

24-27



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERIA

"Excavación Subterránea en Roca"

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

RODOLFO BARRETO ZUÑIGA

MEXICO, D. F.

1986



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# I N D I C E.

INTRODUCCION.....	2
CAPITULO I GEOLOGIA.....	5
CAPITULO II EQUIPO Y SU BALANCEO.....	27
II.1 Equipos utilizados en el ciclo básico.....	29
II.2 Balanceo de equipo.....	47
CAPITULO III DESCRIPCION DE DIFERENTES METODOS DE ATAQUE.....	51
III.1 Ataque a sección completa.....	56
III.2 Ataque con galería de avance y banqueo.....	58
CAPITULO IV DESCRIPCION DE LAS PARTES DEL CICLO BASICO DE - CONSTRUCCION.....	64
IV.1 Barrenación.....	67
IV.2 Voladura.....	85
IV.3 Ventilación.....	92
IV.4 Rezaga.....	98
IV.5 Ademe y Sistemas de Soporte.....	104
IV.6 Bombeo.....	113
CONCLUSIONES.....	115

## I N T R O D U C C I O N .

El ingeniero o el constructor se enfrentan en múltiples ocasiones a la necesidad de desplantar una estructura o a efectuar diversos trabajos de ingeniería en formaciones rocosas, o bien de alojar elementos estructurales dentro de túneles o cavernas excavados en este tipo de formaciones. La necesidad y ubicación de un proyecto determina que no siempre es posible situar los elementos estructurales de manera que su cimentación quede alojada en lo que pudiéramos llamar roca sana, consecuentemente el número infinito de formaciones rocosas que existen en la naturaleza, nos obligan en cada caso particular, a estudiar las formaciones como masas o conjuntos que deben trabajar armoniosamente con las estructuras que sobre ellas colocamos, y no en relación a sus componentes aislados.

Dada la geología de nuestro país, el ingeniero mexicano encontrará, con mucha frecuencia, que tiene que construir sobre o dentro de formaciones ígneas del tipo extrusivo, como son basaltos, andesitas, riolitas, etc. Ninguna de estas formaciones presenta en general características homogéneas, aún dentro de áreas relativamente pequeñas en los mantos que la forman. Diferencias morfológicas, agrietamientos, intrusiones de otras rocas e infinidad de accidentes, nos obligan a estudiar el comportamiento del manto en conjunto, dentro de las áreas de influencia de las estructuras impuestas.

Prácticamente en toda la altiplanicie del país, en varias zonas al sur del Istmo de Tehuantepec, así como en amplias zonas del norte, encontramos este tipo de formaciones y podemos asegurar que en general todas ellas están fracturadas. Este fracturamiento se puede deber a enfriamiento brusco de las lavas, pero también en forma importante por efectos sísmicos y de acomodo de la corteza terrestre.

Estas circunstancias nos indican que no podemos establecer reglas generales para los procedimientos de excavación, sino que en cada caso particular - debemos hacer un análisis del problema.

A lo largo del Golfo de México y en otras muchas zonas como son los estados de Morelos, Chiapas, Nuevo León y Sinaloa, entre otros, encontramos formaciones sedimentarias, principalmente calizas, que también presentan dentro de sus cortes, diferencias muy marcadas. Algunas de dichas formaciones, debido a su composición mineralógica, son muy solubles, y presentan en su interior, cavernas y hoquedades que hacen muy difícil establecer sistemas generales de excavación.

En la Costa del Pacífico encontramos zonas muy extensas formadas por rocas ígneas intrusivas, como son los granitos, dioritas, etc. Superficial e interiormente presentan, al igual que las otras rocas, diferencias muy marcadas en su aspecto y comportamiento, causadas por efectos de intemperismo y agentes extraños. En su interior producto de la acción sísmica presentan agrietamientos, fisuras y fallas.

Estos factores nos obligan al igual que en los otros tipos de roca descritos, a ser cuidadosos en nuestros análisis y estudios para fijar los procedimientos adecuados de excavación.

En general podemos decir que en México, difícilmente encontramos zonas rocosas, amplias que tengan características homogéneas. Aún dentro de especímenes relativamente pequeños, encontraremos heterogeneidades muy marcadas.

Igualmente el sistema de excavación que se elija, deberá tomar en cuenta la distribución de fallas o fisuras, el echado de los mantos, la composición de la formación y, por lo tanto, no pueden establecerse reglas muy generales que nos den una directriz a todos los problemas.

Generalmente se requiere el análisis y juicio del ingeniero que, disponiendo de los medios técnicos y de su experiencia personal, determinen en cada caso los procedimientos correctos de excavación.

Las excavaciones subterráneas tienen interés, fundamentalmente, desde el punto de vista de estabilidad y de procedimientos de excavación, y forman un renglón muy especial dentro de las técnicas de excavación.

Es importante señalar que el desarrollo del presente trabajo estará enfocado a la excavación subterránea en túneles, debido a la amplia gama existente en lo que se refiere a excavación subterránea en roca, lo cual nos impediría tener un análisis más profundo.

Los túneles pueden definirse como "estructuras subterráneas" dedicadas al transporte de personas o bienes, construidas generalmente, sin afectar la superficie. El propósito de los túneles, es asegurar la transportación de esas personas o bienes a través de ciertos obstáculos como montañas, ríos, áreas urbanas densamente pobladas, etc.

Los túneles se dividen en dos principales grupos que son:

- 1.- Túneles para tránsito.
- 2.- Túneles para conducción.

Los cuales se clasifican de la siguiente manera:

- 1.- Túneles para tránsito:

- a) Túneles para Ferrocarril.
- b) Para peatones.
- c) Para navegación.
- d) Para transportes urbanos.

- 2.- Túneles para transporte:

- a) Túneles de presión para centrales hidroeléctricas.
- b) Túneles para abastecimiento de agua.
- c) Túneles para alojar instalaciones diversas, para servicios públicos, energía, comunicaciones, etc.
- d) Túneles para drenaje.

C A P I T U L O I .

G E O L O G I A .

La importancia de la geología y la información geológica, en construcción de túneles, es indiscutible. Las condiciones geológicas son de los factores - más importantes que determinan el costo y el tiempo de ejecución de una obra - subterránea y por consiguiente es esencial pronosticarlos.

En la selección del método de construcción subterránea las condiciones - geológicas tienen una influencia mayor que cualquier otro factor.

Está reconocido universalmente que la geología y la predicción geológica - son factores importantes en el proyecto y la construcción de túneles. Con una mala información geológica, pueden ocurrir errores de estimación del tiempo de ejecución y del costo, ó de la elección de la localización del túnel y de la - técnica de su construcción. El resultado de este tipo de errores es generalmen - te la pérdida de tiempo y de dinero. De aquí, que el conocimiento geológico - por exploración debería ser un requisito primario en cualquier proyecto de - construcción subterránea.

Sin embargo, la exploración resulta muy a menudo costosa. Es además difícil calcular la diferencia entre el costo inmediato de exploración y algún beneficio futuro indeterminado en el costo y tiempo del proyecto.

Un estudio geológico, debe prestar una atención especial a todos los rasgos geológicos que pueden influir en la localización, diseño y construcción - del túnel.

Por lo general, un estudio geológico previo a la construcción y diseño de un túnel se efectúa en tres etapas:

1a. Estudios preliminares.

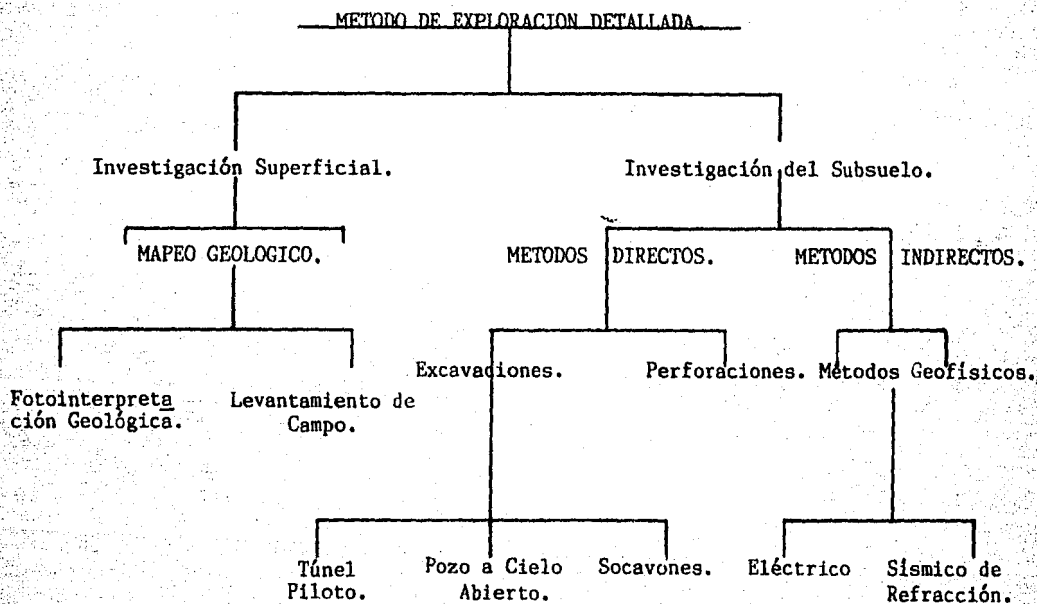
En esta etapa se realiza la recopilación y análisis de la información - existente, y un reconocimiento preliminar del área de interés. En esta fase se pretende conocer el ambiente geológico-geotécnico general para planear y funda - mentar las investigaciones subsecuentes.



## 2a. Estudios de detalle.

La segunda etapa es la más completa, puesto que está enfocada a determinar la factibilidad de un trazo en particular. En esta fase se consideran las diversas alternativas del trazo del túnel, basándose en la comparación de las condiciones geológicas y geotécnicas obtenidas con las exploraciones dentro de la ubicación general de la ruta.

Para desarrollar los estudios de esta etapa es necesario auxiliarse de diversos métodos de exploración; los cuales se muestran en el cuadro de la fig.



### 3a. Estudios especiales.

Comprende investigaciones adicionales, especiales o más detalladas, una vez que se ha elegido el trazo definitivo del túnel, cuyos datos habrán de ayudar al diseño final a la estimación de costos del túnel y a la previsión de futuros problemas geológicos.

Durante la construcción y operación del túnel se deben continuar los estudios geológicos con la finalidad de verificar los estudios anteriores, de prever problemas futuros y de auxiliar a un mejor diseño del revestimiento.

La información obtenida por la exploración geológica se presenta para su análisis en forma individual e integral, para lo cual deben elaborarse:

- Mapas geotécnicos.
- Perfiles geotécnicos individuales.
  - Sondeo.
  - Socavón.
  - Pozo a cielo abierto.
  - Geofísico.
- Perfiles geotécnicos integrados o Sección geotécnica.
- Perfil de problemas geotécnicos específicos.

Características geológicas de la localización, diseño y construcción del túnel.

En el desarrollo de este tema, se hará una descripción de los rasgos geológicos más importantes para la localización, diseño y construcción de un túnel. Se analizarán la litología y estratigrafía; las discontinuidades, estratificación, fracturas y fallas; así como la forma de describirlas; el estado de alteración de la rocas; los problemas relacionados con el agua; la influencia de alteración de la rocas; la influencia de los factores de geodinámica externa y de los esfuerzos internos.

#### Litología y estratigrafía.

Al hablar de la litología de una roca se hace referencia a su mineralogía, textura y su medio ambiente de depósito, así como algún nombre o término descriptivo de un sistema de clasificación reconocido, por ejemplo, caliza eolítica; pero este nombre y clasificación son únicamente geológicos.

Los términos litológicos son útiles en la geotecnia de túneles, ya que su empleo es una relación entre la textura, y anisotropía estructural de las rocas de un determinado origen. Por ejemplo, una roca ígnea tiene una estructura densa con muy pequeñas diferencias en sus propiedades mecánicas (con sus excepciones); mientras que algunas rocas sedimentarias y metamórficas muestran una anisotropía considerable.

Otra ventaja del nombre geológico, es la asociación que puede hacerse entre ciertos tipos de roca y otras características "in situ" que pueden presentarse. Por ejemplo la presencia de caliza o yeso inclina a buscar fenómenos de disolución; el basalto indica la posible presencia de diaclasas.

Sin embargo, en ocasiones el nombre geológico es insuficiente si no se complementa con otras características físicas como es una clasificación de tipo mecánico.

La estratigrafía, por su parte, permite establecer una relación entre distintas unidades litológicas o formaciones presentes y así conocer el origen, - espesor, distribución y posición cronológica en la secuencia de las diversas - unidades.

El conocimiento de la litología y estratigrafía es de suma importancia para saber, entre otras cosas, que tipos de rocas se encontrarán dentro del túnel, qué problemas pueden causar durante la construcción y con que confiabilidad se pueden proyectar los datos de superficie.

#### Discontinuidades.

El término discontinuidad se usa en Mecánica de Rocas, en un sentido general, para designar cualquier interrupción física de la continuidad del macizo rocoso, e incluye todos los tipos de fracturas, planos de estratificación, fallas, planos de foliación y de esquistosidad, así como contactos litológicos.

Son importantes ya que forman los principales planos potenciales de deslizamiento, tanto de bloques aislados, como de macizos rocosos.

A continuación, se analizarán con detalle la estratificación, fracturas y fallas, por ser las de mayor importancia.

La posición relativa del futuro túnel con respecto a los planos de la estratificación, principalmente en terrenos sedimentarios, es importante desde - varios puntos de vista:

La presión total sobre el revestimiento de un túnel y la forma, como se - distribuye a lo largo de él, dependen en primer lugar de la estratificación de la roca. Los cuadros de la fig.(I.1 ) muestran la influencia de esta discontinuidad.

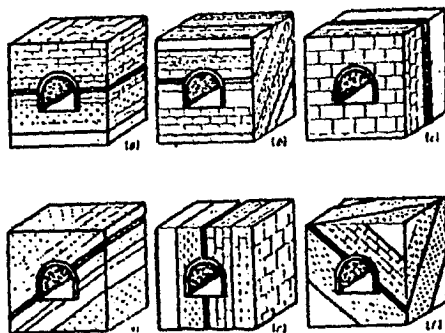


Fig. I.1 Influencia de la estratificación en el revestimiento de un túnel.

Existen dos posiciones extremas de la dirección de túneles en relación a la orientación de la estratificación; y entre ellas, hay numerosas posiciones intermedias.

- 1.- Túneles en dirección; su eje longitudinal coincide con la dirección de los estratos fig.(I.2.a ). Lo cual es aconsejable si la formación atravezada - presenta buenas características.
- 2.- Túneles atravezando estratos; el túnel es llevado perpendicular u oblicuo a la dirección de las capas fig.(I.2.b.), lo cual origina el irse encontrando varios tipos de rocas con diferentes propiedades e inclinaciones, - esto puede ocasionar problemas de estabilidad o permeabilidad.

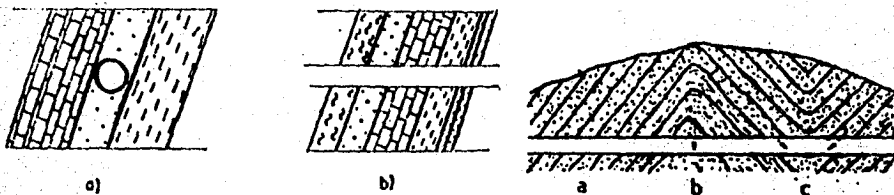


Fig. I.2. Posiciones extremas de la dirección del túnel en relación a la orientación de la estratificación. a) Túnel paralelo al rumbo de las capas. b) y c) Túneles perpendiculares al rumbo.

La inclinación de los estratos con respecto al túnel es también de importancia, por lo siguiente:

- Si los estratos son verticales, y se construye un túnel perpendicular al rumbo, cada estrato puede actuar como una viga dando mayor estabilidad fig.(I.3.a); con la desventaja de que puede filtrarse mucha agua de la superficie o por su posición la efectividad de los explosivos es menor.
- En el caso de que un túnel sea paralelo al rumbo de los estratos verticales fig.(I.3.b), la masa de roca del túnel se sostiene por la fricción a lo largo de los planos. En estos casos el límite superior de caídas de roca, de acuerdo con Terzaghi(1940), no se extiende una distancia mayor de 0.25 veces el ancho del túnel.
- Si la estratificación es inclinada pueden presentarse problemas de inestabilidad, más aún si se encuentran rocas alteradas, afalladas, fisuradas o intercalaciones de rocas competentes e incompetentes con bajo ángulo de fricción (yesos, sal, lutitas carbonosas, etc.), o bien si existen esfuerzos verticales u horizontales naturales del macizo o por esfuerzos tectónicos .

En este caso hay que seleccionar correctamente el sentido de ataque del túnel para estabilizar lo mejor posible el frente fig.(I.4. ).

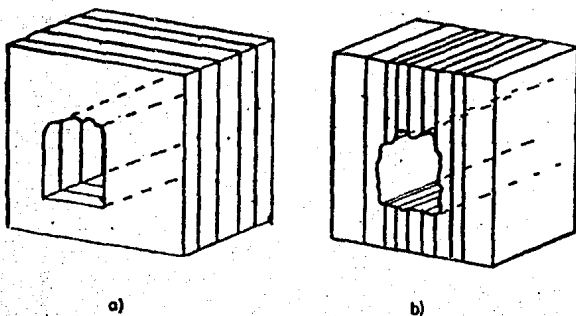


Fig. I.3 Inclinación de los estratos con respecto al túnel.

- a) Túnel perpendicular al rumbo de capas verticales.
- b) Túnel paralelo al rumbo de capas verticales.

- En el caso de rocas horizontales la estabilidad del túnel es función del espesor de las capas, el fracturamiento y la resistencia a la tracción de la roca y de su variación con el contenido de agua; ya que una acumulación fuerte de agua en el techo aumenta la carga.

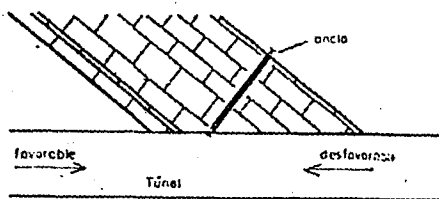


Fig.I.4. Túnel atravesando capas inclinadas.

La situación estructural de las capas es significativa, ya que si se construye un túnel en un anticlinal existirá mayor estabilidad, puesto que la presión vertical sobre el techo es menor que un sinclinal.

Además si la formación rocosa es permeable, en los anticlinales el agua - escurrirá por los flancos, mientras que en los sinclinales fluirá hacia el túnel. Fig. I.5.

Sin embargo es necesario tomar en cuenta, que en los anticlinales, los estratos superiores están más doblados y fisurados que los inferiores, por lo -- que es aconsejable tratar de situar el túnel a una profundidad tal que la fisuración no tenga consecuencias o bien en los flancos de la estructura. Fig.I.6.

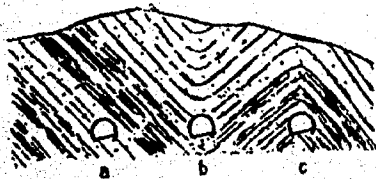


Fig. I.5. Diversas posiciones de un túnel con respecto a la entrada de agua a la excavación.

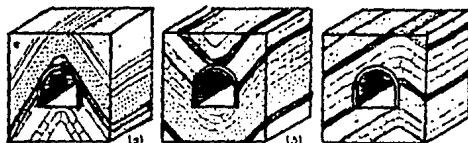


Fig.I.6. Túneles situados en anticlinales y sinclinales.

En cuanto a la tendencia al deslizamiento de bloques al interior de la excavación, los tramos desfavorables son las entradas de los anticlinales y los favorables las zonas centrales de los mismos. En sinclinales las condiciones son a la inversa.

#### Fracturas o diaclasas.

La presencia de fracturas o diaclasas, cualquiera que sea su origen y roca que afecte, puede causar serios problemas de estabilidad, ya que comunmente se presentan asociadas en uno o varios sistemas con diversas direcciones e inclinaciones, los cuales definen bloques inestables.

Un túnel donde el echado de las capas fracturadas sea de  $30^\circ$  o más, dará lugar a bloques inestables. Si las juntas buzan entre  $45^\circ$  y  $90^\circ$  y son paralelas al eje del túnel, se formarán bloques con tendencia a deslizarse tanto en la clave como en las paredes de la excavación. Fig.I.7.

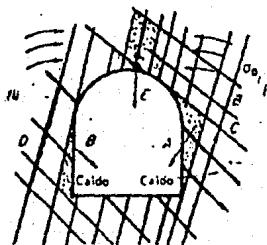


Fig. I.7. Túnel en roca con fuerte inclinación de juntas. Junta entre  $45^\circ$  y  $90^\circ$  paralelas al eje del túnel, dejan bloques inestables A, B y E.



En el caso de rocas estratificadas horizontales, el fracturamiento es importante, ya que si el espesor de la capa es grande y tiene pocas fracturas el estrato actúa como viga proporcionando estabilidad. Fig.I.8. sin embargo, las rocas con estratos delgados y fracturas tienden a dejar una zona inestable en el techo fig.I.9. de aproximadamente 0.5 el ancho del túnel.

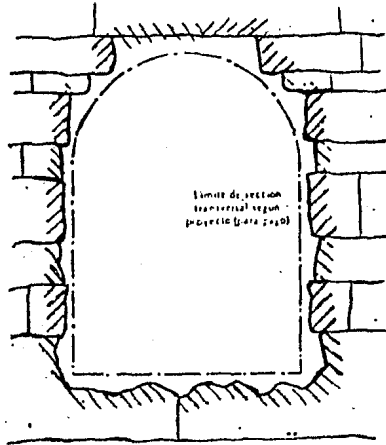


Fig.I.8. Las rocas estratificadas horizontales cuando son de espesor grande son estables.

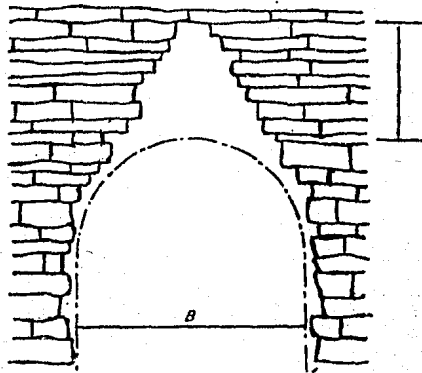


Fig.I.9. Las rocas con estratificación delgada y en posición horizontal o inclinada, que estén afectadas por fracturas dan lugar a desprendimientos en el techo.

## Fallas.

La presencia de fallas puede ocasionar múltiples problemas durante la --  
construcción:

- Las fallas deben detectarse perfectamente; conocer su posición respecto al túnel y donde están los bloques desplazados para planear el sentido de ataque y la forma de estabilizar las paredes.
- Es importante determinar si la falla es inactiva o activa, ya que si es te es el caso, poco podrá hacerse para proteger la construcción; ya que el túnel estaría sometido, repentinamente, a fuertes esfuerzos cortantes, que inclusive podrían ocasionar corrimientos.
- Si por necesidades de proyecto hay que atravesar una falla, es conveniente hacerlo, lo más perpendicular que sea posible, para así acortar la zona de problemas. Si es necesario seguir el trazo del túnel paralelo a la falla, también es recomendable que se aleje lo más posible de ellas.
- Las fallas grandes están asociadas, por lo general, con fallas menores y con fracturas. La zona de dislocación puede ser de muchos metros. Los problemas tienden a incrementarse con el ancho de la zona de falla.
- En ocasiones, las zonas de falla están formadas por materiales alterados o faltos de cohesión con tendencia a fluir en el túnel y que pueden confundirse con arena. Si el relleno está formado por materiales expansivos, se producirán presiones sobre los revestimientos. También pueden encontrarse milonita o algún material impermeable que podría obstaculizar el paso del agua subterránea de uno a otro lado de la falla, produciendo fuertes cargas hidrostáticas sobre el túnel; o bien, puede suceder lo contrario, poniendo en contacto a rocas permeables que ocasionen fuertes entradas de agua al túnel.

## EXPLORACION GEOLOGICA.

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 determinan 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 esta 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 la construcción más rápida y económica.

### Propósitos de las Exploraciones Geológicas.

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

#### a) Geología.

##### Geología Historica.

Investiga el origen de las rocas y los procesos geológicos que las han afectado, los que determinan el estado actual de la roca.

##### Hidrogeología.

Determinación del ciclo hidrológico de la zona, para cuantificar las filtraciones en el túnel.

##### Geología Estructural y Estratigrafía.

Determina la forma, posición y calidad de los macizos rocosos a ser excavados.

### Tectónica.

Determina las características geológicas que pueden afectar la magnitud de las presiones de roca que se han supuesto.

### b) 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 durante la construcción.

Determinar con exactitud los sitios de fallas y fracturas y los problemas que presentarán durante la construcción.

### Secuencia de Exploración.

La secuencia de las exploraciones geológicas aplicadas a la exploración de los túneles puede ser dividida en tres 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 fue ampliada por medio de reconocimientos de campo y fotointerpretación, así como por estudios hidrogeológicos los cuales 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).

#### B) Exploración de detalle durante la exploración.

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

Todos estos elementos influyen notablemente en la selección del método - de excavación, sistema de ademe y revestimiento definitivo.

Entre las características más importantes se consideran las siguientes:

- 1) Espaciamiento entre fracturas.
- 2) Distancia entre fracturas.
- 3) Relleno de fracturas.
- 4) Rumbo e inclinación de las fracturas.
- 5) Rumbo e inclinación de las fallas.
- 6) Zonas de fracturamiento.
- 7) Posición, rumbo e inclinación de los contactos geológicos.
- 8) Filtraciones (cuantificación).
- 9) Grado de alteración química de la roca.
- 10) Esfuerzos tectónicos.

El análisis de estas características y de sus combinaciones permite conocer con bastante aproximación las condiciones reales que presentaría la roca durante la etapa de construcción.

#### C) Exploración durante la construcción.

La exploración geológica alcanza su máxima actividad durante la - etapa de la construcción, ya que todos los parámetros establecidos durante - las dos fases previas, se van ajustando a las condiciones reales que la excavación va mostrando. Durante la construcción, algunas características que durante la etapa de planeación habían sido consideradas determinantes, pierden importancia para dar paso a otras que en la realidad influyeron más en la - construcción. Esto implica que existe un estudio continuo y cuidadoso de las - condiciones subterráneas que se presentan en la excavación.

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 encontrar zonas de falla y zonas de alteración hidrotermal.

Seria conveniente utilizar los datos de la siguiente tabla, 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.	304 - 760 M.
91 - 227 M.	152 - 304 M.
91 M.	30 - 152 M.

---

Por supuesto que en zonas donde se conoce que la calidad de la masa de roca es buena, estas operaciones se pueden aumentar, e inversamente, si la calidad de la roca es muy mala, se pueden disminuir.

Durante el diseño de un túnel, dependen de los alrededores, particularmente de la geología del sitio y en éste caso se debe realizar una investigación-geológica detallada, la cual consta de las siguientes partes:

- a) Levantamiento geológico superficial.
- b) Métodos geofísicos.
- c) Perforaciones directas o sondeos.
- d) Socavones de exploración.
- e) Mapa geológico del sitio.

#### Levantamiento geológico superficial.

En los estudios geológicos se debe elaborar un mapa de la geología estructural de la región, mediante fotografías aéreas, planos topográficos y el reconocimiento terrestre del sitio.

En esta fase preliminar es necesario identificar las formaciones, localizar fallas, sistemas de fracturamiento, planos de contacto, plegamientos y observar el intemperismo de las rocas, en fin, analizar todas aquellas características que interesen para el proyecto.

Tanto los geólogos como los ingenieros encargados del proyecto deben discutir las campañas de exploración que deben realizarse para verificar el corte geológico del túnel y lugares de las obras complementarias, y los estudios para determinar las propiedades mecánicas de las rocas, permeabilidad, fracturamiento, intemperismo, etc. Conviene desarrollar el trabajo en dos etapas.

La primera etapa contiene el mínimo de exploraciones necesarias para conocer los aspectos fundamentales de las formaciones que se encuentre en el sitio; la segunda etapa complementa la información y verifica ciertos aspectos dudosos o debatibles descubiertos en la etapa anterior. Por esta razón, mientras la primera etapa es relativamente rígida en su planteamiento, la segunda esta sujeta a los resultados que se vayan obteniendo.

El objeto de esta subdivisión de los estudios es evitar gastos innecesarios si la primera exploración demuestra que en el lugar existen condiciones desfavorables no previstas en el reconocimiento superficial.

La experiencia ha demostrado que las primeras exploraciones cuidadosamente analizadas, son las que permiten catalogar los problemas con bastante precisión; sin embargo, debe reconocerse que en ciertos casos, al construir la obra se encuentran ciertos problemas no previstos por los estudios.

#### Métodos Geofísicos.

El más usado consiste en medir la velocidad de propagación de una onda provocada con explosivos, a través de las formaciones rocosas. Como esta velocidad es función de las propiedades elásticas y del peso volumétrico de los materiales que atraviesa ( rocas ígneas, sedimentarias, rellenos, etc.) es posible tener una idea de la estratigrafía del sitio y de la presencia de fallas. Otro de los procedimientos se basa en las desviaciones de la gravedad en el lugar. Ambos son relativamente económicos y permiten hacer estimaciones en grandes áreas. Complementados con sondeos pueden ser de gran utilidad.

A continuación se mencionan los métodos geofísicos más importantes:

- 1) Sísmico.
- 2) De resistencia eléctrica.
- 3) Magnético y gravimétrico.

#### Socavones de exploración.

Es un tipo de exploración, la cual consiste en excavar un túnel pequeño; por ejemplo, de 1.5 m de ancho por 2 m de alto. El objeto es: determinar el tipo de formación, fracturamiento, existencia de fallas, etc.; obtener muestras de las rocas para ensayarlas en el laboratorio y realizar pruebas de campo con el fin de conocer la permeabilidad y la compresibilidad de la roca.



El número de socavones, su localización y profundidad dependen de la geología. Son exploraciones costosas: requieren equipos simples de barrenación y explosivos; la extracción de los materiales se hace en general a mano; en ciertos casos, y particularmente a la entrada, es necesario colocar ademe, deben lavarse las paredes y el techo para inspeccionar debidamente la roca.

En estos socavones, el geólogo hace el levantamiento de grietas, determina rumbos y echados.

#### Perforaciones directas o sondeos.

La información proporcionada por los socavones puede ser suficiente en ciertos casos, dadas las condiciones geológicas de el lugar. Pero en la mayoría de los casos es necesario ampliar la investigación a zonas que no son accesibles, o bien, muy costosas las exploraciones por túnel. En estos casos se hacen perforaciones, extrayendo corazones de la roca. Los equipos son rotatorios, los hay de muy diversas características y capacidades. Operan con brocas de diamante o de acero al tungsteno y agua inyectada a presión.

Estas perforaciones se utilizan para realizar determinaciones de la permeabilidad, sondeos eléctricos y en algunos casos fotografiar grietas o contactos con camaras especiales.

El número, localización, dirección e inclinación, profundidad y diámetro de la perforación, dependen del tipo de formación geológica, la disposición de las fracturas y el objeto que se persigue. No se pueden establecer criterios generales, pues cada caso es diferente. La norma es seguir de cerca los resultados que se van obteniendo y proponer modificaciones al programa. Esto es particularmente aplicable en la segunda fase de la exploración.

Los tipos principales de sondeo que se usan para fines de muestreo y conocimiento del subsuelo, en general, son los siguientes:

- a) Pozos a cielo abierto, con muestreo alterado o inalterado.
- b) Perforaciones con posteadora, barrenos helicoidales o métodos similares.
- c) Métodos de lavado.
- d) Métodos de penetración estándar.
- e) Método de penetración conica.
- f) Perforaciones en boleos y gravas.

Métodos de sondeo definitivo:

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

#### Mapa Geológico del Sitio.

Con los datos proporcionados por las exploraciones y las observaciones en la superficie, se construye el plano y las secciones transversales del levantamiento geológico.

La información contenida en los planos geológicos debe complementarse con observaciones que se realicen durante el periodo de construcción. Esto no sólo es necesario para anticipar en esa fase del trabajo problemas no previstos por la investigación, también para ganar experiencia aplicable a investigaciones futuras.

#### Mapa Geológico de la República.

El mapa geológico, es de gran utilidad al ingeniero pues le permite conocer a grandes rasgos el tipo de roca, así como sus características, en la región objeto de estudio.



El aspecto de posibles daños en propiedad ajena tiene mucha importancia, debiendo tratarse con detalle en el informe de estudios previos a la construcción y que deba contener los siguientes puntos:

- 1.- Introducción ( Descripción del área de proyecto y del proyecto mismo).
- 2.- Razgos del perfil de suelos.
  - a) Estructura y distribución de los suelos.
  - b) Propiedades significativas.
    - Propiedades índice.
    - Resistencia al corte.
    - Compresibilidad y expansibilidad.
    - Permeabilidad.
  - c) Resumen de las zonas de suelos problema o de baja calidad.
  - d) Historia de cargas.
  - e) Condiciones de agua subterránea.
  - f) Interpretación de resultados.
- 3.- Historia de construcciones anteriores en el área del proyecto. Levantamiento de construcciones e instalaciones, en el área que puedan verse afectadas por la excavación.
- 4.- Condiciones probables del terreno al nivel del túnel.
  - a) Naturaleza y calidad de los suelos.
  - b) Infiltraciones de agua.
  - c) Riesgos en el tuneleo. Atención especial a la presencia de suelos problema ( suelos que corren o que fluyen, suelos que se extruyen , suelos que se hinchan ) y a las consecuencias previsibles ( daños al túnel mismo y a terceros ).
- 5.- Método de diseño y de construcción.
  - a) Revestimiento primario, soportes temporales.

- b) Tratamientos especiales ( abatimiento del nivel freático, inyección de productos químicos, congelación, recimentación).
- c) Métodos de excavación ( escudos, aire comprimido ).

6.- Instrumentación. Observaciones:

- a) Comportamiento del túnel y desempeño de las máquinas excavadoras - en su caso.
- b) Movimiento alrededor del túnel y en la superficie.
- c) Criterios que han de usarse para evaluar la información dada por las mediciones. Métodos para modificar el diseño y la construcción en base a los resultados de la observación.

CAPITULO II.

EQUIPO Y SU BALANCEO.

Un buen número de obras de Ingeniería Civil requieren necesariamente, antes de la construcción, para llevar a buen término la construcción misma y tener el mínimo de errores, de un estudio geotécnico y de este estudio geotécnico la operación designada Movimiento de Tierras, necesita del conocimiento de los materiales que se van a mover llamense suelos, rocas blandas o simplemente rocas.

La selección del equipo que utilizará el ingeniero en el movimiento de --tierras, se hará en gran parte tomando como base la información relativa a los distintos tipos de materiales que se van a manejar, aprovechables o no aprovechables, y desde luego a otras consideraciones no geológicas como puede ser: - volumen, distancia, etc.

Un estudio geotécnico preliminar o detallado para fines de movimiento de --tierras, debe llevar a contestar, entre otras, las siguientes interrogantes:

- a) Que materiales se van a trabajar.
- b) Cual es el modo de extracción que hay que escoger.
- c) Cuales son las posibilidades de utilización del material extraído.
- d) Que volumen del material no es utilizable.
- e) Se encontrara el manto freático durante los trabajos de excavación.
- f) Cual sera la estabilidad del talud después de la excavación.

Clasificación de los materiales.

Según su naturaleza los materiales se pueden clasificar en tres grandes - grupos y los procedimientos de excavación para cada grupo requieren de técnicas muy diferentes:

- 1) Terrenos suaves.
- 2) Terrenos mixtos.
- 3) Terrenos rocosos.

Los grupos de maquinaria que son factibles de utilización en la excavación de un túnel, deben analizarse no sólo en cuanto a su capacidad de producción, sino también, en función de sus dimensiones, de sus alcances, de su movilidad y de los espacios necesarios para su operación. No hay que olvidar que en este caso dentro del túnel, la maquinaria habrá de operar en espacios reducidos.

En relación con la maquinaria no siempre se puede conseguir lo más avanzado, máxime si la tecnología no es nacional. Aparte de que lo más novedoso es muy costoso, hay otro tipo de implicaciones como por ejemplo: permisos de importación, créditos en el exterior y divisas, difíciles de conseguir; extemporaneidad para tener la máquina al pie de la obra; falta de refacciones y servicio; operación y mantenimiento defectuoso por desconocimiento del equipo; etc. Además debe justificarse con precisión la inversión en equipo nuevo, con la posibilidad de su amortización en un contrato específico.

## II.1 Equipos Utilizados en el Ciclo Básico.

El equipo que va a ser manejado en o cerca de un frente de ataque de un túnel, puede incluir un jumbo de perforación (una plataforma móvil casi tan grande como el túnel, que sostiene una batería de perforadoras), una máquina para cargar la rezaga (escombros subterráneos) y vagonetas de vía o camiones-llantas para extraerla; los mismos u otras vagonetas o camiones para traer el acero de barrenación, las brocas, los explosivos y otros suministros al frente de ataque, una locomotora para empujar y remolcar vagonetas, y un dispositivo de cambio o de paso, para permitir a las unidades de acarreo poderse cruzar entre sí, aunque a menudo sólo hay lugar para una sola vía o camino.



Deberá haber tuberías de aire de alta presión para alimentar las perforadoras, y a menudo, ductos grandes de baja presión para la ventilación. Instalaciones aéreas, o cables en el suelo que llevan electricidad para luz, fuerza y fluido para las voladuras. Podrá suministrarse agua a presión para la perforación húmeda. Un sistema de drenaje, bombeo o ambos podrá tener que manejar volúmenes tremendos de agua.

En adición al equipo regular, puede que haya necesidad de una perforadora de diamante, para hacer barrenos de prueba y para inyecciones de cemento, equipo de inyección para tapar las fugas y solidificar terreno mojado, y/o un amortiguador móvil para confinar el lanzamiento de la roca de las voladuras.

Si el túnel va a ser ademado con madera para su soporte, o revestido para soporte o para uso permanente, las cuadrillas y los materiales para este trabajo deben seguir muy de cerca a la excavación y de cualquier modo tendran que trabajar dentro y encima de la unica vía de acceso.

Si se abre a partir de una lumbrera, su fondo es otro punto de aglomeración. El equipo de acarreo puede elevarse hasta la parte superior para descargar o descargar dentro de recipientes en el fondo. Los abastecimientos deberán ser descargados desde las cajas del elevador y volverse a cargar para su acarreo hasta el frente de ataque. Los hombres que llegan o dejan el trabajo, los supervisores y los inspectores esperan aquí para su traslado a la superficie. Las bombas, los compresores, y aun los talleres de las perforadoras y de reparación, podrán localizarse en espacios reducidos excavados cerca de la lumbrera.

Dentro del equipo auxiliar se puede considerar lo siguiente:

- a) Bombas horizontales y verticales.
- b) Transformadores.

- c) Cambios californina, Car-passer.
- d) Laderas fijas, pisos deslizantes, pisos navaja, etc.

Para la conducción de fluidos y energía el equipo consiste en:

- a) Tubería de aire comprimido.
- b) Tubería para agua de barrenación.
- c) Tubería para ventilación.
- d) Conducciones eléctricas.
  - d.1) Alumbrado (normalmente monofásico 110 V).
  - d.2) Energía trifásica de alta y baja tensión (220 - 44 - V).
  - d.3) Líneas telefónicas.

Las Plantas generadoras de energía se enmarcan en tres tipos:

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

El equipo de emergencia se considera como:

- a) Equipo contra incendio.
- b) Detectores de gases.
- c) Planta de emergencia para energía eléctrica.
- d) Transformadores.
- e) Bombas de todos tipos.

## C A R G A D O R E S .

Descripción.- Son máquinas exclusivas para la excavación, carga y descarga del material.

Básicamente consisten de un cucharón adaptado en la parte delantera de cualquier tractor, ya sea de orugas o de llantas.

El cucharón es una caja de construcción simple con una cuchilla de acero templado, y con una hilera de dientes que sirven para las excavaciones en roca. Su control y movimiento es a base de un sistema hidráulico.

Clasificación.- Se clasifican en tres clases de acuerdo a su descarga.

- a) Descarga Frontal.
- b) Descarga Lateral.
- c) Descarga Trasera. (Rezagadora).

a) Descarga Frontal.- Este cargador es el más usual de todos, su acción es a base de desplazamientos cortos y rápidos. Consisten fundamentalmente de un cucharón y de un tractor, el cual lleva al primero en su parte frontal. A la mayoría de los cargadores es posible adaptarles los diferentes tipos de cucharones o herramientas que existen.

Son usuales para la excavación, carga y descarga del material a distancias cortas. Son comunes para excavaciones en sótanos y a cielo abierto, así como en terrenos de material suave y fracturado.

b) Descarga Lateral.- La característica de esta máquina es el cucharón, el cual puede descargar hacia adelante de la manera usual y hacia los lados mediante un cilindro hidráulico y una válvula de control.

Son usuales en los lugares donde el espacio para la maniobra de descarga es muy reducido, por lo que se utiliza entonces la descarga lateral, evitando así la necesidad de girar o voltear el tractor.

Comunmente los encontramos en túneles, bancos de material y canales, a las orillas de los caminos y en lugares poco accesibles para los movimientos de la carga y descarga.

c) Descarga Trasera.- (Rezagadoras). Las rezagadoras son las máquinas representativas de este tipo de descarga. Constan de un cucharón estandar diseñado especialmente para la excavación de roca pesada en minas, y de una unidad de tránsito montada sobre orugas.

La excavación al frente de ésta máquina es de la misma manera que en los cargadores frontales, pero con la diferencia de que el cucharón una vez lleno se levanta completamente por encima del tractor y se descarga atrás de éste. Después de la descarga el cucharón regresa a la posición inicial de excavación. Generalmente éstas máquinas son neumáticas para no contaminar el aire en los túneles y minas, y cuentan además con una cabina de cómoda operación y amplia visibilidad para su funcionamiento y control.

Los cargadores con descarga trasera o rezagadoras se utilizan particularmente para el trabajo de túneles, en donde se carece de espacio para las vueltas de los cargadores frontales, así como para el giro que requieren las pa-las.

## PERFORADORAS.

Descripción.- Este equipo que como su nombre lo indica, está diseñado exclusivamente para los trabajos de perforación, barrenación y demolición, y que además de encontrarse en una gran variedad de formas y tamaños cuenta con una aplicación muy importante en el campo de la construcción.

En general las perforadoras, que van desde el pequeño aparato de fácil manejo, hasta las grandes y complicadas máquinas de perforación, son herramientas formadas por un mecanismo apropiado para producir los efectos de percusión y de rotación de la barrena, que accionada mediante un motor de gasolina, diesel o eléctrico, o bien por un compresor, va provista normalmente de una broca en su extremo de ataque, o bien terminada en punta.

Así mismo la gran variedad de perforadoras que dependiendo de su tamaño y aplicación, pueden montarse en barras o varillas de acero, carretillas, vagones, carros de perforación, trípodes, orugas, camiones, torres, plumas, y en un sin fin de plataformas y equipos especiales, están diseñadas adecuadamente con un control que les permite a través del interior de la broca y la barrena, el bombeo del aire agua o lodo, cuya finalidad es conservar y lubricar la broca, extraer los fragmentos barrenados, y mantener la presión necesaria en las paredes del agujero evitando que éstas se derrumben.

Clasificación.- Debido a que estas máquinas presentan una gran cantidad de equipos y accesorios, se clasifican de acuerdo al tipo y tamaño de la obra, tomando en cuenta la naturaleza del terreno, la profundidad y el alcance de los barrenos, así como la roca o piedra que quiere producirse; por lo que se divide en:

- a) Pistola o Martillo de Barrenación.
- b) Pierna Neumática.
- c) Perforadora de Carretilla.
- d) Jumbo.
- e) Perforadora sobre orugas.
- f) Perforadora Portátil de Torre.
- g) Perforadora para Túneles.
- h) Perforadoras Giratorias.

a) Pistola o Martillo de Barrenación.- Se emplean exclusivamente para la perforación de barrenos mediante el efecto de rotación y para romper por percusión o golpeo, están diseñados apropiadamente en peso y volúmen para ser manipulados por un sólo hombre, y para que su funcionamiento sea esencialmente a base de aire, o mediante un motor de gasolina que acoplado a uno de sus lados y de igual manera que el compresor, proporcionen a esta herramienta de la energía necesaria para su funcionamiento, a pesar de su reducido peso.

Dependiendo si la terminación de la barrena es un punto o rematada por una broca en su extremo, éstas máquinas son usuales para la perforación manual en trabajos a cielo abierto, en minas y canteras, y en general los trabajos de demolición y barrenación que son los más comunes.

b) Pierna Neumatica.- Nombre que reciben las perforadoras neumáticas de barrenación, cuando van articuladas a un brazo o elemento auxiliar, que se diseña y se acopla perfectamente al martillo giratorio o a la pistola demoledora para facilitar la perforación tanto en posición horizontal como vertical o inclinada hacia arriba.

Este elemento o brazo auxiliar que no tiene el mayor problema para acoplarse a la máquina, y que consiste en un tubo alargado de acero, proporciona apoyo y avance automático a la perforadora, mediante una válvula de control que se dilata apropiadamente manteniendo en contacto a la broca con la superficie perforada.

Generalmente la pierna o brazo neumático, que permite al operador barrenar con mayor facilidad, no presenta diferencia alguna con respecto a las perforadoras neumáticas, ya que es únicamente el brazo o elemento auxiliar lo que cambia.

Su uso principal es en minas, túneles y galerías, para trabajos subterráneos de perforación horizontal, vertical e inclinada, y en paredes y techos de poca altura.

c) Perforadora de Carretilla.- Estas máquinas que se apoyan sobre un chasis con llantas de hule para la barrenación, y que tienen la ventaja de ser manejados por un sólo hombre, consisten básicamente de una perforadora neumática articulada a una guía de acero, que accionada por medio de un sistema hidráulico o mediante un motor adicional, gira, sube o baja permitiendo que el número de posiciones para la perforación sea ilimitado.

Así mismo la plataforma en "U" que sirve de apoyo a la guía metálica y que junto con la perforadora o algún otro accesorio optativo, van sostenidos sobre un bastidor de tres o cuatro ruedas, el cual puede ser remolcado o empujado de uno a otro sitio.

Estas máquinas que en general son de accionamiento rotatorio o de percusión, son controladas mediante un motor diesel o de gasolina, y con mayor frecuencia, por un compresor que transmite por medio de mangueras el aire comprimido que requieren.

Son usuales para perforaciones de barrenos, muestreos suelo e inyecciones para resanes, y sobre todo para lugares como minas, canteras, túneles y carreteras.

d) Jumbo.- Es una plataforma móvil en donde tanto las herramientas de perforación como sus operadores van montadas sobre ésta, permitiendo que la barrenación se realice simultáneamente en todas las perforadoras.

Estos aparatos que se construyen con una gran variedad de formas incluyendo a las plataformas sencillas y dobles, que soportan a las perforistas y a todas y cada una de las perforadoras que se encuentran acopladas a una pinya o brazo neumático, son máquinas que generalmente permiten atacar un mismo frente, a distinto nivel y con diferente posición.

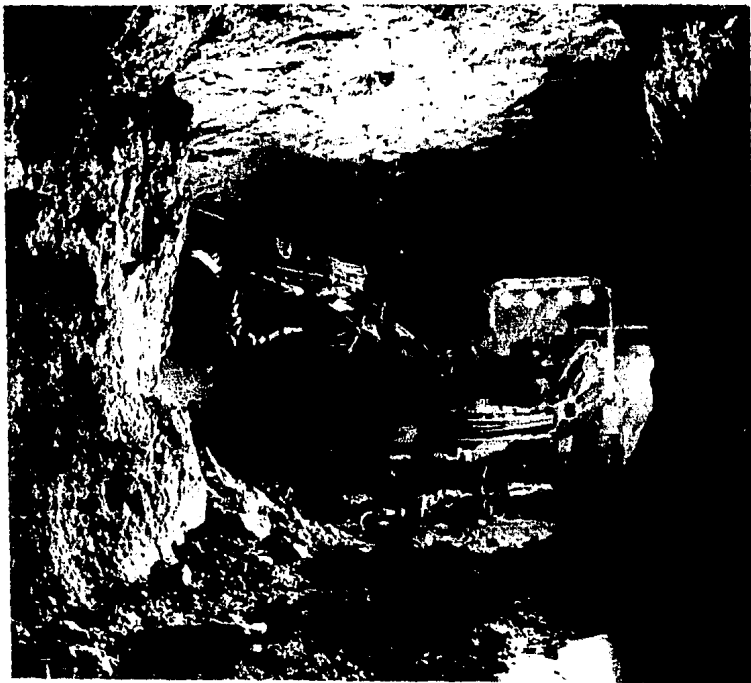
Actualmente se utilizan carros de barrenación o jumbos montados en llantas de hule o sobre orugas, especialmente cuando la rezaga se hace en camiones, pero pueden ir también sobre rieles si la rezaga se hace a través de éstos.

Se utilizan en casi todos los trabajos subterráneos, como minas, túneles y galerías para la barrenación previa a los explosivos.

e) Perforadoras sobre orugas.- Estas máquinas que básicamente constan de una perforadora pesada, una guía, y un brazo neumático, van soportadas sobre un bastidor transversal y entre un par de orugas, las cuales se caracterizan por tener tracción propia y por ser de tipo oscilante o rígidas, manteniéndolas por medio de un mecanismo hidráulico, en contacto directo con el terreno, aún cuando este sea irregular.

En general todos los movimientos de éstas máquinas, son desarrolladas a base de aire comprimido, que tomado de un compresor por separado, puede remolcarse mediante la fuerza de tracción de las orugas, a todos lados junto con la perforadora.





Jumbo de perforación sobre neumáticos.



Perforación de barrenos mediante el efecto de rotación, accionado a base de aire.

Estas máquinas, que por ser mucho más cómodas que las de carretilla, ahorran trabajo y producen mayor cantidad de metros de barrenación. Son muy frecuentes por su fácil maniobra y acceso en lugares difíciles, para la perforación de barrenos en bancos de rocas, en canteras, taludes, etc.

f) Perforadora Portátil de Torre.- Son máquinas formadas esencialmente por una torre o pluma debidamente apoyada sobre la parte posterior de un camión, cuyas características hacen de esta perforadora una herramienta básica dentro del grupo de la máquina de autopropulsión.

Actualmente las perforadoras portátiles de torre que se encuentran en una gran variedad de tipos y tamaños, y que se encuentran montados tanto en camiones como en orugas, varían desde los modelos más sencillos, que funcionan mediante el golpeo de la broca sobre la superficie del terreno semejante a la acción de un cincel, hasta las grandes máquinas que utilizan barrenos giratorios y taladros de hélice o de tornillo, son aparatos que se caracterizan principalmente porque la maniobra de perforación se desarrolla a través de la torre o pluma y porque en casi todos los modelos la posición vertical es utilizada únicamente para el trabajo, mientras que la horizontal es exclusivo para cuando la máquina es transportada.

## TRANSPORTES.

Descripción.- Son vehículos que se desplazan a grandes distancias por medio de llantas, y que se diseñan para transportar a altas velocidades tanto - equipos de maquinaria, como cargas y volúmenes de gran tamaño.

El motor de los diferentes tipos de camiones que varía en modelo y tamaño, puede ser de gasolina, diesel, propano, y de algunas otras derivaciones - más.

Clasificación.- Los camiones para dentro de las carreteras como los de - uso exclusivo para fuera de ellas se dividen en:

- a) Volteos.
- b) Volquetes.
- c) Vagonetas.
- d) Dumptors.

a) Volteos.- Equipo exclusivo para el transporte o acarreo del material - extraído, y diseñado para circular dentro y fuera de las carreteras tanto por los camiones de tipo ligero como pesado.

Estas máquinas, que son las que con más frecuencia se utilizan en los - trabajos de excavación, constan principalmente de una caja metálica a volteo, de una cabina de control, de un chasis, y de varias llantas o neumáticos para desplazarse.

El camión de volteo es el medio de acarreo más eficiente para las obras - donde las distancias son grandes y los caminos y calles se conservan en buen estado, aunque en algunas ocasiones se tengan que emplear para fuera de las - carreteras y en terrenos poco accesibles.

En las obras de campo son usuales para el transporte de roca en canteras, presas, carreteras, canales, minas y en ocasiones para acarreos de material suelto.

b) Volquetes (Dumpers).- Es el equipo más empleado en las obras de movimiento de tierras por su gran movilidad y rapidez, así como la gran adaptabilidad para trabajos fuera de las carreteras y en suelos vírgenes.

Se clasifican a menudo en la categoría de los camiones, pero en la realidad se encuentran entre el grupo del tractor-remolque y del camión, aunque de todas maneras es considerado como equipo del tipo pesado.

En la actualidad se construyen modelos aún más pequeños que los normales, que funcionan a base de gasolina y como carretillas motorizadas. Los equipos del tipo pesado, que son más grandes y más robustos son accionados mediante motores diesel.

El acarreo de tierra, roca, arena, grava y arcilla, es el trabajo común de estas máquinas y puede considerarse como un elemento admirable para subir por las cuestas.

c) Vagonetas.- Unidades diseñadas exclusivamente para efectuar grandes movimientos de tierra, soportadas sobre uno o dos ejes de llantas y articuladas a un tractor o camión para su desplazamiento.

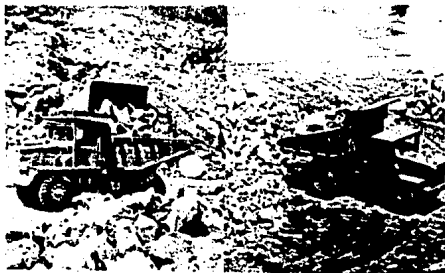
Estas máquinas, se clasifican en semirremolques y remolques. Cuando el bastidor va apoyado únicamente en su parte trasera mediante sus propias llantas y soportada al frente sobre ruedas propulsoras del tractor o del camión, se llama semirremolque, pero cuando el bastidor va apoyado en ambos extremos en sus respectivos ejes de ruedas, y de manera que ningún peso descansa sobre el vehículo propulsor, se llama remolque.

Equipo usual para acarreos de grandes volúmenes de agregados, revesti - mientos y de materiales suaves para caminos y presas.

d) Dumpsters.- Generalmente son de tracción propia y se mueven a base de diesel; van sostenidos sobre dos llantas de propulsión en su parte trasera y dos ruedas directrices en la delantera, a veces las llantas delanteras tam - bién son de tracción propia.

En la actualidad existen modelos aún más pequeños que funcionan como una carretilla motorizada de obras de construcción simple y movidos por motores - de gasolina.

Son exclusivos para trabajos de perforación y explotación de túneles y - minas, donde el espacio restringido del lugar dificulta la maniobra de girar - o dar vuelta, permitiendo así la aplicación directa de este equipo que elimi - na las vueltas desplazándose en ambos sentidos.



Acarreo de material por medio de camiones.

Bandas Transportadoras.- El transportador de banda es un elemento complementario para el desplazamiento y acarreo de materiales sueltos a distintas -- distancias y alturas, que consiste principalmente de una banda plana apoyada -- sobre un sinnúmero de rodillos giratorios que utilizan para su movimiento, y -- de una estructura o armazón angular llamado bastidor, sobre el cual se encuentran todos los demás elementos.

En general las bandas transportadoras, que pueden mover el material en posición vertical, horizontal e inclinada, están diseñadas de tal manera para -- que las de superficie irregular o de listones metálicos, puedan transportar -- cargas con ángulos mayores que las de superficie lisa, aunque hay otras de cadenas de cangilones que elevan el material a cualquier ángulo, incluyendo la -- carga vertical.

Dependiendo de su instalación las bandas transportadoras se dividen en:

a) Portátiles.

b) Permanentes.

que a su vez pueden ser para los dos casos:

- Lisas.

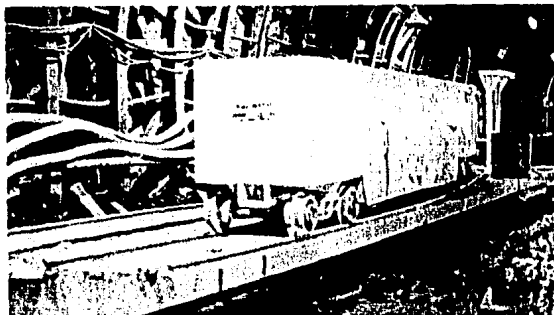
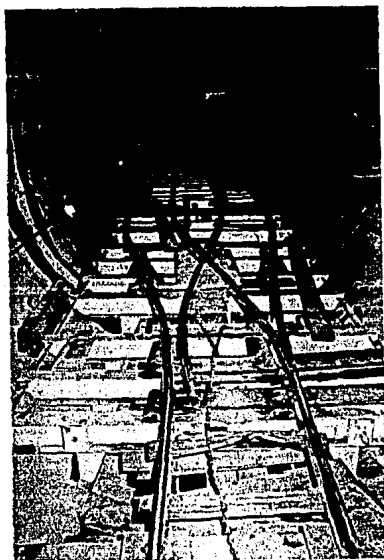
- De Listones Metálicos.

- De Cadena de Cangilones.

Aplicaciones.- Usuales para mover grandes volúmenes de material a lo largo de una ruta o terreno difícil, o como complemento de plantas de trituración , de asfalto, o de tratamiento, para la alimentación de las mismas. Como unidades independientes, son empleadas para acarreo desde los bancos de material -- hasta las tolvas o almacenes dentro de la obra, en la elevación del concreto o para algunos otros materiales. También a tenido gran aplicación en trabajos -- subterráneos.

Transporte con Locomotoras.- A pesar del empleo, cada día creciente, del transporte sin vías, el procedimiento de transporte sobre vías, con tracción por locomotoras, es todavía económico cuando es preciso transportar grandes cantidades de material, cuando las vagonetas son de grandes dimensiones y -- cuando las condiciones del camino son malas. La mayoría de las veces se trata de locomotoras de Diesel; también, aunque con menos frecuencia, suelen utilizarse locomotoras eléctricas o de aire comprimido.

Las locomotoras de motor, suelen ser, generalmente, locomotoras Diesel. Son económicas y de manejo sencillo. No admiten sobrecargas. Son las más utilizadas en vías de 600 mm de ancho, si no se han de vencer grandes pendientes.



Vagones sobre diferentes sistemas de rieles para movimiento de material dentro del túnel.

## C O M P R E S O R E S .

Descripción.- Son máquinas destinadas a comprimir aire o mezclas gaseosas, a una presión superior a la atmosférica, o dicho de otra manera, son aparatos que absorben el aire de la atmósfera, para comprimirlo y enviarlo por mangueras, a los diversos equipos y herramientas de perforación.

Básicamente éstas máquinas, que pueden ser del tipo portátil o estacionario, van montadas sobre una plataforma o chasis que se apoya sobre dos o cuatro ruedas neumáticas o de acero, y sobre la cual descansa un compresor, y un motor de tipo eléctrico o de combustión interna, el cual se acciona por medio de diesel, vapor o gasolina.

Clasificación.- Dependiendo del tipo y forma en que se comprime el aire se dividen en:

- a) Compresores de Pistón.
- b) Compresores Giratorios ( De aspas y de tornillos ).

Aplicaciones.- Generalmente éstas máquinas que se utilizan para comprimir el aire a altas presiones, y para el accionar de los diferentes equipos de perforación.



## BOMBAS DE AGUA.

Descripción.- Estas máquinas se encuentran montadas sobre ruedas neumáticas o sobre una base metálica, y están acopladas a motores de gasolina, diesel o eléctricos.

Operan arrojando hacia afuera el agua que entra a ellas através de una manguera por medio de aspas que giran rápidamente.

Clasificación.-

- a) De Desplazamiento ( reciprocantes y de diafragma ).
- b) Centrífugas ( convencionales, auto-cebantes, neumáticas ).

Aplicaciones.- Las bombas se utilizan ampliamente en las obras de construcción para:

- a) Extracción del agua en pozos, túneles, etc.
- b) Desaguar encofrados.
- c) Proporcionar chorros de agua en el hincado de pilotes y otros servicios.
- d) Lechadeo de cimentaciones.

## II.2 BALANCEO DE EQUIPO.

Por lo general, en la construcción de muchas de las obras hidráulicas, - especialmente tratándose de presas, la ejecución del conjunto de la obra suele estar supeditada a la terminación de los túneles que forman parte de la misma, ya que por ejemplo, los trabajos de cimentación y erección de la cortina no se pueden realizar hasta en tanto la corriente no haya sido desviada por los túneles, cuando estos constituyan el dispositivo de desvío, dejando en seco y a -- salvo de riesgos irracionales el sitio de la cimentación. Aún en otros tipos - de obras, las grandes inversiones que significa la construcción de uno o va -- rios túneles permanecen improductivos hasta en tanto no se terminan los mismos ; y lo que es más, el costoso equipo empleado en su construcción aumenta notablemente su porcentaje de "tiempos ociosos", en tanto mayor tiempo dura la terminación de los mismos, lo que consecuentemente se refleja en los costos generales de toda la obra.

-La economía en los trabajos de construcción está muy influenciada por la rapidez con que se ejecute y termine, y en general los costos se abaten en función directa de la rapidez, empero en ciertos casos, el ritmo de construcción exige una concentración muy grande de equipo no siempre balanceada, que implica un notorio aumento en algunos de los costos de ciertos conceptos de trabajo. El fin utilitario de un túnel y su interdependencia con otras estructuras influyen notablemente en la planificación y ejecución de los trabajos del mismo y consecuentemente en sus costos.

La cada vez creciente mecanización implica la necesidad de una muy cuidadosa planeación de los trabajos de ejecución de túneles, orientada tanto al -- fin utilitario, ya sea transitorio como permanente de los mismos, así como a -- la economía del conjunto total de la obra de la cual forman parte.

La sección transversal de un túnel, que básicamente dependen de las exigencias del proyecto, tiene una profunda influencia sobre los costos de los trabajos ejecutados para su realización.

En tanto mayor es la sección transversal de un túnel, menores deben ser los costos correspondientes a las operaciones de barrenación, explosivos, excavación de la rezaga y acarreo de la misma, pudiéndose aumentar la capacidad nominal del equipo excavador, con lo que se ganará también en rapidez, y ocasionalmente, en una más adecuada sincronización de las etapas elementales que forman parte del ciclo completo de excavación. De ahí que las dimensiones de un túnel, así como el tipo de material pasan a ser elementos fundamentales en la selección del método de excavación, ya sea en banco o a sección completa, debido principalmente al área de trabajo y otros factores que intervienen.

Por lo antes dicho, un túnel que satisfaga perfectamente las exigencias de un cierto proyecto, puede no satisfacer las normas mínimas y lógicas derivadas de la Ingeniería de Costos.

Sea por ejemplo un túnel con una sección transversal de dimensiones tales que permitan solamente el paso de un solo camión, el cual deberá entrar, pongamos por caso, en reversa para ser cargado y salir en directa; mientras un camión transita por el interior del túnel, uno o dos camiones de la flota encargada del transporte de la rezaga podrán estar esperando a la salida del portal, lo cual significará importantes pérdidas de tiempo, con los consecuentes aumentos en los costos. Un análisis de costos de tal caso, podría demostrar que ampliando en uno o dos metros el diámetro del túnel, se abatiría el costo del mismo, puesto que aumentando la sección se obtendría:

- a) Reducción en la cantidad de barrenación por metro cúbico de roca excavada.
- b) Reducción del consumo específico de explosivos.
- c) Utilización de una excavadora o equipo de mayor capacidad.
- d) Tránsito simultáneo de dos o más vehículos por el túnel, evitando las esperas y reduciendo por tanto los tiempos de rezagado.
- e) Como consecuencia de los dos puntos anteriores se reducirían los costos de excavación y acarreo.
- f) Finalmente, se podría lograr un ajuste más balanceado de los tiempos correspondientes al ciclo de trabajo, reduciendo como consecuencia de ello los tiempos que por lo general suelen estar ociosos los equipos mecánicos empleados en las diversas etapas de la excavación.

Se observa en forma notable, como durante su proceso constructivo, existe en forma constante, lo que conocemos como equipo "ocioso", lo cual afecta en forma directa el costo de la obra. Todo lo anterior implica que, cualquier obra de importancia, se tenga que efectuar una planeación preconcebida en la que deberán estudiarse múltiples posibilidades de ejecución, previendo los acontecimientos, eventualidades y circunstancias que podran o no presentarse.

Es importante hacer notar, que la construcción de túneles, es de los trabajos donde más problemas se presentan para "balancear un equipo", debido principalmente a la gran concentración de equipo y a las diversas variables que se presentan durante su construcción.

De ahí viene la necesidad de buscar un "balance de equipo" lo más optimo posible, durante la excavación de un túnel, buscando reducir al mínimo los tiempos ociosos del mismo; puesto que en realidad cada túnel constituye un problema en particular, es necesario analizar cada uno de los elementos que intervienen durante la excavación subterránea.

De todo lo antes expuesto, podemos concluir que se le llamara "equipo balanceado" a todo aquel que se apegue a las siguientes recomendaciones:

- I.- Será equipo balanceado, sólo aquel que haya sido seleccionado en función de un programa, y que resulte capaz de cumplir con los plazos estipulados por el mismo, previendo incluso causas de fuerza mayor.
- II.- Será equipo balanceado, sólo aquel en el que todas y cada una de las máquinas que trabajen en un frente de trabajo se apoyan mutuamente, reduciendo al mínimo sus interferencias, tiempos ociosos y demás irregularidades.
- III.- Será equipo balanceado, sólo aquel que opere siguiendo una programación racional, en la que todas y cada una de las máquinas apoyen a la de rendimiento crítico dentro del conjunto.
- IV.- Será equipo balanceado, sólo aquel que haya sido organizado en forma tal que la máquina de rendimiento crítico del conjunto haya sido correctamente seleccionada.
- V.- Será equipo balanceado, sólo aquel que tenga capacidad suficiente para realizar los trabajos que se le encomienden; esto implicará que todo equipo siempre deberá tener una reserva de fuerza adicional a la máxima demandada por las operaciones normales de construcción.
- VI.- El equipo balanceado, el programa de construcción y los costos de una obra, siempre serán tres análisis interdependientes indisolublemente con jugados, pues si en uno de ellos se tuvieren deficiencias, a su tiempo se presentarán en los restantes.

Cualquier conjunto de equipo de construcción que solo cumpla parcialmente algunas de las VI condiciones arriba señaladas, sólo estará parcialmente balanceado, y frecuentemente operará desbalanceado.

### CAPITULO III.

DESCRIPCION DE DIFERENTES METODOS DE ATAQUE.

De una manera muy general, podemos decir que existen dos grandes grupos de métodos constructivos; aquellos en los que el frente y las paredes del terreno no tienen problemas de estabilidad en el corto plazo y aquellos cuyos terrenos presentan problemas de estabilidad en el frente, empuje en las paredes, o simplemente son inestables.

Dentro del primer grupo están casi todos los túneles de roca sana y algo fracturada. El procedimiento constructivo más común es el método llamado convencional, en el cual se excava, ya sea la sección completa o la media sección superior, utilizando explosivos, colocando un sistema de soporte que puede variar de acuerdo con las características de resistencia y con las discontinuidades de los materiales.

El segundo grupo corresponde a los túneles excavados en rocas fracturadas. Estos túneles normalmente tienen filtraciones importantes y con mucha frecuencia se presentan frentes mixtos. Este grupo de túneles son los más difíciles de excavar, requiere de una exploración geológica más precisa, de amplia experiencia y de mayor inversión de mano de obra, equipo y materiales.

Los túneles generalmente construidos para formar parte de obras de Ingeniería Civil, salvo que sean excepcionalmente largos en su desarrollo, no llegan a presentar los complicados y complejos problemas que suele plantear la racional conducción de excavaciones subterráneas en las explotaciones mineras. Prácticamente todos los túneles que forman parte de obras hidráulicas, hidroeléctricas y de comunicaciones, se excavan a profundidades relativamente pequeñas con respecto a la superficie natural del terreno, lo que permite que en túneles muy largos, a intervalos económicamente estudiados y determinados se hagan galerías laterales o lumbreras que comuniquen con el exterior, sirviendo adicionalmente como accesos para nuevos frentes de ataque, ya que por-

lo general, todo túnel de gran longitud debe atacarse por varios frentes si -  
multáneamente, puesto que de otra forma se presentarían problemas técnicos y -  
económicos.

En muchos casos la longitud del túnel puede ser definitivo para la selec -  
ción del procedimiento constructivo; entre más corto sea es más conveniente -  
usar métodos constructivos que no requieran grandes inversiones de equipo, es  
decir, se tenderá a usar procedimientos simples que no requieran equipos so -  
fisticados, sino el empleo de procedimientos manuales, de instalaciones provi -  
sionales y de equipos de colado seccionales y sencillos.

Entre más largo es un túnel, más complicada será la logística para deter -  
minar el número de frentes de ataque y la selección de los equipos de cons -  
trucción y sus respectivos rendimientos.

En un túnel largo lo importante es terminar la construcción de los tra -  
mos de acuerdo a un programa que haga rentable las inversiones en instalacio -  
nes y en equipo, de nada servirá terminar casi todo el túnel si se tiene una -  
zona problema que establezca un tapón.

La forma y tamaño de la sección son determinantes al estudiar la estabi -  
lidad del frente, ya que entre más grande es un túnel, las cargas que actúan -  
sobre los ademes son mayores y su influencia en la vecindad también se incre -  
menta. Las condiciones del subsuelo juntamente con el tamaño del túnel deter -  
minan el método de excavación y la clase y características de los sistemas de  
soporte. Así entre mayor sea un túnel, se requerirán más etapas de excavación  
y el empleo de ademes más robustos.

Aquí es donde se muestra la importancia de la exploración geológica, la -  
planeación de todos los frentes y la experiencia de los ingenieros y de los -  
obreros.

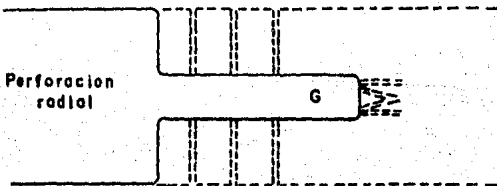
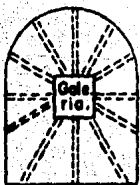
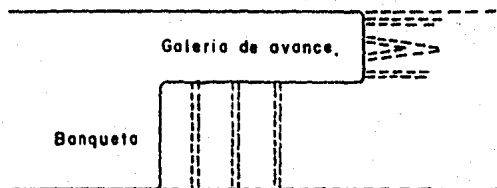
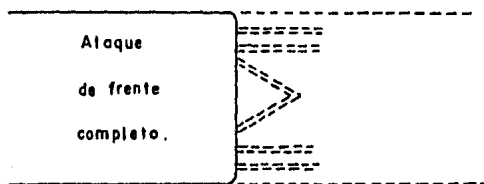


Antiguamente las dimensiones de un túnel, el tipo de material influían - en la selección del método de perforación, ahora el tipo de equipo disponible constituye el factor de mayor importancia para determinar el método de perforación.

Basicamente existen dos métodos de ataque principalmente utilizados en - las excavaciones de túneles:

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





Galerías de avance de túnel

### III.1 ATAQUE A SECCION COMPLETA.

La excavación de sección completa de un túnel en un sólo paso, es un método bastante generalizado, utilizado en la apertura de pequeños túneles. Los túneles más grandes, de hasta 100 m<sup>2</sup> de sección también pueden excavarse según este procedimiento, siempre y cuando las condiciones de la roca sean favorables.

El ataque del túnel a sección completa, se lleva a cabo cuando la roca es de buena calidad y además que el soporte que necesita sea mínimo o local. Se obtienen buenos resultados cuando se ejerce un control riguroso y adecuado en las operaciones del ciclo de excavación.

El ataque a sección completa, ofrece las siguientes ventajas y desventajas:

#### VENTAJAS.

Los tiempos empleados en instalar y retirar los equipos de barrenación y poblado se reducen, proporcionalmente al volumen de roca obtenido en cada tronada, aumentando por tanto el tiempo efectivo empleado en la barrenación; es decir las maniobras auxiliares se reducen.

Se pueden obtener avances muy positivos, permitiendo la construcción de los túneles en el mínimo de tiempo posible, debido en gran parte a la mayor área de trabajo.

El tiempo que suele significar una fuerte inversión de capital, es utilizado en forma más eficiente, (dependiendo en gran parte de las dimensiones y del tipo de material que se tengan); se logra un mejor balanceo del mismo.

A mayor sección, menor la carga específica de explosivos y mayor el volumen de barrenación por metro cúbico de roca tronada, lo que implica importantes economías. Es posible el empleo de excavadoras más grandes, reduciéndose la limitación de fragmentación de la rezaga.

## DESVENTAJAS.

En túneles muy grandes en donde se sigue una secuencia rítmica en las operaciones que forman parte de cada ciclo, una tronada cebada ( que falle ) puede originar la pérdida de muchos días.

Aunque la seguridad sea adecuada en otros aspectos, en las grandes secciones, los trabajos de rezagado y de perforación son conducidos bajo un techo - sin amacizar o defectuosamente amacizado.

En las excavaciones de túneles a sección completa solamente se obtienen - beneficios apreciables si se mecanizan en alto grado los trabajos, especialmente en las fases de rezagado y transporte de material. Este tipo de trabajo solamente puede realizarse cuando las condiciones de la roca trabajada lo permiten; en aquellas formaciones afectadas de serios movimientos tectónicos y en las que se presenten tendencias a derrumbes y caídos, este método de ataque -- solamente podrá realizarse por procedimientos adecuados a los problemas específicos del caso.

Los trabajos deberán ser organizados en una secuencia rítmica, especialmente cuando la excavación se realiza por un solo frente. En túneles relativamente chicos resulta más difícil organizar esta secuencia, debido principalmente a los espacios reducidos de trabajo.

Gracias al notable desarrollo de la maquinaria y a la eficiente mecanización de los trabajos, se aprecia una marcada tendencia a excavar los túneles a sección completa, para abatir los costos y reducir los tiempos empleados en su construcción.

### III.2 ATAQUE CON GALERIA DE AVANCE Y BANQUEO.

Para la excavación de túneles de grandes dimensiones, existen diversos métodos constructivos dependiendo del tipo de suelo o roca. Todos son coincidentes en dividir la sección en dos o varias etapas de excavación, siendo las razones de ello: la economía, la seguridad y la productividad.

Los túneles con sección transversal menor de 80 m<sup>2</sup> normalmente se excavan a sección completa. En túneles más grandes se divide la sección en dos o más partes. Esta división puede hacerse de varias maneras. Actualmente el método más frecuentemente empleado es el que consiste en la excavación de una galería superior y posteriormente dos o más "banqueos" o excavaciones de banco hacia abajo.

El número de bancos depende de la altura del túnel y muchas veces de las condiciones de estabilidad de las paredes. En ocasiones es conveniente anclar las paredes antes de excavar el banco siguiente para evitar desprendimientos de las zonas relajadas de esfuerzos.

El banqueo se hace con barrenación vertical u horizontal. Los bancos de menos de 4m de altura son desfavorables por sus altos coeficientes de barrenación y carga.

En túneles de claro grande o en roca de mala calidad se sigue el procedimiento de atacar con un túnel piloto y una ampliación (o banqueo) lateral. El túnel piloto permite conocer las condiciones de la roca sin abrir el claro completo y colocar anclas y/o concreto lanzado antes de las ampliaciones laterales.

El emportalamiento de los túneles debe hacerse con un túnel piloto bajo, con ampliaciones laterales y excavación posterior de la bóveda. El túnel piloto debe prolongarse hasta penetrar en roca de mejor calidad.

El sistema de ataque por galería de avance y posterior banqueo, tiene - múltiples variantes, que se diferencian entre sí básicamente por la posición de la galería con respecto al túnel pudiendo ser: (a) galería superior, (b) - galería central, (c) galería inferior, (d) galería lateral, etc.

En la elección del tipo de alternativa influyen diversos factores, como son: el equipo disponible, las características de la roca, las dimensiones y forma del túnel, etc.

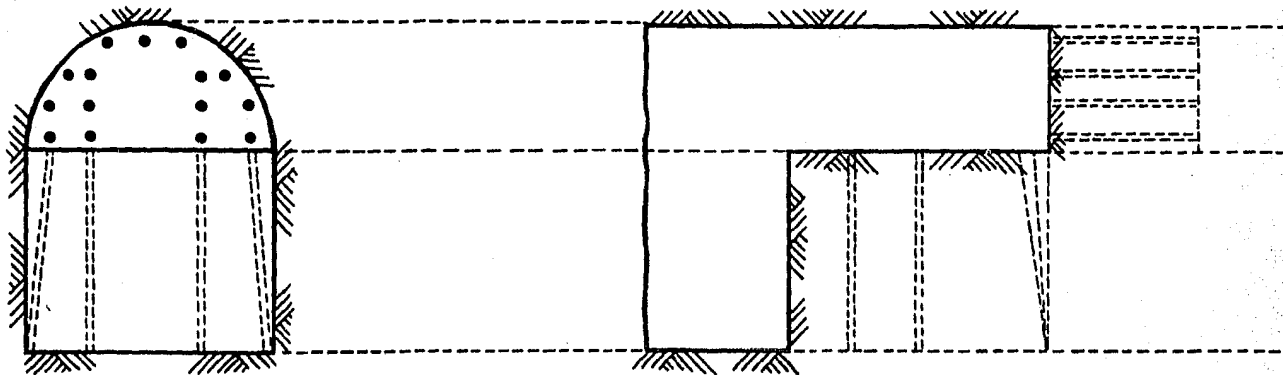
Por las ventajas que presenta, se suele preferir la galería superior que ofrece las siguientes facilidades y desventajas.

#### V E N T A J A S .

Se elimina la necesidad de plataforma de perforación complicadas (jumbos) , aún en túneles muy grandes de gran altura, puesto que la galería superior - se perfora de pierna auxiliadas por diversos elementos, como tarangos, banquillos, arañas, etc., en tanto que el banco se puede barrenar vertical u horizontalmente empleando perforadoras de carro equipadas con ruedas u orugas.

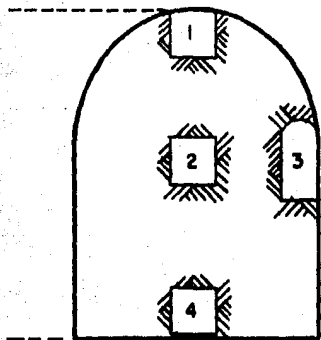
Con la galería de avance excavada con bastante anterioridad al resto de la sección se obtiene un muy oportuno conocimiento del carácter, naturaleza - y propiedades de la roca, localizándose las zonas falladas y de derrumbes, lo que permite planear y colocar con oportunidad los ademes y demás elementos de protección, cuya necesidad es más marcada en las zonas inmediatas a la clave del túnel.

La galería de avance puede ser excavada de dimensiones adecuadas para - dejar con anticipación amacizado y ademado el techo del túnel, con lo que las posteriores operaciones de banqueo pueden ser conducidas rápidamente y sin - interrupciones.



SECCION  
TRANSVERSAL .

SECCION  
LONGITUDINAL .



- 1.-Galeria superior .
- 2.-Galeria central .
- 3.-Galeria lateral .
- 4.-Galeria inferior .

Procedimiento de galeria y banqueo .

Las operaciones de barrenación, tronado y rezagado correspondientes al banqueo se realizan bajo un techo adecuadamente amacizado y sostenido con ademes y pernos de anclaje, cuando estos últimos dispositivos resultan necesarios.

Los trabajos de banqueo se realizan en condiciones muy favorables, pudiéndose variar el grado de fragmentación, disminuyendo el metraje de barrenación y el consumo específico de explosivos, ya que al disponerse de espacio se puede utilizar equipo excavador de mayor capacidad nominal, por lo que las limitaciones de la fragmentación del material, impuestas por el equipo de rezagado, se eliminan o reducen en forma notable.

El costo de las operaciones de banqueo se puede abatir en forma considerable por medio de barrenación horizontal muy profunda, dentro de las limitaciones del equipo de barrenación disponible. Sabido es que al aumentar la altura de un banco, los costos de explotación por metro cúbico de roca se reducen en forma considerable.

En los casos en que el banqueo se practique por medio de barrenos verticales, la barrenación se puede conducir independizándola de las tronadas y rezagados, puesto que se podrá organizar una barrenación continua a lo largo del túnel, interrumpida solamente durante los tiempos necesarios para las tronadas y ventilación. Cada tronada se puede organizar independientemente, limitándola de acuerdo con la capacidad y exigencias del equipo de rezagado y transporte. El rezagado y transporte de la roca tronada se puede realizar en forma continua interrumpida solamente en los lapsos correspondientes a las tronadas y ventilación.



## DESVENTAJAS.

Si por cualquier circunstancia el banqueo no puede ser ejecutado en forma continua a partir de un solo frente, que por lo general será uno de los portales del túnel, se presentará la necesidad de instalar, desmantelar y re - instalar varias veces las líneas o ductos de conducción del aire comprimido, - agua, etc.

El rezagado continuo no será posible en el caso de organizar una barre - nación horizontal.

Deberá disponerse de dos carriles diferentes para el tránsito de los ve - hículos de transporte de la rezaga, a fin de poder sacar el máximo partido a - las posibilidades y ventajas inherentes a las operaciones de banqueo.

Para poder practicar la barrenación vertical, el piso que fuera de la - galería, deberá ser limpiado de escombros y rezaga, e incluso, los barrenos - deberán ser provistos de ademe protector en su parte superior, para facilitar tanto la operación de barrenación en sí, como evitar posteriores caídos que - obstruyeran los barrenos impidiendo o dificultando su carga.

La barrenación vertical solamente resultará eficiente en su grado óptimo , si se dispone de perforadoras de carro equipadas con ruedas u orugas (en - general perforadoras pesadas).

Si la altura de los barrenos es muy grande, será necesario realizar la - barrenación empleando acero seccional, de suerte que sea posible tronar el - banco en una sola etapa. Con acero integral, por lo general, no será posible - hacerlo. Tronar un banco en dos o más etapas, resultaría poco económico.

El grado de fragmentación deberá ser controlado por medio del empleo de - detonadores retardantes de tiempo. Se obtendrá un piso irregular.

El método de ataque que se siga en la excavación de un túnel, tendrá una profunda influencia en los costos de tales trabajos, y por consiguiente su elección deberá estar basada fundamentalmente en consideraciones de orden económico en las que se tome en cuenta, tanto el equipo ideal para el caso específico, como el equipo disponible por el contratista.

## CAPITULO IV.

DESCRIPCION DE LAS PARTES DEL CICLO BASICO DE CONSTRUCCION.

Se llama ciclo a la serie de operaciones elementales, sucesivas o traslapadas y en algunos casos simultáneas (proceso) que se realizan para obtener determinado avance (producción). Estas operaciones elementales tienen una duración teórica fija de acuerdo con el procedimiento de construcción establecido. El tiempo o duración total del ciclo nos permite, dividiendo el número de horas en el día (24h) entre la duración del ciclo, obtener el número de ciclos por día.

Como quedó asentado, el ciclo nos determina un avance, el producto de multiplicar este último por el número de ciclos en el día nos dará el avance total por día. El avance obtenido así es teórico y será necesario afectarlo del factor de eficiencia conveniente, para que sirva de base en la programación de la excavación de un túnel.

La excavación de un túnel se realiza por ciclos de trabajo, estando formado cada ciclo por una secuencia concatenada de operaciones elementales, las principales de las cuales se enumeran a continuación.

- 1.- Barrenación del frente de acuerdo con un plan predeterminado, a fin de alojar las cantidades necesarias y suficientes de explosivos que serán disparados en la "tronada". En esta parte del ciclo solamente trabaja el equipo de barrenación de un nuevo ciclo.
- 2.- Retiro del equipo de barrenación para cargar, conectar y disparar los barrenos (poblado y tronado). A partir de su retiro, el equipo de barrenación de un nuevo ciclo.
- 3.- Después de disparada la tanda, es necesario ventilar el frente de trabajo a fin de desalojar parcialmente los gases nocivos, y diluir los restantes hasta un grado que no presenten riesgos para la salud de los

trabajadores. En túneles no muy grandes, la ventilación se realiza a base de tiempo con la finalidad de evitar la instalación de equipo ventilador excesivamente grande que solamente trabajaría durante algunos minutos después de cada tronada. En la práctica de túneles se prefiere ventilar con pequeña capacidad alargando el tiempo de ventilación después de la tronada.

En las Obras de Ingeniería Civil, tratándose de túneles no muy largos, es preferible que el volumen de aire para la ventilación sea fijado por la demanda, ya sea de los trabajadores, durante la barrenación, o bien, de las máquinas Diésel durante el rezagado, según la que resulte mayor.

4.- Una vez terminada la ventilación, entra el equipo de excavación que se encarga de cargar la rezaga de roca a bordo de los vehículos que se encargarán de transportarla hasta los tiraderos o bancos de almacenamiento.

5.- Ademe y soporte temporal (cuando se requiera).

- Cuando se utilizan marcos metálicos, esta operación se considera como parte del ciclo y su duración está definida por el intervalo de tiempo comprendido desde el momento en que termina la rezaga y se retira el equipo hasta que empieza a trabajar la primera perforadora.

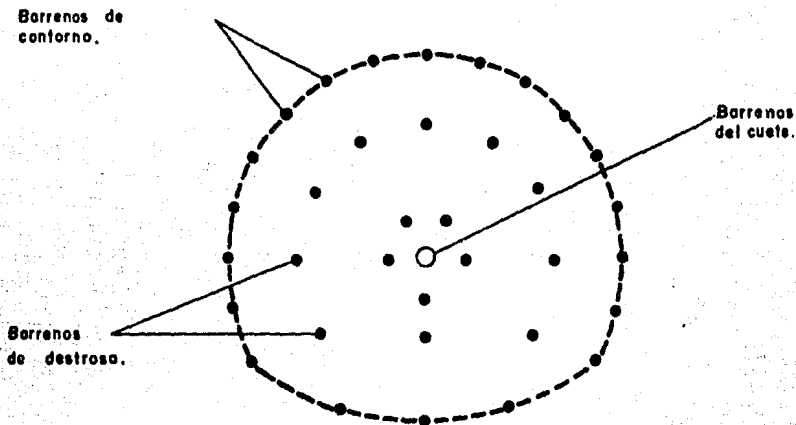
- Cuando la protección se realiza con concreto lanzado, el tiempo de esta operación queda totalmente o por lo menos a esto debe tenderse, traslapado con el tiempo de rezaga, dejando la parte inferior si el terreno lo permite, para ir protegiéndolo atrás.

- Por lo que respecta a la protección con pernos de soporte, esta operación también debe hacerse en el tiempo de rezagado.

6.- Bombeo (cuando se requiera).

#### IV.1 BARRENACION.

Los barrenos en el frente de un túnel deben perforarse según un esquema específico, con lo que se aseguran la voladura, el resultado de la perforación y la utilización económica del explosivo. La voladura de túneles en este sentido es más complicada que otras operaciones de voladura, supuesto que la roca sólo puede salir fracturada en una dirección. Para utilizar la fuerza del explosivo dentro de los barrenos, debe crearse una abertura inicial, hacia la cuál la roca puede desplazarse. Esta abertura está formada por la cuña y los taladros de la cuña. Los taladros alrededor de la cuña son los taladros de destroza, y los exteriores a estos últimos, los taladros de contorno que establecen la forma final del túnel.



Diferentes clases de barrenos.

Las cuñas y barrenaciones son fundamentales a todas las voladuras subterráneas en frentes de desarrollo.

El primero y más difícil paso necesario para avanzar en cualquier frente es hacer una abertura en el terreno sólido, generalmente en el centro de la cara y tan profunda como sea práctico para avanzar en un disparo. Esta abertura se llama la "cuña" y aunque puede abrirse mediante varios métodos de perforación y voladuras todas ellas sirven para desarrollar una segunda cara libre hacia la cual pueda romper el resto del disparo. La cuña es la parte más importante de la voladura ya que el resto de los barrenos no pueden romper con efectividad a menos que la cuña salga totalmente.

Las barrenaciones normalmente se nombran por el tipo de cuña que se utiliza para abrirlas. 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 trababajando y de la dureza del material que se debe romper, además del equipo disponible para el trabajo. En frentes muy pequeños, la barrenación puede consistir únicamente de la cuña.

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.

Existen en general tres tipos de cuñas:

- a) La cuña en ángulo dentro de las que destacan la cuña triangular, la de abanico y la cuña piramide.
- b) La cuña quemada o fragmentada.
- c) Combinaciones de las otras dos.

## CUÑA EN ANGULO.

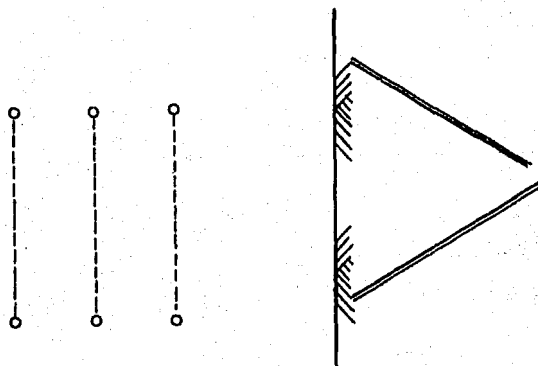
Las cuñas en ángulo los barrenos se hacen formando un ángulo con la frente para proporcionar la mayor libertad de movimiento que sea posible para la roca quebrada.

El ángulo de mayor divergencia es aquel que proporciona los mejores resultados para la voladura. El ángulo mínimo recomendado es el de  $60^\circ$ , pero también pueden usarse ángulos más pequeños, siempre y cuando sean compensados con más taladros y explosivos.

La cuña en ángulo puede utilizarse generalmente en túneles amplios, aproximadamente de ocho metros de anchura como mínimo.

En donde sea necesario reducir el lanzamiento de la roca grande y ayudar a romper una cuña en ángulo profundo, pueden emplearse pequeñas cuñas en V.

Cada cuña en V consiste de dos barrenos hechos a partir de dos puntos retirados como sea posible sobre la frente para juntarse o casi hacerlo en los fondos de los barrenos.



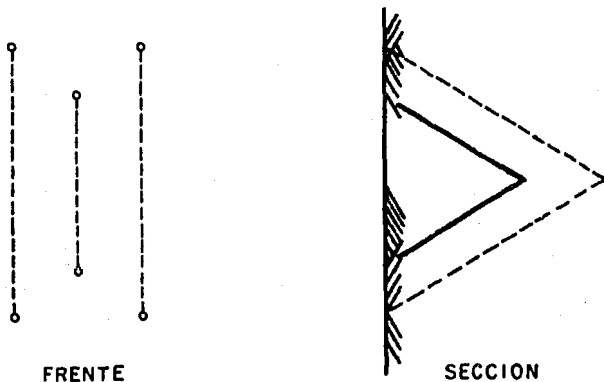
FRENTE

SECCION

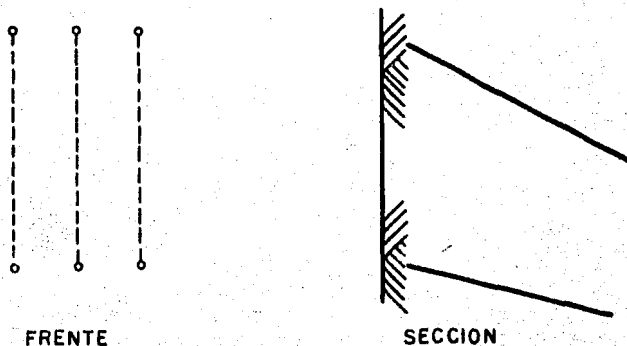


La cuña puede consistir de una V o varias V perforadas paralelamente una a la otra. Las cuñas en V pueden ser horizontales o verticales, dependiendo de -- cuál posición permite el mayor ángulo entre barrenos, de la estructura o es - tratificación de la roca, y sobre el tipo de equipo de barrenación disponible.

En barrenaciones más profundas o en rocas muy difíciles de romper las - cuñas pueden ser VV, conociéndose como cuña chica la que esta más adentro.



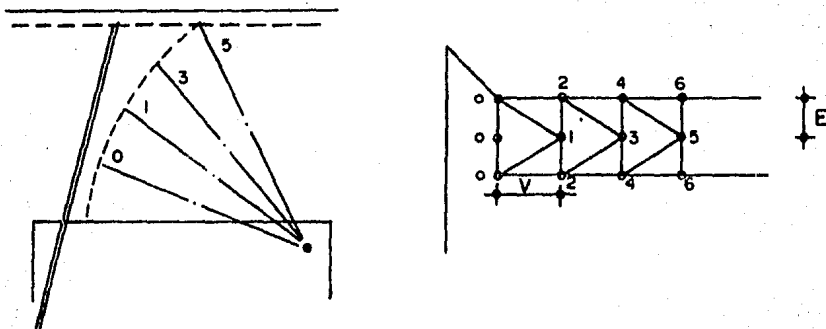
Otra modificación de la cuña en V es la conocida como cuña martillo, y - es utilizada para pequeños frentes.



### Cuñas en abanico.

La cuña en abanico puede considerarse como una especie de zanja volada a través de la sección del túnel y por eso es la cuña más suave para la roca. Por su geometría una cuña en abanico necesita un túnel bastante amplio y no es recomendable utilizarla en túneles de menos de 7 metros de ancho.

Ver figura.



Las cuñas en abanico tienen las siguientes limitaciones:

- La profundidad de los barrenos varía de hilera a hilera. Un barreno demasiado profundo puede excitar un barreno adyacente y provoca una tronada falla.
- La desproporción entre el número de barrenos en los dos lados retrasa la barrenación.
- La proyección de piedras es muy fuerte.
- Con la secuencia de ignición requerida se necesita un gran número de intervalos de los estopines.

## CUÑAS QUEMADAS.

La cuña quemada o fragmentada, es aquella en la cual se hacen varios barrenos muy proximos entre si 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 vacios.

Algunos de los barrenos se cargan con elevada cantidad de explosivo, mientras que otros se dejan sin cargar. Este tipo de cuele puede efectuarse sin equipos de perforación especiales, pero tiene el inconveniente de que el avance por ciclo no va más alla de los dos metros.

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.

Las perforaciones que rodean la cuña están dispuestas en tal forma que se disparan después de abierta la cuña. Es muy importante para lograr una fragmentación eficiente, que se mantenga el paralelismo de los barrenos de la cuña. Una barrenación inapropiada puede dar lugar a la propagación entre los barrenos cercanos, destruyendo así la secuencia de detonación prevista y provocando zonas de fragmentación deficiente por exceso de confinamiento.

La cuña quemada es empleada casi exclusivamente en túneles de sección transversal menor de 10 m<sup>2</sup> y permite voladuras más profundas. En túneles reducidos el espacio resulta pequeño para acomodar las máquinas para perforar con cualquier ángulo, lo cual limita la longitud del tramo excavado empleando cuñas en "V".

La cuña quemada queda emplazada en la zona central del frente, pero no exactamente al centro sino que se va cambiando su posición en voladuras sucesivas para evitar que la perforación de la cuña se ejecute en la parte más fracturada del frente. Además, la rotación del sitio de la cuña resulta una medida de seguridad, ya que, la zona de la cuña es el sitio donde con más alta probabilidad pueden quedar explosivos sin disparar. El diseño de la cuña quemada depende de las características de la roca, del tipo de los explosivos empleados y del diámetro de los barrenos. Toda roca tiene un determinado porcentaje de expansión que varía con el tamaño de los fragmentos producidos por la voladura. Por tanto, el diseño de la cuña quemada debe tomar en cuenta un espacio vacío para permitir esta expansión.

El tipo de cuña quemada se determina a partir de la experiencia y de acuerdo al tipo de terreno. Las cuñas quemadas de 15 a 25 cm de ancho son, por lo general, las usadas en rocas sanas y rígidas y las de 25 a 35 cm en rocas blandas y laminadas.

Para establecer cuál es el mejor tipo de cuña quemada para las condiciones de un sitio particular deben probarse varias de las distribuciones usuales.

Varios tipos de cuñas quemadas.- Aunque pudiera diseñarse una variedad infinita de cuñas, las siguientes son las básicas:

a) Redonda u Hoja de Trébol.- Este tipo de cuña quemada puede usarse tanto en rocas plásticas como en las frágiles o quebradizas (véase tipos de rocas). La principal diferencia está en que en la roca frágil se requiere de barrenos ayudantes para auxiliar el agrandamiento de la cuña. El barreno central se deja vacío y se equidistan tres o cuatro barrenos a su alrededor. Se carga uno o más barrenos dependiendo del tipo de roca, y el rompimiento ocurre hacia el barreno central.

En esta y todas las barrenaciones subsecuentes, los barrenos de la periferia de la barrenación romperán hacia la abertura de la cuña, hasta alcanzar la sección deseada del túnel.

b) Hoja de Trébol Invertida.- Este tipo de cuña es simplemente el reverso de la cuña anterior por cuanto a que el barreno central debe cargarse y romper hacia afuera. Es aplicable cuando la roca es friable y fácil de romper. Se dejan vacíos tres o más barrenos dependiendo de la friabilidad y de la fragmentación deseada. Tanto ésta como la anterior barrenación deben producir un hueco redondo a lo largo de la profundidad de la cuña. El diámetro del hueco depende del número de barrenos, del espaciamiento entre ellos y de la cantidad de carga en su interior.

c) Cuña Cuadrada o Rectangular.- Este tipo utiliza de 9 a 16 barrenos en los que pueden usarse diversas combinaciones de carga y espaciamiento de cartuchos. Por lo general es recomendable no utilizar este tipo de cuña durante la experimentación inicial. En los tipos de roca muy suaves o muy plásticos, el número de barrenos perforados se reducirán y la cuña se convertirá en una Tipo (b) reformada. Para extraer una barrenación profunda en roca plástica puede utilizarse una variación de la cuña de 9 agujeros.

d) Cuña de Hendidura.- Esta cuña posiblemente la más eficiente puesto que la cara de salida es más grande y el cilindro efectivo de la explosión es también más grande. La cuña de hendidura tiene usualmente 5 ó más barrenos dependiendo del tipo de roca. La cuña de 5 barrenos lleva 2 ó 3 barrenos cargados. El tipo de hendidura es aplicable a cualquier clase de terreno y es normalmente el mejor tipo con el cual comenzar la experimentación.

e) Cuña Concéntrica o Espiral de Arquímedes.- Este tipo de cuña proporciona la abertura más eficiente. Su desarrollo depende totalmente del resultado del primer disparo.

- f) Cuña Simétrica de un Barreno.- Se aplica a rocas del tipo no plástico.
- g) Cuña Simétrica de dos barrenos.- Esta cuña puede utilizarse para rocas más plásticas o donde se requiera una más grande abertura.
- h) Cuña Simétrica de barrenos múltiples.- Puede usarse en roca muy difícil de romper y para efecto de bajo consumo de explosivos.
- i) Cuña Espiral Simétrica.- Puede usarse para cualquier tipo de roca - cuando se requiera una abertura grande.

Tipos de Roca.- En las tablas siguientes se listan las rocas de acuerdo a su clase, de plásticas a frágiles o quebradizas.

C L A S E A.

Yeso.  
Pizarra - Muy suave.  
Arcilla.  
Roca desintegrada.

C L A S E C.

Caliza de Mediana Dureza.  
Arenisca - suave.  
Pizarra de Mediana Dureza.  
Pizarra Arenisca.  
Caliza semi-silicosa.

C L A S E E.

Granito Suave.  
Hematita.  
Roca Silica Estratificada.  
Mica, Esquisto.  
Silica en Roca.

C L A S E B.

Caliza Suave .  
Pizarras Suaves.  
Caliza Carbonífera.  
Calcita.  
Roca Medio desintegrada.

C L A S E D.

Caliza Dura.  
Pizarra Dura.  
Pizarra Bituminosa.  
Caliza Cristalina.  
Caliza Silicosa.

C L A S E F.

Cuarzo.  
Cuarcita.  
Conglomerado de Cuarzo.  
Marmol.  
Granito de Mediana Dureza.  
Arenisca - Dura.

C L A S E G.

Granito Duro.

Cuarcita de Grano fino.

Silice Dura.

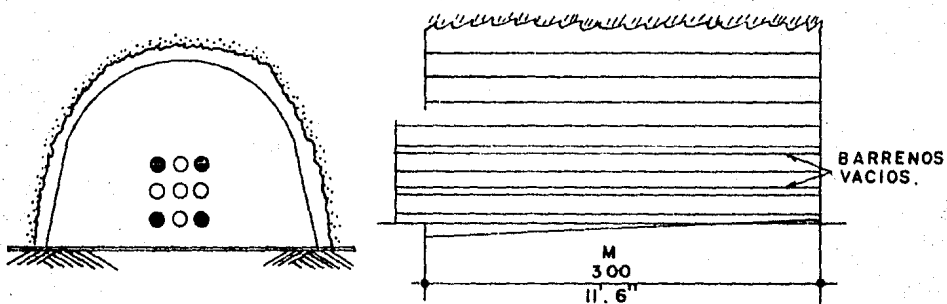
Tactita.

Las clases anteriores de rocas pueden generalmente subdividirse en plásticas ( A - C ) y frágiles ( D - G ). En la clasificación anterior se han considerado algunos factores como la solidez y la elasticidad. Como un ejemplo, la caliza cristalina no es plástica, pero es elástica, y en consecuencia requiere de un explosivo más lento.

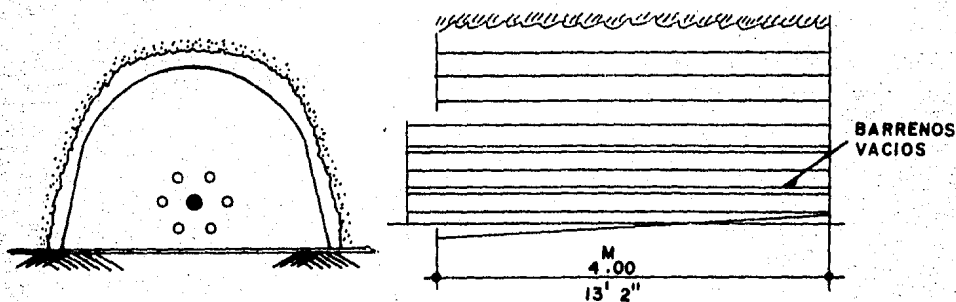
DENSIDAD Y VELOCIDAD SONICA APROXIMADAS.

C L A S E A.	1.1 - 1.8 T/M <sup>3</sup> .	( 1500 - 2000 m/seg)
C L A S E B.	1.9 - 2.3 T/M <sup>3</sup> .	( 1600 - 2100 m/seg)
C L A S E C.	2.2 - 2.5 T/M <sup>3</sup> .	( 2100 - 2600 m/seg)
C L A S E D.	2.2 - 2.5 T/M <sup>3</sup> .	( 2500 - 3250 m/seg)
C L A S E E.	2.5 - 4.0 T/M <sup>3</sup> .	( 3500 - 4500 m/seg)
C L A S E F.	2.5 - 3.1 T/M <sup>3</sup> .	( 3000 - 4800 m/seg)
C L A S E G.	2.8 - 4.5 T/M <sup>3</sup> .	( 4500 - 5500 m/seg)

## PLANTILLA ORIGINAL DE LA QUE SE DESARROLLA LA CUÑA QUEMADA.



## BARRENOS CARGADOS.

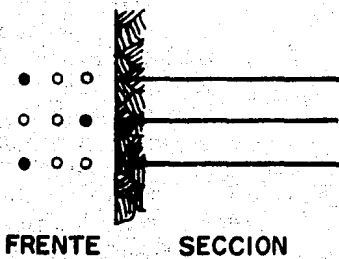
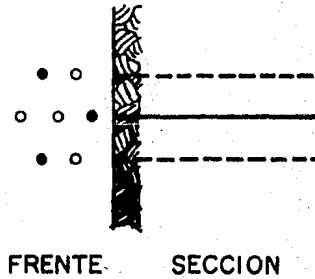
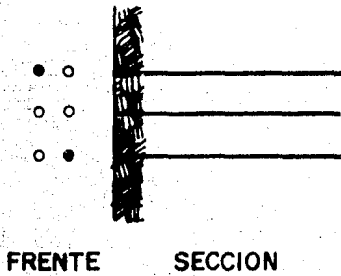
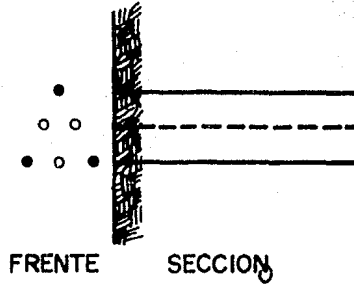
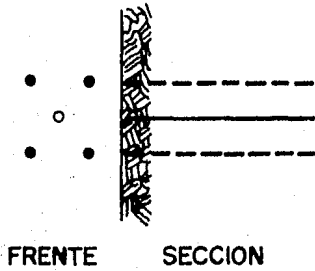


NOTA: EL DISEÑO DE LA CUÑA QUEMADA FUE  
CAMBIADA POR UNA DE TROBOL INVERTIDA.



Las siguientes figuras muestran varios patrones mas comunes.

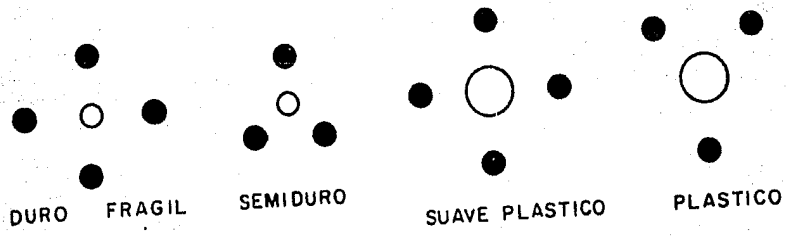
CUÑAS QUEMADAS.



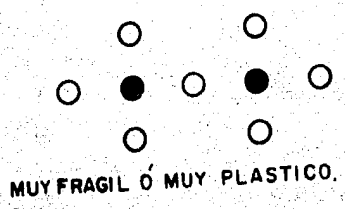
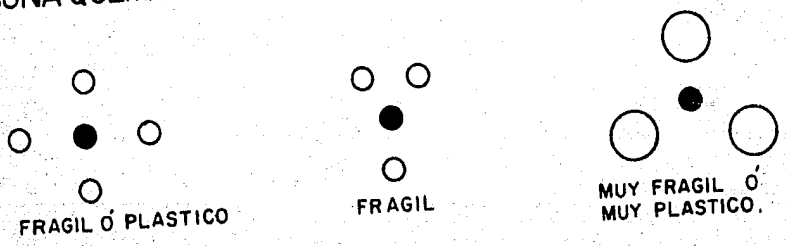
# CUÑA QUEMADA TIPO REDONDO Ó TREBOL

○ VACIO.

● CARGADO.



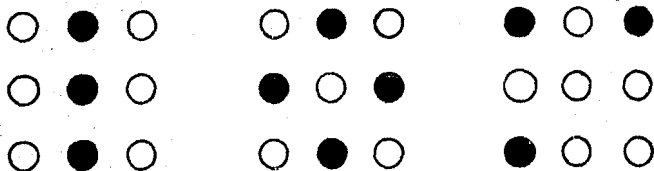
# CUÑA QUEMADA TIPO REDONDO Ó TREBOL INVERTIDAS.



# CUÑA QUEMADA CUADRADA Ó RECTANGULAR.

● CARGADO

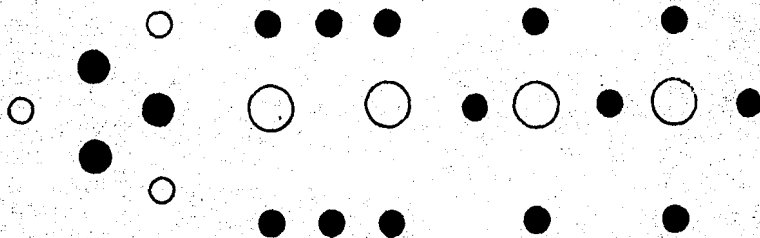
○ VACIO



FRAGIL Ó PLASTICO  
C D E I



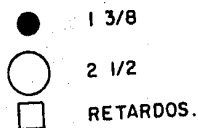
FRAGIL Ó PLASTICO



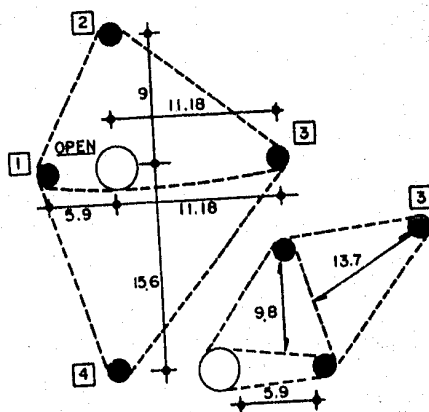
FRAGIL

FRAGIL Ó PLASTICO  
B. D. D

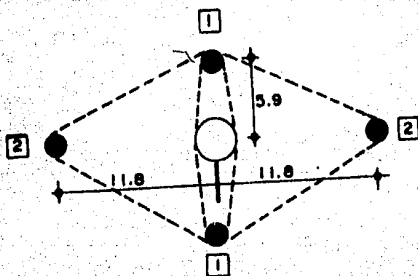
# TIPO DE CUÑAS QUEMADAS.



## CUÑA QUEMADA CONCENTRICA.

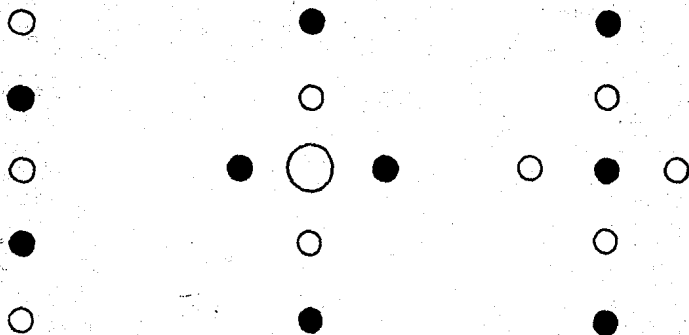


## CUÑA QUEMADA SIMETRICA DE UN SOLO BARRENO.



NOTA: LA DISTANCIA DEPENDE DE LA CLASE DE ROCA Y DEL TIPO DE EXPLOSIVOS.

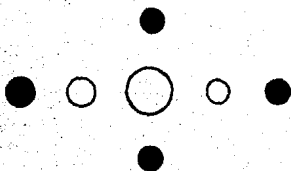
# CUÑA DE RANURA Ó LENGÜETA.



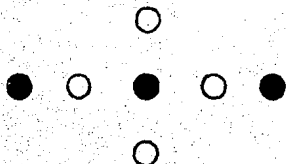
FRAGIL



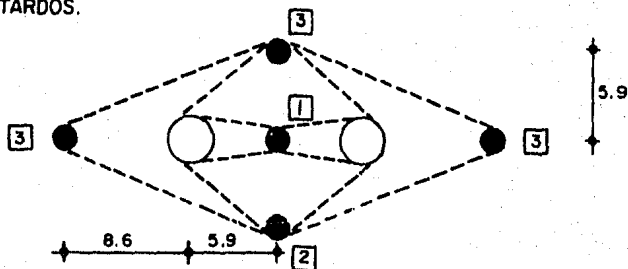
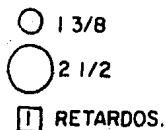
ESTE TIPO ES ACONSEJABLE  
PARA INICIAR PRUEBAS,



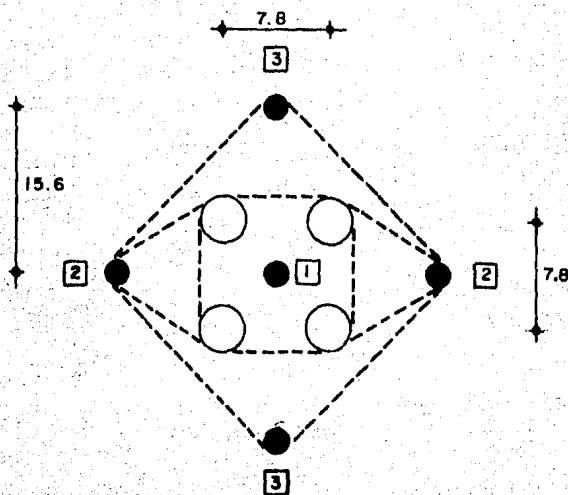
ESTE TIPO PUEDE A VECES USARSE  
PARALELAMENTE AL CLIVAJE



## TIPO DE CUÑAS QUEMADAS.



## CUÑA QUEMADA TIPO BARRENOS SIMETRICOS.



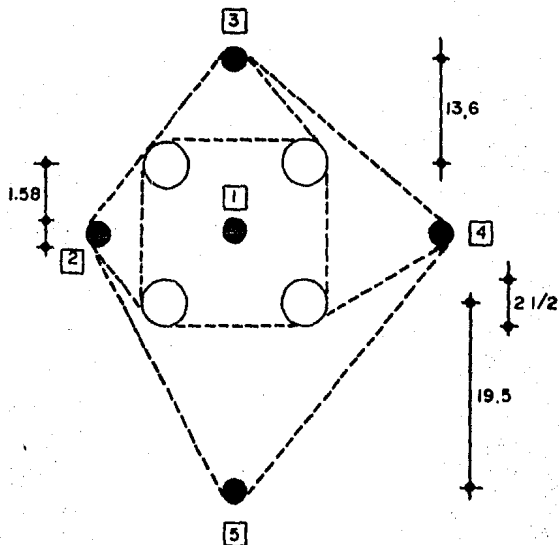
## CUÑA QUEMADA TIPO BARRENOS SIMETRICOS MULTIPLES.

# TIPO DE CUÑA QUEMADA

● 1 3/4

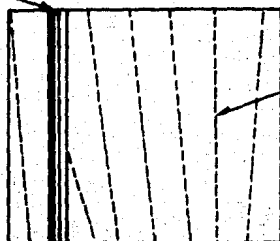
○ 2 1/2

□ 1 RETARDOS



TIPO ESPIRAL SIMETRICO.

SLOT CUT



CLEVAJE

LOCALIZACION DE LA CUÑA QUEMADA DE  
ACUERDO AL CLIVAJE.

## IV.2 VOLADURAS EN TUNEL.

La ejecución de túneles y galerías es un caso de especial interés dentro de la técnica de las voladuras, como resulta lógico si se tiene en cuenta el papel preponderante que tienen en los trabajos mineros y el desarrollo adquirido por los programas de construcción subterránea. Las investigaciones de los últimos años han revelado la existencia de un gran número de problemas sin resolver y la posibilidad de encontrar métodos de trabajo más rápidos, eficaces y baratos.

En principio, el arranque en los túneles se realiza perforando la roca, en el frente de dicho túnel mediante una serie de barrenos en los que se coloca el explosivo juntamente con la mecha detonante o los detonadores eléctricos. Los barrenos, y su orden de encendido, se disponen según un plan previamente proyectado que determina como romperá la roca. Como se pudo observar en el tema anterior, los primeros barrenos tienden a crear un vacío hacia el cual se vuelva sucesivamente el resto de la roca. Esta abertura, el cuele, es la llave que abre la roca hasta una profundidad que depende de la forma y éxito del mismo, disponiéndose sus barrenos en una serie de cuñas, en ángulo o quemadas. Las siguientes fases de la voladura, repartidas en el espacio restante, deben proyectarse para obtener el contorno deseado de la roca sin alterarla y con toda su firmeza.

Con la finalidad de ahorrar tiempo y dinero en las excavaciones en roca empleando explosivos, se han desarrollado métodos semiempíricos que permiten un diseño preliminar de las voladuras y una adaptación posterior de acuerdo con las características del terreno, las herramientas de perforación y las propiedades de los explosivos.



El objetivo de los métodos de diseño es de lograr un control efectivo del - grado de fragmentación, de la distancia de lanzamiento de la roca fragmentada, de los daños a terceros y de la economía del trabajo.

#### Características de una buena voladura.

- La roca debe tener la granulometría requerida.
- Consumo mínimo de explosivos.
- Mínima barrenación.
- Mínimas proyecciones.
- Mínima fracturación de la roca no volada.

Para poder calcular bien una voladura, es necesario y conveniente tomar - en cuenta algunos principios básicos para la fracturación de roca, que funda - mentalmente han sido desarrollados en Suecia.

ES IMPORTANTE HACER NOTAR QUE A PESAR DE EXISTIR PRINCIPIOS BASICOS PARA- EL DISEÑO DE UNA VOLADURA ES COMUN REALIZAR A LO LARGO DE LA EXCAVACION SUBTE- RRANA, CONSTANTES VOLADURAS PRELIMINARES PARA IDEALIZAR UNA VOLADURA MAS ADE- CUADA DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICAS QUE EXIJA EL TERRENO. DEBIDO A QUE DI - FICILMENTE ENCONTRAMOS ZONAS ROCOSAS AMPLIAS QUE TENGAN CARACTERISTICAS HOMOGE NEAS, AUN DENTRO DE ESPECIMENES RELATIVAMENTE PEQUEÑOS, ENCONTRAREMOS HETEROGE NE IDADES MUY MARCADAS.

Para la aplicación del explosivo adecuado así como de los artificios convenientes se ha venido utilizando una gran variedad de fórmulas empíricas de cálculo, mismas que en teoría nos señalan desde las plantillas de barrenación, hasta la densidad y cantidad de explosivos a utilizar (Como las figuras que presenta Atlas, Copco Mexicana, s.a.).

Sin embargo los resultados prácticos positivos para cada caso en lo particular, solamente se obtendrán de la experimentación que a base de pruebas se trate.

Las fórmulas empíricas solo nos servirán en determinado momento como guía ya que por experiencia se sabe que, aún en un mismo tipo de rocas los parámetros para plantillas de perforación y utilización de explosivos cambian en ocasiones terriblemente de un lugar a otro.

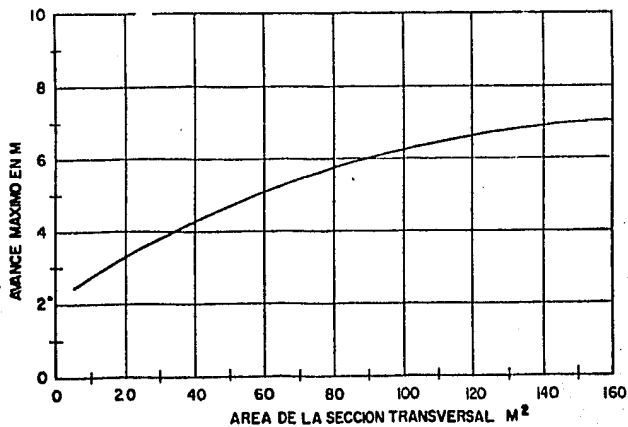


Figura 14-7. Avance o cvele por tronada en función del área transversal. (Atlas Copco Mexicana, S. A.)

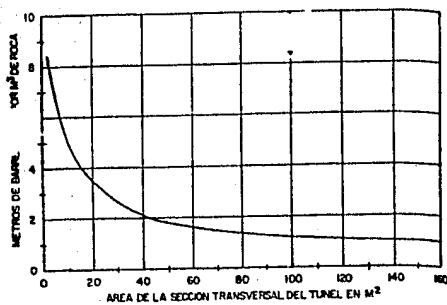


Figura 14-9. Metros de barrenación por m<sup>2</sup> de roca en función del área del túnel. (Atlas Copco Mexicana, S. A.)

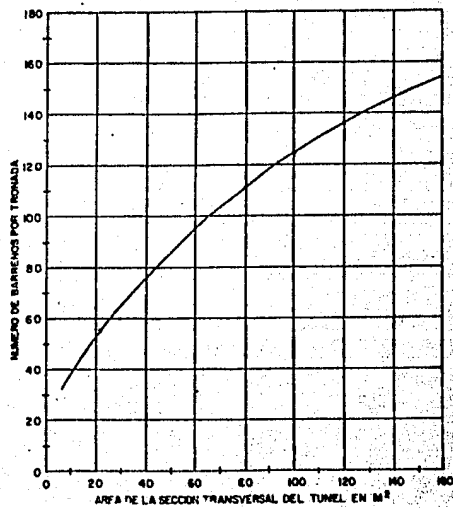


Figura 14-10. Correlación entre el número de barrenos necesarios y el área del túnel. (Atlas Copco Mexicana, S. A.)

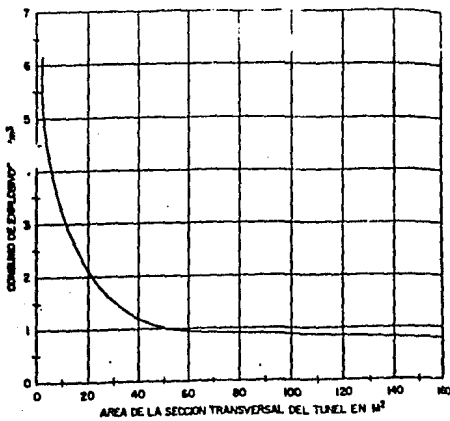


Figura 14J1. Consumo de explosivos en función del área del túnel. (Atlas Copco Mexicana, S. A.)

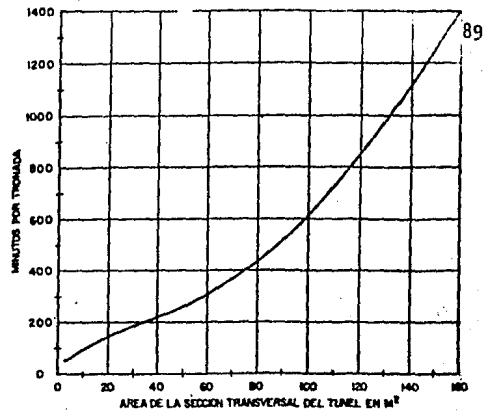


Figura 14J2. Tiempo total en la instalación y retiro del equipo de perforación en función del área de la sección transversal del túnel. (Atlas Copco Mexicana, S. A.)

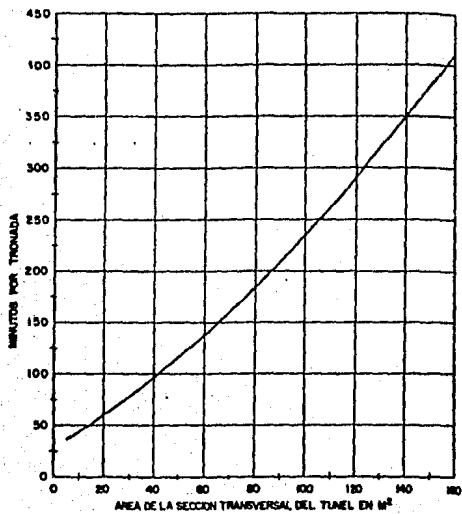


Figura 14J3. Tiempo total de instalación y retiro de equipo antes y después del pablado de explosivos. (Atlas Copco Mexicana, S. A.)

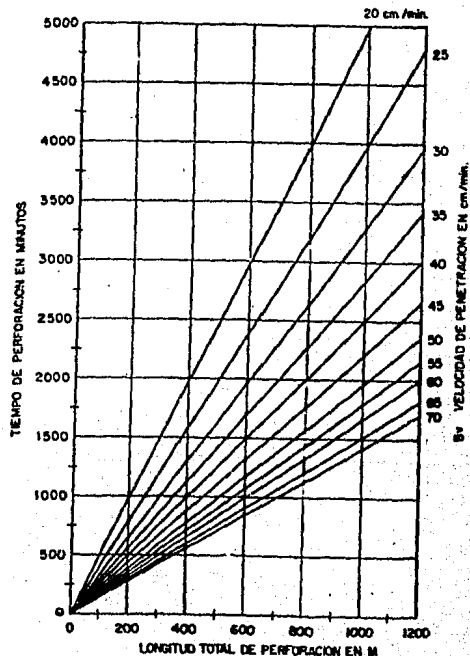
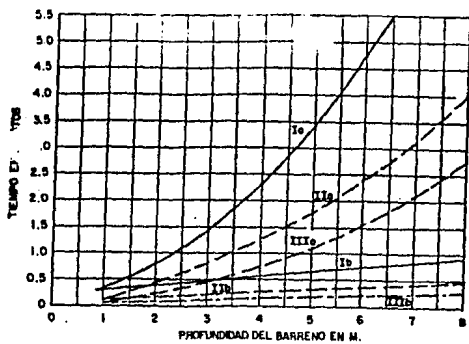
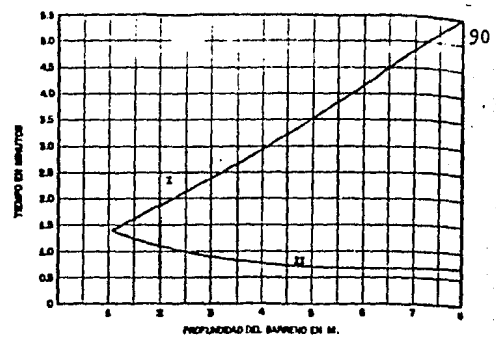


Figura 14J4. Tiempo de perforación en función de la velocidad de penetración. (Atlas Copco Mexicana, S. A.)



- a) Tiempo en minutos en cada barreno
- b) Tiempo por metro de barrenación
- Ia y Ib Varillas de perforación de 0.80 m.
- IIa y IIb Varillas de perforación de 1.60 m.
- IIIa y IIIb Varillas de perforación de 2.40 m.

Figura 14-15. Tiempo empleado en cambios de acero de barrenación en función de la longitud de las varillas de perforación. (Atlas Copte Mexicana, S. A.)



- Curva I: Tiempo de carga por barreno
- Curva II: Tiempo de carga por metro

Figura 14-16. Tiempo empleado en el poblado en función de la profundidad del barreno. (Atlas Copte Mexicana, S. A.)

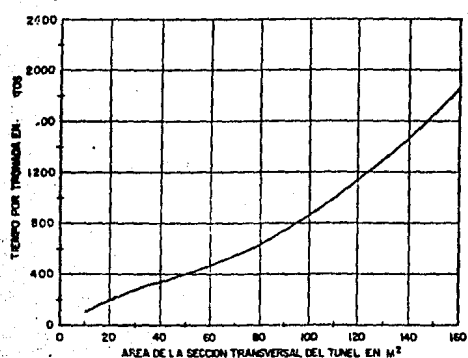


Figura 14-17. Tiempo de organización, instalación y retiro de equipo antes y después de la perforación y poblado. (Atlas Copte Mexicana, S. A.)

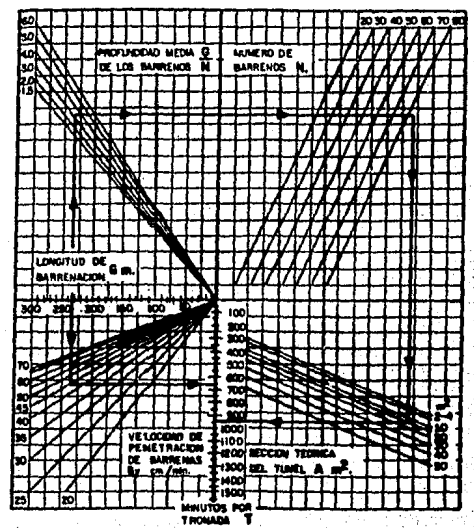


Fig. 14-18. Nomograma para calcular el tiempo total empleado en la secuencia completa de barrenación y tironado de túneles con sección transversal comprendida entre 2 y 30 m.<sup>2</sup> de frente. (Atlas Copte Mexicana, S. A.)

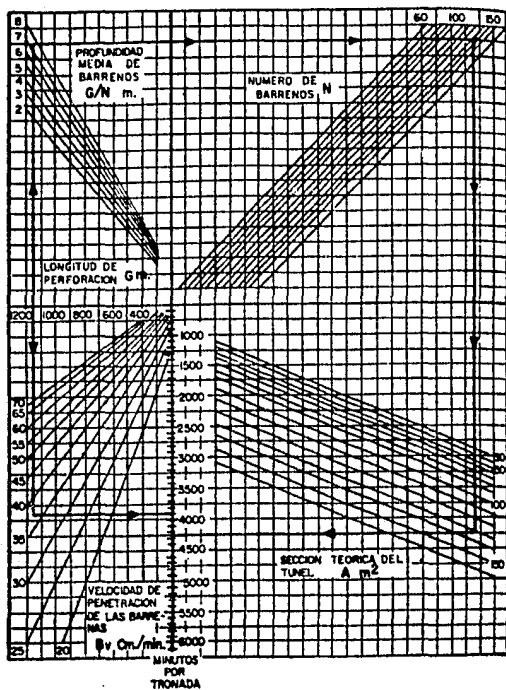


Fig. 14-19. Nomograma para calcular el tiempo total empleado en la secuencia completa de barrenación y tronado de túneles con sección transversal comprendida entre 30 y 160 m.<sup>2</sup> de frente. (Atlas Capco Mexicana, S. A.)

### IV.3 VENTILACION.

En las excavaciones de túneles y minas es necesario ventilar los frentes de trabajo con la finalidad de eliminar y diluir los gases tóxicos producido por el estallido de las cargas de explosivos después de las tronadas y por las máquinas de combustión interna empleadas en el interior de los mismos; es igualmente necesario suministrar en forma continua aire fresco y puro a los trabajadores, regenerando continuamente su medio atmosférico.

Básicamente existen dos sistemas de ventilación, que son el sistema de inyectado o soplado y el sistema de succión; realizandose ambos por medio de un aparato ventilador y una tubería de conducción instalada desde las afueras del portal de entrada del túnel, hasta una distancia muy próxima al frente de los trabajos ( 20 m aproximadamente ) .

El sistema de ventilación por soplado inyecta aire puro al interior, mezclándolo con la atmósfera viciada del frente de trabajo y produciendo una lenta corriente de aire desde el frente hasta la salida del túnel. Tiene la desventaja de que, no obstante diluir por lo general en forma satisfactoria los gases tóxicos, en ciertos casos la corriente dentro del túnel puede arrastrar masas de gases tóxicos que afecten a las cuadrillas de trabajadores, al regresar estos al frente de trabajo.

El sistema de ventilación por succión, extrae la atmósfera contaminada de gases tóxicos, dentro de una cierta zona cercana al extremo del ducto de ventilación, dejando un efecto secundario de difusión muy lenta.

En las obras de construcción de túneles para fines de Ingeniería Civil , por lo general es preferible disponer de un sistema combinado, de ventilación con soplado y succión alternados, para combinar los efectos benéficos de ambos sistemas. El sistema puede ser instalado empleando una tubería para el

soplado y otra para la succión, o una tubería simple que sirva para ambos propósitos, haciendo las instalaciones auxiliares necesarias dotadas con compuertas, cámaras, etc.

La selección del método de ventilación apropiado depende principalmente del flujo de aire requerido (en unidades de volumen por unidad de tiempo) - y de la distancia del frente de trabajo al portal, empero el sistema de ventilación está regido por los factores de contaminación de la atmósfera del frente de trabajo.

Los factores que principalmente contaminan el aire en el interior de los túneles son los siguientes:

- 1) Al estallar los explosivos, se desintegran dejando un tapón de gases tóxicos, humo y polvo, que se extiende a una longitud de 40 a 50 metros dentro del túnel, a contar del frente de trabajo, los que es necesario desalojar y/o diluir hasta una concentración fisiológica aceptable.
- 2) Las máquinas de combustión interna, tales como rezagadoras, palas cargadoras y vehículos de transporte, que cada vez se utilizan en mayor escala en los trabajos de túneles, para aumentar la mecanización y reducir los costos de las operaciones, producen gases tóxicos especialmente ricos en monóxido de carbono y formaldehído, cuya concentración resultaría fatal para los operadores, por lo que es necesario extraerlos y/o diluirlos.
- 3) Los operarios que laboran dentro de los túneles requieren de una atmósfera relativamente pura y libre de gases tóxicos, por lo que para proporcionársela es necesario inyectar aire fresco a los frentes de trabajo.



La composición del humo resultante de las tronadas depende de la cantidad, tipo y calidad de los explosivos, así como de la naturaleza de la roca y del grado de confinamiento de aquéllos en los barrenos.

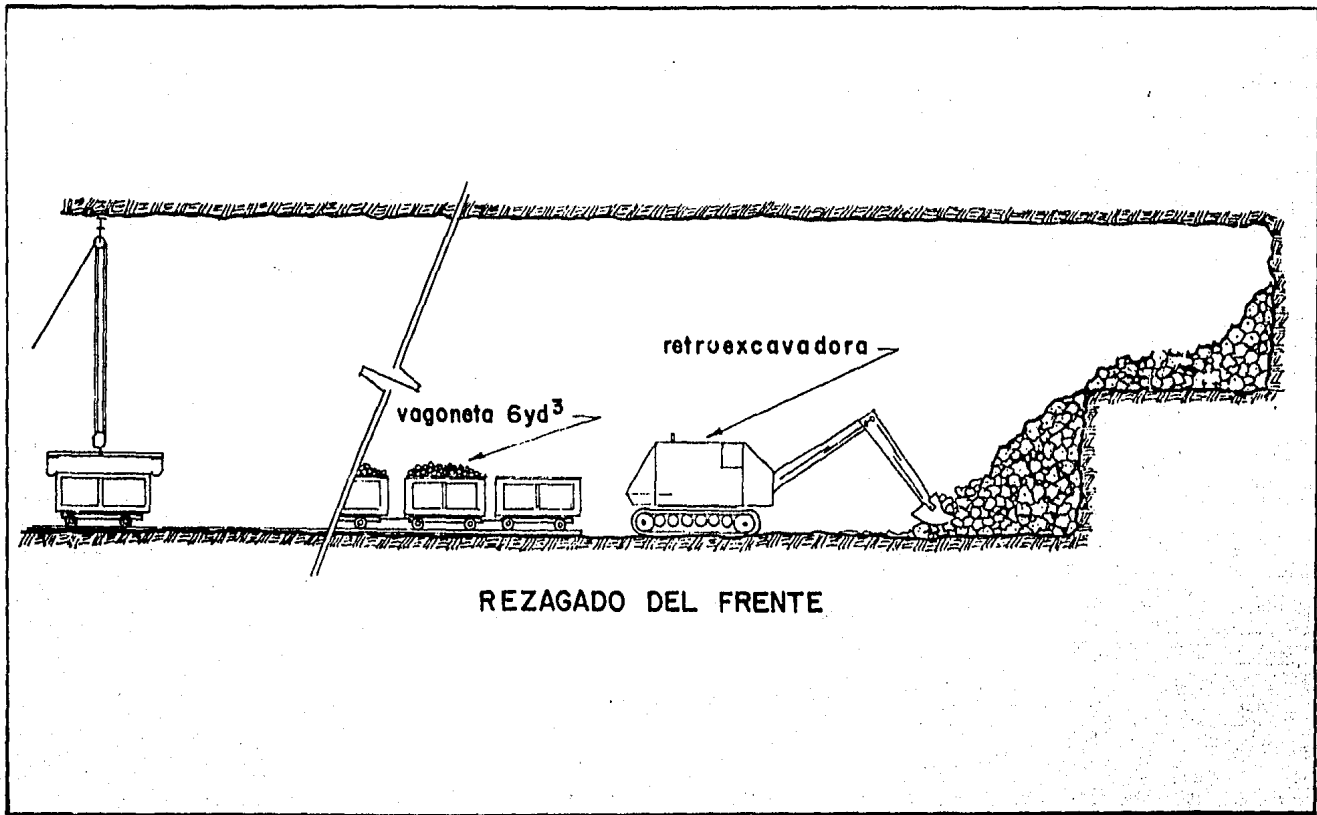
El contratista deberá mantener durante todo tiempo en el interior de las excavaciones, los servicios de ventilación, alumbrado, bombeo, etc., que sean necesarios para mantener el lugar en las mejores condiciones así como tomar todas las medidas de seguridad que le sean señaladas por el ingeniero para proteger a sus trabajadores.

La cantidad de aire fresco que deberá proporcionar en cada frente de trabajo, no deberá ser menor, en ningún caso de  $10 \text{ m}^3 / \text{min. trabajador}$ , a presión ambiente, y de  $2.5 \text{ m}^3 / \text{min. / H.P.}$ , de los motores de combustión interna que estén operando en el interior del túnel. No deberá considerarse dentro de los volúmenes señalados, el aire a presión liberado por las perforadoras u otros equipos neumáticos en operación. Después de cada "tronada", deberá ventilarse el túnel un mínimo de 30 minutos, antes de que inicie el trabajo de rezaga.

El sistema de ventilación generalmente queda integrado por uno o varios ventiladores, una línea de conducción que se lleva hasta una distancia aproximada de 15 a 20 metros del frente de trabajo, y el conjunto de dispositivos y accesorios complementarios, como válvulas, cámaras de compensación, etc.



Sistema de ventilación realizado por un aparato ventilador y una tubería de -  
conducción.



REZAGADO DEL FRENTE

También hay palas del tipo de vía de ferrocarril que usan una sola vía y cargan las vagonetas sobre otra a su lado, y pueden tener una grúa alzacarros para trasladar las vagonetas a la parte de atrás.

Las máquinas especiales para la rezaga de túneles se obtienen en una gran variedad. La mayoría de ellas están montadas sobre rieles, aunque las de orugas se están haciendo más populares. El cucharón puede hacerse girar de un lado a otro para alcanzar el área completa del piso y se llena empujándolo dentro del montón.

Después se levanta, en algunos modelos sobre la máquina, para descargar sobre una vagoneta o una banda transportadora en la parte de atrás; en otros cargan un transportador que forma parte de la estructura y descarga hacia la parte posterior. En cualquier caso, la vagoneta puede acoplarse a la rezagadora de tal modo que siempre este en posición de cargar.

#### IV.4 REZAGA.

De gran importancia en los costos y tiempos de conducción de los trabajos, resulta el equipo empleado para rezagar y transportar la roca fragmentada producto de las tronadas en los túneles, cuya capacidad deberá ser determinada en función de obtener ciclos en los que el conjunto de operaciones se encuentre balanceado, de suerte de lograr una secuencia sincronizada en turnos completos.

En las excavaciones subterráneas, la limitación de espacio suele ser uno de los factores que mayor influencia ejercen en la selección del equipo de rezagado (excavadora y vehículos de transporte); así por ejemplo, en túneles y galerías de dimensiones muy reducidas en los que no hay cupo para el empleo de equipo mecanizado, o no es económico, la rezaga se carga a mano hasta a fuera de la excavación.

Según sean las dimensiones de la excavación (sección transversal), será la capacidad de la máquina rezagadora, la que incluso en ciertos casos deberá ser equipada con cucharón que descargue por la parte trasera, como se ilustra en el esquema de la fig. (IV.4.1). La capacidad de los vehículos de transporte, está también fijada por las dimensiones de la excavación, por la capacidad de la rezagadora y por el ritmo de trabajo programado.

En túneles de dimensiones regulares, el transporte de la rezaga se realiza por medio de camiones que deberán guardar proporción con la capacidad de la máquina excavadora y con la distancia del tiro. En túneles muy pequeños, en los que no es posible emplear equipo mecanizado, en ocasiones resulta más económico agrandar su sección para permitir el trabajo con este tipo de equipo, puesto que las operaciones se realizan con mucho mayor rapidez.

En casos en los que un túnel resulta estrecho para la operación de un cierto equipo, vale la pena estudiar el costo alternativo del mismo ampliando un poco su sección para dar cabida al equipo.

El equipo de rezaga se dividió en dos partes:

- a) Equipo de carga.
- b) Equipo de acarreo.

Los equipos más usuales para la carga de rezaga son:

- Sobre rieles: Rezagadoras.
- Sobre orugas: Cargadores frontales, palas y rezagadoras.

En equipo de acarreo, la selección de éste depende de muchos factores, pudiéndose clasificarse en:

- Sobre rieles: Locomotoras diesel, eléctricos y carros mineros.
- Sobre llantas: Camiones ligeros y pesados.

### C A R G A.

En los túneles pequeños, la roca tronada puede excavar a mano, aunque los excelentes cargadores mecánicos de que se dispone actualmente, que se adaptan al trabajo en espacios estrechos, y el aumento de costo de la mano de obra, están reduciendo continuamente la práctica.

El abundamiento de la roca al pasar del estado sólido al de fragmentación es en promedio aproximadamente el 50%. En los túneles, la rezaga se calcula usualmente en yardas sueltas, y en las minas en número de toneladas cargadas.

Los cargadores mecánicos incluyen palas de giro completo con plumas cortas y cucharones proporcionalmente mayores que se mueven indistintamente sobre orugas o sobre rieles, y sólo hasta muy reciente se usaron únicamente con fuerza motriz neumática o eléctrica.

## A C A R R E O.

En un túnel puede utilizarse cualquier tipo de unidad de acarreo, desde una carretilla de mano, hasta un camión de diez ruedas. Todo depende del tamaño del túnel, de la velocidad de perforación, ventilación y preferencias de la gerencia.

El sistema tradicional son pequeñas vagonetas de rezaga, jaladas a lo largo de vías angostas, mediante locomotoras eléctricas. Las locomotoras pueden servirse de la energía, ya sea de acumuladores o de líneas elevadas y oscilan en peso de 4 ton. para arriba. Cada vez se usan más las locomotoras diesel con escapes acondicionados en túneles bien ventilados.

Las vagonetas son usualmente del tipo de descarga lateral, aunque se encuentran de varias construcciones especiales. El ancho está regido por el túnel y el calibre de la vía, y deberán ser suficientemente pequeñas para permitir su paso dentro del túnel. El ancho de la vagoneta es generalmente como el doble del ancho de la vía.

La capacidad de ésta puede estar limitada por los dispositivos de cambio. Si son empujadas a mano, su capacidad es de una o dos yardas, ya que más pesadas requerirán moverse con palancas a lo largo de la vía, en lugar de empujarlas con el hombro. La vagoneta deberá ser suficientemente baja para pasar debajo de la descarga de la máquina rezagadora que se esté usando. Si se cargan a mano, no deberá ser mayor de cuatro pies de altura.

Las vagonetas cargadas de rezaga, se transportan hasta la lumbrera y se introducen a las cajas de los elevadores, en las cuales son subidas hasta la superficie, en donde se descargan volteándolas lateralmente.

También existen vagonetas especiales que pueden ser elevadas directamente, sin entrar a ninguna caja de elevador. O pueden descargarse en el fondo dentro de algún recipiente que es el que se eleva.

El problema eterno del acarreo en túneles, que se vuelve más agudo a medida que el tamaño disminuye, es el cambio de las vagonetas vacías ( o camiones ) que van hacia el frente a través de todas las que vienen desde él. Las vagonetas vacías pueden hacerse a un lado; o si son muy pequeñas, levantarse-empujarse fuera de la vía a mano, en los lugares donde sólo hay espacio para una vía. Las mayores pueden manejarse con una grúa alzacarros. En cualquier caso, puede utilizarse el arreglo de colocación ilustrado en la fig.(IV.4.2).

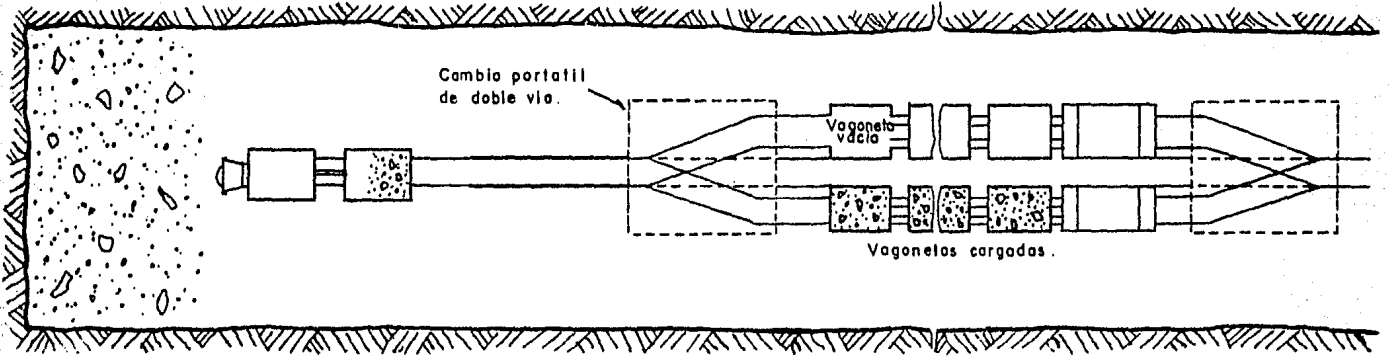
La locomotora jala una línea de las vacías dentro de la galería de avance, y se detiene para permitir a la grúa alzacarros que levante la vagoneta más lejana y la coloque a un lado. Entonces la locomotora retrocede suficientemente, de tal manera que la vagoneta puede colocarse sobre la vía enfrente de éstas, luego empuja a la vagoneta hasta el cargador. Mientras está siendo cargada, retrocede de tal modo, que se puede levantar otra.

Cuando se ha cargado la vagoneta, la locomotora se acopla a ésta y retrocede pasando por la grúa alzacarros, la cual coloca una vacía adelante que se empuja hacia el frente. Mientras se carga, la última vacía se hace de nuevo a un lado, para empujarse en el siguiente ciclo. Cuando todas están cargadas de este modo, la locomotora las jala hasta la lumbrera.

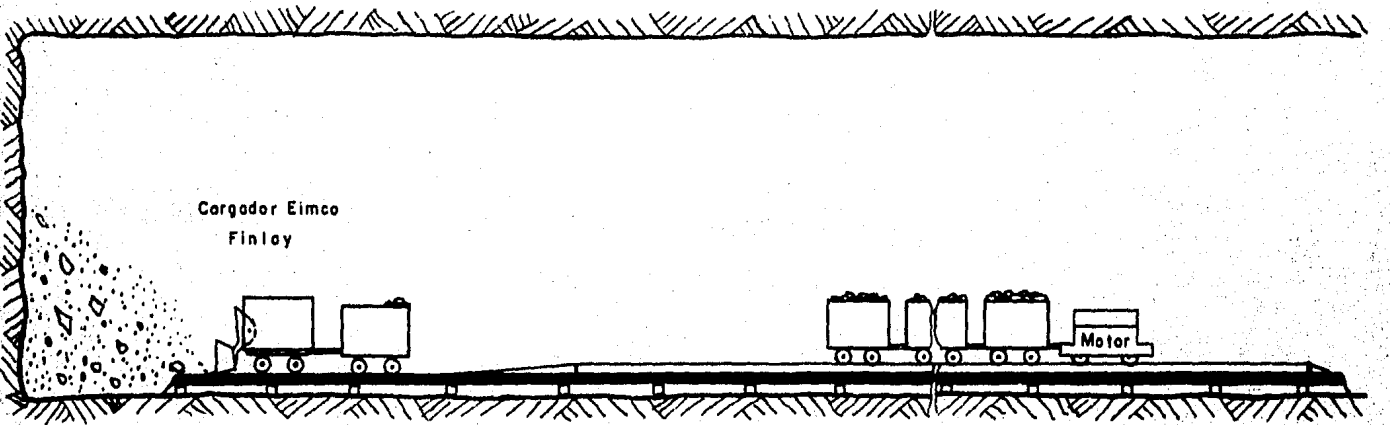


Desalojo de material -  
utilizando convoys.





PLANTA



ELEVACION

#### IV.5 ADEME Y SOPORTE TEMPORAL.

Debemos hacer hincapié en la profunda influencia que ejerce la naturaleza y estado de la roca en las operaciones de conducción de un túnel. Al igual que en cualquier excavación, la roca puede ser suave, medianamente dura, dura o muy dura, afectando en esto a los rendimientos de barrenación y al consumo de explosivos, puesto que en tanto más dura sea una roca, más bajos serán los rendimientos al barrenarla y mayores cargas específicas de explosivos se necesitarán para tronarla fragmentándola adecuadamente.

El estado de la roca afecta en forma muy especial, pues cuando se encuentra alterada por movimientos tectónicos que han dado origen a fallas, grietas, fisuras, etc., se presentan problemas muy serios que obligan a una planificación especial de todas las operaciones. Un movimiento tectónico que a su vez origina fallamientos y grietas secundarias en la roca deja como huella física una zona de roca triturada entre los planos de movimiento de los bloques contiguos, en los que el material tiende a desprenderse, por lo que cuando los frentes de excavación de túneles llegan a zonas falladas, deben realizarse trabajos de protección, generalmente consistentes en la construcción de ademes de retención, pernos de anclaje, redes protectoras, etc. Es muy común que en las zonas falladas se infiltren grandes cantidades de agua que implican un complicado y costoso sistema de desagüe para poder continuar con los trabajos de excavación de los túneles en los que tales problemas se presentan. En rocas suaves poco cohesivas o mal cimentadas, como en aglomerados, conglomerados, brechas, etc., se presenta el mismo problema.

En las zonas afectadas por grietas, fisuras fallamientos, y en general, aquellas en las que el material tiende a desprenderse, los trabajos de protección, que llegan a ser indispensables, retrasan el resto de las operaciones, salvo que por exploraciones geológicas previas se haya determinado la existen-

cia y localización exacta de tales zonas, planeándose la secuela de operaciones en una forma racionalmente balanceada teniendo en cuenta todos los factores que se presentan.

Aún en formaciones de rocas muy sanas, se suelen presentar zonas con tendencia a producir caídos, siendo esto a tal grado cierto y frecuente, que los peritos en estos asuntos consideran que un túnel en el que se presentan problemas de ademado en una longitud del orden del 5 al 10% de su longitud, son excepcionalmente favorables.

#### Principales Tipos de Ademes.

##### 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. En todo caso es conveniente realizar un estudio económico para elegir el tipo de ademe, pero se puede adelantar que en excavaciones de gran sección transversal el ademe metálico será más económico. Aunque en túneles de gran sección transversal se puede utilizar ademes 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.

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.

##### 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 ellos, se determinan los mecanismos de falla de la roca y se calcula el número y capacidad de las anclas para evitarlo. El principio general del anclaje de la roca 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.

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.

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 resistencias adecuadas.

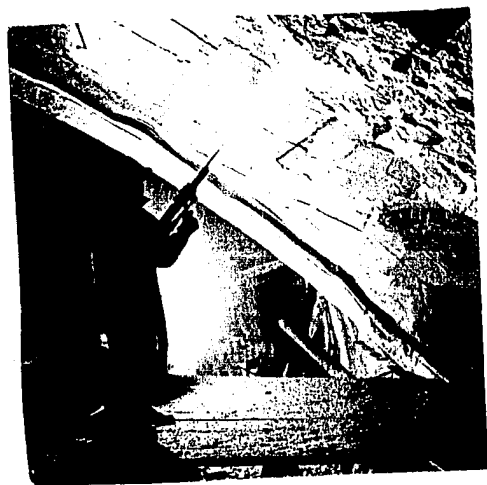
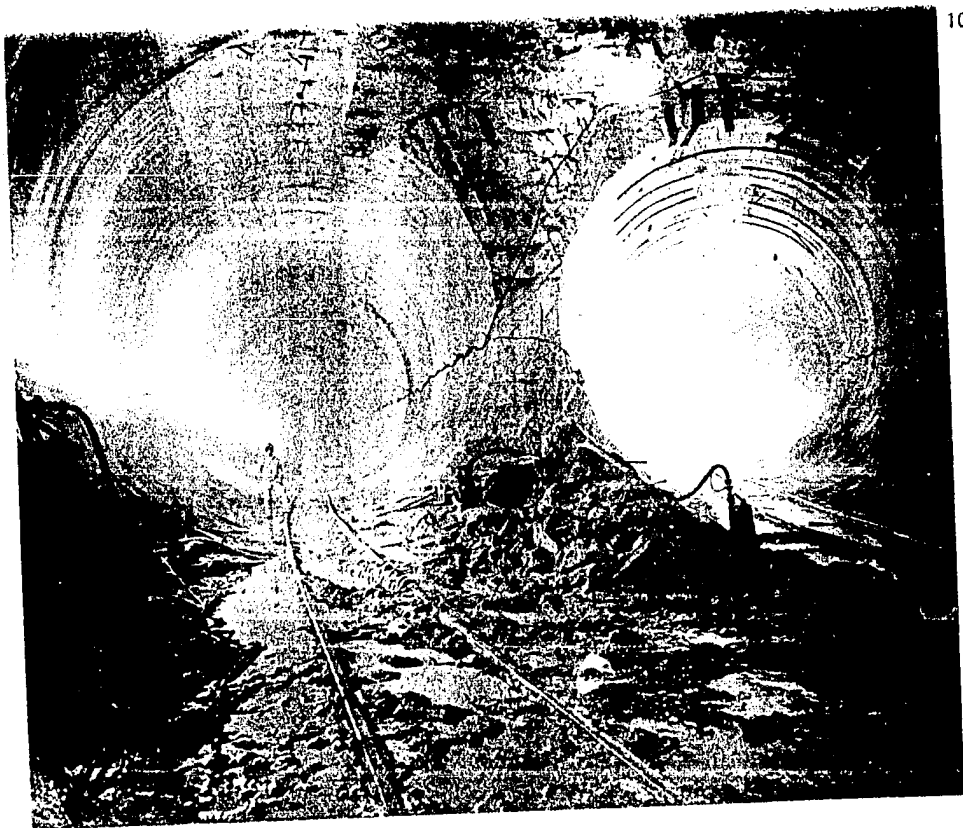
El sistema de soporte deberá tener una flexibilidad tal, que permita - que los bloques de roca de la vecindad de la excavación se muevan y se genere una redistribución de esfuerzos. Además el ademe deberá tener - resistencia que pueda soportar la carga que no pueda soportar la roca.

Existen dos clases de sistemas de soporte: los primarios que se utilizan para estabilizar las paredes de la excavación subterránea y están íntimamente ligados a las condiciones del subsuelo y al equipo de construcción a usar. Los más comunes son los marcos de acero, el concreto lanzado y las dovelas y sus combinaciones.

Los secundarios o definitivos, son aquellos cuya función es dar a la excavación un acabado final o completar la acción del ademe primario para soportar las cargas internas y externas a lo largo de la vida útil del túnel. El ademe definitivo más común es el concreto lanzado.

El revestimiento definitivo constituye la etapa final de la construcción de los túneles y siempre va acompañado por un proceso de inyección de mezclas estables de agua-cemento-bentonita, para rellenar todos los huecos que hubieran quedado entre la excavación y el revestimiento de concreto.

Para muchos túneles el revestimiento definitivo constituye el sistema de soporte que hara frente a todas las cargas que se presentan a mediano y largo plazos.



Sistema de soporte secundario o definitivo revestido de concreto lanzado.

S I S T E M A S   D E   S O P O R T E .

## A) P R I M A R I O S .

MARCOS DE ACERO Y MADERA.

CONCRETO LANZADO.

CONCRETO LANZADO Y ANCLAS.

MARCOS DE ACERO Y CONCRETO LANZADO.

CHAROLAS METALICAS.

DOVELAS DE ACERO ESTRUCTURAL.

DOVELAS DE FIERRO FUNDIDO.

DOVELAS DE CONCRETO.

CONCRETO EXTRUIDO.

## B) S E C U N D A R I O S   O   D E F I N I T I V O S .

CONCRETO LANZADO EN CLAVE Y CUBETA DE CONCRETO HIDRAULICO.

CONCRETO HIDRAULICO CON O SIN ARMADO.

CONCRETO EXTRUIDO.

ALGUNAS DOVELAS DE CONCRETO ESTANCAS.

C L A S E S D E C I M B R A S .

TIPO	MATERIAL	COLADO EN	USADA EN
1) Seccional	Madera	1.1 Guarniciones	Secciones
		1.2 Clave	especiales
2) Seccional	Acero	2.1 Guarniciones	Túneles
		2.2 Clave	cortos
3) Colapsible	Acero	3.1 Claves	Túneles
		3.2 Sección completa	medianos
4) Telescópica	Acero	4.1 Clave	Túneles
		4.2 Sección completa	largos



Concreto lanzado como ademe en túneles.

Se define el concreto lanzado como un concreto transportado en una manguera y lanzado con alta velocidad a una superficie.

Hay dos tipos de concreto lanzado, uno con la premezcla seca y adición de agua en la boquilla y el otro donde la mezcla sale completa de la lanzadora.

El método seco es el más sencillo y hasta ahora el más usado, pero tiene la desventaja que da mucho más polvo.

Concreto lanzado en túneles de roca.

Aplicado a la superficie de la roca el concreto lanzado entra en grietas y juntas abiertas y forma una estructura con la roca.

Detiene también la filtración de agua y el transporte de arcilla de las juntas. Este último efecto es más notable si se puede lanzar el concreto directamente después de la voladura. En este caso no ha tenido tiempo de regresar a la superficie de la roca el agua forzada hacia fuera por los gases de la voladura.

La principal función del concreto lanzado es de conservar la forma de arco del túnel, que permite que la carga externa se soporta sobre una estructura arqueada de la misma roca en vez de un soporte interior. En otras palabras se puede decir que el concreto lanzado ayuda la roca a autoportarse.

Durante las primeras horas el concreto lanzado no tiene suficiente resistencia para detener la roca completamente, pero bien para sellar juntas y grietas.

Mientras la carga de la roca aumenta con el relajado gradual de los esfuerzos internos, la resistencia del concreto crece hasta que los esfuerzos llegan a un equilibrio.

## COMPARACION ENTRE CONCRETO LANZADO Y MARCOS METALICOS.

Concreto Lanzado.

- Convierte el terreno en el elemen  
to principal de soporte.
- Puede ser dimensionado para el te  
rreno actual.
- Puede ser completado para formar-  
el revestimiento final,
- Bajo costo y uso de materiales -  
facil de conseguir.
- Necesita equipo y personal espe -  
cializado.
- Necesita supervisión calificada.
- Necesita una muy buena ventila -  
ción del frente para controlar -  
el polvo.

Marcos metálicos.

- Dejan formarse la carga del terre  
no.
- Se usa indiscriminadamente el mis  
mo soporte para cualquier terreno.
- Se integran como armadura en el -  
revestimiento final.
- Alto costo y uso de materiales de  
insuficiente producción en el --  
país.
- Instalación sin equipo y sin mano  
de obra especializada.
- Supervisión sencilla o innecesaria.
- El montale no contamina el aire.

## IV.6 B O M B E O.

En la mayoría de los túneles, el agua es un problema y en algunos puede ser el principal. Muchos túneles de minas, y algunos de ellos de varias millas de largo se hacen solamente para abatir el nivel del agua freático. Puede haber filtraciones a todo lo largo de la línea, resultando en un volumen considerable que debe drenarse o más a menudo bombearse hacia el exterior.

Pueden descubrirse manantiales brotantes con cualquier explosión o puntos de filtración en diversos puntos del frente. Pueden encontrarse ríos o lagos subterráneos que sean capaces de inundar la obra, apesar de un bombeo continuo. En roca dura, pueden encontrarse vetas de material empapado con agua dulce, que pueden penetrar e inundar el túnel.

La primera necesidad es tener una capacidad de bombeo adecuada. La tendencia es a subestimar las necesidades, principalmente porque las bombas y tuberías son caras, parcialmente porque aun la exploración cuidadosa desde la superficie rara vez revela toda la capacidad y presión de agua que puede encontrarse.

Si un túnel corre hacia arriba desde un portal, el drenaje puede ser por flujo natural a través de una zanja abierta a lo largo de un lado. Si es hacia arriba desde una lumbrera, puede drenarse hasta una toma de una bomba al pie de la lumbrera. Este arreglo es fácil y barato, pero rara vez satisfactorio, debido a la frecuente obstrucción de la zanja por las rocas que caen de las paredes, o del equipo de acarreo, dando como resultado que el agua corra sobre el piso, haciéndolo resbaloso y a menudo estropeando la vía o echando a perder la superficie de rodamiento. La zanja también requiere más espacio que una tubería, y aún no existe un túnel que tenga espacio de sobra en el piso.

La solución ordinaria es bombear toda el agua. Se mantiene cerca del frente, una pequeña bomba centrífuga, usualmente impulsada con aire, que succiona de un colector y descarga dentro de una tubería que corre para atrás hacia el portal o lumbrera. Se proporciona otro colector cada 500 a 1500 pies hacia atrás, para recoger el agua local por otra bomba centrífuga, usualmente de impulsión eléctrica. Cada bomba puede descargar dentro del colector de atrás, que se mantiene con un nivel bajo con otra bomba, usualmente de mayor tamaño. Otro arreglo es poner todas las descargas de las bombas a través de válvulas de retención conectadas a una tubería de descarga común. En el fondo de la lumbrera se instala una potente bomba eléctrica del tipo de pistón o centrífuga, y tantos aumentadores de presión como sean necesarios para la succión, instalados a intervalos en nichos en la lumbrera.

Las líneas de tubería varían desde 1 1/2 hasta 10 plg. de diámetro.

La bomba o las bombas en la base de la lumbrera son a veces colocadas en un cuarto sellado, con energía y control directamente desde la parte superior de la lumbrera. En otros casos las bombas están al descubierto, pero son del tipo sumergible. Estos arreglos permiten el uso de unidades junto con bombas de emergencia, para el caso de que el túnel se inundara.

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

Durante el desarrollo del presente trabajo, logramos apreciar la gran -  
variedad de circunstancias que se presentan durante la excavación de un túnel  
, lo cual implica que no se puedan establecer reglas generales para los proce-  
dimientos de excavación, sino que en cada caso particular debemos hacer un -  
análisis del problema.

Aquí es donde se requiere el análisis y juicio del ingeniero, que dispo-  
niendo de los medios técnicos y de su experiencia personal, determinen en ca-  
da caso los procedimientos correctos de excavación.

Por lo general, en la construcción de muchas de las obras hidráulicas, -  
especialmente de presas, la ejecución del conjunto de la obra suele estar su-  
reditada a la terminación de los túneles que forman parte de la misma. Aún en  
otro tipo de obras, las grandes inversiones que significa la construcción de-  
uno o varios túneles, permanecen improductivos hasta en tanto no se terminan-  
los mismos; y lo que es más, el costoso equipo empleado en su construcción au-  
menta notoriamente su porcentaje de "tiempos ociosos", en tanto mayor tiempo-  
dura la terminación de los mismos, lo que consecuentemente se refleja en los-  
precios unitarios y costos generales de toda la obra.

El fin utilitario de un túnel y su interdependencia con otras estructu -  
ras influyen notablemente en la planificación y ejecución de los trabajos del  
mismo y consecuentemente en sus precios unitarios.

Finalmente, quiero terminar con algunas frases que pretenden expresar --  
las cuestiones medulares de la construcción de túneles:

- 1° Hacer Ingeniería siempre. Imaginar y pensar en los posibles mecanismos de falla; planear procedimientos constructivos alternos; estar siempre alerta para detectar cambios en los materiales excavados.
- 2° Estar continuamente en el túnel y observar con detenimiento todas las actividades del ciclo, para perfeccionarlas y llegar a los rendimientos óptimos.
- 3° Los túneles siempre avisan. Si se presenta una condición de inestabilidad y se observan los avisos (graneos, agrietamientos, cargas en los ademes, flujo de agua, etc.), siempre habrá tiempo de poner el remedio y evitar la falla.
- 4° Desarrollar activamente el concepto de equipo de trabajo, que está formado por todo el personal que interviene en la obra: los que están adentro y también los que están afuera.
- 5° Promover la competencia entre los diferentes turnos de trabajo, sin olvidar el principio de que todos trabajan juntos para perforar el túnel.
- 6° Siempre es posible mantener el túnel limpio, bien ventilado, bien iluminado y seguro.

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

- 1.- TUNEL, S.A. DE C.V.  
MEMORIA TECNICA DE LAS OBRAS DEL DRENAJE PROFUNDO DEL DISTRITO FEDERAL TOMO I Y II.
- 2.- CONSTRUCCIONES EN ROCA.  
COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MEXICO. (1965).
- 3.- MANUAL SOBRE EL CALCULO DE PRECIOS UNITARIOS DE TRABAJOS DE CONSTRUCCION. TOMO III, TOMO IV, TOMO VI.
- 4.- ATLAS COPCO - MANUAL.  
CUARTA EDICION.
- 5.- MOVIMIENTO DE TIERRAS.  
MANUAL DE EXCAVACIONES.  
HERBERT L. NICHOLS, Jr.  
C.E.C.S.A.
- 6.- MANUAL PARA EL USO DE EXPLOSIVOS.  
DUPONT. (1973).
- 7.- APUNTES DE LA DIVISION DE EDUCACION CONTINUA.  
FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.  
T U N E L E S . (1985).