

**1984**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

# I N D I C E

## PAGINA

### Prólogo

#### I ANTECEDENTES DE LA CONSTRUCCION DE TUNELES EN MEXICO.

- 1.1. Reseña Histórica de la Construcción de Tuneles en México. - - - - - 1

#### II ESTUDIOS PRELIMINARES E INSTRUMENTACION.

- 2.1 Exploración Geológica - - - - - 7
- 2.2 Propósitos de las Exploraciones Geológicas. - - - - - 8
- 2.3 Secuencias de Exploración. - - - - - 8
- 2.4 Importancia de diferentes formas Estructurales y su comportamiento frente a los agentes de erosión. - - - - - 11
- 2.5 Instrumentación.- - - - - 22

#### III VIAS DE ACCESO.

- 3.1 Acceso para la Construcción de Túneles. - - - 26
- 3.2 Lumbreras.- - - - - 28
- 3.3 Instalaciones en Lumbreras. - - - - - 33

#### IV PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

- 4.1 Métodos de Excavación en Túneles. - - - - - 36
- 4.2 Ciclo de Excavación para túneles en roca por medio de explosivos. - - - - - 44
- 4.3 Maquinaria y Equipo de Perforación. - - - - - 52
  - 4.3.1 Martillos Neumáticos - - - - - 52
  - 4.3.2 Máquinas de Perforación. - - - - - 54
  - 4.3.3 Perforadoras. - - - - - 54
  - 4.3.4 Taladros de vagoneta. - - - - - 57



## PROLOGO

El presente trabajo realizado a partir de la inquietud de conocer las voladuras en rocas, sus variantes ante diferentes formaciones rocosas y la secuencia para calcular una plantilla de barrenación, posteriormente ampliado a la construcción de túneles así como completado para conocer las diferentes etapas de construcción de estas obras subterráneas, se pone a la consideración de la experiencia y comprensión del Jurado.

Y lleva solo como finalidad transmitir en una forma condensada, la información sobre el tema a los alumnos, futuros egresados de la Facultad de Ingeniería y a toda persona interesada en el tema.

## CAPITULO I

### ANTECEDENTES DE LA CONSTRUCCION DE TUNELES EN MEXICO.

## 1.1 Reseña Histórica de la Construcción de Túneles en México.

El significado de la palabra Túnel, de acuerdo con la Real Academia de la Lengua Española, tiene su origen en el idioma inglés y lo define como: "Paso subterráneo, abierto artificialmente para establecer una comunicación a través de un monte, por debajo de un río u otro obstáculo".

Como excepción a la definición anterior, se comentará que la naturaleza, por medio de la acción provocada por la erosión marina, o bien por la acción hidráulica tanto superficial como subterránea o a veces por la eólica, ha "construido" también túneles naturales a través del tiempo, de los cuales se pueden mencionar como ejemplos el que está frente a Cabo San Lucas en Baja California Sur, ríos subterráneos como el de los formadores del Río Amacuzac en la zona de Cacahuamilpa, los túneles en las calizas cercanas a la Ciudad de Monterrey y por último los túneles en las islas Baleares Españolas que permiten la entrada durante la marea baja hasta las lagunas interiores, entre otros ejemplos.

Existen muchos ejemplos de túneles naturales que hacen que los ríos se pierdan subterráneamente y vuelvan a aparecer en un trecho más o menos largo, como es el caso de los ríos Chontalcoatlán y Sn. Jerónimo que forman el río Amacuzac. Sin embargo el desarrollo de este trabajo, sólo tratará sobre los túneles - - - - -  
construidos por la mano del hombre.

El origen de los túneles se remonta a varios miles de años, cuando los primeros pobladores del planeta tuvieron la necesidad de protegerse contra los agentes atmosféricos y las condiciones de vida existentes; en un principio buscaron refugios naturales, tales como cavernas, grutas, cuevas, etc., más tarde, debido al crecimiento de la población, se vieron en la necesidad de ampliar sus refugios, y al resultar esto insuficiente, tuvieron que construir algunos nuevos; es en éste momento cuando se empieza a llevar a cabo la práctica de la excavación de cuevas, los cuales, tenían una técnica rudimentaria de construcción de túneles.

Los primeros túneles de que se tiene noticia, son los encontrados en las pirámides del Alto Egipto, prueba de esto, son las grandes galerías que daban acceso a las tumbas de los faraones y estos túneles fueron construídos en roca, con longitudes de más de 200 metros.

En la Isla de Malta, existen templos subterráneos que datan aproximadamente de 5000 años, excavados en areniscas con herramienta de pedernal.

El primer subacuático construído fue bajo el Río Eufrates, el cual tenía dimensiones de 4.00 metros de ancho y 5.00 m. de altura.

Los romanos se destacan entre los primeros constructores de túneles, debido a la gran cantidad de obras realizadas y a su gran adelanto en técnica de construcción. Una de sus técnicas consistía en calentar y enfriar bruscamente la roca, con el fin de obtener su fracturación y facilitar el proceso de excavación. Cuando trabajaban en calizas o rocas similares, es probable que usaran vinagre en lugar de agua, aprovechando así, el ácido que contiene el vinagre, para desintegrar la roca física y químicamente. Los romanos fueron los primeros en emplear pozos de ventilación cuando construían túneles largos, prueba de ello es el túnel bajo el monte Saloviano, con 5631 m. de longitud y 40 pozos de ventilación.

La habilidad y experiencia de los romanos en la construcción de túneles llegó a México a través de los conquistadores Españoles quienes se dedicaron a la explotación de minas mediante la construcción de galerías, socavones y túneles. Sin embargo, es oportuno señalar que nuestros maestros, en la época prehispánica, ya extraían minerales diversos en forma subterránea, habiendo quedado prueba de ello en las distintas explotaciones que encontraron los conquistadores. Ejemplo de esto lo constituyen las minas que los indígenas tenían en el hoy Estado de Querétaro, en donde explotaban el Cinabrio para obtener pintura roja y que en la actualidad podemos observar a través de socavones existentes que tienen más de 200 m. de profundidad, de donde extraían dicho material.

El apogeo de la construcción de galerías, socavones y túneles en México, se tuvo durante la época de la colonia, cuando los españoles en su afán de obtener la mayor cantidad de oro y plata, desarrollaron una intensa actividad minera en toda la República, en especial en Zacatecas, San Luis Potosí, Pachuca, Taxco, Temascaltepec, Tlalpujahua, Sombrerete, Fresnillo, El Rosario, Bolaños, Guanajuato, Sultepec, Zimapan y Chihuahua, entre los más -

conocidos.

En lo que respecta a túneles para otras funciones, se pueden mencionar los esfuerzos que se hicieron durante la colonia para drenar la cuenca cerrada del Valle de México, que originalmente abarcaba una superficie de 8,060 Km<sup>2</sup> y que debido a la acción del hombre se le incorporó la antigua Cuenca de Apan, contando ahora con una superficie aproximada de 9,600 Km<sup>2</sup>.

El primer proyecto para el desague del Valle de México del que se tiene noticias, se debe al Sr. Ruy González quien en 1555 lo presentó al Virrey. A finales del mismo año el Sr. Francisco Budiel presentó un segundo proyecto. Ambos proyectos proponían dar salida a las aguas del Río Cuautitlán fuera del Valle por la ruta de Nochistongo. Sin embargo dichos proyectos quedaron en el olvido y no fue sino hasta después que la Ciudad de México padeció las graves inundaciones de 1556, 1579, 1580 y ya en el Siglo XVII las de 1604 y 1607 cuando el Virrey Don Luis de Velasco, aprobó un estudio presentado por el cosmógrafo e ingeniero Enrico Martínez, quien con la misma idea antes señalada, propuso dar salida a las aguas del Río Cuautitlán por Nochistongo. En esta ocasión el proyecto si tuvo éxito y las obras se iniciaron el 30 de noviembre de 1607 bajo la dirección de su autor. Las obras consistieron en construir un tajo de 500 m. de longitud y la perforación de 6,600 m. de túnel con 3.5 m. de ancho y 4.20 m. de alto.

La obra se realizó en un período record de 11 meses, habiéndose terminado el 17 de septiembre de 1608. El método constructivo empleado fue a base de excavar a pico y pala y se construyeron numerosas lumbreras, habiéndose empleado del orden de 60,000 indígenas de los cuales se asegura que sólo 10 murieron por accidente de trabajo.

El barón de Humboldt quien conoció la obra, externó su admiración comentando que "Aún en Europa llamaría la atención de los ingenieros, el perforar 6,600 m. con más de 10 m<sup>2</sup> de sección en menos de un año."

Desafortunadamente por razones políticas y por falta de fondos, la obra no pudo ser revestida, por lo que al paso de las avenidas se presentaron grandes caídos o derrumbes que obstaculizaban el desalojo de las aguas, situación que empeoró catastróficamente al ordenar el Virrey, Matías de Galvez y Gallardo, Marques de Gálvez que se tapara el túnel, ocasionándose la inundación de la Ciudad de México en 1629, mismo que tuvo una duración de 6 años en los cuales por poco y desaparece la Ciudad.

Ante esa situación, el Virrey, Lope Díez de Armendariz Marques de Cadereyta, ordenó que se sustituyera el túnel por un tajo a cielo abierto. La construcción de esa nueva obra tardó -- más de 150 años, debido a que varias veces se interrumpieron los trabajos ya fuera por falta de fondos o porque se presentaron diferencias de opinión entre las diversas autoridades que interve-- nían.

En 1775 poco antes de terminarse la construcción del ta-- jo, las autoridades comisionaron al matemático Don Joaquín Veláz-- quez de León para que realizara otro proyecto de drenaje para el Valle, sin que se tengan noticias de este estudio. El proyecto fue aceptado en principio como factible sin haberse tomado ningun-- na decisión.

En 1856 se nombró una comisión, la cual abrió un concu-- rso y fueron presentados 7 proyectos, de los cuales solamente el -- del Ing. Francisco Garay fue tomado en cuenta.

Posteriormente se aprobó un proyecto presentado por el Ing. Luis Espinoza que tenía la misma idea de construir un Canal y un Túnel que desembocara en Tequixquiac. Los trabajos en cues-- tión se iniciaron en el año de 1868 bajo la dirección del Ing. Es-- piñoza, autor del Proyecto, pero por diversas causas las obras se suspendieron entre 1871 y 1885, reanudándose en 1886 para termi-- narse en 1900.

También es justo mencionar la aportación de los túneles ferroviarios en el desarrollo de la excavación subterránea. Esta aportación se inició durante el Imperio de Maximiliano con la -- construcción del ferrocarril que une a la Ciudad de México con el Puerto de Veracruz que hasta la fecha es el principal puerto para nuestro comercio con Europa. La construcción del mismo continuó durante el régimen del Presidente Lerdo de Tejada. Los túneles -- fueron construídos por compañías inglesas, eran de escasa longi-- tud realizados por secciones y utilizando equipo de mano para la barrenación, empleando como explosivo la pólvora negra y revis--- tiendo las paredes con mampostería y la bóveda con bloques de pie-- dra.

Durante el régimen de Porfirio Díaz, uno de los túneles ferroviarios que se construyó fue el "Barrientos" que además fue el primero de doble vía en el país con una longitud de 337 m., -- sección terminada de 10 m. de ancho, revestido con paredes de la-- drillo y mampostería en algunos tramos, y sin revestir donde la -- roca era sana.

También durante 1887 se construyó el túnel el "Mercader" el cual se encuentra entre las estaciones Huichapan y San Juan -- del Río, con una longitud de 500 m. y sección entre 4.50 m. y -- 5.00 m. de ancho para una solavía.

En 1905 se construyó el túnel "La Cumbre" en el Estado de Chihuahua con sección para una sola vía. En 1911 el General - Francisco Villa capturó en éste túnel a un convoy, volando el por tal de salida y posteriormente el de entrada.

Durante el período correspondiente a la Revolución, casi no se construyeron ferrocarriles en nuestro país y no fue sino hasta 1951 que se inició la construcción del ferrocarril Durango-Mazatlán. En este ferrocarril el túnel número uno, "Las Rusias", atraviesa roca fragmentada que provocó innumerables caídos. Para salvar éste obstáculo se efectuó una inyección de lechada de cemento para consolidar la roca y así poder avanzar posteriormente con la excavación del túnel.

También son importantes los túneles construidos en el ferrocarril Chihuahua Pacífico, de los cuales los más importantes son los llamados "El Descanso" y "El Continental", este último - con una longitud de 1260 m.

Las experiencias obtenidas, que ya en México son bastante extensas, así como las derivadas de investigaciones y técnicas desarrolladas en el extranjero, han permitido en años recientes obtener avances más seguros, soportes y revestimientos más - adecuados y por lo tanto una economía en este tipo de trabajo.

También ha sido de importancia la experiencia adquirida en construcción de túneles para obras hidráulicas en nuestro país, tanto en lo que respecta a la perforación de túneles para desvío en la construcción de presas, como en la conducción de agua para irrigación y en túneles de presión para alimentación de plantas - hidroeléctricas.

Son de especial importancia los excavaciones subterráneas realizadas para alojar grandes casas de máquinas para plantas hidroeléctricas como es el caso de las plantas de "Malpaso", "Infiernillo" y "Cnicoasen".

Haciendo una reapitulación de lo antes expuesto, tenemos que los primeros túneles de que se tiene noticias se realizaron a mano con la ayuda de rocas de mayor dureza que el terreno y que servían como herramientas con sus consiguientes limitaciones.

Posteriormente se utilizó el calor, procedimiento en que se calentaba el frente de roca con ayuda de fogatas y posteriormente se mojaba, provocando un cambio brusco en la temperatura y por consiguiente un resquebrajamiento del material.

Las primeras herramientas metálicas que se utilizaron fueron el pico y la pala para materiales relativamente blandos y la barreta y el marro cuando la dureza del terreno era mayor.

Este procedimiento se vió mejorado con el empleo de la pólvora negra que se introducía y se encendía en los orificios -- realizados con la barreta.

Al inicio de la era Industrial se empezó a emplear la perforadora de vapor para ejecutar los barrenos, siendo ésta la primera máquina que se empleó en la excavación de túneles.

El descubrimiento y posterior empleo de la dinamita como elemento explosivo, vino a mejorar aún más los procedimientos de excavación, llegando en la actualidad a utilizarse diferentes tipos de dinamita cuya ignición se hace con retardo de tiempos, -- con lo cual se trata de optimizar tanto el consumo de explosivos como el avance por ciclo y el tamaño de la rezaga obtenida.

El mismo proceso de barrenación ha venido mejorándose -- utilizando en la actualidad aire comprimido para accionar las perforadoras y empleando aceros especiales, e insertos de tungsteno, para obtener una mayor velocidad de penetración.

Los procedimientos de barrenación también en las últimas décadas han tenido mejoras de importancia. Primeramente se usaron máquinas perforadoras ligeras que podían ser fácilmente cargadas -- por un hombre, pero con las cuales era difícil perforar los barrenos en la dirección requerida de acuerdo con el proyecto. Más tarde vino el uso de máquinas con pierna neumática y de jumbos o carros de soporte de perforadoras de mayor peso y potencia, accionadas para su posicionamiento por soportes a base de tornillos mecánicos. Ya en últimas fechas, prácticamente todos los jumbos usan el tipo de soporte para los perforadoras con base en mandos hidráulicos disminuyendo así los tiempos de posicionamiento de las perforadoras.

Tal como se ha visto, los métodos y procedimientos empleados para la excavación de túneles, ha venido mejorándose sistemáticamente, conforme la propia tecnología en diversos aspectos a nivel mundial ha venido perfeccionándose.

**CAPITULO II**

**ESTUDIOS PRELIMINARES E INSTRUMENTACION.**

## ESTUDIOS PREVIOS A LA CONSTRUCCION.

En las obras de Ingenieria Civil, la utilización de los estudios geológicos es reciente y limitada, puesto que hace relativamente pocos años que se ha comenzado a reconocer y dar importancia al criterio y experiencia del geólogo, como un factor esencial en una organización que tenga como fin la planeación, localización y construcción de grandes obras de Ingeniería.

Cabe decir de paso, que éste reconocimiento se debió a numerosos y frecuentes fracasos de algunas obras precisamente porque no se había concedido debida atención a los factores geológicos que los ocasionaron.

Una de las funciones más importantes del geólogo en su colaboración con el Ingeniero Civil, es la de asistirle en la resolución de los problemas decisivos en la localización de obras y su ejecución, considerando el conjunto de los factores relacionados con la naturaleza física de las rocas o formaciones y su comportamiento durante la construcción de la obra y en su fase posterior.

### 2.1 Exploración Geológica,

La fase más importante del trabajo preliminar en túneles es la exploración detallada de las condiciones geológicas, ya que es el medio geológico el que determina las cargas que actúan sobre el túnel y además determinan los sistemas de construcción.

Por estas razones, durante el diseño de un túnel, deben ser reconocidos con bastante exactitud los rasgos geológicos que pueden hacer difícil y aún imposible su construcción.

La localización general de un túnel está determinada por sus propósitos, pero la localización exacta está controlada por las condiciones geológicas que prevalecen en el área.

Mientras más detallada y cuidadosa sea la exploración, el diseño y los métodos de construcción serán preparados con mayor confianza y seguridad, lo cual redundará en una construcción

más rápida y económica.

## 2.2 Propósitos de las Exploraciones Geológicas.

Los propósitos de una exploración geológica aplicada a la construcción de un túnel, comprende los siguientes aspectos:

- a) Geología Historica.- Investiga el origen de las rocas y los procesos geológicos que las han afectado.
- b) Hidrogeología.- Determinaciones del ciclo hidrológico de la zona, para cuantificar las filtraciones en el túnel.
- c) Geología Estructural y Estratigrafía.- Determina la forma, posición y calidad de los macizos rocosos a ser excavados.
- d) Tectónica.- Determina las características geológicas que pueden afectar la magnitud de las presiones de roca que se han supuesto.
- e) Geotecnia.- Determinación de las propiedades físicas, mecánicas y de resistencia de los macizos rocosos que atravesará el túnel. Localización de los sitios de filtraciones y cuantificación de éstas; que problemas presentarán y su posible solución. Determinar con exactitud los sitios de fallas y fracturas y los problemas que presentarán durante su construcción.

## 2.3 Secuencia de Exploración.

La secuencia de las exploraciones geológicas puede ser dividida en 3 etapas:

- a). Exploración de carácter general durante la etapa de localización.

Esta consiste en el registro y estadística de la geomorfología, estratigrafía, petrología, hidrología, geología estructural, tectónica y geología histórica de la región.

Esta información bibliográfica debe ser revisada y ampliada por medio de reconocimientos de campo y por fotointerpretación, sin menospreciar la información que de la experiencia previa de tuneo pudiera existir en la zona.

Los estudios hidrológicos consisten en localizar las corrientes superficiales, manantiales y determinaciones del Ph de las aguas (las características térmicas, químicas y mineralógicas del agua superficial, contribuyen con una información muy valiosa relativa a la naturaleza del macizo rocoso y de sus condiciones).

Así pueden quedar establecidos un rango probable de tipos de rocas, de estructuras geológicas, de regimenes de agua subterránea, de grado de fracturación y de intemperización, de condiciones probables a nivel de túnel, así como una historia general tentativa.

Especial atención debe ponerse, desde los primeros estudios, a identificar y evaluar los riesgos potenciales, los rasgos geológicos críticos que en un momento dado, pueden causar, retrasos o paros en la obra, que pueden originar problemas de seguridad o de estabilidad, o que pueden requerir medidas especiales durante las operaciones de tuneo.

b) Exploración de detalle durante la planeación.

Durante la etapa de planeación se trata de investigar el estado físico y químico de los diferentes macizos rocosos para definir la extensión y límites de sus características.

Todas ellas influyen notablemente en la selección del método de excavación, sistema de ademe y revestimiento definitivo.

Entre las características más importantes se consideran las siguientes:

b.1 Espaciamiento entre fracturas.

b.2 Distancia entre fracturas.

b.3 Relleno de fracturas.

b.4 Rumbo e inclinación de las fracturas.

b.5 Rumbo e inclinación de las fallas.

b.6 Zonas de fracturamiento.

b.7 Posición, rumbo e inclinación de los contactos geológicos.

**b.8 Filtraciones (cuantificación)**

**b.9 Grado de alteración química de la roca.**

**b.10 Esfuerzos tectónicos.**

El análisis de éstas características y de sus combinaciones, permite conocer con mayor aproximación las condiciones reales que presentará la roca.

Partiendo de las condiciones existentes, los métodos de Diseño y Construcción pueden determinar:

- 1) Tipo de soporte inicial, amplitud de las cuñas y bloques de roca que deben soportarse, capacidades de carga requeridas, orden y tiempo de instalación.
- 2) Procedimientos de soporte especiales (excavación por etapas, pre-soporte).
- 3) Métodos de excavación (requisitos de tronadas cuidadosas, posibilidad del empleo de máquinas tuneleadoras).
- 4) Diseño del revestimiento final (bloques de roca que se deben soportar, otras condiciones carga, criterio de carga de diseño, capacidad de carga prevista del revestimiento, factores que pueden deteriorarlo).

**c) Exploración durante la construcción.**

La exploración geológica alcanza su máxima actividad durante la etapa de construcción, ya que todos los parámetros establecidos durante las dos fases previas, son ajustados a las condiciones que la excavación va mostrando.

Durante la construcción, algunas características que en la etapa de planeación habían sido considerados determinantes, pierden importancia para dar paso a otras que en la realidad influyen más en la construcción.

Esto significa llevar un estudio continuo y cuidadoso de las condiciones subterráneas que se van presentando durante la excavación.

## 2.4 Importancia de diferentes formas Estructurales y Comportamiento de diferentes formaciones frente a los agentes de erosión.

### Estructuras Plegadas y Fallas.

Las estructuras plegadas se presentan exclusivamente en las rocas sedimentarias. A veces las rocas piroclásticas se depositan dentro de las aguas y adquieren el aspecto de rocas estratificadas.

Originalmente las formaciones sedimentarias se depositaron en una posición horizontal. Posteriormente, debido a los esfuerzos verticales y horizontales dentro de la corteza terrestre, estas capas pierden su posición horizontal y sufren deformaciones.

Bajo los esfuerzos de compresión se forman los plegamientos ocupando los estratos nuevas posiciones con un ángulo cualquiera con respecto a la horizontal.

1. La posición de los estratos se determina por su inclinación máxima que se mide en grados a partir de la horizontal (echado). Así, por ejemplo, la anotación de  $15^{\circ}S$   $25^{\circ}E$  se interpreta que el estrato tiene una inclinación máxima de  $15^{\circ}$  con respecto a la horizontal y la línea que determina esta inclinación tiene la orientación de  $25^{\circ}SE$ . (C,D de la Fig.1).
2. Por el rumbo, que es la dirección de la línea de intersección que forma un estrato inclinado con el plano horizontal y por lo tanto siempre se traza un ángulo recto con respecto a la línea de echado. (A,B de la Fig.1).

Así en el caso mencionado, el rumbo del estrato sería  $65^{\circ}NE-SW$ .

En la geología estructural se distinguen tres tipos principales de estructuras plegadas, mismas que son:

1. Anticlinal. Así se denomina un plegamiento de los estratos en forma de arco producido por la presión o esfuerzo hacia arriba (Fig. 2).
2. Sinclinal. Es un plegamiento en forma de arco inver

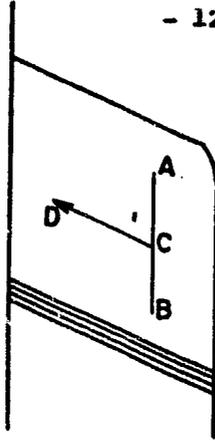


FIGURA 1

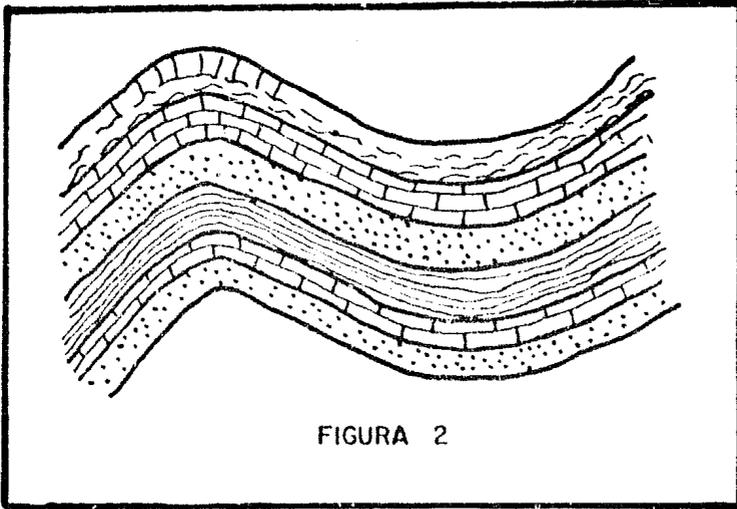


FIGURA 2

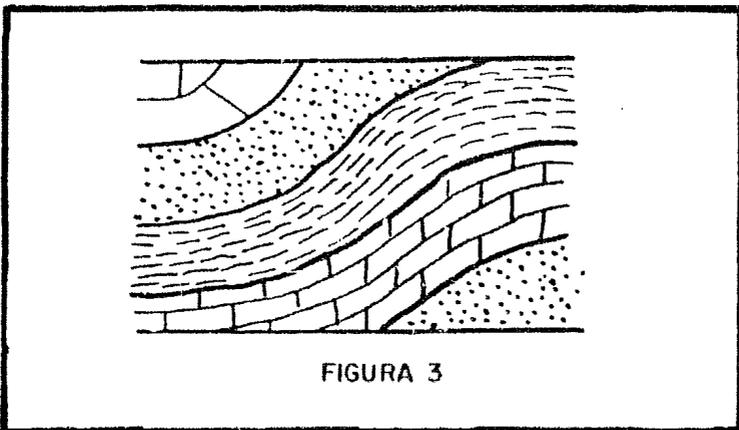


FIGURA 3

tido (caso contrario al anterior), producido por la presión lateral y el esfuerzo hacia abajo. (Fig. 2).

3. Monoclinal. Es un simple quiebre o flexión del estrato en un sólo lugar (Fig.3).

#### Fallas.

Por una falla se entiende el rompimiento de rocas o formaciones a lo largo de un plano, con desplazamientos vertical y/o horizontal de un bloque con respecto al otro.

El plano, según el cual se efectúa el deslizamiento y que separa los bloques movidos del inmóvil, se llama "plano de falla". Se determina, igual que un estrato, por su inclinación con la horizontal y el rumbo.

Según la dirección del movimiento durante la formación de una falla, estas se dividen en:

1. Fallas normales, son aquellas en las cuales el bloque movido ocupa la posición inferior con respecto al bloque inmóvil. También se les llama "fallas de tensión", porque el movimiento trata de alejar el bloque móvil de inmóvil (Fig. 4).
2. Fallas inversas, son aquellas en las cuales el bloque movido ocupa la posición superior con respecto al bloque inmóvil. Estas son fallas de compresión, porque el bloque movido trata remontar la parte inmóvil. (Fig.5).

En las fallas verticales, es decir en las cuales el plano de falla forme un ángulo de  $90^\circ$  con el horizonte, es bastante difícil a veces definir la dirección del movimiento.

Las fallas pueden formarse de una manera gradual y lenta o repentinamente. En este último caso generalmente originan movimientos sísmicos.

Las fallas se clasifican en activas e inactivas o muertas.

Las activas son los que sufrieron los movimientos en los períodos recientes, geológicamente hablando, y en las cuales en cualquier momento pueden suceder otros movimientos.

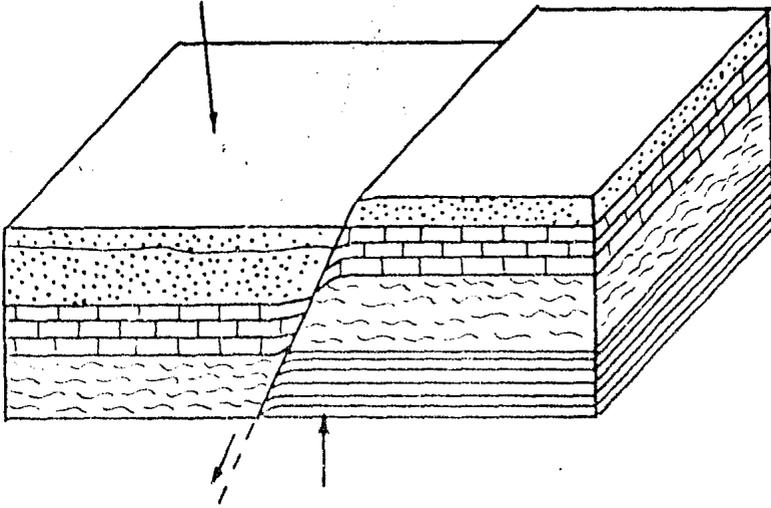


FIGURA 4

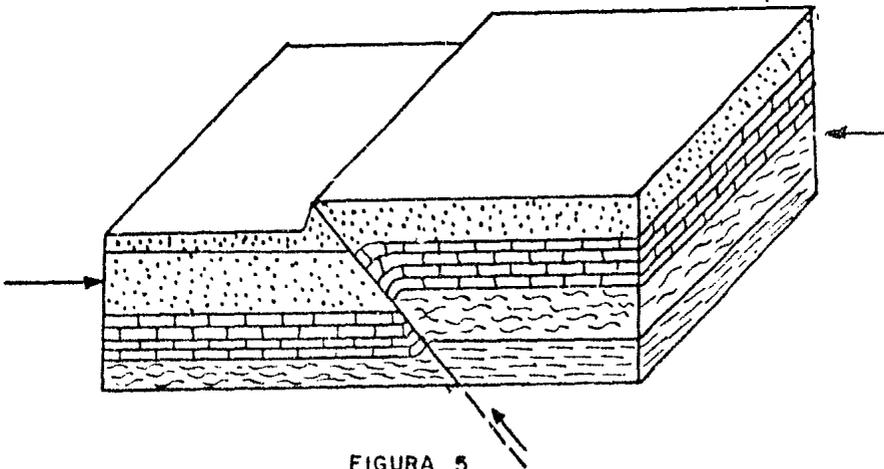


FIGURA 5

Las inactivas son aquellas que sufrieron movimientos en los períodos diastróficos remotos, pero no muestran evidencias de haberse vuelto a mover recientemente.

Desgraciadamente es casi imposible establecer de una manera definitiva, si una falla aparentemente inactiva, no vuelva a ser activa bajo la influencia de los movimientos sísmicos u otros fenómenos que podrían poner en peligro las obras construídas en las zonas afectadas por las fallas. Por lo tanto siempre es conveniente evitarlas.

#### Problemas que presentan las Estructuras Plegadas.

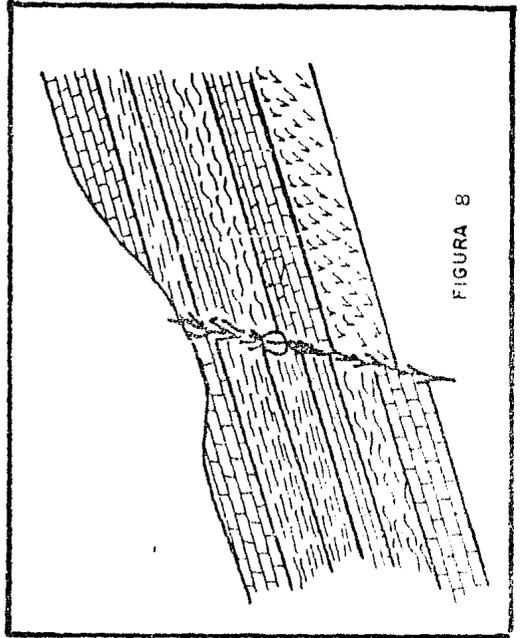
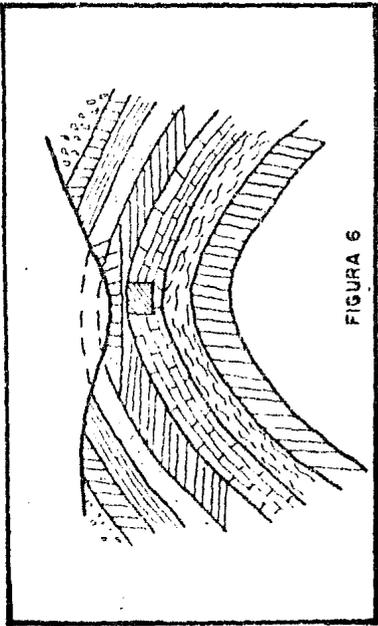
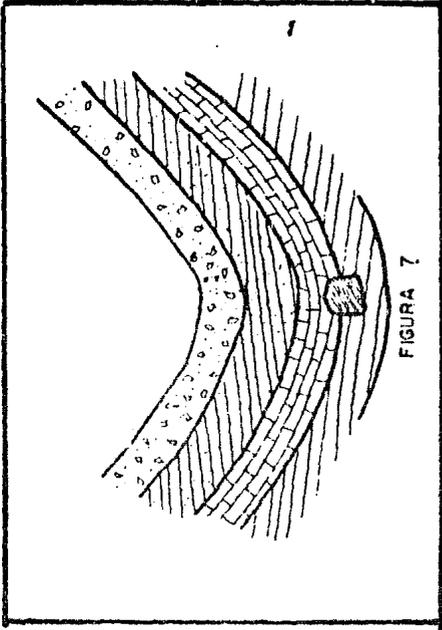
Los plegamientos de las formaciones sedimentarias, casi siempre porosos en mayor o menor grado, ofrecen serios problemas para algunas clases de las obras de Ingeniería.

En las estructuras plegadas tales como anticlinales y - sinclinales, las rocas, especialmente poco plásticas tienen la -- tendencia de fracturarse y agrietarse en las bovedas. En los casos de anticlinales las fracturas son divergentes hacia arriba; - en los sinclinales son divergentes hacia abajo. En ambos casos - se produce una faja débil a lo largo del eje de la estructura, -- donde la roca está agrietada y susceptible de originar los derrum bes si se alteran las condiciones naturales en las formaciones.

Si la obra consiste por ejemplo en un túnel dentro de - formaciones intensamente plegadas, y si el eje del túnel coincide con el eje de la estructura, el Ingeniero puede encontrarse con - dificultades originadas por derrumbes, capaces de aumentar grande mente el costo de la obra obligándolo, a veces, a abandonarla com pletamente, buscando otro sitio más favorable.

En el caso de sinclinales el problema se agrava aún más, porque este tipo de estructuras, es particularmente favorable para la acumulación de grandes cantidades de aguas subterráneas en presencia de adecuadas condiciones estratigráficas y litológicas. (Fig. 6 y 7).

No hay que olvidar que en las rocas estratificadas siem pre hay espacios entre las capas que ofrecen excelentes conductos para la circulación de las aguas subterráneas que se infiltran - desde la superficie, arrastrando arcilla que desempeña el papel - de lubricante entre los estratos, facilitando así los deslizamien tos y derrumbes.



### Problemas que presentan las fallas.

Como ya se dijo anteriormente, las fallas son rupturas en las masas de las rocas, acompañadas por deslizamientos verticales y/o horizontales. Las fallas pueden variar desde unos cuantos centímetros hasta cientos y miles de metros, tanto en la extensión horizontal, como en el deslizamiento.

Frecuentemente una falla va acompañada por las distorsiones dentro de una faja a ambos lados del plano de la falla si las formaciones son plásticas o fracturamientos si son duras o rígidas. Dentro de esta zona las rocas pueden estar afectadas por sistemas de fracturas que generalmente conservan cierto paralelismo con el rumbo del movimiento, aunque eso no debe considerarse como regla general.

Los límites, en el sentido normal o la falla, dentro de los cuales las rocas están fracturadas y a veces trituradas, por el movimiento también varían mucho, desde unos cuantos metros hasta cientos de metros.

Observando la Fig.8 se comprende fácilmente que las zonas de fallas no presentan condiciones atractivas para edificar - en ellas grandes obras de ingeniería tales, como túneles, puentes grandes edificios, etc.

En general un Ingeniero debe tener presente que en estos casos es preferible cambiar el sitio de la obra, que alojarla dentro de la zona peligrosa.

En los casos de túneles el Ingeniero debe tratar de orientar el trazo de un camino o ferrocarril de tal modo que el eje del túnel quede normal al plano de la falla porque en este caso la zona fracturada y débil se presentaría en un tramo más corto que en cualquier otra dirección.

Las mismas consideraciones pueden aplicarse para el caso de formaciones plegadas en anticlinales y sinclinales.

Las fallas son más fácilmente reconocibles en las rocas sedimentarias que en las ígneas porque en las primeras una ruptura o discontinuidad de un estrato característico, se nota con mayor facilidad que en las masas más o menos uniformes de las rocas ígneas.

## Rocas.

El conocimiento de las rocas y sus propiedades físicas son de suma importancia en las obras de ingeniería Civil, si se considera la utilización de rocas como materiales de construcción, su facilidad de alteración resistente a los agentes atmosféricos de la erosión, diferente grado de dureza que, por supuesto, afecta de un modo fundamental el costo de la construcción, estabilidad, permeabilidad y muchos otros factores que afectan una obra durante la construcción.

En el sentido amplio, y desde el punto de vista geológico, por ROCAS se entiende todo material que forma la corteza terrestre, independientemente de la forma en que se presenta.

Pueden ser depósitos sueltos o formaciones no consolidadas de: arcillas y arenas, o masas sólidas y duras (basaltos, granitos, calizas, etc.)

En Ingeniería Civil por lo contrario, existe la tendencia general de considerar como rocas solamente el material pétreo duro en la forma continua o fragmentada y no considerar como roca los depósitos sueltos o formaciones blandas.

Considerando los principios genéticos y modo de formación, las rocas se dividen en tres grandes clases:

1. Rocas ígneas.
2. Rocas sedimentarias
3. Rocas metamórficas.

Las rocas IGNEAS son aquellas que se formaron por la solidificación de magmas y lavas en el interior de la corteza terrestre o en la superficie.

Las rocas SEDIMENTARIAS son aquellas cuyos elementos integrantes fueron depositados principalmente dentro de las aguas por medio de agentes mecánicos, químicos u orgánicos.

Las rocas METAMORFICAS son aquellas que se formaron de las ígneas o sedimentarias por la acción del calor, presión y aguas y perdieron parcial o totalmente sus caracteres originales.

Los problemas que presentan diferentes rocas y formaciones, no se pueden indicar en una forma concreta y general, debido

a la variación en el estado de rocas de un sólo grupo, sin embargo se pueden mencionar las tendencias generales que siguen las rocas de diferentes grupos.

#### Rocas Igneas.

Este grupo de rocas, tanto intrusivas, como extrusivas, por regla general son sólidas, resistentes y reúnen buenas condiciones para cimentar en ellas cualquier tipo de obras.

En las regiones húmedas, las rocas ígneas, especialmente los de grano grueso (intrusivas) pueden ser afectadas por el intemperismo y alteradas a mayor o menor profundidad.

#### Rocas Piroclásticas.

Estas rocas forman dos grupos: brechas y tobas.

Las brechas están constituídas por fragmentos gruesos, mientras que las tobas por el material fino. Ambas tienen matriz de ceniza volcánica.

Las rocas de este grupo tiene amplia variación en cuanto a su resistencia, permeabilidad, y su comportamiento depende del grado de cementación, pero en general se les debe considerar como rocas porosas y débiles, se prestan fácilmente a los procesos de erosión, intemperismo y alteración que los llevan al estado arcilloso, con tendencias de producir los deslizamientos y desplomes, sobre todo en las regiones de abundante precipitación pluvial, y de topografía pronunciada.

#### Rocas Sedimentarias.

Las principales rocas de este grupo son: lutitas, areniscas y calizas (en general rocas carbonatadas).

#### Lutitas.

Dentro del término "lutita", se puede incluir todas aquellas rocas sedimentarias de grano fino formadas por la solidificación de arcillas y limos.

Las arcillas y limos pasan a lutitas por medio de un proceso de compactación y cementación siempre con la eliminación

de agua.

Dependiendo del grado y carácter de la consolidación, - las rocas del grupo de las lutitas varían ampliamente en sus características al quedar expuestas en la superficie o al ser sometidas a esfuerzos, pero no hay una línea divisoria entre las lutitas compactadas y cementadas.

Las del primer tipo vuelven al estado de lodos cuando - se sujetan a los procesos de saturación e hidratación, las segundas son bastantes resistentes a estos cambios.

Los problemas que presentan las lutitas, aparte del grado de la compactación y cementación, consiste en su naturaleza arcillosa.

Las lutitas son rocas sedimentarias y se presentan por regla general en capas alternadas con otras formaciones sedimentarias, como son las areniscas y calizas. Con mucha frecuencia estas capas se presentan en forma de estructuras plegadas y entonces las arcillas en los contactos entre diferentes estratos desempeñan el papel de lubricante, originando deslizamientos de los estratos.

#### Areniscas.

Las areniscas tienen una variación en sus propiedades y características casi tan amplias como en las lutitas. Aunque su naturaleza angular, su alto grado de fricción interna y su condición generalmente cementada, eliminan o por lo menos reducen al mínimo, muchos de los problemas comunes a las lutitas.

Los problemas que en las lutitas provienen de su naturaleza arcillosa, rara vez se presenta en las areniscas. Sin embargo como ya se ha dicho, las areniscas se presentan comunmente en forma de capas alternadas con lutitas, y entonces se presentan - los problemas ya mencionados.

Otra característica de las areniscas consiste en su relativa rigidez, mayor que en las lutitas, lo que origina intensos fracturamientos en esta roca, cuando está sometida a los esfuerzos laterales que producen los plegamientos o verticales como sucede en casos de fallamientos.

#### Calizas y Rocas Carbonatadas.

Las calizas son rocas que se encuentran con mayor fre--

cuencia en el grupo de rocas carbonatadas.

El constituyente principal de las calizas es calcita -- que se disuelve completamente en ácidos.

Todas las calizas contienen mayor o menor parte de impu rezas que consisten principalmente de arcillas, arenas, óxido de fierro y según la cantidad de estas impurezas y grado de cementación en los espacios intersticiales, las calizas varían mucho en la porosidad.

Algunas calizas de origen orgánico pueden tener hasta - 25% de porosidad, mientras que las que contienen mucho sílice, - son practicamente impermeables.

Hablando en términos generales, las calizas presentan - sólo dos problemas: uno se debe a su solubilidad especialmente si se trata de los travertinos que a veces da origen a enormes gru-- tas y cavernas. La otra se debe a la porosidad que permite que - las aguas se infiltren y circulen dentro de los macizos de cali-- zas.

#### Rocas Metamórficas.

Entre las rocas de este grupo, la única que presenta -- problemas es la pizarra. Esta roca tiene su origen en las arci-- llas que gracias a los procesos de metamorfismo se convirtieron - en pizarras.

La característica fundamental de esta roca consiste en la estructura foliada que permite que la roca se separe fácilmen-- te en delgadas laminitas. Expuestas, fácilmente se intemperiza, las laminitas se vuelven muy frágiles y quebradizas.

Las aguas superficiales penetran facilmente por los pla-- nos de foliación y originan problemas de caracter hidrológico.

Otras rocas metamórficas, como las gneisses, esquistos cuarcitas y otras, por regla general son suficientemente sólidos e impermeables y no presentan problemas especiales.

## 2.2 Instrumentación.

El programa de instrumentación y ensayos in situ en los túneles tiene como objetivo recabar información que permita calibrar los procedimientos que se adopten en el diseño temporal y definitivo.

Los sitios escogidos para las estaciones de instrumentación deben ser representativos de unidades litológicas que generalmente aparecen en grandes extensiones del túnel. Mediante las estaciones de instrumentación se puede registrar la evolución de las cargas y de los desplazamientos inducidos por la excavación.

Los ensayos de carga y las pruebas de geosísmica se realizan con la finalidad de obtener los parámetros de deformabilidad del terreno.

Una estación de instrumentación generalmente está constituida por:

- a) Extensómetros longitudinales instalados en el interior de los túneles para la observación de los desplazamientos del terreno normales al eje del túnel en un cierto número de puntos fijos, en la zona de influencia de la excavación.
- b) Celdas de carga instaladas entre los tramos de los marcos de acero para medir las cargas soportadas por éstos.
- c) Extensómetros longitudinales instalados en la superficie del terreno natural para medir desplazamientos desde antes del paso de la excavación por la estación de medición.
- d) Extensómetros portátiles para medir la distancia entre puntos fijos de la pared interior del túnel en una sección transversal, para observar la variación de su geometría.
- e) Anclas de tensión instrumentadas con celdas de carga para registrar las tensiones que se producen pa

ralamente a los desplazamientos hacia la excavación.

- f) Celdas de presión instaladas en cada punto de contacto entre el terreno y los marcos de acero para medir la magnitud y la distribución de las cargas transmitidas.

En las figuras 8a, 8b, 8c y 8d se muestra la instalación de los aparatos antes mencionados.

Debe darse preferencia al empleo de aparatos de medición con dispositivos mecánicos e hidráulicos, evitando el uso de aparatos electrónicos que, en ambientes húmedos, por lo general dan lugar a descomposturas frecuentes o a mediciones poco confiables.

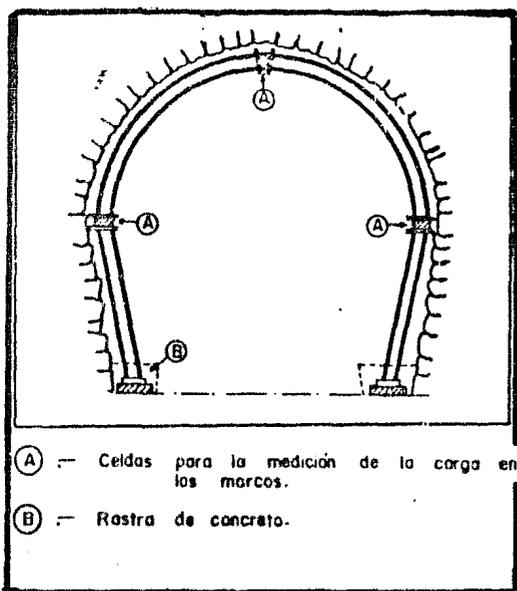


FIG. 8 a

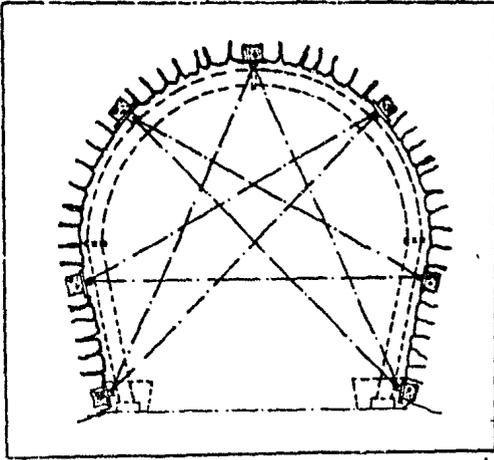


FIG. 8 b

Puntos fijos para la medición de la variación de la geometría de la sección transversal instrumentada.

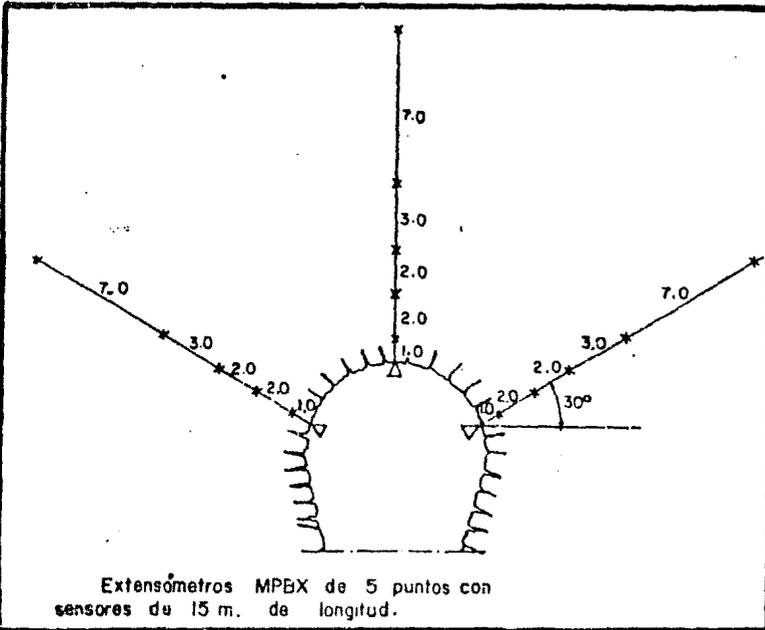


FIG. 8 c

Extensómetros MPBX de 5 puntos con sensores de 15 m. de longitud.

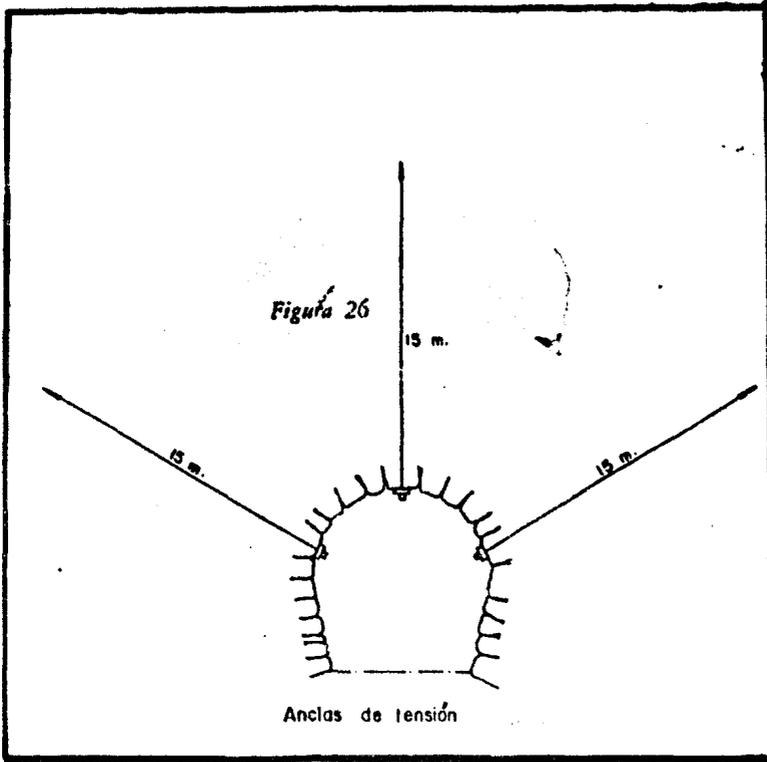


FIG. 8 d

**CAPITULO III**

**VIAS DE ACCESO.**

### 3.1 Accesos para la construcción de túneles.

La construcción de cualquier tipo de túnel requiere de obras preliminares que de acuerdo a las condiciones topográficas del lugar se pueden dividir en excavaciones a cielo abierto (tajos) y en pozos o lumbreras.

En una misma obra pueden existir las dos condiciones - ya que el cumplimiento de un programa puede así exigirlo. Es decir, un caso podría ser el de construir el túnel utilizando dos frentes, uno en cada extremo habiendo hecho tajos para llegar al portal; pero si de acuerdo a los rendimientos esperados, no se cumple con el programa de construcción podrá ser necesario abrir frentes intermedios haciendo uso de una o varias lumbreras.

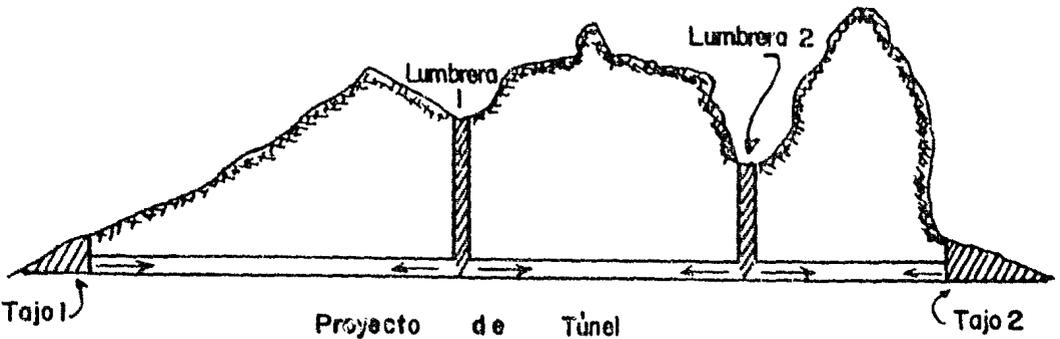


FIG. 8e

Conviene al tener el caso de abrir el frente del túnel por medio de un portal, efectuar la excavación del acceso hasta dejar un techo que no ocasione problemas de derrumbes al inicio aunque se puede auxiliar de tratamientos de consolidación a base de inyecciones de mezclas con cemento, o por medio de anclajes, o construyendo muros de contención a base de concreto o mampostería. La elección de cualquiera de los procedimientos anteriores, así como de la longitud del tajo, dependerá de un análisis previo de tipo económico en donde los factores geológicos y de tiempo deberán combinarse lo mejor posible.

La construcción de túneles haciendo uso de portales implica menos equipo, personal y riesgo por lo que el costo final del túnel en cuestión será menor.

El equipo a utilizar en una excavación para portal dependerá del tipo de terreno, volumen a mover y tiempo programado. Estos tajos pueden ser construídos en roca, suelos o una combinación de ambos. Para el caso de excavación en roca, se puede mencionar el uso de Track-drills para la perforación, uso de explosivos y equipo de carga del producto de la voladura adecuado como cargadores sobre orugas, palas y camiones para roca. Un tractor con desgarrador puede auxiliar este trabajo.

El inicio del túnel en el portal, exige también una con sideración especial en cuanto al soporte pudiendo ser éste a base de marcos metálicos con retaque de madera, anclas, concreto lanzado o una combinación de ellos.

En el caso de portales en roca, un diagrama especial de barrenación con cargas de explosivos bien estudiadas será necesario.

### 3.2 Lumbreras.

Estos accesos denominados lumbreras, sirven para que a través de ellos se realicen todas las operaciones necesarias para la construcción del túnel: barrenación, poblado, tronada, ventilación, bombeo, rezaga, amacize, ademe, revestimientos eléctricos y de aire comprimido, traslado de equipo y acceso de personal.

La longitud entre lumbreras, siempre ha sido motivo de un estudio técnico económico, pero también depende del tiempo para el que se tenga programada dicha obra.

#### Construcción de lumbreras en rocas.

La experiencia en México muestra que para la excavación de este material se requirió como rutina el uso de explosivos, usándose varios diagramas de barrenación, dependiendo del grado de fracturación, tipo de fracturas de la roca y dureza de la misma (Fig. 9 y 10). Esta barrenación fue hecha con perforadoras de piso del tipo ligero (de 12 a 20 Kg. de peso (Fig. 11), usando las barras de acero integral de 2.22 cm. ( 7/8 pulg.) en sus diferentes escalas (0.80 m, 1.60 m. y 2.40m).

En las lumbreras excavadas en zona urbana se usó el diagrama de barrenación mostrado en la Fig. 12. En este diagrama la cantidad máxima de estopines de número igual que explotaban al mismo tiempo nunca fueron mayor de 6 pzas, equivalente según el diagrama, a 2.5 kg; de dinamita.

En éste diagrama los barrenos quemados se hicieron en toda su profundidad (42 m) de una sola vez, terminado éste, se llenó de arena para evitar que se azolvara, destapando con aire en cada ciclo la longitud necesaria para el cuele.

Las cuñas en "V" nunca se utilizaron al inicio de la excavación de las lumbreras, pues a pesar de que todas las lumbreras después de sacar el personal y equipo eran tapadas en el brocal con malla ciclón de 5 x 5 cm, el material de la cuña fue capaz de romper dicha protección, quedando sin control las piedras; en cambio, las cuñas en paralelo no causan estos daños. Para profundidades mayores de 40 m, si es recomendable el uso -

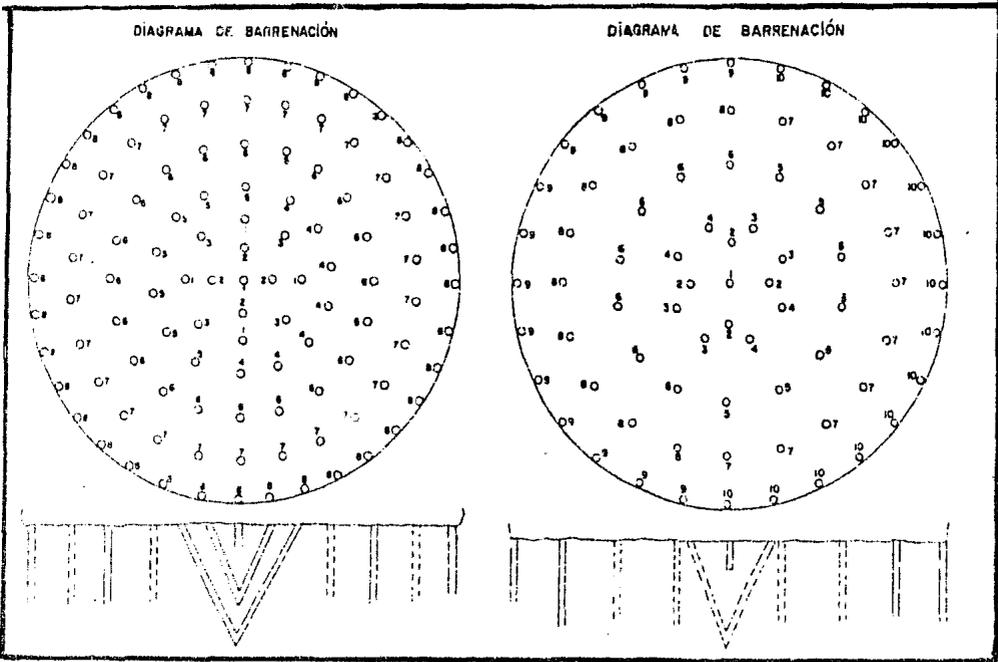


FIG. 9

FIG. 10

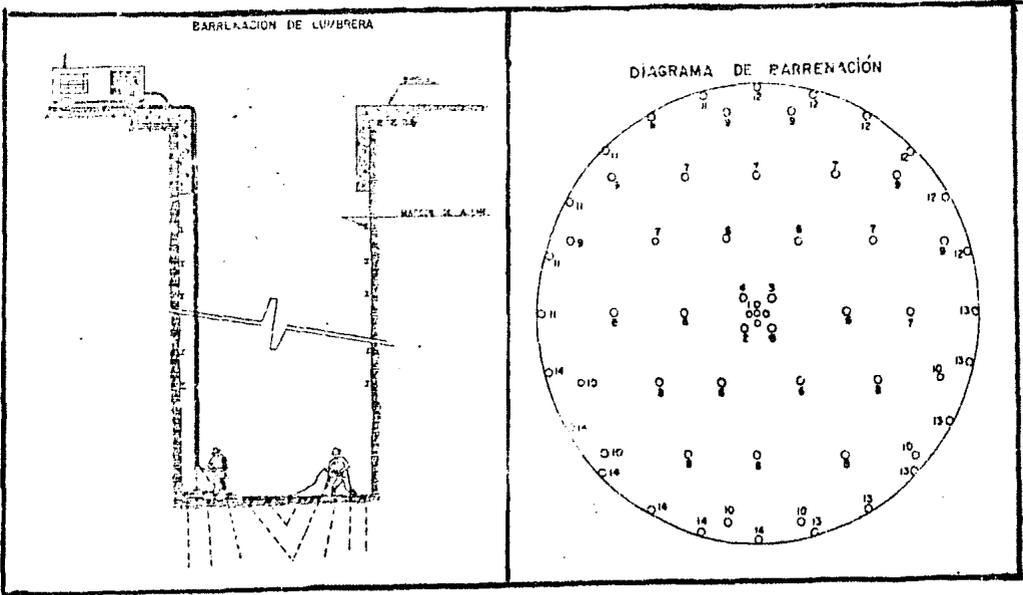


FIG. 11

FIG. 12

de la cuña en "V" por su facilidad de barrenación.

La carga de la rezaga, producto de la excavación, se --  
llevó a cabo con los siguientes métodos:

1. Carga a mano (Fig. 13)
2. Carga con rezagadora Eimco 632 o 630 (Fig. 14)
3. Carga con BURMAC, S-180 (Fig. 15)

Para ademar las lumbreras excavadas en roca se siguie-  
ron dos métodos:

A) Marcos de acero y madera de retaque.

Este método fue utilizado en la mayoría de los casos y  
consistió en colocar anillos de acero a cada metro, conectados -  
entre sí por tensores, formados por tres piezas de viguetas 1-8"  
(los cuales permitían ademar la pared de la lumbrera colocando -  
el retaque de madera.

Conforme avanzaba un ciclo de excavación se colocaba -  
el anillo de acero. De cada 10 anillos uno iba anclado al terre-  
no, obligando con ello, que los tensores que los unían no falla-  
ran.

B) Concreto lanzado y malla electro-forjada.

El concreto lanzado utilizado como protección de las ex-  
cavaciones de lumbreras en combinación con la malla electro-forja-  
da dió buen resultado, pues además de servir como ademe protege -  
al material contra la intemperie.

Dicho procedimiento consistió en colocar en cada ciclo  
de excavación después de efectuar la rezaga, 15 cm. de concreto -  
lanzado en todo el perímetro de la lumbrera (Fig. 16), reforzándo-  
lo con malla electro-forjada del tipo 66-66-1/4".

Revestimiento de Lumbreras con Cimbras Deslizantes.

Para colar las lumbreras con este método, se dejaron -  
preparaciones en el brocal para colocar las ménsulas. (Fig 17),  
detalle A), que soportaban las varillas de sostén de la forma.

El suministro de concreto se hizo con una grúa parada -  
con el brocal, la que bajaba una bacha de 2 m<sup>3</sup> de capacidad (Fig.  
18).

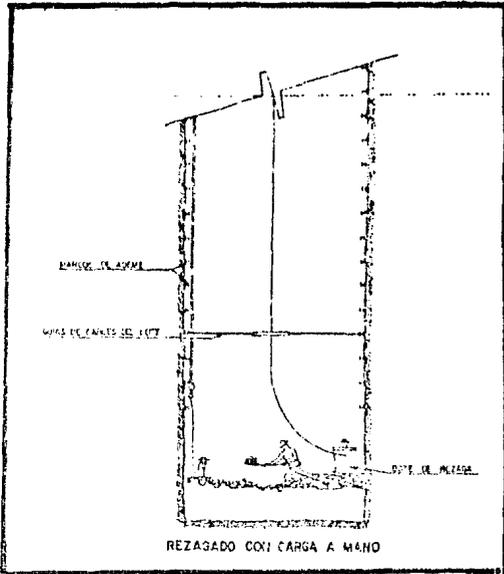


FIG. 13

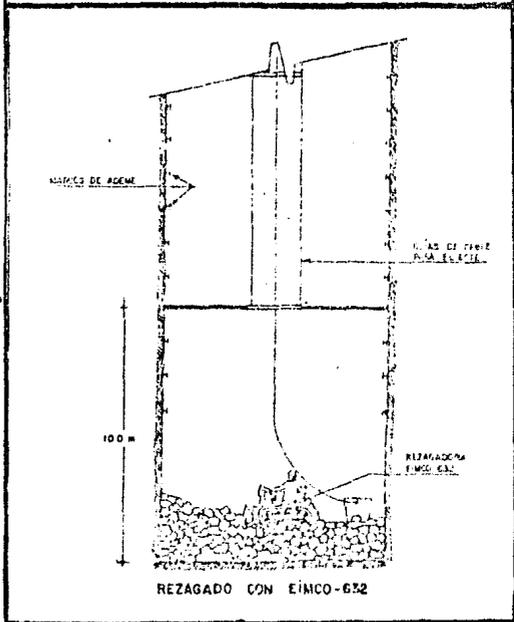


FIG. 14

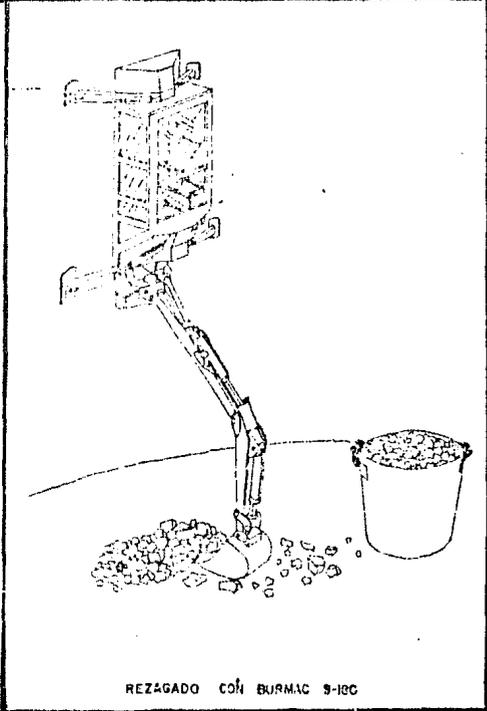


FIG. 15

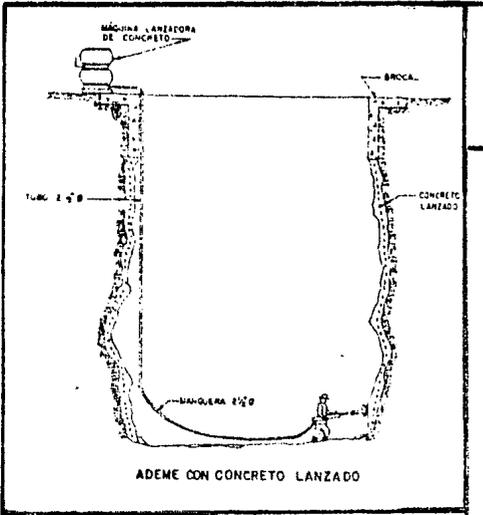


FIG. 16

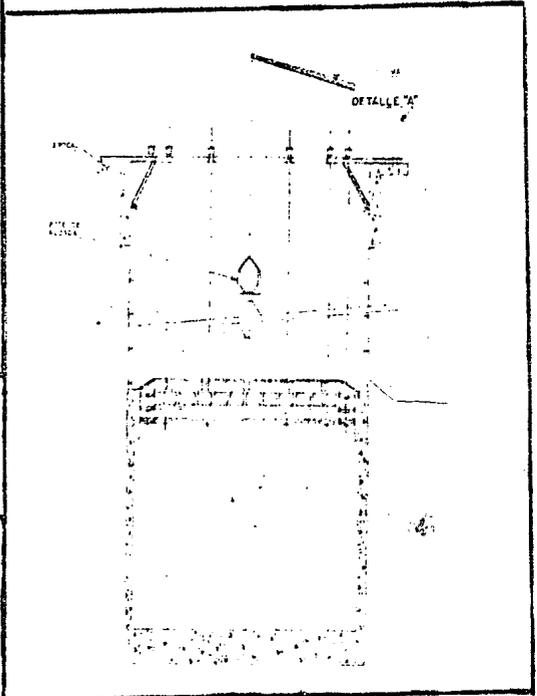


FIG. 18

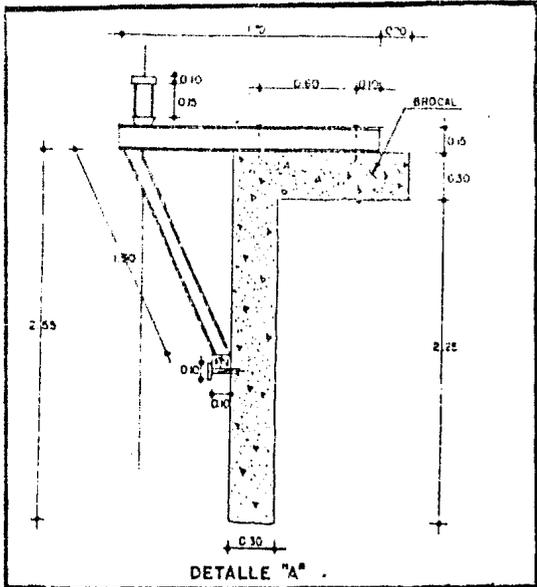


FIG. 17

El avance logrado en el revestimiento de la lumbrera - fue de 0.45 m/h.

Las características del concreto utilizado en este revestimiento fueron las siguientes:

Cemento	tipo V
Tam. max. agregado	1 1/2
Revenimiento	8 cm.
f'c	300 kg/cm <sup>2</sup>

Cabe hacer notar que en las zonas donde se encuentra el encapillado de los túneles se pasó sin colar la pared de la lumbrera, dado que el procedimiento de colado lo permitió haciendo más fácil el emportalamiento del túnel.

### 3.3. Instalaciones en Lumbreras.

Las instalaciones colocadas en todas las lumbreras generalmente son:

- Tubería para conducción de agua limpia.
- Tubería para conducción de aire a presión.
- Tubería para conducción de diesel.
- Tubería para bajada de agregados o balasto
- Tubería de ventilación
- Líneas de alimentación de energía eléctrica de 2300 o 440 volts.
- Torre para manteo
- Escaleras para emergencia
- Elevador para personal
- Guías de cable de acero para los botes de rezaga
- Guías rígidas y sistemas de descarga de los botes de rezaga.

- Guías para el elevador para personal
- Botes para rezaga.

Todas las instalaciones anteriores se presentan esquemáticamente en la Fig. 19 y en los cortes A y B.

En algunas de las lumbreras excavadas en tobas o roca fue necesario, por la cantidad de agua existente, perforar pozos en todo el perímetro, colocando en cada uno de ellos una bomba de pozo profundo, ayudando a disminuir en gran parte las filtraciones y aminorando el bombeo interior que normalmente se lleva en una excavación de lumbrera, éste bombeo fué hecho a base de bombas centrífugas y en profundidades mayores de 30 m. se hicieron nichos de traspaleo. Cuando no fue posible abatir el nivel freático a base de bombeo exterior, previo a la excavación, se procedió a hacer inyecciones, obligando con ello a disminuir la permeabilidad de la roca.

El ciclo de trabajo en la excavación de una lumbrera - con el uso de explosivos es el siguiente:

- a) Barrenación y limpieza de barrenos
- b) Carga de explosivos y conexión
- c) Retiro de personal, voladura y ventilación
- d) Bajada de equipo de rezaga y rezagado
- e) Retiro de equipo de rezaga
- f) Colocación de ademe.

Comparando los tiempos del ciclo de excavación de un túnel y una lumbrera de la misma sección, los tiempos de excavación de lumbrera son mayores debido a que es una excavación vertical y cada que sube o baja material, equipo, rezaga, etc., las actividades se suspenden por completo pues el personal se pega en las paredes de las lumbreras para protegerse.



**CAPITULO IV**

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.**

## PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EN TUNELES

### 4.1 Métodos de excavación en túneles.

**Túneles en Roca.-** La excavación en roca requiere de métodos todos que van de acuerdo con lo siguiente : la clase de roca que se va a presentar, los datos técnicos del proyecto, como son: las dimensiones que debe tener el túnel, el equipo con que se cuente, el tiempo que se disponga y la economía de la obra.

Dependiendo de estos factores se elige el método más favorable. Estos métodos son:

- 1).- Ataque a sección completa
- 2).- Ataque con galería de avance y sus variantes.

#### 1. Ataque a Sección Completa.

Este método consiste en barrenar en cada ciclo de excavación toda la sección del túnel, para obtener un avance completo.

En túneles de secciones pequeñas por lo general siempre se ha hecho uso de este método, pero en la actualidad el perfeccionamiento de las plataformas de perforación, comúnmente llamados "JUMBOS", ha ofrecido la ventaja de poder atacar a sección completa túneles de hasta 160 m<sup>2</sup>. de sección transversal, desde luego en túneles de dimensiones tales que pueda recuperarse el costo de la fabricación de dichos "JUMBOS".

Antes de seguir con el método, se dirá que los Jumbos - son plataformas de perforación montadas sobre armaduras de metal - (tubo o vigas) o de madera, en la mayoría de los casos se hace uso de los dos materiales.

Estos Jumbos presentan plataformas a diferentes niveles, colocadas de tal forma, que se pueda barrenar a la vez por medio de varias perforadoras, toda el área de la sección transversal del túnel.

Los Jumbos están montados sobre ruedas para ser jalados con tractor o bien pueden estar montados sobre camiones, cuando - su peso lo permita.

El método de ataque a sección completa, nos ofrece como todos los métodos ventajas y desventajas.

#### Ventajas.

Los tiempos muertos se reducen, tomando como tiempo muertos la instalación y retiro del equipo de barrenación y poblado, - aumentando a la vez el tiempo efectivo empleado en la barrenación, o sea que un mismo volumen de roca tronada se obtiene en menor --- tiempo, en comparación a cualquier otro método de excavación en -- las mismas condiciones de terreno.

Por lo anterior, se obtienen avances mucho mayores que - haciendo uso de otro sistema, permitiendo la construcción de túneles en el menor tiempo posible.

Puede ser utilizado más efectivamente o sea que se puede obtener un rendimiento mayor de equipo en el cual se ha hecho gran inversión.

Es posible hacer uso de equipo para rezagar, más grande, lo que equivale a menor tiempo en la rezaga y a menor uso de explosivos, ya que en equipo grande se puede trabajar con fragmentos de roca mayor. Entendiéndose por rezaga, el material de desperdicio, en este caso roca fragmentada, producto de la explosión.

#### Desventajas.

Debido a que, por éste método, por lo general siempre se lleva una secuencia rítmica en las operaciones que componen un ciclo de trabajo, cualquier percance surgido en alguna de las operaciones, puede parar las subsecuentes, y por lo tanto el avance.

En túneles de grandes secciones, la rezaga, los trabajos de topografía y las operaciones que se tengan que hacer antes de - colocar el Jumbo en el frente de ataque, se hacen bajo un techo y

paredes mal amacizados, lo cual es peligroso para el personal y el equipo.

Entendiéndose por "amacizar", hacer caer los fragmentos de roca que están desprendidos pero atorados, y que son comunes -- despues de cada tronada.

Este método puede desarrollarse cuando las condiciones - de la roca trabajada lo permiten.

Por este método, no se sabe el comportamiento que va a - presentar el terreno a unos metros adelante del frente que se está atacando.

## 2. Ataque con Galería de Avance.

En este método existen variantes, tales como:

- a) Bóveda y banqueo
- b) Avance lateral
- c) Avance en la parte superior
- d) Avance en la parte inferior
- e) Galería central o tunel piloto
- f) Túnel explorador

### a) Bóveda y banqueo

Antes del método a sección completa, éste era el sistema generalmente usado para cualquier clase de túnel en roca, y en la actualidad se aplica en túneles de gran sección transversal, o cuando el terreno por atacar es sumamente suelto o inestable.

Consiste en atacar el frente de tal modo que la parte de arriba o sea la bóveda, se mantenga adelante del banco que es la - parte inferior, éstos se pueden tronar alternadamente o en conjunto.

La bóveda viene haciendo las veces de galería ya que debido a que ésta va adelante, se tiene una idea exacta de lo que es el terreno, por lo que se pueden tomar precauciones necesarias, -- que eviten las pérdidas de tiempo que ocasionan los terrenos problemáticos imprevistos; estas precauciones vienen siendo las entibaciones que se hacen inmediatamente para evitar los derrumbes probales.

El banqueo puede estar tomado de varios bancos horizontales escalonados o bancos verticales según convenga más.

Mientras que la bóveda siempre tiene que ser barrenada horizontalmente, el banqueo puede presentar la ventaja de barrenar se verticalmente según convenga.

Con este método se hace bastante uso de la mano de obra; no son necesarios los Jumbos; la rezaga se puede hacer a mano, o con equipo menor, ya que mientras se hace ésta, se puede trabajar en la parte superior, ofrece gran seguridad al equipo y personal.

La desventaja de éste método es que su avance es lento, y se necesita mayor cantidad de explosivo por metro cúbico, debido a que el volúmen de barrenación aumenta.

#### b) Avance Lateral.

Se le puede llamar así a este método que más bien viene siendo una variante del anterior, solo que en éste la división del avance y el banqueo es vertical.

Este método se puede usar con ventajas en la perforación de túneles chicos, de tal tamaño que se requieren plataformas de perforación, pero en los cuales no se amortice el empleo de estos y también donde el método de ataque a sección completa fuese antieconómico debido a la capacidad inadecuada para rezagar, éste método requiere de buen terreno para su uso.

#### c) Método de Avance en la Parte Superior.

Este método consiste en perforar un túnel en dos etapas, en la primera se perfora la parte superior en toda su longitud y cuando esté totalmente terminada ésta etapa, se dará comienzo a la segunda, que consiste en excavar la parte inferior.

Por lo general este sistema es usado en túneles de sección transversal bastante grandes (125 a 175 M<sup>2</sup>) y de gran longitud.

Las dimensiones que se le quiera dar a la sección superior, está determinada por dos cosas principales: la capacidad del equipo para rezagar que se tenga y la altura que se le quiera dar al banqueo.

El banqueo se puede perforar horizontalmente desde el piso a bien desde el Jumbo, según lo permitan las dimensiones que se

le hayan dejado al banco, o verticalmente.

Este método ofrece ventajas y desventajas que a continuación se exponen:

#### Ventajas.

No se necesitan Jumbos de gran tamaño aún en túneles de gran sección, los cuales serían imprescindibles en el método a sección completa, y en los túneles de sección pequeña no se necesitan estas plataformas.

Se puede conocer de antemano su comportamiento principalmente en el techo.

Solo se tiene un techo por amacizar.

A la sección superior, se le pueden dar tales dimensiones que nos permite con la mayor facilidad "PEINAR" la bóveda del túnel.

Por PEINAR se entiende, limpiar las paredes y techo de un túnel, de salientes de la misma roca que quedan despues de una tronada, dichas salientes pueden estorbar a la colocación del ademe o del revestimiento y cuando no lleva éstos, se peina para dar un buen acabado.

Las medidas tomadas para soportar el terreno son de valor permanente.

La barrenación y la carga de los barrenos del banqueo, se hacen bajo un techo amacizado con anterioridad.

La fragmentación de la roca en el banqueo, se puede reducir con barrenación horizontal, tan profunda como lo permita el equipo y la misma sección del túnel.

Si el banqueo se barrena verticalmente, se puede rezagar al mismo tiempo, ya que una operación no impide la otra y se pueden hacer continuamente.

#### Desventajas.

En la mayoría de los casos, las tuberías de agua, aire e instalaciones eléctricas, se tienen que instalar más de una vez.

Se tienen que hacer dos caminos para tránsitos; uno sobre el banqueo y otro sobre el piso del túnel.

Si el banqueo se barrena horizontalmente, no se puede rezagar ni barrenar continuamente.

En caso de que el banqueo sea alto, la barrenación vertical para obtener un mejor rendimiento, se tiene que hacer con equipo especial de barrenación profunda, tales como los taladros de va-goneta; y la barrenación horizontal requerirá de plataformas, lo cual se refleja en un menor rendimiento.

Si se perfora verticalmente en banco altos, sin usar barras largas, la tronada hasta el piso no se puede hacer en una sola etapa, lo cual aumentará el costo.

Si no se usan detonadores de retardo corto, la fragmentación será grande.

#### d) Avance de la Parte Inferior.

Este método es todo lo contrario del anterior, ya que aquí lo primero que se perfora es la sección inferior, y una vez tronada y rezagada en toda su longitud, se procede a excavar la sección superior.

Para la perforación de la sección superior, se puede utilizar la rezaga de ésta misma sección, en lugar de un Jumbo, para lo cual es necesario, considerar de antemano las dimensiones de la sección superior, para que la rezaga producto de ésta, pueda prestar dicho servicio; la experiencia ha demostrado que el área de la sección superior debe ser más o menos del 47% del área total.

Se puede rezagar progresivamente, según va siendo excavada la parte superior.

Este método, como el anterior, se usa en túneles de sección grande, de 125 m<sup>2</sup> en adelante, o bien en túneles pequeños en donde el uso de plataformas sería antieconómico.

#### Ventajas.

No es necesario el uso de Jumbos, aún cuando es el caso de túneles grandes y en túneles pequeños menos.

#### Desventajas.

La roca en la que se vaya a trabajar debe ser consistente, sana, de manera que no se necesite ademe.

La fragmentación es grande.

Se debe amacizar dos veces, cuando se perfora la parte inferior y cuando se perfora la superior.

Las instalaciones de agua, aire y luz se tienen que instalar dos veces, lo mismo que los rieles si hay.

El camino requiere de mayor mantenimiento, ya que la rezaga de la sección de arriba lo estropea.

Si fue ademada la sección inferior, éste se tendrá que quitar.

Si se trabaja sobre la rezaga, se dificulta el transporte del equipo de barrenación, explosivos, etc.

#### e) Galería Central o Túnel Piloto.

Este método, se usa por lo general en túneles grandes; consiste en perforar una galería de dimensiones estudiadas, - supongamos de tres metros de diámetro en el centro del túnel, lo cual permite apreciar las características de las rocas y después, ensanchar la excavación hasta la sección final del túnel.

La perforación de ésta galería, puede llevarse varios metros adelante del frente total, o bien, se puede perforar en su totalidad a todo lo largo del túnel, para después ensanchar éste.

El ensanchamiento puede hacerse barrenando radialmente desde el centro de la galería, con barrenos que lleguen hasta el límite de la sección, para lo cual es necesario que la galería central o túnel piloto, tenga las dimensiones necesarias que permitan maniobrar comodamente con el equipo de barrenación.

Este ensanchamiento, también puede hacerse por medio de barrenación paralela al eje del túnel, o sea barrenos formando anillos concentricos alrededor del túnel piloto, este tipo de ensanchamiento evita la sobre excavación a que puede dar motivo la barrenación radial.

Se entiende por "sobre excavación", los ensanchamientos, o sea los huecos que se produzcan en la roca debido a una mal tronada y que estén fuera de los límites de la sección transversal del túnel.

#### f) Método del Túnel Explorador.

Este método se ha usado en grandes túneles ferroviarios, combinado con el método anterior del túnel piloto. Consiste

en perforar una pequeña galería, situada a unos veinte metros del túnel principal y paralela a éste.

Se lleva adelante de la excavación principal del túnel, para tener aviso de cualquier cambio de importancia en la formación de la roca y así poder tomar las medidas necesarias.

Además, ya que el túnel explorador se lleva a una distancia considerable adelante del frente del túnel, se construyen cruceros cada cuatrocientos metros aproximadamente, cruceros que van desde el túnel explorador, hasta el túnel principal y por medio de los cuales se pueden tener otros dos frentes en el túnel principal, para perforar un túnel piloto, o la sección completa. O sea, que por medio del túnel explorador, es posible abrir un gran número de frentes.

La función del túnel explorador, no es solamente la anterior, sino que sirve para poder sacar la rezaga por éste y además da una mejor ventilación a los frentes.

Por medio de este método, se pueden construir túneles largos a gran velocidad.

Cuando los túneles son muy largos y su profundidad no es muy grande, se abren pozos o lumbreras (excavaciones verticales) hasta el eje del túnel, con el propósito de obtener más frentes de ataque y por supuesto rápida ejecución. Estas lumbreras se construyen a distancias estudiadas unas de otras.

#### 4.2 Ciclo de Excavación para túneles en roca por medio de Explosivos.

La excavación por medio de explosivos en túneles, implica la repetición de una serie de actividades que forman un ciclo de trabajo. Cada una de estas actividades tiene un tiempo de duración. Algunos están basados en experiencia, y otros dependen de la sección transversal del túnel, números de barrenos, profundidad de barrenación, abudamiento de la roca después de la voladura, -- cantidad de explosivos, rendimientos de la maquinaria, etc.

A continuación se explicarán brevemente cada una de las actividades que componen el ciclo de trabajo.

##### 1. Topografía.

Desde luego se habla del control topográfico dentro del túnel y que consiste en señalar línea y nivel para cada ciclo. Para ello la brigada de topografía llevará al frente los datos de -- pendiente de proyecto y eje del túnel que puede ser una línea recta, curva circular o curva compuesta. Los aparatos topográficos -- necesarios son el tránsito y el nivel.

Con pintura se dibuja el perímetro de la sección en el -- frente de trabajo señalando los ejes vertical y horizontal. Al -- inicio del tramo conviene señalar con puntos de pintura los lugares de los barrenos que corresponden al diagrama de proyecto, esto se hará unas cuantas veces hasta que los perforistas conozcan perfectamente la posición de sus barrenos.

Ya que en términos generales la profundidad de barrenación varía entre 1.00 m. y 6.00 m. el avance por ciclo será del -- mismo orden, por lo que el control topográfico deberá repetirse de acuerdo al avance obtenido en cada ciclo.

Es conveniente efectuar verificaciones de la línea y nivel del frente, a cada 30 m. basándose en datos obtenidos en superficie por medio de orientaciones astronómicas y con aparatos de mayor precisión como giroscopos y distanciometros.

El uso del rayo laser dentro del túnel para indicar datos topográficos en la frente, reduce finalmente el costo de la -- brigada de topografía.

El tiempo estimado en señalar línea y nivel en el frente es de 15 minutos pudiendo en ocasiones reducirse a cero cuando las condiciones permiten efectuar esta actividad simultáneamente con la anterior, que pudiera ser el ademe.

Otra de las funciones de la brigada de topografía es la de tomar datos de varios puntos del perímetro de la última sección excavada para dibujar de inmediato en papel dicho perímetro a escala y detectar sobre excavaciones o protuberancias que quedaron dentro de la sección de proyecto. En el caso de sobre excavaciones, se tomaron medidas correctivos en la barrenación y/o carga de explosivos; en el caso de "peines", deberán removerse de inmediato ya que posteriormente, será más costoso por tener la instalaciones más alejadas.

El grupo de secciones de cada ciclo, servirá posteriormente para el cálculo del volumen de concreto real en el caso de un revestimiento definitivo, y consecuentemente para el cálculo de los volúmenes reales a necesitar de agregados, cemento, etc.,. Así como rendimientos necesarios de colocación del concreto, de acuerdo a programa.

## 2. Barrenación.

Esta actividad consiste en la perforación de los barrenos proyectados de acuerdo a un diagrama y cuyo cálculo se presenta más adelante.

La barrenación se ejecuta con máquinas que pueden ser perforadoras neumáticas manuales, perforadoras neumáticas montadas sobre brazos hidráulicos o perforadoras hidráulicas montadas también sobre brazos accionados por gatos hidráulicos.

El número de perforadoras depende de la sección proyecto y la mayor parte, del equipo con que se cuente en obra. Para el cálculo del tiempo de barrenación podemos basarnos en lo siguiente:

$T_B$  = Tiempo de barrenación (hrs.)

$N_B$  = Número de barrenos

$P_B$  = Profundidad de barrenación (m)

$N_q$  = Número de perforadoras

$r_q$  = Rendimiento de cada perforadora (m/hr.)

$$T_B = \frac{N_B \times P_B}{N_q \times r_q}$$

### 3. Carga.

Incluye el sopleteo de barrenos, colocación del explosivo dentro del barreno, conexiones de los detonadores, conexión a la línea de tronada, y voladura desde el interruptor y explosor de corriente eléctrica.

Al utilizarse cartuchos o bombillos de explosivos, será necesario un detonador que será colocado uno en cada barreno y dentro de uno de los cartuchos, generalmente el que se acomodará al fondo del barreno, dejando, sus dos alambres en el exterior de dicho barreno para después ser interconectado con el resto de los alambres.

Los circuitos quedan conectados en paralelo y finalmente dos terminales se unen a cables o alambres de menor calibre -- que llegan a la línea de corriente.

Antes del disparo, se verifica la continuidad de los -- circuitos por medio de un óhmetro o galvanómetro.

Es importante hacer notar que nunca se deberá simultáneamente estar barrenando y cargando con explosivos barrenos ya terminados.

Una vez terminada la carga de explosivos, se retira el equipo del frente a una distancia aproximada de 100m, y el interruptor o explosor de disparo se deberá encontrar a una distancia mínimo de 200 m; todo el personal estará retirado del frente a -- esa misma distancia como mínimo.

El tiempo de carga de los explosivos en el frente varía con la habilidad de los pobladores que generalmente son los mismos perforistas. Sin embargo una receta aproximada es la siguiente:

Tc = Tiempo de carga (hrs.)

S = Kg. de explosivos

Np = Número de pobladores

K = Rendimiento /poblador  $\pm$  10 Kg./hr.

$$Tc = \frac{S}{Np \times K}$$

#### 4. Ventilación.

El trabajo de excavación de túneles requiere de suministro de aire fresco en el frente que es el lugar donde se encuentra laborando la mayor parte del personal.

Además, en el caso de túneles en roca, después de la voladura habrá que extraer los gases de los explosivos.

El gasto del aire fresco requerido se calcula de acuerdo al número de personas, cantidad de explosivos, maquinaria diesel en el túnel y se toma en cuenta el tamaño de la sección transversal.

El aire se suministra desde el exterior del túnel haciendo uso de ventiladores de motor eléctrico, y tubería de lámina en gargolada, lona o plástico. Una vez calculado el gasto requerido se elige el ventilador adecuado, y se obtiene el diámetro de la tubería y separación entre ventiladores. Con las fórmulas siguientes es posible realizar los cálculos anteriores:

- I.-  $Q_E$  = Aire fresco requerido por explosivos, en pcm  
S = Peso total de los explosivos en Kg.  
t = Tiempo de ventilación, en minutos.  
Se sugiere tomarlo como 30 minutos.

$$Q_E = \frac{1296 S}{t} \quad (\text{pcm})$$

- II.-  $Q_p$  = Aire fresco requerido por personal en pcm

$$Q_p = 200 \text{ p.c.m./ persona} \quad (\text{pcm})$$

- III.-  $Q_M$  = Aire fresco requerido por maq. diesel, en pcm

$$Q_M = 70 \text{ pcm/HP} \quad (\text{pcm})$$

- IV.-  $Q_A$  = Aire fresco requerido por área de túnel.

$$A = \text{Aire de túnel en m}^2$$

$$Q_A = 360 A \quad (\text{pcm})$$

V.-  $Q_T =$  Aire fresco requerido total

Este será el mayor de los siguientes:

$$Q_E + Q_P \quad (\text{pcm})$$

$$Q_M + Q_P \quad (\text{pcm})$$

$$Q_A \quad (\text{pcm})$$

VI.-  $d =$  Diámetro de la tubería de ventilación, en m., considerando una velocidad de 8 m/seg. del aire dentro de la tubería, tenemos:

$$d = 0.25 \sqrt{\frac{Q_T}{60}} \quad (\text{m})$$

$Q_T$  en  $\text{m}^3/\text{min.}$

VII.- Distancia entre ventiladores  $D$  en m.

$$D = \frac{H}{p}$$

$H =$  Pérdida por fricción en mm de  $\text{H}_2\text{O}$

$p =$  Pérdida por fricción por metro de tubo en mm/m.

Para una  $v = 8$  m/seg., en tuberías de lámina engargolada, se tiene una  $p = 0.25$  mm/m de  $\text{H}_2\text{O}$ .

$$H = \frac{75 \times \eta \times \text{HP}}{Q \times v \times \rho}$$

$H =$  Perdida por fricción en mm de  $\text{H}_2\text{O}$

$\eta =$  eficiencia del ventilador

$\text{HP} =$  Caballos de potencia del ventilador

$Qv =$  Gasto normal del ventilador en  $\text{m}^3/\text{seg.}$

$\rho$  Peso volumétrico del aire = 1.2  $\text{Kg}/\text{m}^3$

## VII.- Corrección por fugas.

La unión entre los tramos de tubos para ventilación debe ser la más hermética posible para evitar fugas. Sin embargo se puede considerar en el cálculo de la distancia entre ventiladores, un coeficiente de conexión por fugas que en condiciones normales se estima en un 90%.

Por lo tanto la distancia real entre ventiladores queda:

$$D = \frac{H}{P} \times 0.90 \text{ (m)}$$

### 5. Rezaga.

Esta actividad consiste en remover los escombros del material producto de la voladura, y que comunmente se le llama "rezaga".

La duración de esta actividad depende de la sección del túnel, profundidad de barrenación, coeficiente de abundamiento de la roca, y la precisión en la ejecución de los barrenos ya que éste podría redundar en un incremento del volumen de roca extraído del frente, y finalmente del rendimiento de la máquina rezagadora utilizada.

La rezaga se carga en vagonetas y se lleva a la base de la lumbrera, en donde se extrae a superficie generalmente por medio del sistema de torre y malacate.

$T_R$  = Tiempo de rezaga (hrs)

$A$  = Area de la sección del túnel ( $m^2$ )

$L$  = Profundidad de barrenación (m)

$C_1$  = Porcentaje de abundamiento ( $\approx 50\%$ )

$C_2$  = Porcentaje de sobreexcavación ( $\approx 10\%$ )

$C_3$  = Porcentaje de avance (85% a 95%)

$r_r$  = Rendimiento de la rezagadora ( $m^3/hr$ )

$$T_R = \frac{A \times L \times C_1 \times C_2 \times C_3}{r_r} \quad (\text{hr})$$

### 6. Ademe.

No siempre esta actividad forma parte del ciclo, ya que si se trata de un soporte por concreto lanzado, en un túnel cuya sección sea lo bastante amplia, podría ejecutarse simultáneamente con la rezaga.

En túneles de sección pequeña el tiempo del ademe depende del tipo de soporte que bien pueden ser marcos metálicos con retaque de madera, concreto lanzado, anclas o una combinación de ellos.

Como ejemplo en el caso del ademe por concreto lanzado tenemos:

- $T_A$  = Tiempo de ademe por concreto lanzado (hr.)
- $E$  = Espesor del concreto lanzado (m)
- $C_b$  = Coeficiente de rebote y enjutamiento ( $\approx 1.7$ )
- $L$  = Profundidad de barrenación (m)
- $C_3$  = Porcentaje de avance (85% a 95%)
- $r_e$  = Rendimiento de la lanzadora de concreto ( $\frac{m^3}{hr}$ )  
 $\frac{3m^3}{hr}$
- $p$  = Perimetro por lanzar.

$$T_A = \frac{p \times L \times C_3 \times E \times C_b}{r_e} \quad (\text{hrs})$$

### RESUMEN DE ACTIVIDADES DEL CICLO.

Topografía	$T_p$
Barrenación	$T_b$
Carga y Disparo	$T_c$
Ventilación	$T_v$
Rezaga	$T_r$
Ademe	$T_A$

La suma de los tiempos de cada actividad forma el tiempo del ciclo  $T_t$ , y se puede obtener el número de ciclos (Nc).

$$Nc = \frac{24}{T_t}$$

El avance diario  $L_D$  se obtendrá multiplicando  $N_c$  por el avance por ciclo  $L_c$

$$L_D = N_c \times L_c \quad (m)$$

### 4.3 Maquinaria y Equipo de Perforación.

- a). Maquinaria y equipos utilizables
- b). Selección de equipos ideales

#### Antecedentes

El hombre desde el principio de su existencia tuvo la necesidad de realizar perforaciones en suelos blandos, para protegerse. Estas perforaciones las realizaron con ayuda de instrumentos manuales primarios.

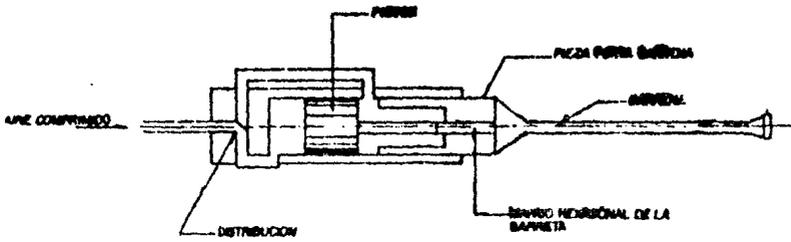
Los instrumentos que se utilizaron en un principio fueron de madera; pero la evolución de ellos llegó a convertirlos en lo que ahora conocemos como barretas de minero; estas barretas son de acero de 1.50 a 3.00 m. de longitud y un diámetro de 3 ó 4 cm.; la barra puede ser redonda o hexagonal, en los extremos de ella termina con una cuña forjada en acero templado.

Para las perforaciones que no son verticales se usó una barreta más pequeña de 0.50 a 1.00 m. de longitud, en uno de sus extremos es golpeada por un marro para realizar la perforación. En la actualidad el trabajo manual con estas barras es muy lento y la profundidad de perforación es muy corta, aunque este método se sigue ocupando en obras muy pequeñas, no es usual en obras grandes.

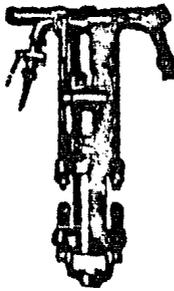
#### 4.3.1 Martillos Neumáticos

Como su nombre lo dice se accionan con aire comprimido, son equipos ligeros de perforación por su peso, son muy manejables en cuanto a su tamaño. Su capacidad de perforación no es muy grande, las perforaciones máximas que se pueden lograr hacer son de 4.50 a 6.00 m. de profundidad.

Su nombre de martillo lo llevan por la manera de realizar las perforaciones; con el aire a presión se acciona un pistón que llega a producir hasta 2,200 golpes por minuto transmitidas a la barra de perforación, que es la que está en contacto directo -



MARTILLO NEUMATICO



MARTILLO PERFORADOR  
PARA TRABAJAR CON INYECTOR  
LA AIRE.  
Modelo 65-24

FIG. 20

con la roca, de esta manera se pulveriza, para ser extraídos los detritos de las perforaciones se utiliza aire o agua a presión introduciéndole a través de la barra de perforación.

Un buen operador de un martillo para realizar una perforación correcta gira lentamente la broca para que ésta no se quede atascada al estar golpeando en un sólo lugar.

También existen martillos que están accionados por un motor de gasolina o de energía eléctrica y tienen la misma funcionalidad que el martillo neumático.

#### 4.3.2 Máquinas de Perforación.

Las máquinas de perforación son todas aquellas que se utilizan para hacer perforaciones en la superficie terrestre. Existe una gran variedad de ellas que se pueden clasificar de acuerdo a sus características principales como son: su peso, tamaño, capacidad y forma de perforación.

La finalidad de realizar perforaciones es muy variada y de esto depende el tipo de máquina que se use, algunos de los principales fines son: la instalación de pozos, el hincado de pilotes, la extracción de muestras, la colocación de tuberías, para recibir cargas de explosivos o para inyecciones de lechadas.

Para cada uno de estos trabajos existe una o varias máquinas que lo realizan de la mejor manera.

#### 4.3.3. Perforadoras

Se entiende por máquina perforadora aquella que es capaz de realizar una perforación en la superficie terrestre, por lo tanto existen perforadoras para terreno duro y para terreno blando.

Estas últimas se usan principalmente para la explotación del suelo y para ello se extraen muestras que se obtienen con la ayuda de otros aditamentos.

Las perforadoras para terreno duro se pueden usar también para el estudio del suelo, la instalación de pozos, la colocación de pilotes, el tendido de tuberías, la explotación de minas, etc.,

son muchas las finalidades por las que la corteza terrestre es perforada y para cada una de ellas, existe siempre una o varias máquinas que realizan el mismo trabajo.

Las perforadoras son siempre más grandes que los martillos, por lo tanto su capacidad es mayor. Su peso es suficiente para realizar las perforaciones en sentido vertical, horizontal o inclinada, la presión se ejerce con un brazo neumático que se adapta a la máquina.

La manera de realizar las perforaciones puede ser por medio de rotación o percusión, también existen algunas que lo realizan combinando estos dos movimientos.

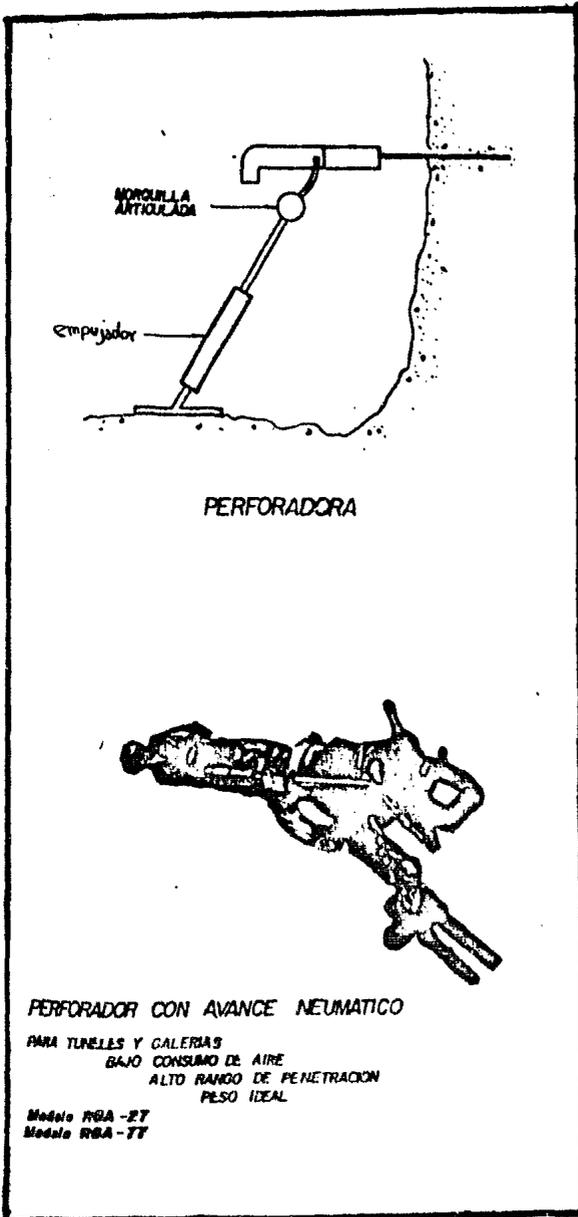
Las perforadoras se operan con aire, que hacen girar y -golpear alternativamente a la roca y ese golpeo permite que el material se astille o triture, la cual es alimentada por un compresor que le proporciona el aire mediante una manguera flexible y a través de ella y un tubo metálico que se tiene en la cabeza trasera y la válvula de operación que proporciona a la perforadora una regularización en su funcionamiento, moderando así su velocidad; -desde luego la válvula puede abrirse o cerrarse, así también puede dejarse en posición intermedia; esto en sí es lo que nos regula la velocidad como se mencionó antes.

El golpeo se efectúa, por el movimiento que hace el pistón en su recorrido de arriba a abajo al serle aplicado el aire -- comprimido y en este recorrido el vástago golpea la parte superior de la barrena.

Es importante que la espiga de la barrena tenga la longitud correcta porque en dado caso que no sea así se tendrá problemas en el trabajo del pistón, pues su carrera será más larga que la debida o más corta que la proyectada.

Cuando se tiene el inconveniente del polvo de la roca, - que se está triturando en túneles o en otros casos, se puede aplicar o conectar una manguera en la cabeza trasera de la perforadora (manguera de agua) con una válvula de entrada separada. El agua - baja por el tubo delgado de la barra de estriás y el pistón, hasta dentro del acero. Y posteriormente, se desalojará el lodo que se hizo, mediante la válvula de la perforadora expulsando aire y manteniendo una limpieza proporcional a la perforación que se esté haciendo.

La compañía Perline-Morrison-Knudsen, mandó construir la perforadora Alkird Hardrok Tunneler, para realizar el túnel de - -



PERFORADORA

PERFORADOR CON AVANCE NEUMATICO

PARA TUNELES Y CALETERAS  
BAJO CONSUMO DE AIRE  
ALTO RANGO DE PENETRACION  
PESO IDEAL

Modelo RGA-27  
Modelo RGA-77

FIG. 21

aguas de la Cd. de Nueva York, se diseñó en base a una perforación de 3.66 m. de diámetro, consta de un guía laser, motores de arranque hidráulico, lubricación automática de las partes críticas incluyendo los cortadores, dispositivos para instalar soportes o pernos, cabina integral para el operador, acceso libre al frente, control de polvo y presión negativa, en este tipo de maquinaria la tecnología es muy avanzada.

#### 4.3.4 Taladros de Vagoneta.

Se entiende por taladro de vagoneta a la máquina perforadora instalada sobre una plataforma móvil para su desplazamiento, aunque la plataforma puede cumplir también otras funciones; cuando la máquina perforadora es muy pesada sirve de equilibrio, la vagoneta es la que soporta la columna que guía los movimientos de percusión o rotación con los que se está realizando la perforación.

Cuando la máquina está montada sobre orugas, su desplazamiento se facilita sobre cualquier tipo de terreno, además todo el conjunto se transporta al lugar donde se necesita, la columna guía tiene diferentes alturas que van de acuerdo al modelo del que se trata, igualmente su ancho, longitud de vástago y espesor de cilindro.

Se presenta una tabla con las especificaciones de tres modelos de taladros de vagoneta\*

TABLA I

C O N C E P T O	M O D E L O		
	73	89	599
Altura Total	10' 2"	10' 2"	14' 9"
Ancho Total	5' 0"	5' 7"	6' 1"
Longitud Total	6' 2"	7' 2"	9' 10"
Recorrido máximo de alimentación	7' 2"	7' 11"	11' 4"
Longitud de vástago del taladro en pies	6	6	10
Cilindro del taladro en pulgadas	2 3/4	3 1/2	4
Vastago del taladro recomendaciones en pulgadas	1 1/4	3 1/2	1 1/4
Tamaño de Manguera de Aire en pulgadas	1	1 1/4	1 1/4
Peso total de la unidad en libras	813	535	1.615

\* Metodos, Planeamiento y Equipos de Construcción Autor R.L. Peuri foy

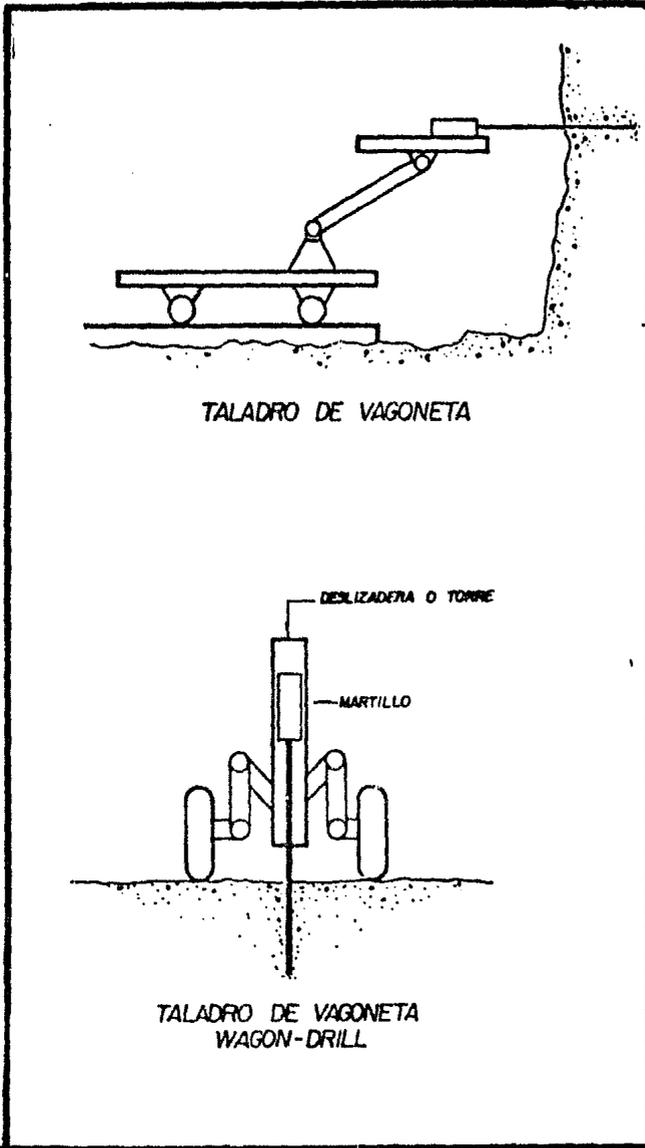


FIG. 22

#### 4.3.5 Taladro de Impacto o percusión.

Es la máquina que realiza sus perforaciones por medio -- del impacto de una mole que puede ser hasta de 2,270 Kg.

El golpe es recibido por un vástago que en su extremo - tiene una broca que está en contacto directo con la roca, el peso puede estar levantado por presión hidráulica, a través de la columna guía y de esta manera realiza su perforación.

Las partes principales de ésta máquina son : la broca de perforación y la barra de conducción, éstas deben estar siempre en perfecto estado, la broca debe afilarse con regularidad, para que conserve su diámetro nominal y la barra debe ser de acero templado para que resista los efectos de perforación. El diámetro de perforación va de acuerdo al de la broca, esta varía de 6 a 12 pulgadas (15-30 cm.) y se pueden realizar en cualquier tipo de roca a va---rios cientos de metros de profundidad.

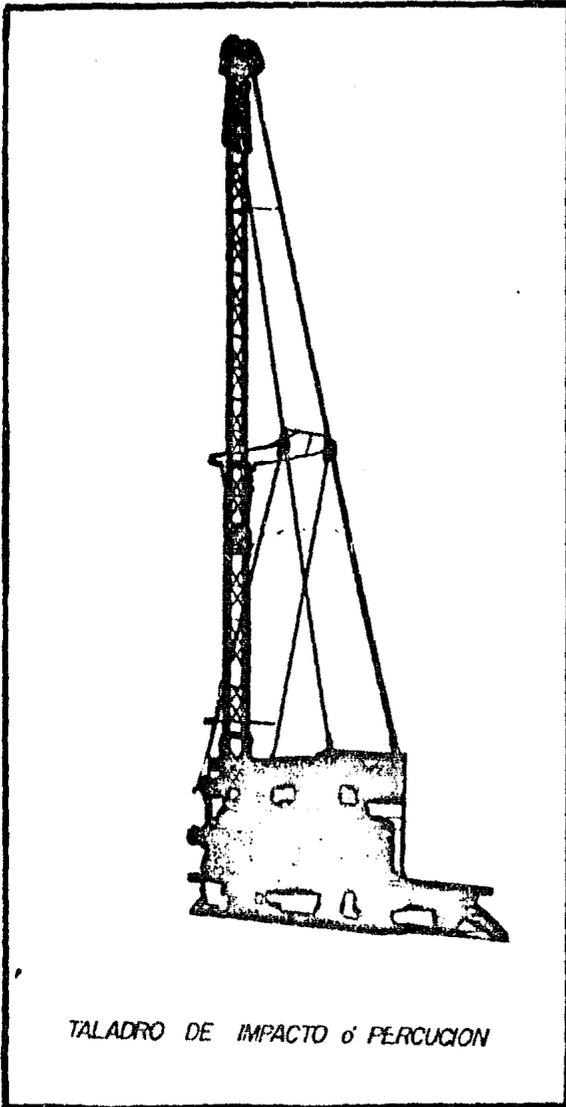
Para extraer el material se llena la perforación de agua y se deja caer varias veces la barra hasta que se forma lodo que - es bombeado al exterior

#### 4.3.6 Taladro de Pistón.

Es muy parecido al taladro de vagoneta, sólo que éste en lugar de una barra perforadora, tiene un tubo en donde se va guardando el material, tiene muy poco tiempo de haber salido al mercado, el tubo está unido al pistón que es el que lo acciona con movimiento giratorio mientras el taladro le proporciona 200 golpes por minuto, con un peso de 16,300 Kg.

El tamaño de la columna es de 15.24 m. y los tubos de extensión son de 10.65 m., la broca es removible y tiene incrustaciones de carburo de tungsteno. La profundidad práctica de perfora---ción puede llegar a 21.00 m.

El taladro puede estar montado sobre orugas o llantas - neumáticas, lo que le da una versatilidad en su trabajo.



TALADRO DE IMPACTO ó PERCUSSION

FIG. 23

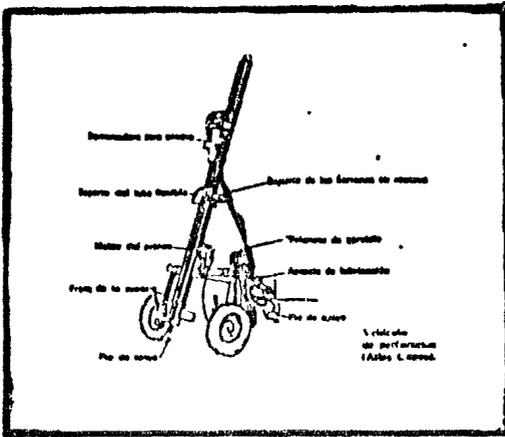


FIG. 24  
Taladro de Pistón

#### 4.3.7 Taladro Barrenador.

Compuesto por una barra en cuyo extremo tiene una broca tricónica, que se acciona para ir demoliendo el material, no se puede usar este equipo en rocas muy duras porque resulta incosteable y su avance se hace más lento. Este taladro puede estar montado en una unidad móvil.

Para extraer el material molido por la broca se hace fluir aire comprimido a través de la barra, este también sirve para enfriar la broca de perforación, logra hacer perforaciones hasta de 90 m. de profundidad.

La compañía Joy Manufacturing\* desarrollo un taladro con las siguientes características:

1. Equipo con gatos niveladores
2. La columna normal es de 9.00 m. de longitud
3. Los tubos de extensión tienen 6.60 m. de longitud
4. Es impulsado por un motor diesel
5. Equipado con un colector de polvo.

\* Métodos, Planeamiento y Equipos de Construcción de R.L. Peurifoy-Editorial Diana

#### 4.3.8 Taladro de Diamante

Es un taladro giratorio con una broca que tiene incrustaciones de diamante negro.

Se utiliza principalmente en los estudios de exploración para extraer muestras de los estratos rocosos, sus diámetros no son muy grandes, pues esto encarecería el costo de perforación, -- cuando en una exploración se necesita obtener corazones de mayor diámetro es más económico utilizar otro método.

Las partes principales del taladro son: la broca de diamante que va en el extremo del tubo para corazones, la barra de hincado con cabeza giratoria para suministrar a la broca los impulsos de rotación y percusión necesarios. Para eliminar los detritos de la roca se utiliza agua a presión que es suministrada a través del tubo de hincado. Los tubos en que se guarda el corazón de la roca varían su longitud de 1.50 a 4.50 m., cuando el tubo está saturado de material éste se rompe girando en sentido contrario y es extraído hasta la superficie con todo el conjunto.

#### 4.3.9 Selección del Equipo

Para la selección de equipo se debe tener un concepto -- claro de las características de la maquinaria para saber si conviene adquirirla o rentarla, si la máquina se va a comprar el constructor, debe saber que "la máquina deberá pagarse por sí misma -- produciéndole al contratista más dinero del que cuesta."

Una compañía nunca podrá darse el lujo de tener todas -- las máquinas para realizar perforaciones, entonces tendrá que seleccionar a los equipos más adecuados en función a sus características o condiciones de la obra, si las perforaciones se van a realizar para explorar el suelo, inyectar lechadas, extracción agua o petróleo, etc., para cada una de estas finalidades existe la maquinaria adecuada que tendrá que ser seleccionada en función a varios factores que afectan el costo y avance de la obra, algunos de éstos son:

Naturaleza del terreno

La profundidad requerida

La dureza de la roca

Grietas o fracturas de la formación

Tamaño de la obra

Si los fragmentos se van a manejar o a triturar

Nivel freático

La cantidad de roca que se debe dinamitar o extraer por hora.

El diámetro de los corazones que se requieren para el análisis.

Todas éstas características son muy importantes para la selección del equipo, pero lo que nos define que equipo vamos a adquirir es el análisis del costo y equipo de la maquinaria tomando en cuenta lo expuesto anteriormente.

#### 4.3.10 Terminología

La palabra barrena significa: "Herramienta para hacer perforaciones en madera, piedra, hierro, etc., existen barrenas pequeñas (de mano), de varias toneladas movidas por máquinas, por ejemplo para perforar pozos petrolíferos.

La barrena que se utiliza en construcción consta de una barra de hierro con uno de sus extremos cortantes, siendo éstas -- las manuales".<sup>1</sup>

La pasada definición es necesaria para poder entender la gran variedad de nombres que se le da a esta herramienta. Los Ingenieros que tienen muchos años en la perforación tienen la siguiente terminología y será la que se empleó en este trabajo.

BARRENA.- Parte que sirve para sujetar a la broca.

BROCA.- Parte que desintegra a la roca

TRICONO.- Broca de tres conos.

Barrenas. Datos históricos.- Las barrenas que primeramente se emplearon fueron aquellas donde uno de sus extremos se forjaba la broca, éstas generalmente eran de acero. Al terminarse la broca se tenía que volver a forjar nuevamente, lo que ocasionaba varios tiempos muertos y reducción de la longitud de la barrena hasta terminarse ésta.

Generalidades.- La barrena se fabrica con un acero rico en carbono (90% ) o con un acero especial y con un diámetro mínimo de 30 mm., pueden ser redondas, exagonales u octagonales.

---

<sup>1</sup> Enciclopedia Ilustrada Cumbre. Tomo 2 Página 59.

A continuación se ilustra una barrena con sus partes:

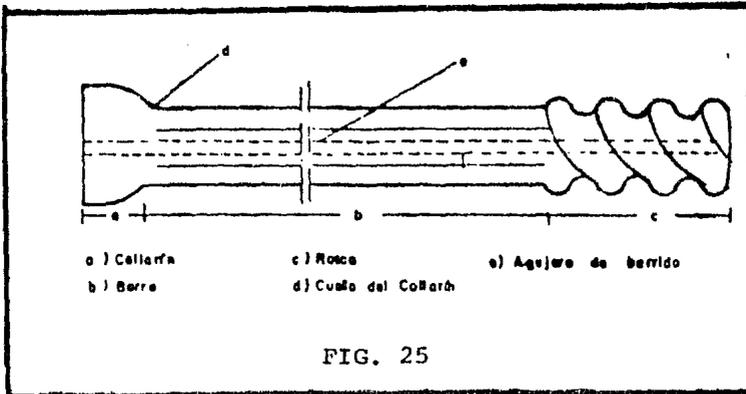


FIG. 25

En la parte del collarín, su interior es una cuerda que sirve para enroscarse al zanco. En el otro extremo generalmente roscado es donde se acopla la broca.

Como se podrá apreciar la barrena es hueca, el orificio sirve como ducto donde circula el agua, evitando el polvo, el calentamiento de la broca y la expulsión de los detritos del fondo del barrenado. Ya que los detritos pueden ser bastantes grandes, -- los canales de inyección deben ser lo suficientemente grandes para evitar la obstrucción; por esa misma razón la barrena debe ser entre 8 y 10 mm menor que el diámetro de la broca.

En la siguiente tabla se indican los pesos y dimensiones del acero de barrena <sup>1</sup>

Diámetro (mm)	Redondo Kg./ mt.	Exagonal Kg./ mt.	Ochavado Kg./mt.
22.2	-	2.97	3.25
25.4	3.27	4.02	4.50
28.5	4.73	5.13	5.60
31.7	5.70	6.12	6.90

TABLA NO. II

PESOS DE ACERO DE BARRENAS HUECAS  
KILOGRAMOS POR METRO.

<sup>1</sup> George J. Young. Elementos de Minería Página 120

**Características.-** A continuación se señalan las características que las empresas dan respecto a sus barrenas:

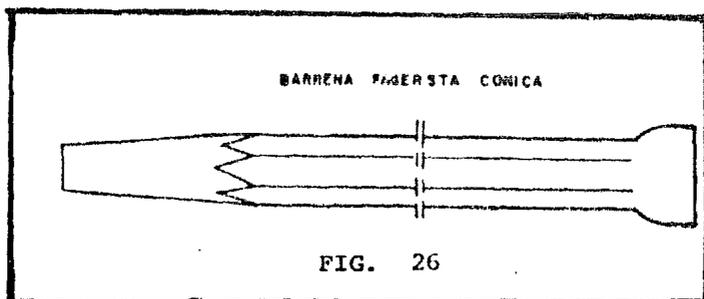
a) Barrenas Fagersta Secoroc.

"Las barrenas se fabrican de un acero especial de alta calidad. Además para mejorar las propiedades, sometemos las barrenas a un tratamiento térmico patentado de endurecimiento, el cual, combinado con el acero especial, asegura una larga duración de servicio bajo las más severas condiciones de trabajo.

El tratamiento térmico consiste en calentar la barra a temperatura controlada y enfriarla también bajo control, lo que permite el reacondo de los cristales del acero.

Una característica de las barrenas Fagersta es que en el extremo de la barra donde se coloca la broca es cónica lo que evita el trasrocamiento (embote) de la broca, dando así una vida útil mayor. Existen tres tipos de cono y son: de 7°, 11° y 12° respectivamente.

Esta empresa fabrica solamente barrenas exagonales, y la forma de acople entre barrena y broca es por perno.



Existe una gran variedad de barrenas para un sólo diámetro, siendo los diámetros desde 1 hasta 5 pulg., a continuación pondremos los tipos de barrena para una exagonal de 7/8" de diámetro.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Fagersta Secoroc Accesorios de Perforación. catálogo Página 5.

TABLA III

L A R G O		SIMBOLO	PESO APROX. KG. / MT.
MM	PIES		
		CONO DE 7°	
1830	6'	573 - 0118	6.0
2135	7'	573 - 0121	7.0
2435	8'	573 - 0124	8.0
2745	9'	573 - 0127	9.0
		CONO DE 12°	
610	2'	577 - 0106	2.3
1220	4'	577 - 0112	4.2
1525	5'	577 - 0115	5.1
1830	6'	577 - 0118	6.1
2000	6' 6"	577 - 0120	6.6
2435	8'	577 - 0124	7.9
2740	9'	577 - 0127	8.9
3050	10'	577 - 0131	9.8
3655	12'	577 - 0137	11.7
		CONO DE 11°	
610	2'	579 - 0106	2.3
760	2' 6"	579 - 0108	2.7
1220	4'	579 - 0112	4.2
1370	4' 6"	579 - 0114	5.6
1830	6'	579 - 0118	6.1
2000	6' 6"	579 - 0120	6.6
2435	8'	579 - 0124	7.9
2590	8' 6"	579 - 0126	8.4
3050	10'	579 - 0131	9.8

Para pedir una barrena se proporcionará el símbolo, por lo que es necesario un catálogo completo de las barrenas.

**b) Barrenas de Acero y Aguces.**

Fabrica barrenas exagonales con acero de alta resistencia y el extremo para el acople de las brocas es roscado.

Para hacer las roscas se calienta la barrena en forma controlada proporcionando el calor una computadora automáticamente, el enfriamiento no es controlado en su totalidad.

La desventaja de este tipo de barrenas es que al barrerse la rosca queda inservible la barrena, siendo su vida útil menor. Para evitar ésto, al calentarse se añade a la rosca carbono en la superficie para hacerla más resistente.

A continuación se podrán ver las dimensiones en que se fabrican las barrenas, tomando como ejemplo un diámetro de 22.2 mm (7/8").

TABLA IV

Diámetro	Longitud de la barrena (M)	Longitud de la barrena es Pies.
22.2 (mm)  7/8"	0.40	1' 4"
	0.60	2' 0"
	0.80	2' 7"
	1.20	3' 11"
	1.60	5' 3"
	1.80	5' 11"
	2.40	7' 10"
	3.20	10' 6"
	4.00	13' 1"
	4.80	15' 9"
	5.60	18' 4"
6.40	21' 0"	

Para pedir este tipo de barrenas, se da el diámetro y la longitud de la barrena deseada.

**c) Barrenas Ingersoll Rand.**

El acero utilizado en éstas barrenas recibe un tratamiento térmico, además de ser un acero de alta resistencia.

Las barrenas Ingersoll Rand IR 38 SPJ-RAL, es el único en el mundo roscado a todo lo largo de la barrena, con una ranura de lubricación formada en la cresta de cada rosca.

Las barrenas tienen también más área de flanco y un área mayor de contacto entre roscas acopladas; esto reduce la deformación y el desgaste de las roscas<sup>1</sup>

Como se ve, tiene grandes ventajas este tipo de barrenas porque las barrenas carbonizadas se pueden reacondicionar una vez, luego hay que desecharlas, pero con éstas, se corta la rosca dañada y seguimos teniendo barrena.

La ranura de lubricación en la cresta de la rosca permite el desacoplamiento más fácilmente, además de evitar la corrosión cuando no se está usando.

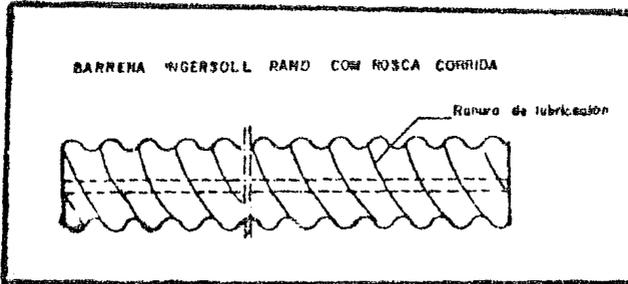


FIG. 27

Al igual que las barrenas de Fagersta, éstas también -- tienen una clave para pedirse, pero es mucho más sencillo constando de 4 partes que son:

E 38 SB 10

donde: E = Letra que indica que se trata de una barrena.

38 = Diámetro nominal de la barrena que se desea, expresado en mm.

SB = Clave interna de Ingersoll-Rand

10 = Longitud de la barrena expresado en pies.

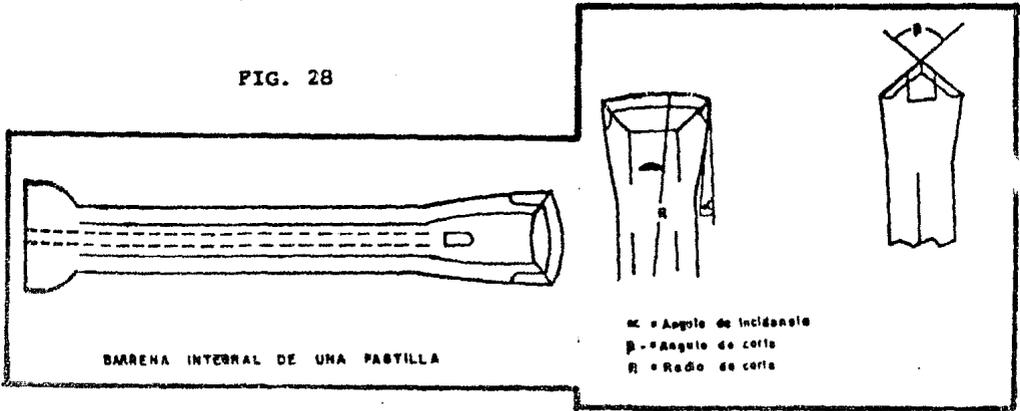
Por lo tanto se estará pidiendo una barrena de 38 mm. de diámetro y con una longitud de 10 pies.

#### d) Barrenas Integrales.

Las barrenas integrales son aquellas que en uno de sus extremos se forja la broca. A continuación se ilustra una barrena integral.

<sup>1</sup> Ingersoll Rand. Instruction Equipment. Folleto.

FIG. 28



En este tipo de barrenas cuyo extremo puede ser de acero o bien una pastilla de acero al carburo de tungsteno, la barra puede ser exagonal o semi-rectangular.

Se fabrican de una, tres o cuatro pastillas, siendo estas últimas cada vez menos frecuentes por tener más ventajas las de tres pastillas.

Las empresas que producen estas barrenas integrales son Fagersta Secoroc y Barrenas de Acero y Agujes; como son iguales en su estructura, variando solamente el acero que usan (descrito anteriormente) utilizaremos las características que proporciona la primera.

Las barrenas Integrales de una y tres pastillas se suministran como estándar con un radio de corte de 130 mm y un ángulo de corte de 110°.

Estas barrenas gozan de un gran reputación ya que perforan agujeros tan pequeños como los del tipo cincel, pero reducen además el riesgo de atascos. Tienen una duración de servicio más larga que las barrenas de 4 pastillas y dan una velocidad de penetración más buena que las de otros tipos.

La colocación de las pastillas permite ranuras más grandes por estar laterales, y ser impar su número que ayuda a la evacuación de los detritos de perforación que los otros tipos de barrenas con pastillas múltiples (de estrellas)1.

<sup>1</sup> Fagersta Secoroc. Accesorios de perforación. Catálogo pág.2

Una desventaja que tienen las barrenas con respecto a -- las barrenas integrales es que las primeras se rompen más frecuentemente, debido a que en las segunda al irse cortando, los puntos nodales que se producen al vibrar cambian, mientras que en las primeras es el mismo.

Actualmente, las barrenas integrales van en desuso em---pleándose las de broca intercambiables.

#### Recomendaciones para el uso de las Barrenas.

- a) Nunca golpear a la barrena para facilitar su cambio
- b) En su traslado nunca dejarlos caer ni que se golpeen unas con otras.
- c) Almacenarlos en posición vertical para evitar que el agua ataque el interior de la barrena.
- d) Verificar que la cuerda de la broca no este embotada

Siguiendo estos breves pasos la barrena durará más tiempo.

#### Brocas.

Generalidades.- Como dato histórico diremos que en el año de 1918, A.L. Hawkesworth fue el primero en utilizar brocas intercambiables en las minas de BUTTE solicitando la patente que se le otorgó al año siguiente.

Las brocas de acero intercambiables se fabrican de acero al carbono ( 85% al 90% ) y otros tipos de aceros especiales, recibiendo además tratamientos térmicos diversos según la compañía - que las fabrique, y la tecnología de cada país aunada a su avance tecnológico.

Existen en una gran diversidad de tamaños, desde 1 a 5 - pulg. de diámetro, variando entre ellos 1/6" . En México no todos los tamaños son comerciales, los que no son comerciales se fabri--can especialmente siendo mayor su costo por lo que se prefiere utilizar un diámetro mayor al requerido.

Este tipo de brocas son utilizadas para perforar por el sistema de percusión, y al girar la barrena hace que el diámetro de la nueva broca se reduzca, llamando a este hecho DESCALIBRADO.

El diámetro de la nueva broca que se calibra (dimensionar su diámetro) será el inmediato anterior que exista en el mercado y no un intermedio entre ellos.

Como resultado de lo anterior se tendrá que emplear un diámetro mayor cuando se empiece a perforar por lo que se tendrá un juego de brocas dependiendo su variedad de tamaños según la profundidad y dureza del barreno.

El rendimiento de las brocas de acero va desde unos cuantos centímetros hasta varios metros de profundidad dependiendo de la dureza del terreno principalmente, aunque intervienen también otros factores, siendo éstos la forma de afilarse, manejo y mantenimiento de la broca y barrena.

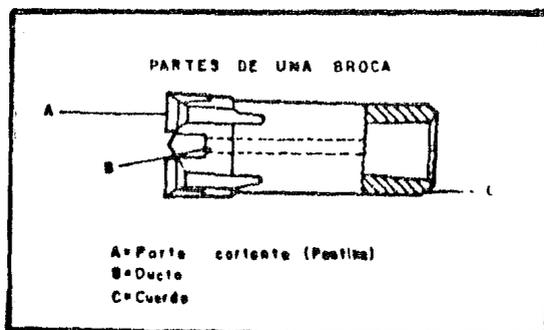


FIG. 29

El ducto se utiliza normalmente en la parte central de las brocas el cual sirve para lubricar también a las pastillas, así como para sacar los detritos producto de las perforaciones -- por medio de aire o agua según sea el sistema de la máquina perforadora.

Este tipo de orificios centrales tienden mucho a obstruirse, ocasionando con ello que se heche a perder la broca, por lo que se han acondicionado los orificios laterales que dan mejores resultados ya que si algún orificio se obstruye hay otros que realizan su labor; pero también tienen la desventaja de disminuir el diámetro de los lados donde se realizan los orificios, siendo esta parte de la broca la crítica, ya que es la primera en fracturarse.

**Tipos de Brocas:**

Existen en la actualidad diferentes tipos de brocas intercambiables, su forma es similar en todas las marcas, variando únicamente la forma de acople a las barrenas, por lo que se describirán las formas de las brocas globalmente y después veremos como cada empresa acopla sus brocas.

a) Broca en Cruz

"Las puntas se desvían con un ángulo de  $5^\circ$  del borde cortante y la broca abre en ángulo de  $15^\circ$  a partir del cuello, los brazos de la cruz tienen un espesor de 15.8 mm y el ángulo de corte es de  $90^\circ$ . Las brocas de diámetros más grandes tienen hasta 19 mm. de grueso en la cruz, los  $5^\circ$  de desviación en las puntas se reducen a  $2^\circ$  y en algunos casos desaparece este esviaje".<sup>1</sup>

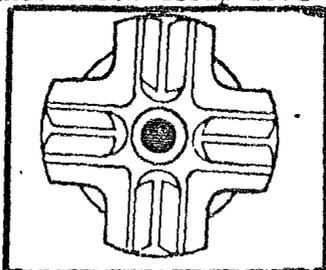


FIG. 30

b) Brocas en "X"

Tienen las mismas características que las brocas en cruz, sólo varían en su ángulo de corte ya que en estas brocas es de  $90^\circ$ - $120^\circ$ .<sup>1</sup>

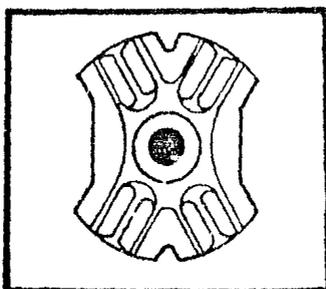


FIG. 31

---

<sup>1</sup> C. Hellmut Fritzsche. Tratado de laboreo de minas. pág. 123

<sup>1</sup> C. Hellmut Fritzsche. Tratado de laboreo de minas.

### Tipos de Brocas:

Existen en la actualidad diferentes tipos de brocas intercambiables, su forma es similar en todas las marcas, variando únicamente la forma de acople a las barrenas, por lo que se describirán las formas de las brocas globalmente y después veremos como cada empresa acopla sus brocas.

#### a) Broca en Cruz

"Las puntas se desvían con un ángulo de  $5^\circ$  del borde cortante y la broca abre en ángulo de  $15^\circ$  a partir del cuello, los brazos de la cruz tienen un espesor de 15.8 mm y el ángulo de corte es de  $90^\circ$ . Las brocas de diámetros más grandes tienen hasta 19 mm. de grueso en la cruz, los  $5^\circ$  de desviación en las puntas se reducen a  $2^\circ$  y en algunos casos desaparece este esviaje".<sup>1</sup>

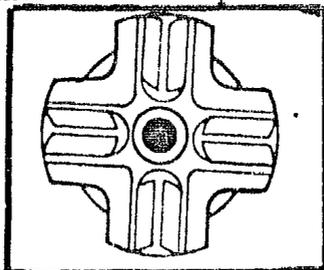


FIG. 30

#### b) Brocas en "X"

Tienen las mismas características que las brocas en cruz, sólo varían en su ángulo de corte ya que en estas brocas es de  $90^\circ$ - $120^\circ$  <sup>1</sup>.

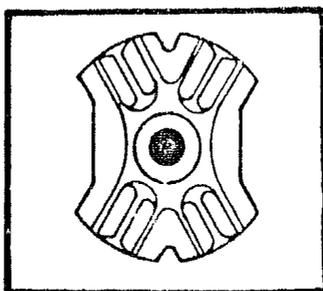


FIG. 31

<sup>1</sup> C. Hellmut Fritzsche. Tratado de laboreo de minas. pág. 123

<sup>1</sup> C. Hellmut Fritzsche. Tratado de laboreo de minas.

c) Brocas en Estrellas.

Mismas características que las anteriores siendo su ángulo de corte de  $60^{\circ}$ - $90^{\circ}$ <sup>1</sup>.

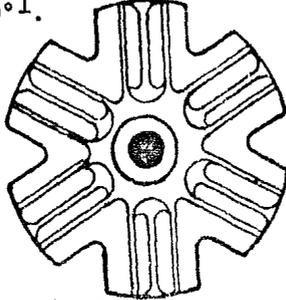


FIG. 32.

d) Broca en Bisel

Puede ser uno o dos biseles. "Tiene el esviaje de las puntas de  $2^{\circ}$ . Estas brocas mantienen su calibre y en terreno duro da mejores rendimientos que la broca de cruz".

Estas brocas se fabrican sobre pedido si son intercambiables, ya que su fabricación estándar es para brocas integradas<sup>2</sup>.

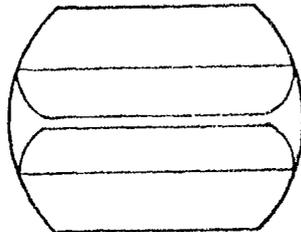


FIG. 33

Tipo de Acoplamiento: Según la empresa el tipo de acoplamiento es:

FAGERSTA SECOROC.- Tiene dos tipos de acoplamiento, el normal o sea de rosca endurecida y últimamente el acoplamiento en barrenas cónicas, en donde el perno cae al centro de la broca, trasladando los orificios de lubricación a los laterales de la broca, eliminando en gran parte el peligro de embotamiento.

BROCAS ATLAS COOPCO.- Su acoplamiento es en forma roscada, siendo la barrena la que tenga rosca y la broca la cuerda, la longitud de acople es aproximadamente 10 cm.

BROCAS INGERSOLL RAND.- Se acoplan de igual manera que las de Atlas Coopco, a diferencia que la barrena tiene la longitud total roscada.

---

<sup>1</sup> C. Hellmut Fritzsche Tratado de laboreo de minas.

<sup>2</sup> Idem.

e) Brocas de Carburo de Tungsteno

Las brocas de carburo de Tungsteno son aquellas que su parte cortante esta hecha de una aleación de carburos metálicos -- (80%) y tungsteno (20%).

Generalidades.- Debido a la dureza de ciertos tipos de rocas, las brocas de acero tienen un rendimiento que va desde 10 - a 15 cm., por lo que se considera un rendimiento muy pobre; al utilizar brocas de carburo de tungsteno el rendimiento aumenta a va-rios metros de profundidad.

Las formas, así como el tipo de acoplamiento para las -- brocas de carburo de tungsteno son iguales a las brocas de acero, por lo que ya no se mencionan,

La desventaja de las brocas de carburo de tungsteno a las de acero es su costo, ya que son siete u ocho veces más caras, por lo que se deben utilizar sólo cuando la roca por perforar sea muy dura.

Ventajas entre brocas de Carburo de Tungsteno y las Brocas de acero.

Las ventajas que se tienen al emplear una broca con incrustaciones de carburo de tungsteno a las brocas de acero son:

1. Llegan a perforar en roca dura de 60 a 80 veces más.
2. No se necesita empezar a perforar con un diámetro mayor.
3. Los tiempos de afilado son más espaciados.
4. La velocidad de perforación promedio es mayor.
5. Es senciblemente igual la velocidad promedio entre dos afilados seguidos.

f) Brocas de Diámantes.

Breve Historia.- El primer ensayo con brocas de diamante se hizo el 10 de marzo de 1862 por el Ingeniero Genovés Georges-Auguste Lechot.

Al principio sólo se utilizaban para perforaciones de exploración, ya que generalmente se extraen corazones de roca para el estudio de su composición.

La primera corona de diamantes era muy complicada ya que las piedras quedaban incluidas en unas pequeñas piezas metálicas - fijadas mecánicamente en los alveólos correspondientes de la corona.

#### Características de los Diamantes.

Naturaleza.- Este tipo de diamantes no se utilizan en joyería porque son de color obscuro (casi negro) sin forma cristalina, dando más parecido a una lava. Su peso varía entre 0.15 y 4 - quilates, denominado generalmente industrial.

Dureza.- En la escala de MHOR ocupa el grado máximo de 10 pero no todos los diamantes tienen la misma dureza, a continuación se ve una tabla con los grados de dureza.

	NOMBRE	GRADO
Diamantes	Boart	10.00
	Ballas del Brasil	9.99
	Congo amarillo	9.96
	Congo blanco	9.95
	Congo verde ópalo	9.89
	Carbonos	9.82

Fragilidad.- Cuando el material es muy duro lleva consigo el ser muy frágil, el diamante no es la excepción, y menos el industrial, por lo que hay que evitar golpear las piedras.

Una vez descritas las propiedades del diamante, pasaremos a ver como está formada una broca de diamantes.

Coronas utilizadas.- Como se dijo al principio, las brocas eran solamente para sacar testigos de rocas, por consiguiente las coronas son de bordes delgados o gruesos dependiendo del material; serán bordes gruesos si la roca es de dureza media, serán delgados si es roca dura; los bordes suelen tener forma plana, medio y cuarto de círculo.

Hoy en día se fabrican coronas macizas que se emplean para evitar el desgaste de las coronas ordinarias principalmente en roca fragmentada.

Las formas de las coronas macizas pueden ser cóncavas para rocas blandas y escalonadas (corona piloto) para las duras.

**Pasos para el Agua.-** Los pasos para el agua por estar colocados en los bordes de las brocas son los puntos más críticos por ser donde se fracturan y ocasiona el desgaste de los diamantes.

Los pasos para agua son largos y poco profundos cuando se emplean diamantes grandes, los pasos serán cortos y profundos cuando se emplean diamantes pequeños.

El número de pasos es importante ya que en los estudios realizados se vió que soportan más las vibraciones los colocados asimétricamente.

**Desgaste de los Diamantes.-** El desgaste de los diamantes se realiza pesando cada piedra antes del engaste y después cuando la broca ya no sirva, esto sólo es posible cuando las piedras son grandes, cuando son pequeñas se pesan todas en conjunto antes y después de utilizarse la broca.

Cuando los diamantes son grandes, se pueden volver a utilizar para hacer una nueva broca, principalmente cuando la corona se hecha a perder por mal manejo.

### **Barras**

Las barras son también llamadas equipo de extensión, ya que se utilizan para barrenos de grandes profundidades.

Las barras se fabrican de acero al carbono (cuyo contenido oscila entre 75 y 85 %), sin embargo pueden usarse aceros especiales que den mayor resistencia a la fatiga.

Las barras se fabrican en juegos y tamaños cuya longitud es escalonada siendo las primeras (llamadas de emboquillar) de 75 y 85 cm. de largo, las segundas, terceras, cuartas y quintas tienen dimensiones variadas de acuerdo a las necesidades de cada caso.

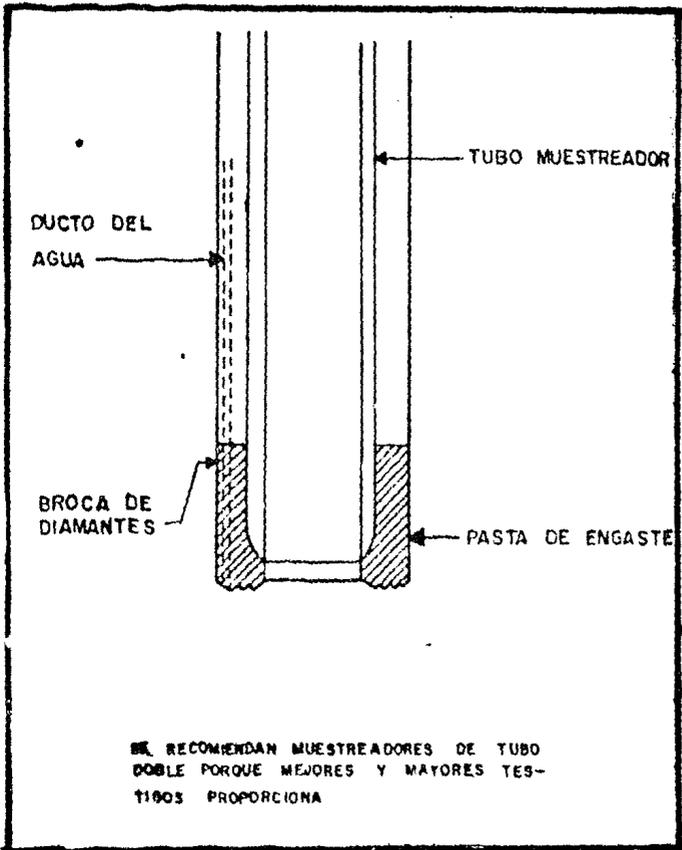


FIG. 34

La perforación de barrenos muy largos se facilita utilizando barras cuya sección sea de 5.50 a 7.30 m., pero son muy incómodos para trabajos en el interior, por lo que su uso es casi exclusivamente a cielo abierto.

Problemas al perforar barrenos profundos.- Al perforar barrenos muy profundos se tienen las siguientes limitaciones que hay que tomar muy en cuenta para la elección de las barras de acuerdo a sus características.

1. Cuando se perfora en terreno fracturado se pierde mucho el aire de extracción de los detritos.
2. En terreno fracturado se desvían los barrenos llegando a tal grado de trabar el tren de perforación.
3. En formaciones pesadas se dificulta la extracción de los detritos a causa de las velocidades insuficientes del aire de limpieza.

#### Recomendaciones para Barrenos Profundos.

1. Para terrenos fracturados utilizar barras flexibles que mantienen mejor el alineamiento que las rígidas.
2. Cuando hay limitaciones de aire la reducción del área anular y la unión al ras de las conexiones favorecen a ser mayores las velocidades del aire de limpieza para el arrastre de detritos.
3. Un tubo de diámetro mayor resiste la flexión y la torsión (diámetro efectivo).

#### Zancos.

Los zancos son piezas utilizadas en perforación que sirven de unión entre las máquinas perforadoras y las barrenas.

Los primeros zancos que se utilizan fueron: los rectos para barrenas exagonales u ochavados, la de orejas para acero redondo y los de collar para exagonales u ochavados.

En la actualidad debido a la gran aceptación en las máquinas perforadoras que dan las de orejas se utilizan en todos los zancos que se producen en México.

El extremo del zanco (unión de la máquina) es templado - en aceite y rectificado a escuadra para evitar daños al émbolo del martillo, algunos zancos utilizan un yunque u otra pieza de choque entre el émbolo y el extremo del zanco.

Como se vió en la primera parte que se refiere a la ma--quinaria hay gran diversidad de máquinas perforadoras, por lo tanto hay una gran variedad de zancos, los cuales sirven para una determinada marca y características especiales de cada una de ellas.

En el tema de selección de ellas con relación a los --equipos propuestos se proporciona una tabla de acuerdo a las máqui--nas.

### Coples

Los coples que se utilizan en las barrenas de perfora---ción, sirven para unir las barras cuando debe perforarse barrenos largos.

El acero es rico en carbonos (90%)su temple es en acei--te.

La cuerda debe de tener mayor área de flanco y un área - mayor de contacto para resistir los esfuerzos de torsión y redu --cir la deformación y desgaste de las roscas de las barrenas.

En el siguiente tema se da una tabla para el tipo de co--ple que se usa dependiendo de la barrena a emplear.

Selecciones de ellas con relación a los equipos propues--tos.

Existe una gran gama de factores que afectan la selec---ción de equipo, se dará a continuación una indicación de los zan--cos a utilizar para cada tipo de perforadora, porque la selección de brocas y barrenas no dependen de la maquinaria por utilizar, - más bien del tipo de roca a perforar y su profundidad.

TABLA V

PERFORADORA	ZANCO (Símbolo)	DIAMETRO DEL TUBO	
		(mm)	(pulg.)
Atlas Copco BBC 100	403-0134	10	15/64"
Gardner Denver 93	403-0134	10	15/64"
Ingersoll-Rand 350	403-0134	10	15/64"
Joy 400 RR	403-0134	10	15/64"
Montabert TA 35, LC 50	403-0134	10	15/64"
Tamrock L 400,500 HL 432	403-0134	10	15/64"
SIG HM 100	403-0424	8	5/16"
Atlas Copco COP 115	403-0834	10	25/64"
Bohler HM 753	403-0424	8	5/16"
Atlas Copco BBC 120	403-1134	10	25/64"
Montabert H40,50,60	403-1134	10	25/64"
Ingersoll-Rand YD 90M	403-1643	10	15/64"
Tamrock 438	403-1643	10	15/64"
Tamrock 438	403-1705	(dispositivo Especial).	
Tamrock HL 438	403-1774	12.7	1/2"
Atlas Copco Cop 125,130	403-2554	14.3	9/16"
Atlas Copco 1038 HL	403-3006	(dispositivo Especial).	
Atlas Copco 1038 HB	409-3005	(dispositivo Especial).	
Gardner Denver PR 123	403-3254	14.3	9/16"
Ingersoll-Rand VL 120, VL 140	403-3254	14.3	9/16"
Gardner Denver PR 123	404-3254*	14.3	9/16"
Ingersoll Rand URD 475	404-3254*	14.3	9/16"
Ingersoll Rand VL 120,140	404-3254*	14.3	9/16"
Tempella L 750	404-3254*	14.3	9/16"
Le Roc LHD 155	404-3254*	14.3	99/16"
Bohler HM 750,751	404-3254*	14.3	9/16"

\* Existen en otro tipo de rosca el zanco aparte de la normal (rosca HL y rosca FI).

\*\* El diámetro se refiere al inyector de aire para los detritos.

A continuación se anotan los accesorios recomendados por Ingersoll-Rand, de acuerdo a sus perforadoras, además incluiremos las barrenas eliminando el dígito (clave) de la longitud.

TABLA VI

PERFORADORA INGERSOLL-RAND	ZANCO (Símbolo)	COPEL (Símbolo)	BARRENA (Símbolo)
URD-475	SB 38 S1*	C 38 SBB	E 38 SB?***
VL-120	SB 38 S3* B	C 38 SBB	E 38 SB?***
YD-90	SB 38 S10	C 38 SBB	E 38 SB?***

\* Los diámetros se fabrican en varias dimensiones de acuerdo a la perforación que se desea hacer.

\*\* La longitud de las barrenas existen en una gran variedad de tamaños dependiendo a la profundidad que se desea.\*\*\*

#### Selección de las Brocas.

La selección de la broca ideal no se realiza por el equipo que se tenga, más bien por las características del terreno o roca, considerando las siguientes recomendaciones se llega a tener la broca ideal, siendo la decisión final la del Ingeniero encargado de la obra.

Se utilizan brocas con un bisel cuando el terreno es compacto y no agrietado, además de que los diámetros del barrenado sean pequeños.

En terrenos blandos se recomienda la broca en "Z" ya que no se necesita perforar sino solamente excavar, por lo que resulta adecuado su empleo evitando el atascamiento.

Se utilizarán brocas de dos biseles cuando el terreno tenga las mismas características que las de un bisel pero que este un poco agrietado.

Si el terreno es muy duro y agrietado, deben utilizarse brocas de estrellas ya que por sus variados cortes evita que se desgasten rápidamente.

La utilización de las distintas formas de brocas se resume en la siguiente tabla.

TABLA VII

DENOMINACION	CAMPO DE APLICACION
Broca en Bisel sencillo	Para roca dura. Poca profundidad del barreno y no agrietado.
Broca en Bisel doble	Para roca semi-dura y poco agrietada, diámetros mayores que el anterior.
Broca en Cruz	Para terreno agrietado en perforaciones profundas.
Broca en "X"	Para terreno agrietado en barrenos especialmente profunda.
Broca en "Z"	Terreno no muy duro y carbón.
Broca en estrellas	Para roca muy dura y agrietada.

Arranque con explosivos. C. Hellm Fritzsche. Pág. 145.

### Triconos

#### Definición de tricono

Dato histórico.- En el año de 1909 se empleó el primer tricono equipado con dos cortadores cónicos que rodaban en el fondo. Este tricono revolucionó la perforación rotary, haciendo posible perforar terrenos duros.

Generalidades.- Los triconos se utilizan generalmente en la perforación de pozos profundos tales como los petroleros y los artesianos ya que su diámetro llega a ser de 26" (63.50 cm.).

Los triconos con rodillos cortadores constan de tres importantes componentes; las estructuras cortadoras, los cojinetes y el cuerpo del tricono.

Estructura del Cuerpo.- Consta principalmente de cuatro partes y son:

- a) Conexión roscada que une el tricono con la columna de perforación.

- b) Tres cojinetes donde van montados los conos.
- c) Los depósitos que contienen el lubricante para los cojinetes.
- d) Los orificios a través de los cuales el fluido de perforación fluye para limpiar del fondo los detritos.

Estructuras Cortadoras.- Los conos cortadores son excéntricos, que quiere decir que su centro o eje no queda en el mismo sitio que el de los otros conos y ninguno es el centro del tricono.

Cojinetes.- Es la parte donde se colocan los balines - que dan movimiento a los conos; son fabricados con máxima precisión y un material resistente a la abrasión, llamado acero al Níquel-Cromo-Molibdeno.

Medios de Circulación.- Los triconos trabajan expulsando los detritos a base de aire y gas.

El problema principal para la perforación con aire es la entrada del agua al pozo, debido a la tendencia del tricono a amobarse pegándose los detritos a las paredes del pozo o a la columna perforadora.

#### Tipos de Triconos.

Triconos con dientes de acero.- Son también conocidos - triconos de dientes forjados, su uso principal es en formaciones blandas.

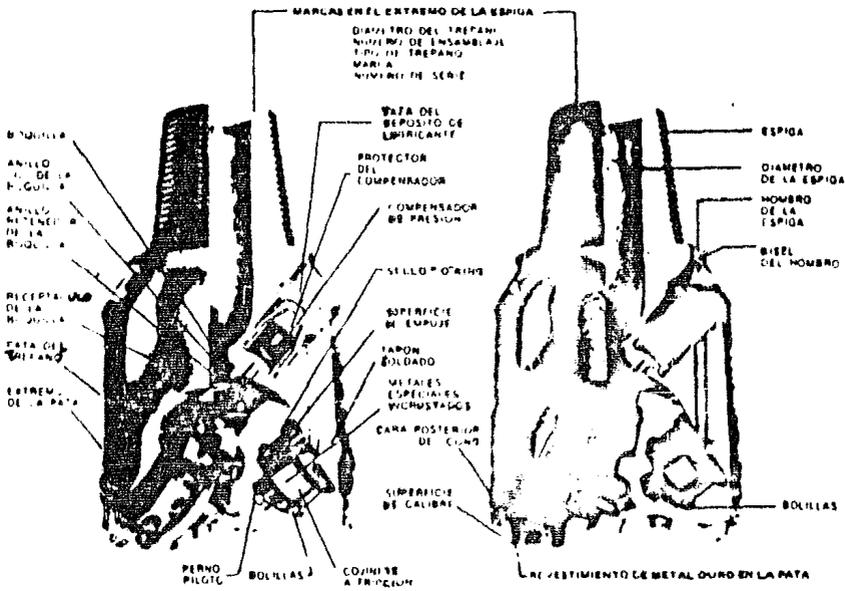
La colocación de los dientes y su longitud varían de -- acuerdo al material que se perfore, siendo largos y espaciados para terrenos blandos y pequeños y cercanos si el material es duro.

Triconos con insertos de carburo de tungsteno.- En este tipo se fabrican por separado los conos y los dientes (de carburo de tungsteno) ensamblándose mecánicamente. El espacio y forma de los dientes dependen del material siguiendo las características anteriores.

Diámetro de los Triconos.- Se fabrican con diámetros - que van desde 3 1/4 a 26 Pulgs. Incrementándose en 1/8 de pulgada de una medida a otra.

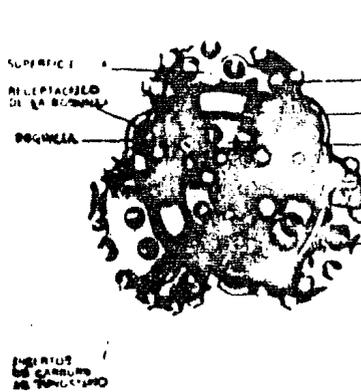
# Trépanos

## TERMINOLOGIA DE LOS ELEMENTOS DEL TREPANO



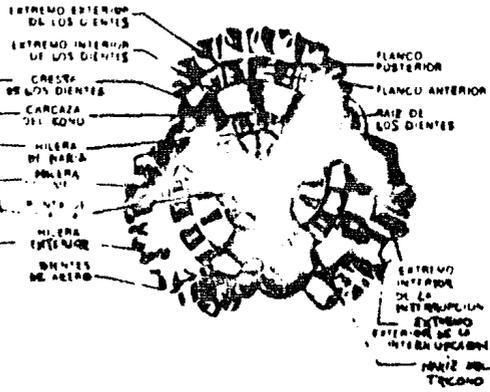
### TREPANO CON INSERTOS DE CARBURO DE TUNGSTENO

Cojinetes Journal Sellados



### TREPANO CON DIENTES DE ACERO

Cojinetes Journal Sellados



En México se fabrican solamente en los siguientes diámetros como estándares: 5 5/8; 5 7/8; 6; 8 1/2; 8 3/4; 9 1/2; 9 7/8; 12 1/4; 14 3/4; 17 1/2; de pulgadas, los demás diámetro solamente bajo pedido.

Clasificación.- En el año de 1973 la LADC Asociación Internacional de contratistas de Perforación (International Association Drilling Contractors), adoptó un código para los tipos de triconos donde el fabricante puede identificar las formaciones generales para las cuales un tricono es adecuado.

El código consiste de tres dígitos que son:

Primero.- Del uno al cuatro que es para los triconos de dientes forjados siendo; 1-suaves; 2-semiduros y 3-duros (4-a futuro). Del cinco al ocho son para los insertos siendo; 5-suaves; 6-semiduro; 7-duro (8- a futuro).

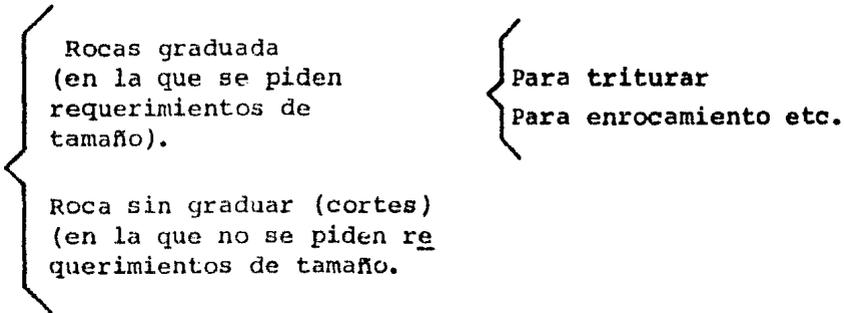
Segundo.- Grado de dureza del suelo (el primer dígito - tiene cuatro grados de dureza).

Tercero.- Proporciona información respecto a las características de los dientes del tricono.

1. Dientes (standard).
2. Calibre o diente tipo "T" (en desuso).
3. Con protección al diámetro.
4. Baleros sellados.
5. Baleros sellados con protección al diámetro.
6. Chumacera.
7. Chumacera con protección al diámetro.

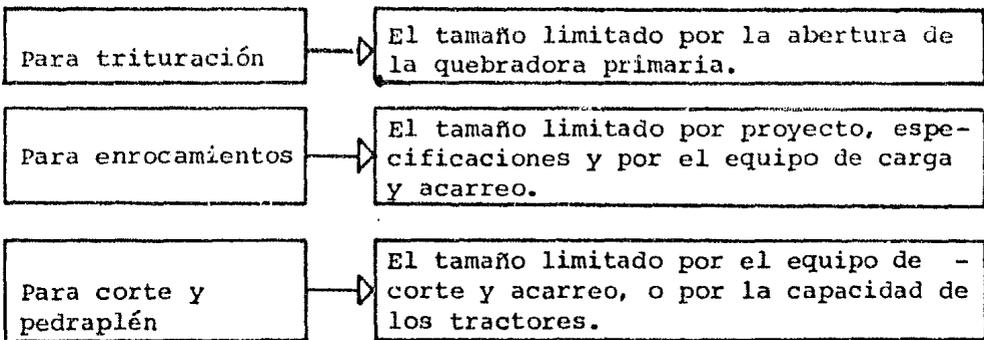
#### 4.4 Explotación de Rocas a cielo abierto.

En la explotación de roca podremos encontrar los siguientes casos importantes:



#### Extracción.

La extracción consiste en separar un fragmento de roca de un banco o corte, reducido al tamaño adecuado para el uso a que se destine.



#### 4.4.1 Explosivos.

##### Definición

Por explosivos se entienden aquellas sustancias de poca estabilidad química, que son capaces al incendiarse o detonar de producir una gran cantidad de energía.

Si está confinada como en el caso de voladuras se aprovecha para separar la roca del banco.

#### Reseña histórica.

Desde la aparición del hombre en la tierra, hasta el siglo XIV, éste no conocía otra detonación que no fuera la del rayo y otros fenómenos telúricos. Nunca pensaron nuestros antepasados que una substancia aparentemente inofensiva llegara a ocasionar - explosiones tan destructoras como las que en la actualidad son capaces de destruir a la humanidad.

En Europa, entre los años 1200 y 1300, se conoció la - pólvora negra, la más antigua de las substancias explosivas, que consistía en una mezcla de salitre, carbón de leña y azufre. Probablemente su inventor fue el monje Bertoldo Schwars a quien también se le debe su aplicación en las armas de fuego.

La pólvora negra sólo se utilizó para fines bélicos en un principio, y no fue sino hasta el siglo XVII cuando se probó - en Alemania e Inglaterra para demoler piedras. Cuando los resultados que se obtuvieron fueron satisfactorios, se abandonaron los viejos métodos mineros, generalizándose el trabajo con barrenos - en la construcción de túneles y caminos. La operación de dar fue go a los barrenos se consideró siempre peligrosa, ya que hasta el año de 1831 se conoció la mecha lenta.

Cinco siglos después de descubierta la pólvora negra, - el químico Berthollet (1788) la modificó, sustituyendo el salitre por clorato potásico, transformándola así, en un explosivo más po potente. En ese mismo año Berthollet presentó la plata negra como una de las substancias más peligrosas. El alquimista inglés Ho-- ward (1799) obtuvo el fulminante de mercurio, el cual hace explosión por medio de llama o de percusión, constituyendo un verdadero detonante.

Aunque los descubrimientos de la nitroglicerina y el algodón pólvora por los químicos Sobrero y Schonbein influyeron notablemente en el campo de los explosivos, el que abrió nuevos horizontes en esta industria, fue el sabio sueco ALFREDO NOBEL - - (1833-1846) que logró hacer manejable la peligrosa nitroglicerina, transformándola en un explosivo de trabajo, al que llamó DINA MITA, la cual no es otra cosa que el 75% de nitroglicerina absorbida en 25% de tierra de infusorios (una tierra de diatomeas muy porosa). A Nobel se le debe también la gelatina explosiva, así - como la introducción del ya olvidado fulminato de mercurio, que -

fabricó a manera de cebo para provocar con seguridad la explosión de la dinamita, del algodón pólvora y de otros explosivos.

Los suecos Ahlsson y Norrbin obtuvieron los explosivos de nitrato de amonio, precursores de los explosivos de seguridad. Turpin dió a conocer el ácido pícrico. Esto, así como la salida al mercado de la pólvora sin humo, la laminar, etc., inicio la -- erección de fábricas de pólvoras y explosivos en todo el mundo, -- dando así principio a una nueva era en la que se ha tratado de sa-- car el mejor provecho a estas substancias. Empresas muy podero-- sas se han dedicado al estudio y los resultados obtenidos son los máximos adelantos en esta materia.

Queda al constructor sacar el mayor partido de los ex-- plosivos industriales y así cooperar al constante adelanto de los procedimientos de construcción, ya que estos son una expresión ob-- jetiva de la evolución constante de la humanidad.

#### Propiedades

##### a) Fuerza

Por fuerza se entiende la energía o potencia del explo-- sivo; energía que a su vez determina el empuje o fuerza que desar-- rolla y, por consiguiente, el trabajo que es capaz de hacer. Las dinamitas nitroglicerinas se clasifican según la proporción de ni-- troglicerina por peso que contienen. La dinamita nitroglicerina de 40% de fuerza, por ejemplo, contiene realmente 40% de nitroglie-- cerina. La fuerza de acción de este tipo de explosivos se toma -- como base para la clasificación de todas las demás dinamitas.

Pocas son las personas entre las que usan dinamitas que entienden bien la energía relativa de las dinamitas de diferentes porcentajes de fuerza.

Suele creerse que la energía verdadera desarrollada por estas distintas fuerzas guarda proporción directa con los porcen-- tajes marcados. Se cree, por ejemplo, que la dinamita de 40% es dos veces más fuerte que la de 20%.

La inexactitud de esta creencia ha sido demostrada por cuidadosas pruebas de laboratorio, cuyos resultados se indican en la tabla siguiente, que muestra el número de cartuchos de determi-- nada fuerza, necesarios para igualar otro cartucho de fuerza dife-- rente y de la misma densidad.

TABLA VIII

Un Cartucho	50%	50%	45%	40%	35%	30%	25%	20%	15%
60%	1.00	1.12	1.20	1.28	1.38	1.50	1.63	1.80	2.08
50%	0.89	1.00	1.07	1.14	1.23	1.34	1.45	1.60	1.85
45%	0.83	0.93	1.00	1.07	1.15	1.25	1.36	1.50	1.73
40%	0.78	1.87	0.94	1.00	1.08	1.17	1.27	1.40	1.53
35%	0.72	0.81	0.87	0.93	1.00	1.09	1.18	1.30	1.50
30%	0.67	0.75	0.80	0.85	0.92	1.00	1.09	1.20	1.38
25%	0.61	0.69	0.74	0.78	0.85	0.92	1.00	1.10	1.27
20%	0.55	0.62	0.67	0.71	0.77	0.83	0.90	1.00	1.15
15%	0.48	0.54	0.58	0.61	0.76	0.72	0.78	0.86	1.00

La tabla anterior muestra el número de cartuchos de determinada fuerza necesarios para igualar un cartucho de diferentes fuerzas.

b) Velocidad

Es la rapidez expresada en metros por segundo con que se propaga la onda de detonación a lo largo de una columna de explosivos.

Algunos explosivos violentos detonan mucho más rápidamente que otros. Cuando mayor es la rapidez de explosión mayor suele ser el efecto de quebramiento. Como este efecto depende también hasta cierto punto de la fuerza y de la densidad, deben tomarse en cuenta estas tres propiedades al escoger el explosivo adecuado para un fin determinado.

c) Resistencia al agua.

Los explosivos violentos difieren muchos entre sí por lo que toca a la resistencia al agua. En zonas secas esto no tiene mucha importancia, pero cuando existe mucha agua es preciso emplear un explosivo resistente al agua.

d) Densidad

La densidad de una dinamita se expresa en forma del número de cartuchos de 1 1/4" x 8" (3.175 x 20.32 cm) que contiene

una caja de 25 kg.

La diferencia de densidad tiene por objeto facilitar la tarea de concentrar o distribuir las cargas de la manera deseada.

e) Inflamabilidad.

Se refiere a la facilidad con que arde un material. En el caso de las dinamitas, varía desde algunas que se incendian con facilidad y se queman violentamente, a otras que no sufren -- combustión a no ser que se les aplique directamente y continuamente alguna flama exterior.

f) Emanaciones.

Los gases que se originan con la explosión de dinamita son principalmente bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua, los cuales no son tóxicos en el sentido general de la palabra. -- Además de éstos, se forman o pueden formarse emanaciones venenosas como el monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. En la industria de explosivos estas emanaciones se conocen con el nombre de "gases".

Tanto la naturaleza como la cantidad de gases venenosos varían en los diferentes tipos y clases de dinamitas.

g) Selección

Para seleccionar el explosivo se anexa la siguiente tabla con propiedades y uso de los explosivos.

#### 4.4.2 Accesorios para voladuras.

Los accesorios para voladuras son los productos o dispositivos empleados para cebar cargas explosivas, suministrar o -- transmitir una llama que inicie una explosión, o llevar una onda detonadora de un punto a otro o de una carga explosiva a otra.

##### Iniciadores.

a) Mecha para minas

La mecha para minas consiste en un núcleo de pólvora negra especial, envuelto con varias cubiertas de hilazas o cintas y

TABLA IX

TIPO	AGENTE EXPLOSIVO.	FUERZA	VELO- CIDAD	RESISTEN- CIA AL AGUA	EMANACION	USO
Dinamita Nitroglicerina	Nitroglicerina		Alta	Buena	Exceso de gases	Trabajos a cielo abier- to
Extra	Amoniaco	20 a 60%	Alta	Regular	Exceso de gases	Trabajos a cielo abier- to.
Granulada	Amoniaco	25 a 60%	Baja	Muy mala	Exceso de gases	Trabajos a cielo abier- to.
Gelatina	Amoniaco	30 a 75%	Muy Al- ta	Buena e excelente	Muy pocos gases a nulos	Sismología trabajos - submarinos y subterrá- neos.
Permitidos	?		Alta	Regular	Muy pocos gases	Trabajos mi- neros (car- bón).
Baja densidad	Amoniaco	25%	Regu- lar.	Ninguna	Pocos ga- ses	Trabajos mi- neros.
Nitrato de Amoniaco	Amoniaco		Regu- lar.	Ninguna	Exceso de gases	Trabajos a cielo abier- to.

Selección y Propiedades de Los  
Explosivos más comunes en construcción.

sustancias impermeabilizantes. Su objeto de hacer estallar al fulminante, por lo tanto debe arder en una forma continua y uniforme. La velocidad de ignición oscila entre 125 a 131 segundos por me---tro.

b) Ignitacord.

Es un artefacto para encender mecha. Tiene la apariencia de un cable de diámetro muy pequeño y arde progresivamente - con una flama exterior corta y muy caliente que permite encender una serie de mechas en "rotación", con la ventaja de que el tiempo necesario para que una persona inicie el encendido de la serie, es el mismo que se necesitará para encender una sola mecha.

Se surte en tres velocidades de combustión: de 13 a 16 segundos por metro: de 26 a 33 segundos por metro y de 52 a 65 segundos por metro.

Detonadores.

a) Fulminantes.

Los fulminantes son tubos o casquillos cerrados en un extremo y que contienen una carga de explosivos de gran sensibilidad. Están hechos para detonar con las chispas del tren de fuego de los iniciadores.

b) Estopines eléctricos.

Los estopines eléctricos, son fulminantes elaborados de tal manera que pueden hacerse detonar con corriente eléctrica. Con ellos pueden iniciarse simultáneamente varias cargas de explosivos de gran potencia. Los estopines eléctricos tienen una carga básica de un explosivo de alta velocidad, una carga como cebo y una carga de ignición suelta o de tipo píldora.

El dispositivo para la detonación con electricidad, consiste en dos alambres con aislamiento plástico, con un tapón de hule que mantiene los alambres en su lugar y un puente de alambre anticorrosivo de diámetro pequeño, que une las terminales de los ---alambres debajo del tapón. Cuando se aplica la corriente eléctrica el puente se pone incandescente y detona el estopín.

c) Estopines electricos tipo instantáneo.

Los estopines eléctricos instantáneos tienen casquillos

de aluminio de 1 1/8" de largo, estos son los detonadores para usos comunes. Un alambre lleva aislamiento color rojo y el amarillo, estos dos colores distintos son de gran ayuda al hacer las conexiones.

d) Estopines eléctricos de tiempo.

Los estopines eléctricos de tiempo son semejantes a los estopines eléctricos instantáneos, con la diferencia que llevan un elemento de retardo colocado entre el puente de alambre y las cargas de detonación.

Existen dos tipos diferentes de estopines eléctricos de tiempo, los regulares Mark V y los estopines eléctricos de tiempo "MS". La diferencia estriba, particularmente en la duración del intervalo de retardo entre períodos consecutivos de la serie.

e) Estopines eléctricos de tiempo regulares Mark V.

La nueva serie de estopines eléctricos de tiempo regulares, ha sido fabricada para disparar con un intervalo definido entre el estopín más lento de cualquier período y el más rápido del siguiente período. Estas nuevas series aseguran un intervalo positivo de tiempo entre períodos y a través de toda la serie de tiempos. Comprenden 10 períodos de retardo los tiempos de detonación de los estopines Mark V después de aplicar la corriente, para el primer período es de 25 MS y para el décimo período 9.6 segundos.

f) Estopines eléctricos de tiempo "MS"

Los estopines eléctricos de tiempo con retardo de milésimos de segundo difieren de los estopines de tiempo ordinario en que los intervalos de retardo son muy cortos. Su elemento de retardo es diferente al de los estopines de tiempo ordinarios.

Se surten en 10 períodos cuyos números indican el tiempo que tarda el disparo en producirse, en milésimos de segundo a saber: MS-25, MS-50, MS-100, MS-150, MS-200, MS-300, MS-400, MS-600, MS-800, MS-1000.

Mechas detonantes

a) Primacord.

Este producto es un cordón detonante que contiene un --

núcleo de tetranitrato de pentaeritritol (Niperita) dentro de una envoltura impermeable reforzada con cubiertas que la protegen. - Tiene una velocidad de detonación muy alta de 6,400 m. por segundo. La fuerza con que estalla es suficiente para hacer detonar - los explosivos violentos contínuos dentro de un barreno, de modo que si se conecta al primer cartucho que se coloque en el barreno, actúa como un agente iniciador a todo lo largo de la carga explosiva.

El "primacord" se usa principalmente para disparos múltiples de barrenos grandes en la superficie ya sean verticales y horizontales. Es ilimitado el número de barrenos que pueden dispararse en esta forma.

#### Pinzas corrugadoras de fulminantes.

Hay dos tipos de pinzas; las de mano y las máquinas corrugadoras.

Las pinzas de mano dan un servicio satisfactorio en las operaciones donde el número de fulminantes que va a fijarse a los tramos de mecha es relativamente pequeño. En cambio la máquina - se recomienda para operaciones donde diariamente se fija una gran cantidad de fulminantes y donde hay puestos centrales para hacer ese trabajo de fijación.

#### Máquinas Explosoras.

Estas máquinas suministran la corriente necesaria para - disparos eléctricos. Hay dos tipos de Máquinas Explosoras el tipo "Descarga de Condensador" y el tipo "Generador".

#### Descarga de Condesador.

Utiliza pilas secas para la carga de un banco de condesadores que ya así pueden proporcionar una corriente directa y de - corta duración a los dispositivos de disparo-eléctrico. Están - provistas de cajas metálicas resistentes al agua. Se caracteri--zan por:

1. Una capacidad extremadamente alta, en comparación - con su peso y tamaño.
2. La ausencia de partes dotadas de movimiento.

3. La eliminación del factor humano que interviene en las máquinas de tipo mecánico.
4. Una luz piloto
5. Un sistema de alambres e interruptores que reúne importantes características de seguridad.

#### Generador.

Su principio se basa en un generador modificado que proporciona una corriente directa pulsativa. Estas máquinas son de tipo llamado "de vuelta" o también "Cremallera". Están diseñados de tal manera que no fluye de ellas corriente alguna hasta que se de todo el movimiento necesario a la manivela de vuelta o de Cremallera, es entonces cuando la corriente va a dar a las líneas de disparo en casi todo su amperaje y voltaje.

#### Instrumentos de Prueba.

- a) Galvanómetro para voladuras.

Este instrumento tiene una pila especial de cloruro de plata que proporciona la corriente necesaria para mover una manecilla en una escala graduada.

La pila y las partes mecánicas están encerradas en una caja de pasta la cual está provista de dos bornes de contacto. Sirve para probar los estopines eléctricos individuales y también para determinar si un circuito de voladura está cerrado o no y si está en condiciones para el disparo; además sirve para localizar los alambres rotos, las conexiones defectuosos y los cortos circuitos, así como para medir la resistencia aproximada de un circuito.

- b) Voltiohmetro para voladuras.

Este instrumento es una combinación del voltímetro y del óhmetro, que sirve para descubrir la presencia de corrientes extrañas, para la lectura de voltaje de las líneas y para medir la resistencia de los circuitos de voladura.

- c) Reostato.

Este instrumento se usa para probar la eficiencia de las máquinas explosoras de cremallera.

#### 4.4.3 Voladuras.

Para una buena voladura no basta seleccionar correctamente el explosivo, ya que es necesario conocer también el método de aplicación más indicado para cada clase de trabajo, obteniéndose con ello una máxima eficiencia, la cual se traduce en menor costo de la obra. Usualmente los resultados óptimos en voladuras se adquieren a través de la experiencia.

Un corte puede atacarse tronando parte de él, como si se tratara de una cantera de frente angosto, disparando varias hileras de barrenos al mismo tiempo (Fig. 35). Para este caso la profundidad  $P$  debe exceder, aproximadamente, 30 centímetros, y tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

Si  $P < 3.00$  metros  
Entonces  $A < P$   
 $B > P$   
 $B > 3.00$  metros

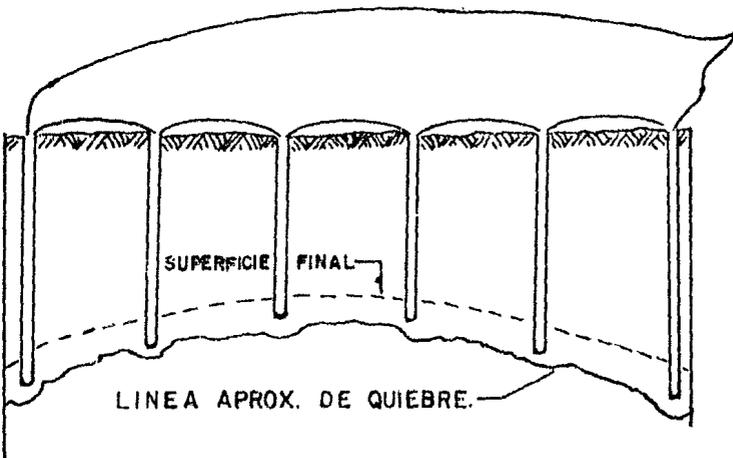
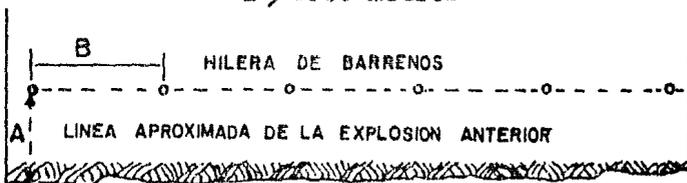


FIG. 35

Para barrenación corta es recomendable los barrenos de 1 1/2" (3.81 cm.) de diámetro en donde el pueble no debe pasar de la mitad del barreno.

El consumo de dinamita gelatina 40% en este tipo de barrenación es de 0.5 a 0.6 Kg/m<sup>3</sup> de roca.

En la construcción de terracerías en laderas deberá utilizarse los escombros o rezagas del corte para completar la cama deseada, como se indica en la Fig. 36. Tanto en este caso como en los otros es recomendable efectuar una sola tronada del corte utilizando el sistema Mark V o de los milisegundos, pues con él se obtiene una mejor fragmentación, control de proyección.

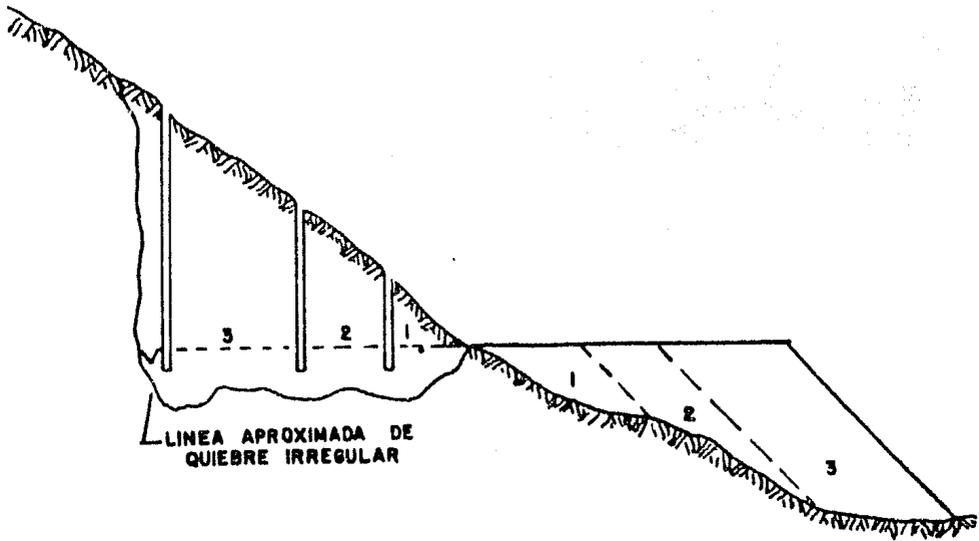


FIG. 36

menor vibración y, con ello, mayor seguridad.

Los resultados con el sistema Mark V son sorprendentes; con la práctica puede dominarse una voladura. Los siguientes ejemplos ilustran lo anterior.

Método para reducir la vibración

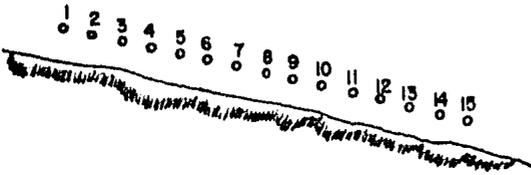


FIG. 37

Método para evitar la proyección excesiva:

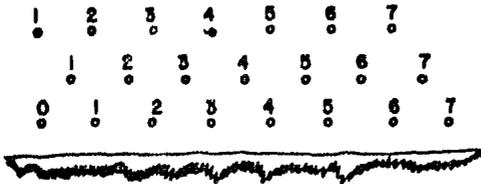


FIG. 38

Método para dar mayor fragmentación, pero con máxima proyección.

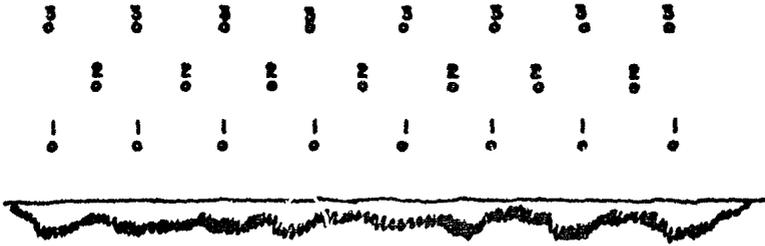


FIG. 39

Para disminuir la proyección excesiva es recomendable el siguiente método:

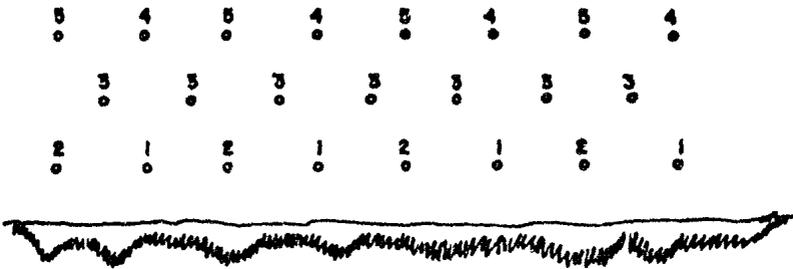


FIG. 40

En la explotación de canteras, cuando los frentes no son muy altos (menores de 10 m.), se utilizan los métodos de las figuras, 37,38,39 y 40 antes expuestos.

Para bancos comprendidos entre 8 y 15 m., de altura es recomendable disparar de 2 a 5 hileras de pozos simultáneamente -- con el objeto de desprender suficiente material y aumentar la fragmentación.

Es importante hacer notar que todas las cifras anotadas son aproximadas y se intentan solamente como una -- guía general, y como una base para comenzar a hacer pruebas en cada caso especial.

#### Consumo de Explosivos.

Este debe determinarse en cada caso por medio de pruebas.

Para facilitar las pruebas se parte de las siguientes reglas:

1. La carga por metro cúbico de roca fragmentada, será la misma, independientemente del tamaño de la prueba.
2. La carga específica necesaria para una voladura es alrededor de  $0.4 \text{ Kg/m}^3$ .
3. La carga del fondo del barreno debe ser 2.7 veces mayor que la carga de la columna, y se distribuirá de acuerdo con la Fig. 41
4. Un buen procedimiento para hacer pruebas consiste en volar barrenos de 0.50 m. de profundidad y 0.50 m. de Bordo. Se repite varias veces el procedimiento, aumentando la carga hasta que sea suficientemente grande para fracturar la pata.  
Si el centro de gravedad de la roca es lanzado hacia el frente de 0. a 1 m. se dice que la carga es la correcta. Lanzamientos mayores de la roca a 2,4, 6, y 8 m., indican excesos de carga de 10,20,30 y - 40% respectivamente.

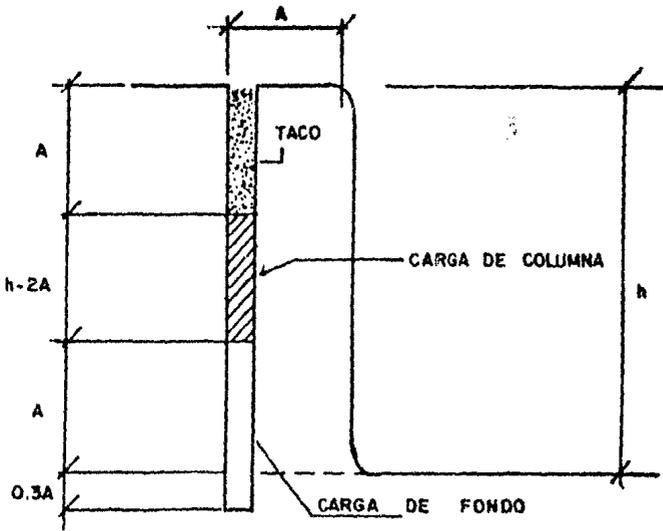


Fig. 41

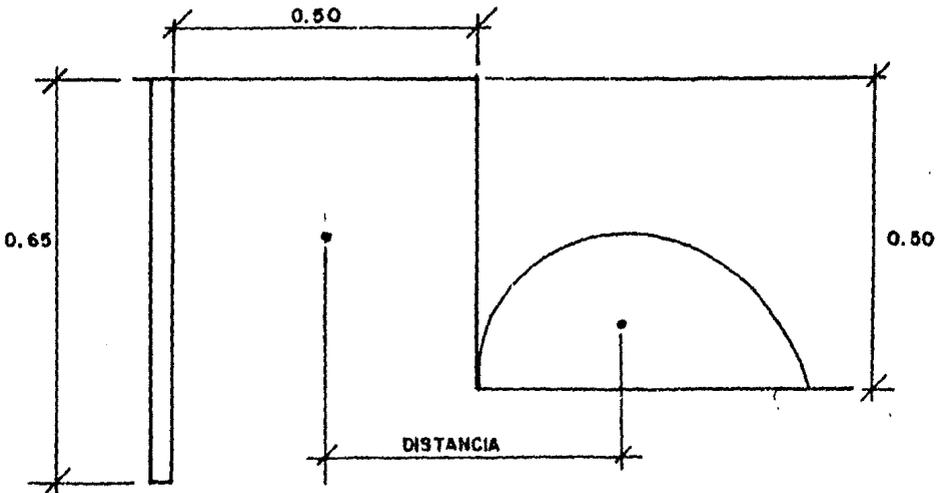


Fig. 42

Con esta carga se hacen pruebas un poco más grandes (5 m. de profundidad).

5. La separación entre barrenos es aproximadamente 1.3A
6. El bordo depende de la carga por metro que se pueda concentrar en el fondo y de la altura de la carga. - La altura de la carga, a su vez, depende del diámetro del barreno. Prácticamente  $Taco=Bordo (A)$
7. La relación entre el tamaño del bordo y el diámetro de barreno (d), está dada por:

$$A = 40 d.$$

8. La relación del diámetro a la altura del banco es de 0.005 a 0.0125.
9. Para voladuras de filas múltiples, conviene reducir la distancia entre barrenos, después del frontal según:

$$A_1 = A - 0.05 h$$

10. El consumo específico para barrenos múltiples es 20% menos que el de un solo barreno.
11. El peso volumétrico de la dinamita extra 40% o gelatina 60% es de 1.0 a 1.4  $Kg/dm^3$ .
12. La subperforación  $SP = 0.3 A$ .

#### Voladuras Controladas.

Los consumidores de explosivos han buscado y ensayado muchas maneras, para reducir el exceso de rompimiento o sobreexcavación de las voladuras. Por razones de seguridad, el rompimiento - excesivo es inconveniente tratándose de taludes, bancos, frentes o pendientes inestables y es también económicamente inconveniente. Cuando la excavación excede la "línea de pago" (implica concreto - extra y los taludes fracturados requieren un mantenimiento costoso).

En voladuras controladas se utilizan varios métodos para reducir el exceso de rompimiento; sin embargo, todas tienen un objeto común; disminuir y distribuir mejor las cargas explosivas para reducir al mínimo los esfuerzos y la fractura de la roca más allá de la línea misma de excavación.

Por muchos años la barrenación en línea fue el único procedimiento utilizado para controlar el rompimiento excesivo. La Ba

arrenación en línea o de límite simplemente consiste de una serie de barrenos en línea, vacíos, a corta distancia unos de otros y a lo largo de la línea misma de excavación, proporcionando así un plano de debilidad que la voladura puede romper con facilidad.

Estos procedimientos difieren del principio de la Barrenación en Línea, esencialmente, en que algunos o todos los barrenos se disparan con cargas explosivas relativamente pequeñas y debidamente distribuidas. La detonación de éstas pequeñas cargas tiende a fracturar la roca ente los barrenos y permite mayores espaciamientos que en el caso de la Barrenación en Línea. Por lo tanto, los costos de barrenación se reducen y en muchos casos se logra un mejor control del exceso de rompimiento.

Barrenación en línea, de límite o de costura.

#### Principio

La voladura con Barrenación en Línea involucra una sola hilera de barrenos de diámetro pequeño, poco espaciados, sin cargar y a lo largo de la línea misma de excavación. Esto proporciona un plano de menor resistencia, que la voladura primaria pueda romper con mayor facilidad. También origina que parte de las ondas de choque creadas por la voladura sean reflejadas, lo que reduce la trituración y las tensiones en la pared terminada.

#### Aplicación.

Las perforaciones de la Barrenación en Línea generalmente son de 2" a 3" de diámetro y se separan de 2 ó 4 veces de su diámetro a lo largo de la línea de excavación. Los barrenos mayores de 3" se usan poco con este sistema pues los altos costos de barrenación no pueden compensarse suficientemente con mayores espaciamientos.

La profundidad de los barrenos depende de su buena alineación. Para obtener buenos resultados, los barrenos deben quedar en el mismo plano. Cualquier desviación en ellos, al tratar de barrenar más profundamente, tendrá un efecto desfavorable en los resultados. Para barrenos de 2" a 3" de diámetro las profundidades mayores a 9 m. son raramente satisfactorios (Ver Fig. 4).

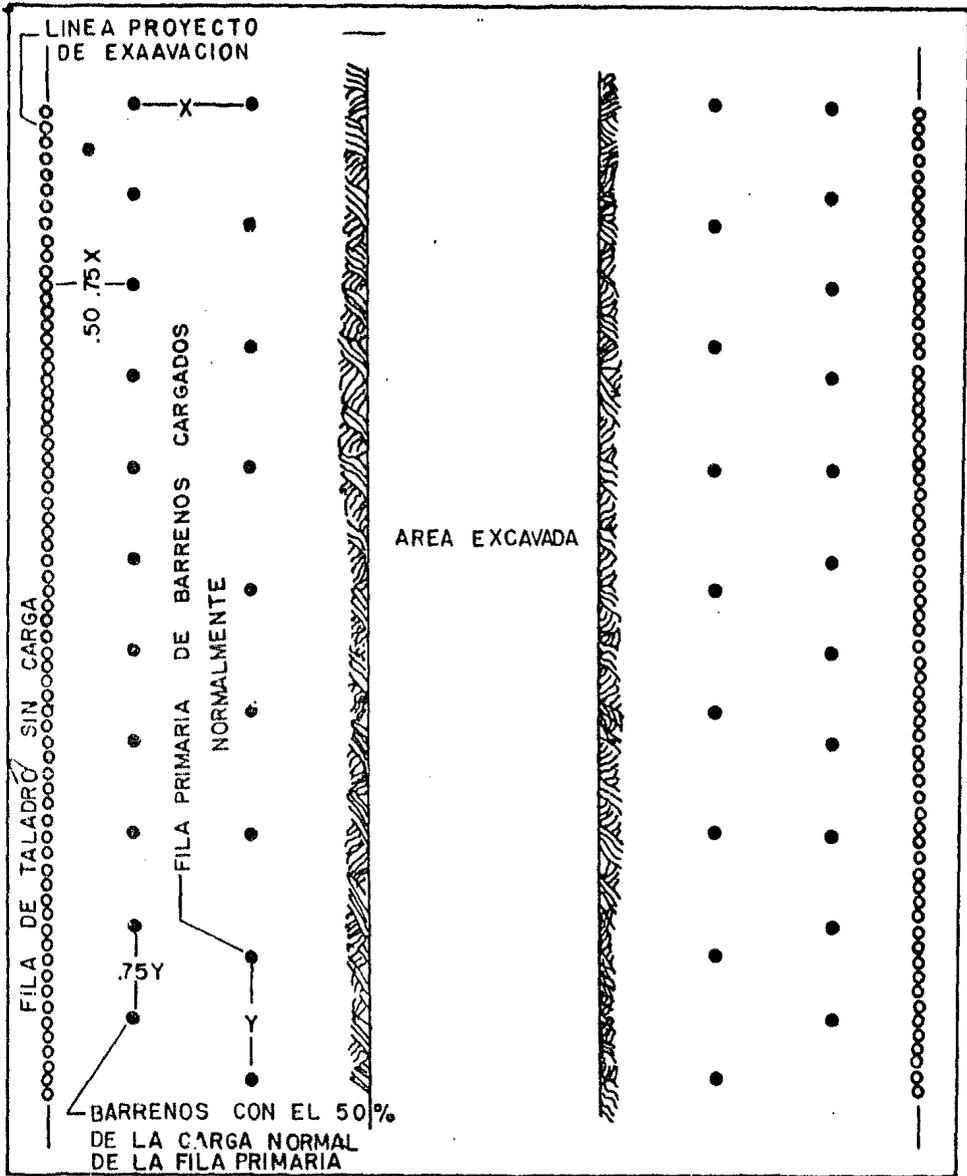


Fig. - 43

Plantilla Típica del Procedimiento de Barrenación en Línea.

Los barrenos de la voladura directamente adyacentes a los de la Barrenación en Línea, se cargan generalmente con menos explosivos y también a menor espaciamiento que los otros barrenos.

La distancia entre las perforaciones de la Barrenación en Línea y los más próximos, cargados, esencialmente del 50 al 75% del Bordo Usual.

Los mejores resultados con la Barrenación en Línea se obtienen en formaciones homogéneas en donde los planos de estratificación, juntas y hendeduras son mínimos.

#### Trabajos subterráneos

La aplicación de la teoría básica del sistema de Barrenado en Línea, esto es, utilizando solamente barrenos vacíos, es muy limitada en trabajos subterráneos. Generalmente se usan barrenaciones cerradas, pero siempre cargadas aunque ligeramente. A este procedimiento se ha preferido llamarle Voladura Perfilada y será descrita posteriormente.

#### Voladuras Amortiguadas.

##### Principio

La voladura Amortiguada a veces denominada como voladura para recortar, lajear o desbastar, se introdujo en el Canadá hace varios años. Al igual que la Barrenación en Línea, la Voladura Amortiguada implica una sola fila de barrenos a lo largo de la línea de proyecto de excavación.

Las cargas para las voladuras amortiguadas deben ser pequeñas, bien distribuidas, perfectamente retacadas y se harán explotar después de que la excavación principal ha sido despejada. Al ser volado el bordo, el taco amortigua la vibración dirigida hacia la pared terminada, reduciendo así al mínimo la fractura y las tensiones en esta pared. Disparando los barrenos de amortiguamiento a pequeños intervalos, la detonación tiende a cortar la roca entre ellos dejando una superficie uniforme y con un mínimo de sobreexcavación, obviamente a mayor diámetro de barreno, se obtiene mayor amortiguamiento.

CARGAS Y PLANTILLAS PROPUESTAS PARA VOLADURAS  
AMOTIGUADAS.

TABLA X

DIAMETRO DEL BARRENO EN PULGADAS.	ESPACIAMIENTO EN PIES (1)	BERMA EN PIES (1)	CARGA EXPLOSIVA EN LIBRA/PIE (2)
2-2 1/2	3	4	0.08 - 0.25
3-3 1/2	4	5	0.13 - 0.05
4-4 1/2	5	6	0.75 - 0.75
5-5 1/2	6	7	0.75 - 1.00
6-6 1/2	7	8	1.00 - 1.59

- (1).- Dependen de la naturaleza de la roca. Las cifras anotadas son promedios.
- (2).- El diámetro del cartucho deberá ser igual o menor que la mitad del diámetro del barreno.

Trabajos a cielo abierto.

El banco o berma y el espaciamiento variarán de acuerdo con el diámetro de los barrenos que se hagan.

La tabla X muestra una gafa de patrones y cargas para diferentes diámetros de barrenos. Nótese que los números mostrados cubren un campo promedio debido a las variaciones que resultan del tipo de formación por volarse. Con este procedimiento los barrenos se cargan con cartuchos enteros o fraccionados atados a líneas de Primacord a manera de rosario, usándose generalmente cartuchos de 1 1/2" de diámetro por 8" de largo y colocándose a 1 ó 2 pies de separación.

Para efectos de un amortiguamiento máximo las cargas deben colocarse dentro del barreno tan próximas como sea posible a la pared correspondiente al lado de la excavación (Ver Fig. 44).

El retardo mínimo entre la explosión de los barrenos - amortiguadores proporciona la mejor acción de corte entre barreno y barreno; por lo tanto, normalmente se emplean líneas troncales de Primacord. En donde el ruido y la vibración resulten críticos se pueden obtener buenos resultados con estopines de retardo MS.

La profundidad máxima que puede volarse con éxito por éste método, depende de la precisión del alineamiento de los barrenos. Con barrenos de diámetro mayores puede mantenerse un mejor alineamiento a mayor profundidad. Las desviaciones de más de

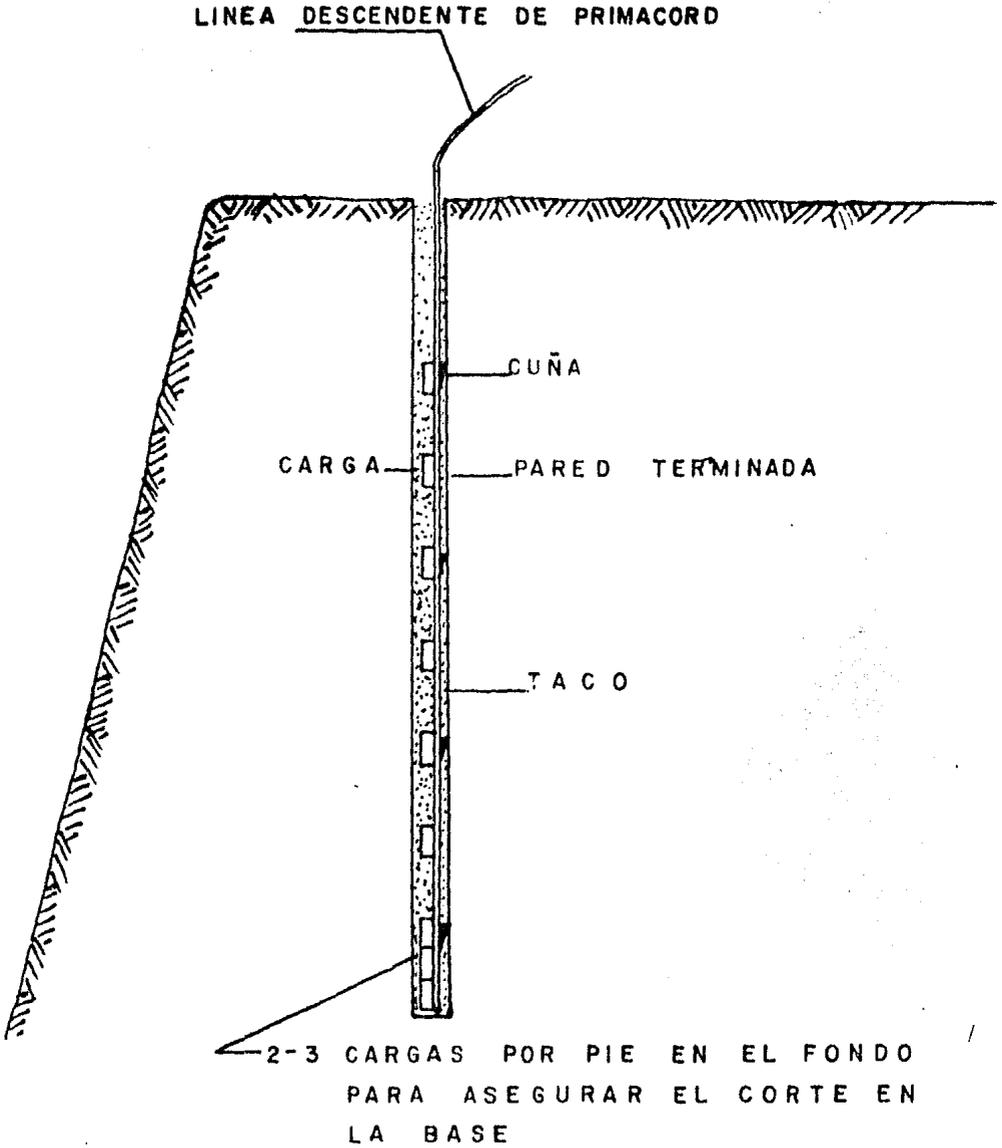


FIG. 44

COLOCACION DE LAS CARGAS DE EXPLOSIVO PARA VOLADURAS AMORTIGUADAS.

6" del plano de los barrenos dan generalmente malos resultados. - Se han hecho voladuras con éxito usando barrenos de amortiguamiento hasta de 90 pies de profundidad.

Cuando se realizan voladuras por amortiguamiento en -- áreas curvas o en esquinas, se requieren menores espaciamentos que cuando vuela una sección recta. Pueden también utilizarse - ventajosamente taladros-guía cuando se vuelan caras no lineales.

En esquinas a 90°, una combinación de varios procedi--- mientos para voladuras controladas, dará mejores resultados que - la voladura amortiguada simple (Ver Fig. 45).

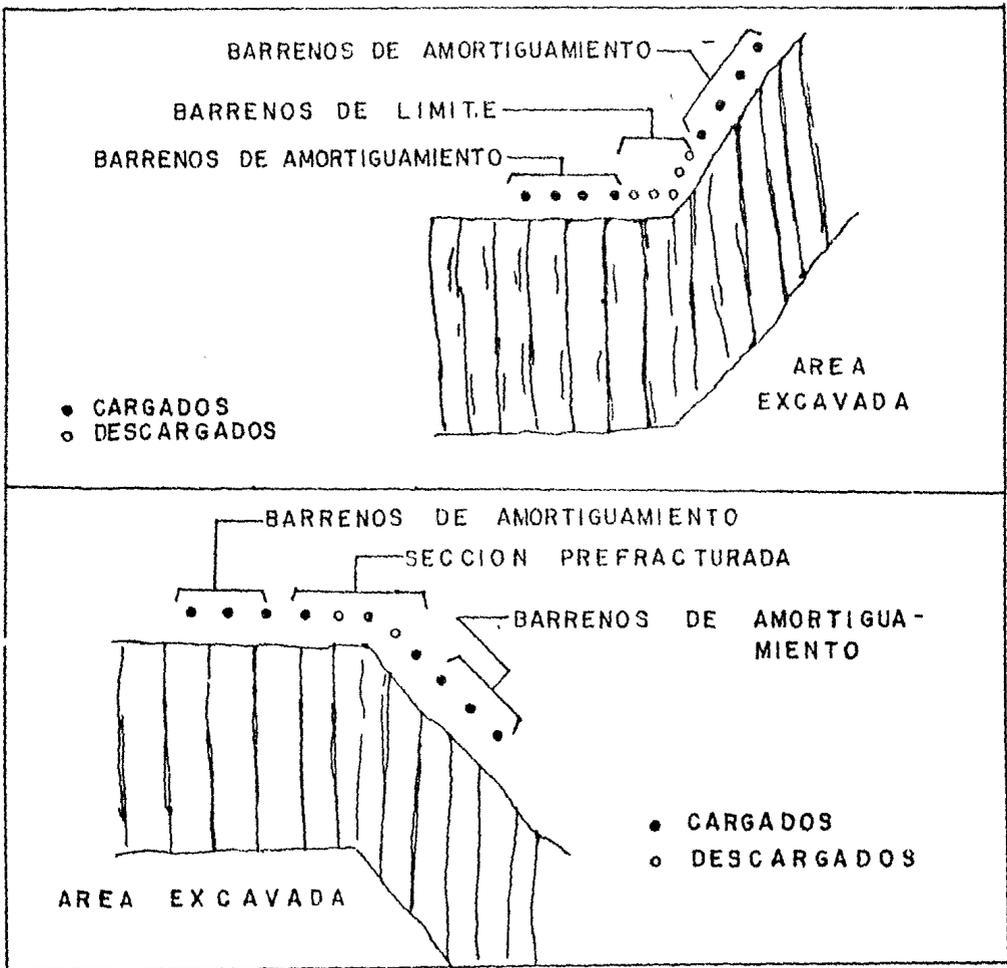


FIG. 45

VOLADURAS AMORTIGUADAS EN FRENTES, ESQUINAS O EN RINCON.

### Ventajas.

La voladura Amortiguada ofrece ciertas ventajas, tales como:

- Mayores espaciamientos entre barrenos para reducir los costos de perforación.
- Mejores resultados en formaciones no consolidadas.
- El mejor alineamiento obtenido con barrenos de gran diámetro permite perforar barrenos más profundos.

Voladuras Perfiladas o de Afine.

### Principio

Puesto que el uso de este método en trabajos a descubierto es prácticamente idéntico a los de la Voladura Amortiguada, se tratará sobre su aplicación solamente en trabajos subterráneos.

El principio básico de la voladura de Afine es el mismo que el de la voladura Amortiguada; Se hacen barrenos a lo largo de los límites de la excavación y se cargan con poco explosivo para eliminar el banco final. Disparando con un mínimo de retardo entre los barrenos, obtiene un efecto cortante que proporciona paredes lisas con un mínimo de sobreexcavación.

### Aplicación

#### Trabajos Subterráneos

En frentes subterráneos, en donde la roca del techo y de los contrafuertes se derrumba y desmorona por la falta de consolidación del material, el exceso de rompimiento es común debido a la acción triturante de las voladuras.

Empleando el método de la Voladura Perfilada o de Afine con cargas ligeras bien distribuidas en los barrenos perimetrales, se requieren menos soportes y resulta una menor sobreexcavación.

Aún en formaciones homogéneas más duras, este método proporciona techos y paredes más lisos y más firmes.

La voladura perfilada en trabajos subterráneos utiliza -- barrenos perimetrales en una relación de aproximadamente 1 1/2 a 1, entre el ancho de la berma y el espaciamento, usando cargas ligeras bien distribuidas y disparadas en el último período de retardo de la voladura. (Ver Fig.46). Estos barrenos se disparan des---pués de los barrenos de pata o pié para asegurar que la roca fragmentada se desplace lo suficiente para ofrecer el máximo desahogo a los barrenos de la Voladura Perfilada. Este franqueo permite la libre remoción del banco final y produce menos fracturas más allá del límite de la excavación.

Las cargas pequeñas bien distribuidas en los barrenos -- perimetrales usando plantillas y retardos convencionales, han producido regularmente resultados satisfactorios. La Tabla XI proporciona las plantillas recomendadas y las cargas en libras por pié, para la voladura perfilada.

Puesto que no es conveniente ni práctico atar cargas a las líneas de Primacord en barrenos horizontales, la Voladura Perfilada se realiza cargando a carril cartuchos de dinamita de baja densidad de pequeños diámetros para obtener, tanto cargas peque---ñas, como su buena distribución a lo largo del barreno.

TABLA XI  
VOLADURA PERFILADA

DIAMETRO DEL BARRENO EN PULGADAS	ESPACIAMIENTO EN (1) PIES	BERMA EN PIES (1)	CARGA EXPLOSIVA LIBRAS/PIE (1)
1 1/2 - 1 3/4	2	3 3	0.12 - 0.25
2	2 1/2	3 1/2	

(1).- Dependen de la naturaleza de la roca.

Las cifras anotadas son promedios.

#### Ventajas.

La voladura Perfilada o de Afine ofrece dos ventajas - principales:

- Reduce el rompimiento excesivo que produce los metodos convencionales.
- Requiere menos ademe.

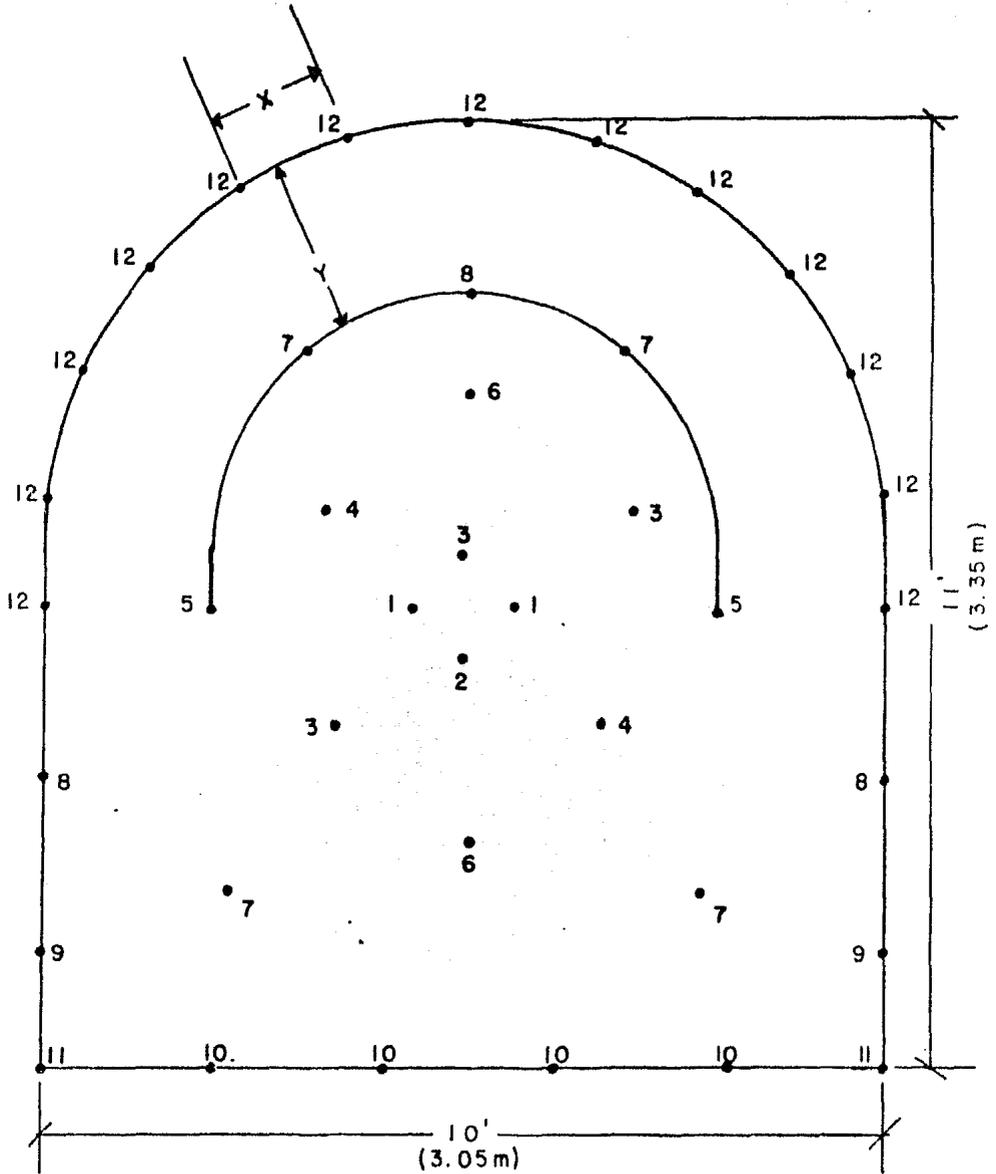


FIG. 46

PLANTILLA TÍPICA PARA EXPLOSIONES RETARDADAS EN GALERÍAS DE AVANCE.

## Prefracturado.

### Principio

El Prefracturado, también llamado Precortado o Pre-ranurado comprende una fila de barrenos a lo largo de la línea de excavación. Los barrenos son generalmente del mismo diámetro (2" - 4") y en la mayoría de los casos, todos cargados. El Prefracturado difiere de la Barrenación en Línea, de la Voladura Amortiguada y de la Voladura Perfilada, en que sus barrenos se disparan antes que cualquier barreno de los de alguna sección de la excavación principal inmediata.

La teoría del prefracturado consiste en que cuando dos cargas se disparan simultáneamente en barrenos adyacentes, la colisión de las ondas de choque procedentes de los barrenos rompe la pared de roca intermedia y origina grietas entre los barrenos (Ver Fig. 47). Con cargas y espaciamientos adecuados, la zona --fracturada entre los barrenos se constituirá en una angosta franja que la voladura principal puede romper con facilidad.

El resultado es una pared lisa casi no produce sobreexcavación.

El plano prefracturado refleja parte de las ondas de --choque procedentes de las voladuras principales inmediatamente --posteriores, impidiendo que sean transmitidas a la pared terminada, reduciendo al mínimo la fracturación y la sobreexcavación. Esta reflexión de las ondas de choque de las voladuras principales también tiende a reducir la vibración.

### Aplicación.

#### Trabajos a cielo abierto

Los barrenos para prefracturar se cargan de manera similar a los barrenos para voladuras amortiguadas, esto es, se forman cargas "en rosarios" de cartuchos enteros o partes de cartucho, de 1" ó 1 1/2" de diámetro, por 8" de largo, espaciados a 1 a 2 pies centro a centro.

Como en las Voladuras Amortiguadas, los barrenos se disparan generalmente en forma simultánea, usando una línea troncal de Primacord. Si se disparan líneas demasiado largas se pueden retardar algunos tramos con estopines MS a Conectores Primacord - MS.

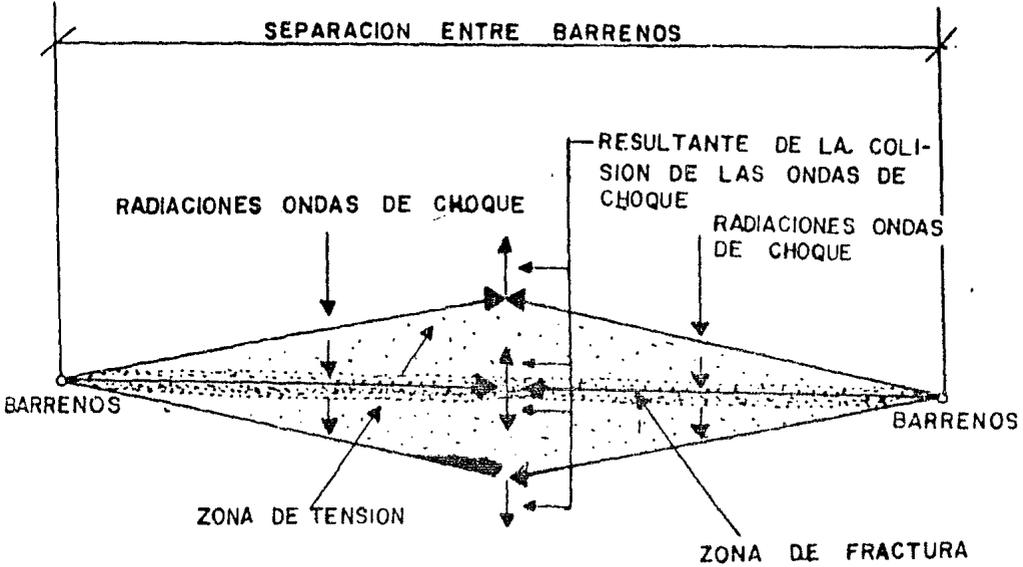


FIG. 47

PRINCIPIO DE PREFRACTURADO.

Nota: Si los barrenos están sobrecargados, la zona de fractura se extenderá hacia los lados y aún más allá de la zona de tensión.

En roca sin consolidación alguna, los resultados se mejorarán utilizando barrenos-guía o de alivio (sin carga), entre los barrenos cargados, provocando así el corte a lo largo del plano deseado. Aún en formaciones más consistentes, los barrenos --guía colocados entre los cargados, dan mejor resultado que aumentando la carga explosiva por barreno.

Los espaciamientos promedio y las cargas por pié de barreno se dan en la Tabla XII. Estas cargas anotadas son para las condiciones de rocas normales y pueden obtenerse utilizando cartuchos de dinamita convencionales, fraccionados o enteros, espaciados y ligados a líneas de Primacord, ("rosario").

La profundidad que puede prefracturarse de una sola vez, nuevamente depende de la habilidad para mantener un buen alineamiento de los barrenos.

Las desviaciones mayores a 6" del plano de corte deseado, darán resultados negativos. Generalmente la máxima profundi-

dad que puede utilizarse para barrenos de 2" a 3 1/2" de diámetro sin una desviación considerable en el alineamiento es de 50 pies.

TABLA XII

CARGAS Y ESPACIAMIENTOS PROPUESTOS PARA EL PREFRACTURADO.

DIAMETRO DEL BARRENO EN PULGADAS	CARGA EXPLOSIVA EN LIBRAS/PIE		ESPACIAMIENTO EN PIES (1)
	(1)	(2)	
1 1/2 - 1 3/4	0.08	0.25	1 - 1/2
2 - 2 1/2	0.08	0.25	1 1/2 - 2
3 - 3 1/2	0.13	0.50	1 1/2 - 3
4	0.25	0.75	2 - 4

(1).- Dependen de la naturaleza de la roca.

(2).- El diámetro del cartucho debe ser igual o menor que la mitad del diámetro del barreno.

Teóricamente, la longitud de una voladura para Prefracturar es ilimitada. En la práctica, sin embargo, el disparar muy adelante de la excavación primaria puede traer problemas pues las características de la roca pueden cambiar y la carga ser causa de un exceso de fractura en las zonas más débiles.

Llevando el Prefracturado adelante únicamente a la mitad de la voladura principal siguiente (Ver Fig. 48) los conocimientos que se van obteniendo con las voladuras principales respecto a la roca, pueden aplicarse a los disparos de prefracturado subsecuentes. En otras palabras, las cargas pueden modificarse si es necesario y corre un menor riesgo que si se dispara el total de la línea de excavación antes de avanzar con las voladuras principales.

El Prefracturado puede realizarse simultáneamente a la voladura principal retrasando sus barrenos con retardadores MS, - de manera que los barrenos de Prefracturado estallen primero que los de la voladura principal (Ver Fig. 49).

Ventajas.

El Prefracturado ofrece las siguientes ventajas:

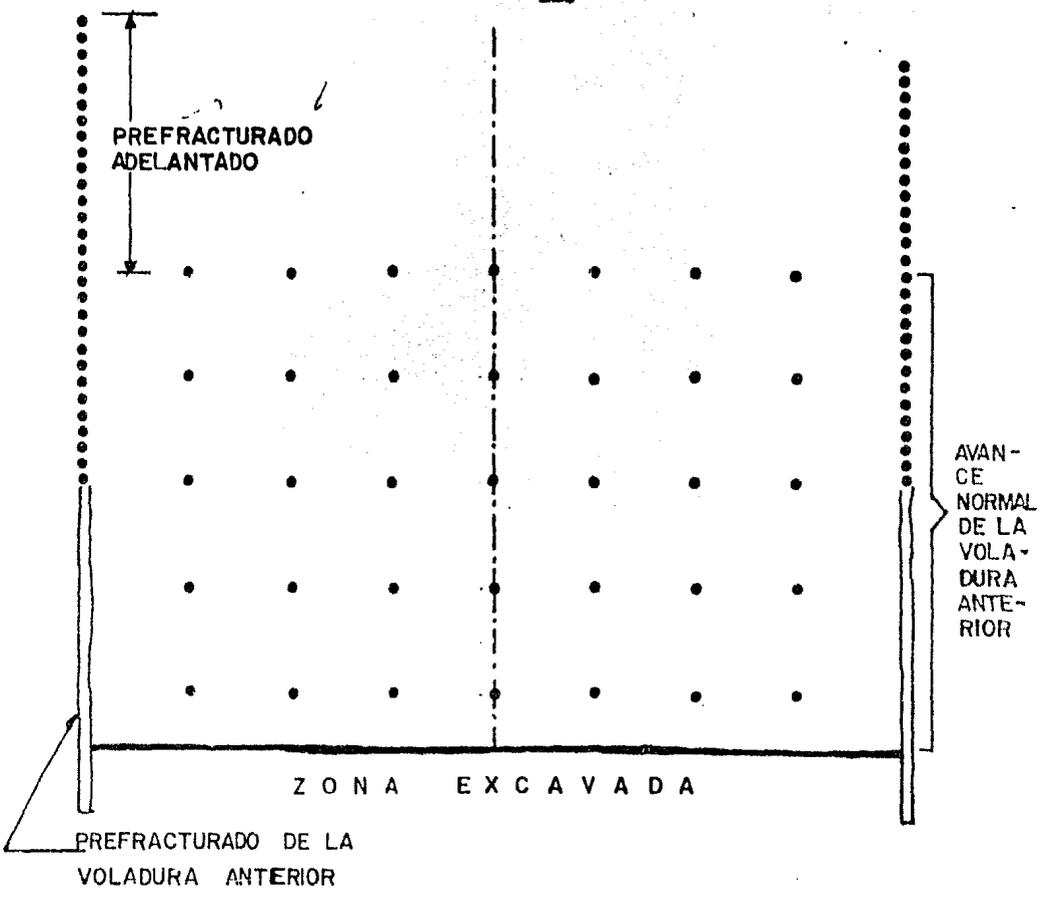


FIG. 48

PROCEDIMIENTO RECOMENDADO PARA EL PREFRACTURADO

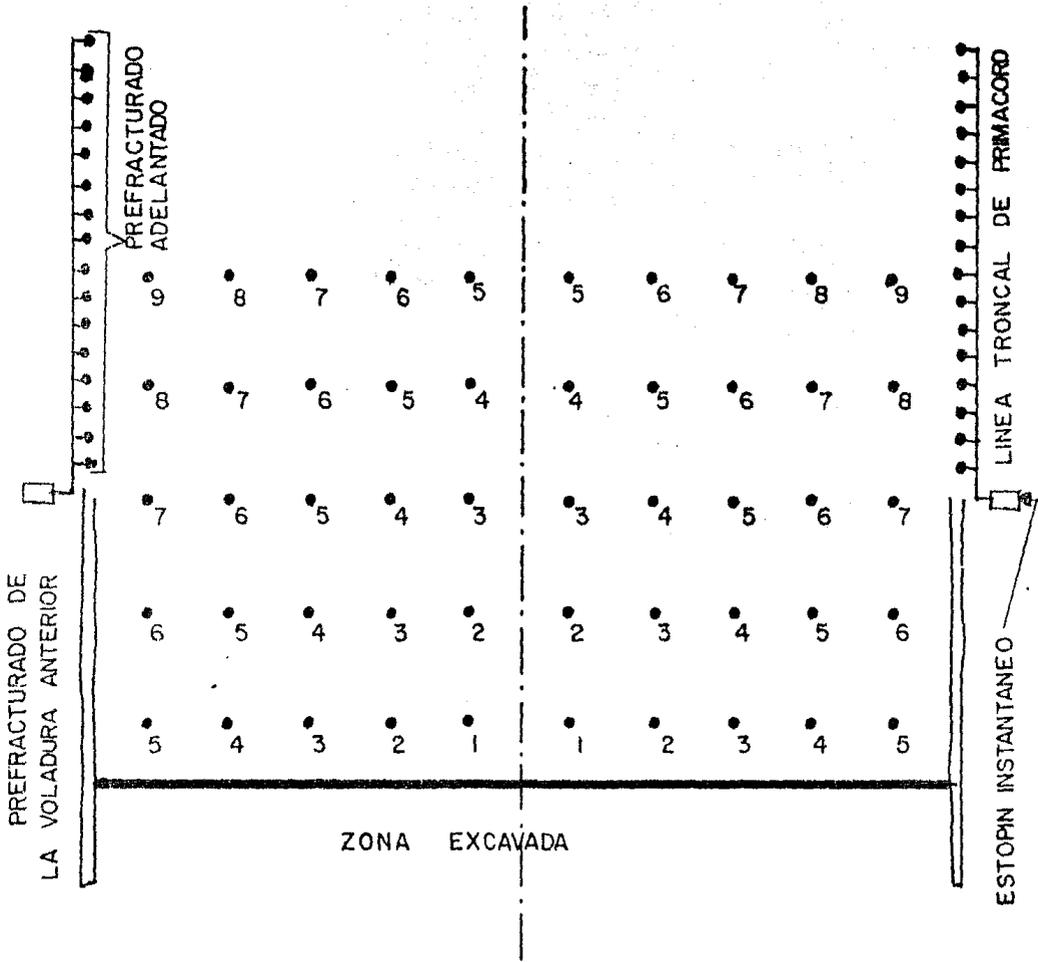


FIG. 49

PROCEDIMIENTO DE EXPLOSIONES RETRASADAS DURANTE LA VOLADURA PRINCIPAL EN EL PREFRACTURADO.

Aumento en el espaciamiento de los barrenos-reducción - de costos de barrenación.

No es necesario regresar a volar taludes o paredes después de la excavación principal.

Carga y Acarreo.

a) A distancia corta.

Para pedraplenes. Normalmente se usan tractores, pues - sirven también para acomodar la roca.

Para alimentar otra máquina (quebradora). Con el perfeccionamiento de los cargadores frontales, especialmente los de neumáticos, estos han ido desplazando a las palas y camiones.

b) A distancia larga.

La carga de roca representa el mismo problema que en el caso anterior, y ya se vieron las ventajas del cargador frontal, el acarreo de roca solamente es económico en camiones especiales para ello, como son tipo Euclid.

#### 4.5 Voladuras en Tunel.

##### Generalidades

Dentro del campo de la Ingeniería al túnel se le define como paso subterráneo artificial que se abre a través de una montaña, por debajo de un río o de una ciudad, la longitud en este caso, así como la dimensión no vienen a importar porque la finalidad de éste será la vía de comunicación que establezca entre un determinado lugar y otro.

Cuando se desea hacer un túnel es por que se va a necesitar construir una carretera, una vía de ferrocarril o en su defecto se necesitan canales de conducción de gastos que son otras necesidades requeridas.

Todas estas obras son efectuadas como obras públicas - las cuales podríamos clasificar de la siguiente forma:

- a) Obras Hidráulicas.
  - a.1 Túnel de galerías de derivación
  - a.2 Tuberías de carga y descarga de la central -- (llamados también túneles de presión).
- b) Obras Urbanas.
  - b.1 Alcantarillas
  - b.2 Galerías para cables o tuberías
  - b.3 Ferrocarriles metropolitanos
  - b.4 Drenaje profundo
  - b.5 Pasos subterráneos
- c) Obras de Defensa
  - e.1 Refugios contra bombardeos aéreos y atómicos.

En seguida se muestra mediante dibujos los diferentes tipos de túneles y a su vez la utilidad que se les da, como también la diferencia de sección transversal que tiene.

#### Secciones transversales Típicas en Tuneles.

Las secciones transversales típicas en túneles son cuatro, las cuales se presentan con ilustraciones a continuación. Se hace notar que en las obras directamente se tienen algunas variantes según el proyecto, adoptando una forma diferente a la que se propone, pero básicamente son derivadas de éstas por lo que se puede decir que son las siguientes:

1. Sección transversal circular
2. Sección transversal ovalada
3. Sección transversal de herradura
4. Sección transversal de paredes verticales con domo arqueado.

#### 4.5.1 Maquinaria de Perforación en Túneles.

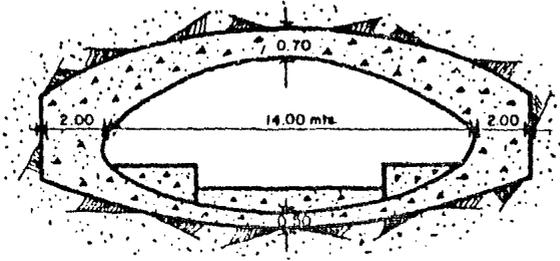
La maquinaria y accesorios utilizados en túnel viene a ser semejante a la de canteras, minas, etc., con la ligera variante de adaptaciones especiales que requieran para solucionar la -- problemática que se presente en la obra.

Las adaptaciones serán según el caso por que siempre se dará a conocer al fabricante las necesidades requeridas y en base a ellas tratar de obtener el mayor porcentaje de utilidad y aprovechamiento de la maquinaria.

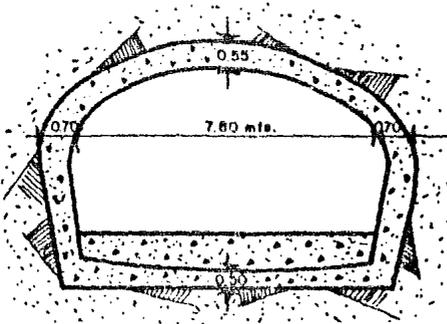
La finalidad de la máquina de perforación en túneles es la de efectuar barrenos para posteriormente realizar una voladura.

Básicamente las máquinas que se requieren para realizar las perforaciones son las siguientes:

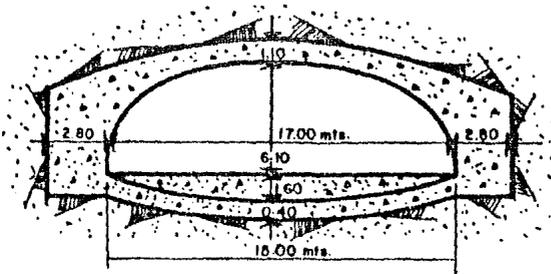
1. Máquinas de percusión
2. Máquinas rotativas
3. Máquinas de percusión y rotación.



SECCION ESTACION DEL METRO DE PARIS.

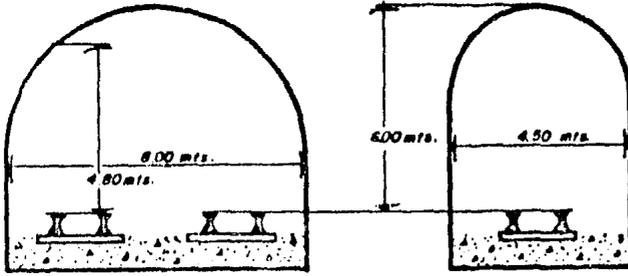


SECCION NORMAL DEL METRO DE PARIS.

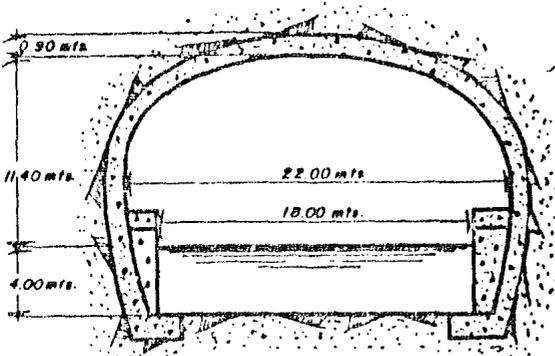


SECCION DEL TUNEL DE CARRETERA DE SAINT-CLOUD.

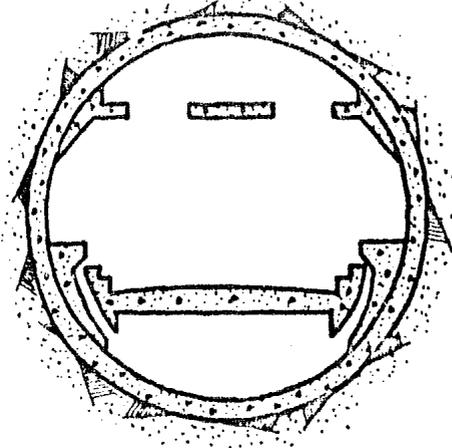
FIG. 50



SECCION DE UN TUNEL PARA VIAS FERREAS DE UNA Y DOS VIAS.

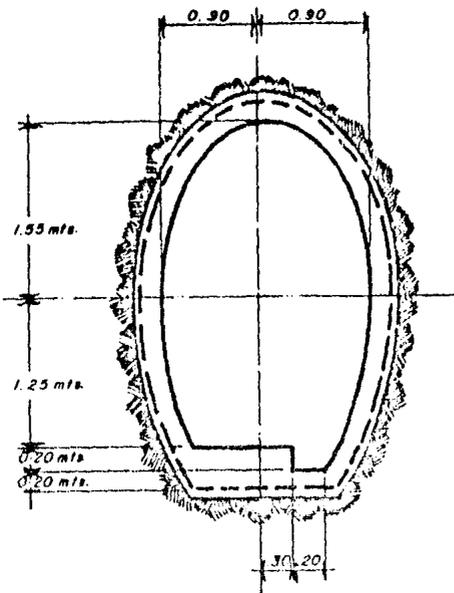


SECCION DEL TUNEL DEL ROYE, UTILIZADO PARA NAVEGACION.

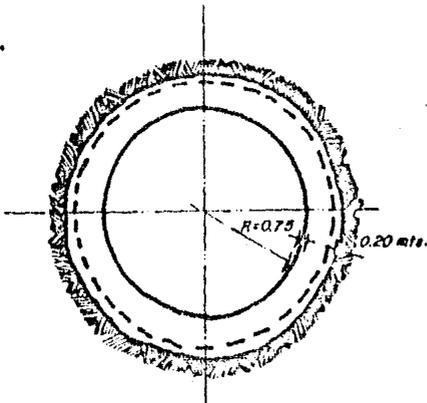


SECCION DEL TUNEL HOLLAND, QUE ES PARA CARRETERAS.

FIG. 51



SECCION GALERIA  
(De la Planta Hidroeléctrica de Mel Paso, Chiapas.)



SECCION POZO  
(De la Planta Hidroeléctrica de Mel Paso, Chiapas.)

FIG. 52

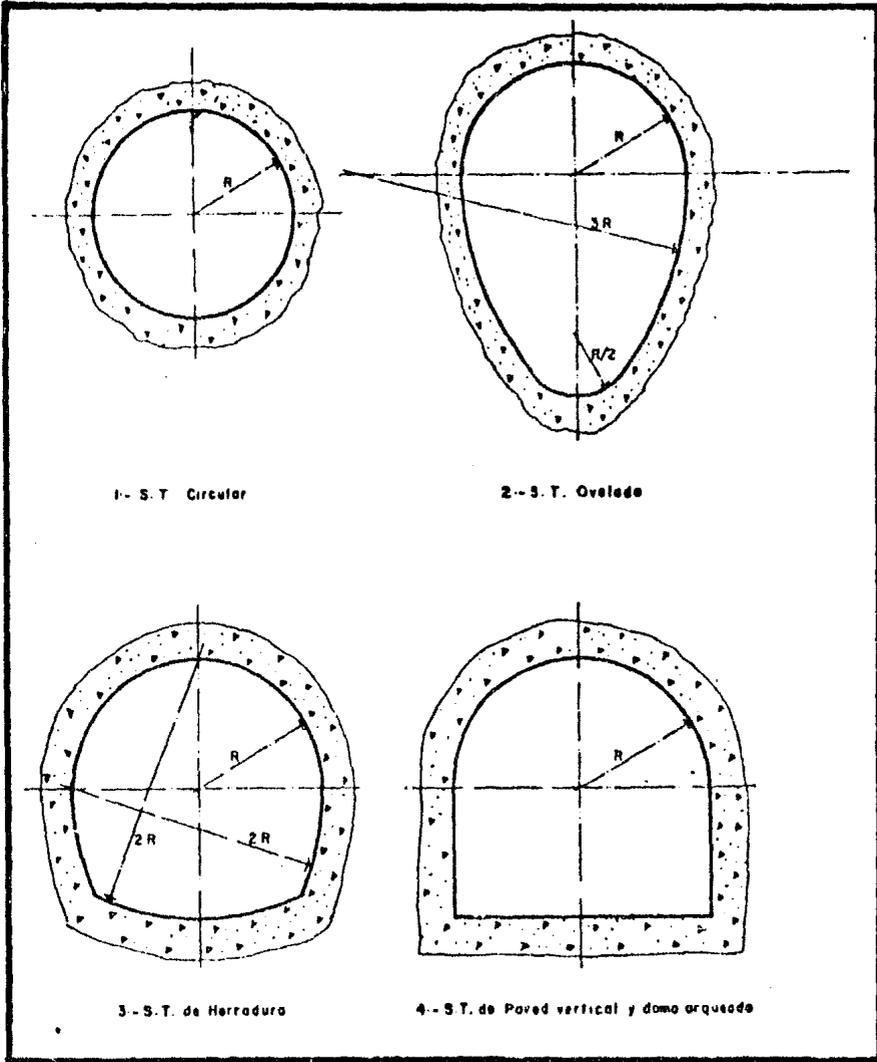


FIG. 53

## 1. Maquinaria de percusión.

Se le puede llamar maquinaria de percusión a aquellas que consiste en imprimir un movimiento vertical altérnativo al trépano para que golpee la roca y demás materiales para que de esa manera se produzca una disgregación.

Dentro de ésta maquinaria de percusión se pueden encontrar desde las mas sencillas de utilizar hasta las más avanzadas en técnicas de perforación. Como también se podrán hallar en el mercado maquinaria accionada por una sola persona lo cual viene a proporcionar un gran rendimiento y avance en lo referente a técnicas de perforación, especialmente en los terrenos muy duros que son donde existen más problemas al efectuar barrenos para una voladura.

En la perforación por percusión en túneles tenemos a los martillos perforadores ligeros de mano que permiten hacer agujeros de 25 a 35 mm., con una profundidad de 5 m. y por otro lado se tiene a los martillos perforadores pesados los cuales logran diámetros de 80 mm., con una profundidad de 15 a 20 m.

### Herramientas de percusión.

El componente más significativo de una herramienta de percusión, es el propio mecanismo de percusión, con su útil trabajo (por ejemplo un cincel) y el dispositivo para mantener en su posición correcta al citado útil (retenedor).

Otra parte no menos importante de la herramienta es, el sistema de válvula principal que incluye la válvula de estrangulación y los canales internos que corresponden a la distribución del aire. Finalmente algunas máquinas con dispositivos para avance, rotación y barrido.

### Mecanismo de Percusión.

El mecanismo de percusión, propiamente dicho, consta de un cilindro, en el que un pistón se mueve libremente. (Ver Fig.55)

En los puntos extremos de la carrera del pistón, la presión del aire cambia y evidentemente, estas variaciones de presión obligan a que dicho pistón suba y baje, entre las dos posiciones extremas.

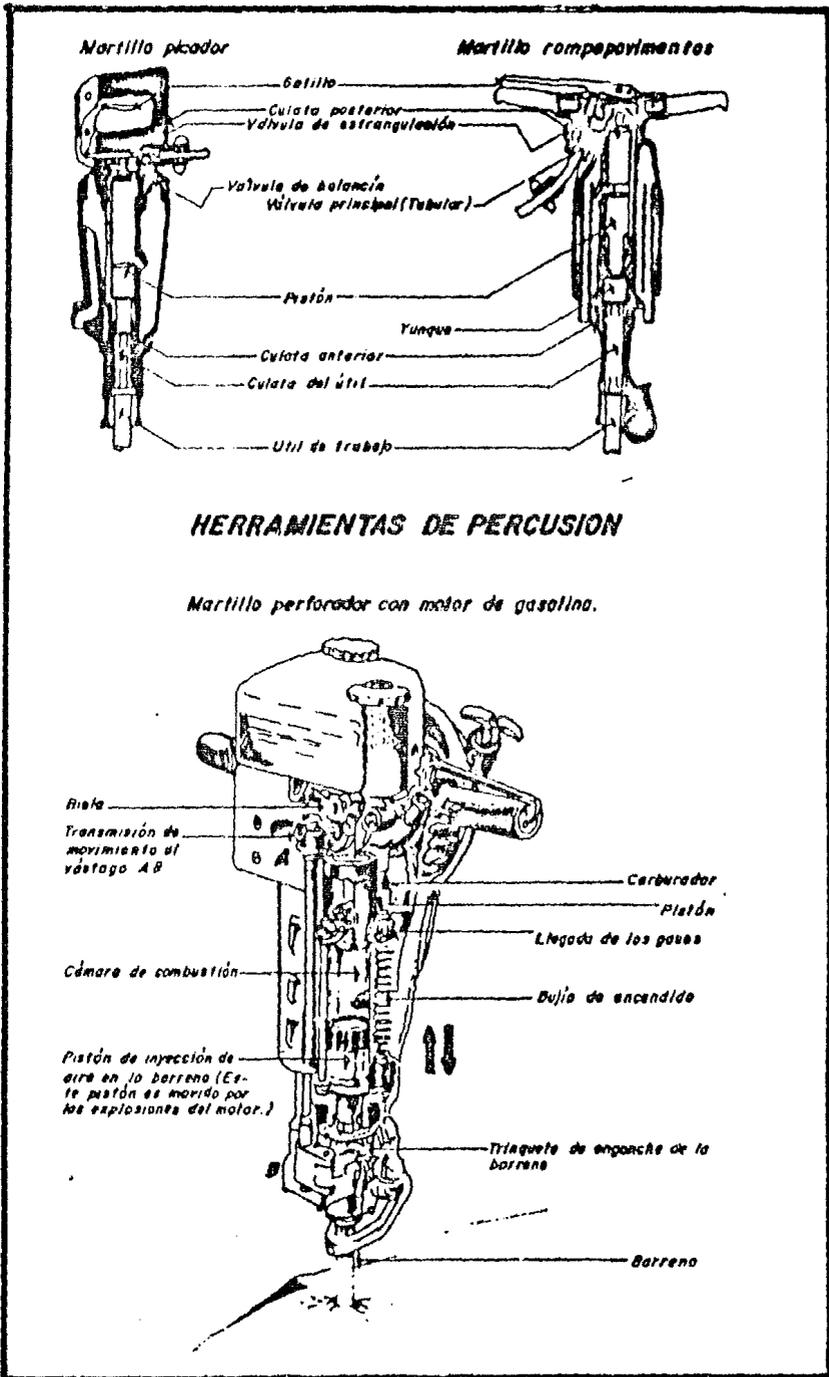
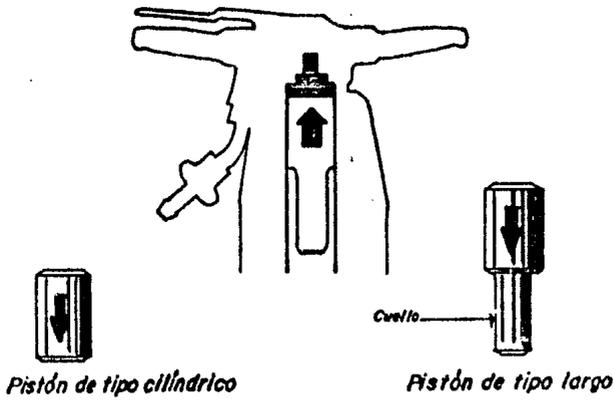


FIG. 54

### MECANISMOS DE PERCUSION



### Martillo rompedor

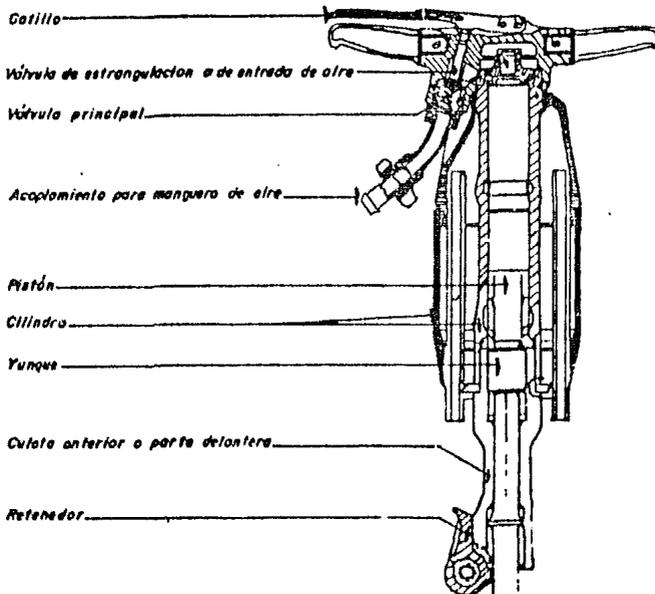


FIG. 55

La posición más baja, es en la que el pistón golpea al útil (por eso hemos llamado a esta parte culata de útil), en definitiva es la parte superior del útil de trabajo. Si dicho útil no estuviera insertado en la máquina, el pistón continuaría bajando, hasta que fuera frenado por el colchón de aire, que se forman en la cara inferior del referido pistón, pero solamente en el caso de que el útil encaje en el yunque. Algunas máquinas no ofrecen un colchón de aire suficiente, como para frenar al pistón, y entonces este golpea, por eso lo llamamos así, a la culata anterior o parte delantera que va fija debajo del cilindro. Este hecho puede crear ciertas averías que hay que evitar, luego obviamente no todas las máquinas, pueden funcionar sin carga o en vacío, es decir, sin útil de trabajo.

La posición superior de cambio de sentido del pistón, - está determinada por la amortiguación del colchón neumático que se forma entre la parte superior de dicho pistón y la parte trasera, o culata posterior como la hemos llamado, que constituye la tapa del cilindro.

Una de las características de los martillos rompedores, es la seguridad de funcionar en vacío. Esto significa que los colchones neumáticos efectivos del aire comprimido atrapado, se forman automáticamente en ambas caras del pistón (superior e inferior). Dichos colchones contribuyen, consecuentemente, a que se produzcan menos tensiones sobre las piezas envolventes, y en definitiva, a un menor consumo de repuestos.

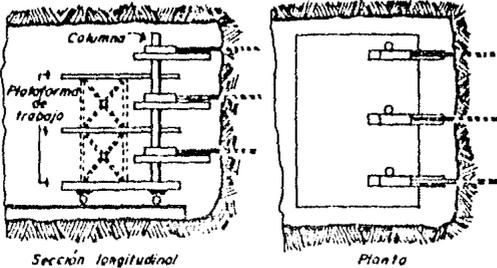
Un martillo perforador pesado es aquel que descansa sobre soportes y en algunos casos se hacen combinaciones de soportes.

Los tipos de soportes que se conocen son:

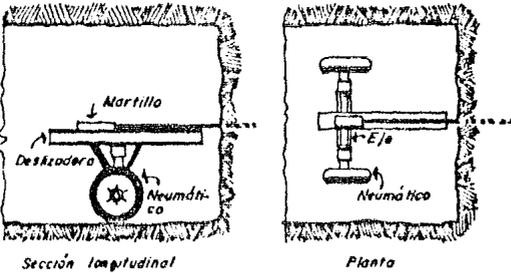
- a) De columna
- b) De barras
- c) De trípode
- d) En plataforma
- e) Sobre vías
- f) Sobre neumáticos y gatos hidráulicos
- g) Sobre vías y gatos hidráulicos
- h) Sobre neumáticos
- i) Sobre orugas.

Los martillos perforadores son maquinarias empleadas en la perforación y que trabajan mediante la inyección de aire comprimido dado por un compresor.

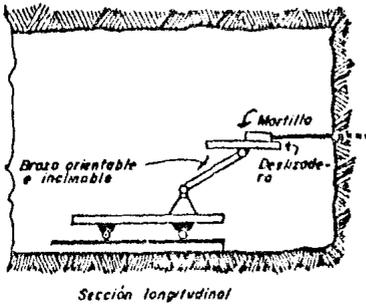
### TIPOS DE SOPORTES



MARTILLOS MONTADOS SOBRE PLATAFORMA



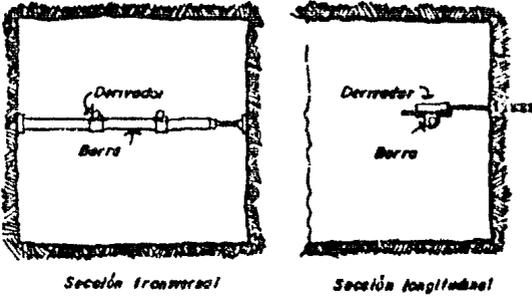
MARTILLO MONTADO SOBRE NEUMATICOS (WAGON-DRILL)



MARTILLO MONTADO SOBRE VIAS (JUMBO CON BRAZO)

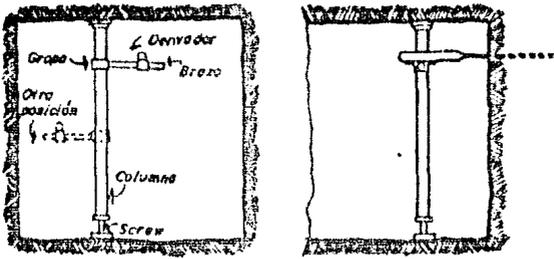
FIG. 56

### TIPOS DE SOPORTES



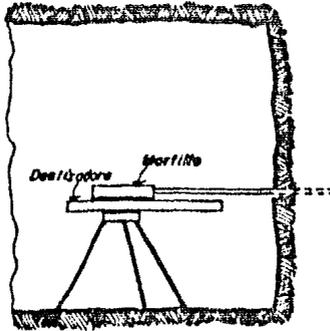
Sección transversal      Sección longitudinal

DERIVADOR MONTADO SOBRE BARRA



Sección transversal      Sección longitudinal

TALADRO MONTADO SOBRE COLUMNA



Sección longitudinal

MARTILLO MONTADO SOBRE TRIPODE

FIG. 57

Generalmente estas perforadoras estan provistas de alimentaci3n autom1tica.

Las clasificaciones de las perforadoras est1n dadas en base del di1metro de perforaci3n y no por su peso. Los di1metros que ordinariamente se utilizan son: 2 5/8", 2 3/4", 3", 3 1/2, 4" y 5 1/4" plgs., de di1metro en el cilindro.

## 2. M1quinas Rotativas.

Las m1quinas rotativas son los martillos ligeros que a su vez son accionados por un motor el1ctrico o de gasolina.

Esta maquinaria es utilizada en general con barrenos helicoidales, los cuales nos dan la ventaja de separar con 3ptimo resultado el producto de perforaci3n.

Existen tambi1n martillos de rotaci3n movidos por aire comprimido que est1n empleados con empujadores, los cuales pueden ser inclinados o verticales seg1n la direcci3n de la perforaci3n que se vaya a efectuar.

## 3. Perforaci3n por Percusi3n y Rotaci3n.

En este tipo de perforadoras se efect1an las dos actividades simultaneamente (percusi3n-rotaci3n) dando un gran avance de perforaci3n y eficiencia.

La maquinaria utilizada en las perforaciones de t1neles pueden clasificarse de esta manera convencional:

- a) Equipos de perforaci3n
- b) Tipos de perforadoras
- c) Tipos de empujadores
- d) Gu1as de barrenos
- e) Avance de cadenas
- f) Tipos de brazos
- g) Equipo anular de perforaci3n
- h) Compresores.

### a) Equipos de Perforaci3n.

Se entiende por equipo de perforaci3n a los elementos, piezas que le son integrados o puestos a las maquinarias de perforaci3n con la finalidad de efectuar una desintegraci3n del material que se desea descomponer por la acci3n del golpeteo.

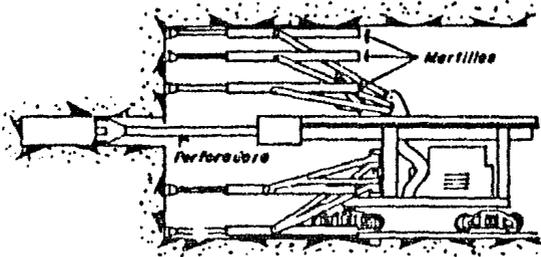


*Barrena helicoidal con piñón inclinado.*



*Barrena helicoidal con piñón vertical.*

### **MAQUINAS ROTATIVAS**



*Esquema del Burn Hole Drill Ingersoll  
( Perforadora o Moladro de agujeros ).*

### **PERFORACION POR PERCUSION-ROTACION**

FIG. 58

Los útiles de perforación son las siguientes:

- a.1 Barrenas
- a.2 Brocas
- a.3 Zancos
- a.4 Coples
- a.5 Barras

El equipo mencionado es el útil primario requerido para la barrenación de un túnel o galería, desde luego éste será seleccionado según el proyecto y magnitud del mismo.

Para la descripción y campo de trabajo específico de éstos útiles de perforación, consultar el tema 4.3.10.

#### b) Tipos de Perforadoras.

De la gran gama de perforadoras que se han fabricado y comercializado se puede hacer mención de cada una de ellas ya sea por la función que desempeñan como por el desarrollo de su amplia variedad de aplicaciones dentro de la construcción.

Las perforadoras en los últimos años han desarrollado - un avance y perfeccionamiento en las técnicas de minas, túneles, galerías etc., por lo que siempre debe actualizarse el personal - que este más familiarizado en el empleo de éstas.

Las perforadoras se clasifican en: perforadoras ligeras o perforadoras pesadas y que se diferencian en base a sus soportes como se mencionó con anterioridad, y éstas a su vez pueden ser silenciosas y no silenciosas.

A manera convencional se puede clasificar a éstas de la siguiente forma:

#### Tipos de perforadoras.

- b.1 Perforadoras ligeras o perforadoras neumáticas de mano.
- b.2 Perforadoras pesadas o perforadoras montadas
- b.3 Perforadoras de autopropulsión.

### b.1 Perforadoras ligeras

Las perforadoras neumáticas de mano siempre son empleadas en trabajos menores de túneles por que su trabajo es efectuado por una sola persona por la facilidad que presenta ésta de maniobrarse, pero en ocasiones cuando se desea efectuar perforaciones simultáneas para barrenos se opta por montarlas en guías equipadas con mecanismos de alimentación manual o mecánica.

Esta maquinaria generalmente es empleada en excavaciones pero en los túneles pueden ser utilizados en trabajos de realce lo cual normalmente son labores hechas por un sólo trabajador y en esta situación simplemente se utilizará un equipo de aire comprimido con una perforadora neumática de mano.

### b.2 Perforadoras Pesadas o Perforadoras Montadas.

Una perforadora pesada se clasifica a partir de 34 Kg.; estas generalmente son montadas sobre soportes y sus mecanismos de maniobra son automáticos, los tamaños en su mayoría son ordenados por el diámetro que van de 2 5/8" a 5 1/4" de plgs.

Una perforadora puede ser diseñada para dar el giro en un sólo sentido, en dos sentidos y en neutro. Estos mecanismos son de amplia ayuda para la perforación de barrenos en túneles por el espacio tan reducido de trabajo que existe.

Cuando se usan barrenas acopladas la barrenación se debe hacer con la rotación ordinaria, la rosca se afloja con unos cuantos golpes en neutro y la conexión se desatornilla sosteniendo la parte inferior y haciendo girar en reversa la superior. - (consultar el tema 4.3.3. para mayor información en lo que respecta a este tipo de maquinaria).

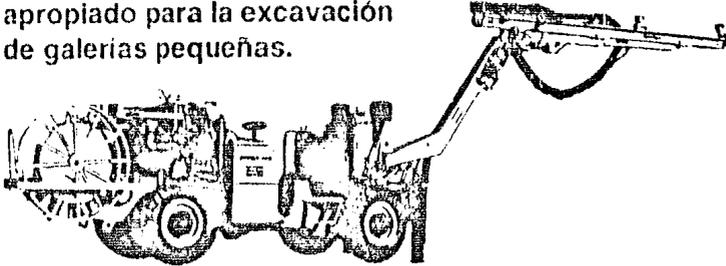
### b.3 Perforadoras de Autopropulsión.

Estas perforadoras de propulsión propia se les puede catalogar como una perforadora móvil con una pistola o martillo pesado con lo cual vienen a formar una máquina de perforación sumamente útil en los trabajos de túneles o cualquier trabajo efectuado en interiores (subterráneos).

Estas maquinarias se desplazan por medio de zapatas de orugas siendo estas de acero con garras o de zapatas de hule. Las ventajas que nos proporcionan las perforadoras móviles son, la de efectuar trabajos con maniobras de giros diversos en el mismo si-

# Boomer H-210

Equipo electro-hidráulico de  
barrenación de gran productividad,  
apropiado para la excavación  
de galerías pequeñas.



El Boomer H-210  
representa los últimos  
adelantos en materia de  
construcción de túneles y minería de pequeña  
y mediana escala. Trata de una barrenadora  
versátil, de gran productividad, de un solo brazo,  
provista de una perforadora hidráulica para rocas,  
COP 103B, concebida con diseño compacto para  
uso en galerías de secciones transversales pequeñas  
de hasta un mínimo de 9' · 9' (9 metros cuadrados).

La confiabilidad, punto clave de cualquier operación, está demostrada con el éxito de  
numerosas perforadoras hidráulicas, COP 103B, actualmente funcionando en Norte America  
y el resto del mundo.

El Boomer H-210 puede equiparse con dos tipos de brazos, a saber:

- El brazo Tunmec RH 315 — cuyos usos principales se hallan en la excavación de galerías y túneles.
- Los brazos BUT 10 vienen en dos versiones: BUT 10G y BUT 10F. El BUT 10F satisface a los mas exigentes requisitos en materia de excavación de galerías y túneles. El BUT 10G proporciona máxima flexibilidad, incluyendo anclaje de techos y cortes laterales de 90° sin nuevo reajuste.

Todos los brazos estan provistos de sujetador paralelo automático del avance.

**Atlas Copco**

## Boomer H-210

El Boomer H-210 es un carro-barrenador electro-hidráulico de un solo brazo montado sobre un chasis articulado de fuerza motriz diésel, Eaton Yale EC-2. Se entrega completo, con brazo avance, perforadora, tambor de cable (sin cable, el cable es opcional) y sistema hidráulico completo, listo para barrenar al voltaje especificado.

### Equipo opcional

- Techo de seguridad del operario
- Techo desplazable para seguridad del chófer (ROPS)
- Sistema de supresión de incendios
- Fluido hidráulico "Aquacont" ligero resistente al fuego
- Motor para perforar rocas blandas con bomba electro-hidráulica de 75 hp (55 kw)
- Cable eléctrico
- Sistema de rocío de vapor combinado con enfriador de aceite enfriado por aire
- Bomba auxiliar de agua para aumentar la presión del barrido con agua inyectada a 140 psi-180 psi (10-13 bares)
- 2 luces halógenas, 300 w. c/u.
- Llantas tipo Puma-fill
- Colector de 5 anillos
- Dirección de emergencia
- Lavador

### Datos técnicos

Dimensiones	Unidad de BUT 10	Unidad de Turmec RH 315	
Ancho de transporte	6'1"	(1.85 m.)	idem
Altura de transporte	7'0"	(2.15 m.)	idem
Largo total W/BMH 612	42'2"	(12.85 m.)	41.5 (12.65 m.)
Peso total	24,000 lbs.	(10,9000 kgms.)	idem
Claro sobre terreno (mínimo)	10'	(0.25 m.)	idem
Radio exterior de giro	19'0"	(5.80 m.)	idem
Radio interior de giro	11'0"	(3.40 m.)	idem
Capacidad máxima de ascenso	1:4		idem
Velocidad máxima de desplazamiento	5 millas/h	(8 kms./h.)	idem

### Perforadora COP 1038 HD

Peso	320 lbs.	(145 kgms.)
Largo	3'3"	(1.00 m.)
Altura a partir del centro del acero de barrenación	3'	(0.88 m.)
Frecuencia de impacto	2,300-3,600 b.p.m.	
Presión de trabajo	2200-3600 psi (150-200 bares)	

Motor Danz F6L 912 w 78 hp a 2,300 r.p.m. (DIN).

### Transmisión

Caja de velocidades manual de nuevo proceso, 4 de marcha adelante, 4 de marcha atrás

### Frenos

Frenos gemelos de circuito, con disco de activación hidráulica de estacionamiento y emergencia; discos invertidos a prueba de falla, de activación de muelle y desenganche hidráulico

### Sistema hidráulico

Unidad de fuerza con doble bomba propulsada por motor eléctrico

Sistema de presión con mecanismo de impacto de 2200-3600 psi (150-250 bares)

Sistema de presión, con máximo de rotación de motor de 1600 psi (110 bares)

Sistema de presión, máxima operación del brazo: 2940 psi (200 bares)

Sistema de presión, con una fuerza de avance de 1160-1750 psi (80-120 bares)

Bomba doble, propulsada por motor diésel, para movimientos del brazo en su desplazamiento

Tanque hidráulico con volumen de 72 galones imp (300 litros)

### Oscilación de la estructura

10 completos

### Avances hidráulicos

Los avances hidráulicos de serie BMH fueron concebidos específicamente para perforadoras hidráulicas. La presión del avance es ajustable, incluye sistema anti-atascamiento y vuelta automática. Hay dos tipos de avances disponibles para aceros de barrenación de 12 pies (3.7 m.) y 14 pies (4.3 m.) de largo. La concepción móvil del receptor de la punta del acero permite un montaje estable que disminuye considerablemente el desgaste.

### Chasis

El chasis tiene tracción de 4 ruedas y dirección articulada para movilidad bajo tierra. Caja de velocidades manual — que da marcha atrás completa — totalmente sincronizada — 4 marchas adelante, 4 marchas atrás — con gran capacidad de torque: 325 pies libras (45 kgms.) Frenos de circuito gemelo con discos activados hidráulicamente, invertidos y a prueba de falla, garantizan la seguridad de las operaciones de la máquina.

### Perforadora COP 1038 HD.

La potente perforadora hidráulica, para excavación de túneles, COP 1038 HD, tiene un excelente historial de capacidades y confiabilidad. Alta penetración, bajo costo de acero de barrenación y gran disponibilidad mecánica figuran entre sus características.



#### Sistema eléctrico

Clasificación del motor de bomba: 60 hp (45 kw)  
 Voltaje: 350-575 v — 60 ciclos  
 Capacidad de tambor de cable: 400' (120 m)

Incluido en el sistema eléctrico hay una protección contra corto circuito y sobrecarga térmica así como protección contra inversión de fase.

Para eliminar riesgos causados por accidentes del tambor de cable y del cable, se requiere protección contra falla de tierra en el sitio de trabajo.

**Dirección** Dirección articulada de +37

**Llantas** 10 00 20, presión de inflado de 100 psi

#### Características del control automático

- Emboquillado semi-automático
- Mecanismo anti-atascamiento
- Piro y vuelta automática de la perforadora
- Protección contra barrenación con insuficiente presión de agua

#### Sistema de agua

Presión del barrido con agua después de poner en funcionamiento la bomba auxiliar: 140-180 psi (10-13 bares)

Consumo del barrido con agua a 85 psi (6 bares): 7.7 galones imp./min. (35 litros/min.)

Consumo del barrido con agua a 140 psi (10 bares): 9.9 galones imp./min. (45 litros/min.)

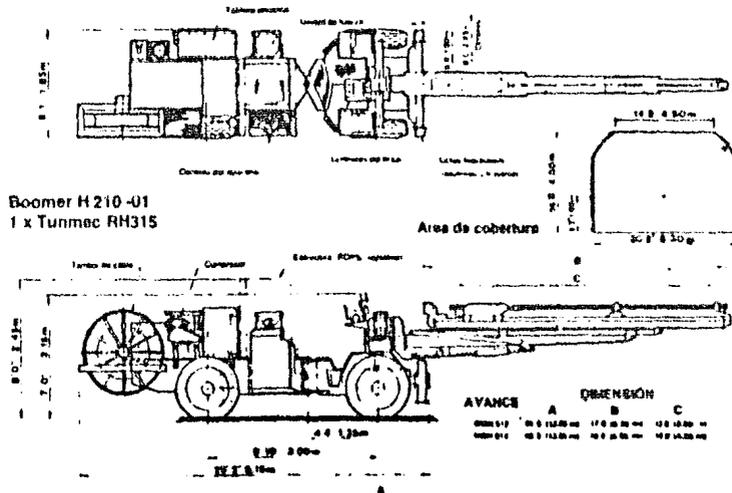
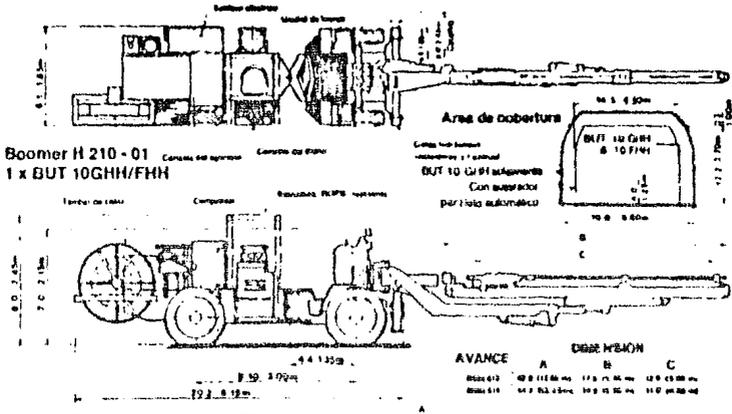
### Serie BMH 600 de avances hidráulicos

Avances	Peso	Largo Total	Longitud de desplazamiento	Longitud del acero de barrenación	Presión del avance
BMH 612	815 lb (370 kg)	17' 7" (5.35 m)	10' 10" (3.30 m)	12' (3.70 m)	2800 lbf (1.250 kp)
BMH 614	860 lb (390 kg)	19' 6" (5.95 m)	12' 9" (3.90 m)	14' (4.30 m)	2800 lbf (1.250 kp)

Combinaciones posibles entre brazos y avances:

BUT 10 GHH (BMH 612)

BUT 10FHH y Tunnel RH315 (BMH 614)



C804

**Atlas Copco**

Agencia de Chile

El fabricante se reserva el derecho de modificar sin previo aviso las especificaciones técnicas de este equipo.

# 27-41

(1 1/16" - 1 5/8")

## UDW- Vagón perforador para barrenos ascendentes

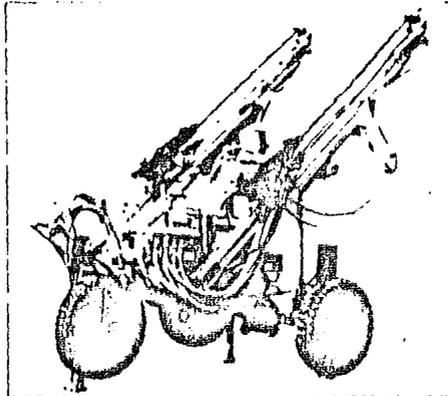
Este adaptable vagón perforador autopropulsado tiene dos destilzaderas de cable provistas de perforadoras neumáticas BBC 35WTH o COP 89D. El equipo estándar está constituido por una válvula de mando para la tracción, motor independiente de tracción para conducción por diferencial directa, bomba hidráulica de accionamiento neumático, sistema de válvulas de control hidráulico, gatos hidráulicos para nivelación y un lubricador de 12 litros de capacidad para el aire comprimido.

La viga de la destilzadera está fabricada en una sola pieza de aleación de aluminio por extrusión de gran resistencia, para obtener la máxima rigidez con el mínimo peso. El cable se une al pistón del cilindro de avance mediante un diseño exclusivo que evita dañar el cable. El cable está pretensado, para garantizar una presión de avance constante y regular. El pistón de avance posee un dispositivo accipado que evita el contacto directo de metal contra metal. Se incluye además una guía neumática de barrenos controlada a distancia.

Este vagón perforador se puede desmontar en pequeños componentes que pueden pasar a través de espacios de 0,6 x 0,6 m.

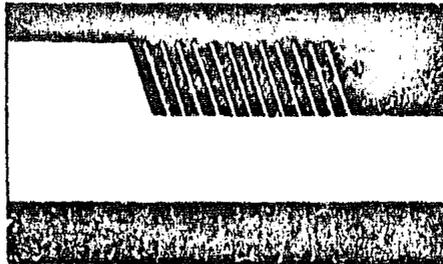
### Aplicaciones

Perforación de barrenos ascendentes, por ejemplo, en el laboreo por arranque y relleno.



### Características

	BBC 35WTH	COP 89D
Barrenas integradas	H 22 (7/8")	H 22 (7/8"), H 25 (1")
Gama de perforación	27 - 41 mm (1 1/16" - 1 5/8")	27 - 41 mm (1 1/16" - 1 5/8")
Destilzaduras de cable	CMC 300/400/600/900/1000	
Cambio de barrenas	3/4/6/8 y 10 pies	
Peso, total con destilzaderas de 8" y COP 89D	810 kg	
Peso, sin perforadoras ni destilzaderas	810 kg	
Dimensiones para transporte, sin destilzaderas		
— altura	1520 mm (50")	
— anchura	1730 mm (56")	



## LHDW- Vagón perforador para barrenos largos

El vagón perforador para barrenos largos es en realidad un equipo mecanizado del tipo de columnas y brazo, que se puede utilizar en galerías de cualquier dimensión en las que ahora se esté empleando perforación mediante columnas y brazo.

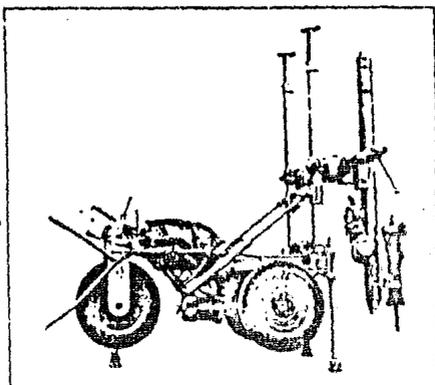
Este adaptable vagón autopropulsado está provisto de una perforadora neumática de tipo BBC 100F o BBC 120F, deslizador de tornillo y guía de barrenos, así como lubricador para aire comprimido y mandos a distancia para control de la perforadora. Estos componentes están situados adecuadamente para ahorrar tiempo y esfuerzo cuando se añaden o se quitan las barras de extensión.

Un potente motor de tracción de 4,8 kW (6,5 ch), se acciona directamente mediante un acoplamiento flexible, a un eje trasero especial al que suministra ampliamente la energía de tracción. Durante la perforación, el equipo queda estabilizado por medio de tres gatos hidráulicos y además, otros dos gatos neumáticos en el techo y dos apoyos laterales accionados a mano.

El vagón se puede desmontar en componentes de fácil manejo, el mayor de los cuales puede pasar por un espacio de 1,2 x 1,2 m. A petición, se puede diseñar el bastidor para que pueda pasar por espacios de 0,8 x 0,8 m.

### Aplicaciones

Perforación de entijos verticales o inclinados en el resaca por subniveles.



## Características

	BBC 100F	BBC 120F
Barras de extensión	R 25 (1 1/4") R 32 (1 1/4")	R 32 (1 1/4")
Gama de perforación	35-57 mm (1 3/8" - 2 1/4")	48-84 mm (1 7/8" - 3 1/2")
Deslizadores de tornillo	BMS 48 (barras de 4) BMS 68 (barras de 6)	
Peso, total	1100 kg	
Peso, sin perforadora ni deslizador	910 kg	
Dimensiones para transporte		
— altura	1650 mm (55')	
— anchura	2330 mm (80')	
— anchura, sin los apoyos laterales	1370 mm (54')	
Dimensiones mínimas de la galería	2 x 2,4 m (80" x 94")	
Dimensiones máximas de la galería	3 x 3,3 m (118" x 130")	

## Simba 300

Con los tres modelos del equipo neumático de perforación Simba 300, la capacidad superior a un millón de toneladas de mineral al año hace posible planificar labores mineras de gran rendimiento con poca mano de obra.

Estos equipos altamente mecanizados tienen propulsión en las cuatro ruedas con mecanismos de accionamiento independientes, conducción de tipo oruga y cuatro gatos hidráulicos.

Se ha tenido especial cuidado de que estos equipos estén diseñados con las más favorables condiciones ergonómicas posibles:

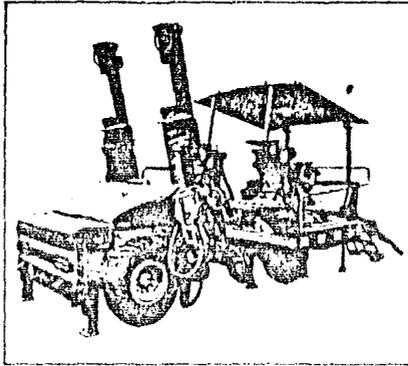
La plataforma de perforación absorbe las vibraciones y se puede solicitar también una versión de plataforma con suspensiones independientes, totalmente libre de vibración. El lectioy la cabina de protección son oprativos.

Los paneles de mando están situados lo más lejos posible de las destrozadoras para proteger al operador contra las aspiraciones y la caída de rocas. Los almacenes de barras especialmente diseñados y próximos a las perforadoras simplifican el manejo de las barras.

Los modelos 322 y 323 tienen sistemas neumáticos semiautomáticos controlados a distancia.

## Aplicaciones

Se puede utilizar todo tipo de perforación empleado normalmente en el hundimiento por subterráneos, incluyendo estribos, de barreras paralelas y la perforación lateral en el techo.



## Características

	Simba 312	Simba 322	Simba 323
Perforadoras ...	2 x BBC 120F	2 x COP 131 EL	3 x COP 131 EL
Barra de extensión ...	R 32 (1 1/4")	R 32 (1 1/4") T 38 (1 1/2")	R 32 (1 1/4") T 38 (1 1/2")
Gama de perforación ...	48-64 mm (1 7/8"-2 1/2")	48-78 mm (1 7/8"-3")	48-78 mm (1 7/8"-3")
Destrozadoras de tornillo ...	BMS 06, 08 (8) BMS 48, 48 (4)	BMS 180 8"	BMS 160 8"
Peso total ...	9300 kg	9700 kg	11100 kg
- el vehículo solo ...	6800 kg	9000 kg	9800 kg
Dimensiones para transportar ...			
- altura, sin techo ...		2000 mm (79")	
- anchura ...		2500 mm (98")	



## Promec M/MH

Cuando los equipos convencionales no se adaptan al tipo de trabajo, Atlas Copco puede suministrar equipos de perforación Promec fabricados especialmente. Promec es la abreviatura de "proyectos mecánicos" y se refiere al diseño y fabricación de equipos de perforación para satisfacer las necesidades de los clientes, utilizando componentes estándar de Atlas Copco.

Los ingenieros de Atlas Copco preparan ofertas de diseño y proporcionan descripciones completas y planos de diseño. Pero también, como alternativa, Atlas Copco puede fabricar el equipo de perforación sobre un modelo adecuado, proporcionado por el cliente.

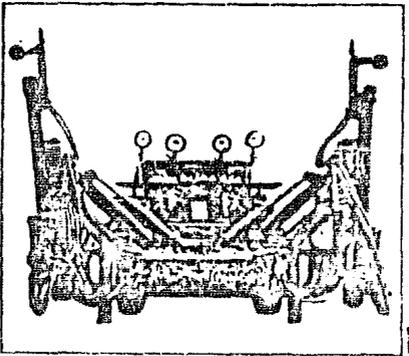
Desde el punto de vista de servicio, es beneficioso elegir un vehículo estándar de Atlas Copco. Los chasis de los carros de perforación de galerías y de las carpas para los equipos de perforación de explotación.

Los equipos Promec para explotación están equipados normalmente con una o dos perforadoras neumáticas BAC 120P o COP 131EL, o con una perforadora hidráulica COP 102BH, sobre destrialdere de tornillo BMS 66 4' o 6'.

Algunas tipos adicionales de equipos Promec están descritos en el folleto "Promec production en riga", Impreso núm. 15438.

### Aplicaciones

Todo tipo de perforación de explotación, como barrenos en anillo, en abanico y peraltados, para el resaca por subterráneos, el hundimiento por subterráneos o el hundimiento de bloques.



### Características

	BAC 120P	COP 131EL	COP 102BH <sup>*</sup>
Barra de perforación	R 32 (1 1/4")	R 32 (1 1/4")	R 32 (1 1/4")
Clase de perforación	48-76 mm (1 7/8"-3 1/2")	48-76 mm (1 7/8"-3")	48-89 mm (1 7/8"-3 1/2")
Destrialdere de tornillo	BMS 48-66 BMS 48-66 4'-6'	BMS 163 6'	BMS 160H 6' (hidráulico)
Peso aproximado, con dos perforadoras y destrialdere			6200-8200 kg

\* Perforadora hidráulica con tornillo de doble pliego.

## BHW- Vagón perforador para barrenos de gran diámetro

Es un vagón autopropulsado ligero, diseñado para la perforación de barrenos de gran diámetro con excelente rendimiento y bajo costo por tonelada, en tajos y galerías de pequeñas dimensiones.

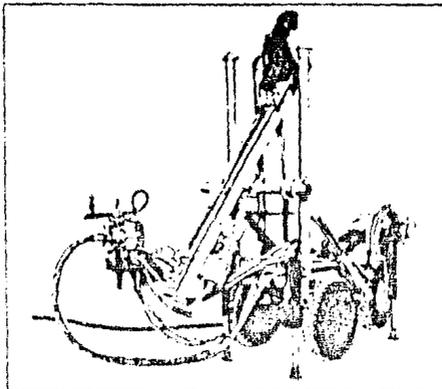
El equipo está montado sobre un basculador de perfiles de acero, que se mueve sobre tres ruedas de automóvil. Un potente motor de tracción, de 4,8 kW (6,5 ch), se une directamente, mediante un acoplamiento flexible, a un eje trasero especial que suministra ampliamente la energía de tracción. Durante la perforación, el vagón se apoya en tres gatos hidráulicos accionados independientemente, se estabiliza además mediante dos gatos neumáticos en el techo. El avance permite perforar desde la vertical, 30° hacia adelante y 5° hacia atrás, así como ... 15° en sentido lateral desde la vertical.

Accesorios optativos para la perforación de precisión con martillo en el fondo son: adaptador para extracción, adaptador para barrido suplementario y adaptador de roscas API 3 1/2" reg/API 2 3/8" reg.

El vagón se puede desmontar en componentes de fácil manejo, el mayor de los cuales puede pasar por un espacio de 1,2 x 1,2 m (4' x 4').

### Aplicaciones

Hundimiento por subvías,  
hundimiento por coxa inferior,  
perforación de chimeneas,  
barrenos para cables y para  
desagüe y barrenos para relleno.



## Características

Perforadora (martillo en el fondo) .....	COP 4
Tubos de perforación .....	ø 76 x 1500 mm (ø 3" x 4'11")
Rosca, tubos estándar .....	API 2 3/8" reg
Gama de perforación	
— perforación de explotación .....	105—115 mm (4 1/8"—4 1/2")
— barrenos especiales .....	140 mm (5 1/2")
Presión de funcionamiento de la perforadora .....	5—10,5 bares (70—150 lb/pulg <sup>2</sup> )
Par de la unidad de rotación .....	900 Nm (665 pies.lbs)
Peso total .....	1350 kg
Peso, sin la unidad de perforación .....	910 kg
Dimensiones para transporte	
— altura .....	1760 mm (7'0")
— anchura .....	1370 mm (54")
Altura mínima de la galería .....	3300 mm (13'0")



## ROC 306

El ROC 306 es un vagón perforador de accionamiento neumático para perforar barrenos de gran diámetro y profundidad para voladuras, así como barrenos especiales cuando es reducido el espacio subterráneo. El ROC 306 tiene gran rendimiento, es muy móvil y de construcción compacta.

La deslizador de cadena proporciona una fuerza máxima de avance de 34 kN (7700 lbf). La función de sostenimiento permite ajustar el valor debido la presión de avance incluso en barrenos muy profundos. En la deslizador esta montada una robusta guía de barrenos que posee una herramienta hidráulica para soltar las uniones de los tubos y de la boca. La máxima profundidad del barrenos con el COP 6 es de unos 100 m (330 pies) y con el COP 4 es de casi 200 m (650 pies).

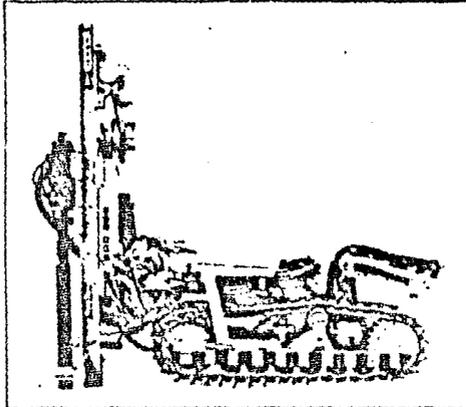
El equipo dispone de un eficaz sistema de aglutinación del polvo, basado en la mezcla de agua de barrido a alta presión con el aire de accionamiento.

El ROC 306 puede ser transportado en la mayoría de las jaulas de mina sin necesidad de desmontaje, por lo que puede moverse fácilmente entre los diferentes niveles.

Para los martillos en el fondo se dispone, como accesorios opcionales, de adaptadores para extracción, adaptadores para barrido suplementario, equipo para perforación de precisión, y adaptadores de rocas para utilizar otros tubos de perforación.

### Aplicaciones

Perforación de barrenos de gran diámetro para la explotación por hundimiento por subterráneos y corte interior, barrenos para desagüe o ventilación, barrenos para relleno hidráulico, para conducciones, barrenos de coste en galerías y túneles, perforación de chimeneas.



## Características

Perforadora (martillo en el fondo)	COP 4	COP 6
Tubos de perforación	ø 76 x 1500 mm	ø 114 x 1525 mm
Roca, tubos estándar	API 2 3/8" reg	API 3 1/2" reg
Gama de perforación		
— perforación de explotación	105—115 mm (4 1/8"—4 1/2")	132—165 mm (5 1/8"—6 1/2")
— barrenos especiales	140 mm (ø 1 1/2")	218 mm (ø 1 1/2")
Presión de funcionamiento de los martillos en el fondo	6—10,5 bares (70—150 lbfw pulg <sup>2</sup> )	
Deslizador de cadena, carrera de avance	3050 mm (91")	
Par de la unidad de rotación	2000 Nra (1450 pies.lbf)	
Peso total	3800 kg	
Peso, sin la unidad de perforación	3000 kg	
Dimensiones para transporte		
— altura	2100 mm (83")	
— anchura	1400 mm (55")	
Altura mínima de la galería	2000 mm (138")	

## Perforación hidráulica

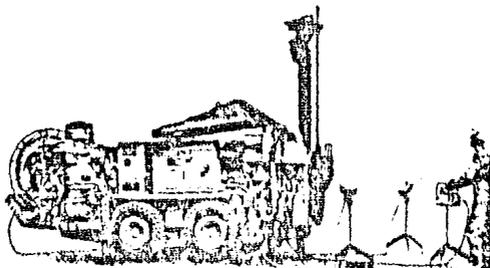
Mediante la técnica de perforación hidráulica de Atlas Copco ahora se pueden elegir los valores óptimos de diámetro y longitud de los barrenos para obtener mayor rendimiento por relave y menores costes generales.

### Simba H221

El Simba H221 es un equipo altamente mecanizado para perforación de exploración, construido sobre los mecanismos de tracción de las cargadoras Case 580 de Atlas Copco y provisto de una unidad de potencia para la perforadora hidráulica COP 103PHL.

En la parte delantera del equipo hay un mecanismo inercial de giro que se conecta a un brazo pendular. Todos los movimientos se efectúan por medio de cilindros hidráulicos accionados desde un panel de mandos situado en el soporte de la cabina. El equipo dispone de cuatro palas hidráulicas.

El Simba H221 está provisto de un sistema de mando a distancia o "Active" para el manejo completo de la perforadora. El sistema hidráulico posee un dispositivo automático de protección en el avance para evitar los atascos de las barrenas.



### Características

Perforadora hidráulica .....	COP 103PHL	
Barra de extensión .....	1,32 (1 1/4")	1,38 (1 1/2")
Gama de perforación .....	48-64 mm	64-89 mm
	(1 7/8" - 2 1/2")	(2 1/2" - 3 1/2")

Presión hidráulica para la perforadora .....	150-250 bares
Destricadora de tornillo .....	BMS 180H (hidráulica, Ø)
Peso total .....	9400 kg
Peso del equipamiento más pesado de arrastrado .....	4500 kg
Dimensiones para transporte	
— altura .....	2765 mm (110")
— anchura .....	1840 mm (72")
Dimensiones mínimas de la galería para perforación .....	3,4 x 3,4 m (134" x 134")
— para transporte .....	2,0 x 2,6 m (79" x 111")

### Aplicaciones

Perforación en estado en el hundimiento por subterráneos y en el realce por subterráneos. Perforación en estado (DOP) en grietas por subterráneos. Perforación de barrenos paralelos en arcos por subterráneos de yacimientos estrechos y perforación de ranuras de corte.

¡SOLICITE MÁS DETALLES!  
ESTOS EQUIPOS SON VERDADEROS  
Y ATENDIDOS POR LA CASA  
MUNDIAL DE ATLAS  
COPCO

Atlas Copco

tio porque el control separado que tiene la maquinaria nos permite dar vueltas y maniobrar con precisión, pues el operador puede situarse detrás de la máquina.

Una máquina móvil de este tipo tiene la ventaja que puede remolcar su propio compresor excepto cuando se tengan terrenos abruptos o con demasiado desnivel.

Algunos sistemas y modelos tienen orugas oscilantes, - unas son rígidas y otras son de sistema hidráulico que permite - que se mantenga en contacto con el terreno cuando este se halla irregular.

#### c) Tipos de empujadores.

Los empujadores son empleados para las perforadoras y - se puede decir que trabajan como gatos hidráulicos cuando se emplean en las perforaciones de túneles y son usados generalmente - al trabajar con los métodos de columna o por barras.

Los empujadores son fabricados en varios tipos y por fabricantes diversos los cuales siempre proporcionan las características y tipos de cada una de ellas.

Hay diferentes versiones de empujadores desde las sencillas, las de retracción y las que se utilizan en trabajos de realce, desde luego son empleadas las perforadoras adecuadas para cada empujador que se desea emplear.

#### d) Guías de Barrenas

Este mecanismo funciona en los trabajos donde se usan - los sistemas de columna o en su defecto pueden utilizarse en unidades montadas.

Las guías de barrenas son fabricadas para accionarse en forma manual, neumático o hidráulico. Este sistema es semejante a lo que se llama avance del tornillo que también se emplean en - equipos de columna.

El avance de tornillo es usado en túneles primordialmente porque mantiene el polvo que se extrae de la barrenación. Los sistemas de alimentación de los avances de tornillo pueden ser de aire comprimido o manual

#### e) Avance de cadena

Este sistema es muy común verlo en los trabajos que se efectúan en la superficie pero también son empleados en trabajos subterráneos. Una cadena es una alimentación que emplea una corredera con guías lubricadas los cuales facilitan en deslizamiento. Esta maquinaria tiene un motor de tipo reversible lo que permite impulsar la cadena de rodillos por medio de una reducción de engranes esto hace que se introduzca la broca de la perforadora en la roca y cuando es invertida la dirección de su movimiento la broca es sacada del agujero.

La cadena está apoyada en ruedas dentadas locas que están en los extremos superior e inferior del mástil y la perforadora está sujeta a la cadena y se mueve a lo largo de la corredera.

#### f) Tipos de Brazo

Los brazos generalmente son empleados en trabajos subterráneos los cuales son fabricados en versiones fijas, móviles, extensible, con dos brazos giratorios o de inversión. Son utilizadas en soportes para barrenas que al mismo tiempo dan apoyo y avance automático a las perforadoras.

La perforadora la soporta un cilindro neumático cuyo pistón termina en una punta y otro dispositivo para sujetarla en las rocas. El aire entra al cilindro del brazo por una válvula de control que se dilata lo suficiente para mantener en contacto la broca con la roca al ir penetrando en ella.

#### g) Equipo Anular de Perforación.

Este equipo de perforación se utiliza para efectuar barrenos verticales, o inclinados según se desee la barrenación en el túnel y en galerías, para realizar dos barrenos simultáneamente es muy práctico este equipo por que nos va permitiendo hacer dos hileras de perforación hasta que se logre el contorno del túnel.

#### h) Compresores

Un compresor es una máquina, que se utiliza en la construcción, en las obras civiles o en la industria, etc., desde luego el aire comprimido sirve básicamente para sobrealimentar a otras maquinarias.

En los trabajos efectuados en los túneles son muy útiles porque es la que proporciona energía al martillo perforador y a cualquiera máquina neumática. Los compresores siempre son accionados por un motor que en sí es el que se encarga de hacer funcionar el pistón y éste en su compartimiento de donde efectúa su recorrido hará la compresión del esfuerzo al ocupar un volumen más pequeño del que se está tomando.

Cuando se está comprimiendo el aire se produce un calentamiento en el compresor y para eliminar la temperatura que se produce siempre se debe haber un enfriador. Dentro de los tipos de compresores que hay, se conocen:

- a) Compresor de paleta
- b) Compresor de pistón
- c) Compresor de tornillo.

a) Compresor de Paleta.

Un compresor de paleta es el que tiene una serie de paletas que van insertadas en el rotor que a su vez son impulsadas hacia afuera y sellan contra la carcasa circundante, merced a la fuerza centrífuga.

Las paletas están sujetas a desgastes la mayor parte de estos compresores tienen inyección de aceite para lubricar las paletas, refrigerar el aire que comprimen y lo más importante de todo es evitar las pérdidas o fugas que se tengan internamente.

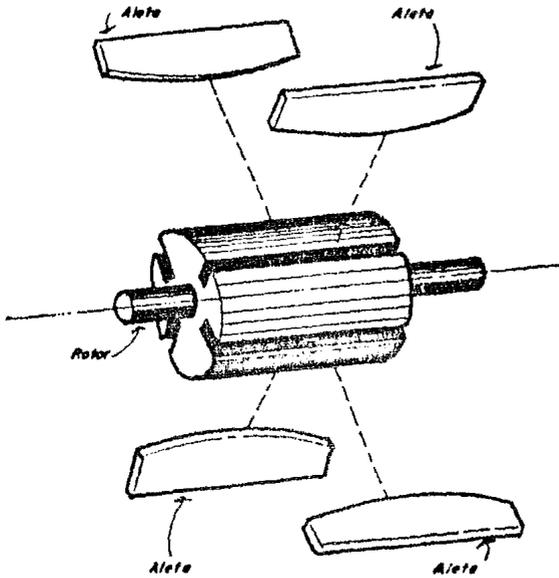
b) Compresores de Pistón.

Dentro de la gama de compresores de pistón existen los que son transportables y los estacionarios, clasificándose a su vez por tamaños que van desde máquinas chicas, medianas y grandes. Por lo que éstas también tienen diferentes capacidades lo cual está expresada por el desplazamiento del pistón.

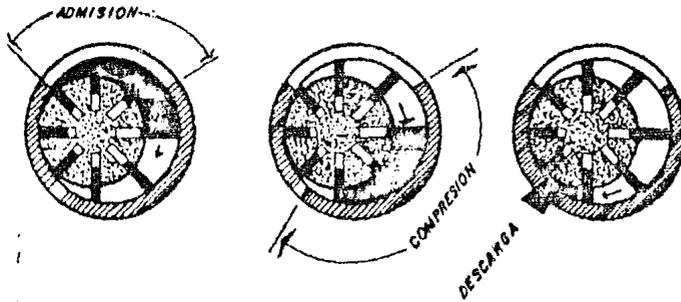
Los compresores utilizados en la perforación de túneles son de gran tamaño.

c) Compresores de Tornillo.

**a) -- COMPRESOR DE PALETAS.**



**ROTOR CON ASPAS CORREDIZAS (ALETAS O PALETAS).**



Al girar el rotor, se encierra el aire en compartimientos formados por las espas.

El aire se comprime gradualmente al hacerse más chicos los compartimientos.

El aire comprimido es expulsado por la lumbrera de descarga.

**PRINCIPIO DE TRABAJO DE UN COMPRESOR DE SISTEMA POR PALETAS**

**FIG. 59**

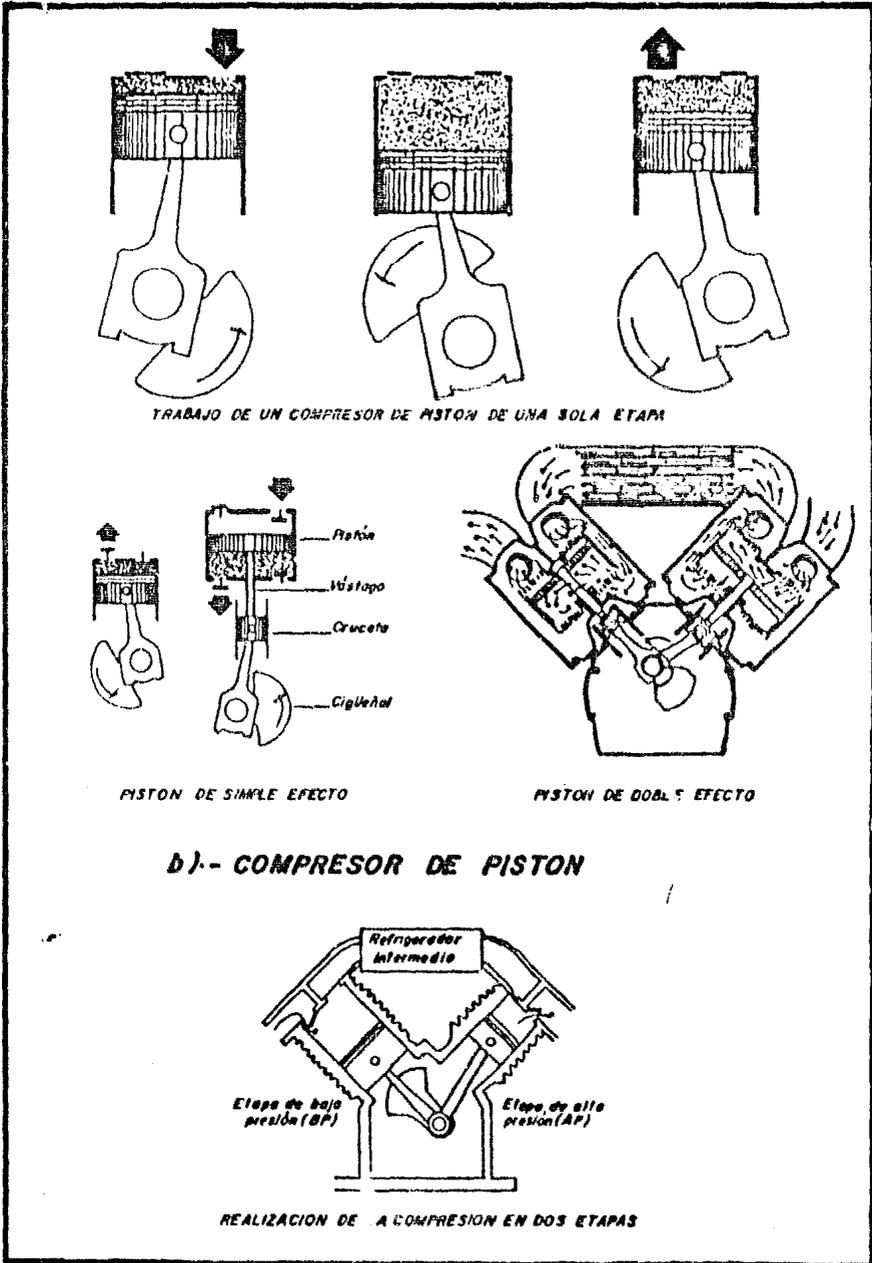


FIG. 60

Entre los dos tipos de compresores que se mencionaron - con anterioridad y este podemos decir, que el compresor de tornillo es el de diseño ideal para la compresión del aire y que en la actualidad ha venido a ser más popular debido a su simplicidad y fiabilidad en los trabajos en que se vayan a emplear.

También hay diseños de compresores de pistón de simple y doble efecto.

Los de doble efecto dan a la salida casi el doble de -- aire, con pequeños cambios en el tamaño físico del compresor.

La máquina y el principio de trabajo, son idénticos para los dos cilindros.

#### 4.5.2 Diseño de plantillas.

Para el diseño de plantillas en túneles siempre se ha - de conocer con anticipación el tipo de suelo en el que se ha de - trabajar porque en un proyecto ya se tiene la sección del túnel y lo que se desea conocer son los factores que intervendrán en la - perforación.

Los factores que se desean conocer son los estudios preliminares al diseño de la plantilla, también se tomará en cuenta la planeación de los ataques de frente que se vaya a utilizar, - así como el tipo de sección del túnel.

Para un diseño de plantilla en túnel será necesario conocer el diámetro del túnel así como la forma solo de esa manera se podrá efectuar una mejor distribución de los barrenos.

La diferencia principal entre voladuras de túnel y voladaras de banco es que en el túnel hay solamente una cara libre, - comparado con mínimo dos en un banco. Esta cara es además perpendicular al avance del frente. Por esto se necesita crear una --- apertura en todo el largo del avance previsto y después volar la roca sucesivamente hacia esta apertura.

En la ampliación de la apertura se aplica el método de voladuras de banco. Pero la carga específica es mucho más alta - por las siguientes razones:

- a) Barrenos desviados (el ambiente subterráneo con obscuridad, humo, agua, alto nivel de ruido; hacen difícil el trabajo).

- b) Espacio requerido para el hinchamiento de la roca - (el hinchamiento es alrededor de 50%).
- c) Barrenos sin inclinación.
- d) No cooperan barrenos adyacentes.
- e) El efecto de la gravedad en los barrenos que tienen salida por arriba.

En tuneles con áreas menores de 80 m<sup>2</sup> normalmente se ataca toda la sección en una operación (Método en toda la cara o Método Inglés).

En túneles mas grandes se reparte la excavación en dos o mas operaciones (Método de las Terrazas o Método Belga). Esta repartición se puede hacer de varias maneras, pero ahora domina - el método de excavar una galería arriba y después banquear.

El banqueo se hace con barrenación vertical u horizontal, bancos con alturas menos de 4 metros son desfavorables por - sus altos coeficientes de barrenación y carga.

Túneles anchos o en roca mala es ventajoso de atacar - con túneles piloto y ampliación lateral (Método de Derivadores). Con el túnel piloto se puede investigar las condiciones de roca - sin abrir un techo ancho y poner anclas y/o concreto lanzado antes de la ampliación lateral.

El túnel piloto debe tener una longitud de unos 10 m. o hasta que se componga la roca superficial.

Cálculo de la Carga.

Nomenclatura para los barrenos.

- 1) Barrenos de piso (salida hacia arriba) Tabla XVII
- 2) Barrenos de pared (salida horizontal) Tabla XIX
- 3) Barrenos de techo (salida hacia abajo) Tabla XX
- 4) Barrenos de cuña (salida hacia el tú- Tabla XIII.  
nel) Tabla XV
- 5) Barrenos ayudantes (salida horizontal) Tabla XVI

6) Barrenos ayudantes (salida hacia - Tabla XVIII  
abajo)

7) Barrenos ayudantes (salida hacia arriba Tabla XVI  
ba).

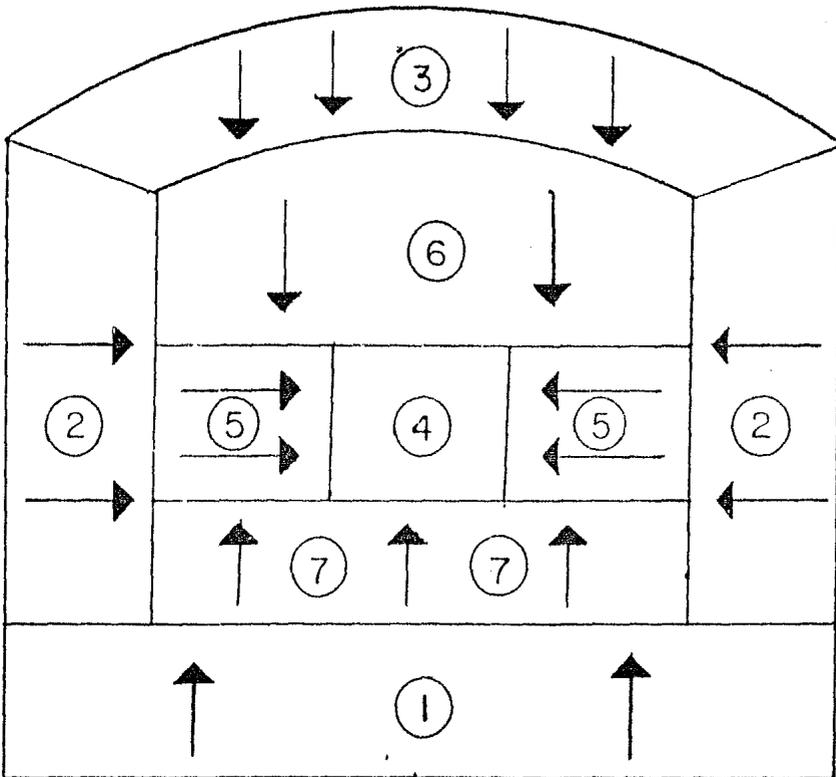


FIG. 61

### Tipo de Cuñas.

Existen tres tipos de cuñas: (1) la cuña en ángulo, en la cual, los barrenos se hacen formando un ángulo con la frente - para proporcionar la mayor libertad de movimiento que sea posible para la roca quebrada, (2) la cuña quemada o fragmentadora, en la cual se hacen varios barrenos muy próximos entre sí y perpendiculares a la frente, y en la que solamente algunos de ellos se disparan para romper hacia el espacio abierto proporcionado por los barrenos vacíos, y (3) combinaciones de estos dos.

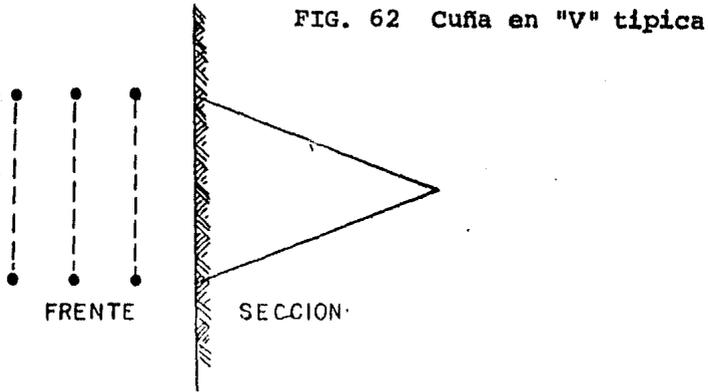
En el pasado, las cuñas en ángulo eran, por mucho, las más populares para todos los tamaños de frente. En pequeñas frentes, el uso de equipo de barrenación de alta velocidad, así como las mejoras en el equipo de rezaga y acarreo, ha hecho más deseable incrementar la longitud de la barrenación para balancear eficientemente el ciclo de minado, y este incremento en longitud es tal que las cuñas en ángulo no rompen satisfactoriamente la roca. Además las tendencias modernas son eliminar el uso de cambios de acero en la barrenación y emplear acero unitario. Cuando éste es el caso, la longitud del acero, más la barrenación adicional y maquinaria de alimentación, por lo regular hace muy difícil, si no imposible, hacer barrenos al ángulo adecuado para una cuña de ángulo satisfactorio.

En la actualidad, las cuñas quemadas se utilizan casi - exclusivamente en los frentes pequeños. Aun en túneles más grandes, como los empleados para tránsito de vehículos y para desvío de agua, se está volviendo más y más popular utilizar una máquina grande de perforación con el fin de hacer uno o más barrenos de 4 plg. o más, de diámetro como cuña. Esto proporciona un mayor volumen vacío de alivio para el disparo, y, por lo tanto, una cuña más confiable, y también distribuye más adecuadamente la carga de barrenación en el resto de las máquinas que trabajan en la -- frente.

### Cuñas en Angulo.

Las cuñas en ángulo tienen algunas ventajas sobre las - cuñas quemadas en cañones o cruceros y al trabajar en minería de salón y pilar. Las cuñas en ángulo utilizan menos barrenos por - disparo y usualmente su consumo de explosivos es menor por pie de avance. Una desventaja es que la "V" de roca formada por la cuña, puede salir lanzada desde la frente en piezas grandes que pudieran dañar el maderamen. El uso de anclas en lugar de maderamen ha reducido ésta objeción a las cuñas en ángulo en muchas operaciones. En donde sea necesario reducir el lanzamiento de roca

grande y ayudar a romper una cuña en ángulo profunda, pueden emplearse pequeñas cuñas en "V".



La cuña en "V" es una de las más antiguas cuñas en ángulo y se utiliza comúnmente todavía. Cada "V" consiste de dos barrenos hechos a partir de dos puntos tan retirados como sea posible sobre la frente para juntarse o casi hacerlo en los fondos de los barrenos. La cuña puede consistir de una V o varias V perforadas paralelamente una a la otra. Las cuñas en V en los cañones pueden ser horizontales o verticales, dependiendo de cual posición permite el mayor ángulo entre barrenos, de la estructura o estratificación de la roca, y sobre el tipo de equipo de barrenación disponible. En barrenaciones más profundas o en rocas muy difíciles de romper, las cuñas pueden ser dobles V, conociéndose como cuña chica la que está más adentro y la más pequeña.

Una modificación de la cuña en V, conocida como la cuña martillo, se muestra en la Fig. 64. Está localizada lejos del centro de la frente y a menudo los barrenos se hacen de modo que no se encuentren.

La cuña martillo, colocada en el fondo que se ilustra en la figura, es la más común, aunque puede encontrarse en la parte superior o a un lado de la barrenación. Es particularmente útil en pequeñas frentes (menores de 6 por 6 pies) donde la barrenación se hace con frecuencia con pistolas montadas en piernas, y donde, debido a la falta de espacio, es difícil perforar una cuña en el centro de la cara. Además, cuando se utiliza una pistola montada sobre una barra horizontal o sobre una pierna, una cuña martillo es posible que se arranque desde la parte superior de la rezaga y la perforación puede efectuarse al mismo tiempo.

Las cuñas en ángulo siguientes en popularidad se conocen como las cuñas piramidales. Estas consisten de tres a seis -

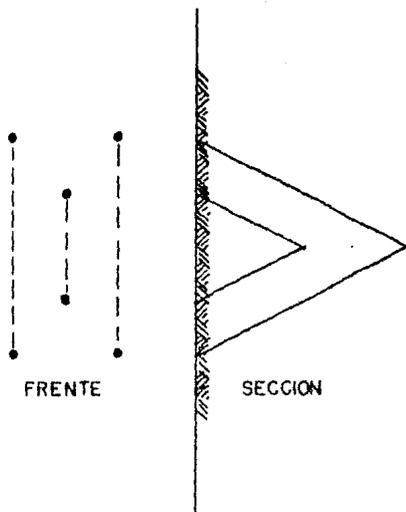


FIG. 63 Cufas doble "v" mostrando una cufa chica

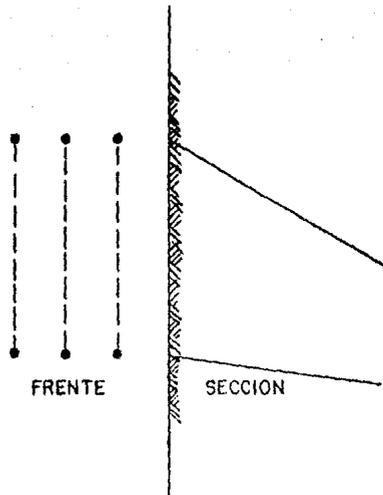


FIG. 64 Cufa de martillo

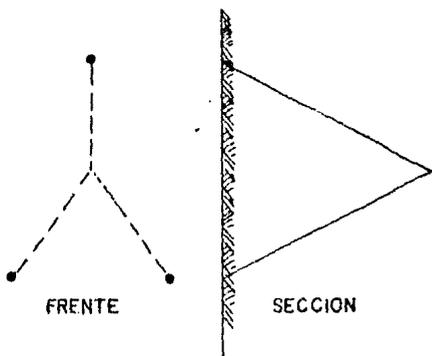


FIG. 65 Cufa piramidal de tres barrenos

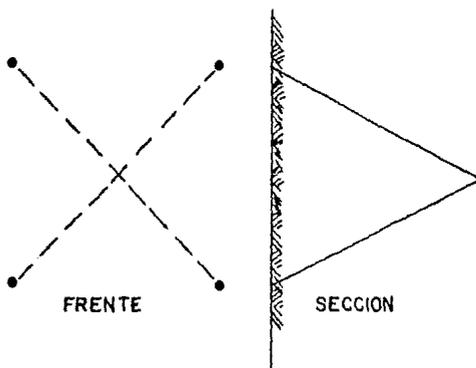


FIG. 66 Cufa piramidal de cuatro barrenos

barrenos hechos para encontrarse en un punto común cerca del centro de la frente. Estas raramente se utilizan en la actualidad, habiendo sido suplantadas por las cuñas quemadas o barrenos extra grandes que actúan como cuña quemada. Sin embargo, siguen siendo populares en la profundización de tiros, particularmente en los tiros circulares que utilizan grandes equipos de barrenación (jumbos).

#### Cuñas quemadas.

También se conocen como cuñas fragmentadoras, Michigan o Cornish. Las cuñas quemadas hacen posible aumentar la profundidad de la barrenación mucho más de lo que es posible con cuñas en ángulo. Las cuñas quemadas, por lo general, necesitan más barrenos por disparo y un factor de pólvora algo más elevado; pero al aumentar el avance por disparo se obtienen economías, ya que se puede tomar ventaja de la profundidad óptima de barrenación acomodándose así al ciclo más económico de barrenación, voladura y rezagado.

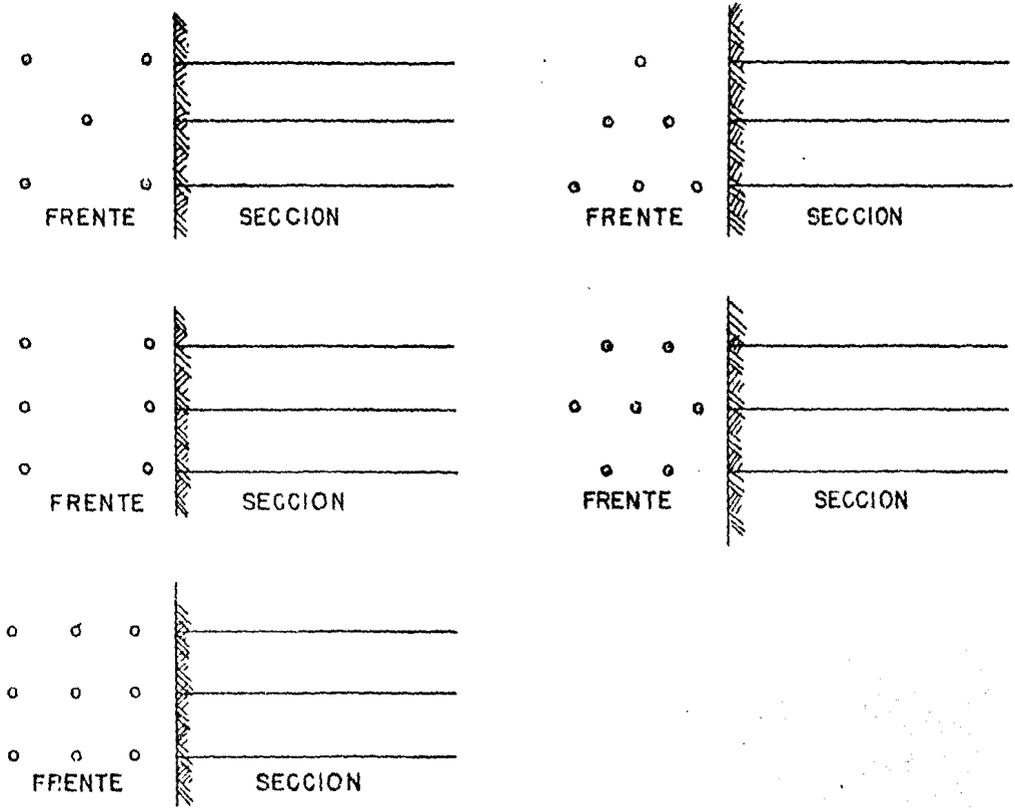
Es de lo más importante que los barrenos de una cuña quemada se hagan exactamente paralelos y a la distancia adecuada entre sí.

También, la cuña quemada debe perforarse aproximadamente de 6 a 12 plg., más larga que los otros barrenos de la voladura. El hacer barrenos paralelos con pistolas montadas sobre jumbos o piernas necesita habilidad considerable, pero aun los operarios relativamente inexpertos pueden hacerlo con la ayuda de una plantilla.

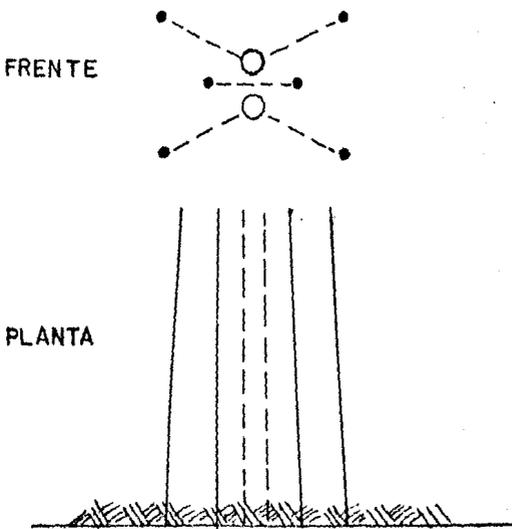
Las cuñas quemadas pueden perforarse en cualquier parte de la frente con los barrenos apuntando, según se desee, pero siempre paralelos uno con respecto del otro. Así, la roca quebrada que sale de la cuña puede dirigirse hacia el punto donde produzca el menor daño al maderamen. Normalmente, la cuña se perfora perpendicular a la cara y algo fuera del centro de ella; por razones de seguridad, la posición debe variar de disparo a disparo para evitar la necesidad de barrenar la siguiente cuña en el fondo de la cuña anterior.

Fundamentalmente, todas las variaciones de la cuña quemada utilizan el mismo principio. A diferencia de las cuñas en ángulo, que están diseñadas para romper una pirámide o un cono de material, las cuñas quemadas consisten de barrenos hechos paralelamente entre sí y a la línea de centros del túnel, así como a una distancia predeterminada entre sí. La Fig.67 muestra varios

FIG. 67 Cufias Quemadas



NOTA: ○ BARRENOS QUE NO DEBEN CARGARSE



de los patrones más comunes. La práctica usual es dejar uno o -- más barrenos descargados para proporcionar espacio abierto hacia el cual puedan romper los barrenos que sí tienen carga. Es ahora práctica común tener estos barrenos descargados de un diámetro ma yor al de los otros en la cuña quemada.

Por lo general se obtienen los mejores resultados cuando los barrenos cargados no disparan simultáneamente, ya que se -- obtiene mayor acción limpiadora si se utiliza algún tipo de disparo por retardos dentro de la cuña. Aunque los barrenos algunas -- veces pueden propagarse cuando están muy próximos entre sí, se -- han empleado con buenos resultados los retardos MS en donde es de ventaja un pequeño intervalo entre los barrenos.

Toda la roca se expande al romperse, y entre más fina -- se rompa mayor será el factor de abundamiento.

Con algunos tipos de formaciones de rocas y patrones de barrenación el abundamiento de la roca quebrada en la cuña puede ser excesiva, de tal modo que la cuña quemada se congele completamente. Esto puede causar una pérdida completa del disparo. En -- estos casos deben probarse varios remedios: proporcionar uno o -- más barrenos adicionales y así dejar espacio para el abundamiento excesivo; asegurarse que la columna de explosivos se extienda hacia afuera hasta sólo unas cuantas pulgadas de la boca del barreno; reducir la carga de dinamita, lo que usualmente puede hacerse mejor cambiando a un grado menos denso, de modo que la columna de explosivos no se acorte; revisar el alineamiento de los barrenos para asegurarse que sean paralelos; cambiar el patrón de barrenación o espaciamiento de los barrenos en la cuña. En algunos casos difíciles pueden hacerse uno o dos barrenos inclinados, llamados "arrastradores", para ayudar a limpiar las cuñas en terreno que tiende a congelarse, como el granito duro y de grano fino. En ciertos casos, puede ser deseable cargar estos "arrastradores" -- únicamente en la mitad trasera. Si en la voladura se utiliza el "Nilite" 303 o una mezcla de nitrato-amonio combustible, por lo -- regular no deben emplearse para cargar las cuñas quemadas, ya que pueden congelarlas o no detonar debido a la extema presión producida por el disparo del primer barreno. Muchos operadores que -- por economía emplean estos productos en dondequiera que sea posible han estandarizado el uso de dinamita en las cuñas quemadas.

Muchos operadores han adoptado diversas combinaciones -- de tamaño de barreno en las cuñas quemadas, una de las cuales consiste en hacer uno o más barrenos grandes muy próximos entre sí y paralelos a los otros barrenos más pequeños de la cuña. Estos barrenos pueden variar en tamaño y ser hasta 5 a 6 pulg. de diámetro, y en la mayoría de los casos esto requiere máquinas y brocas

más grandes. Esto tiende a retrasar la barrenación, pero incrementa la rapidez de avance. En consecuencia, el método ha sido preferido principalmente en tuneleo de alta velocidad. Por otra parte, en algunas operaciones mineras, las cuñas quemadas consisten de grupos de pequeños barrenos que tienen el mismo diámetro que los barrenos regulares para voladura. Con ambos tipos de cuña quemada puede todavía ser necesario utilizar barrenos inclinados o "arrastradores" colocando cerca de la cuña para limpiar completamente el material pulverizado. La necesidad de ellos puede determinarse sólo mediante pruebas, pero, por lo general, puede anticiparse en formaciones más suaves.

Cuando se intenta efectuar barrenaciones largas en terreno duro y macizo, algunas veces es necesario utilizar una combinación de cuñas. Esta clasificación incluye las cuñas quemadas y "arrastradores" que se acaban de describir, así como otras variaciones. Una es la llamada cuña en espiral que consiste en una serie de cuatro o cinco barrenos hechos paralelamente a uno o dos barrenos mayores sin cargar. El primero de la serie tiene un bordo de sólo 3 a 4 plg., con el bordo de cada barreno subsecuente en el patrón en espiral, aumentando gradualmente por 2 o 3 plg., hasta que se proporciona la abertura requerida. La cuña Coromant mencionada anteriormente, es una cuña en doble espiral. Los barrenos de estas cuñas en espiral, por lo regular, se disparan en secuencias con retardos, comenzando por el centro. Este mismo tipo de disparo puede también utilizarse con la cuña quemada normal de barrenos pequeños.

Otra combinación de cuñas para terreno duro puede incluir pirámides con "V" y cuñas quemadas, incluidas, cuñas en "V" con pequeñas pirámides o cuñas quemadas incluidas, o cuñas quemadas completas, rodeadas por cuñas en "V" grandes o chicas. Estas combinaciones pueden quedar en cualquier plano que sea más adecuado para la formación que se está perforando y pueden ocupar la localización más ventajosa del frente.

#### Barrenaciones.

Alivio de la cuña:- Las barrenaciones normalmente se nombran por el tipo de cuña que se utiliza para abrirlas, por ejemplo, una barrenación con cuña en V o una barrenación con cuña quemada.

El tipo de cuña empleada, la longitud de la barrenación y el número de barrenos por disparo dependen del tamaño de la ---

frente que se está trabajando y de la dureza del material que se debe romper, además del equipo disponible para el trabajo. En frentes muy pequeñas, la barrenación puede consistir únicamente de la cuña, un par de ayudantes y los barrenos de tabla; en tanto que, en frentes grandes, la barrenación puede incluir la cuña, varios juegos de ayudantes, varias líneas de segundos ayudantes y los barrenos de tablas.

Es imposible mostrar barrenaciones específicas que satisfagan todas las condiciones que se encontrarán bajo tierra. Al trabajar una frente puede ser necesario cambiar el patrón de barrenación varias veces debido a las diferentes formaciones que se localicen.

La práctica usual al hacer las barrenaciones es barrenar la cuña de tal modo que rompa aproximadamente 6 plg. más que el resto de la barrenación.

Esto proporciona más alivio en el fondo del barreno facilitando que el resto de los barrenos rompan hasta el fondo. En barrenaciones con cuña en ángulo, los primeros ayudantes nunca deben tener más de 2 pies de bordo en el fondo del barreno.

Cuando se utiliza una cuña quemada es necesario tener cuidado que los primeros ayudantes queden lo suficientemente retirados de la cuña para que no se propaguen, pero lo bastante cerca para que puedan romper sin congelar la cuña. Por lo general, el primer ayudante debe tener un fondo aproximadamente a 12 plg., de la cuña, pero, en terreno duro, los barrenos "arrastradores" pueden tener su fondo hasta 6 pulg., del fondo de los últimos barrenos de cuña. Los barrenos próximos y paralelos a las cuñas usualmente se llaman "primeros ayudantes".

#### Rotación del disparo.

Cuando se emplean fulminante y mecha para iniciar las barrenaciones es imposible asegurar que dos barrenos disparen simultáneamente, a menos que se junten o casi lo hagan.

Pueden disparar a la vez por propagación. Puesto que en la práctica es difícil que dos barrenos se junten, todos los barrenos cargados deben cebarse separadamente, y en barrenaciones con cuñas en ángulo debe hacerse cualquier esfuerzo para que algunas parejas de barrenos disparen en el mismo instante, o casi. La experiencia indica que sólo de este modo puede obtenerse la máxima eficiencia de voladura, especialmente en roca dura.

La forma de asegurar que dos o más barrenos disparen -- prácticamente al mismo tiempo es utilizar Estopines Eléctricos de Retardo "Acudet" Mark V del cero retardo. También, a menudo es - deseable emplear Retardos MS en cuñas en V colocados para proporcionar una secuencia de disparo de pequeños intervalos en los diferentes pares de barrenos. Este método usualmente mejorará la - fragmentación y reducirá el lanzamiento de material de la cuña.

Después de haber disparado la cuña, el resto de la barrenación romperá hacia la abertura proporcionada. Para la obtención de los mejores tiempos, el método de disparo eléctrico es - el preferido para retardar la barrenación. Después de abrir la - cuña, pueden cabarse con el mismo periodo de retardo grupos de barrenos que no interfieran entre sí.

Para evitar la superposición en los períodos de retardo deben utilizarse Estopines Eléctricos de Retardo "Acudet" Mark V, ya que proporcionan el intervalo de tiempo entre períodos necesario para permitir un movimiento libre de la roca quebrada.

Si se dispara con mecha, la secuencia de barrenos está determinada por el recorte de ella, o por el orden de encendido - del "Ignitacord". En este caso, el tiempo de disparo de cada barrenación es aproximado a causa de la variable velocidad de quemado de la mecha y del "Ignitacord", si es que se utiliza. Sin embargo, si el procedimiento de encendido de mecha se maneja adecuadamente, se obtiene el orden de disparo deseado.

En cualquier caso, la secuencia debe arreglarse de tal modo que cada barreno subsecuente en la rotación de disparos sea aquel que tenga el menor bordo y el mayor espacio hacia el cual - pueda romper.

#### Cuñas en V.

Los datos en la tabla abajo sirven de guía para el cálculo de barrenación y carga de cuñas en V con el ángulo 60°.

La carga de fondo debe ocupar mínimo una tercera parte del barreno. Concentración de carga de columna =  $0.5 \times$  carga de fondo. Taco =  $0.3 V$

Los ayudantes de la cuña son también inclinados para facilitar la salida hasta el fondo. La figura abajo muestra el principio para localizar los ayudantes.

TABLA XIII

DIAMETRO DE BARRENACION		ALTURA DE LA CUÑA	BORDO V		CONCENTRACION DE CARGA DE FONDO	NUMERO DE HILERAS HORIZONTALES
Pulg.	mm.	m.	m.		Kg/m.	
1 3/16	30	1.5	1.0		0.9	3
1 1/2	38	1.6	1.2		1.4	3
1 3/4	45	1.8	1.6		2.3	3
1 7/8	48	1.8	1.6		2.3	3
2	51	2.0	2.0		2.6	3

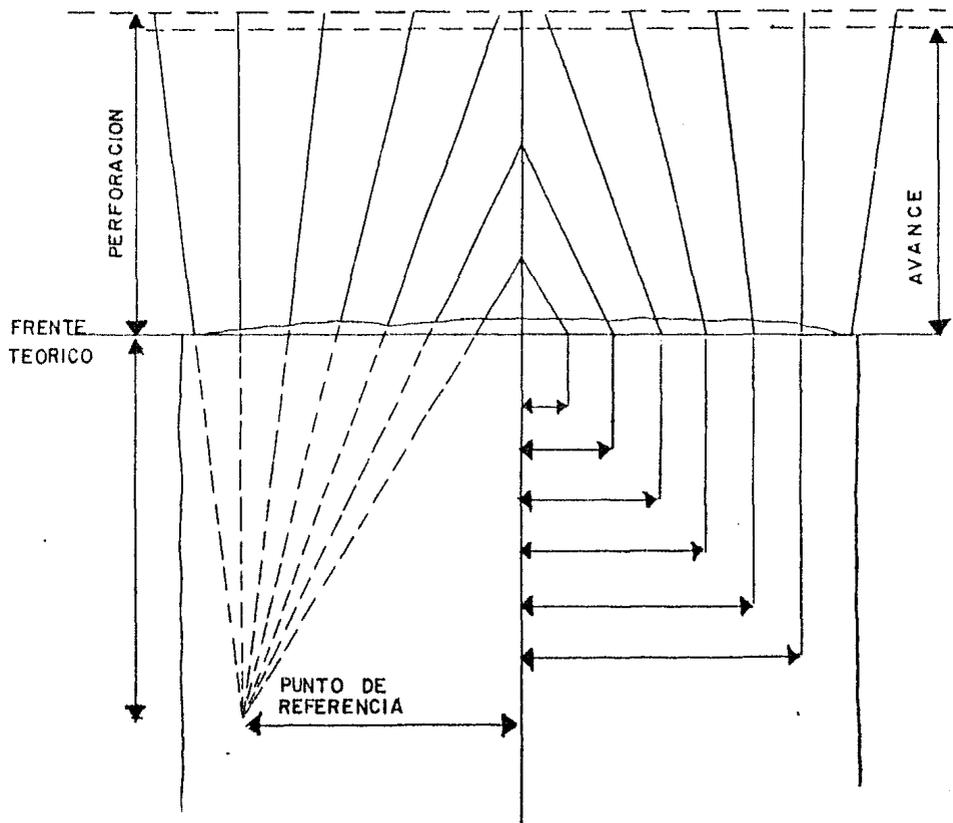


FIG. 68

Bordo y Carga para los ayudantes de la cuña.

TABLA XIV

DIAMETRO DE BARRENACION		BORDO	CARGA DE FONDO	CARGA DE COLUMNA	TACO
Pulg.	mm.	m.	kg/m.	kg/m.	m.
1 3/6	30	0.80	0.90	0.36	0.40
1 1/2	38	0.90	1.40	0.55	0.45
1 3/4	45	1.00	2.00	0.80	0.50
1 7/8	48	1.10	2.30	0.90	0.55
2"	51	1.20	2.60	1.00	0.60

Altura de carga de fondo =  $1/3$  x profundidad del barre  
no. Concentración de carga de columna =  $0.4$  x carga de fondo.

El bordo no debe exceder a:  $\frac{\text{Prof. de barrenacion} - 0.40}{2}$

Esta condición coincide con la limitación para bancos -  
bajos, donde el bordo máximo  $V_{max}$  no debe exceder la mitad de -  
la altura del banco:

$$V_{max} = \frac{K}{2}$$

Cuñas paralelas.

Como se ha mencionado antes, la aplicación de las cuñas  
paralelas se extiende a tuneles grandes. Esto depende de las ven-  
tajas que ofrecen las cuñas paralelas para la barrenación mecani-  
zada.

- Todos los barrenos tienen la misma longitud.
- Los brazos pueden trabajar independientemente y se puede distribuir la barrenación bien entre los brazos.
- Con los brazos con paralelidad automática se obtiene una barrenación perfecta solamente vigilando el emboquillado.
- Como el diagrama de barrenación coincide en el de su

perficie y en el fondo es más facil instruir a los perforistas.

La desventaja dominante de las cuñas paralelas es la elevada precisión de barrenación que requieren, especialmente en roca dura y avances largos.

Otra cosa importante es la concentración correcta de la carga, para evitar que se queme la roca por exceso de carga.

Hay una gran variedad de cuñas paralelas y normalmente el equipo de barrenación disponible indica el tipo de cuña. Si se cuenta con barrenos de un sólo diámetro se usa una cuña quemada con 3 o 4 barrenos sin carga.

A continuación se presentan dos cuñas quemadas comunes, la cuña Gronlund y la cuña de Costura tiene la ventaja de tener los barrenos en una línea, que facilita la barrenación.

Estos barrenos se cargan con una concentración de 0.65 a 0.70 kg. de explosivo por metro líneal del barreno.

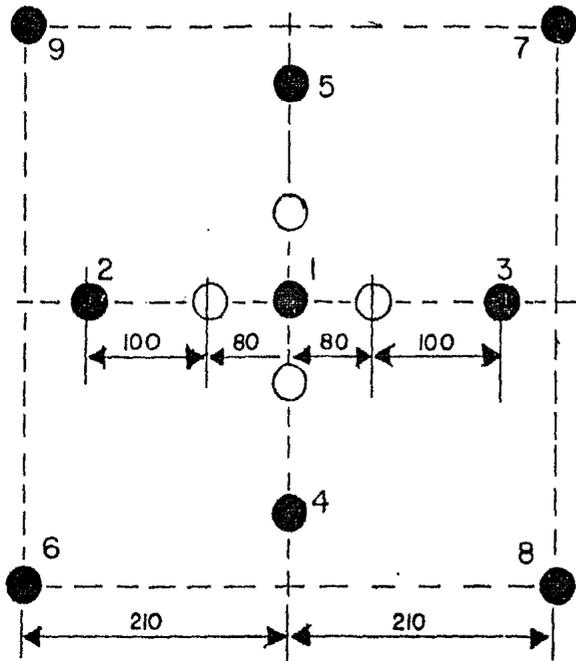


FIG. 69

Cuña Gronlund (los números indican solamente el orden de ignición.)

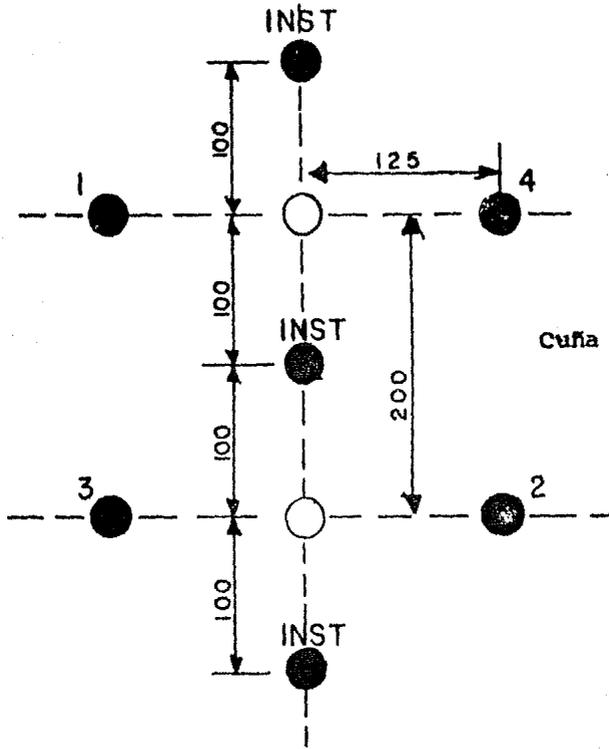


FIG. 70

Cuña de Costura.

### Cuñas Cilíndricas.

Para tener un avance máximo se usa las cuñas paralelas con uno o dos barrenos centrales de gran diámetro. En lo siguiente vamos a llamarlas cuñas cilíndricas. También se llama cuña paralela con barreno quemado. La base para el cálculo de una cuña cilíndrica es la relación entre el diámetro del barreno central y distancia y carga del primer barreno cargado.

En la siguiente tabla se da concentración de carga en kg/m. para cuñas cilíndricas y máxima distancia a cuando se dispara hacia barrenos vacíos con diámetros comprendidos entre 50 y 200 mm. El diámetro del barreno cargado varía entre 30 y 45 mm. La concentración de carga corresponde a Gelatina Extra 40%. Con otros explosivos se corrige en relación a la potencia por peso.

TABLA XV RELACIONES BASICAS PARA CUÑAS CILINDRICAS.

DIAMETRO DEL BARRENO CEN- TRAL.		2"									4"
mm.		50	2x57'	75'	83'	100'	2x75'	110'	125'	150'	200'
DIAMETRO DEL BARRENO CAR- GADO		CONCENTRACION DE CARGA									
Pulg.	mm.	Kg./m.									
1 3/6	30	0.20	0.30	0.30	0.35	0.40	0.45	0.45	0.50	0.60	0.80
1 1/2	37	0.25	0.35	0.35	0.40	0.45	0.53	0.53	0.60	0.70	0.95
1 3/4	45	0.30	0.42	0.42	0.50	0.55	0.65	0.65	0.70	0.85	1.10
	a mm.	90	150	130	145	175	200	190	220	250	330
Avance max. m.		1.6	3.0	2.9	3.1	3.6	3.9	3.9	4.3	4.8	6.0

La cuña en doble espiral es la más efectiva, pero se necesita un barreno central de mínimo 125 mm. para obtener un buen avance, lo que implica que el jumbo debe tener una perforadora especial para este barreno. Otra desventaja es que tiene una forma geométrica bastante complicada, que dificulta la barrenación. Sin embargo se usa el principio para la cuña Coromant. Esta cuña se puede barrenar con máquinas de pierna usando una plantilla de aluminio para guiar la barrenación. Con un accesorio especial se hacen dos barrenos con diámetro de 57 mm. en forma de un 8. Este hueco corresponde más o menos a un barreno de 75 mm.

La cuña Fagersta también se puede barrenar con máquinas de pierna. El barreno central de 75 mm., se hace en dos etapas, primero un barreno piloto y después una ampliación con una broca escariadora.

En las siguientes figuras se presentan algunos ejemplos de cuñas cilíndricas.

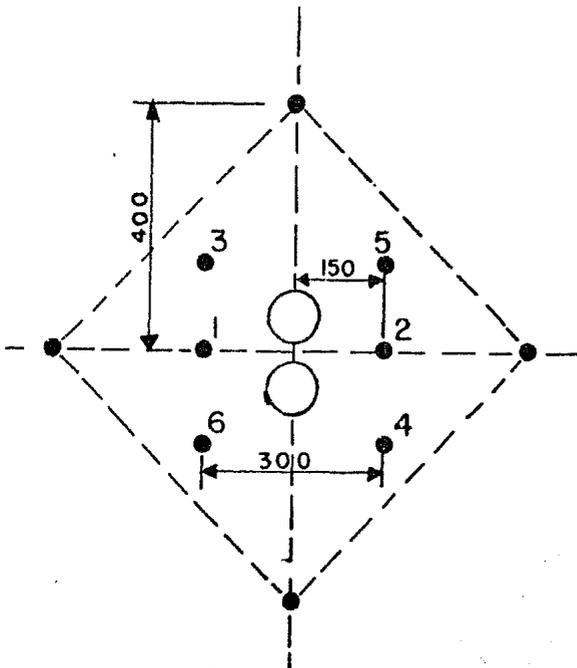


FIG. 71

Cuña cilíndrica con dos barrenos vacíos de 76 mm. de diámetro.

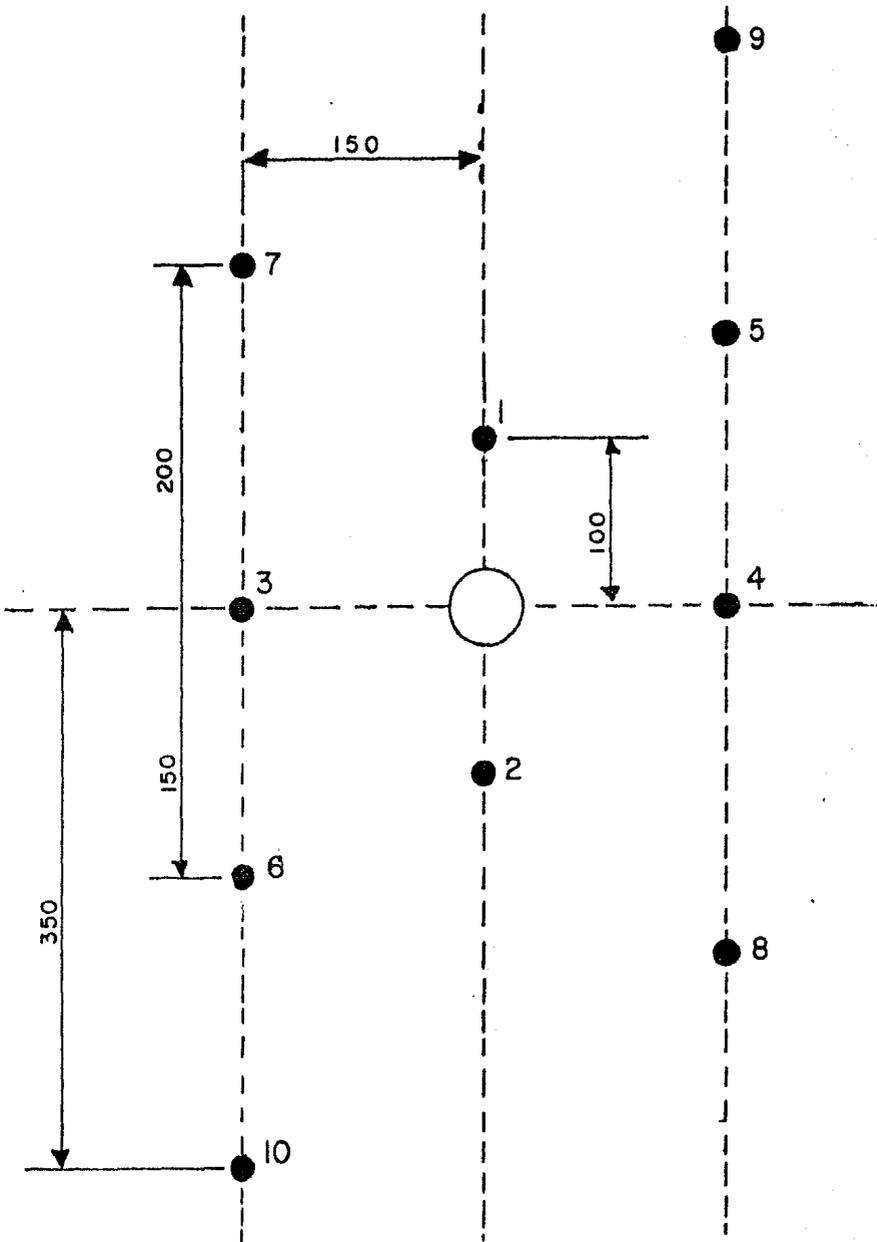


FIG. 72

Cuña Fagersta con un barrenó vacío de 76 mm. de diámetro.

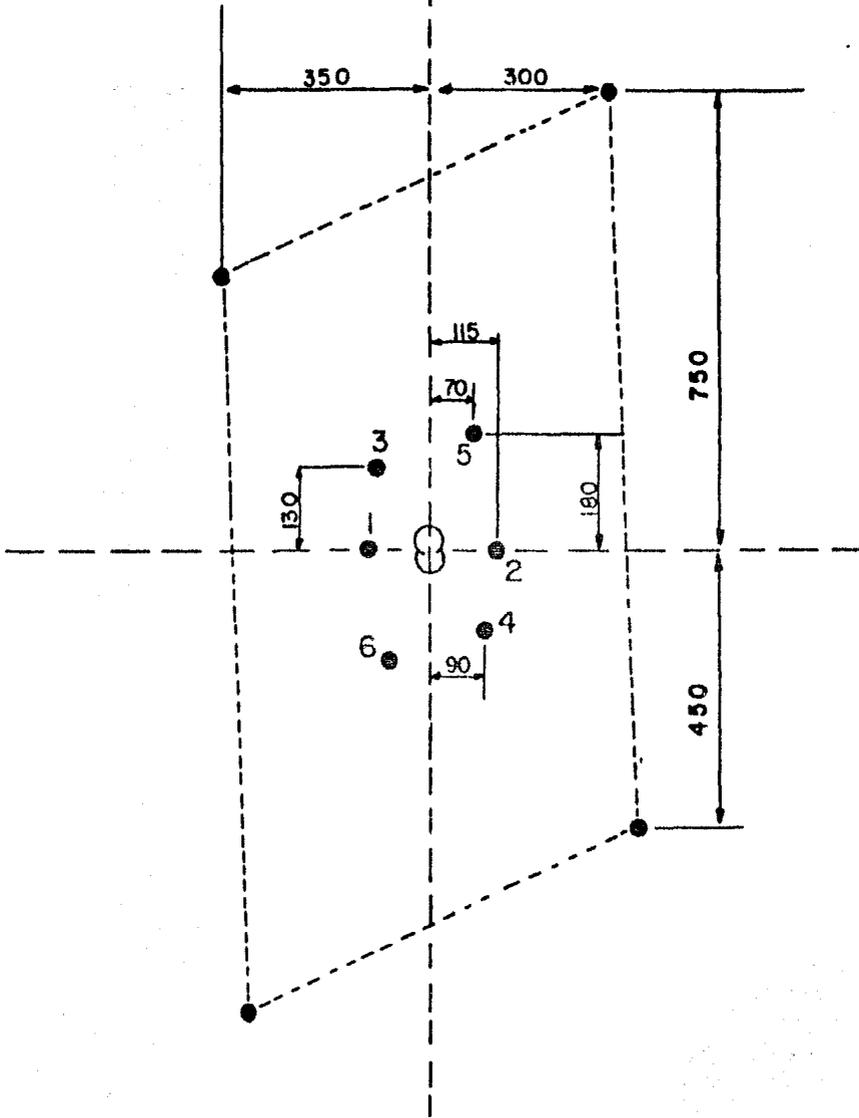


FIG. 73

Cuñia Coromant con dos barrenos vacíos de 57 mm., de diámetro. La barrenación se guía con una planta tilla de aluminio.

Para barrenación hasta 3.00 m.

Cálculo de Carga

Para hacer el cálculo de carga es necesario tener una -  
 apertura suficientemente grande para que los barrenos tengan salida  
 libre.

Cálculo de barrenos con salida por arriba u horizontal.

- Barrenos 5) y 7)

- Carga de fondo en una tercera parte del barreno.

- Bordo máximo =  $\frac{\text{Profundidad de Barreno} \cdot 0.4}{2}$  m

- Espaciamiento = 1.1 x bordo

- Concentración de carga de columna = 0.50 x carga de -  
 fondo.

Taco = 0.5 x bordo

Datos para barrenos con salida por arriba y horizontal  
 barrenos 5) y 7).

TABLA XVI

DIAM. DEL BA- RRENO.	PROFUN. DEL BA- RRENO.	BORDO	ESPA- CIA-- MIEN- TO.	CARGA DE FONDO		CARGA DE COLUMNA		TACO
				kq.	kq./m.	kq.	kq./m.	
mm.	m.	m.	m.	kq.	kq./m.	kq.	kq./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	0.45
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	1.44	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	2.30	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	1.35	3.40	2.60	2.70	1.30	0.60

Los datos anteriores son prácticos e incluyen compensación por errores normales de barrenación.

Se nota que aumenta la carga de fondo con el avance, es to se debe a la desviación de los barrenos y el hinchamiento.

Cálculo de los barrenos de piso.

Barreno 1)

Bordo y espaciamiento de los barrenos de piso se calculan como los barrenos arriba, pero es necesario tomar en cuenta la des viación por abajo de los barrenos. Si la desviación es 0.20 m. - en el fondo y el bordo 1.00 m. hay que emboquillar la primera hilerera de barrenos  $1.00 - 0.20 = 0.80$  m. arriba del arranque de los barrenos de piso. El taco se pone  $0.20 \times$  bordo. La carga de columna se aumenta a  $0.70 \times$  carga de fondo.

Datos para barrenos de piso Barreno 1).

TABLA XVII

DIAM. DEL BA RRENO.	PROFUN. DEL BA- RRENO.	ESPA-- CIA--- MIENTO.	BORDO	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	0.70	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

Cálculo de barrenos con salida hacia abajo

Barrenos 6)

Estos barrenos necesitan menor carga específica porque trabajan con la gravedad.

El espaciamiento se puede aumentar a 1.2 x bordo

Datos para barrenos con salida hacia abajo.

TABLA XVIII

DIAM. DEL BA RRENO.	PROFUN. DEL BA- RRENO.	BORDO	ESPA-- CIA--- MIENTO.	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	1.00	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 70 m<sup>2</sup> es posible de aumentar bordo y espaciamiento hasta los datos para banqueo.

Cálculo de barrenos de pared

Barreno 2)

Bordo más desviación de la barrenación es 0.09 x bordo para barrenos con salida hacia abajo. El espaciamiento es 1.2 x bordo.

La carga de fondo ocupa solamente una sexta parte del -  
barreno. Taco = 0.5 x bordo.

La concentración de carga de columna se reduce a 0.40 x  
carga de fondo.

Datos para barrenos de Pared.

TABLA XIX

DIAM. DEL BA- RRENO.	PROFUN. DEL BA- RRENO.	BORDO	ESPA-- CIA--- MIENTO.	CARGA DE FONDO.		CARGA DE COLUMNA.		TACO
mm.	m.	m.	m.	kg.	Kg/m	kg.	kg/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
31	3.2	0.80	0.95	0.50	0.95	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

Cálculo para los barrenos de techo.

Barreno 3)

Distribución de los barrenos como de pared.

La concentración de la carga de columna se reduce a -  
0.3 x carga de fondo.

Datos para barrenos de techo.

TABLA XX

DIAM. DEL BARRENO.	PROFUN. DEL BARRENO.	BORDO	ESPACIA- MIENTO.	CARGA DE FONDO.		CARGA DE COLUMNA.		TACO
mm.	m.	m.	m.	kg.	kg./m.	kg.	kg./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	2.4	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	2.30	1.95	0.90	0.55
51	3.2	1.15	1.40	1.40	2.60	1.70	0.80	0.60
51	4.0	1.15	1.40	1.70	2.60	2.25	0.80	0.60

Diagrama de barrenación.

Para el diseño del diagrama de barrenación se usan las tablas, adaptando bordos y espaciamentos a las condiciones geométricas del túnel. El procedimiento se muestra más fácil en un ejemplo.

Ejemplo de diagrama de barrenación.

El túnel que vamos a calcular tiene los siguientes datos:

- Cuña cilíndrica con 2 barrenos vacíos con el diámetro - de 76 mm.
- Diámetro de la barrenación = 31 mm
- Profundidad de la barrenación = 3.2 m.
- Explosivo: Gelatina Extra 40%
- Postcorte no requerido.

Ancho = 8.00 m  
Altura = 5.65 m  
Avance previsto 90% = 2.90 m.

Secuencia del cálculo.

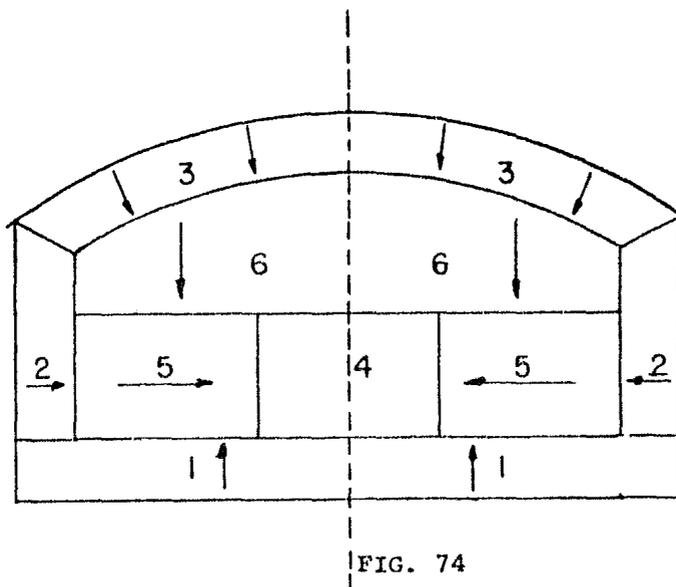


FIG. 74

Clave: 1 Barreno de piso, 2 barrenos de pared, 3 Barrenos de Techo, 4 cuña y sus ayudantes, 5 Barrenos con salida horizontal, 6 Barrenos con salida hacia abajo.

La figura arriba muestra como se puede localizar los barrenos en el diagrama. Las zonas marcadas para los barrenos perimetrales son el bordo menos la desviación.

La cuña y sus ayudantes se coloca a la distancia adecuada a los barrenos de piso.

1. Barreno de piso (ver la tabla correspondiente).

La desviación es 0.10 m. para máquinas de pierna

Bordo-desviación= 0.90- 0.10 = 0.80 m.

Espaciamiento según tabla = 0.95 m.

Distribuido en el ancho del túnel  $\frac{8}{0.95} = 8.4 = 9$

Espaciamientos: extremos  $2 \times 0.85 = 1.70$  m  
internos  $7 \times 0.90 = \frac{6.30}{8.00}$  m

Carga de fondo = 1.00 kg.  
Carga de columna = 1.30 kg.

## 2. Barrenos de Pared.

Bordo-desviación =  $0.80 - 0.10 = 0.70$  m

Espaciamiento = 0.95 que se distribuye en la altura de la pared- la zona del piso  $4.0 - 0.8 = 3.2$  m.

Espaciamientos  $\frac{3.2}{0.95} = 3.4 = 4$

Espaciamiento actual  $\frac{3.2}{4} = 0.80$  m

Carga de Fondo = 0.50 kg.

Carga de Columna = 0.90 kg.

## 3. Barrenos de Techo

Bordo - desviación =  $0.80 - 0.10 = 0.70$  m.

Espaciamiento = 0.95 que se distribuye en el arco del

techo  $8.5\text{m} \cdot \frac{8.5}{0.95} = 9$

Espaciamiento = 0.95 m.

Carga de Fondo 0.50 kg.

Carga de Columna 0.70 kg.

## 4. La cuña y sus ayudantes.

En los seis barrenos de la cuña se pone una carga de fondo de 0.1 kg. y una carga de columna de 0.75 kg. con la concentración de 0.25 kg/m.

Los ayudantes tendrán la siguiente carga:

TABLA XXI

BORDO m.	CARGA DE FONDO kg.	CONCENTRACION DE CARGA DE COLUMNA KG./M.			
		31	38	45	48
0.20	0.25	0.30	0.45	0.60	0.75
0.30	0.40	0.30	0.45	0.60	0.75
0.40	0.50	0.35	0.50	0.70	0.80
0.50	0.65	0.50	0.70	1.00	1.15
0.60	0.80	0.50	0.70	1.00	1.15
0.70	0.90	0.50	0.70	1.00	1.15

Taco =  $0.5 \times \text{bordo}$

Ayudantes con bordo mayor de 0.70 m. se carga como barrenos con salida horizontal.

Plan de cuña y ayudantes con los estopines marcados.

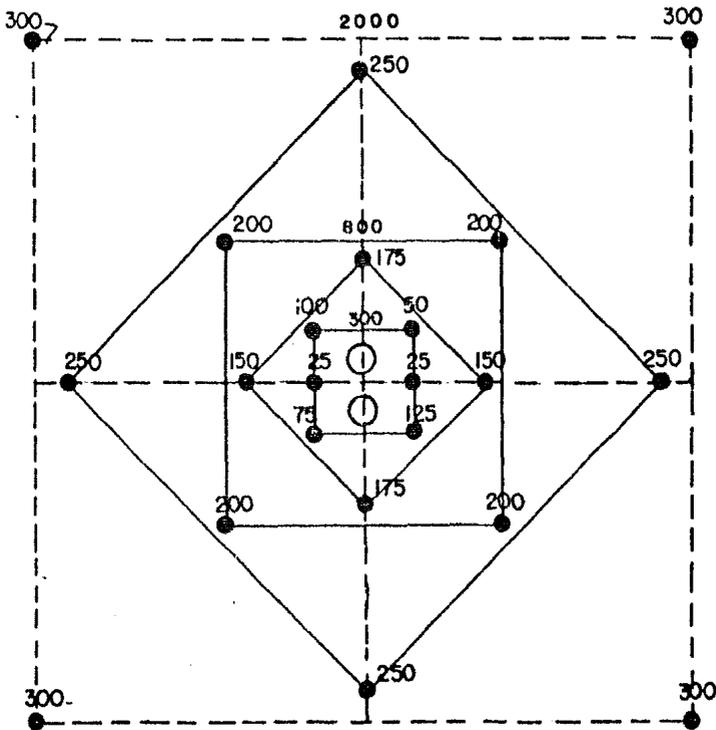


FIG. 75

Se marca el cuadro de 2 x 2 m. en el diagrama.

5. Barrenos con salida horizontal

Bordo = 0.90

Espaciamiento = 0.95

Cuando se coloca en el espaciamento libre el bordo sale = 0.77 m. y el espaciamiento = 1.0 m.

Carga de fondo = 1.0 kg.

Carga de Columna = 0.85 kg.

6. Barrenos con salida hacia abajo

Bordo = 0.90 m

Espaciamiento = 1.10 m.

Se coloca los barrenos uniformemente en el espacio que queda.

Resultado: El diagrama de barrenación y los datos principales.

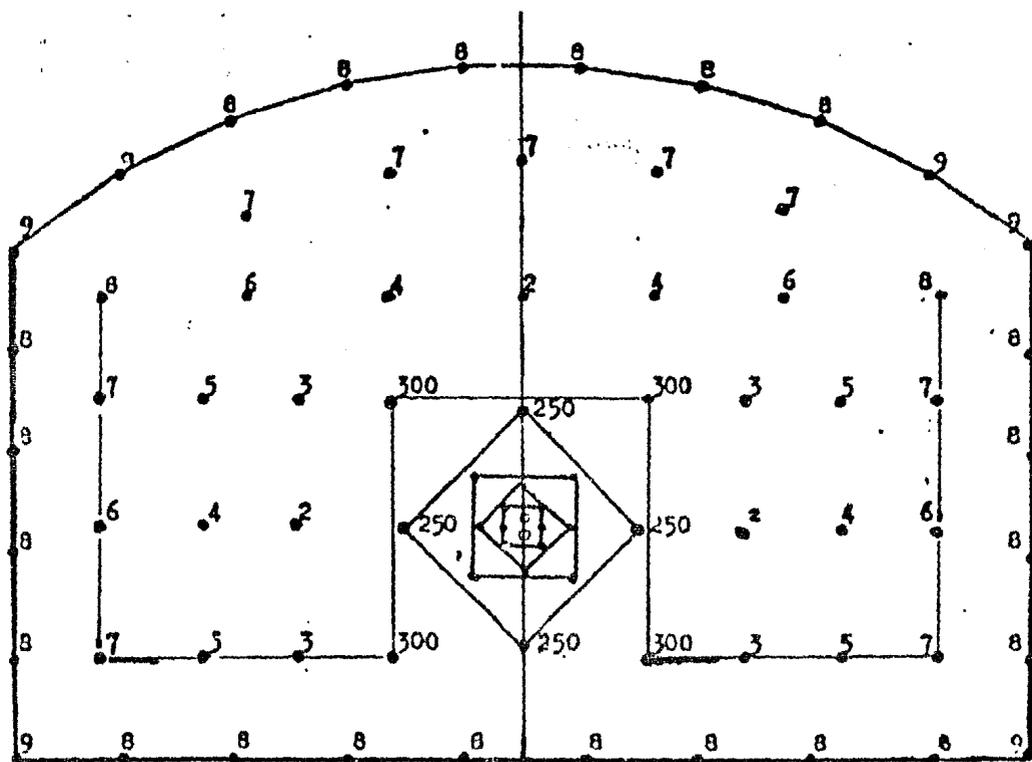


FIG. 76

TABLA XXII

BARRENO	TIPO DE BARRENO	PROFUNDIDAD	NUM. DE BARRENOS	CARGA DE FONDO	CARGA DE COLUMNA		CARGA POR BARRENO	CARGA TOTAL
INST MS 25-125	Cuña	3.2	6	0.10	0.75	0.25	0.85	5.10
MS 150-175	Ayudantes	3.2	4	0.25	0.85	0.30	1.10	4.40
MS 200	Ayudantes	3.2	4	0.45	0.90	0.35	1.35	5.40
MS 250	Ayudante	3.2	4	0.75	1.00	0.50	1.75	7.00
MS 300	Ayudante	3.2	4	1.00	0.85	0.50	1.85	7.40
A 2-8	Interiores	3.2	30	1.00	0.85	0.50	1.85	55.50
A 8	Paredes	3.2	8	0.50	0.90	0.40	1.40	11.20
A 8-9	Techo	3.2	10	0.50	0.70	0.30	1.20	12.00
A 8-9	Piso	3.2	10	1.00	1.30	0.20	2.30	23.00
		256.00	80					131.00

$$\text{Volumen por tronada} = 40 \times 2.9 = 116 \text{ m}^3$$

$$\text{Carga específica} = \frac{131.00}{116} = 1.13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Barrenación específica} = \frac{256}{116} = 2.21 \frac{\text{m.b.}}{\text{m}^3}$$

#### 4.6 Ademe en Roca.

Los ademes se pueden dividir en dos grupos:

- a) Primarios o Temporales, cuya función principal es -- mantener la estabilidad de la excavación durante la construcción
- b) Secundarios o Definitivos, con los cuales se da el acabado y protección final a la excavación.

Aquí se presentan en forma breve, los métodos más usados para el análisis y diseño de sistemas de soporte, principalmente el de los ademes primarios:

Cargas sobre sistemas de soporte.

Estado Natural de esfuerzos.

Antes de iniciar cualquier obra subterránea, es necesario realizar una serie de estudios tendientes a conocer el estado natural de esfuerzos de la roca, ya que el diseño de las obras -- que se hagan deberá considerar, en forma muy importante, tanto el estado natural como el que se desarrolla durante y después de la construcción de dichas obras.

Como primera aproximación y parece justificado suponer que el esfuerzo vertical  $\sigma_v$  en un punto, dentro de la masa, es igual al peso del material que sobreyace dicho punto, o sea:

$$\sigma_v = \gamma h$$

El conocimiento del esfuerzo horizontal  $\sigma_h$  en una roca es un problema bastante difícil. En algunos casos se supone -- que es una función del esfuerzo vertical y de la relación de Poisson  $\nu$ , según las relaciones de la elasticidad:

$$\sigma_h = k_0 \sigma_v \quad \text{y} \quad k_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$$

el coeficiente  $k_0$  varía entre 0 y 1 para los valores extremos de la relación de Poisson  $\nu=0$  y  $\nu=0.5$

Gran número de formaciones rocosas se encuentran plegadas; ello indica que han estado sujetas a esfuerzos horizontales mayores que los verticales y se deduce que la roca ha desarrollado un estado de esfuerzos que muy poco se parece a la hipótesis - que se ha hecho anteriormente. En la práctica, puede suceder que  $\sigma_h$  sea mayor que  $\sigma_v$ .

Por lo expuesto, se concluye que, en principio, en el interior de un macizo rocoso puede existir cualquier distribución de esfuerzos. Se puede establecer en forma general, que el esfuerzo lateral varía entre 0.5 y 2.0 veces el esfuerzo vertical.

#### Cambios de esfuerzos producidos por la Construcción.

Un macizo rocoso que no haya sido alterado por obras - hechas por el hombre se encuentra bajo un cierto estado de esfuerzo; el proceso de excavación de una obra subterránea produce nuevos estados de esfuerzos que serán función de las diferentes etapas de construcción.

Es importante considerar asimismo, que la construcción de un túnel no sólo cambia las condiciones de esfuerzo, sino que en muchos casos las condiciones de la roca misma. Tal es el caso de las explosiones que comunmente fracturan y reducen la resistencia de la roca al rededor del túnel. Si para lograr un equilibrio es necesario colocar algún sistema de soporte, se deberán considerar como factores importantes, el tiempo, la forma de colocación del soporte y sus características de deformación.

#### Estados de esfuerzos alrededor de cavidades.

Existen varias teorías que proporcionan el valor de los esfuerzos que se producen alrededor de cavidades.

El estado de esfuerzo alrededor de una cavidad depende principalmente de los siguientes factores:

1. La forma de la cavidad
2. El estado de esfuerzos antes de hacer la cavidad
3. Las características mecánicas de las masas de roca que son afectadas por la cavidad
4. El tiempo que transcurre después de haber hecho la cavidad.

La determinación de dicho estado de esfuerzos es, salvo en algunos casos, un problema de muy difícil solución.

Existen varias teorías, que utilizando ciertas hipótesis permiten conocer dicho estado de esfuerzos. Entre las más comunes se encuentran las teorías de elasticidad, plasticidad y viscoelasticidad. Tradicionalmente se han utilizado las soluciones analíticas que proporcionan dichas teorías, ya sea mediante fórmulas, tablas o gráficas.

Recientemente, el uso extensivo de las computadoras ha permitido aplicar al problema del análisis de esfuerzos, técnicas modernas de análisis numérico, como el método del elemento finito, que proporciona valores de esfuerzos y deformaciones, considerando variables que antes no se podían considerar, tales como:

1. Formas muy irregulares
2. Propiedades esfuerzo-deformación de tipo especial como anisotropía y no linealidad;
3. Heterogeneidad
4. Efectos del tiempo, y otras más zinckiewicz (1971) presenta en forma detallada la aplicación de este método.

A continuación se describen brevemente las hipótesis; y algunos resultados que se obtienen de la aplicación de las teorías de elasticidad y de plasticidad.

### Teoría Elástica.

La teoría de la elasticidad puede utilizarse para encontrar la distribución de esfuerzos alrededor de un orificio excavado en un material que cumpla con las restricciones que a continuación se establecen:

- a) la roca homogénea
- b) la roca es isotrópica con respecto a su propiedades elásticas.
- c) la respuesta de deformación de la roca es instantánea con respecto a un cambio de esfuerzos
- d) la relación entre esfuerzos y deformaciones es lineal.
- e) los esfuerzos nunca exceden los límites elásticos de la roca.

Estas hipótesis, son tolerables en cavidades que están localizadas a gran profundidad en una roca química y mecánicamente inalterada tal como el granito. El uso de la teoría de la elasticidad permite obtener los esfuerzos radiales  $\sigma_r$  y tangenciales  $\sigma_\theta$  para las condiciones de frontera dadas.

La figura 77 muestra la distribución de esfuerzos dentro de la masa de roca en el caso de una cavidad circular, en la que antes de la excavación, el esfuerzo vertical  $p_z$  es igual al esfuerzo horizontal  $p_h$ .

En esa figura se ha dibujado con línea continua la distribución de esfuerzos correspondientes a una condición de presión interior  $p_i$  igual a cero, y con línea segmentada el caso en que exista presión interior  $p_i \neq 0$ . Asimismo, se presentan las ecuaciones que dan el estado de esfuerzos.

Estas ecuaciones se deducen de la solución de LAME para un cilindro hueco de pared gruesa sometido a presiones uniformes tanto exteriores como interiores.

Aunque aquí se ha presentado el caso de una cavidad circular con distribución hidrostática de presiones, cabe decir que existen soluciones para geometrías y otras relaciones de presiones  $p_h/p_z$ .

Para el caso del túnel circular, en la fig. 78 se indica la variación de los esfuerzos tangenciales con respecto a la relación  $k_0 = p_h / p_z$ .

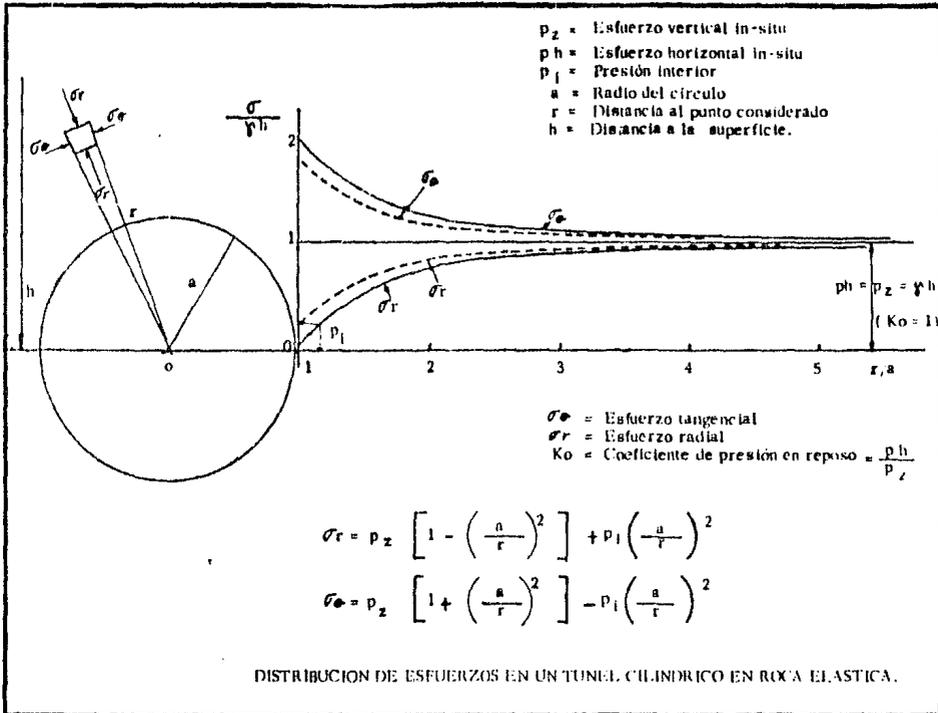


FIG. 77

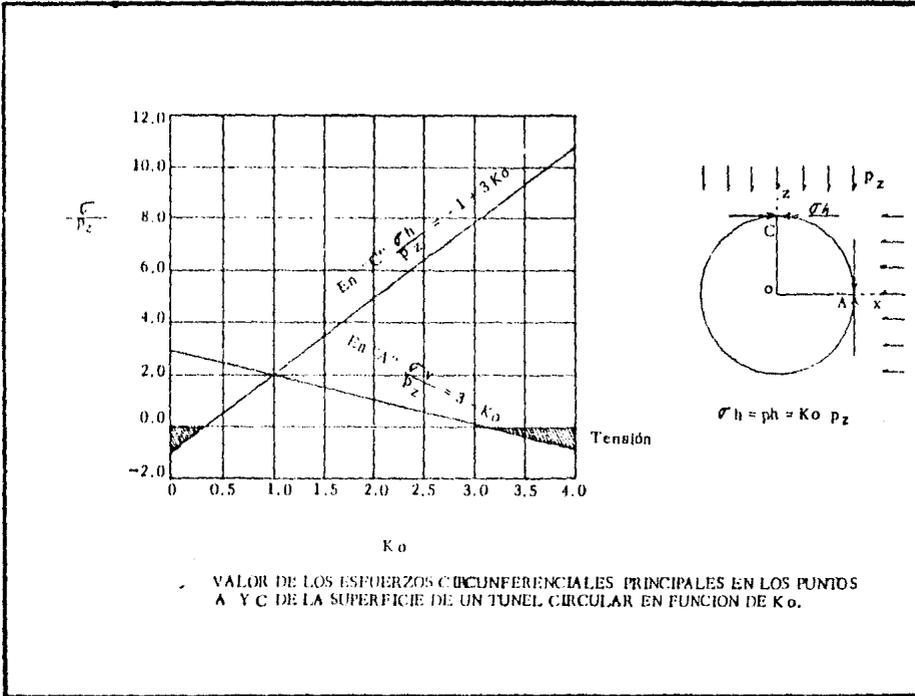


FIG. 78

Aceptando las hipótesis previas, sobre el valor del esfuerzo vertical  $p_z = \gamma h$  y, considerando un estado de esfuerzos tridimensional se tendrá que la deformación unitaria horizontal es:

$$Eh = \frac{1}{\epsilon} [p_h - \nu (p_z + p_h)]$$

si esta deformación es nula existirá un estado de esfuerzos planos y el esfuerzo horizontal se determina como sigue:

$$p_h - \nu (p_z + p_h) = 0 \quad p_h = p_z \frac{\nu}{1 - \nu}$$

y según se definió anteriormente:

$$k_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

considerando el valor de  $\nu = 0.20$ , representativos de algunas condiciones comunes, el valor del coeficiente es

$$k_0 = \frac{0.2}{0.8} = 0.25$$

en base a este valor de  $k_0$ , se presenta en las Figs. 79 y 81 la distribución de esfuerzos en túneles de sección elíptica, considerando la sección circular como un caso particular y en la Fig. 82 la distribución de una sección de tipo "herradura". En todos esos casos se supone que las dimensiones del túnel son pequeñas en comparación con la profundidad.

#### Teoría Plástica.

Cuando la magnitud de los esfuerzos excede el límite elástico del material, se genera una zona plástica al rededor de la excavación que se profundiza en la roca, hasta que la reducción de esfuerzos que se tiene al alejarse de la excavación sea tal, que los esfuerzos actuantes sean nuevamente menores que el límite elástico.

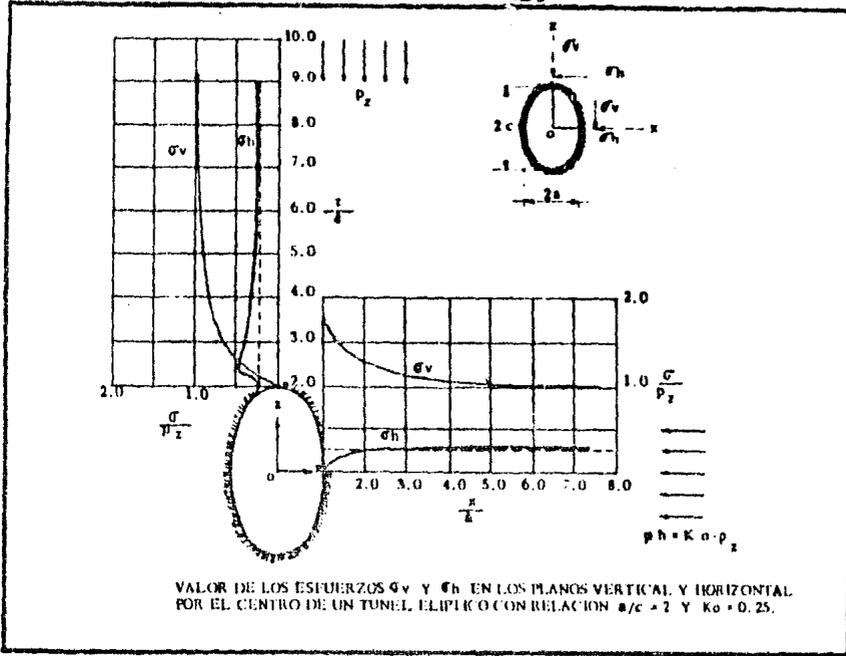


FIG. 79

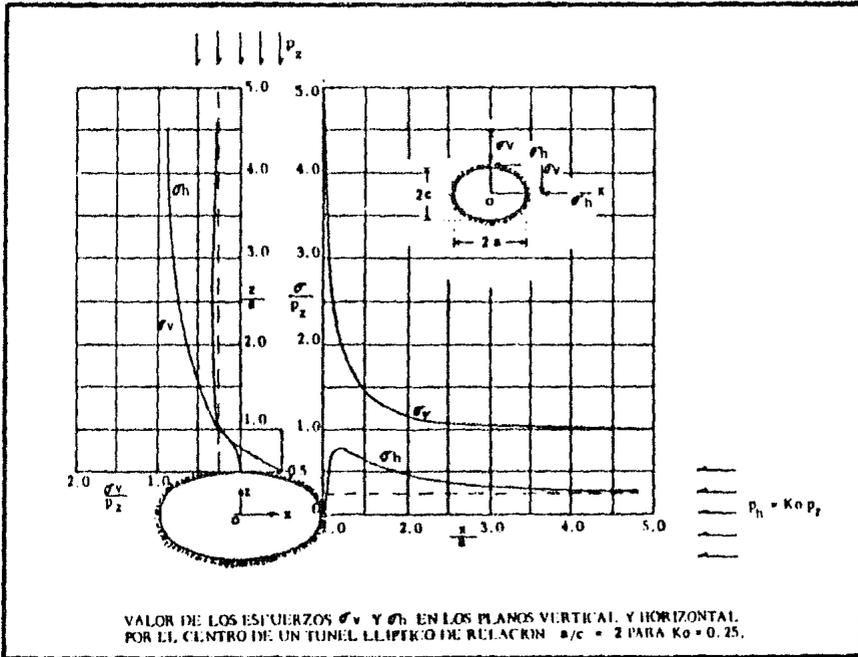


FIG. 80

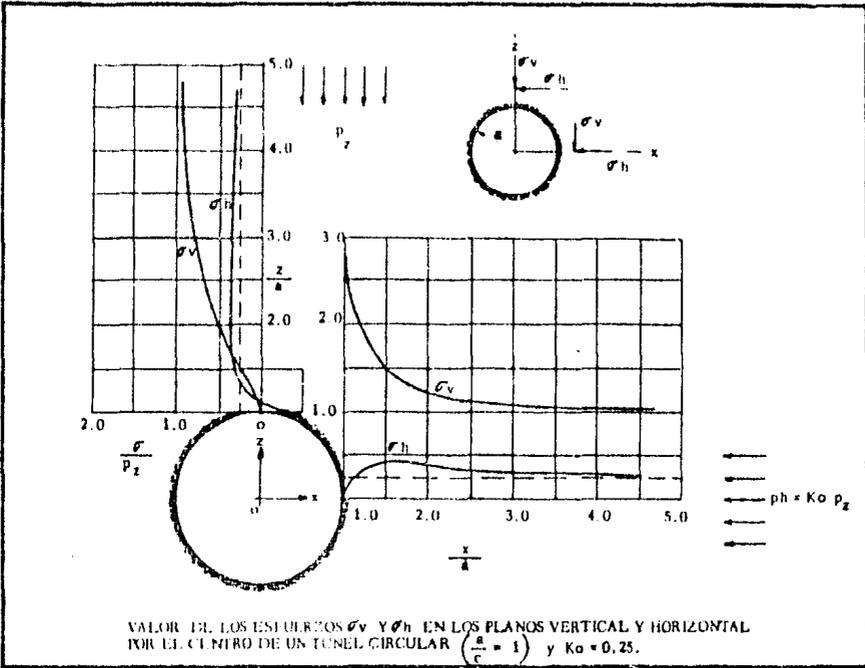


FIG. 81

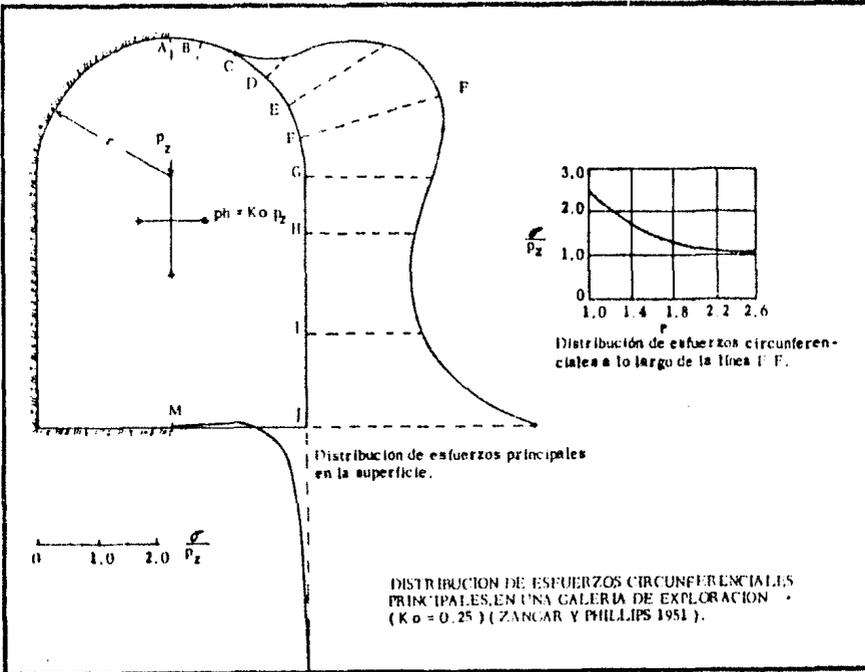


FIG. 82

Uno de los primeros intentos para mejorar la aplicación de las soluciones teóricas al cálculo de los esfuerzos alrededor de un túnel, consiste en considerar las propiedades elastoplásticas del medio.

El caso más simple para el análisis de un túnel circular es el caso que considera que  $p_h = p_v = p_e$ , es decir,  $k_0=1$ . Asimismo, se puede suponer un criterio de falta tipo Mohr-Coulomb con cohesión "c" y ángulo de fricción interna  $\phi$  diferentes de cero, tal como

$$s = c + p \tan \phi .$$

La resistencia "s" del material en la pared de la excavación, donde el esfuerzo radial es nulo, es igual a la dada por una prueba de compresión simple. En el interior del macizo rocoso la resistencia se incrementa debido al confinamiento, es decir; es igual a la dada por una prueba de compresión triaxial.

Es evidente que si se aplica una presión interna en la excavación, que puede estar dada por algún sistema de soporte, -- aumentará el confinamiento y con ello la resistencia al corte, -- luego el espesor de la zona plástica se reducirá.

El radio de la zona, plástica depende del nivel de esfuerzos, de la presión interior y de las constantes C y  $\phi$  (en las Figs. 83,84 y 85 se muestra la influencia de éstos parámetros en el caso considerado)

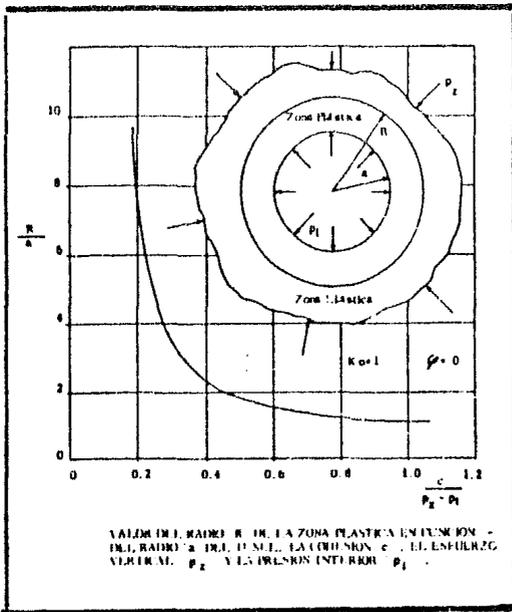


FIG. 83

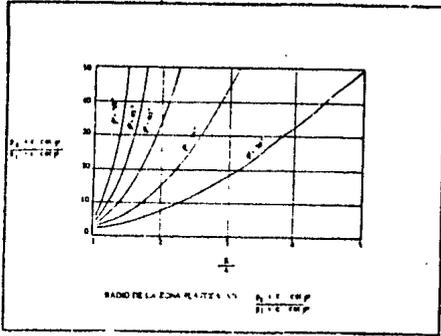


FIG. 84

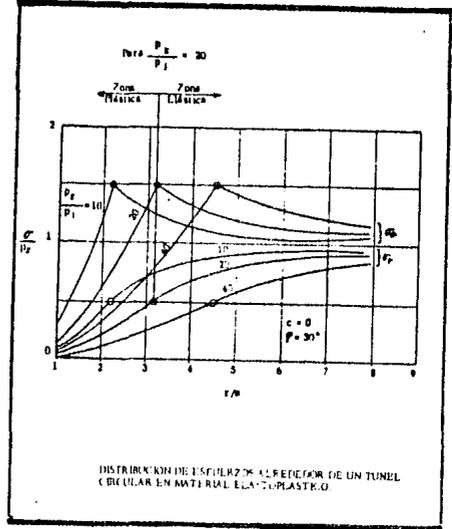


FIG. 85

### Análisis de cargas sobre ademes.

Las cargas sobre los sistemas de soporte se puede determinar mediante el conocimiento del estado de esfuerzos al rededor de túneles y excavaciones subterráneas que proporcionan las teorías de la elasticidad, de la plasticidad y los métodos numéricos. Así por ejemplo, mediante el uso de la teoría de la elasticidad, se pueden obtener las zonas de tensión sobre la clave de un túnel y se podrán diseñar sistemas de soporte capaces de evitar desprendimientos o sobre excavaciones importantes. La teoría de la plasticidad nos permite determinar el esfuerzo que es necesario poner como presión interior en los ademes utilizados en materiales con criterio de falla tipo Mohr-Coulomb y limitar así los esfuerzos en el medio y el espesor de la roca plástica. La aplicación de estas teorías está limitada a aquellos casos en que se cumplen, aproximadamente las hipótesis supuestas.

Existen por otro lado, varios métodos empíricos basados en la experiencia de construcción y en las observaciones sobre comportamiento de obras subterráneas.

Dichos métodos toman en cuenta no sólo aspectos geométricos, sino también las condiciones especiales de los materiales involucrados como el efecto del tiempo, del agua, las características de los ademes y otros. Uno de esos métodos que ha demostrado su utilidad en la práctica, es el desarrollado por Karl Terzaghi (1946).

### Método de Terzaghi

Terzaghi supone un mecanismo de transmisión de carga de la roca a los soportes y define como carga de roca, el peso de la masa de roca que tiende a desprenderse del techo del túnel y que debe ser soportada por el ademe. El valor de la carga de roca va ría entre límites cuya frontera no queda muy bien definida y depende de la clase de roca (la Fig. 86 presenta las recomendaciones de Terzaghi para las cargas de diseño de la estructura de soporte).

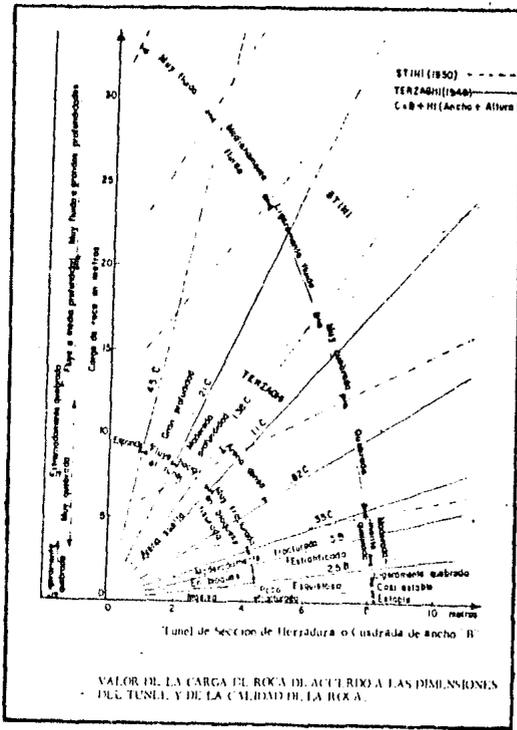


FIG. 86

La tabla XXXIII presenta las recomendaciones de Terzaghi - comparadas con otras cargas de roca sugerida por Bierbaumer (1913) y por Stini (1950).





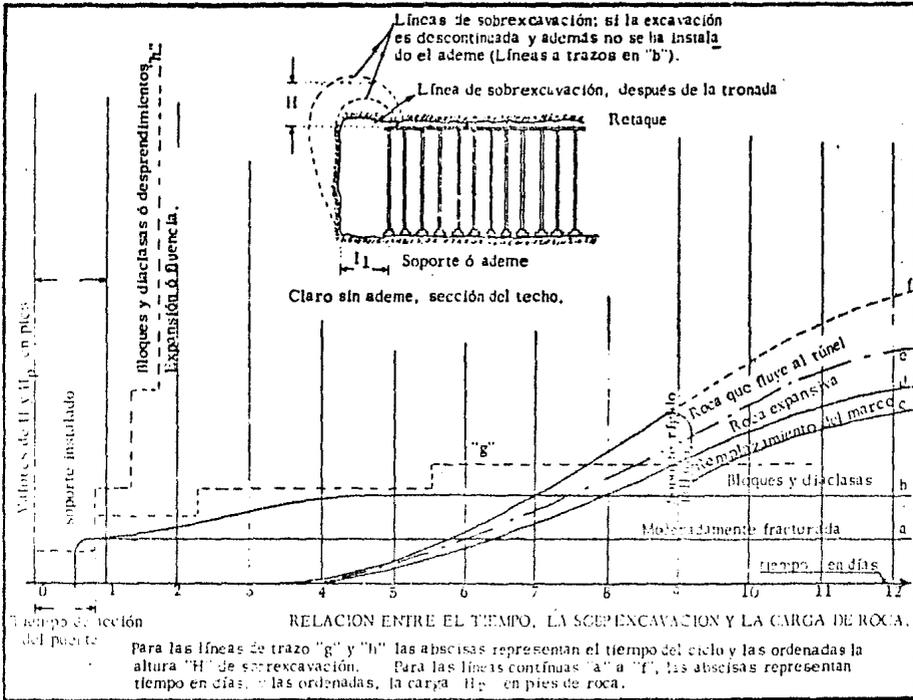


FIG. 88

principales tipos de ademe.

#### Marcos

Dependiendo de las características de la roca y del tamaño del túnel a excavar, se puede decidir si el ademe se deberá proporcionar con marcos metálicos o de madera.

Aunque en túneles de gran sección transversal se puede utilizar ademe de madera, es recomendable utilizar marcos metálicos debido a la facilidad de colocación y amplio espacio libre que deja, ya que el de madera es necesario colocarlo formando una estructura muy elaborada que incrementa la posibilidad de falla. Sin embargo, en secciones pequeñas se emplean marcos de madera.

El ciclo de excavación comprende las siguientes operaciones: barrenación, carga, voladura, ventilación, rezaga y colocación del soporte.

Entre el momento de la voladura y el de colocación del ademe pueden fácilmente transcurrir dos o más horas, por lo que es necesario definir el tiempo máximo que puede permanecer el túnel sin ademar.

En túneles largos donde el procedimiento de excavación puede variar desde sección completa hasta túnel piloto, dependiendo de las características geológicas, es conveniente que los marcos estén formados por varias partes, de tal forma que se incremente su versatilidad. En la Fig. 89 se indican las partes de que consta un marco de ademe para una sección de excavación de herradura.

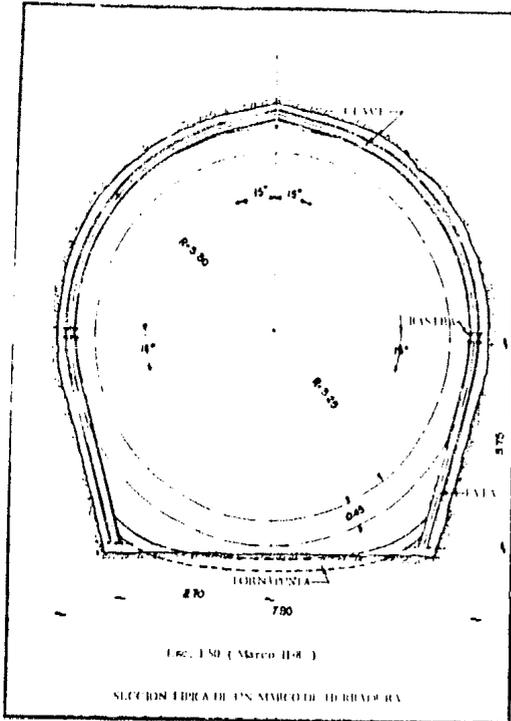


FIG. 89

Al colocar el marco es necesario "acufiarla" con madera contra el terreno, con el objeto de lograr que las cargas de la roca se transmitan como concentraciones en la estructura de sop

te. Conocidas dichas cargas, es fácil hacer el análisis del marco por cualquiera de los procedimientos de resistencia de materiales. En las tablas XXIV y XXV se muestran las capacidades de carga de marcos metálicos.

Estas tablas están relacionadas con la Fig. 90.

### Anclas

Durante los últimos veinte años el uso de anclas se ha popularizado, principalmente en las excavaciones en rocas relativamente sanas. No existe un método de diseño que sea aceptado por todos, en lugar de ello, se determinan los mecanismos de falla de la roca y se calcula el número y capacidad de anclas para evitarlo. El principio general del anclaje de las rocas es hacer que ésta forme parte de la estructura de soporte, es decir, que se auto soporte a excepción de cuando las anclas soportan fragmentos sueltos de roca. Para que esto suceda efectivamente las anclas se deberán colocar inmediatamente después de abrir la excavación.

De una manera muy simple se puede considerar que las anclas soportan la roca de las excavaciones subterráneas mediante cuatro mecanismos distintos.

1. Por suspensión. Es el caso en que se colocan anclas para asegurar fragmentos de roca que pueden caerse hacia la excavación.
2. Formación vigas. Este proceso se presenta principalmente en las excavaciones en rocas estratificadas. Las anclas unen entre sí a varios estratos que tienen pequeñas o nula adherencia entre ellos, formando así una viga capaz de auto soportarse y de soportar la roca que yace sobre ella.
3. Reforzando excavaciones que se auto soportan en las zonas donde se presenten concentraciones de esfuerzos ya sean de compresión, tensión o corte. Estos esfuerzos pueden ser causados por la geometría de la excavación o por los métodos de construcción y se determinan mediante el uso de las teorías de elasticidad y plasticidad, si son aplicables.

CAPACIDAD DE CARGA DE MARCOS CONTINUOS

TABLA XXIV

CAPACIDAD EN LIBRAS POR PIE DE ANCHO DEL TUNEL. LEFIERZO MAXIMO - 27 000 lb/pulg<sup>2</sup>

VIGA Peralte nominal. Ancho del patin y Tipo	Peso en lb/pie	Ancho del túnel, medido a la cara extrema de diseño del concreto															
		14'-0" 40"	16'-0" 42"	18'-0" 44"	20'-0" 46"	22'-0" 48"	24'-0" 50"	26'-0" 52"	28'-0" 54"	30'-0" 56"	32'-0" 58"	34'-0" 60"	36'-0" 62"	38'-0" 64"	40'-0" 66"	42'-0" 68"	44'-0" 70"
4" I	7.7	3090	2760														
4" x 4" H	13.0	5380	4850	4400	4020												
5" I	10.0	4530	4070	3690	3360												
5" x 5" Stanchion	16.0	7780	7000	6330	5770												
5" x 5" H	18.9	8840	7940	7190	6550												
6" I	12.5	6290	5660	5110	4650	4260											
6" I	17.25	7990	7180	6490	5920	5430	5010										
6" x 4" Light Beam	12.0	6200	5560	5020	4570	4200											
6" x 4" H	16.0	8480	7600	6870	6270	5740	5300										
6" x 6" Stanchion	15.6	8340	7500	6780	6180	5660	5230										
6" x 6" H	20.0	10740	9630	8710	7930	7270	6700	6220	5780								
6" x 6" H	25.0	13270	11890	10770	9800	8980	8280	7680	7140	6670							
7" I	15.3		6740	6130	5610	5190											
8" I	18.4			8590	7820	7170	6610										
8" I	23.0			10240	9330	8550	7890	7310	6790	6340	5940	5580	5250				
8" x 4" Light Beam	15.0			7110	6470	5930	5470										
8" x 8" H	34.3			16820	15310	14020	12940	12000	11160	10410	9750	9170	8640	8180	7740	7350	6990
8" x 5 1/4" W.F.	17.0			8230	7510	6880	6360	5890									
8" x 5 1/4" "	20.0			9820	8940	8160	7550	7010	6500	6070							
8" x 6 1/2" "	24.0			11920	10860	9930	9170	8500	7900	7380	6920	6490	6120	5790	5490		
8" x 6 1/2" "	28.0			14010	12670	11600	10710	9930	9220	8610	8070	7580	7150	6770	6410		
8" x 8" "	31.0			15560	14160	12970	11970	11090	10300	9630	9020	8470	7990	7560	7150	6790	6470
8" x 8" "	35.0			17590	16030	14750	13540	12550	11670	10900	10200	9600	9040	8550	8100	7680	7310
8" x 8" "	40.0			20100	18300	16750	15470	14330	13320	12430	11650	10960	10330	9760	9250	8770	8530
8" x 8" "	48.0				22090	20240	18670	17310	16080	15030	14070	13230	12480	11690	11070	10510	10000
8" x 8" "	58.0					24410	22530	20890	19390	18120	17000	15990	15070	14240	13500	12810	12180
8" x 8" "	67.0					28240	26090	24190	22470	20980	19650	18470	17410	16480	15610	14800	14110
8" x 8" "						10810	9970	9240	8580	8020	7510	7060	6660	6300	5970	5670	5400
10" I	25.4					14080	12990	12080	11180	10450	9790	9100	8670	8200	7760	7370	7010
10" I	35.0					19250	18530	17900	17330	16850	16420	16040	15690	15390	15100	14850	14610
10" x 5 3/4" W.F.	21.0					11100	10260	9510	8840	8260	7740	7280	6860	6510	6180	5860	5580
10" x 5 3/4" "	25.0					14770	13590	12610	11730	10960	10270	9650	9100	8610	8160	7750	7380
10" x 8" "	33.0					17590	16220	15030	13960	13040	12230	11490	10840	10260	9720	9240	8790
10" x 8" "	39.0					20380	18760	17380	16170	15100	14150	13310	12550	11870	11250	10690	10170
10" x 8" "	45.0						20580	19090	17740	16570	15550	14610	13780	13030	12350	11730	11170
10" x 10" "	49.0						22720	21090	19590	18300	17170	16130	15220	14390	13650	12960	12330
10" x 10" "	54.0						26070	25760	23940	22350	20960	19710	18580	17570	16660	15830	15060
10" x 10" "	66.0									15940	14940	14050	13260	12540	11890	11310	10750
12" x 8" "	45.0									18980	17800	16740	15790	14940	14170	13450	12820
12" x 10" "	53.0											23380	21940	20620	19450	18420	17470
12" x 12" "	65.0															16590	15810

Los valores indicados son para esfuerzos de 27 kips (27,000 lb/pulg<sup>2</sup>)  
Para 24 kips multiplíquese por 0.889

Tabla XXV CAPACIDAD DE CARGA DE MARCOS DE CLAVE CON RASTRAS  
ESTUERO MAXIMO 27 000 lb/pulg<sup>2</sup>  
CAPACIDAD EN LIBRAS POR PIE DE ANCHO DE TUNEL

VIGA		Ancho del tunel, medido a la cara extrema de diseño del concreto																
Peralte nominal, Ancho del patín y tipo	Peso en lb/lineal	12'-0" 40"	14'-0" 42"	16'-0" 44"	18'-0" 46"	20'-0" 48"	22'-0" 50"	24'-0" 52"	26'-0" 54"	28'-0" 56"	30'-0" 58"	32'-0" 60"	34'-0" 62"	36'-0" 64"	38'-0" 66"	40'-0" 68"	42'-0" 70"	
		Espaciamiento máximo																
4" I	7.7	3090	2780															
4" x 4" H	13.0	5380	4850	4400	4020													
5" I	10.0	4530	4070	3690	3360													
5" x 5" Stanchion	16.0	7780	7000	6330	5770													
5" x 5" I	16.9	6840	7940	7190	6550													
6" I	12.5	6290	5660	5110	4650	4260												
6" I	17.25	7990	7180	6490	5920	5430	5010											
6" x 4" Light Beam	12.0	6200	5560	5020	4570	4200												
6" x 4" "	16.0	8400	7600	6870	6270	5740	5300											
6" x 6" Stanchion	15.5	8380	7500	6780	6180	5660	5230											
6" x 6" H	20.0	10740	9630	8710	7930	7270	6700	6220	5780									
6" x 6" H	25.0	13270	11890	10770	9800	8980	8280	7680	7140	6670								
7" I	15.3		6740	6130	5610	5190												
8" I	18.4		8590	7820	7170	6610												
8" I	23.0		10240	9330	8550	7890	7310	6790	6340	5940	5580	5250						
8" x 4" Light Beam	15.0		7110	6470	5930	5470												
8" x 8" H	34.3		16820	15310	14020	12940	12000	11160	10410	9750	9170	8640	8180	7740	7350	6990		
8" x 5 1/4" W.F.	17.0		8220	7510	6880	6360	5890											
8" x 5 1/4" "	20.0		9820	8940	8160	7550	7010	6500	6070									
8" x 6 1/2" "	24.0		11920	10860	9930	9170	8500	7900	7360	6920	6490	6120	5790	5490				
8" x 6 1/2" "	28.0		14010	12670	11600	10710	9930	9220	8610	8070	7580	7150	6770	6410				
8" x 8" "	31.0		15550	14160	12970	11970	11090	10300	9630	9020	8470	7990	7560	7150	6790	6470		
8" x 8" "	35.0		17590	16030	14750	13540	12550	11670	10900	10200	9600	9040	8550	8100	7680	7310		
8" x 8" "	40.0		20100	18300	16750	15470	14330	13320	12430	11650	10960	10330	9760	9250	8770	8350		
8" x 8" "	48.0				20240	18670	17310	16080	15030	14070	13230	12480	11690	11070	10510	10000		
8" x 8" "	58.0				24410	22530	20880	19390	18170	17000	15930	15070	14240	13500	12810	12180		
8" x 8" "	67.0				28240	26000	24190	22470	20980	19650	18470	17410	16480	15610	14800	14110		
8" x 8" "										7510	7060	6660	6300	5970	5670	5400		
10" I	25.4				10810	9970	9240	8580	8020	7510	7060	6660	6300	5970	5670	5400		
10" I	35.0				14080	12980	12080	11180	10450	9790	9190	8670	8200	7760	7370	7010		
10" x 5 3/4" W.F.	21.0				9250	8530	7900	7330	6850	6420	6040	5690	5390	5100	4850	4610		
10" x 5 3/4" "	25.0				11100	10260	9510	8840	8260	7740	7280	6860	6510	6180	5860	5580		
10" x 8" "	33.0				14770	13590	12610	11730	10960	10270	9650	9100	8610	8160	7750	7380		
10" x 8" "	39.0				17580	16220	15030	13960	13040	12230	11490	10840	10260	9720	9240	8790		
10" x 8" "	45.0				20360	18760	17380	16170	15100	14150	13310	12550	11870	11250	10690	10170		
10" x 10" "	49.0					20580	19090	17740	16570	15550	14610	13780	13030	12350	11730	11170		
10" x 10" "	54.0					22720	21090	19590	18300	17170	16130	15220	14390	13650	12960	12330		
10" x 10" "	66.0					28070	25760	23940	22350	20960	19710	18580	17570	16660	15830	15060		
12" x 8" "	45.0									15940	14940	14050	13260	12540	11890	11310	10750	
12" x 10" "	53.0									18980	17800	16740	15790	14940	14170	13450	12820	
12" x 12" "	65.0									23380	21940	20620	19450	18420	17470	16590	15810	

Los valores indicados para esfuerzos de 27 Kips (27 000 lb/pulg<sup>2</sup>)  
Para 24 Kips multiplíquese por 0.889

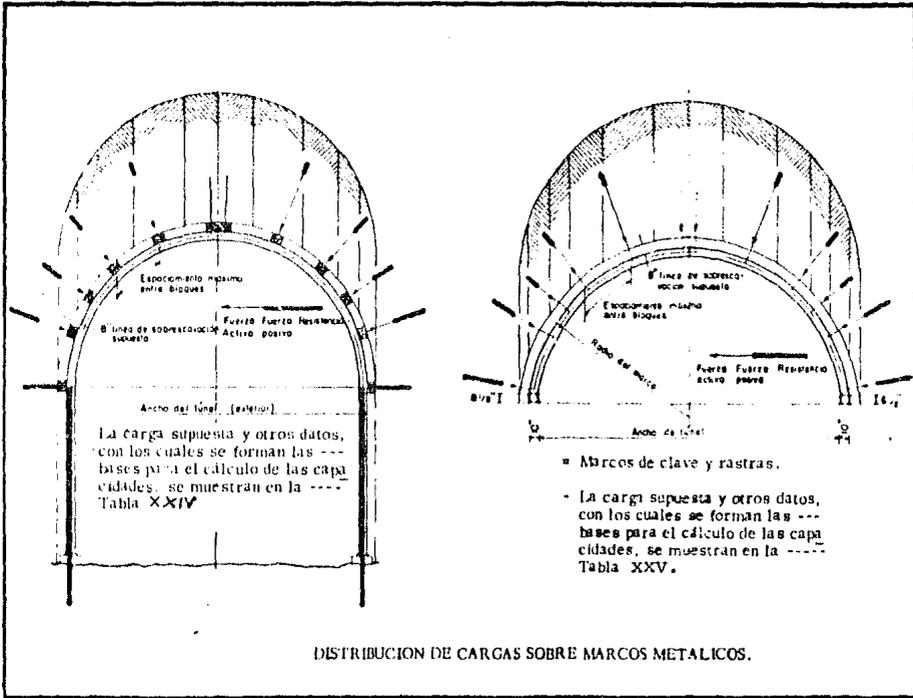


FIG. 90

4. Reforzando zonas sujetas a grandes fuerzas cortantes y de compresión. Estos casos se presentan en lumbreras, excavaciones muy inclinadas para túneles de presión de centrales hidroeléctricas, fallas o zonas de cortante, etc. Estas anclas tendrán esfuerzos de cortante muy importantes.

Las anclas se pueden dividir en dos grandes grupos:

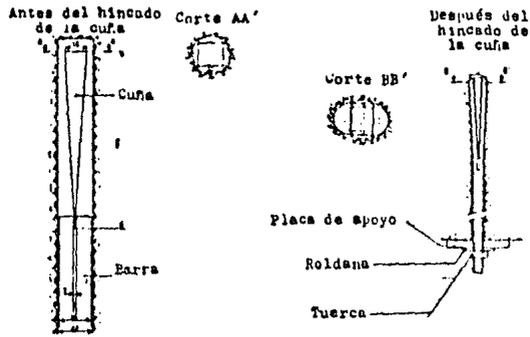
- a) Que tengan un dispositivo de anclaje en un extremo y en el otro un dispositivo rígido que permita mantener una tensión suficiente para producir un esfuerzo de compresión en la roca intermedia. Generalmente este dispositivo consiste en una placa y una tuerca.
- b) Que se encuentran alojadas en barrenos cementados o inyectados, cuyo anclaje es proporcionado por la adherencia que se genera entre las paredes del barrenos, mortero y ancla.

En las Figs. 91, 92 y 93 se pueden ver varios tipos de anclas.

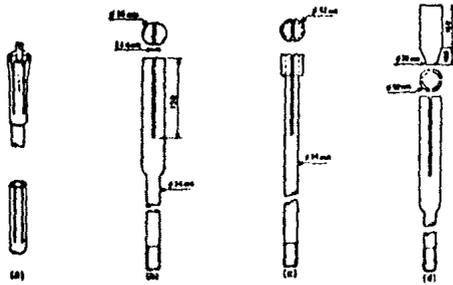
Por último, es necesario recordar que la tensión de las anclas pueden sufrir cambios muy importantes con el tiempo, debidos por ejemplo a flujo plástico de la roca, rotura de la concha de expansión, falla de la rosca de la tuerca, efecto de los explosivos, intemperie o por el comportamiento viscoso de la roca. Por ello, es necesario tener una estricta supervisión y un adecuado mantenimiento en este tipo de soportes.

#### Concreto lanzado.

Este sistema de adomado tiene su origen en la "gunita" que es un mortero de arena y cemento con acelerante de fraguado que se coloca neumáticamente contra una superficie. La primera vez que se usó fue en 1914 en una mina para proteger las paredes de roca contra la acción del agua y del aire. Después de la terminación de la Segunda Guerra Mundial, se construyeron en Europa un gran número de plantas hidroeléctricas subterráneas, por lo que se requería desarrollar nuevas técnicas. Las máquinas colocadoras de ese tiempo estaban limitadas a partículas de tamaño



Ferreo de cuña y ranura



Variantes del dispositivo de cuña y ranura

ANCLAS CON DISPOSITIVO DE CUÑA Y RANURA

FIG. 91



máximo de 10 mm. Se encontró que si se añadía al mortero, agregado grueso de tamaño comprendido entre 15 mm. y 20 mm, se podía -- cumplir con la función de protección contra la intemperie y además proporcionar un soporte a la excavación.

En Austria fue donde por primera vez se usó concreto - lanzado en sustitución de los marcos y la madera para soportar el túnel Prutz-Imst (1954-1955), las ventajas más importantes son:

1. Es forzado a entrar en las fracturas abiertas, en fisuras, grietas e irregularidades en la superficie de la roca y de esta forma tiene la misma función - de liga que un mortero en un muro de piedra.
2. Impide el drenaje del agua contenida en las fracturas y también impide la tubificación del material - que rellena las fracturas e impide la intemperización de la roca (por el agua y por el aire).
3. Provee una considerable resistencia a la caída o - aflojamiento de bloques del techo del túnel, siempre que se coloque inmediatamente después de que se realice la excavación.
4. El espesor está comprendido entre 15 cm. y 25 cm. proporciona un soporte estructural semejante a un anillo o a un arco.

La ventaja del concreto lanzado, es que suministra una forma de ademe rápida y efectiva en toda la periferia de un túnel. Obviamente, el revestimiento de concreto no puede ser considerado un cilindro de paredes delgadas. Los mecanismos reales del comportamiento de las estructuras compuestas de roca-concreto lanzado no son todavía comprensibles.

Selección del Ademe más adecuado.

Descripción de la calidad de la roca.

Como ya hemos visto, se pueden determinar los esfuerzos en la masa de roca alrededor de cavidades de acuerdo con la teoría de la elasticidad y la plasticidad. Muchos de los túneles de safortunadamente se encuentran excavados en rocas que no cumplen con las hipótesis que dichas teorías establecen, y el comportamiento de los túneles esta principalmente regido por la calidad - de la roca.

Anteriormente se tomaba al porcentaje de recuperación de un barrenado de exploración como indicador de la calidad de la roca. Este parámetro llamado "por ciento de recuperación", tiene una aplicabilidad limitada por que está basado únicamente en la cantidad de muestra recuperada, sin importarle si la roca es sana, si está figurada, alterada, etc.. Además, siempre puede haber la duda si dicha recuperación está o no afectada por la habilidad del perforista, de la condición de las herramientas, etc.

El coeficiente R.Q.D. (Rock Quality Designation), desarrollado por la Universidad de Illinois (Deer, 1967), elimina algunas de las incertidumbres de la clasificación mediante la recuperación y refleja parcialmente los efectos del grado de alteración y del fisuramiento de la roca. El R.Q.D. se puede relacionar con algunas propiedades de las rocas y con su comportamiento cualitativo como se muestra en la Tabla XXVI según Deer (1967) y Merrit (1968).

TABLA XXVI Relación entre el R.Q.D., índice de velocidad y la calidad de la roca.

TABLA XXVI - RELACION ENTRE EL R.Q.D., INDICE DE VELOCIDAD Y LA CALIDAD DE LA ROCA			
RANGO	INDICE DE VELOCIDAD		CONDICION DE LA CALIDAD DE LA ROCA
0 - 25	0	0.20	Muy mala
25 - 50	0.20	0.40	Mala
50 - 75	0.40	0.60	Regular
75 - 90	0.60	0.80	Buena
90 - 100	0.80	1.00	Excelente

$$\text{INDICE DE VELOCIDAD} = \left( \frac{V_I}{V_L} \right)^2$$

$V_I$  = VELOCIDAD SISMICA IN-SITU.  
 $V_L$  = VELOCIDAD SONICA EN EL LABORATORIO.

DEER (1967) Y MERRITT (1968).

Existe otra interesante relación entre el R.Q.D. y el tipo de ademe necesario, sugerida por Coon (1968) que se muestra en la Tabla XXVII.

RELACION ENTRE EL R.Q.D. Y LAS NECESIDADES DE SOPORTE			
R.Q.D.	ADELANTAMIENTO REQUERIDO ANTES DEL TUNEL		
	3.04 m. (10 ft)	7.62 m. (25 ft)	15.24 m. (50 ft)
90-100	Mín	Mín a Int	Int a Máx
75-90	Mín a Int	Int	Máx
50-75	Int a Máx	Máx	Máx
25-50	Máx	Máx	Máx
0-25	Máx	Máx	Máx

SopORTE Mínimo - Mín. - No necesita ademe ó anclas ocasionales.

SopORTE Intermedio - Int - Marcos ligeros ó planilla de suclaje.

SopORTE Máximo - Máx - Marcos pesados de acero ó anclas largas y malla.

Coon (1968).

TABLA XXVII

Es conveniente y útil contar con los valores del R.Q.D. de la roca a lo largo del túnel.

Lo ideal es contar con sondeos exploratorios a lo largo del eje del túnel, pero esto no siempre es posible, ya que, en -- ocasiones, los túneles se excavan bajo cadenas montañosas, las - cuales harían que la longitud de los barrenos fuera muy grande. - La separación entre los barrenos es muy importante ya que el cons tructor siempre quiere los barrenos lo más cercanos posibles y el dueño de la obra, lo más alejados. Por lo tanto, es necesario - conciliar estos dos puntos de vista. En general, se puede pensar que la calidad de la roca se incrementa con la profundidad y cerca de la superficie la roca está afectada por la intemperie. Esto no quiere decir que en las profundidades no se puedan encon--- trar zonas de falla y zonas de alteración hidrotermal.

Es conveniente utilizar los datos de la tabla XXVIII como guía para la selección de la separación de los sondeos exploratorios.

ESPACIAMIENTO PRELIMINAR DE SONDEOS DE EXPLORACION	
PROFUNDIDAD DEL TUNEL.	ESPACIAMIENTO DE LOS SONDEOS DE EXPLORACION
227 m. (750 ft)	304-760 m. (1000-2500 ft)
91-227 m. (300-750 ft)	152-304 m. ( 500-1000 ft)
91 m. (300 ft)	30-152 m. ( 100- 500 ft)

TABLA XXVIII

Por supuesto que en zonas donde se conoce que la calidad de la masa de roca es buena, estas separaciones se puede aumentar, e inversamente, si la calidad de la roca es muy mala, se pueden disminuir.

Características que debe cumplir un sistema de soporte.

Las características que deben satisfacer un sistema de soporte son:

1. Ser compatible con los métodos de construcción.

Idealmente los ademes deben colocarse fácil y rápidamente sin interferir con el avance de la excavación. Posiblemente - cumplir con lo anterior represente el punto o actividad más difícil del ciclo constructivo. Cada túnel debe tratarse en particular y es prácticamente imposible establecer reglas o recomendaciones generales. Se debe considerar en el diseño el ademe calculado para las peores condiciones esperadas de la roca. Dicho diseño debe poderse modificar adecuadamente al considerar las condiciones cambiantes en la roca y los procedimientos de construcción. Lo ideal sería que el procedimiento de colocación de un ademe fuera independiente del proceso de la excavación pero, desgraciadamente no es posible debido a que:

- a) El ademe debe colocarse lo más cerca posible del frente de excavación.
- b) La instalación del sistema de soporte requiere que las actividades de la excavación se suspendan.
- c) El equipo necesario para la colocación del ademe - y el de excavación no pueden estar al mismo tiempo en el frente de la excavación. Por lo tanto, en el diseño de un sistema de soporte será necesario considerar los problemas que se puedan tener entre - los procesos de excavación y la colocación del mismo ademe.

2. Tener la flexibilidad y resistencia adecuadas.

El sistema de soporte deberá tener una flexibilidad tal, que permita que los bloques de roca de la vecindad de la excavación se muevan y se genere una redistribución de esfuerzos. Además, el ademe debiera tener una resistencia que pueda soportar la roca. La función básica de un sistema de ademe es el de mante--

ner la excavación estable y con la geometría requerida. Por ello, en el ademe se debe cumplir que los esfuerzos que se generan en él, no excedan el límite de fluencia.

#### Procedimiento de Diseño.

No existe ningún procedimiento que se considere preciso para diseñar los sistemas de soporte. Además, aunque una teoría - puede ser razonable para una situación idealizada, la utilidad - práctica está casi siempre restringida debido a la información in completa de los parámetros de resistencia de la roca y de los pro cedimientos de construcción.

Sin embargo, se pueden señalar factores que deben ser - cuidadosamente estudiados, ya que, tienen una influencia definitiva en la estabilidad de las excavaciones y ellos son:

1. Características de la roca.
  - a) Propiedades de la roca sana.
  - b) Calidad de la masa de roca (grado de fracturamiento y de intemperismo).
  - c) Orientación de los planos de debilidad.
  - d) Geohidrología.
2. Tamaño del túnel
3. Características de los sistemas de soporte, de los procedimientos de construcción y de la manera en que ambos factores influyen en la roca de la vecindad de la excavación.
4. Esfuerzos naturales en la vecindad del túnel.
5. Geometría del túnel.

La carga sobre el túnel se puede incrementar si:

- a) La masa de roca es débil, de baja calidad, tiene - planos de debilidad desfavorablemente orientados o porque contiene agua subterránea a gran presión.

- b) Si se incrementa la sección del túnel.
- c) Si la roca es alterada por los procedimientos de construcción, o porque se tarde en poner el ademe.
- d) Porque existan esfuerzos naturales muy altos y
- e) Que tenga el túnel una forma desfavorable.

El método de Terzaghi, puede ser usado como un primer paso para un diseño racional de un sistema de soporte. El diseño mediante éste método de un sistema de soporte constituido por marcos metálicos con retaque de madera colocados en un túnel excavado por métodos convencionales, da resultados satisfactorios pero un poco conservadores. Debido al poco número de mediciones en este tipo de ademes y a la dispersión de los datos, no se puede concluir en que grado son conservadores.

Las técnicas modernas de excavación con explosivos y precorte (Smooth Blasting) alteran las rocas mucho menos que los métodos convencionales. Más aún, técnicas modernas de ademe como las anclas y el concreto lanzado evitan desplazamiento y afloramientos de la roca. Por lo tanto estas nuevas técnicas indican condiciones diferentes a las establecidas en el método Terzaghi.

Cording (1968) y Knise (1969) establecen que si la roca se comporta elásticamente como se requiere en las teorías, una excavación sin ademe generalmente tiene la suficiente resistencia para permanecer estable, (excepto cuando hay concentración de esfuerzos horizontales).

El uso de soluciones puramente teóricas puede llegar a resultados poco conservadores, ya que la roca no se comporta como una masa homogénea debido a que las características de sus discontinuidades gobiernan su comportamiento.

El ademe requerido para soportar cuñas de rocas que tienden a moverse hacia el interior de la excavación, es en general, más robusto que un ademe calculado para un túnel poco profundo en una zona fracturada. Debido a lo anterior, no debe sorprender la poca información existente sobre diseños de sistemas de soporte con métodos de cálculo teóricos que hayan tenido éxito.

Coon mostró en 1968 la relación que existe entre el R.Q.D. y el ademe necesario para túneles en roca, y sus recomendaciones se presentan en la Tabla XXVII, las cargas tentativas mostradas en dicha tabla están basadas sobre hipótesis simplificadoras que son:

1. El R.Q.D. describe adecuadamente la calidad de la roca.
2. Los ademes son colocados correctamente, lo más cerca posible del frente (de 0.60 m. a 1.20 m.) para marcos de acero y anclas; y, hasta el frente para concreto lanzado, colocación adecuada del retaque y de los separadores, tensión adecuada, etc.
3. El túnel tiene una sección transversal de igual ancho y altura (ya sea en herradura o circular).
4. El ancho del túnel está comprendido entre 6 m. y 12 m.
5. Los esfuerzos naturales son lo suficientemente bajos para que las concentraciones de esfuerzos en la periferia de la excavación nunca exceda la resistencia a la compresión simple.

Probablemente en el comportamiento de la mayoría de los túneles, las dos primeras hipótesis tienen mayor influencia que las tres restantes.

Es conveniente complementar la información del R.Q.D. con factores tales como:

- a) Características de las discontinuidades de la roca que pueden ser abiertas o cerradas, clase de material de relleno, existe o no lubricación.
- b) Orientación de los planos de debilidad.
- c) Presencia de agua subterránea.

Si los ademes no son instalados inmediatamente o son colocados incorrectamente, se permitirá el aflojamiento de la roca, el movimiento de cuñas, etc., y la carga de roca puede incrementarse en dos o más veces el valor que se recomienda en la Tabla XXIX.

TABLA XXIX RECOMENDACION PARA LOS SISTEMAS DE SOPORTE EN TUNELES EN ROCA				
CALIDAD DE LA ROCA.	METODO CONSTRUCTIVO	SISTEMA DE SOPORTE		
		MARCOS METALICOS 2	A N C L A S 3	CONCRETO LANZADO
EXCELENTE 1 RQD > 90	A. Perforadora Integral	Ninguno a ligero carga de roca - ( 0.0 a 0.2 ) B	Ninguna	Ninguno o aplicaciones locales
	B. Convencional	Ninguno a ligero carga de roca - ( 0.0 a 0.3 ) B	Ninguna	Ninguno o aplicación local 2 a 3 pulg.
BUENA 1 75 ≤ RQD ≤ 90	A. Perforadora Integral	Ocasionalmente Marcos ligeros colocados entre 1.5 y 1.8 m carga de roca - ( 0.0 a 0.4 ) B	Ocasionalmente - anclas separadas a 1.50 o 1.8 m centro a centro.	Ocasional aplicación local 2 a 3 pulg.
	B. Convencional	Marcos colocados a 1.5 o 1.8 m - carga de roca -- ( 0.3 a 0.6 ) B	Plantilla de anclas separadas 1.5 o 1.8 m centro a - centro.	Ocasionalmente aplicación local 2 a 3 pulg.
REGULAR 50 ≤ RQD ≤ 75	A. Perforadora integral	Marcos ligeros a - mediano 1.5 a 1.8 m c.a.c. carga de roca ( 0.4 a 1.0 ) B	Plantilla de anclas de 1.2 a 1.8 m c.a.c.	2 o 4 pulg. en la clave.
	B. Convencional	Marcos ligeros a --- medianos con 1.20 a 1.5 m c.a.c. --- carga de roca - ( 0.6 a 1.3 ) B	Plantilla de 0.9 a 1.5 m c.a.c.	4 pulg. o más en la clave y en las paredes.

MALA. 25 Z RQD450	2	A. Perforadora integral	Marcos circulares medianos separados entre 1.20 y -- 1.60 m carga de roca --- (1.0 a 1.6 ) B	Plantilla de 0.9 a 1.5m c.a.c.	4 a 6 pulg. en clave y paredes combinado con anclas.
		B. Convencional	Marcos de medianos a pesados colocados entre 0.6 y -- 1.20 m c.a.c. carga de roca ( 1.3 a 2.0 ) B	Plantilla de 0.6 a 1.20 m c.a.c.	6 pulg. o más en la clave y - paredes combinado con ---- anclas.
MUY MALA RQD425	3	A. Perforadora integral	Circulares medianos a ---- pesados colocados a 0.60 m c.a.c. carga de roca ---- ( 1.6 a 2.2 ) B	Plantilla de 0.60 a --- 1.20 m	6 pulg. o más en toda la ---- sección combinado con marcos medianos.
		B. Convencional	Circulares pesados a 0.60 m c.a.c. carga de roca ---- ( 2.0 a 2.8 ) B	Plantillas de 0.90 m. c.a.c.	6 pulg. o más en toda la ---- sección combinado con ---- marcos medianos o pesados.
MUY MALA ( roca que fluye ó expansiva )	4	A. Perforadora integral	Circulares muy pesados 0.60 m c.a.c. carga de roca -- arriba de 75 mts.	Plantillas 0.60 a 0.90 m c.a.c.	6 pulg. o más combinado con marcos pesados.
		B. Convencional	Circulares muy pesados 0.60 m c.a.c. carga de roca -- arriba de 75 m	Plantillas de 0.60 a -- 0.40 c.a.c.	6 pulg. o más combinado con marcos pesados.

NOTA: En roca buena y excelente, el soporte requerido en general es mínimo pero puede depender de la -- geometría de los factores, del diámetro del túnel y de la orientación relativa de las fracturas.

2. El retaque de madera usualmente es igual a cero en la roca excelente y varía entre 25% en roca buena y 100% en roca muy mala.
3. La necesidad de poner mallá usualmente es cero en roca excelente y ocasional en roca buena hasta -- 100% en roca muy mala.
4. B = ancho del túnel.

Los ademes deberán observarse continuamente, ya que su falla se presenta en forma gradual y se manifiesta con deformaciones en los marcos, aflojamiento de las anchas y agrietamientos del concreto lanzado. Si las fallas se detectan a tiempo, es posible tomar medidas correctivas para reforzar los sistemas de soporte.

Los factores de carga de roca de la Tabla XXVII son aproximadamente el 80 por ciento de las cargas expresadas por Terzaghi y están basados en los resultados de mediciones de campo.

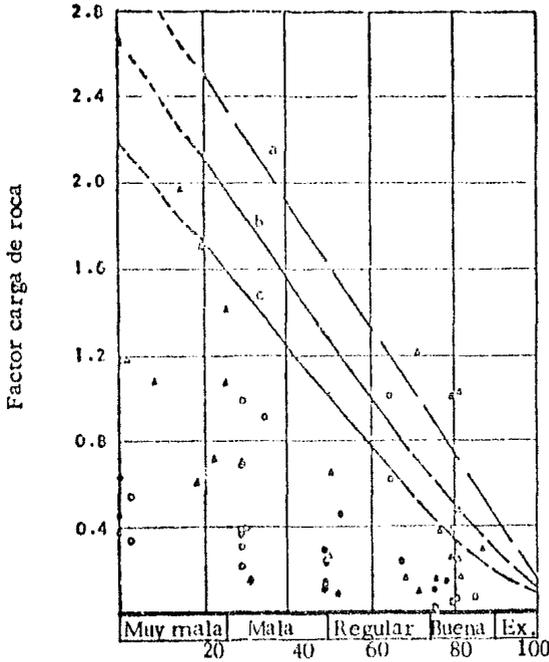
Las relaciones entre el R.Q.D. y el factor de carga de la roca se presentan en la Fig.94. El factor de carga de roca en los túneles perforados con una excavadora integral es aproximadamente 25 por ciento menor que el correspondiente a los túneles convencionales excavados con explosivos.

Los sistemas de soporte diseñados con las cargas de la Tabla XXIII y la Fig. 86, utilizando el método de Terzaghi, y dimensionados de acuerdo con Proctor y White (1946) como se muestra en las Tablas XXIV y XXV, podrán resultar un poco conservadores.

Respecto a su carga axial. Sin embargo los efectos de la torsión y la flexión que no se conocen, pero que sí se presentan.

De acuerdo a la experiencia de construcción de túneles en roca (en México), se pueden hacer los siguientes comentarios:

1. La selección y dimensionamiento de los sistemas de soporte estuvo regida principalmente por la presencia o no de agua, que definió el uso de los marcos metálicos o de concreto lanzado.
2. Las dificultades en el control de calidad y el aumento del rebote en el concreto lanzado varían proporcionalmente a la cantidad de agua.
3. La calidad y eficiencia de colocación del concreto lanzado se ve más afectada por la falta de personal especializado, que en el caso de los ademes metálicos.
4. El uso de anclas cortas estuvo restringido, debido principalmente a los cambios tan importantes que su



R. Q. D.

Ikeda, et al, 1966

Terrametrics, 1965

Terrametrics, 1965 a

Deere, 1969

- a) Promedio para el factor carga de roca de Terzaghi
- b) Recomendado para marcos metálicos, túneles convencionales
- c) Recomendado para marcos metálicos, túneles con perforadora integral.

RELACION ENTRE EL RQD Y LOS FACTORES  
DE CARGA DE ROCA.

FIG. 94

fre la roca, metro a metro de túnel, que obligaba a cambios en los sistemas de anclaje, en la separación y orientación de las anclas, lo que repercutió en los costos.

5. El diseño del sistema de soporte: separación de los marcos y el espesor del concreto lanzado, estuvo de finido en el proyecto. Sin embargo, la decisión final de las características de los ademes estuvo definida en el campo, ya que las condiciones locales de la roca y la presencia de agua fueron muy variables.

#### 4.7 Revestimiento.

El revestir un túnel es ademar definitivamente el mismo

##### 1. En bóveda.

Los topógrafos deben verificar mediante nivelación y trazo del eje del túnel, que los marcos, la roca o cualquier otro material, no rebase la línea de excavación mínima.

En caso contrario, los marcos deben ser corregidos, los promontorios de excavación removidos, y el retaque y separadores arreglados o repuestos, para cumplir con los requerimientos de las especificaciones.

##### 2. En piso

Como consecuencia de la necesidad del tendido de vía sobre una superficie sólida y nivelada, se debe colar una plantilla de concreto de 15 cm.

Las ventajas de la plantilla son:

- a) Proporciona un piso adecuado para soportar las grandes cargas concentradas que representan los soportes de la cimbra.
- b) La cota correcta de la plantilla permite la colocación rápida y contínua de la cimbra.
- c) La colocación o arreglo de la vía sobre esta plantilla, permitirá una mayor precisión en la entrevía y en el alineamiento, lográndose mayor velocidad y reduciendo el mantenimiento durante las operaciones de colado.
- d) Se deberá prever durante el colado de la plantilla el drenaje para el control del agua.

## Revestimiento.

### Ciclo total para el Revestimiento.

A la serie de operaciones o actividades, que se llevan a cabo para revestir un túnel, se denomina "ciclo" del revestimiento.

Por todos es conocido, que es vital la sincronización y compensación de actividades y equipo, para lograr tiempos de duración mínimos en el desarrollo de un "ciclo".

A continuación se describirán brevemente cada una de las actividades que se ejecutan en el desarrollo del "ciclo".

#### 1. Control en Superficie.

Para lograr un concreto de buena calidad, que cumpla con las especificaciones requeridas, es necesario que los elementos que lo componen se vean sometidos a ciertas pruebas previas a la elaboración de la mezcla; asimismo los proporcionamientos de proyectos se ven en ciertos casos modificados por últimos "ajustes" a fin de lograr obtener mezclas de óptima calidad y manejabilidad.

Algunas pruebas de agregados en superficie son:

- a.- Absorción (contenido de humedad)
- b.- Granulometría
- c.- Peso específico
- d.- Sanidad
- e.- Resistencia a la abrasión
- f.- Forma y textura de las partículas.

#### 2. Bajada del Concreto.

Se lleva a cabo por medio de tuberías verticales; ya sea por la lumbrera o por pozos construídos especialmente para ello. Las tuberías usadas son de 20.3 cm. a 25.4 cm. (8 a 10 pulg.)

El concreto es producido en superficie por medio de plantas dosificadoras ELBA 45, cuya capacidad de producción es de  $45 \text{ m}^3/\text{h}$ , conducido hasta la boca de la lumbrera por medio de bandas transportadoras que descargan en una de las tuberías verticales utilizadas como bajantes de concreto (generalmente deben

instalarse 2 tuberías para que en caso de que una de ellas se avrie, contar con la otra para proseguir trabajando), la cual baja a lo largo de toda la lumbrera o pozo y al final de la misma de--semboca en recipientes de tipo tambor (tanque amortiguado).

Para garantizar que las bajantes del concreto operen --eficientemente, debemos tener especial cuidado en los siguientes puntos:

- a) El tubo vertical debe estar bien alineado, es decir, garantizar su verticalidad, ya que las variaciones - en su eje producen un desajuste rápido, para lo cual previamente a su colocación deberá hacerse un levantamiento topográfico de la lumbrera (perfil).
- b) El anclado del tubo a la lumbrera deberá ser seguro.
- c) Los segmentos en los extremos entre tramo y tramo de tubería deben ser soldados de tal manera que formen juntas circulares suaves dentro del tubo.
- d) La cantidad segregada de concreto cuando se transporta a través de la tubería vertical es función directa del tamaño máximo del agregado, siendo este tamaño del orden de 25 mm. a 30 mm. para una buena operación pudiéndose utilizar 40 mm. como límite máximo.

### 3. Recepción en Túnel y Despacho al frente de coloca---ción.

Después de pasar el concreto por la tubería vertical és te cae a un depósito donde se amortigua la caída del concreto.

De este dispositivo se pueden observar las características siguientes:

- a) Está acondicionado con placas en las paredes interiores, donde el concreto hace el primer contacto con - él.

Debido al impacto y a las propiedades abrasivas del concreto, las placas de refuerzo deben ser reemplazadas dependiendo del volumen de concreto manejado y - de la altura de caída

Para facilitar la operación de mantenimiento del tambor, se cuenta con una ventana en el lado opuesto al que cae el concreto.

- b) En la parte inferior del tanque existe una compuerta de guillotina, cuya función es permitir la salida - del concreto que se sedimenta en la parte inferior - antes de que éste se endurezca; ésta operación se - puede y debe hacerse después de cargar un tren.
- c) La descarga del tanque se encuentra localizada a las dos terceras partes de su base, para contar con un - colchón de concreto que sirva para amortiguar en par - te la caída de éste.
- d) El tanque se encuentra sentado en cuatro resortes, - con los que se toma la energía producida por la caí - da del concreto, también se logra absorber por medio de tirantes de cable anclados de unas ménsulas suje - tas a las paredes de la lumbrera.
- e) Al igual que las dos tuberías de bajada, son neces - arios dos tanques amortiguadores. También es neces - ario hacerles mantenimiento.

Después de pasar el concreto a través del tanque amortiguador es depositado en unas tolvas reguladoras las cuales forman en sí la estación de carga dentro del túnel.

Estas son dos tolvas que sirven para regular la carga - de los carros agitadores y por lo tanto poder cargar el tren completo que generalmente consta de tres carros agitadores con capacidad de 5 a 6 m<sup>3</sup>, obteniéndose de 15 a 18 m<sup>3</sup> por sistema. Las - tolvas tienen en su parte inferior una compuerta accionada por gatos hidráulicos, lo que facilita la maniobra de carga de los carros. A la salida de cada compuerta hay una pequeña tolva móvil con la descarga flexible lo cual facilita la operación de carga - do. Para poder transitar y tener los suficientes espacios en las zonas de carga, siempre es necesario contar con un sistema de - - vías y cambios perfectamente planeados y de acuerdo a las longi - tud de los trenes de concreto con que se piense trabajar.

Para las bajantes de concreto que no se hagan en lumbreras, sino por medio de pozos en tramos intermedios de túnel, también se opera con el mismo sistema, es decir, tanque amortiguador y estación de carga.

Para enviar un tren completo, es requisito indispensa - ble previamente lavar perfectamente los carros, para lo cual en - una zona estratégica y cercana a la estación de carga, debe ser -

instalada una estación de lavado, este lavado se hace únicamente con agua a presión por dentro y fuera de los carros.

#### 4. Acarreo dentro del Túnel.

El transporte del concreto en el interior del túnel es sumamente importante, cuanto más sea la distancia por recorrer - aumentarán las posibilidades de descarrilamiento u otros accidentes que redundan en la productividad del sistema; para disminuir estos riesgos y poder transitar a velocidades convenientes, es necesario un sistema de vía en perfectas condiciones.

En el momento de acondicionar el túnel para las operaciones del revestimiento definitivo, se coloca una plantilla sobre la cual se tira una capa de balasto, que sirve en parte para encauzar el agua hacia los drenes y principalmente para asentar y fijar la vía, con lo anterior se facilitan las maniobras de nivelado y alineación, la cama de balasto sirve también para absorber esfuerzos y por lo tanto conservar el sistema de vía y equipo de transporte.

Es sumamente importante tener cuadrillas dedicadas exclusivamente al mantenimiento de la vía, como son las operaciones siguientes: cambiar periódicamente los durmientes que se encuentran en mal estado, revisar y arreglar todas las juntas que se muestran en malas condiciones, reponer las agujas y sapos de los cambios - que no funcionen, cambiar los rieles desgastados y vencidos, revisar continuamente la separación entre rieles, etc.

Para poder realizar todas estas actividades es necesario dotar a la cuadrilla de la herramienta siguiente:

- a. Marros rieleros
- b. Barras de uña
- c. Barras calzadoras
- d. Juego de llaves
- e. Escantillones
- f. Gatos para vía
- g. Equipo de autógena para corte.

El transporte del concreto en esta zona se hace con carros agitadores tipo Morán que cuentan con una capacidad de - - 4.58 m<sup>3</sup> (6 yd<sup>3</sup>), accionados por medio de motores neumáticos y su diseño les permite trabajar en forma separada o acoplados, montados sobre dos juegos de cuatro ruedas de acero embaleras de - -

35.6 cm. (14 pulg.) de diámetro.

Descripción de las Componentes Principales. La parte principal la forma el cilindro donde se aloja el concreto para ser transportado al frente de colado. En el interior del cilindro y soldada a las paredes se encuentra una espiral de lámina que lo recorre longitudinalmente y que sirve como medio de descarga al girar en sentido contrario a las manecillas de un reloj, al ser operado en otro sentido funciona como agitador.

Cada uno de los carros cuenta con dos puertas de llenado instaladas a lo largo del cilindro, de operación manual. Además en el cilindro de descarga hay otras dos puertas o aberturas diametralmente opuestas que están fijas por medio de tornillos; su uso principal es el de permitir acceso para la limpieza de esa zona. El peso del carro vacío es de seis toneladas.

Operación. Los carros son medio de transporte para el concreto y además funcionan como agitadores cuando es necesario. Los movimientos del cilindro los dan los motorreductores, pudiendo girar en ambos sentidos accionados por válvulas de paso múltiples.

Las operaciones de llenado, transporte y vaciado, es en forma general la siguiente: primeramente es comprobar que todos los carros estén en condiciones de operar, inspeccionando el funcionamiento de motores, sistemas de enganche y, cuando se acarrea el concreto con los carros separados se debe comprobar el sistema de broche de la puerta posterior, pues al no ir bien asegurada es posible que se abra en el trayecto.

Una vez que se tiene todo el trayecto despejado y los carros enganchados a su locomotora, se coloca el primer carro bajo la estación de llenado, en donde el concreto almacenado en las tolvas vierte a través de una descarga flexible que llega hasta las puertas de llenado. El carro debe ser llenado hasta unos 15 cm. por debajo del nivel de las puertas; terminada esta operación, se cierran las puertas y se lavan los derrames producidos; en seguida se vuelve a repetir el ciclo.

En la estación de descarga cada uno de los carros se vacía independientemente de los demás a una tolva que deposita el concreto a una banda transportadora horizontal.

Mantenimiento de los carros. El lavado interior de los carros es de gran importancia y el lapso de lavado de éstos debe de ajustarse a las necesidades propias de cada tramo en particu-

lar. El lavado exterior de los carros se debe hacer cada vez que se ha terminado de llenar para quitar todos los derrames que ocasionen problemas en los rodillos, corona, cerradura de puertas, etc. Todo lo anterior debe hacerse con agua a presión.

Es de suma importancia la lubricación que deben tener - los motores neumáticos, los reductores, las transmisiones en general, las ruedas, los rodillos de apoyo de las pistas y el balero de la puerta posterior.

Para el buen funcionamiento del sistema se considerará de vital importancia el control del tránsito de los trenes, independientemente de que se tenga equipo adecuado y suficiente, buena vía, operadores responsables, buena visibilidad, etc.

### 5. Colocación.

Severá la aplicación del concreto en la forma metálica para el colado continuo (Fig. 95 y 96).

Los cañones funcionan por medio de aire comprimido a - una presión de  $7 \text{ kg/cm}^2$ . (100 psi ). Para evitar problemas en el funcionamiento de los cañones es necesario proporcionar el aire - a la presión antes mencionada en el frente de trabajo y evitar - que a la hora que exista un consumo excesivo de aire baje la presión, ocasionando taponamiento en el cañón o la tubería.

El concreto al salir del cañón sigue a través de una tubería de 20 cm. de diámetro, la cual sube hasta la parte superior del frente de colado. Los tramos que constituyen la parte horizontal inferior y la inclinada, deben estar unidos por medio de - bridas rápidas para que en caso de taparse, inmediatamente se desacople y limpie. La parte superior horizontal de la tubería debe estar compuesta por una sola pieza, lo que se obtiene soldando los tramos que la componen, esto es debido a que esta parte tiene que correrse apoyándose a unas estructuras pendientes de la clave de los marcos metálicos.

El concreto, al ser depositado en la parte superior del frente de colado, desliza por las paredes hasta el piso del túnel formándose un talud siguiendo su ángulo de reposo.

El concreto llena los huecos existentes entre las paredes de la cimbra y las del túnel; es necesario vibrarlo, lo que - se debe hacer por medio de vibradores de inmersión; como la parte inferior presenta dificultades para su vibrado, es necesario auxiliarse de vibradores de pared unidos a la parte interior de la --

cimbra. Generalmente se trabaja con seis vibradores de inmersión y seis de pared, todos estos dispositivos son de funcionamiento neumático.

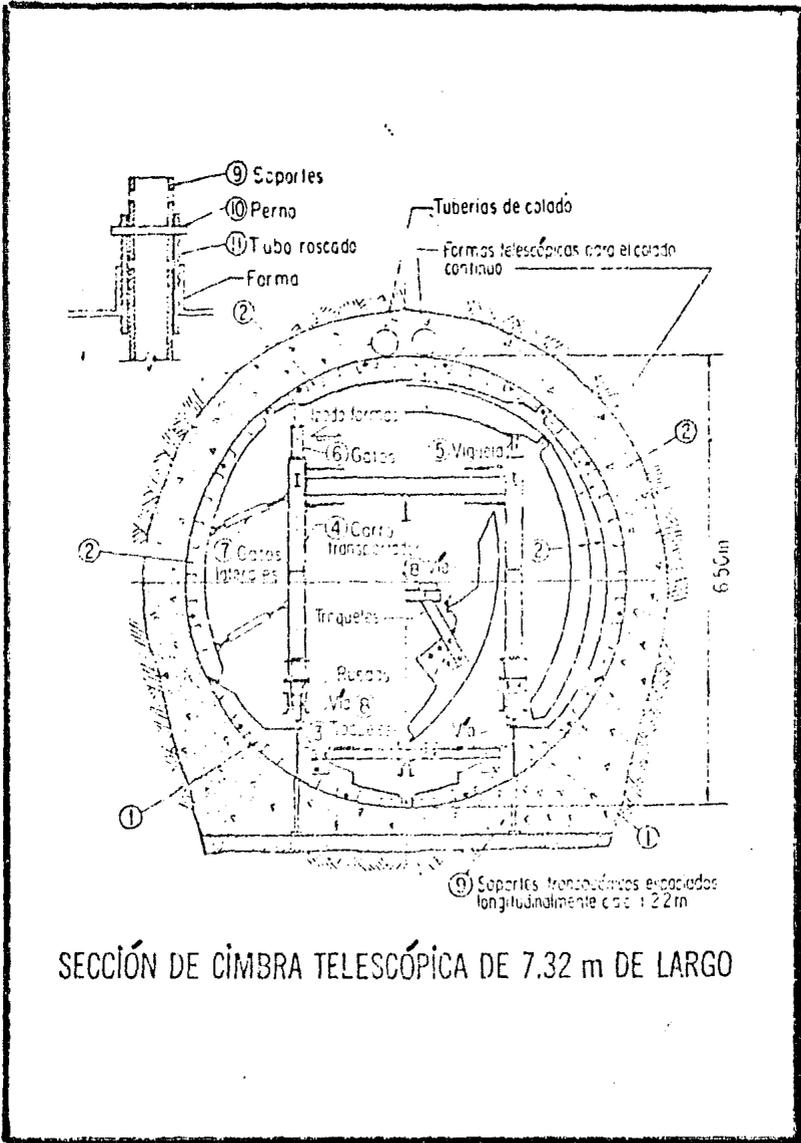
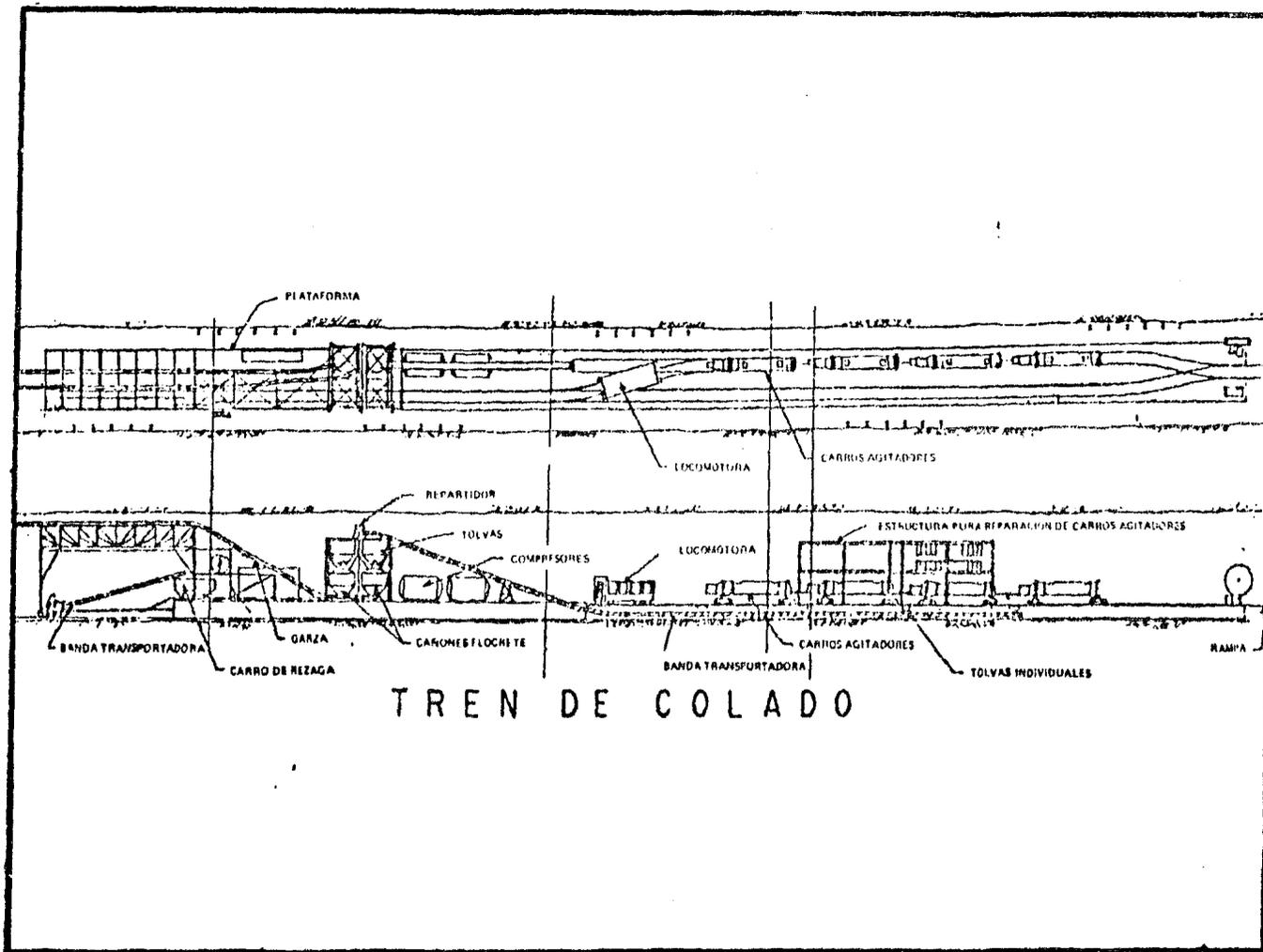


FIG. 95



- 225 -

FIG. 96

CAPITULO V

CONCLUSIONES.

## Conclusiones.

Desde que el hombre colonizó la cuenca de México hará 30 mil años, ha presenciado erupciones volcánicas e inundaciones, por ser éstas las catástrofes del lugar. Las erupciones habrán forzado al hombre a cambiar de morada cada 3 a 5 mil años y las inundaciones cada 3 a 5 siglos, pues con esta ocurrencia suelen repetirse dichas catástrofes. Cuando el hombre comenzó a construir ciudades en las partes centrales de la cuenca, hará mil años, tuvo que enfrentarse al problema de cimentar pirámides, templos y palacios, los cuales se hundían en las arcillas lacustres cuando no eran apoyados sobre pilotes. Además, la misma naturaleza poco consolidada de los suelos en las planicies hacía que estas respondieran con extraordinaria excitación a los grandes sismos que se repetían cada 30 a 50 años, derrumbando las construcciones inadaptadas a resistir estos movimientos.

Los tiempos modernos, con la creación de una urbe gigantesca, han sumado a éstos peligros naturales dos nuevos riesgos: hundimientos de grandes superficies urbanas a consecuencia de la extracción de agua potable del subsuelo y dificultad en la evacuación de los crecientes volúmenes de aguas negras al exterior de la cuenca.

Por consiguiente y con el fin de asegurar la supervivencia de la ciudad desde los tiempos de los aztecas, además de desarrollar el arte de cimentar y construir edificios, se construyeron grandes obras de defensa contra las inundaciones, como las obras de desagüe de Nochistongo y Tequixquiac y en la actualidad el Sistema de Drenaje Profundo, construido en su totalidad por túneles.

En la exploración primero y después en la construcción de una obra importante, como lo puede ser un túnel, interviene la ciencia geológica con la mayoría de sus disciplinas.

Una vez concebida por parte de un ingeniero la idea fundamental y las magnas directivas de la obra, es necesario movilizar para el buen éxito de los trabajos la totalidad de los conocimientos tectónicos, estratigráficos, hidrológicos, sismológicos y

geotécnicos al alcance de la geología. Ello se hace como parte - rigurosa de la planeación general, así como para resolver problemas de detalle una vez que la obra avanza. Pero aún así no está uno a salvo de sorpresas y descubrimientos, de accidentes y penosas demoras, pues éstas son normales en el curso del desarrollo de una obra (y lo ha sido en el túnel del Sistema de Drenaje Profundo de 68 km.); y cuando todo ésto dicho y resuelto resalta la gran verdad; una cosa es el augurio geológico con su proyección de la realidad y otra es la cruda realidad, especialmente cuando se trata de túneles en rocas volcánicas fracturadas debajo del nivel freático.

\* \* \* \*

En cuanto al manejo de aguas de filtraciones se puede mencionar las experiencias que se tuvieron en el emisor central. El tramo más crítico en éste sentido fue el comprendido entre la lumbrera 8 y la lumbrera 14 así como los tramos cercanos a la lumbrera 5, en donde hubo aportaciones de agua al túnel en forma concentrada; el agua en términos generales, puede decirse que se manejó de la siguiente manera: inmediatamente atrás del ademado del túnel se canalizaba el agua por drenes que iban hasta la lumbrera cuando se excavó hacia aguas arriba; o bien, se conducía hacia cárcamos y tuberías para traspaleo, bombeando horizontalmente por el interior del túnel, cuando se excavó hacia aguas abajo; en ambos casos, al llegar el agua a la lumbrera o a las galerías de bombeo, se elevaba hasta la superficie por bombeo vertical.

La magnitud de las aportaciones en algunos tramos fue haciendo necesaria la construcción de varias galerías de bombeo entre lumbreras. Las galerías consistieron fundamentalmente en un cárcamo de bombeo de 4 m. de profundidad, aproximadamente, baterías de 4 a 12 bombas de 300 hp. de potencia. En algunas zonas, estas galerías se construyeron normales al eje del túnel en tanto que en algunos sitios se construyeron paralelas al eje.

Las bombas se colocaban conectadas a un múltiple, el cual a su vez se conectaba a la tubería alojada en una perforación desde la superficie.

Durante el proceso de excavación, en un momento dado se llegaron a bombear hasta 9 000 lts./seg. en los diferentes frentes del túnel, ésta cantidad de agua estuvo concentrada principalmente entre la lumbrera 9 y la lumbrera 14 del emisor central, en donde por la profundidad del túnel hubo necesidad de bombear a 120 metros de altura en promedio.

\* \* \* \*

Dada la importancia del conocimiento y control de los asentamientos y expansiones del terreno por efectos de la excavación y bombeo, en la construcción de túneles se ha dado por instalar bancos de nivel profundo a todo lo largo de la obra, a 1 m. por debajo de la máxima excavación, uno por cada pozo de bombeo a una separación de 0.5 m. de éste.

Los bancos de nivel profundo están formados por un tubo de 10 cm. relleno de concreto, en el cual se encuentra una varilla de 25 mm. y 0.80 m. de longitud que sobresale a 0.30 m. de la parte superior del cilindro. La conexión del banco con la superficie se hace con tubería pvc de 50 mm.

Para la instalación de éste tipo de bancos, se pueden realizar perforaciones previas con broca tricónica de 10 cm. a las profundidades necesarias. Una vez unido el banco con la tubería de pvc, se introduce en la perforación, hasta la profundidad de la misma. El espacio anular entre las paredes del barreno y el conjunto del banco tubería, se rellena con arena fina común, de tal forma de dejarlo perfectamente empacado y evitar en lo posible movimientos relativos. En las mediciones de los movimientos verticales del subsuelo registrados por los bancos, se utiliza una sonda metálica graduada con un imán en el extremo, de tal forma que al introducirla por el pvc del Banco y al hacer -- contacto con la varilla, se adhiere a ésta permitiendo por medio de una nivelación corrida determinar los asentamientos o expansiones sufridas.

Las mediciones generalmente se realizan una vez por día en todos los bancos instalados y dos veces por día en los -- que se encuentran en las zonas críticas.

\* \* \* \*

#### Excavación a Sección Completa.

Barrenación.- En la obra para la excavación a sección completa, se pueden utilizar perforadoras de muy diversos tipos, desde la plataforma de barrenación consistente en un Jumbo, formando un marco cuadrado con dos pisos guiados sobre la vía, en el que se pueden montar entre 4 y 6 perforadoras automáticas y -- una perforadora central semifija, para hacer el barreno central o barreno quemado. Otra variante del mismo tipo, es la plataforma que en lugar de contar con las perforadoras automáticas montadas sobre Jumbo, se trabaja con perforadoras de pierna manuales, barrenando tanto la sección superior como la media sección; en la sección inferior se barrena desde el piso del túnel.

Las plataformas de barrenación se mueven sobre unas - vías, o sobre ruedas neumáticas, o sobre patines; o bien, sobre la combinación de ellos; estos Jumbos o plataformas avanzan hacia el frente durante la barrenación del mismo, debiéndose retirar a 150 m. aproximadamente, al momento de la voladura. Este - movimiento se realiza mediante el cargador que normalmente se en - cuentra en el frente, o bien cuando las plataformas tienen rue-- das neumáticas, la rezagadora las puede jalar hacia atrás del - frente de excavación.

Cabe señalar que de acuerdo a la experiencia de tune-- les en rocas los barrenos se perforan de 1.50 m. a 3 m. de longi tud cuando el material encontrado en el frente consiste en roca ignea fracturada, con las fracturas rellenas de material arcillo so, variando el espaciamiento entre fracturas y la solidez del relleno arcilloso en las mismas. (el rendimiento de la perfora-- ción en roca poco fracturada es en promedio de 14 m. / hora).

Voladura.- Para la carga de explosivos en los barrenos, se utiliza el procedimiento estándar manual, se limpia el barre-- no con aire comprimido, cuando este no se logra limpiar del todo, hay necesidad de emplear las llamadas cucharillas, introduciendo mangueras o tubería de pvc para impedir que los barrenos se cie-- rren en esta operación. Posteriormente se introduce la dinamita en el barreno, mediante al taco de madera, a continuación se me-- ten los estopines eléctricos, deben elegirse estopines de tiem-- po, de tal forma que se retarde la explosión en varias zonas, em-- pezando generalmente por la zona central o corazón, continuando con la zona de transición al rededor de la primera, y al final - la zona de fracturamiento. La cantidad de explosivos empleados en los frentes del sistema de Drenaje Profundo dependía del tipo de material encontrado, sin embargo se puede apuntar que esta - cantidad varía desde 0.4 kg/m<sup>3</sup> en los materiales mas suaves en donde se trataba únicamente de quebrar el terreno o aflojarlo, - hasta rocas en donde se llegó a utilizar 1.2 kg/m<sup>3</sup>, el promedio fue del orden de 0.80 kg. de dinamita por metro cúbico.

Los estopines eléctricos deben encontrarse en corto - circuito para evitar cualquier accidente, y solamente se ponen un contacto con el circuito general (conectado en paralelo) mo-- mentos antes de causar la voladura.

Antes de proceder a efectuar la voladura del frente se checan todos los circuitos conectados en paralelo, verificando que todas las puntas quedaran activadas. Los circuitos se acti--

van con corriente alterna de 110 ó 220 volts, dependiendo de la corriente que se encuentre en el frente de trabajo. Esta prueba se hace mediante un galvanómetro para probar las series y comprobar cada una de ellas.

Una vez comprobado todo el sistema y retirado el equipo del frente, como son: el cargador o la rezagadora, el Jumbo de barrenación o plataforma de barrenación, se efectúa la explosión, evitando la colocación de lámparas de energía eléctrica o maquinas soldadoras, debiendose utilizar lámparas de aire para iluminación del frente. La voladura se efectua mediante un activar eléctrico que permite hacer la explosión a control remoto.

Ventilación.- La ventilación se puede realizar por tres procesos:

- a) Inyección del aire fresco al frente del túnel durante las operaciones de barrenación y rezaga. Extracción de aire durante las operaciones de carga y voladura, esto era posible invirtiendo el sentido de los ventiladores.
- b) Extracción durante todo el tiempo, desde el interior del túnel hacia la superficie.
- c) Inyección de aire desde la superficie hasta el frente de la excavación durante todo el tiempo.

Normalmente, éste último proceso es el más empleado durante la excavación en la mayoría de los frentes.

La elección de la capacidad del equipo de ventilación se hace en base a los siguientes factores:

1. El gasto de ventilación necesario para eliminar el humo y los gases producidos por los explosivos.
2. La cantidad de aire necesario para eliminar los gases producto de la combustión del diesel en los equipos.
3. El gasto normal del personal trabajando en el frente de la excavación.
4. Condiciones geológicas y dimensiones del túnel.

Los ventiladores normalmente se colocan a 500 m. de distancia entre sí, funcionando correctamente se obtiene una ventilación adecuada en todos los frentes de excavación.

Las cantidades de oxígeno en una atmósfera, cuando son menores del 20% pueden causar dolores de cabeza y desarrollar cansancio, menos del 17% de contenido de oxígeno pueden causar períodos de inconsciencia. Por otro lado el máximo contenido de gas carbónico tolerable, es del orden de 0.9% en el aire.

El volumen de aire requerido para compensar el tipo de operación y para las condiciones geológicas, se valua siempre en una base individual, considerando la intensidad de los movimientos, la frecuencia de las explosiones, el tipo y cantidad de gas natural contenido en el suelo. Los lubricantes en el equipo mecánico contribuyen junto con los gases que exhalan los equipos a altas temperaturas a incrementar el gas carbónico, a pesar de que el equipo empleado sea diesel. En la Fig. 97 se presentan los niveles de gas carbónico en una atmósfera contaminada, que pueden presentarse en un túnel.

Rezaga.- La rezaga se extrae del túnel fundamentalmente en tres operaciones.

- a) Carga del material en el frente, posterior a la voladura.
- b) Transporte del material del frente a la lumbrera.
- c) Manteo o elevación del material del fondo de la lumbrera a la superficie.

Se pueden mencionar también brevemente las actividades que se realizaron para el rezagado en frentes de la construcción del Drenaje Profundo.

La carga del material en el frente de excavación se efectuó principalmente por cargadores con cucharón de descarga lateral, de una capacidad de 2 m<sup>3</sup> aproximadamente.

La vía se colocaba del lado izquierdo del túnel, de tal forma que el cargador circulaba en la parte derecha del mismo, cargaba el material en la frente y hacía un recorrido de aproximadamente 60 m, descargando en los seis u ocho carros de un tren de rezaga. A una distancia de aproximadamente 150 m. atrás del frente de excavación, se llevaba un cambio californiano

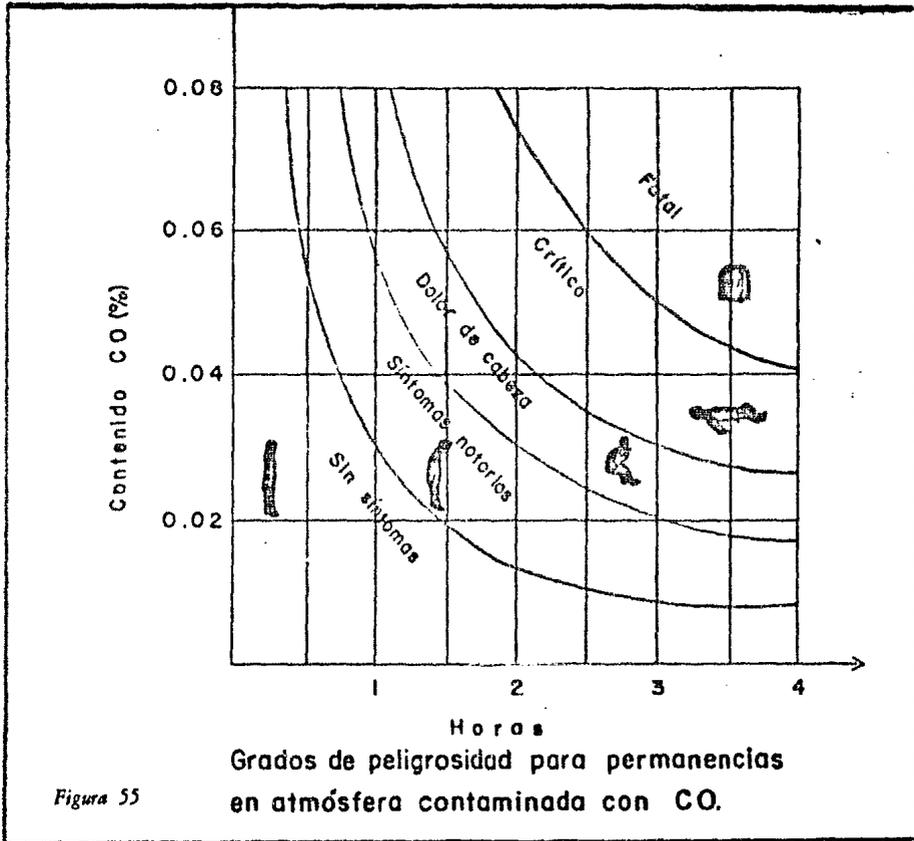


FIG. 97

en el cual se cambiaban los carros llenos por vacíos, para mantener en el frente un tren completo de carros.

Una vez cargados los carros o vagonetas, una locomotora los llevaba hasta la lumbrera por una vía dentro del túnel. Llegando a la lumbrera los carros descargaban mediante un sistema hidráulico de descarga automática, y el material caía en unas tolvas receptoras, las cuales a su vez dejaban el material automáticamente en el equipo de manto; para ello las lumbreras se prolongaron más abajo del piso del túnel formando las llamadas alcancías de lumbrera. En algunas lumbreras se tenían dos skips o botes de manto, y en otras únicamente uno.

Las locomotoras empleadas fueron de una capacidad de 10 Ton, y en algunos tramos se emplearon locomotoras hasta de 15 Ton, para el equipo de manto, los botes elevadores o skips se seleccionaron para una capacidad de aproximadamente 5 m<sup>3</sup>.

Los malacates que tenían doble tambor, se accionaban de tal forma que cuando un bote subía lleno, el otro bajaba vacío al mismo tiempo, mientras uno descargaba en lo alto de la torre en la alcancía de la propia lumbrera para recibir la carga de las vagonetas. En los casos donde el malacate no se tenía con doble tambor, se utilizó un contrapeso que normalmente se empleaba para bajar materiales y en algunos casos personal, los malacates normalmente estaban equipados con switch de seguridad que cortaban la corriente en el caso de exceder una velocidad límite pre-fijada.

Después de haber sido ventilados los frentes, se procede a la etapa de amacizado de la frente de excavación, lo cual es simultáneo a la rezaga. El amacizado consiste en el retiro del material inestable que se encuentra en la frente recién tronada, con objeto de evitar desprendimientos de materiales flojos en el momento de estar trabajando en el ademado o barrenación.

Ademado.- Una vez efectuada la excavación y retirada la rezaga, se adema el frente con la colocación de marcos metálicos y retaque de madera, o bien con concreto lanzado. El objeto de este ademe, es garantizar la estabilidad del túnel entre el momento de la excavación y el colado del revestimiento definitivo.

\*

\*

\*

\*

### Excavación a media sección.

Cuando por las características del terreno era posible un desprendimiento, se efectuaba la excavación a media sección abriendo inicialmente la mitad superior del túnel, haciendo un banco de material y colocando el ademe provisional de marcos metálicos en ésta sección; posteriormente unos metros atrás (del orden de 10 m.), se puede excavar la mitad inferior del túnel. El procedimiento de excavación en estas zonas es prácticamente el mismo que el descrito para la excavación a sección completa.

### Túnel Piloto.

Una variante de la excavación lo constituye la excavación con túnel piloto. Este procedimiento tiene por objeto en la mayoría de los casos, determinar con anticipación las aportaciones de agua en las formaciones por las que el túnel atravieza, y en segundo lugar, observar el tipo de terreno al cual la excavación de la sección completa iba a enfrentarse. En la mayoría de los casos se efectúa una pequeña voladura en el frente del túnel piloto, y la rezaga se hace por métodos manuales a base de carretilla.

Para el ademado puede utilizarse madera con piezas de sección cuadrada de 20x20 cm., desde el mismo túnel piloto, en muchas ocasiones, se efectúan barrenaciones de reconocimiento para observar la calidad del terreno y las aportaciones de agua. Cabe recordar que en los frentes donde se efectúa la excavación con túnel piloto y a media sección, se reducen las velocidades de avance del túnel, por las actividades que representan dentro del ciclo de trabajo el efectuar estas operaciones.

\*

\*

\*

\*

**Aditivos.-** El empleo de aditivos para el concreto del revestimiento está encaminado básicamente a mantener el grado de plasticidad de las mezclas de manera que garantice su colocación consolidación y acabado. Para compensar la pérdida de plasticidad durante el transporte generalmente se usa un aditivo que permite especificar mayores revenimientos de partida en la panta dosificadora, sin detrimento de la resistencia y de las otras propiedades deseables del concreto.

En este sentido, se han llevado pruebas de laboratorio con aditivos producidos a base de ácido lignosulfónico. Las pruebas consistieron en elaborar mezclas con distintos porcentajes de aditivo (0.2 a 0.5% del peso del cemento) y compararlas -

con mezclas testigo sin aditivos.

Para un mismo revenimiento se obtuvo un incremento de resistencia a compresión del 8% a 15% para dosificaciones de aditivo de 0.2 a 0.4% respectivamente.

En relación a los tiempos de fraguado, se obtiene un retraso tanto del inicial como del final en todos los casos. En función del tiempo de decimbrado, se considera conveniente limitar el porcentaje de aditivos fluidizantes a un máximo de 0.35%.

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

CONSTRUCCION DE TUNELES. Ing. Francisco Javier Zumárraga, División de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.

EXPLOTACION DE ROCAS. Ing. Federico Alcaraz Lozano, Centro de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.

TESIS "EXCAVACIONES EN ROCA Y VOLADURAS". Alvaro Zavala Coca, I.P.N. 1983.

MANUAL DE EXPLOSIVOS DUPONT.

MEMORIA TECNICA DE LAS OBRAS DEL DRENAJE PROFUNDO DEL DISTRITO FEDERAL. Túnel S. A. de C.V. Tomo I y II

MEMORIA DE LAS OBRAS DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO DEL D.F. Depto. del Distrito Federal. Tomo III.