

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS**

**“TECNOLOGIA APLICADA A LA  
EXCAVACION DEL TUNEL DE PEQUEÑA  
SECCION EN TINCA”**

**PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**

**Presentado por:**

**MANUEL FERNANDO HUAMAN MEJIA**

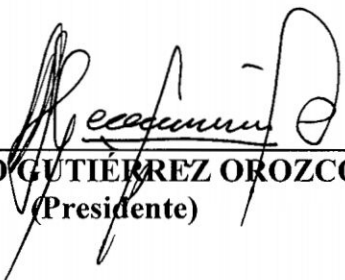
**Bachiller en Ciencias de la Ingeniería de Minas**

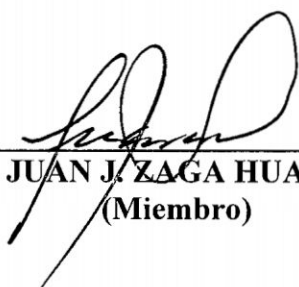
**AYACUCHO – PERU  
2010**


**“TECNOLOGÍA APLICADA A LA EXCAVACIÓN DEL TUNEL DE  
PEQUEÑA SECCIÓN”**

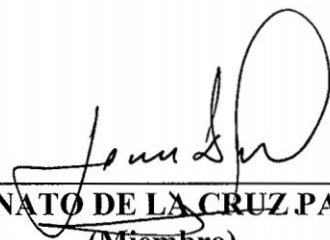
**RECOMENDADO : 07 DE OCTUBRE DEL 2009**

**APROBADO : 25 DE ENERO DEL 2010**

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. HUGO GUTIÉRREZ OROZCO**  
(Presidente)

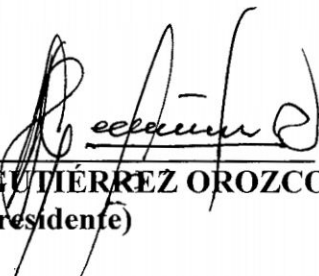
  
\_\_\_\_\_  
**Ing. JUAN J. ZAGA HUAMÁN**  
(Miembro)

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. ANDRÉS PORTUGAL PAZ**  
(Miembro)

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. FORTUNATO DE LA CRUZ PALOMINO**  
(Miembro)


  
\_\_\_\_\_  
**Ing. JOSÉ HUGO DE LA CRUZ FLORES**  
(Secretario Docente)

Según el acuerdo constatado en el Acta, levantada el 25 de enero del 2010, en la Sustentación de Tesis presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería de Minas Sr. Manuel Fernando HUAMÁN MEJÍA, con el Borrador Titulado "TECNOLOGÍA APLICADA A LA EXCAVACIÓN DEL TUNEL DE PEQUEÑA SECCIÓN", fue calificado con la nota de QUINCE (15) por lo que se da la respectiva APROBACIÓN.



---

Ing. HUGO GUTIÉRREZ OROZCO  
(Presidente)



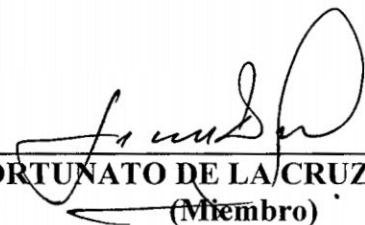
---

Ing. JUAN J. ZAGA HUAMÁN  
(Miembro)



---

Ing. ANDRÉS PORTUGAL PAZ  
(Miembro)



---

Ing. FORTUNATO DE LA CRUZ PALOMINO  
(Miembro)



---

Ing. JOSÉ HUGO DE LA CRUZ FLORES  
(Secretario Docente)

# DEDICATORIA

A mi Esposa CARMELA BAUTISTA SOTO

A mis hijos FERNANDO ALBERTO, RUSSELL HERBERTH

y BRYAN VINCENTH

A mi Madre : RENEE MEJIA

A mi Padre : LUIS ALBERTO HUAMAN

A mis Abuelitas : FELICITA y MERCEDES

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mi sincera gratitud y agradecimiento a todos y cada uno de mis profesores de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por sus valiosas enseñanzas, en bien de mi formación profesional.

**M.F.H.M.**

# INTRODUCCION

El Perú es un país que por sus características geomorfológicas, requiere desarrollar su infraestructura para fines hidráulicos, basándose en la construcción de túneles.

La decisión para la ejecución de un túnel, muchas veces no representa una tarea fácil. Y ello ocurre por cuanto, converge un conjunto de variables, siendo una de aquellas, la finalidad para la cual se construye la obra, complementariamente la sección que deberá tener un túnel.

Definida la sección, debe evaluarse los resultados de pruebas de laboratorio y las representaciones gráficas. Los resultados, indudablemente generan controversias, debido principalmente a las condiciones geológicas, lo que es justificable por cuanto, se ha encontrado variables incommensurables que no han posibilitado la obtención de valores exactos.

El concepto de túnel, comprende globalmente el proceso de excavación, control de la periferia, sostenimiento, revestimiento y consolidación de la excavación. El éxito de una correcta y económica obra de tunelería, dependerá de la buena combinación que se efectuó entre estos factores.

Cuando se ejecuta una obra de tunelería que se califica como obra atrevida de Ingeniería, por las amplias secciones transversales o las grandes longitudes que se perforan, surgiendo numerosos problemas de difícil solución. Debido a la diversidad de condiciones tectónicas que las rocas o suelos presentan cuando se les atraviesa.

Toda obra de túneles, presenta una serie de complejidades, debido a que el medio rocoso donde debe desarrollarse es anisotrópico, con particularidades de tectonismo, presencia de aguas subterráneas, gases atrapados en las cavidades de las rocas, etc.

Inclusive, en el desarrollo de túneles de pequeña sección, se encuentran problemas que deben ser resueltos, en medios sin mayores elementos de consulta, o faltos de apoyo técnico- material. En el presente trabajo de tesis, se esbozan características de trabajo y solución a los problemas.

## **RESUMEN**

El trabajo de Tesis que he propuesto para consideración de los señores miembros del jurado, cuenta de 5 capítulos, los cuales son resumidos de la siguiente manera:

El primer Capítulo, describe las características del trabajo y la maquinaria, aplicado a excavaciones en túneles de pequeña sección.

Los principios básicos en voladuras con dinamitas, son descritos en el capítulo II. Para ellos se describe las características litológicas, así como los parámetros del explosivo. Se enfatiza en la dinamita como agente en voladuras, para concluir con la evaluación técnica y económica de los disparos

En el Capítulo III, se correlaciona las ecuaciones matemáticas que se utilizan en los cálculos con el tipo de roca en que se trabaja. Se plantea la metodología en el diseño y se sintetiza en ejemplos numéricos, la relación entre los diversos parámetros en voladura, con los tipos de rocas.

El Capítulo IV, nos plantea una descripción minuciosa de un ciclo completo de excavación; siendo para el caso de túneles de

Pequeña sección: Perforación, carga y disparo, ventilación y limpieza. En cada etapa se evalúa los tiempos empleados y los costos asignados.

Finalmente, En el Capitulo V, se hace la evaluación económica del proceso integrado. El análisis, generalmente consiste en costos de: Materiales, Equipos y mano de Obra. Se ha tomado para ello, como elemento referencial, el avance que se ha logrado en disparos de 8` de longitud.

Las conclusiones y recomendaciones, se consolidad de manera aproximada la información que se describe en los 5 capítulos que consta la presente Tesis.

# INDICE

|                  |     |
|------------------|-----|
| • DEDICATORIA    | i   |
| • AGRADECIMIENTO | ii  |
| • INTRODUCCION   | iii |
| • RESUMEN        | v   |

## CAPITULO I:

### GENERALIDADES

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1.1 GENERALIDADES</b>                         | <b>1</b>  |
| <b>1.2 MAQUINARIA PARA PERFORACION, JACK LEG</b> | <b>4</b>  |
| 1.2.1 Partes y Características                   | 4         |
| 1.2.2 Operación con Jack Leg                     | 13        |
| 1.2.3 Mecanismo de Rotura                        | 16        |
| 1.2.4 Ventajas                                   | 17        |
| 1.2.5 Recomendaciones para su Uso                | 18        |
| <b>1.3 PERFORACION EN EL FRENTE</b>              | <b>20</b> |

## CAPITULO II:

### PRINCIPIOS EN VOLADURAS CON DINAMITA

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| <b>2.1 GENERALIDADES</b>           | <b>27</b> |
| <b>2.2 PARAMETROS EN VOLADURAS</b> | <b>29</b> |
| 2.2.1 Parámetros de las Rocas      | 29        |
| 2.2.2 Parámetros del Explosivo     | 38        |
| 2.2.3 Parámetros de Carga          | 47        |

|  |    |
|--|----|
| 2.3 DINAMITA COMO AGENTE EN VOLADURAS              | 50 |
| 2.3.1 Definiciones                                 | 50 |
| 2.3.2 Clasificación de Dinamitas                   | 51 |
| 2.3.3 Características de las Dinamitas             | 56 |
| 2.4 PROCESOS EN UNA EXPLOSION                      | 59 |
| 2.4.1 Mecanismos y Variables                       | 59 |
| 2.4.2 Procesos en la Fragmentación                 | 63 |
| 2.5 ACCESORIOS PARA VOLADURAS                      | 67 |
| 2.5.1 Guía de Seguridad                            | 67 |
| 2.5.2 Fulminante Común                             | 69 |
| 2.5.3 Cordón Detonante Pentacord                   | 71 |
| 2.5.4 Fanel (Fulminante Antiestático No Electrico) | 72 |
| 2.6 PREPARACIÓN DE LA DINAMITA                     | 76 |
| 2.7 EVALUACIÓN EN VOLADURAS                        | 82 |

### CAPITULO III:

#### **TRAZOS DE PERFORACION PARA VOLADURAS**

|   |     |
|---|-----|
| 3.1 GENERALIDADES                       | 87  |
| 3.1.1 Clases de Rocas                   | 87  |
| 3.1.2 Tipos de Explosivos               | 90  |
| 3.1.3 Formación de Caras Libres         | 91  |
| 3.2 ECUACIONES MATEMATICAS APLICADAS    | 93  |
| 3.2.1 Calculo del número de Taladros    | 93  |
| 3.2.2 Determinacion del Factor de Carga | 99  |
| 3.3 METODOLOGIA EN EL DISEÑO            | 100 |
| 3.4 METODOLOGIA DE DISEÑO I             | 105 |
| 3.4.1 Diseño de Roca Tipo I             | 105 |
| 3.4.2 Diseño de Roca Tipo II            | 111 |
| 3.4.3 Diseño en Roca Tipo III           | 116 |
| 3.5 CASOS TIPICOS DE DISEÑO II          | 121 |
| 3.5.1 Diseño en Roca Tipo I             | 121 |
| 3.5.2 Diseño en Roca Tipo II            | 126 |
| 3.5.3 Diseño en Roca Tipo III           | 131 |

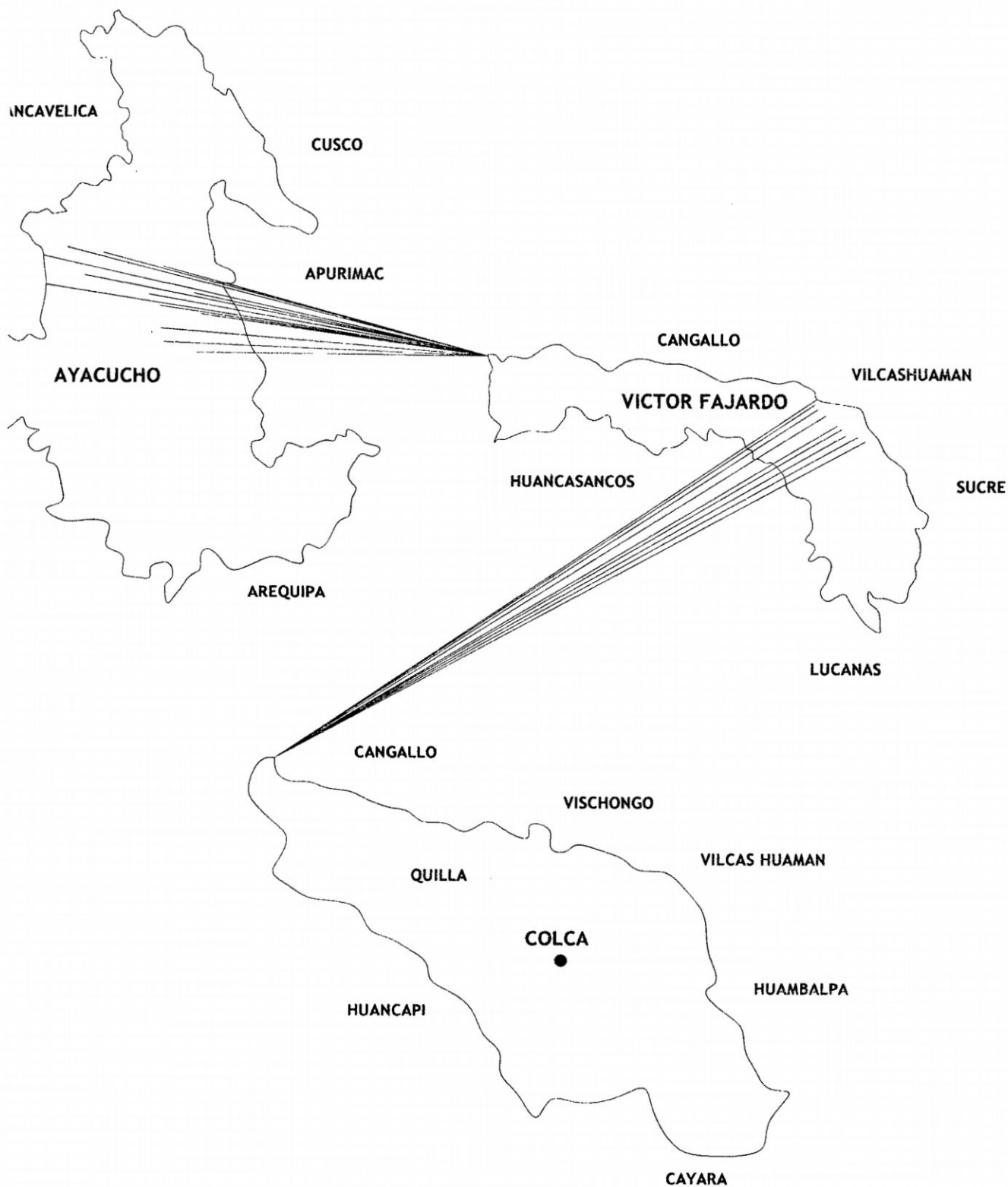
**CAPITULO IV:**  
**CICLO DE EXCAVACION**

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 4.1 GENERALIDADES           | 136 |
| 4.2 TRAZOS PARA PERFORACION | 137 |
| 4.3 PERFORACION             | 144 |
| 4.4 CARGA Y DISPARO         | 147 |
| 4.5 LIMPIEZA                | 150 |

**CAPITULO V:**  
**EVALUACION ECONOMICA**

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 5.1 GENERALIDADES              | 155 |
| 5.2 CALCULO DEL COSTO POR M.L. | 157 |
| 5.3 EJEMPLO DE APLICACIÓN      | 157 |
| 5.4 COSTO DE MATERIALES        | 158 |
| 5.5 COSTO DE LA MANO DE OBRA   | 164 |
| <br>                           |     |
| - CONCLUSIONES                 | 166 |
| - RECOMENDACIONES              | 170 |
| - BIBLIOGRAFIA                 | 174 |

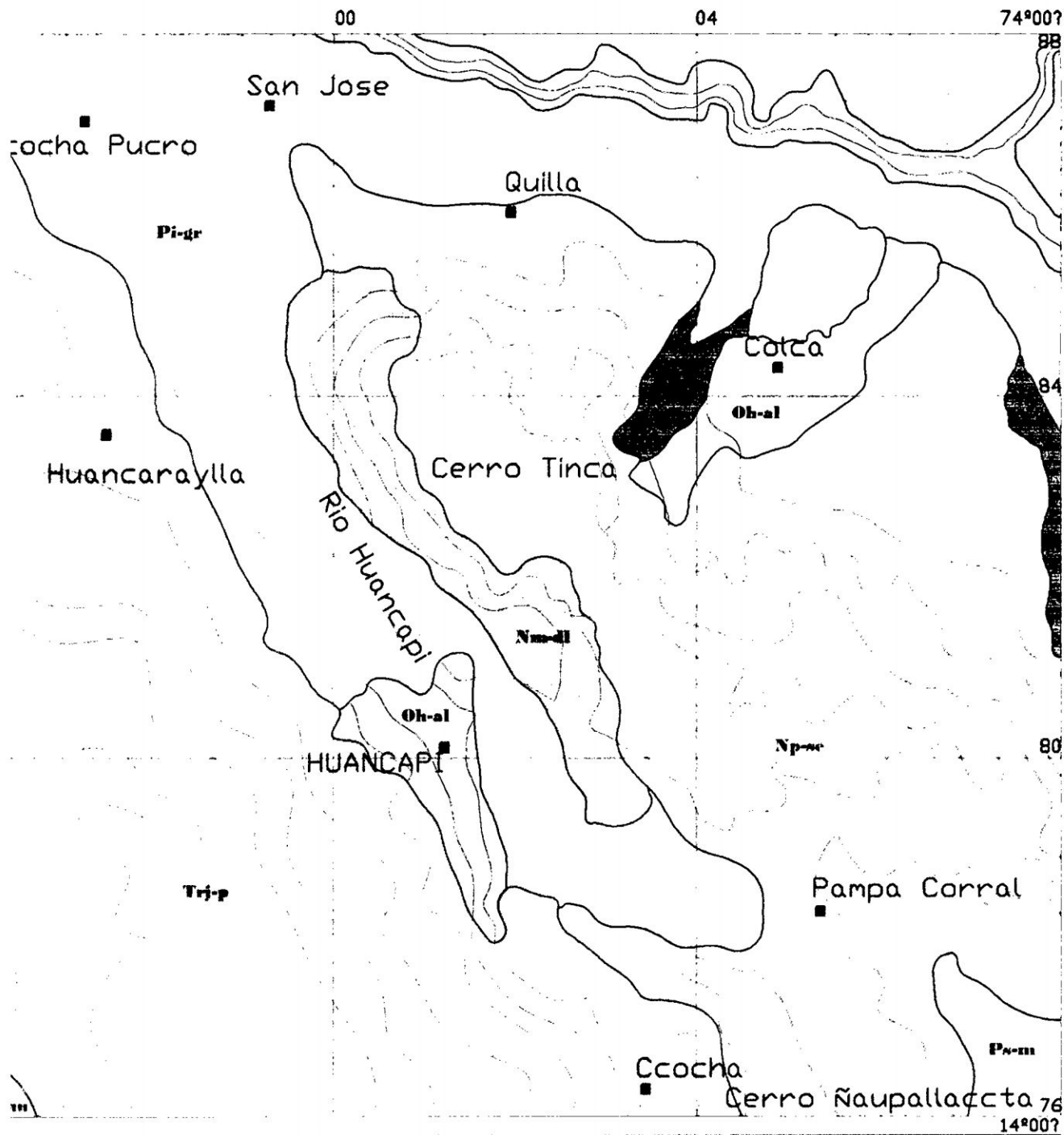
# PLANO DE UBICACION Y LOCALIZACION



|  |                                       |  |
|--|---------------------------------------|--|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA<br>FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS<br>: Manuel Fernando Huamán Mejía | <b>UBICACION Y LOCALIZACION</b>       |  |
|  | Escala : S/E<br>Fecha : Marzo de 2008 | Lámina:<br><div style="text-align: center; font-size: 2em;"><b>A</b></div> |

# MAPA GEOLOGICO

Provincia: Victor Fajardo    Distrito : Colca



| EPOCAMA            | SISTEMA            | SERIE    | UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS   | ROCAS IGNEAS   |
|--------------------|--------------------|----------|--|--|
| <b>CUATERNARIO</b> | <b>CUATERNARIO</b> | Holoceno | Dep. Aluvial <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Oh-al</span> |  |
|                    | <b>NEOGENO</b>     | Plioceno | Fm. Seneca <b>Np-wc</b>  | Diorita Ceasecabamba <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Nm-dl</span> |
| <b>MESOZOICO</b>   | <b>CRETACEO</b>    | Superior | Fm. Ferrobamba <span style="background-color: black; color: black;">[ ]</span> |  |
|                    | <b>JURASICO</b>    | Superior | Fm. Huacaña <b>Ju-hu</b>   |  |
|                    |                    | Inferior | Gpo. Pucará <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Tr-p</span>   | Granito Querobamba <b>Pi-gr</b>  |
|                    | <b>TRIASICO</b>    | Superior |  |  |
| <b>PLEOZOICO</b>   | <b>PERMIANO</b>    | Superior | Gpo. Mita <b>Pm-m</b>  |  |

|  |                                      |                                       |
|--|--------------------------------------|---------------------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA<br>FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | GEOLOGIA LOCAL                       |                                       |
|  | Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía | Escala : S/E<br>Fecha : Marzo de 2008 |

## **CAPITULO I**

# **PERFORACION EN SECCIONES PEQUEÑAS**

### **1.1 GENERALIDADES**

La perforación viene a ser la primera etapa operativa en la preparación de una voladura. Tiene como objetivo o propósito de abrir en la roca huecos cilíndricos (taladros) destinados a alojar a los explosivos que romperán a esta.

La perforación que se realiza para la voladura en **túneles** se basa en los principios de percusión-rotación, cuyos efectos de golpe y fricción producirán astillamiento y trituración de la roca en un área equivalente al diámetro a perforar, y en una profundidad determinada.

En una perforación, siempre existirá una estrecha relación entre el material a ser perforado (roca) y el sistema (equipo de perforación). De ahí que la perforación depende de dos factores:

- a) Tipo de roca
- b) Tipo de maquinaria.

**a) TIPO DE ROCA**

Toda roca tiene un índice de "perforabilidad" que representa el comportamiento de la roca en el proceso de penetración y depende fundamentalmente de su dureza, textura, fragilidad y tipo de formación.

La "perforabilidad" de la roca servirá para la elección adecuada del barreno que penetrará en la roca. Así mismo se podrá predecir la velocidad de penetración en el macizo rocoso y determinar el efecto de la roca sobre la perforadora.

Desde el punto de vista de la perforabilidad de la roca, las rocas pueden ser:

- Rocas duras y tenaces: Son difíciles de perforar mostrando una gran resistencia a ser penetradas.
- Rocas abrasivas: Tienen a desgastar el acero de perforación.
- Rocas fisuradas y agrietadas: Ocasionalmente ocasionan rotura y doblado del acero.
- Rocas suaves: Son fáciles de perforar.

Se presenta a continuación, la perforabilidad de algunas rocas:

| TIPO DE ROCA | DURA         | INTERMEDIA    | SUAVE            |
|--------------|--------------|---------------|------------------|
| Ignea        | Riolita      | Diorita       | Serpentina       |
|              | Granito      | Traquita      | Granito alterado |
|              | Andesita     | Sienita       |                  |
|              | Granodiorita | Gabro         |                  |
| Sedimentaria | Pizarra      | Caliza        | Carbón           |
|              |              | Arenisca      |                  |
| Metamórfica  | Gneiss       | Mármol        | Esquistos        |
|              | Cuarcita     | Mica-esquisto |                  |

FUENTE : CENTROMIN PERU " MANUAL DE VOLADURAS "

#### b) TIPO DE MAQUINA

En la excavación de túneles de pequeña sección se utilizan máquinas perforadoras manuales a energía neumática denominada "Jack Leg".

La elección de este tipo de perforadoras se debe a su versatilidad para trabajar en espacios reducidos además de que es bastante funcional y se comporta adecuadamente, en relación con diversos tipos de roca.

## 1.2 MAQUINARIA PARA PERFORACION: JACK LEG

### 1.2.1 PARTES Y CARACTERISTICAS

Una máquina perforadora Jack Leg trabaja a rotación-percusión requiriendo energía neumática para su funcionamiento.

Las perforadoras fabricadas por ATLAS COPCO están previstas para trabajar con aire a 6 bares de presión (85 lbs/pulg<sup>2</sup>).

La perforadora Jack Leg se compone de las siguientes partes:

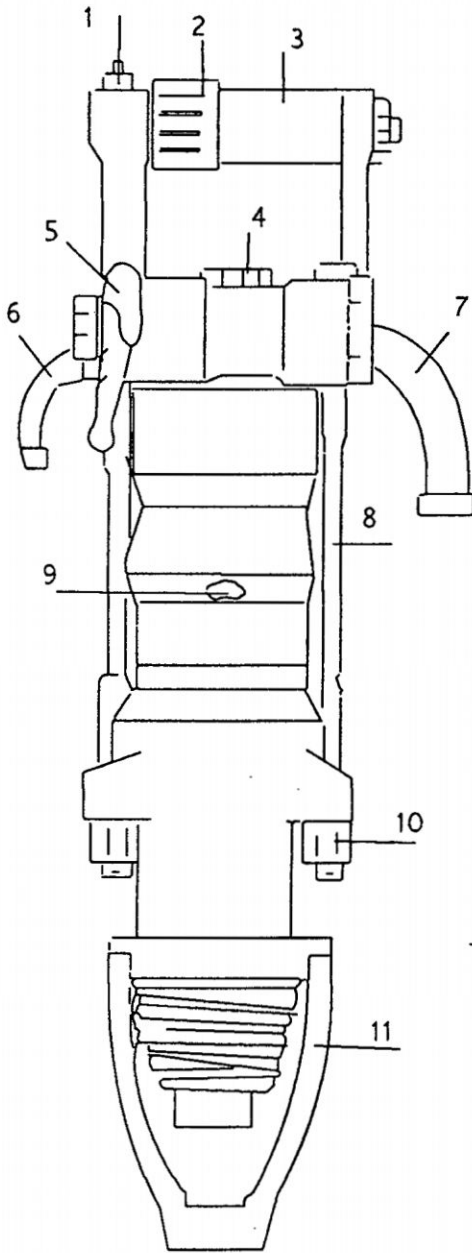
#### a) PERFORADORA MARTILLO

Viene a ser la parte que activa los barrrenos, para que estos ejecuten los taladros (ver Lámina N° 1.1 y 1.2). En esta parte se encuentra:


El Cabezal: que a la vez contiene las siguientes partes:

- Los conductos para entrada de aire (energía neumática) y para agua (refrigeración).

(Las perforadoras Jack Leg fabricadas por ATLAS COPCO poseen una conexión de 25mm (1") para el aire y de 12.5 mm (1/2") para el agua).

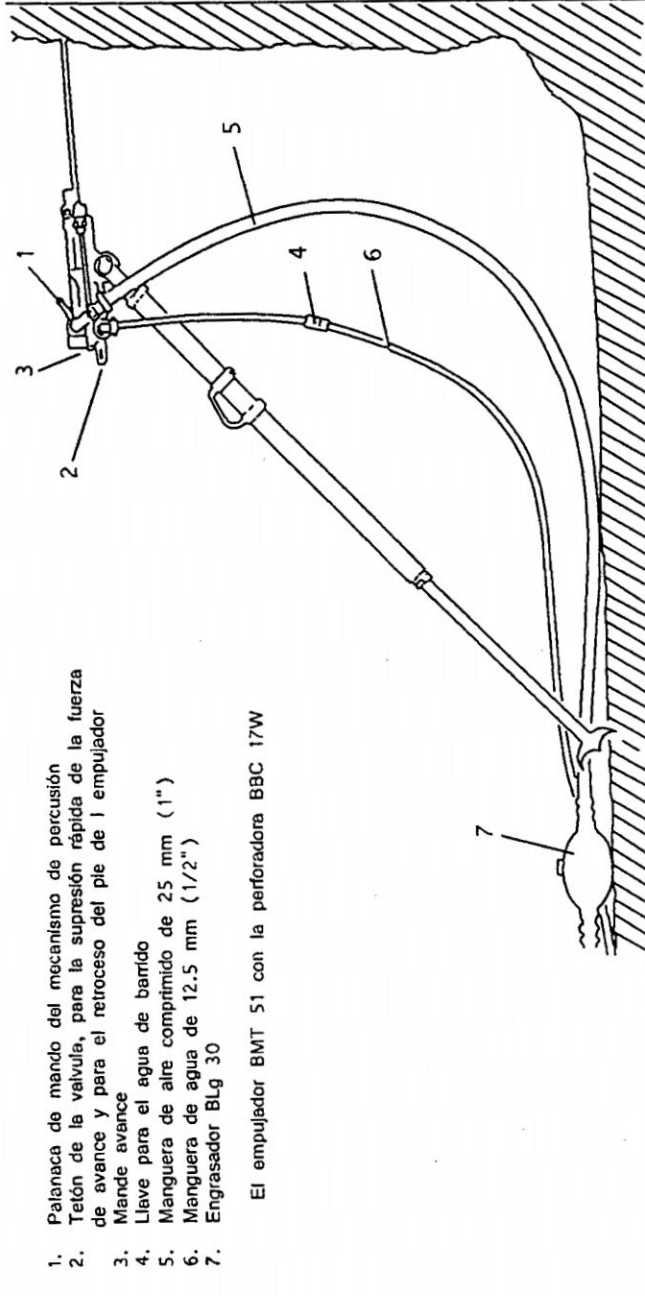


1. *Regulador*
2. *Regulador de avance*
3. *Empuñadura*
4. *Tapon*
5. *Palanca de mando*
6. *Conexion para agua de 1/2 pulg. de diametro*
7. *Conexion para aire de 3/4 pulg. de diametro*
8. *Tirante*
9. *Exhalador de aire*
10. *Tuerca del tirante*
11. *Grampa*

|  |                             |            |
|--|-----------------------------|------------|
|  UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA<br>FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | <b>PERFORADORA MARTILLO</b> |            |
|  | Escala : S/E                | Lámina:    |
| Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía   | Fecha : Marzo de 2008       | <b>1-1</b> |

1. Palanca de mando del mecanismo de percusión de avance y para el retroceso del pie de 1 empujador
2. Tetón de la válvula, para la supresión rápida de la fuerza
3. Mande avance
4. Llave para el agua de barrido
5. Manguera de aire comprimido de 25 mm (1")
6. Manguera de agua de 12.5 mm (1/2")
7. Engrasador BLg 30

El empujador BMT 51 con la perforadora BBC 17W



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

**MAQUINA PARA PERFORADORA  
 JACK LEG**

Escala : S/E Lámina:

Fecha : Marzo de 2008

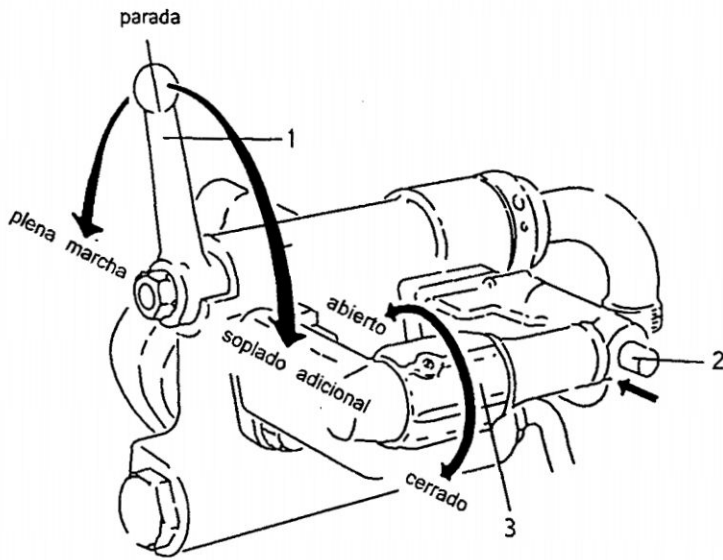
1-2

- La palanca de mando para poner en funcionamiento la perforadora.

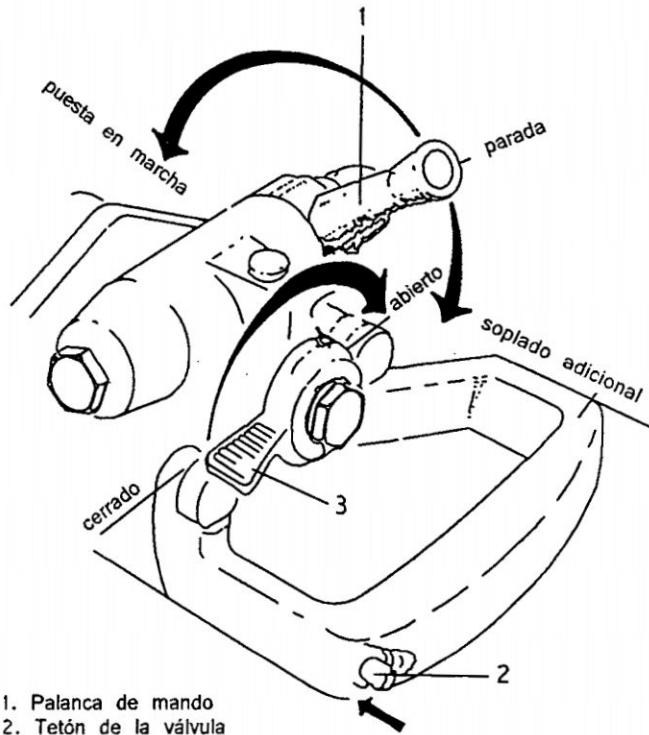
Con esta palanca se controla la aplicación del aire comprimido al mecanismo de percusión, así como el soplado de aire y la refrigeración del barreno con agua.

La palanca tiene tres posiciones claramente definidas A, E, F y tres posiciones intermedias B, C, D. (ver Lámina N° 1.3):

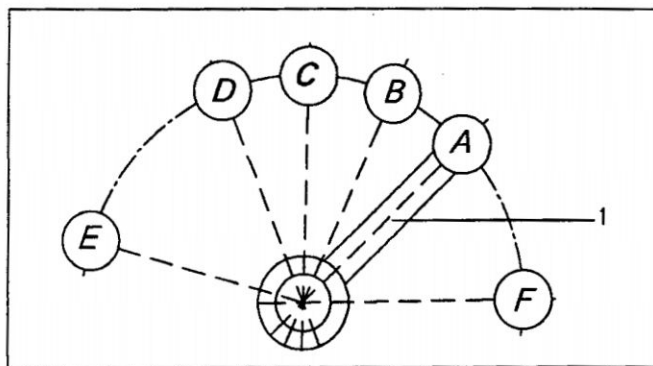
- Posición A, válvula de mando cerrada (posición de parada) solo hay soplado continuo.
  - Posición B, se aplica el aire al avance.
  - Posición C, sirve para el agua de barrido (1 a 1.5 litros/mto).
  - Posición D, válvula de aire completamente abierta (plena marcha); agua para barrido (4.5 a 5. litros/mto).
  - Posición F, soplado adicional.
- 
- Regulador de avance o tetón de la válvula que sirva para suprimir rápidamente la presión de avance o para el retroceso automático del soporte o empujador.
  - Mando de avance, con el cual se puede ajustar la fuerza de avance al valor deseado. (En algunas perforadoras tiene forma de palanca y en otra forma de empuñadura giratoria).



1. Palanca de mando
2. Tetón de la válvula
3. Mando de avance



1. Palanca de mando
2. Tetón de la válvula
3. Mando de avance



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**DETALLES DE CABEZAL**

Escala : S/E

Lámina:

Fecha : Marzo de 2008

**1-3**

autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

La palanca a la derecha o la empuñadura hacia adelante aumenta la fuerza.

La palanca a la izquierda o la empuñadura hacia atrás disminuye la fuerza de avance.

- Llave de alimentación de agua, sirve para regular el suministro de agua a la perforadora, para el barrido.

**El Cilindro:** Es la parte más alargada de la máquina en la cual se encuentran las siguientes partes:

- Dos guías laterales donde se asientan los tirantes
- Un hueco por donde sale el aire
- Los mecanismos que producen el golpe y rotación del barreno, siendo esta la parte más grande y costosa de la máquina.

**Frontal:** Lleva las siguientes partes:

- La bocina que recibe al barreno
- La grapa denominada también "freno", con sus resortes que va al extremo del frontal y cuya finalidad es sujetar al barreno y sacarlo de los taladros.
- El pistón o martillo se sitúa en la parte interior del frontal y golpea al extremo de la culata del barreno. El

movimiento del pistón se consigue mediante la inyección de aire comprimido que a su vez tiene la misión de retornarle a su punto de partida, una vez liberada la energía que se le comunicó y dejarle en condiciones de efectuar un nuevo recorrido útil.

- Dos orejas, donde se sujetan las tuercas de los tirantes.

## **b) BARRENOS**

Los barrenos son varillas de acero especial acopables a la máquina que van a transmitir a la roca, el impacto del martillo.

Los barrenos están considerados como los accesorios principales de las máquinas perforadas con los cuales, estas realizan los orificios cilíndricos taladros de profundidad y diámetro variable donde posteriormente se depositarán los explosivos que luego serán detonados.

Los barrenos se confeccionan con acero de alta resistencia a la rotura, fatiga, flexión y desgaste.

La longitud del barreno determinará la profundidad de los taladros (en la excavación de túneles de pequeña sección se utiliza generalmente de 5' o de 8') y el diámetro perforado será de 38mm (1 ½").

Los barrenos para las excavaciones de túneles de pequeña sección son del tipo "integrales". Esto quiere decir que su longitud no puede ser aumentada por que es fija.

El barreno tiene las siguientes partes:

**Culata:** Llamada también espiga que es la que va a ingresar a la bocina de la perforadora.

**Collarín:** Sirve para mantener el barreno en una posición fija dentro de la bocina de la máquina perforadora.

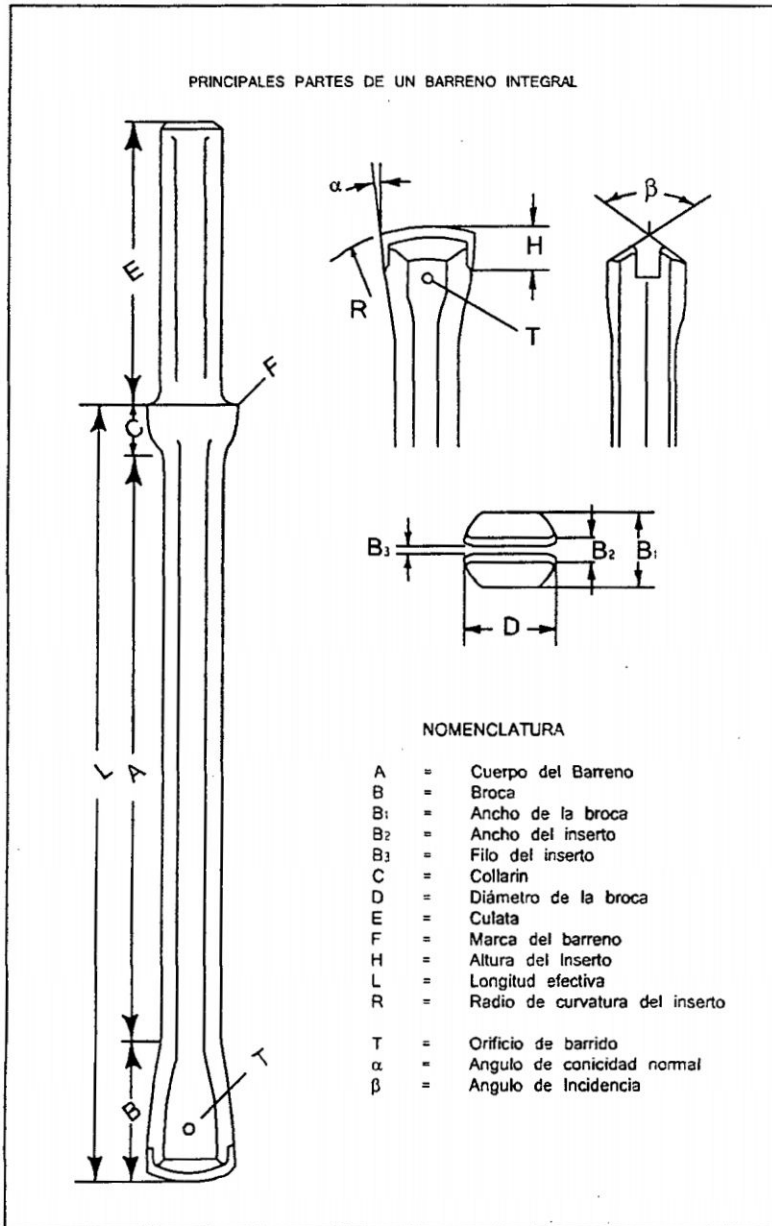
**Cuerpo de Barreno:** Es la parte más larga del barreno y la que se introducirá enteramente en la roca.

**Broca:** Viene a ser la parte del barreno que se encarga de triturar a la roca.

La broca posee un inserto que es una aleación de metales muy duro, confeccionado con carburo de tungsteno y cobalto. Este inserto llamado también pastilla es el que verdaderamente realiza el trabajo de desgaste y penetración a las rocas.

En la Lámina N° 1.4 se puede apreciar las partes del barreno y de la broca.

PRINCIPALES PARTES DE UN BARRENO INTEGRAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**PRINCIPALES PARTES DE UN  
 BARRENO INTEGRAL**

Escala : S/E

Lámina:

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha : Marzo de 2008

**1-4**

## C) SOPORTE

Los soportes de la perforadora Jack Leg representan los apoyos de la misma y viene a ser patas tubulares de avance automático.

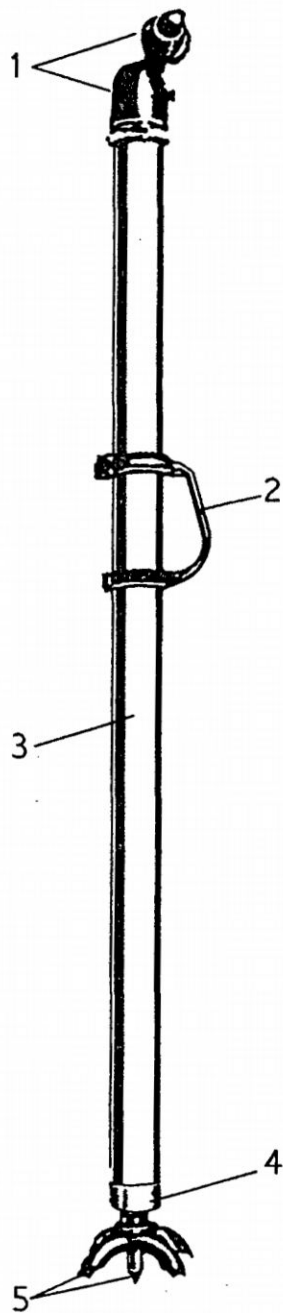
El soporte de la perforadora recibe también el nombre de "pie de avance" o empujador.

Por lo general es muy fácil unir el empujador a la perforadora, lo cual se hace con un acoplamiento tipo bayoneta. En la Lámina N° 1.5 se puede apreciar las partes principales de los empujadores y son:


- Cabezal con acoplamiento tipo bayoneta
- Asa
- Tubo
- Manguito de guía
- Espiga y apoyo

### 1.2.2 OPERACIÓN CON JACK LEG

El procedimiento para utilizar la perforadora Jack Leg es bastante sencillo. El primer paso, es el de hacer las conexiones de las mangueras para agua y aire a sus respectivos conductos, sin embargo siempre se debe de comprobar que se hayan limpiado éstas con aire comprimido.



- 1. Cabezal con acoplamiento de bayoneta
- 2. Asa
- 3. Tubo
- 4. Manguito de guía
- 5. Espiga y apoyo

|   |  |  |            |
|---|--|--|------------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA<br>FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | <b>SOPORTE DE LA PERFORADORA<br/>         JACK LEG</b> |            |
|   |  | Escala : S/E   | Lámina:    |
| Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía  |  | Fecha : Marzo de 2008                                  | <b>1-5</b> |

Cuando se pone en marcha una perforadora nueva es necesario que la lubricación sea eficaz desde el primer momento para lo cual se debe de verter 100 ml (3.5 onzas) de aceite directamente en la boquilla de entrada de aire antes de conectar la maguera.

El aire servirá para hacer funcionar el pistón mientras que la función del agua es la de refrigerar el barreno mientras esta perforando la roca (barrido).

Una vez hecha estas conexiones se apoya la perforadora mediante su soporte, empujador, o pie de avance, y luego se dirige el barreno hacia el lugar donde se quiere perforar el taladro para lo cual un ayudante deberá sujetarlo. Es entonces, que el operador de la máquina baja la palanca de mando para comenzar a poner en funcionamiento el pistón, que hará el efecto de percusión-rotación sobre el barreno. El ayudante deberá sujetar el barreno hasta que este penetre una cierta longitud lo que se denomina "empate". Luego solo el operador del Jack Leg continuará con la perforación.

No se debe de empezar la perforación con mucha presión de aire, por lo que se recomienda bajar lentamente la palanca de mando. Asi mismo antes de aplicar el aire comprimido debe de cerciorarse que la palanca de mando este en la posición de "parada".

Cuando el perforista quiere cambiar de posición al empujador (porque ya le es incomoda esa posición dado que el barreno ya ingreso en gran parte), podrá hacerlo con el regulador de avances de tetón de la válvula de la forma siguiente:

- \* Poner la posición de mando en posición de "parada".
- \* Apretar el tetón de la válvula lo que hace que el vástago del pistón penetre dentro de su cilindro.
- \* Cambiar de posición al empujador.
- \* Soltar el tetón de la válvula lo que hara que el vástago del pistón de avance sea de nuevo forzado a salir.
- \* Mover hacia delante la palanca de mando para volver a poner en funcionamiento a la perforadora.

Una vez que se ha terminado la perforación, el perforista con su ayudante sacará el barreno del taladro empujador hacia atrás.

### 1.2.3 MECANISMO DE ROTURA

En la máquina perforadora Jack Leg, el pistón del equipo golpea en su recorrido sobre la culata del barreno y su carrera de retroceso el pistón gira un cierto ángulo arrastrando con él al barreno por medio del buje de rotación. Este movimiento de rotación es el que permitirá

batir sucesivamente toda la superficie interior del taladro quedando la roca destruida por aplastamiento.

La energía procedente del pistón se transmite al barreno llegando como rotación-percusión a la roca.

Como se explicó anteriormente, en mucho depende el tipo de roca a ser perforada, ya que una roca dura demorará más tiempo de ser triturada por el barreno que una roca suave.

#### 1.2.4 VENTAJAS

Las ventajas de las perforadoras Jack Leg son:

- a) Son bastantes funcionales y fáciles de utilizar, desenvolviéndose adecuadamente en espacios reducidos.
- b) Utilizan la más económica fuente de energía como lo es la energía neumática.
- c) Permite perforar taladros en un tiempo económico.
- d) No están formados por sofisticadas piezas en su estructura interna por lo que su reparación en caso de alguna avería resulta sencilla.
- e) Son fácilmente transportables al frente de trabajo.

- f) Tiene un buen comportamiento ante los diferentes tipos de roca, y ante la presencia de filtración de agua subterránea (inclusive aguas ácidas).

#### 1.2.5 RECOMENDACIONES PARA SU USO

Cuando se utilizan las máquinas perforadas Jack Leg deberá de establecerse un sistema de control para el cambio oportuno de las piezas gastadas, lo cual redundará en una mayor vida útil.

Se recomienda brindar mantenimiento a las máquinas en periodos comprendidos entre 6,000 y 10,000 pies perforados por ser ese el rango de mayor desgaste de las piezas.

Hay que almacenar siempre la perforadora bien aceiteada en un lugar limpio y seco.

Para impedir que la suciedad penetre en la perforadora, antes de conectar las mangueras a la perforadora se deberá de "soplar" con aire comprimido la manguera de aire y lavar con agua la manguera de agua.

Semanalmente se debe de hacer una comprobación completa de todo el funcionamiento del equipo de perforación.

La perforadora se lubrica mediante aceite el que se mezcla con el aire comprimido y sera transportado hasta las piezas que necesitan lubricación continua.

Una perforadora puede averiarse seriamente si no está bien lubricado. De ahí que se deban de verter 100 ml. (3.5 onzas) de aceite directamente en la boquilla de entrada de aire, para que la lubricación sea buena desde el primer momento.

Una buena lubricación es necesaria en los siguientes casos:

- Cuando la perforadora es nueva
- Cuando ha sido reparada
- Cuando se ha instalado manguera nueva
- Cuando la perforadora ha estado inactiva

En cuanto al uso de los barrenos, debemos de tener en cuenta que la única forma de optimizar una perforación es alargando la vida de los barrenos para ello debe de seguirse los siguientes consejos:

- Una adecuada manipulación del barreno hará que la roca ceda en la perforación
- Las brocas deben afilarse cada cierto tiempo, para lo cual se usan piedras de esmeril.

- Antes de empezar la perforación se deben de verificar que el barreno se encuentra en óptimas condiciones.
- No se deberá empezar la perforación con mucha presión, se debe de comenzar a hacer el taladro con baja presión de aire hasta que la broca entre totalmente ello eliminará la tensión en el barreno.
- Evitar el dejar al barreno en contacto con el agua o el aire.
- Dado que las "enfermedades" del barreno son la corrosión y la fatiga tome las precauciones pertinentes, ya que ambas pueden acabar con el barreno antes del tiempo normal.
- Nunca se debe de perforar con barrenos cuyas brocas están gastadas o cuyo filo es romo.

### 1.3 PERFORACION EN EL FRENTE

En todo frente de un túnel se perforaran los siguientes tipos de taladros:

#### a) Arranque ("cuele")

Viene a ser los taladros perforados en la parte central. Serán los primeros en ser disparados y su función es la de ampliar las caras libres con el objetivo de facilitar la salida de los taladros subsiguientes

En túneles de sección pequeña se utiliza el arranque tipo "corte quemado" llamado también "cuele quemado" que consiste en perforar paralelamente al eje del túnel taladros de determinado diámetro dejando uno o varios taladros sin carga que son los llamados de "alivio".

Los taladros sin carga o taladros de alivios cumplen la función de "cara libre", hacia la cual se orienta el esfuerzo rompedor.

El número de taladros de alivio estara en función del tipo de roca. Así, para una roca dura se necesitarán mayor número de alivios que para una roca suave.

#### **b) Ayudas**

Las ayudas son los taladros que circundan a los arranques y son disparados después de estos, de modo que aprovechan las caras libres que han sido dejadas por la salida de los arranques.

Reciben tambien el nombre de "destrozas".

#### **c) Cuadradores**

Son los taladros que se perforan en los laterales de la sección del túnel.

**d) Alzas o Techos**

Como su nombre lo indica se perforan en la zona de la bóveda de la sección del túnel.

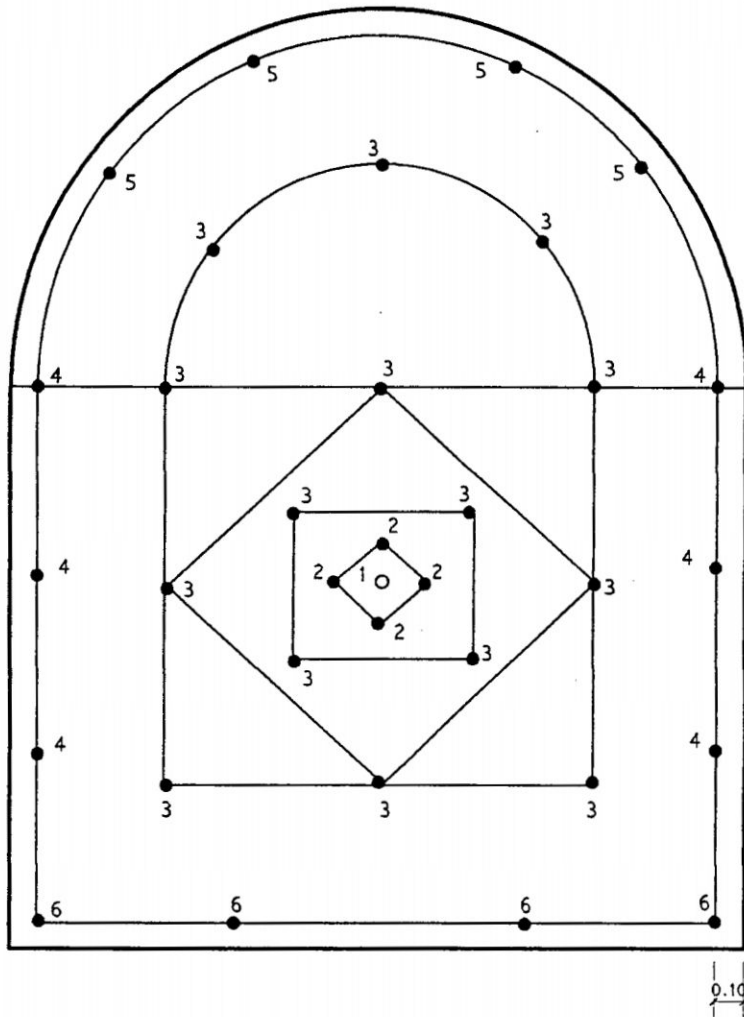
**e) Arrastres o Pisos**

Son los taladros que se perforan en la zona del piso del túnel..

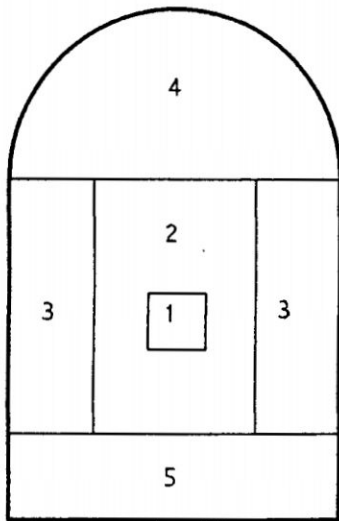
La secuencia con la que se disparan los taladros es la siguiente:

Primero sale el arranque luego las ayudas a continuación lo hacen las alzas y los cuadradores juntos, mientras que al final saldrán los arrastres.

# NOMENCLATURA DE TALADROS

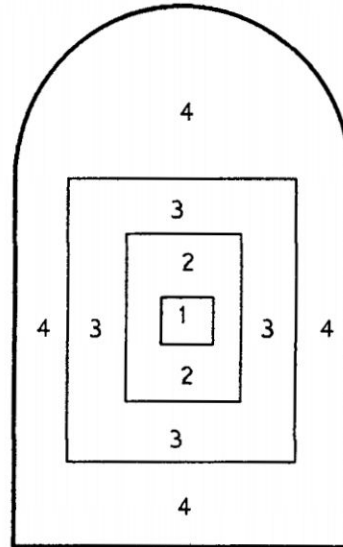


| NOMBRE DE TALADROS |                   |
|--------------------|-------------------|
| 1                  | ALIVIO            |
| 2                  | ARRANQUE          |
| 3                  | AYUDAS            |
| 4                  | CUADRADORES       |
| 5                  | ALZAS             |
| 6                  | ARRASTRES O PISOS |



**ESCUELA AMERICANA**

- 1º TALADROS DE ARRANQUE, CORTE O CUELE
- 2º TALADROS DE AYUDA O DESTROZA
- 3º CUADRADORES
- 4º ALZAS
- 5º ARRASTRES O PISOS



**ESCUELA SUECO**

- 1º ZONA DE CORTE O ARRANQUE
- 2º ZONA DE CONTRACUELE
- 3º ZONA DE DESTROZA
- 4º ZONA DE CONTROL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**ZONAS DE TALADROS**

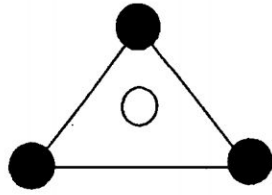
Escala : S/E

Lámina:

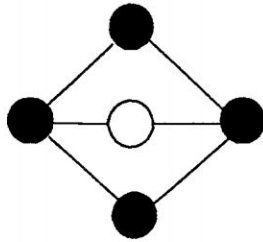
tor : Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha : Marzo de 2008

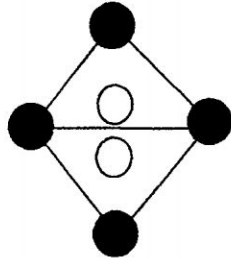
**1-7**



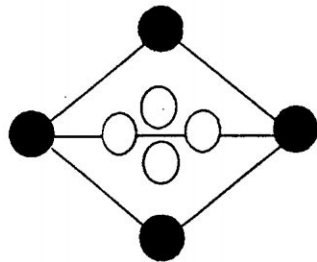
ARRANQUE "PATA DE GALLO"



ARRANQUE "MICHIGAN"



ARRANQUE "COROMANT"  
(2 ALIVOS)



ARRANQUE "COROMANT"  
(4 ALIVOS)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**ARRANQUES MAS FRECUENTES**

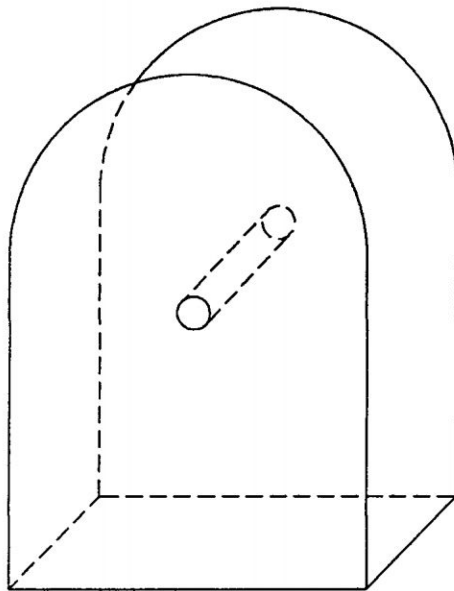
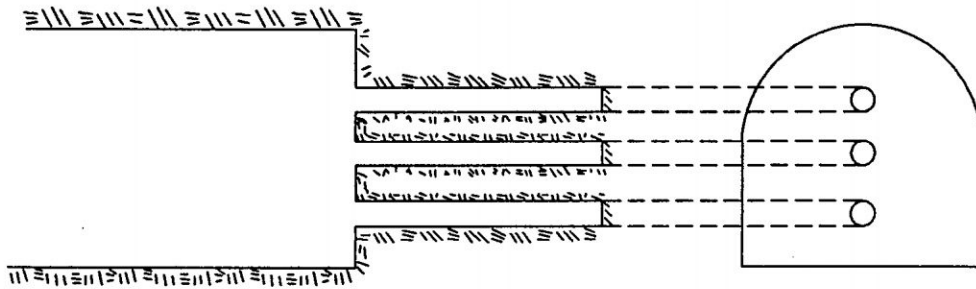
Escala : S/E

Lámina:

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha : Marzo de 2008

**1-8**



EL  
TALADRO  
DEBE PERFORARSE PARALELO  
AL EJE DEL TUNEL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**EL CORTE QUEMADO**

Escala : S/E

Lámina:

Fecha : Marzo de 2008

**1-9**

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

## **CAPITULO II**

# **PRINCIPIO DE VOLADURA**

### **2.1 GENERALIDADES**

La técnica de voladura de rocas se ha desarrollado en los últimos años y de una actividad en la que ha sido fundamental la experiencia, habilidad personal e intuición, se ha pasado a la creación de una tecnología en la que los conceptos básicos pueden ser aprendidos de una manera sencilla.

En las excavaciones subterráneas las voladuras son importantes al igual que la elección de la forma adecuada de la sección del túnel y el tipo de sostenimiento que se empleará para ayudar al macizo rocoso a sostenerse.

Cuando se hace uso de voladura en rocas se deben de tener en cuenta los siguientes factores:

- a) La voladura deberá romper la roca en forma eficiente de tal manera que esté lo suficientemente fracturada como para poder ser limpiada con facilidad.
  
- b) El macizo rocoso circundante a la excavación deberá de dañarse lo menos posible de manera que se obvie el uso de sistema de sostenimiento.
  
- c) Se debera buscar un balance entre el consumo de explosivos y la calidad de disparo, tratando siempre de utilizar la menor cantidad de explosivo posible (sin que ello afecte el objetivo de la voladura).

Al respecto Holmberg Persson dice:

"Se acusa muchas veces a una roca de pobre calidad de una estabilidad insuficiente cuando lo que en realidad ocurre no es más que el resultado de una voladura burda hecha sin cuidado.

Cuando no se han tomado las precauciones necesarias para evitar los daños que puede causar el explosivo, no será mirando lo que queda del frente como se podrá saber algo sobre la estabilidad real de la roca en su estado natural. Lo que se mira no es más que el triste remanente de lo que pudo haber sido un frente perfectamente seguro y estable"<sup>(1)</sup>

(1) HOE Y BROW; Excavaciones subterráneas en rocas; cap x pág.431.

Es pues indispensable tener en cuenta que la voladura de rocas es una técnica en la que intervienen una serie de parámetros cuya adecuada inter-relación harán de esta una eficiente forma de trabajo que se trasluirá, en el caso de excavaciones subterráneas, a un mejor avance con un óptimo consumo de explosivos sin debilitamiento del macizo rocoso circundante a la sección del túnel.

## 2.2 PARAMETROS EN VOLADURAS

Como se ha planteado en las definiciones anteriores en una voladura existen parámetros que juegan un papel importante en los resultados de la misma.

- Estos parámetros a tener en cuenta son:
- Parámetros de la roca
- Parámetros del explosivo
- Parámetros de carga

### 2.2.1 PARAMETROS DE LA ROCA

Los parámetros de roca se refieren a las características del material pétreo que va a ser roto por los explosivos.

Entre lo más importantes parámetros de la roca tenemos:

### a) Densidad

La densidad expresa la relación entre la masa de la roca y su volumen (incluido poros y cavidades) y nos indica el grado de "macidez" de la roca y por lo tanto la dificultad a ser rota.

Por ejemplo una roca más densa será más difícil de fracturar por el explosivo, que una roca menos densa. Con fines informativos, se presenta algunos valores de densidad

| <b>ROCA</b> | <b>DENSIDAD (Kg/m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|------------------------------------|
| Arenisca    | 2200-2480                          |
| Andesita    | 2220-2790                          |
| Basalto     | 2770-3280                          |
| Caliza      | 2600-2900                          |
| Cuarcita    | 2400-2650                          |
| Diorita     | 2700-2950                          |
| Dolomita    | 2800-2900                          |
| Granito     | 2630-2750                          |
| Gabro       | 2850-3000                          |
| Gneiss      | 2600-3120                          |
| Lutita      | 1750-2100                          |
| Mármol      | 2600-2730                          |
| Pizarra     | 2700-2800                          |
| Porfidos    | 2490-2800                          |
| Riolita     | 2400-2600                          |
| Traquita    | 2600-2800                          |
| Hematita    | 4500-5300                          |
| Limonita    | 2700-4300                          |

FUENTE:RIOS JOSE "PRINCIPIOS DE GEOLOGIA Y GEOTECNIA"

Para cálculos en voladuras puede estimarse el promedio de los valores máximos y mínimos; aunque para tener un valor exacto se recomienda hacer ensayos en el laboratorio.

## b) Dureza

Dureza, es la resistencia que ofrece una roca a dejarse penetrar por otro cuerpo lo que nos indica el grado de dificultad para la perforación de la misma.

Las rocas, de acuerdo a su dureza pueden ser extremadamente duras, muy duras, intermedias, suaves, blandas y muy blandas.

Una roca dura ofrecerá mayor resistencia y por lo tanto demandará más tiempo a ser perforada que una roca suave.

Se ha identificado algunas durezas de rocas:

| <u>DUREZA</u> | <u>ROCAS</u>      |
|---------------|-------------------|
| Muy Dura      | Pórfidos, diques  |
| Dura          | Granito, gneiss   |
| Medianas      | Caliza, mármol    |
| Blandas       | Travertino, tobas |

## c) Resistencia a la Compresión y Tracción

En el estudio de las propiedades de resistencia de una roca, se debe considerar principalmente dos tipos de esfuerzos: los esfuerzos de compresión, que tienden a disminuir el volumen del material y los esfuerzos de tracción que tienden a crear grietas o fisuras en el material.

Las rocas por lo general tienen una adecuada resistencia a la compresión más no así a las fuerzas de tracción que son las que las rompen<sup>(1)</sup>.

La resistencia de la roca a la compresión y a la tracción esta dada en unidades de fuerza sobre área, como: Kg/cm<sup>2</sup>, Tn/m<sup>2</sup>, Lb/pie<sup>2</sup>, etc.

A continuación se muestra algunos valores de resistencia a la compresión en algunas rocas, según Deere y Millar.

| DESCRIPCION          | RESISTENCIA A LA COMPRESION UNI AXIAL (Kg/m3) | ROCA                                |
|----------------------|---|-------------------------------------|
| Resistencia muy baja | 10-250  | Yeso, sal de roca.                  |
| Resistencia baja     | 250-500                                       | Carbón, limonita, esquisto.         |
| Resistencia media    | 500-1000                                      | Arenisca, pizarra, lutita.          |
| Resistencia alta     | 1000-2000                                     | Mármol, granito, gneiss.            |
| Resistencia muy alta | > 2000  | Cuarcita, gabro, dolerita, basalto. |

FUENTE: LAGERFORS, ULF "TECNICAS MODERNAS DE ROCAS"

#### d) Textura y estructura

Textura de una roca representa la ordenación de sus granos, cristales o partículas. Generalmente se aplica al caso de rocas plutónicas en la que la textura de la roca se clasifica en:

- Textura fanerítica: cuando se aprecia en la roca cristalización desarrollada como el caso del granito.
- Textura afanítica: cuando ha simple vista no se puede apreciar la cristalización en la roca.

Algunos autores denominan a la textura de la roca como "Trama", en un sentido más genérico ya que se refiere no sólo a la ordenación de granos y cristales en la roca sino a las relaciones existentes entre ellos como son su forma comportamiento, orientación acoplamiento, confinamiento y entrelazamiento de las partículas <sup>(1)</sup>.

Estructura de una roca, se designa a las características de las rocas más pronunciadas de aquellas que han descrito en el término "textura". En las rocas ígneas puede expresarse como estructura a una ordenación relativa de diversas características especiales de las rocas, tanto de las de pequeño orden (microscópicas) como las de orden mayor (macroscópicas). Por ejemplo, la existencia de cavidades en el cuerpo de una roca ígnea puede ser característica de su estructura.

Con la denominación de "estructura vesicular", se designa la existencia de pequeños huecos o vesículas como se encuentran en las pumitas y algunos basaltos.

Una característica estructural macroscópica de la roca es su diaclasamiento o fracturamiento que viene a ser fisuras que corren en diversas direcciones.

Consecuencia "Estructura" representa la forma (macroscópica o microscópica) como se encuentra la roca en su estado natural.

#### **e) Fracturamiento**

El fracturamiento, indica la intensidad de fisuras o discontinuidades que existe en un macizo rocoso.

Cualquier discontinuidad en el macizo rocoso se puede definir como fractura, independiente de sus dimensiones.

Dado que las deformaciones son causadas por la acción de fuerzas, es evidente que la fracturación se debe a esfuerzos mayores, que los que pueden soportar las rocas.

Cuando las masas rocosas a cada lado de una fractura muestran que ha existido desplazamiento (horizontal, vertical y/o ambos) a lo largo de un plano definido de fractura, entonces se denomina Falla.

A los esfuerzos de tracción hay que atribuirle la mayoría de las fracturas. En la generalidad de los casos, estas fuerzas tensionales son el resultado de una disminución de volumen (contracción), debido a:

- Enfriamiento
- Pérdida de humedad en la roca
- Esfuerzos tectónicos

El fracturamiento de una roca juega un papel importante en la voladura, ya que una roca muy fracturada no permite el confinamiento de los gases producidos por la detonación del explosivo, con lo que se perderá parte de la capacidad rompedora de estos.

**f) Grado de alteración.**

Las rocas están expuestas a la intemperización producida por una serie de agentes que las erosionan, causando en aquellas, cambios en su comportamiento.

El intemperismo denominado también meteorización, es una serie de procesos que ocasionan cambios físicos y/o químicos en las rocas y sus minerales constituyentes, dando como resultado una desintegración y/o descomposición paulatina de estos.

El intemperismo, es por lo tanto un fenómeno que destruye a la roca, mediante agentes erosivos, como por ejemplo las aguas subterráneas.

Una roca alterada por lo general es una roca de mala calidad cuya resistencia a la compresión es baja y por lo tanto necesita de soporte, o "sostenimiento".

#### **g) Porosidad**

La porosidad en una roca se expresa como la relación entre el volumen de vacíos o "vesículas" una muestra de roca (poros) y su volumen de masa.

A mayor porosidad en una roca, mayor es su capacidad para dejar percolar el agua, por lo que es común encontrar abundante filtración de agua en rocas porosas como la piedra pómez o la arenisca.

Estudios han demostrado que existe una relación concreta entre la porosidad, la densidad de una roca y su origen. Así resulta, que rocas intrusivas o plutónicas como el granito que se ha formado bajo grandes presiones, tiene porosidad reducida y pesos específicos altos. Por otra parte algunas rocas volcánicas o extrusivas tal como la piedra pómez ofrecen una gran porosidad y una densidad reducida.

#### **h) Contenido de Humedad**

El contenido de humedad en una roca se refiere a la cantidad de agua existente en una muestra de roca. Se expresa en porcentaje y es la relación entre el peso de agua sobre el peso de sólidos de una muestra rocosa.

Cuando se dispone una voladura es importante conocer si la roca tiene o no, alto contenido de humedad; ya que el agua afecta el explosivo disminuyendo su efecto demoledor.

**i) Frecuencia Sísmica**

La frecuencia sísmica nos da el rango de velocidades con los que las ondas sísmicas atraviezan la roca.

Existen dos tipos de ondas: las ondas longitudinales y las ondas transversales.

Las ondas longitudinales u ondas tipo "p", son las más rápidas; mientras que las ondas transversales u ondas "s", son las más destructivas.

Para poder romper la roca, la velocidad de detonación del explosivo deberá de ser mayor o por lo menos igual a la frecuencia sísmica de la roca.

Algunos valores de velocidad con los cuales se propagan las ondas sísmicas en la roca, han sido tomados del manual de voladura de EXSA:

| ROCA      | VELOCIDAD DE LA ONDA LONG. (m/seg) | VELOCIDAD DE LA ONDA TRANSV. (m/seg) |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Gabro     | 6700-7300                          | 3657-3718                            |
| Granito   | 4000-6000                          | 2103-3292                            |
| Caliza    | 4000-6000                          | 3261-4000                            |
| Arenisca  | 1410-4200                          | 3383-4084                            |
| Esquistos | 2286-4694                          | 2895-3200                            |

## 2.2.2 PARAMETROS DEL EXPLOSIVO

Los parámetros del explosivo son valores que tipifican a cada explosivo y nos servirán para elegir aquel que cumplan con las condiciones a las que estará sometido.

La selección del explosivo se basa generalmente en conocer sus características más importantes.

Los explosivos son sustancias que tienen la propiedad de reaccionar rápidamente cuando reciben una fuerza externa siendo capaces de liberar una inmensa cantidad de gas y energía calorífica.

Se debe tener en cuenta que el explosivo deberá de tener la suficiente energía como para que después que se haya consumido gran parte de ella en fracturar a la roca, quede un remanente para mover el material triturado.

Entre los más importantes parámetros del explosivo tenemos:

### **a) Velocidad de detonación**

Representa la medida de la velocidad con que la onda de choque viaja a través de una columna de carga explosiva. Se podría decir que es la velocidad de liberación de energía.

Cuanto más rápida sea la velocidad de detonación tanto mayor es el "grado de choque", por lo que es recomendable utilizar explosivos con alta velocidad de detonación para romper rocas duras en fragmentos pequeños y utilizar

explosivos de baja velocidad de detonación para romper rocas duras en fragmentos grandes.

La velocidad de detonación se expresa en m/seg y es tal vez el primer factor que sirve en la práctica, para seleccionar a los explosivos en los trabajos de voladura.

El grado de "hermeticidad" o "confinamiento" de los cartuchos de dinamita, influye mucho en la velocidad de detonación, ya que a mayor hermeticidad, existirá mayor velocidad de detonación.

#### **b) Fuerza o Potencia Relativa**

La fuerza o potencia relativa es el empuje que producen los gases de explosión. En otros términos, se refiere al contenido de energía de un explosivo o al trabajo que es capaz de efectuar.

La potencia relativa se expresa en porcentaje, comparado con un explosivo base, que viene a ser la dinamita gelatinosa o blasting. Por ejemplo, un explosivo que tiene 45% de potencia relativa significa que su potencia es el 45% de la potencia de la dinamita gelatinosa.

El cálculo de la potencia se realiza a través de la prueba de Trauzl que consiste en preparar dos bloques cilíndricos de plomo de 20 cm de altura y 20 cm de diámetro.

En el centro, ambos tienen un hueco cilíndrico de 12 cm de altura y 2.5 cm de diámetro o 70 cc de capacidad.

Así mismo se preparan diez gramos del explosivo cuya potencia se quiere probar y diez gramos de dinamita gelatinosa cuya potencia ya conocemos (100%)

Se colocan 10gr. Del explosivo problema en el cilindro A, se cubre con arena y se coloca un fulminante para iniciarlo. De la misma forma, se coloca 10gr. del explosivo en el cilindro B e igualmente se cubre con arena y también se coloca un fulminante para la iniciación.

Luego se disparan los explosivos contenidos en cada uno de los cilindros y en ambos casos se puede observar que la explosión ha dejado un hueco en forma de pera. Acto seguido se mide la capacidad de cada hueco (para lo cual se coloca agua hasta llenar los huecos y luego se mide con probeta).

Conocidos estos volúmenes se les resta a cada uno de ellos la capacidad del hueco cilíndrico (70 cc) y se hace una regla de tres simple, para calcular la potencia relativa del explosivo incógnita. (Lámina N° 2.1):

Aplicando la regla de tres; se obtiene:

$$\begin{array}{r} 500 \dots\dots\dots 100\% \\ 280 \dots\dots\dots X \end{array}$$

donde  $X = 58\frac{2}{3}$

- En A tenemos 350 cc

- En B tenemos 570 cc

restando:

- En A  $350 - 70 = 280$

- En B  $570 - 70 = 500$

### c) Poder rompedor o brisance

Se define "brisance", como el efecto demoledor que produce el explosivo en la roca para iniciar la trituración de la misma.

Mientras más alta sea la velocidad de detonación y la densidad de la carga; mayor será el efecto demoledor del explosivo.

El brisance se determina mediante la siguiente ecuación:

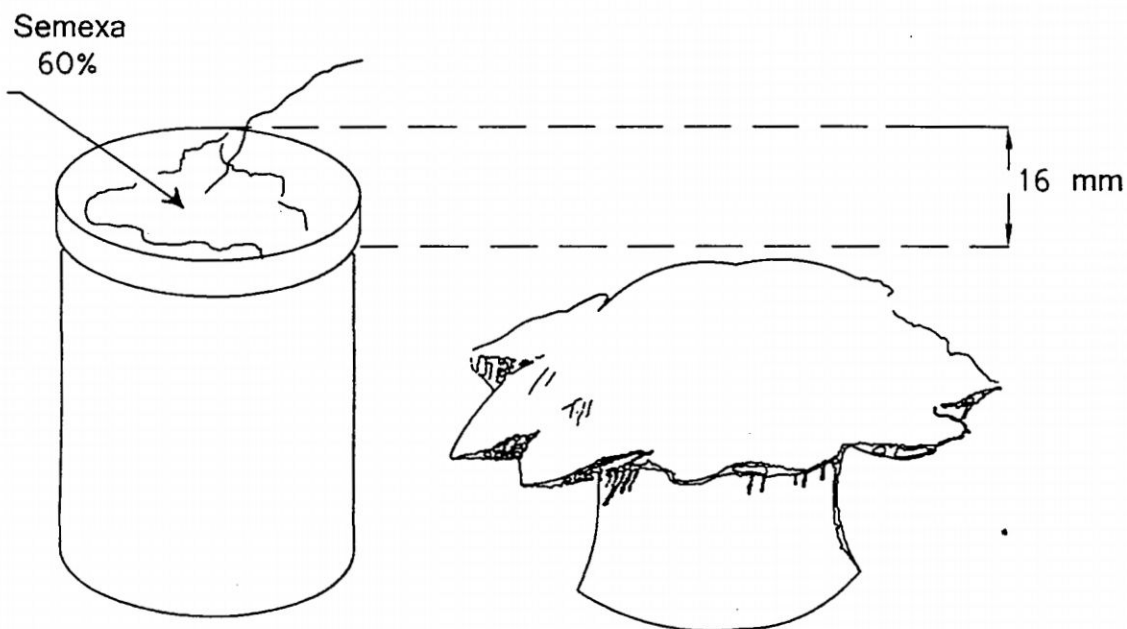
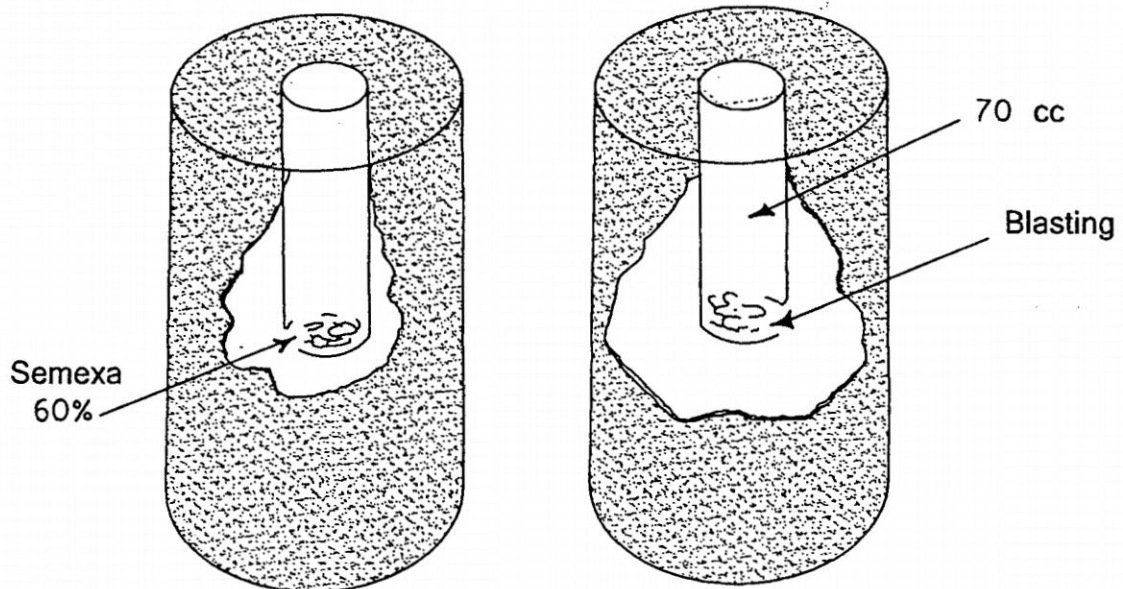
$$B = 0.25 D V^2$$

Donde:

B : Brisance (mm)

V : Velocidad de detonación (m/seg)

D : Densidad del explosivo (gr/cc).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**PRUEBA DE TRAUZL Y  
 PRUEBA DE HESS**

Escala : S/E

Lámina:

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha : Marzo de 2008

**2-1**

El brisance se determina en la prueba de Hess, para lo cual se realiza el siguiente ensayo:

- Se prepara un molde de plomo de forma cilíndrica cuyas dimensiones son 65 mm de altura y 40 mm de diámetro.
- Se colocan 100 gr. del explosivo a ensayar, sobre un disco de acero de 40 mm de diámetro y 4 mm de espesor.
- Se coloca el disco con el explosivo encima del cilindro de plomo y se provoca la detonación.
- Se mide la diferencia en milímetros entre la altura original y la altura resultante de la explosión (ver Lámina N° 2.1)

#### **d) Densidad**

La densidad en un explosivo viene a ser la relación existente entre masa y volumen. Se expresa por lo general, en gr/cc.

El objetivo que se plantea al tener explosivos de diferentes densidades, es permitir la concentración y distribución de cargas, de acuerdo al criterio del ingeniero.

Cuanto mayor sea la densidad de un explosivo, mayor sera la velocidad de detonación y por lo tanto tendra mayor capacidad rompedora.

En rocas donde se requiere una fragmentación menor, se hará necesario usar dinamita de alta densidad mientras que en rocas donde no es necesaria una fragmentación menuda un explosivo de baja densidad será suficiente.

#### **e) Resistencia al Agua**

La resistencia al agua de un explosivo, se define como la propiedad del explosivo de resistir un prolongado contacto con el agua sin que ello signifique una pérdida en sus características principales como son la velocidad de detonación, su potencia relativa y el poder rompedor o brisance.

En trabajos en seco, la resistencia del agua no tiene mayor importancia, sin embargo en trabajos donde la presencia del agua es inevitable, se recomienda seleccionar explosivos cuya resistencia al agua sea de por lo menos 4 horas.

La resistencia al agua de un explosivo, se presenta en varias categorías las que dependen del número de horas de exposición. Así tenemos:

| <b>CATEGORIA</b>   | <b>HORAS DE EXPOSICION</b> |
|--------------------|----------------------------|
| Excelente          | 7 a 10 horas               |
| Muy buena          | 5 - 7 horas                |
| Buena              | 3 - 5 horas                |
| Limitada o regular | 1 a 3 horas                |
| Nula               | menos de 1 hora            |

## f) Simpatía

La "simpatía", se define como la detonación inducida por un cartucho, a otro que esta próximo. Cuando la dinamita es muy sensible, esta transmisión de detonación puede sobrepasar varios centímetros de distancia.

Esta propiedad nos da una idea de la distancia máxima que puede colocarse un cartucho con respecto a otro, de modo que no se produzca la detonación por simpatía.

La prueba que se sirve para determinar el grado de simpatía de un explosivo, consiste en colocar en una zanja hecha de arena, diversos cartuchos separados por una cierta distancia, y detonando uno de ellos, se debe determinar la distancia hasta la cual es transmitida la detonación de un cartucho a otro. Esta distancia dependerá del diámetro, así como del confinamiento.

El grado de simpatía se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{S}{D}$$

Donde:

N = Grado de detonación por simpatía

S = Distancia máxima entre dos cartuchos

D = Diámetro del cartucho.

### g) Sensibilidad

La sensibilidad de un explosivo es expresada como la facilidad con la cual puede propagarse la reacción a través de la masa del explosivo.

Un explosivo puede propagarse fácilmente, pero en diámetro más pequeño puede no propagarse y desaparecer gradualmente. Por otra parte, un explosivo puede ser enteramente insensible a la propagación pero es fácilmente propagable cuando pasa de un diámetro a otro.

La sensibilidad de los explosivos depende del tipo de estímulo. Así tenemos:

- Sensibilidad al golpe:

Es la mayor o menor resistencia que ofrecen los explosivos al golpe o choque. La prueba para determinar esta medida se conoce como "prueba de sensibilidad por caída del martillo".

Dicha prueba consiste en dejar caer sobre una muestra de 0.1 gr. de explosivo envuelto en una hoja de estaño, un martillo de fierro de 5 kg desde diferentes alturas, y determinar si explota o no. Los explosivos que detonan con la caída de un martillo de baja altura, tiene alta sensibilidad al choque.

- Sensibilidad al calor

Si se calienta un explosivo, se observa que a cierta temperatura se descompone repentinamente, acompañado de un fuego o sonido. A esta temperatura se denomina "punto de ignición del explosivo".

- Sensibilidad a la Llama

Es la mayor o menor resistencia que ofrecen los explosivos para inflamarse.

#### **h) Dureza**

Es importante controlar la "dureza" de los explosivos. Por ejemplo, en el caso de la dinamita es fundamental que tenga dureza adecuada para poder insertar en ella los fulminantes que la iniciarán.

Ellos pretenden señalar que la dureza en los explosivos tiene importancia para la seguridad del manejo y para aumentar el efecto en la voladura.

### **2.2.3 PARAMETROS DE CARGA**

Los parámetros de carga se refieren a la forma de ubicar, colocar y distribuir la carga explosiva dentro de los taladros que se han perforado.

Entre lo más importante parámetros de carga, tenemos:

**a) Geometría de la carga**

La geometría de la carga se define como la relación entre la longitud del cartucho de dinamita y su diámetro.

El diámetro de la carga estará en función del diámetro de los taladros que se han perforado.

Las dimensiones de la longitud y diámetro de los cartuchos, son comerciales y se expresan en pulgadas, para su venta.

**b) Grado de confinamiento o "Hermeticidad"**

Se define "confinamiento" al grado de ajuste que se debe de proporcionar a la masa explosiva dentro del taladro, para garantizar la transferencia de las enormes presiones creadas por la detonación, a la roca, con la menor pérdida o difusión de energía.

Un alto confinamiento de los cartuchos puede incrementar tanto su densidad, que lo que puede hacer insensible a la transmisión de la onda. Por el contrario, un confinamiento débil determinará un pobre resultado en la voladura.

**c) Densidad de Carguío**

La densidad de carguío viene a ser la relación que existe entre la longitud que ocupan los explosivos dentro del taladro y la longitud total de este. Nos proporciona una relación del grado de llenado de un taladro.

**d) Acoplamiento Físico**

Expresa la relación existente entre el diámetro de la carga y el diámetro del taladro.

Cuando esta relación sea más próxima a la unidad, mejor será el comportamiento del explosivo dentro del taladro ya que ejercerá una mayor fuerza rompedora sobre la roca.

**e) Distribución de la carga**

La distribución del explosivo tiene influencia en la magnitud del fracturamiento ya que una concentración de carga en el fondo del taladro producirá un mayor rompimiento. Si por el contrario, la mayor densidad de la carga está hacia afuera el tiro no saldrá totalmente.

## 2.3 DINAMITA COMO AGENTE EN VOLADURAS

### 2.3.1 DEFINICIONES

La dinamita es el explosivo más requerido en las excavaciones de túneles cuando la sección es pequeña.

Viene a ser un explosivo que resulta de la mezcla de tres elementos principales:

- Sensibilizantes, como la nitroglicerina
- Proveedores de oxígeno, como: nitrato de amonio o de sodio
- Material poroso inerte, como el aserrín o almidón, que viene a ser el material combustible.

El descubrimiento de este agente para voladuras, data del siglo pasado cuando en 1866 Alfred Nobel, tuvo éxito en hacer detonar la nitroglicerina absorbida en diatoméas fósiles en un taladro y desde entonces por primera vez se uso el nombre de dinamita.

La nitroglicerina se prepara procesando la glicerina con el ácido nítrico (nitración), siendo esta un líquido oleoso con densidad específica de 1.6 gr/cc. Cuando es pura, es sensible al golpe, choque o fricción; por lo tanto es muy peligrosa usarla sola.

Fue el mismo Alfred Nobel quien descubrió que la nitroglicerina mezclada con la nitrocelulosa se hacía gelatinosa reduciendo así su sensibilidad, denominado a este explosivo dinamita "gelatinosa". Este descubrimiento constituye la base de la dinamita de hoy en día y a pesar del tiempo transcurrido sigue siendo utilizada como uno de los primeros explosivos comerciales.

Como explosivo que es, la dinamita representa una mezcla que se descompone violentamente al ser iniciada dando como resultado la formación de grandes volúmenes de gases que al expanderse dentro del taladro romperán a la roca.

De otra manera, se puede decir que son compuestas inestables que se transforman en compuestos más estables como gases y humos bajo la acción de un estímulo externo (calor, golpe, chispa). El tiempo para pasar de éste estado al estado gaseoso es muy breve haciéndolo con gran desprendimiento de energía y con altas temperaturas.

### **2.3.2 CLASIFICACION DE DINAMITAS**

Las dinamitas, se clasifican de acuerdo a su consistencia en:

- a) Dinamita Gelatinosas
- b) Dinamita Semigelatinosas
- c) Dinamita Pulvurenta

#### **a) Dinamita Gelatinosa**

Se denomina así porque tiene consistencia de gelatina. Posee una buena resistencia al agua y adecuada dureza. Además tiene una alta velocidad de detonación y una alta densidad y por consiguiente mayor fuerza de explosión, en comparación con los otros tipos de dinamita.

La dinamita gelatinosa como se comprenderá, es la de mejor calidad y la que otorga una mayor eficiencia en las excavaciones subterráneas.

#### **b) Dinamita Semigelatinosa**

Posee una consistencia y no es muy resistente al agua. En cuanto a su velocidad de detonación, densidad y brisance, son menores que los de la dinamita gelatinosa.

#### **c) Dinamita Pulvurenta**

Posee la consistencia más suelta de los tres tipos de dinamita y tiene los valores más bajos de velocidad de detonación, y brisance.

La dinamita pulvurenta, no es resistente al agua debiendo evitarse usarla en excavaciones donde existe fuerte presencia de aguas subterráneas.

La calidad de las dinamitas de consistencia gelatinosa, semigelatinosa y pulvurentas irán en orden descendente disminuyendo en resistencia al agua, velocidad de detonación, densidad y por consiguiente la fuerza de la explosión va reduciéndose.

En Perú la fábrica de explosivos EXSA elabora una variedad completa de explosivos para las operaciones de voladura. Así tenemos los siguientes productos cuyas características son especificadas por la misma EXSA:

#### A) GELATINAS

- Gelignita

De muy alto poder rompedor y excelente resistencia al agua, se recomienda para la voladura de rocas muy duras y con elevado porcentaje de humedad. Su alta densidad le permite brindar adecuados resultados.

También se recomienda utilizarla en voladuras bajo agua como es el caso de obras portuarias.

Se presenta en el mercado, en dos tipos: 1 y 2, con diferencia de potencias relativas.

- Gelatina especial

Posee un alto poder rompedor, alta velocidad de detonación y una excelente resistencia al agua.

Se recomienda para voladura de rocas, intermedias a muy duras, tanto en ambientes secos como en húmedo.

Su alta velocidad de detonación produce una buena fragmentación, especialmente en rocas densas y homogéneas lo que es muy ventajoso para el transporte y limpieza del material disparado.

Se presenta en el mercado, en tres tipos: de 75%, 80%, 90% con potencias relativas.

## **B) SEMIGELATINAS**

- Exagelita

Adecuada para la voladura de rocas intermedias a tenaces. Posee una adecuada resistencia al agua que la hace en algunos casos, un buen reemplazo de las gelatinas especiales con ventaja económica.

- Semexsa

Es una dinamita semigelatinosa muy funcional, de fuerte poder rompedor y alta resistencia al agua. Se recomienda su uso en rocas intermedias a duras.

Por su gran adaptabilidad y rendimiento se utiliza bastante en la excavación de túneles.

Se presenta en el mercado en tres tipos de potencia relativas: 45, 60 y 65%.

### C) PULVURENTAS

- Amonex

De adecuado poder rompedor y baja velocidad de detonación, la hacen adecuada para su empleo en la voladura de rocas blandas a intermedias.

Su resistencia al agua es menor que la de semexsa por lo que se debe de evitar utilizarla en rocas con filtraciones de agua.

- Exadit

Al igual que el Amonex, presenta baja velocidad de detonación que la hace recomendable usarla en rocas blandas o en obras donde se requiere mover fuerte volumen de material semiconsolidado, como en cortes para taludes.

La resistencia al agua no es muy alta por lo que se debe evitar trabajarla en condiciones húmedas.

## D) ESPECIALES

- Exsacorte

Es una dinamita especialmente preparada para trabajos de voladura controlada (smooth blasting) donde se requiere de superficies lisas y estables.

En los mercados, se proporciona en cartuchos largos de 5/8" de diámetro y de 30" de largo.

### 2.3.3 CARACTERISTICAS DE LAS DINAMITAS

Las características de la dinamita variarán como se ha descrito de acuerdo a su consistencia, en las tablas A, B y C se puede observar las características mas importantes de los principales productos que se encuentran en el mercado.

#### TABLA "A"

##### DIMENSIONES Y PESOS DE CARTUCHO DE DINAMITAS EXSA

| TIPO         | DIMENSIONES |           |             |             |             |
|--------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
|              | 7/8" x 7"   | 7/8" x 8" | 1 1/8" x 7" | 1 1/8" x 8" | 1 1/2" x 7" |
| Gelatina 80% | 0.086       | 0.096     | 0.133       | 0.152       |             |
| Semexsa 65%  | 0.081       | 0.093     | 0.123       | 0.139       | 0.227       |
| Semexsa 60%  | 0.081       | 0.093     | 0.123       | 0.139       | 0.227       |
| Semexsa 45%  | 0.081       | 0.093     | 0.123       | 0.139       | 0.227       |

**TABLA "B"**

**EXPLOSIVOS EXSA**

**DIMENSIONES DE CARTUCHOS**

**(Diámetro por longitud en pulgadas)**

| <b>NOMBRE COMERCIAL</b> | <b>DIMENSIONES<br/>STANDARD</b> | <b>DIMENSIONES<br/>ESPECIALES</b>  |
|-------------------------|---------------------------------|--|
| Gelignita 1,2           | 7/8" x 8" - 1 1/8" x 8"         |  |
| Gelatina especial 90    | 7/8" x 8" - 1 1/8" x 8"         | 7/8" x 7" - 1 1/8" x 7"  |
| Gelatina especial 75-80 | 7/8" x 8" - 1 1/8" x 8"         | 7/8" x 7" - 1 1/8" x 7"<br>1 1/2" x (7,8 y 12)"<br>2" x (7 y 8)"<br>2 1/2" x (7 y 8)"  |
| Exagelita               |                                 |  |
| Semexsa 65-60-45        |                                 |  |
| Amonex 75               |                                 |  |
| Exadit 65-60 - 45       | 7/8" x 8" - 1 1/8" x 8"         | 7/8" x 7" - 1 1/8" x 7"<br>1" x (7,8 y 12)"<br>1 1/2" x (7 y 8)"<br>1 1/4" x (7 y 8)"<br>2" x (7 y 8)"<br>2 1/2" x (7 y 8)"<br>3" x (7 y 8)" |
| Exasacorte              | 5/8" x 30"                      |  |

**TABLA "C"****CARACTERISTICAS DE LOS EXPLOSIVOS EXSA**

| <b>TIPO<br/>RESISTENCIA</b>    | <b>NOMBRE</b>    | <b>P</b> | <b>B</b>  | <b>V</b>    | <b>D</b>      | <b>AL AGUA</b> |
|--------------------------------|------------------|----------|-----------|-------------|---------------|----------------|
|                                | <b>COMERCIAL</b> | <b>%</b> | <b>mm</b> | <b>m/s.</b> | <b>gr/cc.</b> |                |
| GELATINA                       | Gelignita 2      | 80       | 22        | 5000        | 1.51          | Excelente      |
|                                | Gelignita 1      | 79       | 21        | 5000        | 1.42          | Excelente      |
|                                | Gelatina         | 75       | 20        | 5000        | 1.36          | Excelente      |
|                                | Especial         | 72       | 19        | 5000        | 1.33          | Excelente      |
|                                |                  |          | 70        | 18          | 4500          | 1.30           |
| SEMI GELATINA<br>Sobresaliente | Exagelita        | 70       | 19        | 4700        | 1.15          |                |
|                                | Semexsa 65%      | 75       | 17        | 400         | 1.09          | Muy buena      |
|                                | 60%              | 72       | 16        | 3800        | 1.08          | Muy buena      |
|                                | 45%              | 68       | 14        | 3600        | 1.07          | Muy buena      |
| PULVURENTA                     | Amonex 75%       | 72       | 14        | 3400        | 1.00          | Buena          |
|                                | Exadit 65%       | 68       | 14        | 3400        | 0.98          | Buena          |
|                                | 60%              | 35       | 13        | 3400        | 0.98          | Limitada       |
|                                | 45%              | 60       | 12        | 3300        | 0.97          | Limitada       |
| ESPECIALES                     | Exsacorte        | 68       | 14        | 3200        | 1.05          | Buena          |

## 2.4 PROCESOS EN UNA EXPLOSION

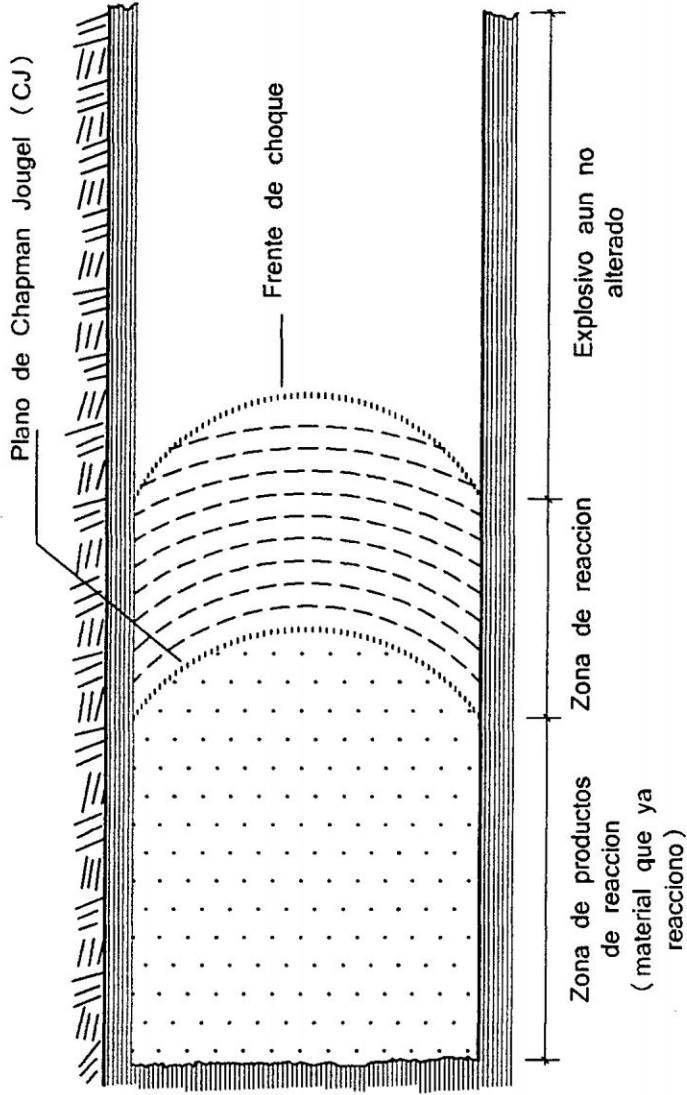
### 2.4.1 MECANISMOS Y VARIABLES


Producida la iniciación en una columna explosiva se desarrolla una "onda de detonación" llamada también "onda de choque" que tiene una alta frecuencia y velocidad de detonación. En el frente de esta onda se produce grandes saltos de temperatura y presión que instantáneamente inician la transformación química de las moléculas sólidas a gases con liberación de energía en forma de calor y alta presión.

La energía liberada mantiene en desarrollo continuo el proceso de reacción hasta la transformación total de la masa explosiva.

La onda de choque viaja a lo largo de toda la masa produciendo a su paso la transformación de las partículas sólidas a gases químicamente más estables. Inmediatamente después los gases de reacción se expanden casi instantáneamente aumentando su volumen original cerca de 1000 veces más con lo que se incrementa la temperatura y presión a niveles muy elevados (miles de Kg/cm<sup>2</sup>) ejerciendo una gran compresión y empuje sobre el material que circunda o confina el explosivo.

La acción de rotura por efecto del explosivo esta dado por dos efectos:



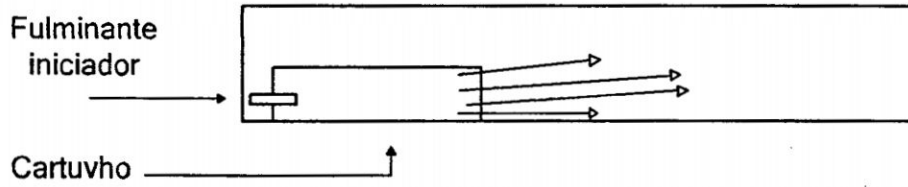
|  |                             |                       |
|--|-----------------------------|-----------------------|
|   | <b>PROCESO EN EXPLOSION</b> |                       |
|  | Escala : S/E                | Lámina:               |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA<br>FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS |                             | Fecha : Marzo de 2008 |
| Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía   |                             | 2-2                   |

Uno producido por el impacto de la onda de choque (que abre las grietas) y el otro por el empuje que hacen los gases al expandirse a través de las grietas originadas por la onda.

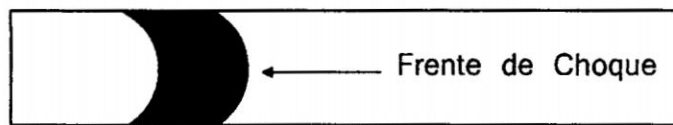
En el fenómeno de explosión se observan dentro del taladro 4 zonas bien diferenciadas (ver Lámina N° 2.2):

- a) La zona no alterada, constituida por la masa de explosivo que no ha detonado aun.
  
- b) Al frente de choque, es el arco de la onda que inicia el camino a través de la masa del explosivo produciendo cambio químico.
  
- c) Zona de transformación o plano de Chapman Jouget (plano CJ). Es la zona donde se produce la transformación de las masas a gases de alta presión y temperatura. Al producirse la detonación se crea una zona de reacción que esta limitada por el frente de choque que es el que al avanzar va transformando la masa explosiva y el plano CJ que es el plano en que separa la zona de reacción con el material que ya reaccionó.
  
- d) Zona de detonación. Las ondas de choque salen con dirección a la cara libre ejerciendo compresión sobre la roca, como estas resisten bien a la compresión no las rompen, pero cuando llegan a la cara libre se reflejan produciendose tensiones que son las que agrietan a la roca, posteriormente los gases al expandirse empujarán el material agrietado.

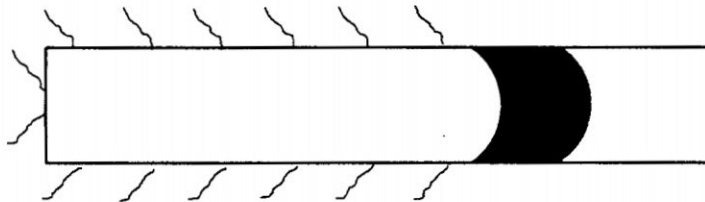
- Al iniciarse la explosión se crea la onda de choque (Iniciación).



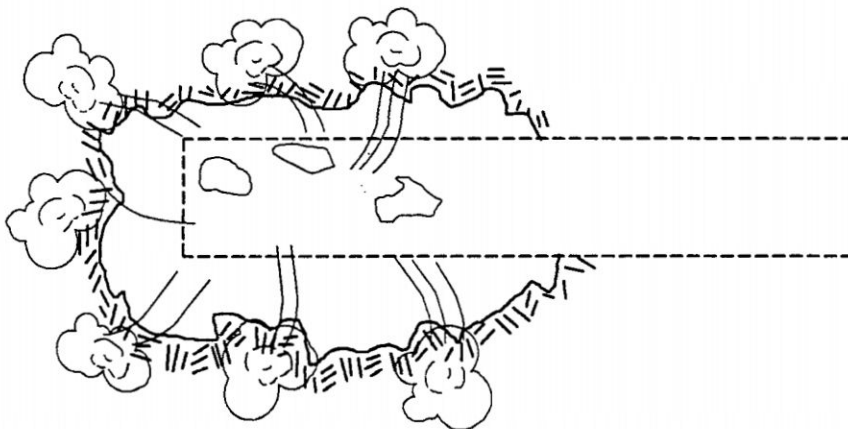
- Se inicia el proceso de transformación de sólidos a gases (detonación).



- Avanza la onda de choque prevaleciendo el brisance del explosivo (se abren grietas).



- Se produce la explosión, los gases se expanden desplazando al material triturado.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**SECUENCIA DEL PROCESO  
DE EXPLOSION**

Escala : S/E

Lámina:

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

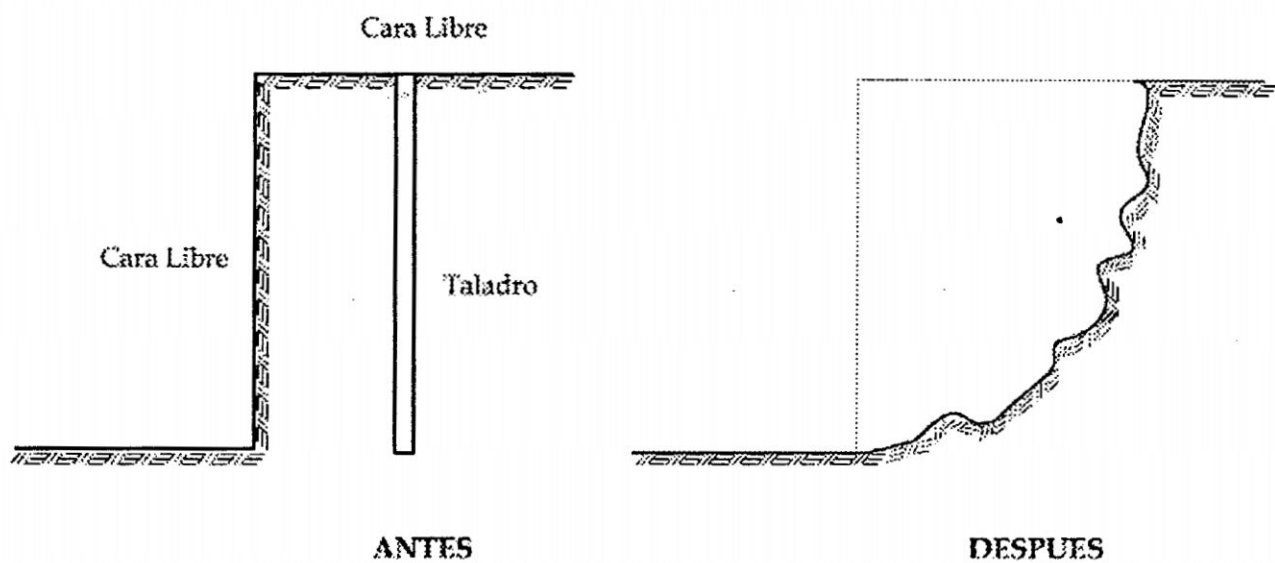
Fecha : Marzo de 2008

**2-3**

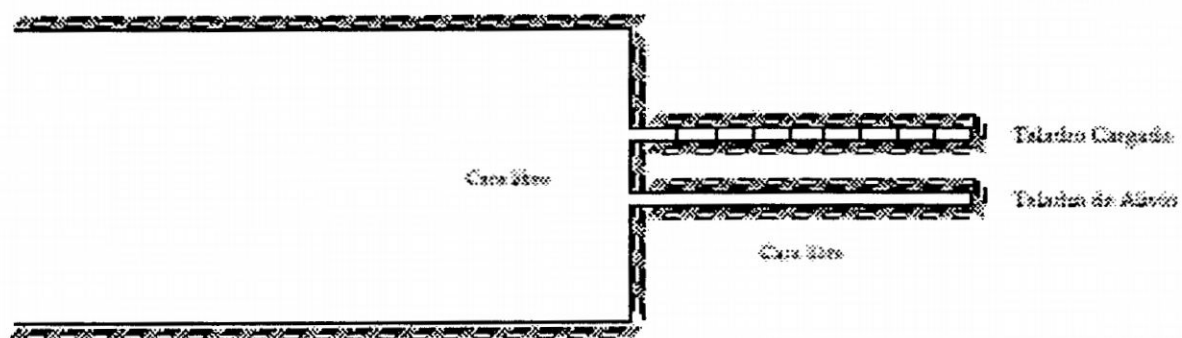
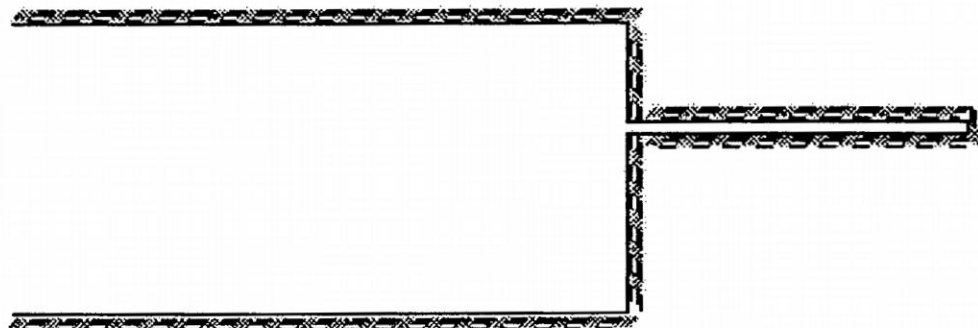
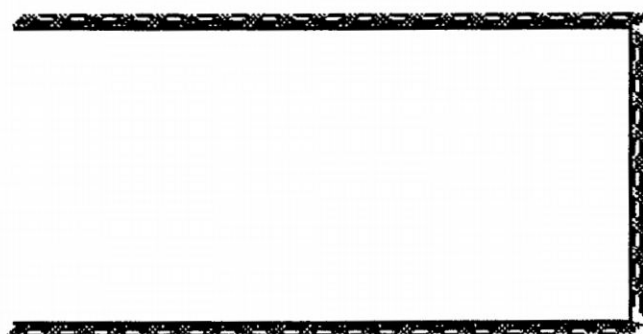
## 2.4.2 PROCESOS EN LA FRAGMENTACION

La onda de choque que se genera en la explosión se difunde a través de la roca en forma de fuerzas de compresión que no afectan mayormente a la roca ya que estas resisten bien a la compresión. Pero estas ondas al llegar a la cara libre del frente de voladura se reflejan al cambiar de medio, transformándose en fuerzas de tensión creando planos de debilidad y grietas por donde los gases posteriormente penetrarán y se expandirán, produciéndose la rotura de las rocas.

Por lo descrito se hace necesario e indispensable de que siempre, en la voladura, un taladro cargado tendrá que orientarse hacia una cara libre para permitir el desplazamiento de la roca y evitar que la voladura se quede por falta de grado de libertad para desplazarse.



En el caso de túneles como sólo existe una cara libre y ésta no permitirá el desplazamiento de la roca, es necesario crear otra cara libre. Ella se consigue mediante el uso de taladros de alivio, que vienen a ser taladros donde no se colocan carga alguna.



Es importante señalar la función que desempeña la flexión como mecanismo de rotura de la roca en la voladura, ya que el fracturamiento de la roca por falla de flexión ocurre siempre en todos los taladros cargados con explosivos. Esta rotura está controlada por la rigidez de la roca ubicada entre los taladros y la superficie adyacente.

La rotura de la roca será el resultado final de la combinación del fracturamiento radial y la ruptura por flexión.

Las fracturas radiales como ya dijimos son producidas por tensiones o esfuerzos tangenciales creadas en las paredes rocosas del taladro como consecuencia de la onda de choque reflejada que originan tensiones dando lugar a planos verticales de rotura (ver Lámina N° 2.4)

Las fracturas por flexión se originarán en el momento que la expansión de gases empuja un espesor involucrado de bloque de roca hacia la cara libre formando planos horizontales de rotura.

En resumen se concluye que el proceso de rotura de las rocas, en la voladura, es producido por un efecto dinámico creado por la onda de choque, que abre fisuras radiales para luego producir un efecto estático con la acción de los gases que al expandirse abrirán las grietas y desplazarán la roca hacia la cara libre, formándose fisuras por flexión.

Efecto

de la onda de choque

(planos verticales de

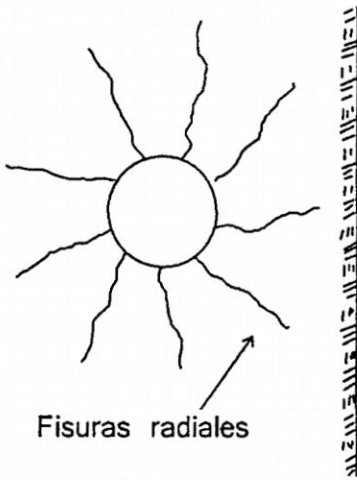
fisuras radiales)

Efecto

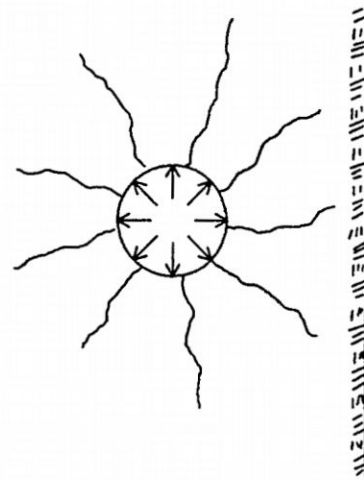
de los gases expandidos

(planos horizontales de

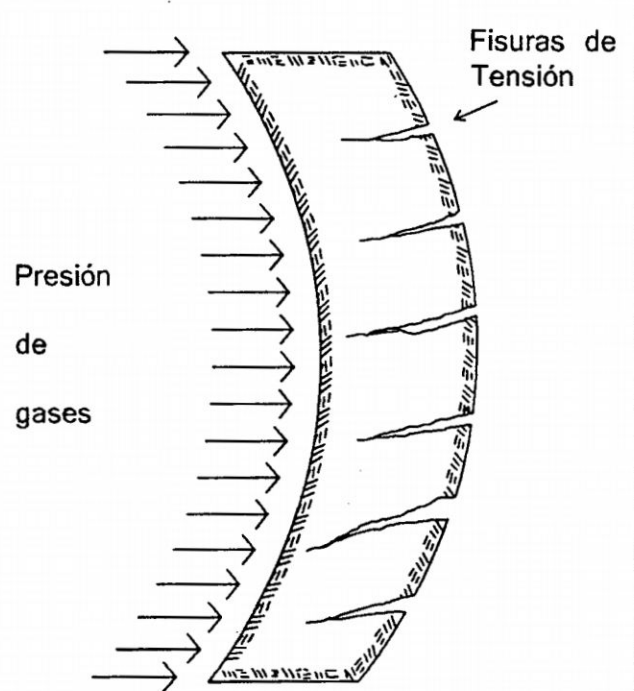
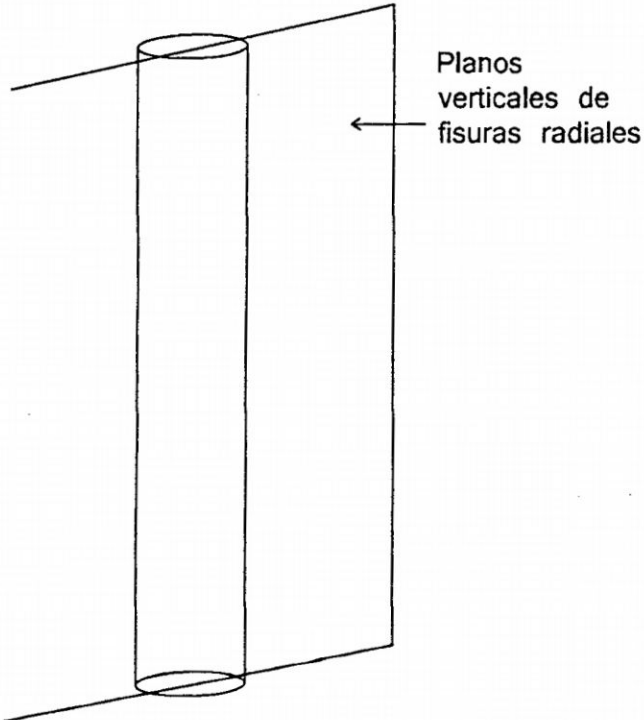
fisuras por flexión)



Cara Libre



Cara Libre



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**PROCESOS EN LA FRAGMENTACION**

Escala : S/E

Lámina:

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha : Marzo de 2008

2-4

## 2.5 ACCESORIOS PARA VOLADURAS

Los accesorios para voladuras, tienen la función de complementar a la dinamita en su trabajo. Así pues su finalidad es iniciar, propagar o retardar la acción de las cargas explosivas.

Los accesorios de voladura usados en túneles de sección pequeña son:

- Guía de seguridad
- Fulminante común
- Cordón detonante o Pentacord
- Fanel

### 2.5.1 GUIA DE SEGURIDAD

Es un accesorio para voladuras que contiene pólvora en su interior o "alma", forrados con capas de papel hilos y plásticos. También se denomina guía lenta o "mecha" lenta.

El diámetro de la guía, generalmente es de 5 mm y la carga de pólvora es de 6 gr/m. Posee una velocidad de propagación de 145 seg/m, o sea que un metro de guía se consume en 145 seg.

La función de la guía es iniciar al fulminante común. Para su uso, deberá tenerse presente lo siguiente:

- La guía se prende para lo cual se requiere de un "chispero" o un simple fósforo.

- Se debe de hacer un corte perpendicular a su eje para su iniciación. En dicho corte se debe de iniciarla con la chispa.
- En su almacenaje debe de evitarse la existencia de humedad.
- Se debe de evitar presionar con objetos pesados.
- Deben de mantenerse fuera del fuego, líquidos inflamables y otros explosivos.

En Perú, FAMESA fabrica y distribuye los siguientes tipos de guías:

- Guía de seguridad color blanco
- Guía de seguridad color naranja
- Guía de seguridad color negro.

La selección de uso estará dada por condiciones y rigurosidad del lugar donde se utilizará (presencia de agua, abrasión, etc.).

Las especificaciones técnicas de las mechas de seguridad dadas por FAMESA son:

- |                              |                      |
|------------------------------|----------------------|
| - Núcleo de pólvora:         | 6gr/m $\pm$ 10%      |
| - Tiempo de combustión:      | 145 seg/m $\pm$ 0.1% |
| - Longitud mínima de chispa: | 50 mm                |
| - Diámetro externo:          | 5.1 mm $\pm$ 0.1 mm  |
| - Peso por ml:               | 28.5 gr              |
| - Recubrimiento externo:     | Material plástico    |
| - Resistencia a la tensión:  | 30Kg durante 3 min.  |

### 2.5.2 FULMINANTE COMUN

El fulminante común consiste en una cápsula cilíndrica de aluminio cerrada en un extremo en cuyo interior lleva una determinada cantidad de explosivo primario, muy sensible a la chispa de la mecha de seguridad.

El fulminante común se inicia con la mecha de seguridad convirtiendo en detonación el quemado de misma. Para ello se debe encapsular la mecha de seguridad dentro del extremo abierto del fulminante.

La función del fulminante común es iniciar al cordón detonante o a la misma dinamita.

Por lo general los fulminantes comunes están formados por 3 tipos de cargas dispuestas de la siguiente manera:

- a) Carga base con explosivo de alta velocidad y que se encuentra al fondo del casquillo.
- b) Carga cebo en el centro.
- c) Carga de ignición en la parte superior.

La carga de ignición es activa por el fuego de la mecha de seguridad y la carga del cebo transforma el quemado en detonación iniciando el explosivo de la carga base. Esta combinación de cargas ha producido fulminantes altamente eficientes y confiables.

En nuestro país FAMESA fabrica dos tipos de fulminantes comunes N° 6 y N° 8, cuyas características son las siguientes:

| CARACTERISTICAS          | N° 6                            | N° 8                            |
|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| DIMENSIONES              |                                 |                                 |
| Longitud                 | 35 mm - 45 mm                   | 45 mm                           |
| Diámetro ext.            | 6.2 mm                          | 6.2 mm                          |
| RESISTENCIA A LA HUMEDAD | 24 horas                        | 24 horas                        |
| SENSIBILIDAD A LA CHISPA | 2mm de separación<br>a la mecha | 2mm de separación<br>a la mecha |
| POTENCIA MINIMA          |                                 |                                 |
| TRAUZL                   | 16 cc.                          | 22 cc.                          |
| RESISTENCIA AL IMPACTO   | 2kg/m no inicia                 | 2kg/m no inicia                 |
| SENSIBILIDAD A LA CHISPA | Si                              | Si                              |
| DE LA GUIA DE SEGURIDAD  |                                 |                                 |
| CARGA EXPLOSIVA          | 600 mg                          | 700 mg                          |

### 2.5.3 CORDON DETONANTE PENTACORD

Accesorio para voladura, con importantes propiedades como son alta velocidad de detonación, facilidad de manipuleo, buena sensibilidad y gran seguridad.

Estan constituida por un núcleo de pentrita de alto poder explosivo. Cubierto de papel y tejido con hilos de algodón y también fibras sintéticas. La cobertura exterior es de plástico, en unos tipos y en otros tiene además un tejido de hilos de algodón y baño de elvax lo que les brinda mayor resistencia a la abrasión, tracción e impermeabilidad. El cordón detonante se inicia con el fulminante común ya sea N°6 y N° 8.

La función del pentacord, es iniciar a los faneles. FAMESA produce los siguientes tipos de pentacod:

- *Pentacord 3P*: Es un cordón detonante de regular velocidad de detonación, utilizado en voladuras secundarias.
- *Pentacord 3PE*: Es un cordón de alta resistencia a la tracción, desarrollado para ser utilizado en taladros de mediano y gran diámetro.
- *Pentacord 5P*: De uso muy difundido en excavaciones de túneles de sección pequeña.
- *Pentacord 5PE*: Es un cordón reforzado que tiene una cobertura exterior de gran resistencia a la tracción abrasión e impermeabilidad, permitiendo realizar trabajos en condiciones rigurosas.

El siguiente cuadro, muestra algunas especificaciones técnicas ofrecidas por FAMESA.

| CARACTERISTICAS                 | 3P   | 3PE  | 5P   | 5PE  |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| Peso del núcleo Explosivo gr/m  | 3    | 3    | 5    | 5    |
| Resistencia a la Tensión kg     | 75   | 100  | 75   | 100  |
| Sensibilidad al Fulminante No 6 | si   | si   | si   | si   |
| Velocidad de Detonación m/seg   | 6800 | 6800 | 7300 | 7300 |

#### 2.5.4 FANEL (FULMINANTE ANTIESTATICO NO ELECTRICO)

El fanel viene a representar un moderno y eficaz sistema de iniciación para usos en excavaciones subterráneas. Se lo considera en las operaciones como uno de los fulminantes más modernos y que otorga múltiples ventajas en los trabajos de voladura.

El fulminate FANEL, consta de las siguientes partes integradas:

##### a) La manguera Fanel

Esta fabricada con un material termoplástico de alta resistencia mecánica e interiormente cubierta en toda

longitud con una sustancia explosiva uniforme que al ser atraída conduce una onda de choque cuya presión y temperatura son suficientes para iniciar el detonador a través del elemento de retardo.

En la manguera Fanel se encuentra unos conectores que se usan para la conexión del Fanel con el pentacord.

La longitud de la manguera puede ser de 3.2 m o de 4 m.

#### **b) Fulminante de retardo**

Es un fulminante que dispone de un elemento retardador que le permite detonar en diferentes intervalos de tiempo.

Las escalas de retardo que existe son dos series. Una de periodo corto (color rojo), y otra de periodo largo (color blanco).

#### **c) Etiqueta**

Indica el número de serie de retardo cuyo tiempo esta dado por las escalas y va adherida a la manguera Fanel.

El Fanel es un fulminate que tiene la cualidad de poseer un tiempo de retardo, es decir detonará de acuerdo a ese tiempo. En todos los casos el Fanel se activa con el pentacord 5P.

En cuanto a los tiempos de retardo como se ha descrito existen faneles de color rojo y de color blanco. Los faneles

de color rojo van de 25 miliseg. entre números consecutivos hasta el N° 10. De allí van con un intervalo de 50 miliseg. hasta el N° 15, en donde el intervalo cambia a 100 miliseg.

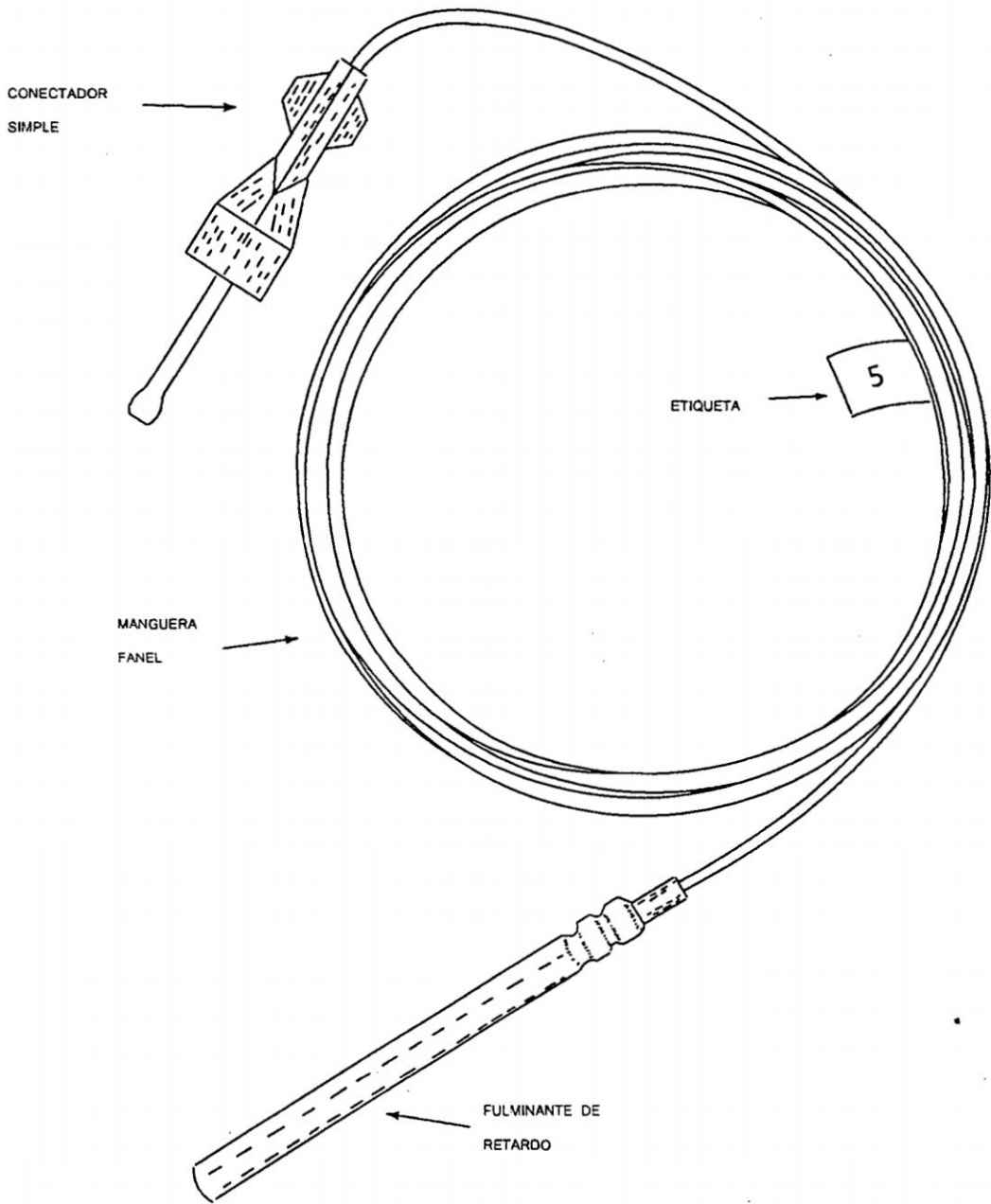
Los Faneles de color blanco van de 0.5 seg. Entre números consecutivos hasta el N° 10. De allí van con el intervalo de 600 miliseg., entre números consecutivos.


En el cuadro siguiente, se presenta las dos series existentes:

---

| SERIE | MANGUERA ROJA<br>(miliseg.) | MANGUERA BLANCA<br>(miliseg.) |
|-------|-----------------------------|-------------------------------|
| 1     | 25                          | 500                           |
| 2     | 50                          | 1000                          |
| 3     | 75                          | 1500                          |
| 4     | 100                         | 2000                          |
| 5     | 125                         | 2500                          |
| 6     | 150                         | 3000                          |
| 7     | 175                         | 3500                          |
| 8     | 200                         | 4000                          |
| 9     | 225                         | 4500                          |
| 10    | 250                         | 5000                          |
| 11    | 300                         | 5600                          |
| 12    | 350                         | 6200                          |
| 13    | 400                         | 6800                          |
| 14    | 450                         | 7400                          |
| 15    | 500                         |                               |
| 16    | 600                         |                               |
| 17    | 700                         |                               |
| 18    | 800                         |                               |
| 19    | 900                         |                               |
| 20    | 1000                        |                               |

---



|   |  |                         |            |
|---|--|-------------------------|------------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA<br>FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | <b>FULMINANTE FANEL</b> |            |
|   |  | Escala : S/E            | Lamina:    |
| Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía  |  | Fecha : Marzo de 2008   | <b>2-5</b> |

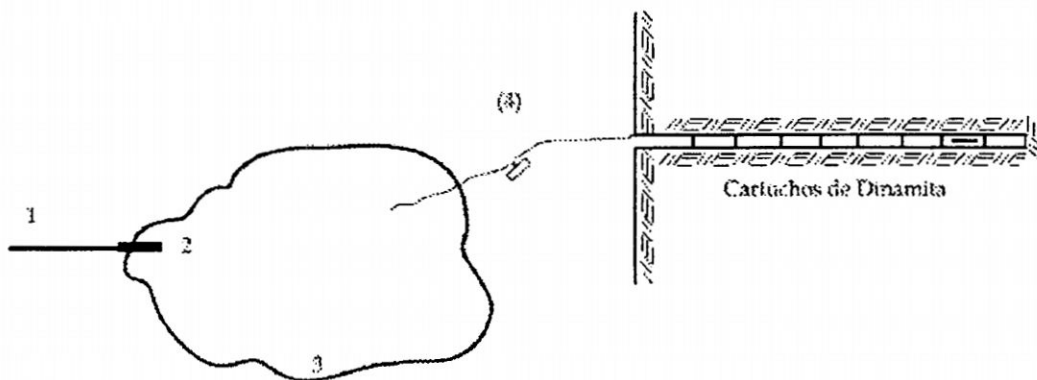
Es importante conocer el siguiente significado del tiempo de retardo en el Fanel. Por ejemplo:

- Fanel rojo N° 2 detonará 50 milisegundos, antes que un Fanel rojo N° 4.
- Fanel blanco N° 5 detonará 0.5 segundos, antes que un Fanel blanco N° 6.
- Fanel rojo N° 3 detonará 25 milisegundos, después que un Fanel rojo N° 2.
- Fanel blanco N° 5 detonará 1 segundos, después que un Fanel blanco N° 3.
- Fanel rojo N° 1 detonará 475 milisegundos, antes que un Fanel rojo N° 1.

## 2.6 PREPARACION DE LA DINAMITA

Conocido todos los accesorios para la voladura, es importante tener una idea de cómo se relacionan y actúan estos en el proceso de rotura del material.

En el siguiente esquema se aprecia la indicada relación:



Para iniciar la detonación de los taladros cargados se prende la mecha de seguridad o guías lentas (1) proceso que se denomina "chispeo". Esta guía se quema lentamente a la velocidad de 145 seg/m hasta llegar al fulminate común (2) quien al ser iniciado por la guía explosiva haciendo detonar al pentacord (3).

En el pentacord se ha conectado los faneles de diferente número (4). Producida la detonación del pentacord este trasmite a los faneles dicha detonación. Los Faneles a la vez inician la explosión del cebo dinamita en la cual se ha insertado el fanel y este a su vez, lo hace a los demas cartuchos cargados dentro del taladro.

Todo este proceso ocurre muy rápidamente y su éxito dependerá de la adecuada interrelación que existe en cada uno de los componentes a ser usados para la voladura.

La preparación de estos explosivos para su uso comprende los siguientes procedimientos:

#### **a) Encapsulado**

Para realizar el encapsulado de la mecha en el fulminate se sigue el siguiente procedimiento:

- Se corta a escuadra el extremo de la mecha en la que se va insertar el fulminate.
- Si la mecha ha estado expuesta a la humedad, se elimina la parte húmeda.

- Al insertar la mecha dentro del fulminate hacerlo con cuidado, asegurandose que el extremo de la mecha llegue hasta el fondo del fulminate.
- Generalmente se usa una "encapsuladora" o fijadora, especialmente diseñada, que permite la perfecta fijación de estos accesorios.

#### **b) Preparación del Cartucho Cebo**

El cebo, llamado denominado "prima" o "booster", es una cartucho de dinamita al que se le ha insertado un fulminate común o un Fanel y su función es la de iniciar por simpatía la detonación de los demas cartuchos en un taladro.

Dado que uno de los aspectos más importantes en la técnica de la voladura de rocas es la correcta iniciación de la columna explosiva confinada convenientemente en el taladro de perforación; el tomar la debida importancia al cebo, es fundamental para el éxito del disparo.

El cebo debe ser capaz de producir una alta presión de detonación para que inicie a los demas cartuchos.

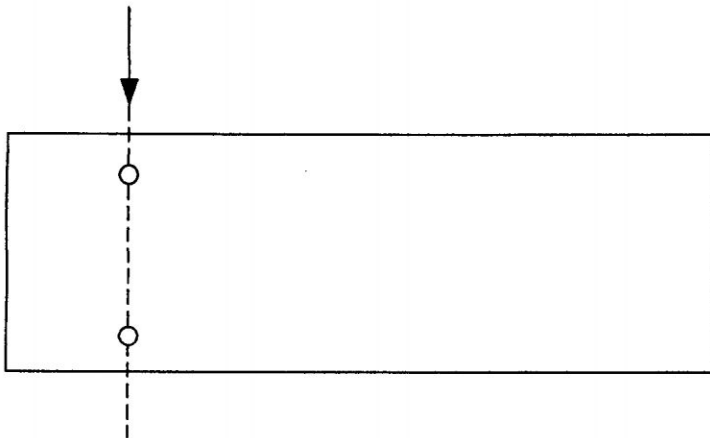
Para preparar los cebos se sigue el siguiente procedimiento:

- Se frota el cartucho de dinamita con la finalidad de ablandarlo.
- Con un punzón de madera se hace un corte transversal al eje longitudinal del cartucho de modo que lo atraviese por dos agujeros, luego se hace otro agujero con el punzón atravesando el cartucho en forma paralela al eje longitudinal.
- Inmediatamente después se introduce el fulminate Fanel por los 2 agujeros hechos con el corte transversal y luego incrustado por el tercer agujero (ver Lámina N° 2.6)
- De esta forma el cartucho de dinamita se ha transformado en un cebo, prima o "booster" y servirá para iniciar la detonación en el taladro.

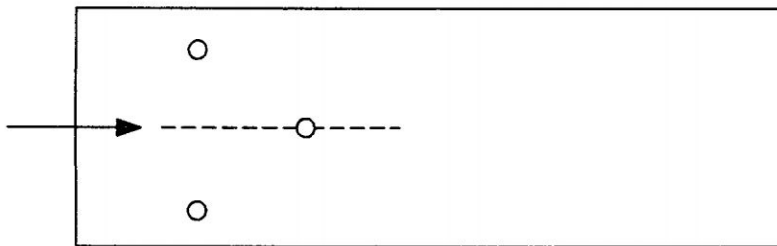
Los cebos deben de prepararse cuidadosamente de tal modo satisfagan las siguientes especificaciones:

- El fanel no debiera zafarse del cartucho
- El fanel debe de estar en la posición más segura y efectiva en el cartucho
- El cebo debe de ser resistente al agua
- El cebo debe de colocarse dentro del taladro de tal manera que el Fanel apunte hacia la mayor carga de explosivos.

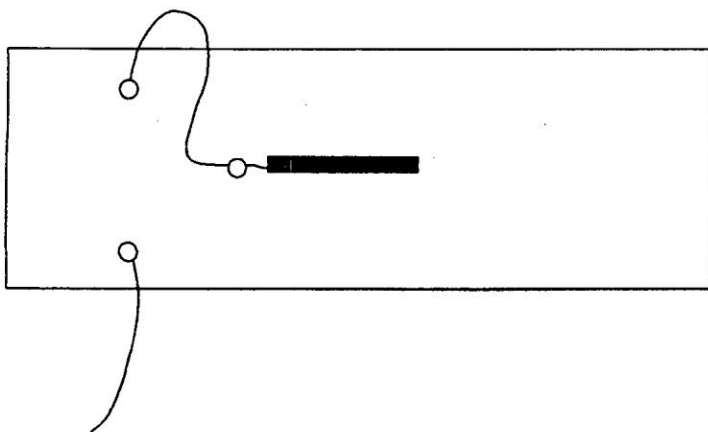
CORTE TRANSVERSAL AL EJE LONGITUDINAL (2 AGUJEROS)



CORTE PARALELO AL EJE LONGITUDINAL (4 AGUJERADOS)



FANEL INSERTADO EN EL CARTUCHO (CEBO, PRIMA O BOOSTER)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**PREPARACION DE CEBOS**

Escala : S/E

Lámina:

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha : Marzo de 2008

**2-6**

### **c) Preparación de la Dinamita**

La dinamita, antes de ser colocada en los taladros será rasgada con cuchilla a lo largo de sus lados, con el objeto de que cuando se confine la misma (proceso que se denomina atacado), llene todo el taladro logrando un acoplamiento físico óptimo con lo que se logrará que al detonar la dinamita ejerza toda su acción destructiva sobre las paredes del taladro que la alberga.

### **d) Cargado de los taladros**

El cargado de los taladros, es el proceso mediante el cual se colocan los cartuchos dentro de los taladros que se han perforado en la sección del túnel.

Se debe de colocar primero un cartucho bien confinado en el fondo del taladro antes de colocar el cebo, a fin de que este cartucho sirva como amortiguador del cebo en el momento que se confina los demás cartuchos.

Luego de colocar el cebo, prima o booster se colocan los demas cartuchos que irán confinándose conforme se van introduciendo. Al confinamiento de los taladros de denomina "atacado" y se realiza con varillas de madera llamadas "atacadores" que se usan para introducir los cartuchos dentro del taladro y confinarlos al fondo con golpes de regular intensidad.

#### **e) Colocación del Pentacord**

Cuando todos los taladros han sido cargados, se procede a colocar el cordón detonante pentacord, para lo cual se utilizan los conectores de las mangueras Fanel, en los cuales irá sujeto este.

En el Pentacord debe ir adherido el fulminate común, encapsulado con la mecha de seguridad.

Las conexiones de los Faneles con el pentacord, debe de hacerse cuidadosamente revisando que todo los faneles estén adecuadamente conectados ya que será el pentacord quien transmite la detonación al Fanel y si existe alguno que no se encuentra conectado ese taladro quedara aislado y no detonará.

La medida del pentacord será de por lo menos 5 ml. De longitud, mientras que la guía debera por lo menos 3 ml.

### **2.7 EVALUACION EN VOLADURA**

Las fallas que se producen en las voladuras, generalmente se deben a factores de tipo técnico en los cuales se ha obviado alguna recomendación que se debió tener en consideración; o no se han tomado en cuenta los parámetros de carga, roca y explosivos.

Para entender las fallas en las voladuras, es importante saber el significado de los siguientes conceptos:

**Disparo o Tiro:** explosión violenta en un taladro cargado y puede ser:

- a) *Disparo simultáneo:* Cuando todos los taladros, detonan en un mismo instante.
- b) *Disparo rotativo:* Explosión sucesiva de un grupo de taladros de acuerdo a un orden.

**Orden de Salida:** Es la secuencia con la que explotan los taladros cargados en el frente del túnel. Para indicar el orden de salida se usan números correlativos.

**Retardo:** Es la diferencia de tiempo entre la explosión de dos taladros o grupos de taladros. El retardo se expresa en segundos o fracciones de segundos. El retardo se logra con el uso de Faneles.

Entre las más importantes fallas en voladuras, tenemos:

#### a) TIROS SOPLADOS

Son aquellos en los que habiéndose producido la explosión no se han logrado los efectos de voladura deseados.

Esto es, se ha quedado una parte de la roca que se pensaba desplazar sin moverse.

Entre las principales causas tenemos:

- Alguno de los taladros que debieron explosionar antes, no lo hicieron (mal uso de numero de Faneles)
- Faltó carga explosiva en los taladros o se utilizó dinamita de baja potencia, para una roca relativamente dura.
- Existe presencia de agua y fallas por donde se disipan los gases de la explosión
- Inadecuado diseño de voladura
- Mal orden de salida de los taladros

#### **b) TIROS CORTADOS**

Son los tiros en los que no ha existido explosión pese ha que se ha quemado la guía lenta e inclusive ha detonado el fulminante y el pentacord.

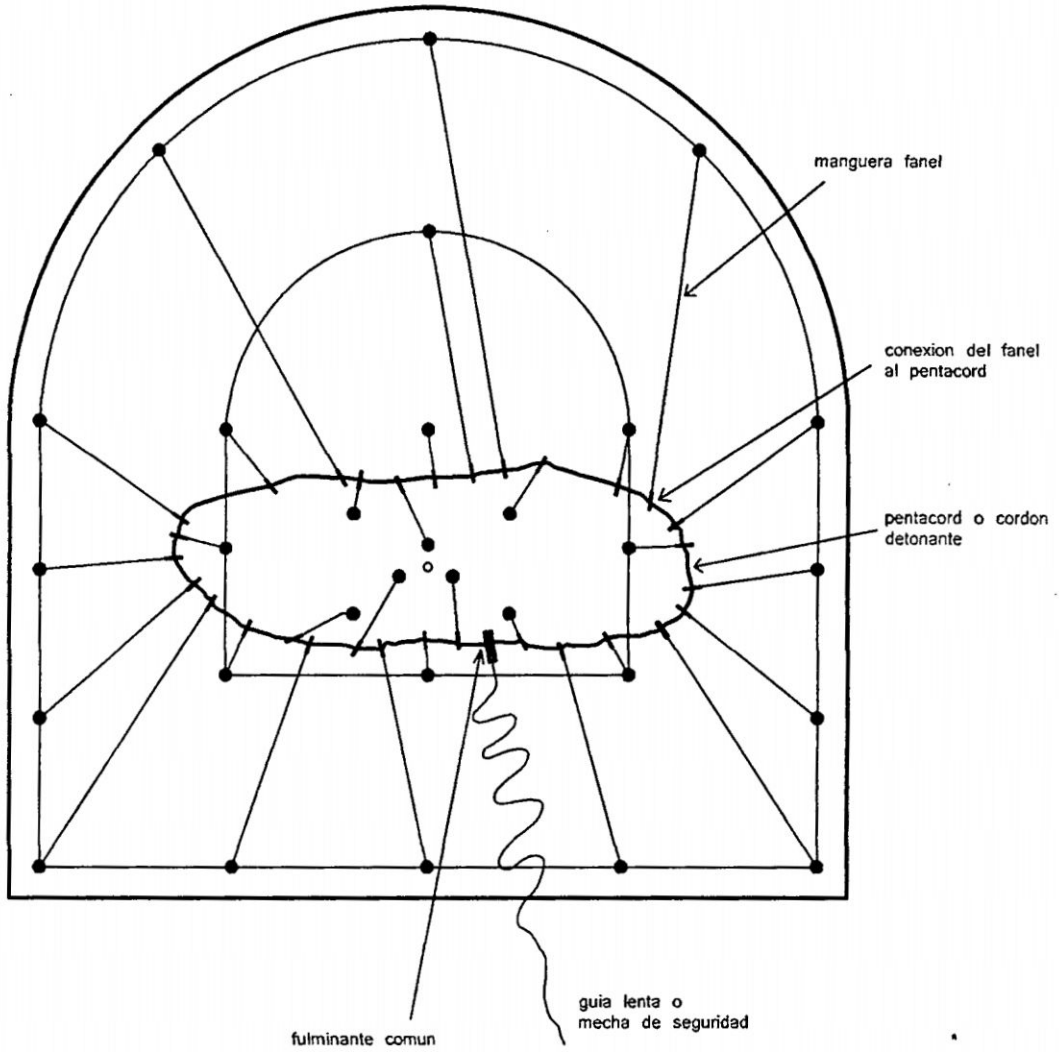
Las causas pueden ser:


- Existe fuerte filtración de agua y se ha usado dinamita que no tiene una adecuada resistencia al agua.

- Se ha colocado mal los cartuchos dentro del taladro
- La dinamita que se utilizó está defectuosa
- Porque se ha guardado mucho tiempo.
- Los Faneles están defectuosos
- El cebo esta mal preparado

**c) TIROS PREMATUROS**

Ocurre cuando un tiro sale antes de lo indicado por el número de su Fanel. Generalmente ocurre los faneles no cumplen con los requisitos de calidad exigidos.



|   |  |  |         |
|---|--|--|---------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA<br>FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | <b>ESQUEMA DEL FRENTE LISTO<br/>         PARA EL DISPARO</b> |         |
|   | Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía   | Escala : S/E   | Lámina: |

## CAPITULO III

# **TRAZOS DE PERFORACION PARA VOLADURA**

### **dsz3.1 GENERALIDADES**

Plantear un diseño de voladura significa establecer el trazo de la perforación y la cantidad de carga que debe colocarse en cada taladro, para ello es necesario conocer las condiciones dentro de las cuales se va a producir la excavación.

Entre los factores que debemos tener en cuenta para adoptar un adecuado diseño tenemos.

#### **3.1.1 CLASES DE ROCA**

Cuando se hace una excavación subterránea se puede encontrar los siguientes tipos de roca:

**a) ROCA TIPO I O TERRENO MASIVO**

Es aquel que presenta una estructura uniforme donde casi no existen fisuras o fracturas, y posee una dureza adecuada, así como no hay presencia de agua.

Este tipo de terreno es el más adecuado para la perforación ya que a pesar de que ofrece una alta resistencia a la penetración, esta es uniforme en todo el barreno.

En toda clase de roca es donde se debe utilizar la mayor cantidad de explosivos, pero sin que ello signifique debilitar el macizo rocoso circundante a la excavación.

**b) ROCA TIPO II O TERRENO FRACTURADO**

Es aquel que presenta una serie de fracturas o planos de debilidad los que pueden ser paralelos u orientados en diversa forma.

Por lo general, en este tipo de roca existe la presencia de agua por lo que se debe utilizar dinamita resistente a ella y proveer de un adecuado sistema de drenaje.

La roca tipo II presenta los siguientes inconvenientes:

- Cierta dificultad a la perforación ya que el barreno en su avance al encontrar un plano de fractura inclinado con respecto al eje del taladro tiende a desviarse, de ahí que se recomienda perforar con cuidado.

- La presencia de fracturas o fallas pueden originar el escape de los gases producidos por la explosión.
- Cuando se perfora las alzas pueden haber ciertos desprendimientos de roca en la bóveda.

**c) ROCA TIPO III O TERRENO SUELTO**

Es el tipo de roca de más baja calidad, no presenta mucha consistencia y es necesario colocarle sostenimiento una vez producida la excavación ya que es una roca incapaz de autosostenerse.

En este tipo de roca el material es alterado y existe n fuerte filtración de agua, se debe minimizar el consumo de explosivos y de perforarse taladros con pequeña profundidad.

Al encontrar tipo de roca III debemos de tener en cuenta algunas recomendaciones:

- Situar los taladros alzas y cuadradores no muy cercanos a los bordes de la sección de modo que al ser disparados no aumenten el área de la sección.
- No utilizar mucha dinamita y minimizar el número de los taladros.

- Sostener inmediatamente después de limpiar los escombros.
- Cuando el terreno es extremadamente malo como el que se le denomina terreno panizado, formado por material molido ubicado entre una falla, se recomienda perforar sólo en las zonas consistentes y con barrenos de poca profundidad.

### 3.1.2 TIPOS DE EXPLOSIVOS

En el mercado se dispone de una variada gama de productos por lo que será necesaria una buena elección del tipo de explosivo para que este se adecue satisfactoriamente a ciertas condiciones de trabajo que la roca le impondrá, como la presencia de agua, fracturas, dureza, etc.

Así por ejemplo cuando la roca es muy dura o cuando existe presencia de agua se recomienda utilizar la dinamita gelatinosa (gelatina especial) o cuando la roca es medianamente dura la semigelatina tipo semexsa.

El parámetro más importante que relaciona el tipo de roca con el explosivo viene a ser el llamado **Factor de carga** que es el peso de dinamita en Kg, que será necesario utilizar para desplazar  $1 \text{ m}^3$  de roca y esta expresado en  $\text{Kg./m}^3$

Es lógico suponer que una roca tipo I tendrá un mayor factor de carga que una roca tipo II o tipo III.

Veamos algunos valores del factor de carga utilizadas para voladuras en rocas tomadas del manual de EXSA

| ROCA | FACTOR DE CARGA (Kg./m <sup>3</sup> ) |
|------|---------------------------------------|
| I    | 2.0 - 3.0                             |
| II   | 1.4 - 2.2                             |
| III  | 0.8 - 1.5                             |

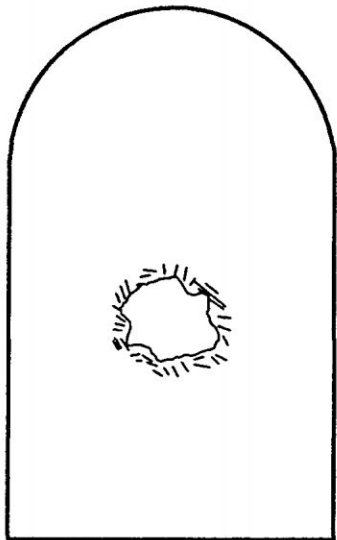
Por ejemplo, si tenemos una roca tipo II podemos usar un factor de carga de 1.5. Esto quiere decir que por cada m<sup>3</sup> de roca debemos consumir 1.5 Kg de dinamita.

### 3.1.3 FORMACION DE CARAS LIBRES

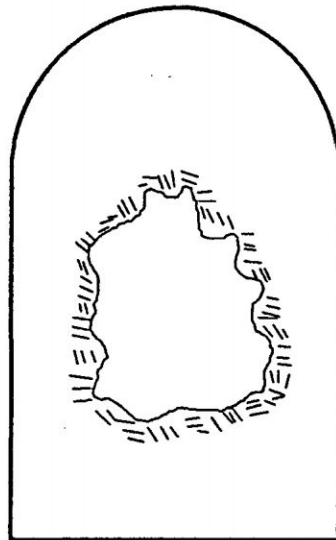
El éxito de un diseño de voladura dependerá en gran parte de la salida que tenga la roca hacia un frente llamado cara libre.

Para que la roca sea desplazada por la voladura es necesario que exista como minimas dos caras libres, como ocurre con un talud. Pero como la sección de un túnel sólo dispone de una cara libre que es el mismo frente se hace necesario la creación de otra cara libre para lo cual se debe perforar los taladros de alivios.

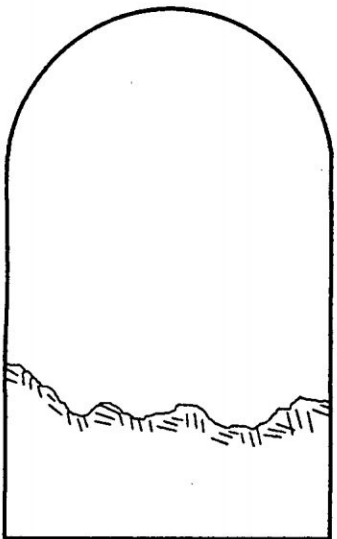
La ubicación y dirección de los taladros se debe de hacer de tal manera que los primeros taladros en salir sean los arranques aprovechando la cara libre creada por los alivios, al salir estos abrirán aún más la cara libre.



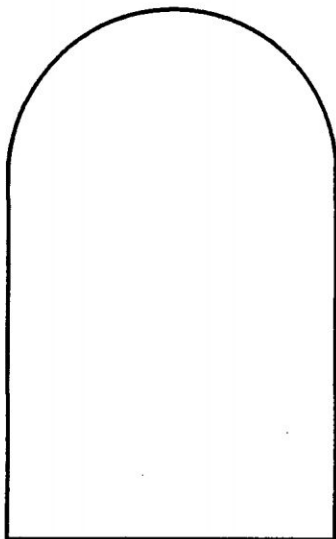
1º Sale el arranque



2º Salen las ayudas



3º Salen las alzas y cuadradores



4º Salen los arrastres



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**FORMACION DE CARAS LIBRES**

Escala : S/E

Lámina:

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha : Marzo de 2008

**3-1**

Las ayudas o sea los taladros que rodean a los arranques saldrán con mayor facilidad ya que actuarán sobre una cara libre más amplia.

Finalmente cuando salgan las alzas y cuadradores lo harán sin problema ya que su frente de salida es mas vasto.

Como vemos el éxito del disparo dependerá del éxito de los arranques por lo que deben ser ubicados y perforados controlando su dirección y ser cargados con mayor cantidad de dinamita que los otros taladros.

## **3.2 ECUACIONES MATEMATICAS APLICADAS**

### **3.2.1 CALCULO DEL NÚMERO DE TALADROS**

Para calcular el número de taladros (no incluye los alivios cuyo número es escogido de acuerdo al criterio del ingeniero) existen una serie de fórmulas que nos darán una idea de cuantos taladros deberán de perforarse en la sección.

Es importante señalar que estas fórmulas son sólo referenciales y estarán sujetas a cambios si es que el diseñador así lo estima conveniente.

a) FÓRMULAS DE PROTODIAKONOV

Está dada por:  $N = K\sqrt{FS}$

Donde:

N: número de taladros cargados.

K: coeficientes que depende del valor del ángulo de fricción

así  $K= 2$  para un  $\phi$  alto

$K= 2.7$  para un  $\phi$  bajo

S: área de la sección (m<sup>2</sup>)

F: factor de resistencia

| F    | GRADO DE DUREZA | ROCAS             |
|------|-----------------|-------------------|
| 20   | Muy dura        | Cuarcita          |
| 15   | Dura            | Caliza silificada |
| 10-8 | Semi dura-suave | Granito, caliza   |
| 6-4  | Muy suave       | Caliza fracturada |

Ejemplo:

Hallar el número de taladros en un túnel cuya sección es de 6 m<sup>2</sup> y atraviesa una cuarcita de bajo ángulo de fricción.

De tablas :  $K = 2.7$   $F = 20$

Dato :  $S = 6$

$$N = 2.7\sqrt{20 \times 6} = 29.5 = 30 \text{ Taladros cargados}$$

## b) FÓRMULA DEL GEÓLOGO

Se expresa así:  $N = 2.7 \sqrt{\frac{F}{S}}$

Donde:

N: número de taladros cargados

F: resistencia de la roca a la compresión (Kg./cm<sup>2</sup>)

S: sección del frente (m<sup>2</sup>)

El valor de F se obtiene de:

| F         | TIPO DE ROCA               |
|-----------|----------------------------|
| > 2000    | Cuarcita, gabro, basalto   |
| 1000-2000 | mármol, granito, gneiss    |
| 500-1000  | arenisca, pizarra, lutita  |
| 250-500   | carbón, limonita, esquisto |
| 10-250    | yeso                       |

### Ejemplo:

Hallar el número de taladros en un túnel de 6 m<sup>2</sup> de sección que atraviesa una arenisca.

- De tablas F = 1000

- Datos S = 6 m<sup>2</sup>

$$N = 2.7 \sqrt{\frac{1000}{6}} = 35 \text{ taladros cargados}$$

### c) FÓRMULA PRÁCTICA

Es la fórmula más usada para los cálculos y a su vez la que da mejores resultados ya que hace intervenir una serie de parámetros que le dan bastante confiabilidad.

La fórmula esta dada por: 
$$N = \frac{P}{E} + KS$$

Donde:

N: número de taladros cargados

P: perímetro de la sección (m)

E: distancia promedio de los taladros por m y esta dado por:

$$E = 0.45 - 05.0 \text{ m en roca tipo I}$$

$$E = 0.05 - 0.65 \text{ m en roca tipo II}$$

$$E = 0.65 - 0.75 \text{ m en roca tipo III}$$

K: factor de roca, que tiene los siguientes valores

$$K = 2 \text{ en roca tipo I}$$

$$K = 1.5 \text{ en roca tipo II}$$

$$K = 1 \text{ en roca tipo III}$$

S: área de la seccion (m<sup>2</sup>)

Generalmente el perímetro de la sección se calcula con la siguiente fórmula: 
$$P = 4\sqrt{S}$$

#### Ejemplo:

Calcular el número de taladros en un frente de 7 m<sup>2</sup> de sección que pasa por roca tipo II.

De acuerdo a los datos tomamos:

$$E = 0.6$$

$$K = 1.5$$

$$P = 4\sqrt{S} = 4\sqrt{7} = 10.58 \text{ m}$$

Entonces:

$$N = N = \frac{P}{E} + KS$$

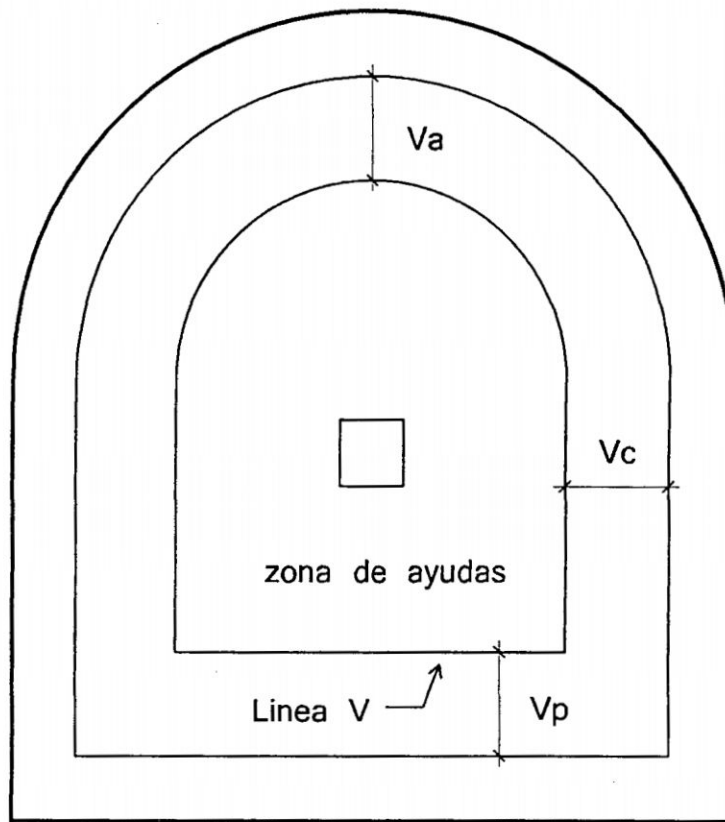
$$N = N = \frac{10.58}{0.6} + 1.5 \times 7 = 28 \text{ Taladros cargados}$$

Un parámetro muy importante que aunque no interviene en la fórmula, tiene mucha importancia en la distribución de los taladros, es el bourden o línea resistencia  $V$  que viene a ser la distancia de una hilera de talaros a otra, o la distancia medida perpendicularmente del barreno a la cara libre en el caso de los arranques (ver Lámina N° 3.2)

El valor de  $V$  en caso de distancias entre hileras de taladros esta en función del espaciamiento entre los mismos. René Gustaffson recomienda los siguientes valores:

| <u>TALADRO</u>  | <u>V</u> |
|---|----------|
| - De taladro de pisos a hilera de ayuda                 | E/1.1    |
| - De cuadradores y taladros de techo de hilera de ayuda | E/1.2    |

donde  $E$  expresa el espaciamiento entre taladros de la misma hilera.



- Va: distancia de la linea V a las alzas.  
 Vc: distancia de la linea V a los cuadradores.  
 Vp: distancia de la linea V a los arrastres.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**DISTRIBUCION DE LOS  
 TALADROS**

Escala : S/E

Lámina:

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha : Marzo de 2008

**3-2**

### 3.2.2 DETERMINACION DEL FACTOR DE CARGA

Para determinar la cantidad de carga que debe emplearse en la voladura del frente es necesario utilizar el **factor de carga** que como ya hemos visto, es la cantidad de explosivos en kilos por metro cúbico de roca que se desea disparar.

El factor de carga que debe utilizar en túneles se encuentra establecido mediante tablas que son el resultado de una serie de experimentaciones y no sólo depende del tipo de roca sino también del área de la sección.

Al respecto tenemos la siguiente tabla que nos da los valores del factor de carga en Kg/m<sup>3</sup> elaborado por EXSA:

TABLA N° 3.1

| TIPO DE ROCA       | SECCION              |                       |
|--------------------|----------------------|-----------------------|
|                    | 1 a 5 m <sup>2</sup> | 5 a 10 m <sup>2</sup> |
| Tipo I (Dura)      | 3.0 - 2.5            | 2.5 - 2.0             |
| Tipo II (Semidura) | 2.2 - 1.8            | 1.8 - 1.4             |
| Tipo III (Blanda)  | 1.5 - 1.0            | 1.0 - 0.8             |

### 3.3 METODOLOGIA EN EL DISEÑO

El procedimiento para realizar el diseño de voladuras es el siguiente:

1. Calcular el volumen de roca a disparar, multiplicando el área de la sección por la longitud del barreno.

$$V = S L$$

Donde:

V: volumen de la sección (m<sup>3</sup>)

S: área de la sección (m<sup>2</sup>)

L: longitud del barreno (m)

2. Escoger el factor de carga considerando el tipo de roca y el área de la sección (tabla N° 3.1)
3. Determinar el peso de explosivo a utilizar para lo cual se multiplica el volumen de roca a disparar por el factor de carga.

$$W = Fc V$$

Donde:

W: peso de explosivo (kg)

Fc: factor de carga (Kg./m<sup>3</sup>)

V: volumen de roca (m<sup>3</sup>)

4. Calcular el número de taladros cargados. para ellos se recomienda hacer uso de la fórmula práctica:

$$N = \frac{P}{E} + KS$$

5. Escoger el tipo de arranque que a criterio del ingeniero producirá mejores resultados, el número de taladros de alivio dependerá del tipo de roca, y se recomienda aplicar:

- 4 alivios en roca tipo I
- 2 alivios en roca tipo II
- 1 alivios en roca tipo III

6. El número total de taladro sera la suma de los taladros cargados, más los de alivio.

7. El siguiente paso consistirá en distribuir los taladros uniformemente en la sección para lo cual debe seguirse los siguientes criterios:

- a. En primer lugar los taladros perifericos (alzas, cuadradotes y arrastres) en una línea imaginaria ubicada a 10 cm del borde de la sección.

En tuneles de sección pequeña (área menor de 10m<sup>2</sup>) las alzas serán por lo general:

- 3 en roca tipo III
- 4 en roca tipo II
- 4 a 5 en roca tipo I

El número de cuadradores en un lado del hastial se calculará:

$$Nc = \frac{H - 0.1}{E}$$

Donde:

Nc: es el número de cuadradotes en el hastial

H: es la altura del hastial en m

E: será el espaciamiento de los cuadradores:

E = 0.5 m en roca tipo I

E = 0.6 m en roca tipo II

E = 0.7 m en roca tipo III

El número de arrastres será dado por la siguiente fórmula:

$$Na = \frac{B - 0.2}{E + 1}$$

Donde:

Na: es el número de arrastres

B: será la base de la sección (m)

E: espaciamiento de los arrastres generalmente es de 0.5 a 0.6 m, independiente del tipo de roca.

- b. A continuación se ubicará el arranque en la parte central de la sección.

- c. Luego se limita la zona de ayuda que se encontrará entre el arranque y la línea V.

La línea V se marcará en función del espaciamiento entre taladros periféricos de acuerdo a:

$$V_{\text{piso}} = \frac{E_{\text{piso}}}{1.1}$$

$$V_{\text{cuad}} = \frac{E_{\text{CUAD}}}{1.2}$$

$$V_{\text{alza}} = V_{\text{CUAD}}$$

Es en la zona de ayudas donde tratará de distribuirse uniformemente los taladros restantes de modo que se complete el número de taladros calculados con la fórmula. No siempre puede coincidir el número de taladros que se distribuyen adecuadamente en la sección con los que se ha calculado en la fórmula pudiendo existir diferencias de hasta 3 taladros.

8. Estimar la cantidad de carga por taladro (carga promedial) dividiendo el peso del explosivo ya calculado, entre el número de taladros cargados.

$$X = \frac{W}{N}$$

Donde:

X: carga promedial

W: peso de explosivo

N: número de taladros cargados.

9. Distribuir la cantidad de carga por talaro de la siguiente manera:

Carga del arranque : 1.5 a 1.3 veces la carga promedial X

Carga de las ayudas : 1.0 a 1.1 veces la carga promedial X

Carga de cuadradores : 0.8 a 0.9 veces la carga promedial X

Carga de alzas : 0.8 a 0.9 veces la carga promedial X

Carga de arrastres : 1.1 a 1.3 veces la carga promedial X

10. Indicar la secuencia de salida para lo cual se especificará los números de faneles que deberan utilizarse y que son los que generarán el retardo entre los diferentes tipos de taladros, recomendándose que se emplee faneles rojos en el arranque y faneles blancos en los demás taladros.

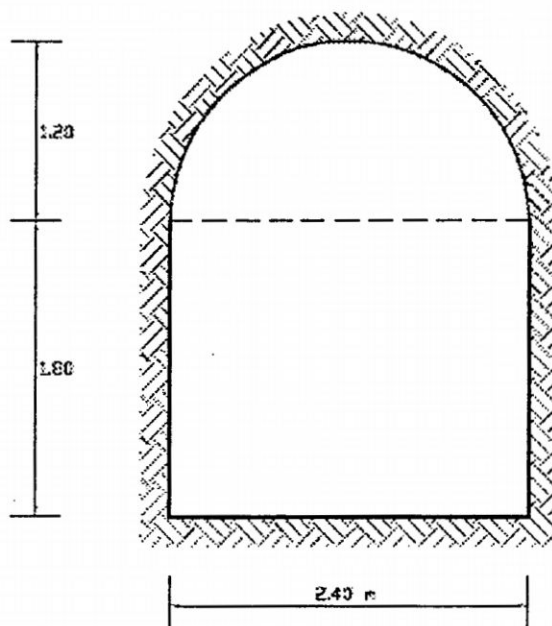
Al señalar que se debe respetar el orden de salida, se refiere a que se deberán de utilizar faneles de números menores a mayores comenzando con los arranques e ir subiendo la numeración a las ayudas, cuadradores y alzas, para finalmente colocarle los números mayores a los arrastres.

### 3.4 CASOS TÍPICOS DE DISEÑO I

En la siguiente sección hacer el diseño de la voladura para las siguientes condiciones de roca:

- 3.4.1 Roca tipo I (Cuarcita)
- 3.4.2 Roca tipo II (Granito fracturado)
- 3.4.3 Roca tipo III (Panizo)

Se dispone de dinamita gelatinosa 1 1/8" x 8" al 80% y de



dinamita semexa 1 1/8" x 8" al 65%

#### 3.4.1 DISEÑO EN ROCA TIPO I

a.- Cálculo del Volumen de roca

$$V = S \times L$$

S : Área

$$S = \frac{(1.8) \times (2.4) + (3.1416) \times (1.2)^2}{2} = 6.6m^2$$

L : Se perforará con barrenos de 8'

$$L = 2.4 \text{ mt.}$$

$$V = (6.6) \times (2.4) = 15.84 \text{ m}^3$$

**b.- Factor de carga**

De acuerdo a la tabla 3.1, tomamos  $F_c = 2.5 \text{ Kg./m}^3$

**c.- Peso de explosivo**

$$W = F_c \times V$$

$$W = 2.5 \times 15.84 = 39.60 \text{ Kg.}$$

**d.- Cálculo del numero de taladros**

$$N = \frac{P}{E + KS}$$

Donde:  $P = 4\sqrt{S} = 10.27$

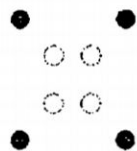
$$K = 2$$

$$E = 0.4$$

$$N = \frac{10.27}{0.4 + 2 \times 6.6} = 39 \text{ Taladros cargados}$$

**e.- Elección del Arranque**

Usaremos un arranque del tipo coromant con 4 taladros de



alivio

**f.- Distribución de los taladros**

Se colocarán 4 alzas, y el número de cuadradores en cada hastial será:

$$Nc = \frac{H - 0.1}{E}$$

$$Nc = \frac{0.8 - 0.1}{0.5} = 3$$

- Los arrastres serán 5

- La línea V estará definida por:

$$V_{\text{piso}} = \frac{E}{1.1} = \frac{0.5}{1.1} = 0.45$$

$$V_{\text{cuad}} = V_{\text{alza}} = \frac{E}{1.2} = \frac{0.5}{1.2} = 0.4$$

Distribuyendo los taladros cargados en toda la sección vemos que el verdadero número es de 38 (ver Lámina N° 3.3) los cuales están repartidos de la siguiente manera:

| TIPO                    | NÚMERO |
|-------------------------|--------|
| Arranque                | 4      |
| Ayudas                  | 19     |
| Cuadradores             | 6      |
| Alzas                   | 4      |
| Arrastres               | 5      |
| -----                   |        |
| Total taladros cargados | 38     |

El número total de taladros a perforar, serán los taladros cargados más los taladros de alivio

$$Nt = 38 + 4 = 42 \text{ taladros perforados.}$$

g.- Carga Promedial por taladro

$$X = \frac{W}{N} = \frac{39.6}{38} = 1.04 \text{ Kg/taladro}$$

h.- Distribución de la carga promedial

|             |        |                 |
|-------------|--------|-----------------|
| Arranque    | 1.5X = | 1.56 Kg/taladro |
| Ayudas      | 1.0X = | 1.04 Kg/taladro |
| Cuadradores | 0.8X = | 0.83 Kg/taladro |
| Alzas       | 0.8X = | 0.83 Kg/taladro |
| Arrastres   | 1.1X = | 1.14 Kg/taladro |

Sabemos el peso de los cartuchos disponibles:

- 1 cartucho de 1 1/8" x 8" al 80% pesa 0.152 Kg.
- 1 cartucho de 1 1/8" x 8" al 35% pesa 0.139 Kg.

Entonces vemos lo que corresponde a cada uno:

- Arranque 10 cartuchos de 80%
- Ayudas 3 cartuchos de 80% + 4 cartuchos de 65%
- Cuadradores 1 cartuchos de 80% + 5 cartuchos de 65%
- Alzas 1 cartuchos de 80% + 5 cartuchos de 65%
- Arrastres 3 cartuchos de 80% + 5 cartuchos de 65%

Como se observa, siempre debe de colocarse la dinamita de mayor potencia en el arranque. En las ayudas y arrastres se combinaran los dos tipos de explosivos que en los cuadradores y alzas solo debe utilizarse la gelatina para el cebo ya que los demás cartuchos serán de 65%.

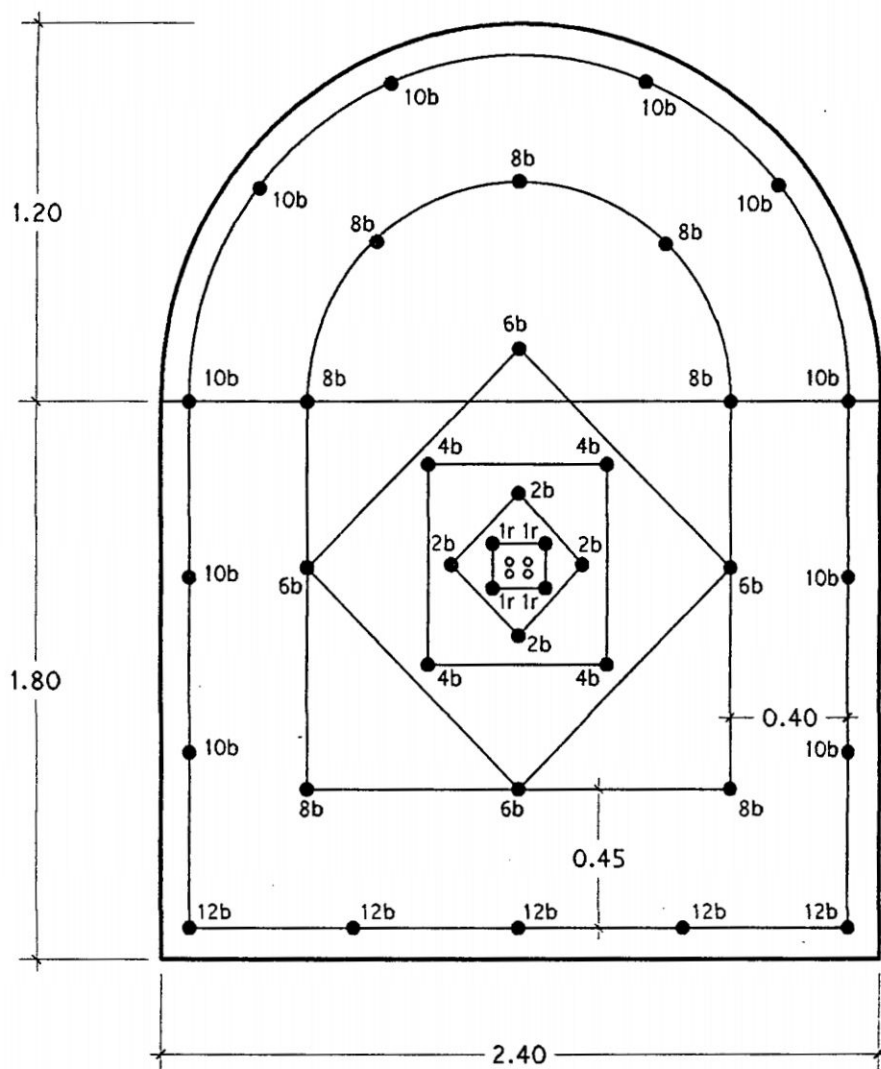
### i.- Elección de los Faneles

En este caso vamos a usar los siguientes números de faneles para lograr una adecuada generación de caras libres.

|                   |                  |       |
|-------------------|------------------|-------|
| Arranque          | fanel rojo N1    | (1r)  |
| Ayudas            | fanel blanco N2  | (2b)  |
|                   | fanel blanco N4  | (4b)  |
|                   | fanel blanco N6  | (6b)  |
|                   | fanel blanco N8  | (8b)  |
| Cuadrados y alzas | fanel blanco N10 | (10b) |
| Arrastres         | fanel blanco N12 | (12b) |

Se recomienda utilizar faneles rojos en el arranque y blancos en los otros. La secuencia con la que saldrán los taladros será la siguiente:

- Primero saldrán los arranques del 1 rojo
- Luego saldrán las ayudas 2 blanco, que se desplazarán sobre la cara libre dejada por la salida del arranque.
- Acto seguido saldrán las ayudas 4 blanco, que le harán la cara libre a las ayudas 6 blancos y estas a su vez a los 8 blanco
- Los cuadradores y alzas 10 blancos podrán salir ahora con gran facilidad ya que tiene una amplia cara libre dejada por la salida de las ayudas.
- Los últimos en salir serán los arrastres blancos 12



| TALADRO     | N  | CARGA                                   |
|-------------|----|---|
| ALVIO       | 4  | o                                       |
| ARRANQUE    | 4  | 10 CARTUCHOS DE 80%                     |
| AYUDAS      | 19 | 3 CARTUCHOS DE 80% + 4 CARTUCHOS DE 65% |
| CUADRADORES | 6  | 1 CARTUCHOS DE 80% + 5 CARTUCHOS DE 85% |
| ALZAS       | 4  | 1 CARTUCHOS DE 80% + 5 CARTUCHOS DE 65% |
| ARRASTRES   | 5  | 3 CARTUCHOS DE 80% + 5 CARTUCHOS DE 65% |

NOTA: PROFUNDIDAD DE TALADROS DE 8 pies

#### ACCESORIOS DE VOLADURA

PENTACORD: 5 ml.

GUIA LENTA: 3 ml.

FULMINANTE: 2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

#### DISEÑO DE ROCA TIPO I

Escala : S/E

Lámina:

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha : Marzo de 2008

3-3

### 3.4.2 DISEÑO EN ROCA TIPO II

#### a.- Cálculo del Volumen de Roca

$$V = S \times L$$

S: Área

$$S = \frac{(1.8) \times (2.4) \times (3.1416) \times (1.2)^2}{2} = 6.6m^2$$

L: se perforará con barreno de 8`

$$L = 2.4 \text{ mt.}$$

$$V = (6.6) \times (2.4) = 15.84 \text{ m}^3$$

#### b.- Factor de carga

De acuerdo a la tabla 3.1, entonces  $F_c = 1.8 \text{ Kg/m}^3$

#### c.- Peso de Explosivo

$$W = F_c \times V$$

$$W = 1.8 \times 15.84 = 28.51 \text{ Kg}$$

#### d.- Cálculo del Numero de Taladros

$$N = \frac{P}{E + KS}$$

$$\text{Donde: } P = 4\sqrt{S} = 10.27$$

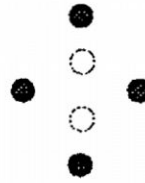
$$K = 1.5$$

$$E = 0.5$$

$$N = \frac{10.27}{0.5 + 1.5 \times 6.6} = 30 \text{ Taladros cargados}$$

**e.- Elección del Arranque**

Usaremos un arranque del tipo coromant con 2 taladros de alivio



**f.- Distribución de los Taladros**

Se colocarán 4 alzas. El número de cuadradores en cada hastial será:

$$N_c = \frac{H - 0.1}{E}$$

$$N_c = \frac{0.8 - 0.1}{0.6} = 3$$

- Los arratres seran 4
- La línea V estara definida por:

$$V_{\text{piso}} = \frac{E}{1.1} = \frac{0.6}{1.1} = 0.55$$

$$V_{\text{cuad}} = V_{\text{alza}} = \frac{E}{1.2} = \frac{0.6}{1.2} = 0.5$$

Distribuyendo los taladros cargados en toda la sección vemos que el verdadero número es de 31 (Lámina N° 3.4) los cuales estan repartidos de la siguiente manera:

| TIPO       | NÚMERO |
|------------|--------|
| Arranque   | 4      |
| Ayudas     | 13     |
| Cudradores | 6      |
| Alzas      | 4      |
| Arrastres  | 4      |

**TOTAL DE TALADROS CARGADOS 31**

El número total de taladros a perforar serán los taladros cargados más los alivios

$$N_t = 31 + 2 = 33 \text{ taladros perforados}$$

**g.- Carga Promedial por Taladro**

$$X = \frac{W}{N} = \frac{28.51}{31} = 0.92 \text{ Kg. / taladro}$$

**h.- Distribución de la Carga Promedial**

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| Arranque  | 1.5X = 1.38 Kg/taladro |
| Ayudas    | 1.0X = 0.92 Kg/taladro |
| Cuadrados | 0.8X = 0.74 Kg/taladro |
| Alzas     | 0.8X = 0.74 Kg/taladro |
| Arrastres | 1.1X = 1.01 Kg/taladro |

Sabemos el peso de los cartuchos disponibles:

- 1 cartucho de 1 1/8" x 8" al 80% pesa 0.152 Kg.
- 1 cartucho de 1 1/8" x 8" al 65% pesa 0.139 Kg.

Entonces vemos lo que le corresponde a cada uno:

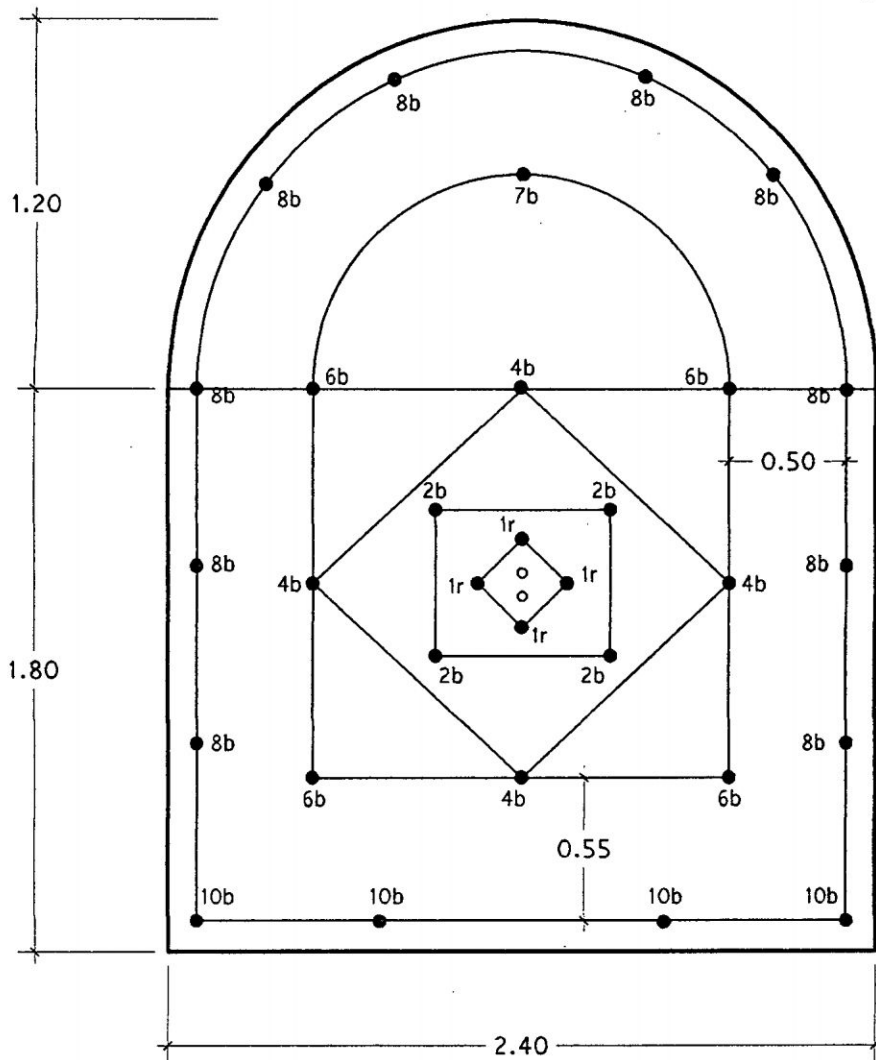
- Arranque 9 cartuchos de 80%
- Ayudas 3 cartuchos de 80% + 3 cartuchos de 65%
- Cuadradores 1 cartuchos de 80% + 4 cartuchos de 65%
- Alzas 1 cartuchos de 80% + 4 cartuchos de 65%
- Arrastres 3 cartuchos de 80% + 4 cartuchos de 65%

Como ya hemos visto, siempre en los arranques irá la dinamita de mayor potencia disponible (en este caso la gelatina de 80%). En los cuadradores y alzas la gelatina sólo se empleará para los cebos.

#### i.- Elección de los Faneles

Al igual que el diseño anterior, debemos usar los números de faneles que nos daran un retardo adecuado y crearán las caras libres en forma adecuada.

|                     |                  |       |
|---------------------|------------------|-------|
| Arranque            | fanel rojo N1    | (1r)  |
| Ayudas              | fanel blanco N2  | (2b)  |
|                     | fanel blanco N4  | (4b)  |
|                     | fanel blanco N6  | (6b)  |
|                     | fanel blanco N8  | (7b)  |
| Cuadradores y alzas | fanel blanco N10 | (8b)  |
| Arrastres           | fanel blanco N12 | (10b) |



| TALADRO     | N  | CARGA                                   |
|-------------|----|---|
| ALIVIO      | 2  | °                                       |
| ARRANQUE    | 4  | 9 CARTUCHOS DE 80%                      |
| AYUDAS      | 13 | 3 CARTUCHOS DE 80% + 3 CARTUCHOS DE 65% |
| CUADRADORES | 6  | 1 CARTUCHOS DE 80% + 4 CARTUCHOS DE 65% |
| ALZAS       | 4  | 1 CARTUCHOS DE 80% + 4 CARTUCHOS DE 65% |
| ARRASTRES   | 4  | 3 CARTUCHOS DE 80% + 4 CARTUCHOS DE 65% |

NOTA: PROFUNDIDAD DE TALADROS DE 8 pies

#### ACCESORIOS DE VOLADURA

PENTACORD: 5 ml.

GUIA LENTA: 3 ml.

FULMINANTE COMUN: 2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

#### DISEÑO EN ROCA TIPO II

Escala : S/E

Lámina:

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha : Marzo de 2008

3-4

### 3.4.3 DISEÑO EN ROCA TIPO III

#### a.- Cálculo del Volumen de Roca

$$V = S \times L$$

S: Área

$$S = \frac{(1.8)(2.4) + (3.1416)(1.2)^2}{2} = 6.6m^2$$

L: Se perforará con barreno de 8'

$$L = 1.5 \text{ mt.}$$

$$V = (6.6) \times (1.5) = 9.9 \text{ m}^3$$

#### b.- Factor de Carga

De acuerdo a la tabla 3.1, tomamos  $F_c = 1.0 \text{ Kg. /m}^3$

#### c.- Peso de Explosivo

$$W = F_c \times V$$

$$W = 1.0 \times 9.9 = 9.9 \text{ Kg.}$$

#### d.- Cálculo del Numero de Taladros

$$N = \frac{P}{E + KS}$$

$$\text{Donde: } P = 4\sqrt{S} = 10.27$$

$$K = 1.0$$

$$E = 0.6$$

$$N = \frac{10.27}{0.4 + 1.0 \times 6.6} = 24 \text{ Taladros cargados}$$

**e.- Elección del Arranque**

Usaremos un arranque del tipo coromant con 1 taladro de alivio



**f.- Distribución de los Taladros**

Se colocaran 3 alzas, y el número de cuadradores en cada hastial será:

$$N_c = \frac{H - 0.1}{E}$$

$$N_c = \frac{1.8 - 0.1}{0.7} = 2$$

- Los arrastres serán 4
- La línea V estara definida por:

$$V_{\text{piso}} = \frac{E}{1.1} = \frac{0.7}{1.1} = 0.64$$

$$V_{\text{cuad}} = V_{\text{alza}} = \frac{E}{1.2} = \frac{0.7}{1.2} = 0.6$$

Distribuyendo los taladros cargados en toda la sección vemos que el verdadero número es de 27 (ver Lámina N° 3.5) los cuales estan repartidos de la siguiente manera:

| TIPO                           | NÚMERO    |
|--------------------------------|-----------|
| Arranque                       | 3         |
| Ayudas                         | 13        |
| Cuadradores                    | 4         |
| Alzas                          | 3         |
| Arrastres                      | 4         |
| <b>Total Taladros Cargados</b> | <b>27</b> |

El número total de taladros a perforar serán los taladros cargados más los alivios

$$N_t = 27 + 1 = 28 \text{ taladros perforados}$$

**g.- Carga Promedial por Taladro**

$$X = \frac{W}{N} = \frac{9.9}{27} = 0.37 \text{ Kg. / taladro}$$

**h.- Distribución de la Carga Promedial**

|             |                        |
|-------------|------------------------|
| Arranque    | 1.5X = 0.56 Kg/taladro |
| Ayudas      | 1.0X = 0.37 Kg/taladro |
| Cuadradores | 0.8X = 0.30 Kg/taladro |
| Alzas       | 0.8X = 0.30 Kg/taladro |
| Arrastres   | 1.1X = 1.41 Kg/taladro |

Sabemos el peso de los cartuchos disponibles:

- 1 cartucho de 1 1/8" x 8" al 80% pesa 0.152 Kg.
- 1 cartucho de 1 1/8" x 8" al 65% pesa 0.139 Kg.

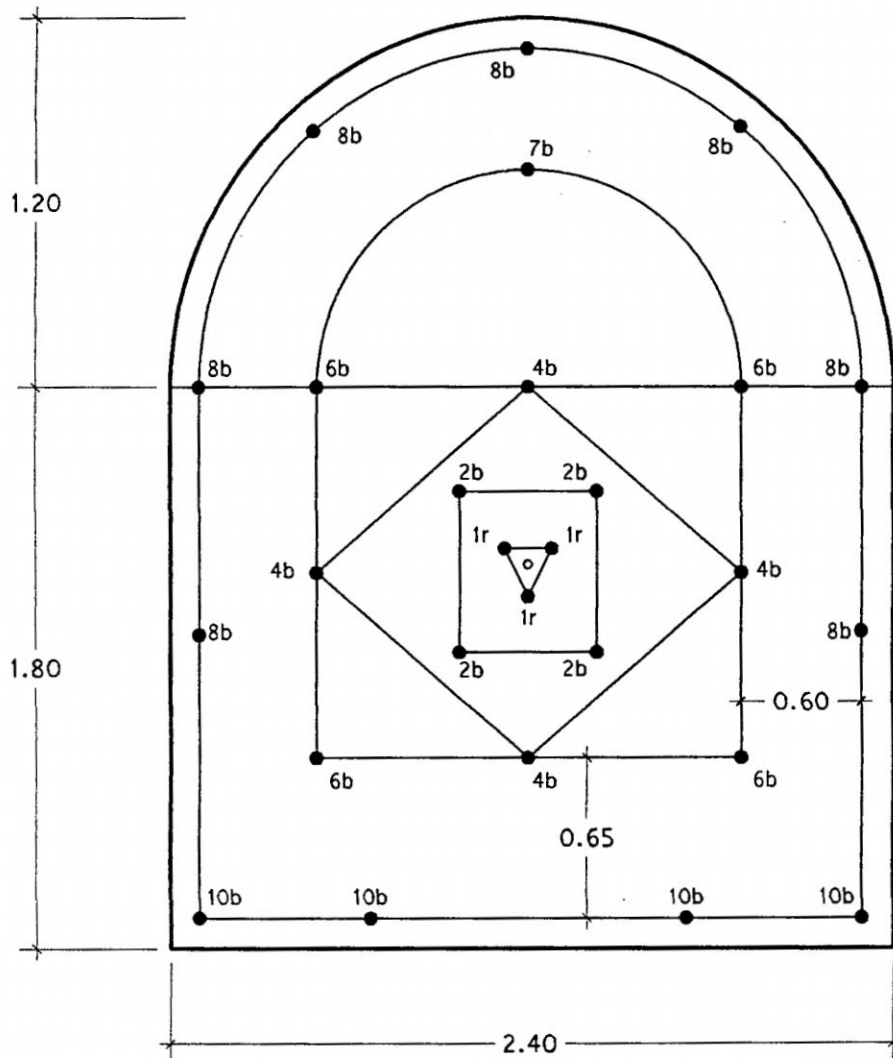
Entonces vemos el peso de los cartuchos disponibles:

- Arranque 4 cartuchos de 80%
- Ayudas 1 cartuchos de 80% + 2 cartuchos de 65%
- Cuadradores 1 cartuchos de 80% + 1 cartuchos de 65%
- Alzas 1 cartuchos de 80% + 1 cartuchos de 65%
- Arrastres 1 cartuchos de 80% + 2 cartuchos de 65%

### **i.- Elección de los Faneles**

En este diseño usaremos los siguientes tipos:

|                   |                  |       |
|-------------------|------------------|-------|
| Arranque          | fanel rojo N1    | (1r)  |
| Ayudas            | fanel blanco N2  | (2b)  |
|                   | fanel blanco N4  | (4b)  |
|                   | fanel blanco N6  | (6b)  |
|                   | fanel blanco N7  | (7b)  |
| Cuadrados y alzas | fanel blanco N8  | (8b)  |
| Arrastres         | fanel blanco N10 | (10b) |



| TALADRO     | N  | CARGA                                  |
|-------------|----|--|
| ALIVIO      | 1  | o                                      |
| ARRANQUE    | 3  | 4 CARTUCHOS DE 80%                     |
| AYUDAS      | 13 | 1 CARTUCHO DE 80% + 2 CARTUCHOS DE 65% |
| CUADRADORES | 4  | 1 CARTUCHO DE 80% + 1 CARTUCHO DE 65%  |
| ALZAS       | 3  | 1 CARTUCHO DE 80% + 1 CARTUCHO DE 65%  |
| ARRASTRES   | 4  | 1 CARTUCHO DE 80% + 2 CARTUCHO DE 65%  |

NOTA: PROFUNDIDAD DE TALADROS DE 5 pies

#### ACCESORIOS DE VOLADURA

PENTACORD: 5 ml.

GUIA LENTA: 3 ml.

FULMINANTE COMUN: 2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

#### DISEÑO EN ROCA TIPO III

Escala: S/E

Lámina:

Autor: Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha: Marzo de 2008

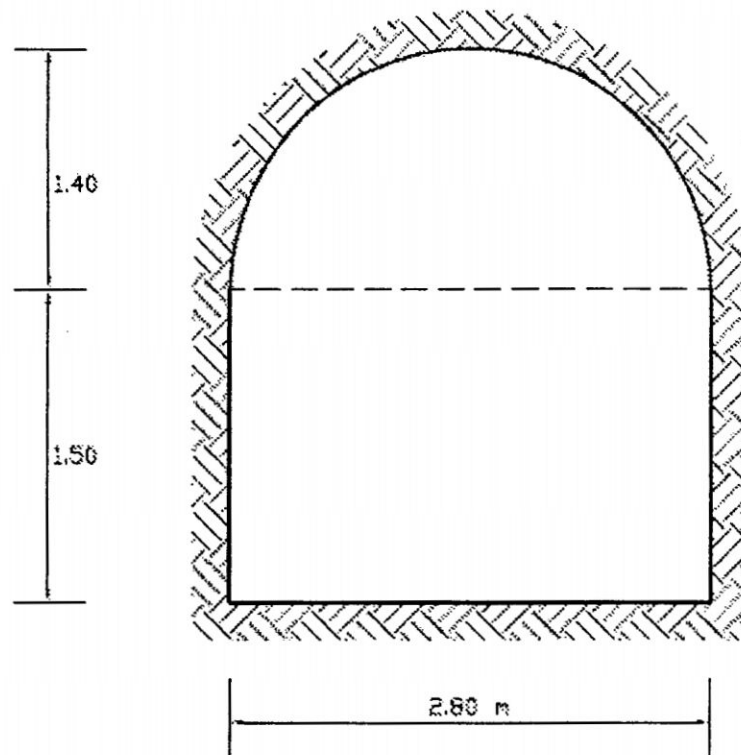
3-5

### 3.5 CASOS TÍPICOS DE DISEÑO II

En la siguiente sección hacer el diseño de la voladura para las siguientes condiciones de roca:

- 3.5.1 Roca tipo I (Cuarçita)
- 3.5.2 Roca tipo II (Granito fracturado)
- 3.5.3 Roca tipo III (Panizo)

Se dispone de dinamita gelatinosa 1 1/8" x 8" al 80% y de dinamita semexa 1 1/8" x 8" al 65%



#### 3.5.1 DISEÑO EN ROCA TIPO I

a.- Cálculo del Volumen de Roca

$$V = S \times L$$

S: Área

$$S = \frac{(2.8)(1.5) + (3.1416)(1.4)^2}{2} = 7.28m^2$$

L: Se perforará con barrenos de 8'

$$L = 2.4 \text{ mt.}$$

$$V = (7.28) \times (2.4) = 17.47 \text{ m}^3$$

**b.- Factor de Carga**

De acuerdo a la tabla 3.1, tomamos  $F_c = 2.5 \text{ Kg. /m}^3$

**c.- Peso de Explosivo**

$$W = F_c \times V$$

$$W = 2.5 \times 17.47 = 43.68 \text{ Kg.}$$

**d.- Cálculo del Numero de Taladros**

$$N = \frac{P}{E + KS}$$

Donde:  $P = 4\sqrt{S} = 10.79$

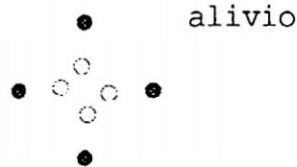
$$K = 2$$

$$E = 0.4$$

$$N = \frac{10.79}{0.4 + 2 \times 7.28} = 42 \text{ Taladros cargados}$$

**e.- Elección del Arranque**

Usaremos un arranque del tipo coromant con 4 taladros de



f.- Distribución de los Taladros

Se colocarán 5 alzas. El número de cuadradores en cada hastial será:

$$Nc = \frac{H - 0.1}{E}$$

$$Nc = \frac{1.5 - 0.1}{0.5} = 3$$

- Los arrastres serán 5
- La línea V estará definida por:

$$V_{\text{piso}} = \frac{E}{1.1} = \frac{0.5}{1.1} = 0.45$$

$$V_{\text{cuad}} = V_{\text{alza}} = \frac{E}{1.2} = \frac{0.5}{1.2} = 0.4$$

Distribuyendo los taladros cargados en toda la sección vemos que el verdadero número es de 38 (ver Lámina N° 3-6) los cuales están repartidos de la siguiente manera:

| TIPO                           | NÚMERO    |
|--------------------------------|-----------|
| Arranque                       | 4         |
| Ayudas                         | 22        |
| Cuadradores                    | 6         |
| Alzas                          | 5         |
| Arrastres                      | 5         |
| <b>Total taladros cargados</b> | <b>42</b> |

El número total de taladros a perforar, serán los taladros cargados más los taladros de alivio

$$Nt = 42 + 4 = 46 \text{ taladros perforados.}$$

**g.- Carga Promedial por taladro**

$$X = \frac{W}{N} = \frac{43.68}{42} = 1.04 \text{ Kg. /taladro}$$

**h.- Distribución de la Carga Promedial**

|             |        |                 |
|-------------|--------|-----------------|
| Arranque    | 1.5X = | 1.56 Kg/taladro |
| Ayudas      | 1.0X = | 1.04 Kg/taladro |
| Cuadradores | 0.8X = | 0.83 Kg/taladro |
| Alzas       | 0.8X = | 0.83 Kg/taladro |
| Arrastres   | 1.1X = | 1.14 Kg/taladro |

Sabemos el peso de los cartuchos disponibles:

- 1 cartucho de 1 1/8" x 8" al 80% pesa 0.152 Kg.
- 1 cartucho de 1 1/8" x 8" al 35% pesa 0.139 Kg.

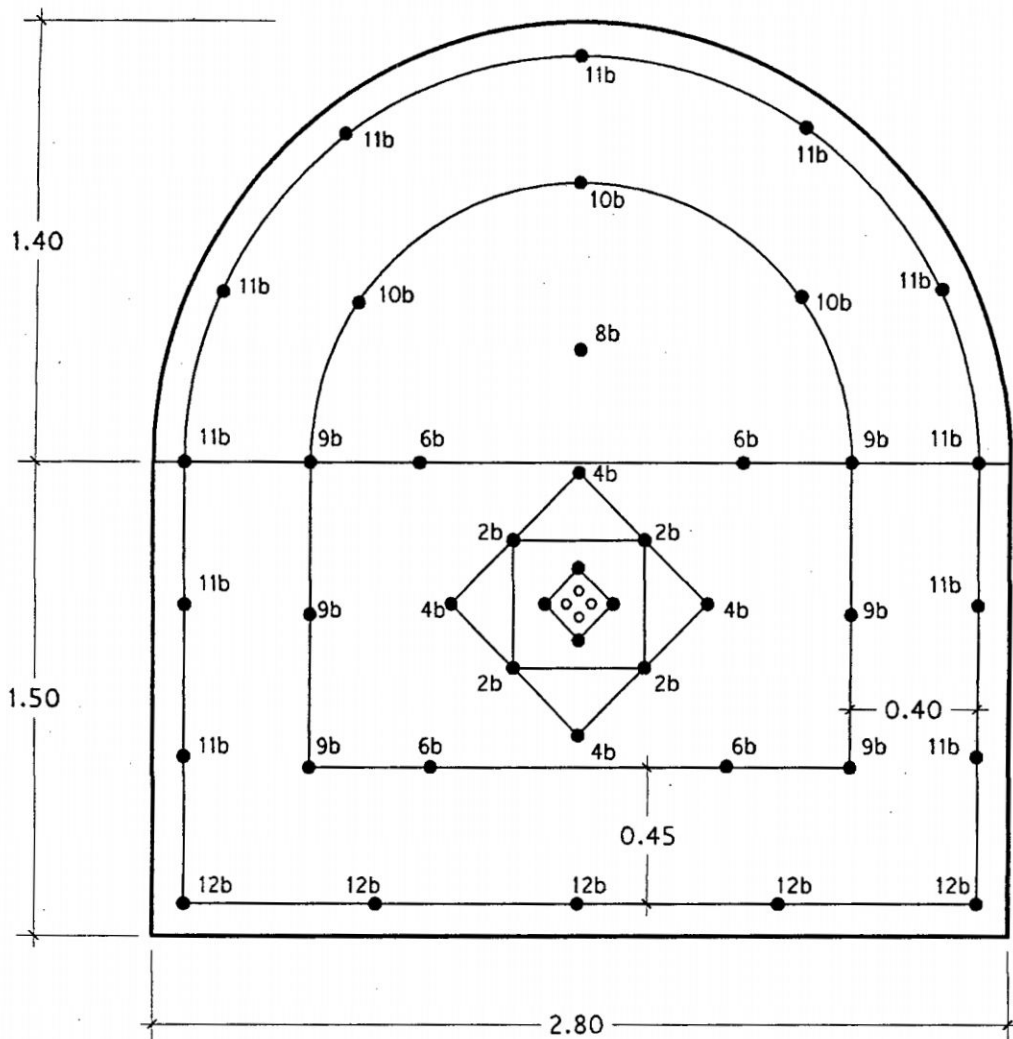
Entonces vemos lo que corresponde a cada uno:

- Arranque 10 cartuchos de 80%
- Ayudas 3 cartuchos de 80% + 4 cartuchos de 65%
- Cuadradores 1 cartuchos de 80% + 5 cartuchos de 65%
- Alzas 1 cartuchos de 80% + 5 cartuchos de 65%
- Arrastres 3 cartuchos de 80% + 5 cartuchos de 65%

**i.- Elección de los Faneles**

En este caso vamos a usar los siguientes números de faneles para lograr una adecuada creación de caras libres.

|                     |                  |       |
|---------------------|------------------|-------|
| Arranque            | fanel rojo N1    | (1r)  |
| Ayudas              | fanel blanco N2  | (2b)  |
|                     | fanel blanco N4  | (4b)  |
|                     | fanel blanco N6  | (6b)  |
|                     | fanel blanco N8  | (8b)  |
|                     | fanel blanco N9  | (9b)  |
|                     | fanel blanco N10 | (10b) |
| Cuadradores y alzas | fanel blanco N11 | (11b) |
| Arrastres           | fanel blanco N12 | (12b) |



| TALADRO     | N  | CARGA                                   |
|-------------|----|---|
| ALIVIO      | 4  | °                                       |
| ARRANQUE    | 4  | 10 CARTUCHOS DE 80%                     |
| AYUDAS      | 22 | 3 CARTUCHOS DE 80% + 4 CARTUCHOS DE 65% |
| CUADRADORES | 6  | 1 CARTUCHOS DE 80% + 5 CARTUCHOS DE 65% |
| ALZAS       | 5  | 1 CARTUCHOS DE 80% + 5 CARTUCHOS DE 65% |
| ARRASTRES   | 5  | 3 CARTUCHOS DE 80% + 5 CARTUCHOS DE 65% |

NOTA: PROFUNDIDAD DE TALADROS DE 8 pies

#### ACCESORIOS DE VOLADURA

PENTACORD: 5 ml.

GUIA LENTA: 3 ml,

FULMINANTE COMUN: 2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

#### DISEÑO EN ROCA TIPO I

Escala: S/E

Lámina:

Autor: Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha: Marzo de 2008

3-6

### 3.5.2 DISEÑO EN ROCA TIPO II

#### a.- Cálculo del Volumen de Roca

$$V = S \times L$$

S: Área

$$S = \frac{(2.8) \times (1.5) + (3.1416) \times (1.4)^2}{2} = 7.28 m^2$$

L: Se perforará con barreno de 8'

$$L = 2.4 \text{ mt.}$$

$$V = (7.28) \times (2.4) = 17.47 \text{ m}^3$$

#### b.- Factor de Carga

De acuerdo a la tabla 3.1, tomamos  $F_c = 1.8 \text{ Kg. /m}^3$

#### c.- Peso de Explosivo

$$W = F_c \times V$$

$$W = 1.8 \times 17.47 = 31.45 \text{ Kg.}$$

#### d.- Cálculo del Numero de Taladros

$$N = \frac{P}{E + KS}$$

Donde:  $P = 4\sqrt{S} = 10.79$

$$K = 0.5$$

$$E = 0.5$$

$$N = \frac{10.79}{0.5 + 1.5 \times 7.28} = 33 \text{ Taladros cargados.}$$

**e.- Elección del Arranque**

Usaremos un arranque del tipo coromant con 2 taladros de alivio



**f.- Distribución de los Taladros**

Se colocaran 5 alzas, y el número de cuadradores en cada hastial será:

$$N_c = \frac{H - 0.1}{E}$$

$$N_c = \frac{1.8 - 0.1}{0.6} = 3$$

- Los arrastres serán 4
- La línea V estara definida por:

$$V_{\text{piso}} = \frac{E}{1.1} = \frac{0.6}{1.1} = 0.55$$

$$V_{\text{cuad}} = V_{\text{alza}} = \frac{E}{1.2} = \frac{0.6}{1.2} = 0.5$$

Distribuyendo los taladros cargados en toda la sección vemos que el verdadero número es de 36 (ver Lámina N° 3.7) los cuales estan repartidos de la siguiente manera:

| TIPO                           | NÚMERO    |
|--------------------------------|-----------|
| Arranque                       | 4         |
| Ayudas                         | 18        |
| Cuadradores                    | 4         |
| Alzas                          | 5         |
| Arrastres                      | 5         |
| <b>TOTAL TALADROS CARGADOS</b> | <b>36</b> |

El número total de taladros a perforar, serán los taladros cargados más los taladros de alivio

$$N_t = 36 + 2 = 38 \quad \text{taladros perforados}$$

**g.- Carga Promedial por Taladro**

$$X = \frac{W}{N} = \frac{31.45}{36} = 0.87 \text{ Kg. /taladro}$$

**h.- Distribución de la Carga Promedial**

|             |                        |
|-------------|------------------------|
| Arranque    | 1.5X = 1.31 Kg/taladro |
| Ayudas      | 1.0X = 0.87 Kg/taladro |
| Cuadradores | 0.8X = 0.70 Kg/taladro |
| Alzas       | 0.8X = 0.70 Kg/taladro |
| Arrastres   | 1.1X = 0.96 Kg/taladro |

Sabemos el peso de los cartuchos disponibles:

- 1 cartucho de 1 1/8" x 8" al 80% pesa 0.152 Kg.
- 1 cartucho de 1 1/8" x 8" al 35% pesa 0.139 Kg.

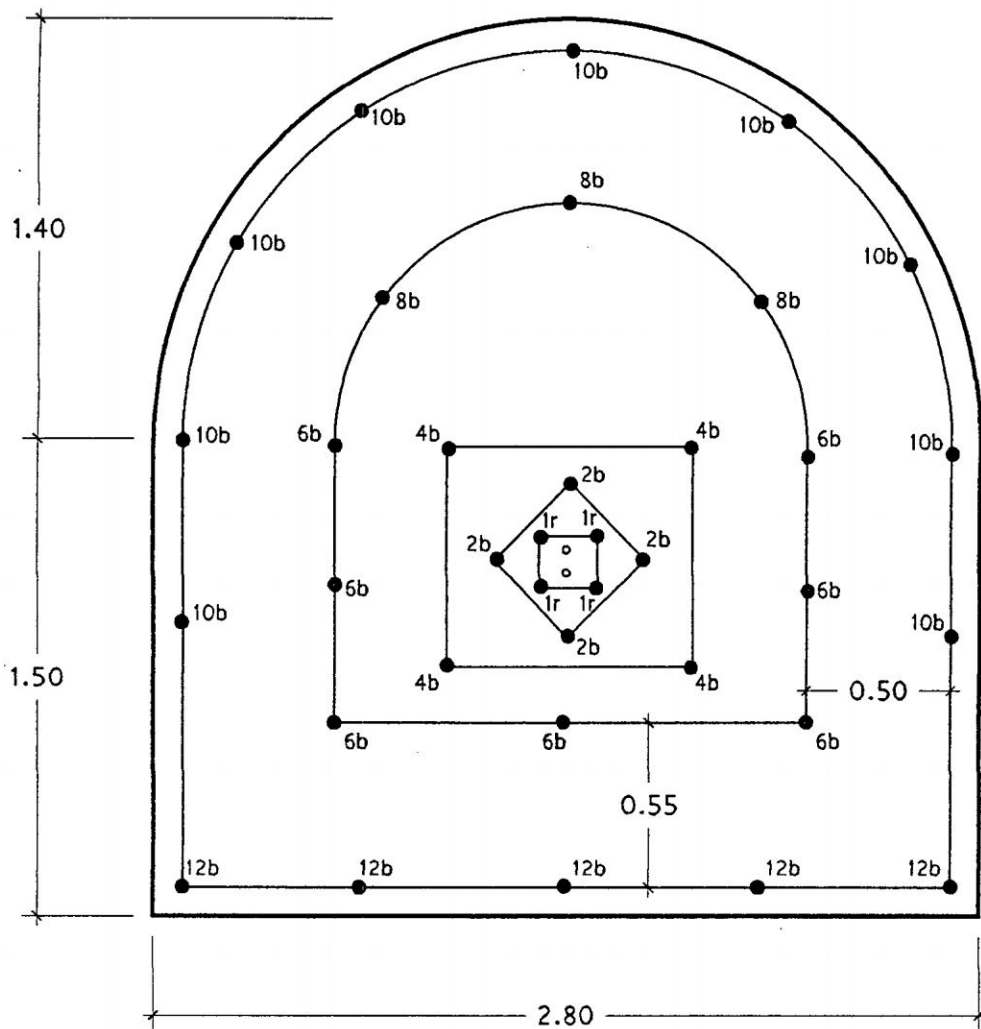
Entonces vemos lo que corresponde a cada uno:

- Arranque 9 cartuchos de 80%
- Ayudas 3 cartuchos de 80% + 3 cartuchos de 65%
- Cuadradores 1 cartuchos de 80% + 4 cartuchos de 65%
- Alzas 1 cartuchos de 80% + 4 cartuchos de 65%
- Arrastres 3 cartuchos de 80% + 4 cartuchos de 65%

### i.- Elección de los Faneles

Al igual que el diseño anterior debemos usar los números de faneles que nos darán un retardo adecuado y crearán las caras libres en forma adecuada.

|                   |                  |       |
|-------------------|------------------|-------|
| Arranque          | fanel rojo N1    | (1r)  |
| Ayudas            | fanel blanco N2  | (2b)  |
|                   | fanel blanco N4  | (4b)  |
|                   | fanel blanco N6  | (6b)  |
|                   | fanel blanco N8  | (8b)  |
| Cuadrados y alzas | fanel blanco N10 | (10b) |
| Arrastres         | fanel blanco N12 | (12b) |



| TALADRO     | N  | CARGA                                   |
|-------------|----|---|
| ALIVIO      | 2  | o                                       |
| ARRANQUE    | 4  | 9 CARTUCHOS DE 80%                      |
| AYUDAS      | 18 | 3 CARTUCHOS DE 80% + 3 CARTUCHOS DE 65% |
| CUADRADORES | 4  | 1 CARTUCHOS DE 80% + 4 CARTUCHOS DE 65% |
| ALZAS       | 5  | 1 CARTUCHOS DE 80% + 4 CARTUCHOS DE 65% |
| ARRASTRES   | 5  | 3 CARTUCHOS DE 80% + 4 CARTUCHOS DE 65% |

NOTA: PROFUNDIDAD DE TALADROS DE 8 pies

#### ACCESORIOS DE VOLADURA

PENTACORD: 5 ml.

GUIA LENTA: 3 ml.

FULMINANTE COMUN: 2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

#### DISEÑO EN ROCA TIPO II

Escala : S/E

Lámina:

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha : Marzo de 2008

3-7

### 3.5.3 DISEÑO EN ROCA TIPO III

#### a.- Cálculo del Volumen de Roca

$$V = S \times L$$

S: Área

$$S = \frac{(2.8) \times (1.5) + (3.1416) \times (1.4)^2}{2} = 7.28 m^2$$

L: se perforará con barreno de 5'

$$L = 1.5 \text{ mt.}$$

$$V = (7.28) \times (1.5) = 10.92 \text{ m}^3$$

#### b.- Factor de Carga

De acuerdo a la tabla 3.1, tomamos  $F_c = 1.0 \text{ Kg. /m}^3$

#### c.- Peso de Explosivo

$$W = F_c \times V$$

$$W = 1.0 \times 10.92 = 10.92 \text{ Kg.}$$

#### d.- Calculo del Numero de Taladros

$$N = \frac{P}{E + KS}$$

$$\text{Donde: } P = 4\sqrt{S} = 10.79$$

$$K = 1.0$$

$$E = 0.6$$

$$N = \frac{10.79}{0.6 + 1.0 \times 7.28} = 25 \text{ Taladros cargados.}$$

**e.- Elección del Arranque**

Usaremos un arranque del tipo "pata de gallo" con 1 taladro de alivio



**f.- Distribución de los Taladros**

Se colocaran 3 alzas, y el número de cuadradores en cada hastial será:

$$N_c = \frac{H - 0.1}{E}$$

$$N_c = \frac{1.5 - 0.1}{0.7} = 2$$

- los arrastres serán 5
- la línea V estará definida por:

$$V_{\text{piso}} = \frac{E}{1.1} = \frac{0.7}{1.1} = 0.64$$

$$V_{\text{cuad}} = V_{\text{alza}} = \frac{E}{1.2} = \frac{0.7}{1.2} = 0.6$$

Distribuyendo los taladros cargados en toda la sección vemos que el verdadero número es de 27 (ver Lámina N° 3.9) los cuales estan repartidos de la siguiente manera:

| TIPO                           | NÚMERO    |
|--------------------------------|-----------|
| Arranque                       | 3         |
| Ayudas                         | 12        |
| Cuadradores                    | 4         |
| Alzas                          | 3         |
| Arrastres                      | 5         |
| <b>TOTAL TALADROS CARGADOS</b> | <b>27</b> |

El número total de taladros a perforar, serán los taladros cargados más los taladros de alivio

$$N_t = 27 + 1 = 28 \quad \text{taladros perforados}$$

**g.- Carga Promedial por Taladro**

$$X = \frac{W}{N} = \frac{10.92}{27} = 0.40 \text{ Kg. /taladro}$$

**h.- Distribución de la Carga Promedial**

|             |                        |
|-------------|------------------------|
| Arranque    | 1.5X = 0.60 Kg/taladro |
| Ayudas      | 1.0X = 0.40 Kg/taladro |
| Cuadradores | 0.8X = 0.32 Kg/taladro |
| Alzas       | 0.8X = 0.32 Kg/taladro |
| Arrastres   | 1.1X = 0.44 Kg/taladro |

Sabemos el peso de los cartuchos disponibles:

- 1 cartucho de 1 1/8" x 8" al 80% pesa 0.152 Kg.
- 1 cartucho de 1 1/8" x 8" al 35% pesa 0.139 Kg.

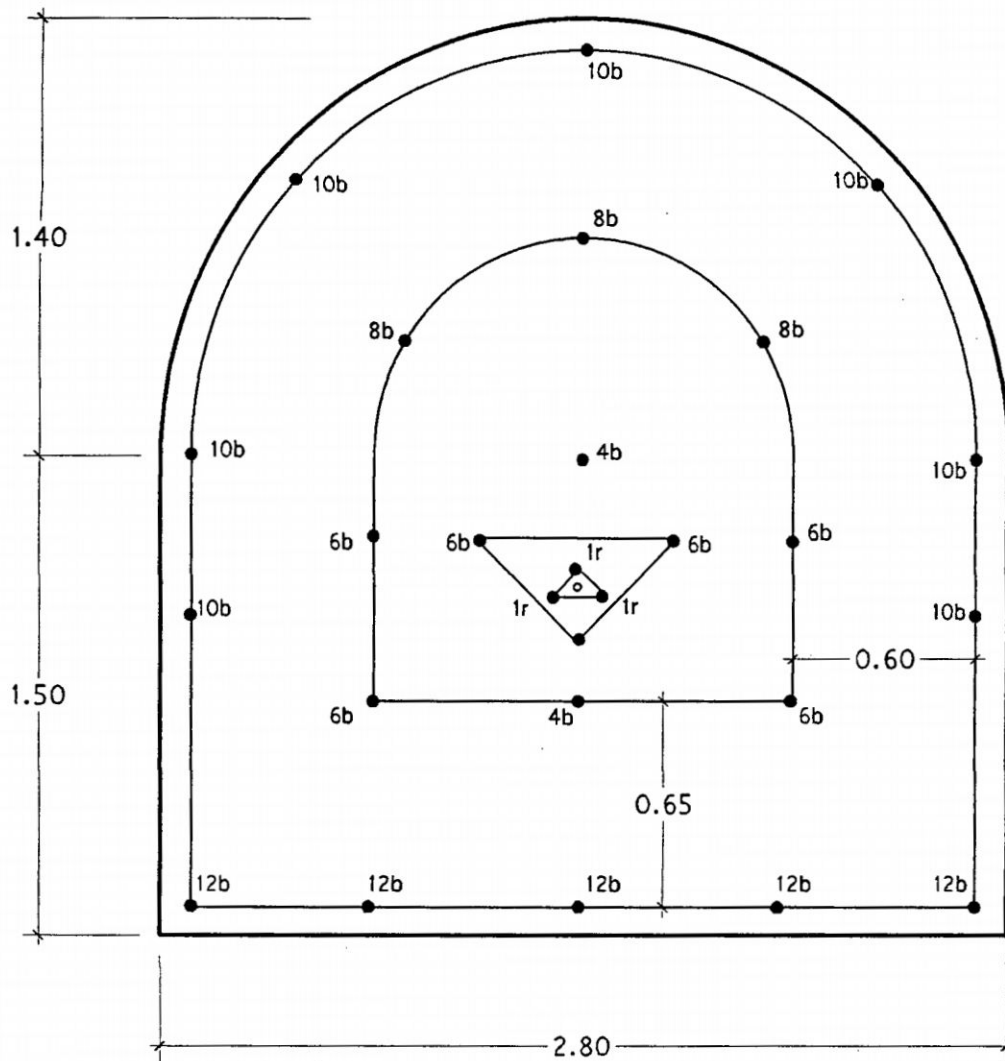
Entonces vemos lo que corresponde a cada uno:

- Arranque 4 cartuchos de 80%
- Ayudas 1 cartuchos de 80% + 2 cartuchos de 65%
- Cuadradores 1 cartuchos de 80% + 1 cartuchos de 65%
- Alzas 1 cartuchos de 80% + 1 cartuchos de 65%
- Arrastres 1 cartuchos de 80% + 2 cartuchos de 65%

**i.- Elección de los Faneles**

En este diseño usaremos los siguientes tipos:

|                   |                  |       |
|-------------------|------------------|-------|
| Arranque          | fanel rojo N1    | (1r)  |
| Ayudas            | fanel blanco N2  | (2b)  |
|                   | fanel blanco N4  | (4b)  |
|                   | fanel blanco N6  | (6b)  |
|                   | fanel blanco N8  | (8b)  |
| Cuadrados y alzas | fanel blanco N10 | (10b) |
| Arrastres         | fanel blanco N12 | (12b) |



| TALADRO     | N  | CARGA                                  |
|-------------|----|--|
| ALIVIO      | 1  | °                                      |
| ARRANQUE    | 3  | 4 CARTUCHOS DE 80%                     |
| AYUDAS      | 12 | 1 CARTUCHO DE 80% + 2 CARTUCHOS DE 65% |
| CUADRADORES | 4  | 1 CARTUCHO DE 80% + 1 CARTUCHO DE 65%  |
| ALZAS       | 3  | 1 CARTUCHO DE 80% + 1 CARTUCHO DE 65%  |
| ARRASTRES   | 5  | 2 CARTUCHO DE 80% + 1 CARTUCHO DE 85%  |

NOTA : PROFUNDIDAD DE TALADROS 5 pies

#### ACCESORIO DE VOLADURA

PENTACORD : 5 ml.

GUIA LENTA : 3 ml.

FULMINANTE COMUN : 2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

#### DISEÑO EN ROCA TIPO III

Escala : S/E

Lámina:

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha : Marzo de 2008

3-8

## **CAPITULO IV**

# **CICLO DE EXCAVACION**

### **4.1 GENERALIDADES**

En el proceso de excavaciones de un túnel se distinguen 5 etapas bien definidas que vienen a formar lo que se denomina "ciclo de excavación" y son:

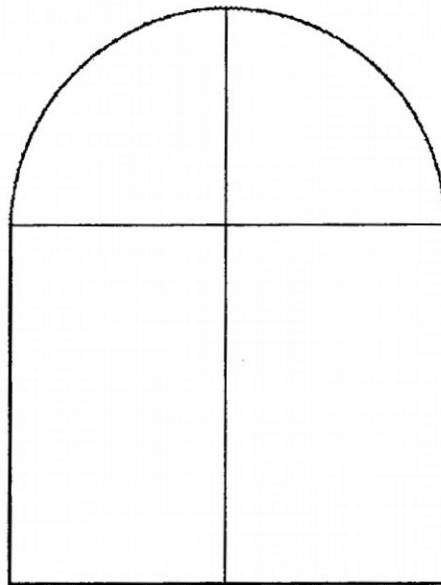
- \* Trazos para perforación
- Perforación
- Carga y disparo
- Ventilación
- Limpieza

Estas etapas están relacionadas unas con otras y la realización de una de ellas está supeditada a la otra.

#### 4.2 TRAZOS PARA PERFORACION

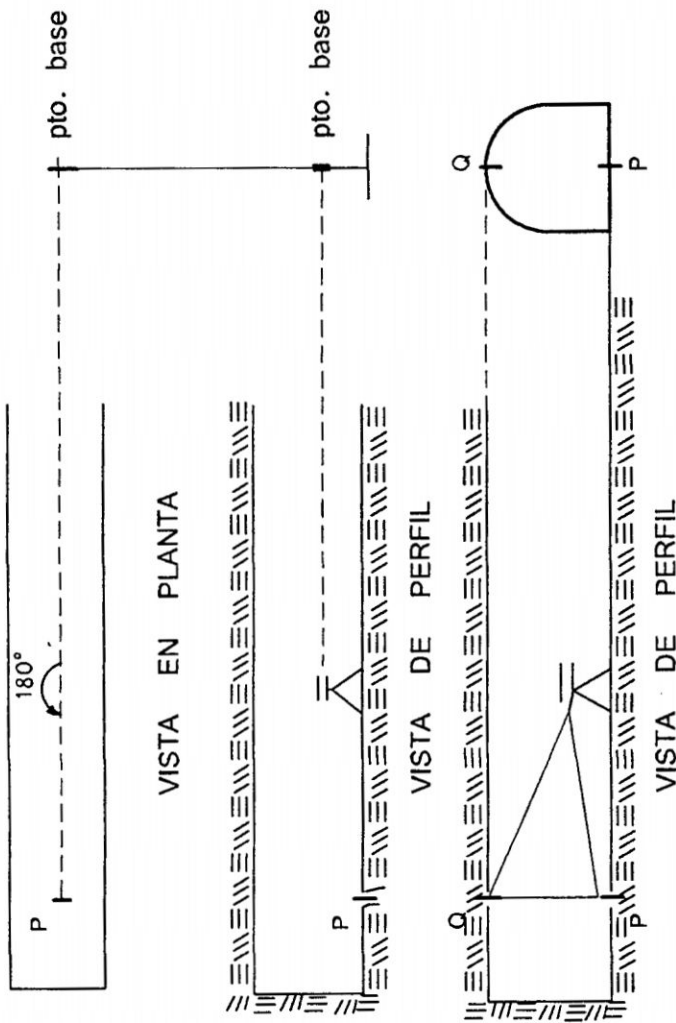
Es la primera etapa en el ciclo de la excavación y está a cargo de la cuadrilla de topógrafos. Consiste en marcar la sección del túnel para limitarla, dejándola expedita para su perforación.

Cuando se haga la marcación del frente deben plantearse dos tipos de línea (ver figura).




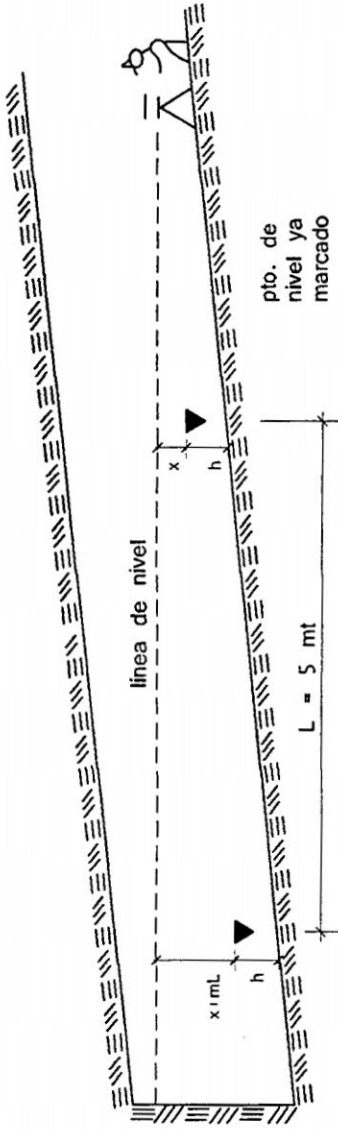
- La línea vertical: que se ubicará en la parte central de la sección y nos indicará el alineamiento del eje del túnel
- La línea horizontal: definirá el diámetro de la semicircunferencia de la bóveda.

Para ubicar las dos líneas en la sección del frente es indispensable que el topógrafo haya ubicado antes **los puntos de alineamiento y los puntos de nivel.**

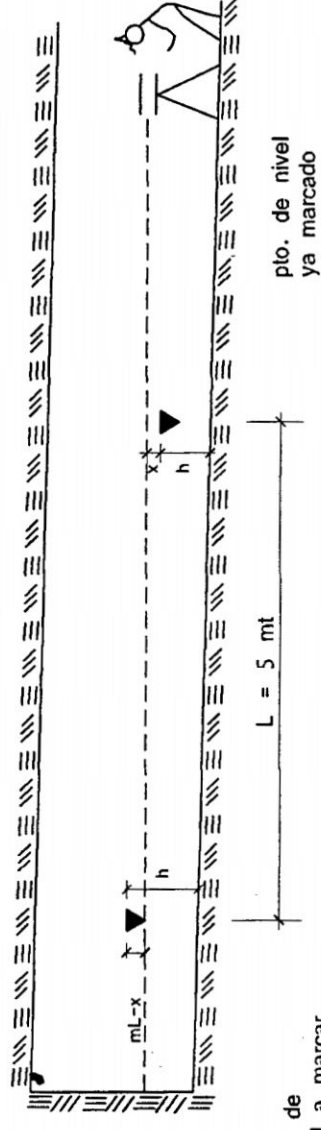


Q pto. en la boveda  
 P pto. en el piso


|  |  |                       |
|--|--|-----------------------|
|   | <b>MARCACION DE LOS PUNTOS DE ALINEAMIENTO</b> |                       |
|  | Escala : S/E                                   | Lámina: 4-1           |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA<br>FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS |  | Fecha : Marzo de 2008 |
| Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía   |  |                       |



pto. de nivel a marcar



pto. de nivel a marcar

|   |  |                                       |
|---|--|---------------------------------------|
|  | <b>MARCACION DE LOS PUNTOS DE NIVEL</b>  |                                       |
|   | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA<br>FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | Escala : S/E<br>Fecha : Marzo de 2008 |
| Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía  |  |                                       |

#### **a) LOS PUNTOS DE ALINEAMIENTO**

Son aquellos que nos permiten controlar el azimut del eje del túnel. Se marca cada 10 m con el teodolito y se ubican en el piso con una estaca (generalmente fierro de 3/8"), y en la bóveda con un clavo.

Para marcar en el piso, el topógrafo visará con el teodolito el punto base (señala el rumbo o alineamiento) establecido afuera del túnel y luego girará el aparato 180 grados (directo e inverso) donde visará el piso.

Una vez que el punto se ha marcado en el piso, se le llevara a la bóveda, para ello el topógrafo visa el punto marcado en el piso y luego bascula el aparato en un plano vertical formado por el punto del piso y el aparato hasta divisar la bóveda donde se coloca un clavo para su señalamiento.

#### **b) LOS PUNTOS DE NIVEL**

Son puntos que nos van a permitir controlar la gradiente o pendiente del túnel (la pendiente estará dada por las especificaciones técnicas).

Estos puntos se marcan con el nivel, generalmente cada 5 m. y se señalan en cada uno de los hastiales de la sección a una cierta altura del piso.

Para su marcación el topógrafo se ubicará en un punto cualquiera y de ahí visará un punto de nivel ya establecido anteriormente en donde su ayudante medirá la distancia de la línea de nivel (horizontal) al punto de nivel (distancia x). acto seguido el topógrafo visará el hastial donde recién se va a marcar el punto de nivel y de ese punto de visación su ayudante deberá subir o bajar según sea el caso una distancia:

$$D = mL \pm x$$

Donde:

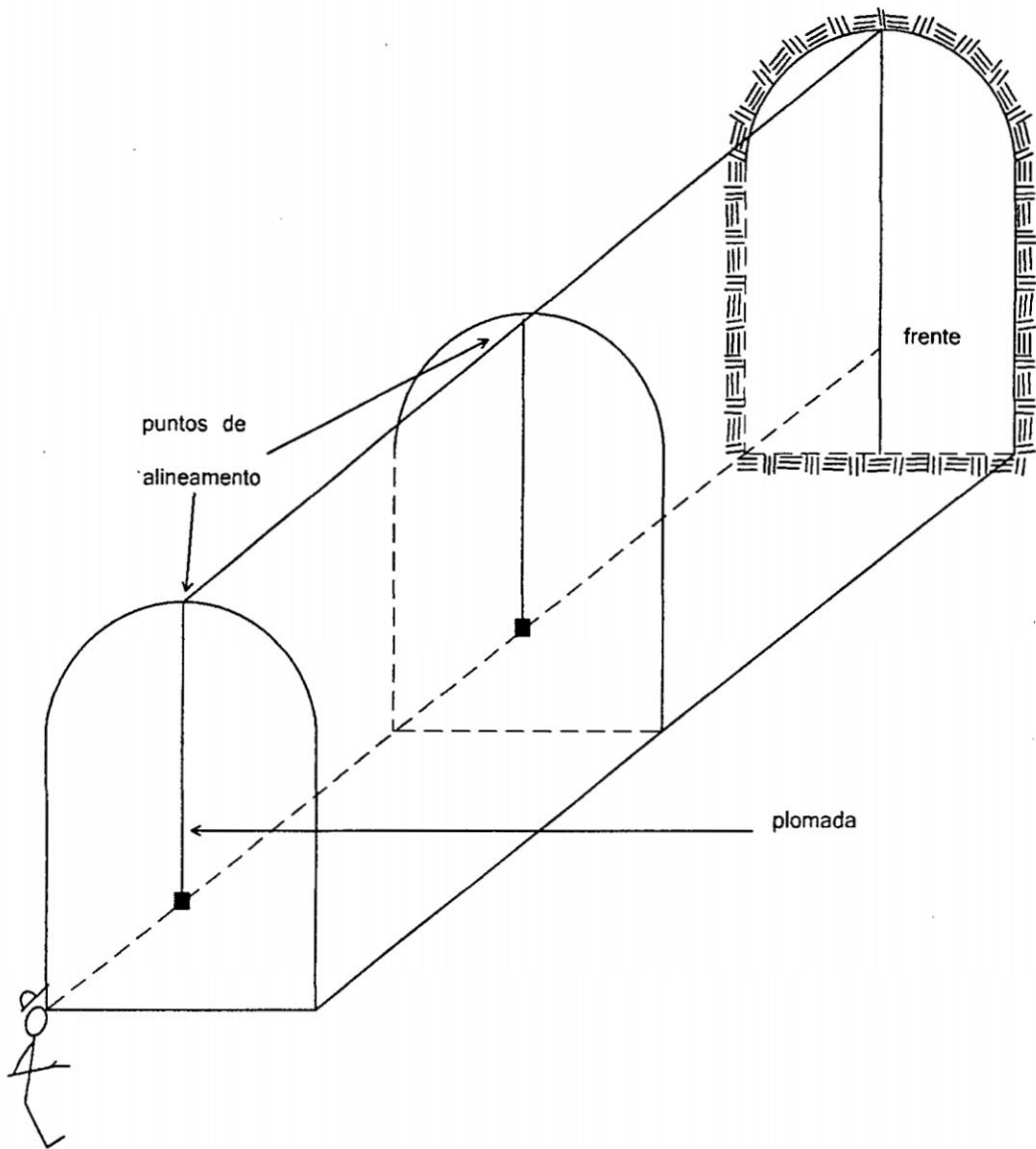
m: es la pendiente del túnel

L: distancia entre 2 puntos de nivel consecutivo (5m)

X: distancia ya medida

Una vez definidos los puntos de alineamiento y nivel, resulta fácil marcar las líneas horizontales y verticales en la sección.

Para marcar la línea vertical se utilizan los puntos de alineamiento ubicados en la bóveda colgándose plomadas en dos puntos consecutivos cercanos al frente, luego el topógrafo divisa el frente mirando las dos plomadas alineadas (línea recta) y seguirá a su ayudante para que este marque la línea vertical de modo que este perfectamente alineada con las dos plomadas.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**MARCACION DE LA LINEA VERTICAL**

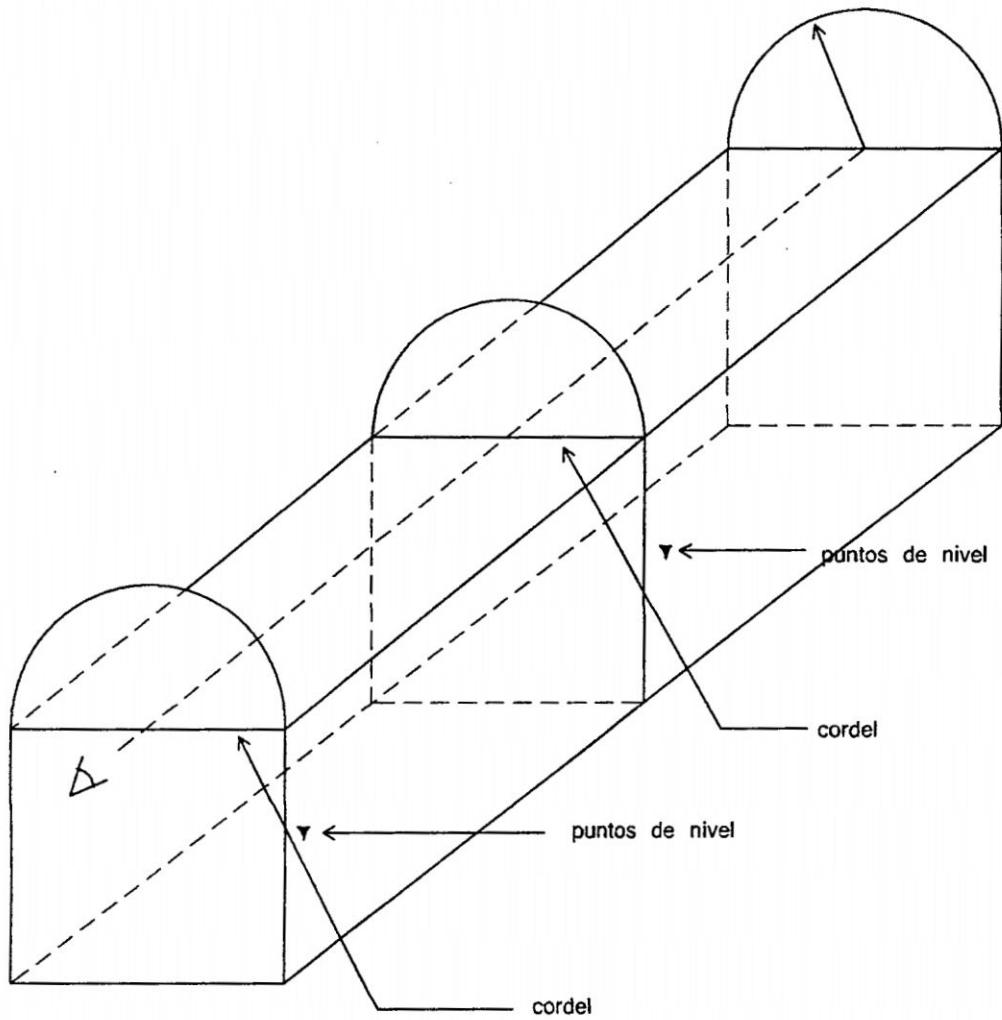
Escala : S/E

Lámina:

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha : Marzo de 2008

**4-3**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**MARCACION DE LA LINEA  
 HORIZONTAL**

Escala : S/E

Lámina:

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha : Marzo de 2008

**4-4**

Para marcar la línea horizontal o diámetro de la semicircunferencia se utilizan los puntos de nivel para lo cual se extiende cordeles en forma horizontal en dos secciones consecutivos donde existan puntos de nivel. Estos cordeles se ubicarán en los diámetros de sus respectivas secciones.

Una vez colocados los cordeles, el topógrafo divisará el frente mirando los dos cordeles en el mismo plano horizontal (como uno solo) y se orientará a su ayudante para que ubique en el frente la línea horizontal de modo que este en el mismo plano horizontal con los dos cordeles.

Definida la línea horizontal se procede a marcar la semicircunferencia con una regla de longitud igual al radio y en cuya punta una brocha con pintura de modo que al girar esta se marca la semicircunferencia.

#### **4.3 PERFORACION**

Es la segunda etapa en el ciclo de la excavación y consiste en abrir en la roca los agujeros de forma cilíndrica y de diámetro determinado (taladros) donde se alojarán los explosivos.

Como ya vimos, el tipo de perforadoras a utilizar en túneles de sección pequeña serán las de tipo Jack Leg, las cuales funcionan con energía neumática (aire comprimido).

Antes de iniciarse la perforación deberá de verificarse si existe la presión suficiente de aire. Una vez hecho esto se procede a conectar las mangueras de aire y agua a cada una de las perforadoras.

Para una sección pequeña se requieren de tres perforadoras cada una de ellas con su respectivo operador (perforistas) y sus ayudantes. Ello significa 3 perforistas más 3 ayudantes perforistas.

Los perforistas y sus ayudantes se distribuirán en la sección de la siguiente manera:

- Un perforista en el lado derecho: será el encargado de perforar los cuadradores derechos, alzas derechas, arrastres derechos y ayudas derechas.
- Un perforista en el lado izquierdo: perforará los cuadradores izquierdos, alzas izquierdas, arrastres izquierdos y ayudas izquierdas.
- Un perforista en el centro: quien debe ser el más experimentado y se encargará de perforar los alivios arranques, ayudas centrales y arrastres centrales.

La función del ayudante perforista es la de colaborar con el operador de la máquina para lo cual tomará el barreno cuando se empiece la perforación de un taladro, hasta que éste

ingrese una cierta longitud (empate) luego su función será la de pisar el pie de avance o empujador de la perforadora para que ésta no retroceda. Asimismo una vez que se ha terminado de perforar un taladro ayudará al perforista a sacar el barreno del taladro empujando con fuerza la máquina hacia fuera.

Una buena perforación debera de mantener un adecuado paralelismo de los taladros para lo cual los perforistas deben ser diestros y experimentados.

Los arrastres deben de perforarse con cierta inclinación hacia abajo de modo que rompan el nivel del piso y faciliten la colocación de los durmientes para la línea.

Se debe comenzar la perforación con las alzas, luego seguirán los cuadradores, arranques, alivios y ayudas para terminar con los arrastres.

La rapidez de la perforación dependerá principalmente del tipo de roca ya que una roca dura, demandará mayor tiempo para ser perforada, que una roca blanda.

Cuando exista presencia de agua se debe colocar una bomba neumática en el frente que permita trabajar en condiciones secas.

Los perforistas deberán conocer el diagrama de voladura que se ha diseñado. Ello significa que sabrán el número de

taladros a perforar, la forma del arranque, el número de taladros de alivio, así como la distribución y el espaciamiento de todos los taladros.

#### **4.4 CARGA Y DISPARO**

Viene a ser la tercera etapa en el ciclo de la excavación y consiste en colocar los cartuchos de dinamita en los taladros que se han perforado en el frente así como comprende la colocación adecuada de los accesorios necesarios para la voladura (guía lenta, fulminate, pentacord, faneles), dejando el frente listo para el disparo.

Antes de cargar se debe revisar la condición y profundidad de los taladros para lo cual deberá de medirse estos, introduciendo varillas de madera de modo que uno pueda asegurarse que han sido perforados hasta su tope.

Cuando existen filtraciones de agua se debe realizar el sopleteo que consiste en inyectar aire comprimido a los taladros, principalmente a los arrastres, así como para expulsar el agua que puede existir en ellos y que afectan la capacidad rompedora de la dinamita.

Lo anteriormente señalado, se hace con el soplete que es un tubo de diámetro pequeño que se ha conectado a una manguera que lo comunica con la tubería de aire principal.

Para introducir y confinar los cartuchos en los taladros deben prepararse los atacadores que son varillas de madera de 2 a 3 m. de longitud que permiten colocar los cartuchos hasta el fondo del taladro y ejercer una presión de confinamiento sobre ellos.

La operación de compactar o confinar la carga en los taladros se denomina atacado. Este proceso se facilita "rayando" el cartucho antes de cargarlo. El "rayado" consiste en hacer dos cortes longitudinales a cada lado y que posibilitan que el cartucho se abra con facilidad dentro del taladro al golpearlo con el atacador.

Cada vez que se introduzca un cartucho deberá atacarse con 2 o 3 golpes de compactación.

La secuencia de cargado en un taladro es la siguiente:

- Colocar 1 cartucho en el fondo y atacarlo. Esto servirá como amortiguador del cebo o prima.
- Inmediatamente después colocar el cebo. Este nunca deberá atacarse debiendo únicamente empujarse con cuidado hasta que choque con el cartucho de fondo.
- Luego colocar los demás cartuchos (su número dependiera del diseño elaborado) compactándolos con el atacador cada vez que se introducen.
- Una vez que todos los taladros se han cargado se procede a colocar el cordón detonante o pentacord. Para ello se

utilizan los conectores de los faneles, quedando un amarre de manera convencional.

El pentacord debe estar adherido con gutapercha, y el fulminate común debidamente encapsulado con la guía lenta.

Se debe verificar que todos los faneles estén conectados al pentacord ya que si uno de ellos no lo está, este quedara aislado y no detonará.

Para dar inicio al disparo se procede a chispear la guía lenta para lo cual se utiliza un fósforo y se dispone de un tiempo determinado para ponerse a buen resguardo (la guía generalmente se quema con una velocidad de 1 pie/minuto).

Es importante señalar que la preparación de la carga para ser utilizada e la voladura debe estar a cargo de una persona especializada quien será la encargada de preparar los cebos, encapsular el fulminante a la guía, preparar el pentacord y enviar el adecuado número de cartuchos.

#### **4.5 VENTILACION**

Una vez producida el disparo se debe esperar un tiempo mínimo de 15 minutos (generalmente 30 minutos en minería), de modo que el frente se ventile permitiendo que los gases de la explosión se oriente hacia la boca del túnel.

Dado que los gases liberados por el disparo son tóxicos y por lo tanto nocivos para el organismo humano, no es razonable que el personal ingrese inmediatamente después de haber disparado.

Para lograr una buena ventilación se debe contar con ventiladores dentro del túnel a cada 500 o 600 m. de excavación. Estos tienen la función de impulsar aire fresco a través de unos conductos llamados mangas de ventilación.

Cuando ha transcurrido el tiempo prudencial, el personal ingresará al frente para realizar la limpieza del material fragmentado, producto de la voladura.

#### 4.6 LIMPIEZA

La limpieza es la última etapa del ciclo de excavación y consiste en retirar los escombros resultados del disparo.

Una vez ventilado el frente, el personal debe ingresar con los equipos adecuados, como pala neumática y los carros mineros jalados por la locomotora.

Cuando se aprecia que existen rocas aflojadas alrededor de la excavación que se encuentra a punto de caer (roca se ha podido debilitar por la voladura o es roca de baja calidad) es necesario **desquincharla** lo cual consiste en golpear a la roca

aflojada con una barretilla hasta que ésta caiga. (A éste proceso también se le denomina "desate").

Producido el desate se da inicio a la limpieza antes de lo cual es recomendable regar con agua pulverizada el desmonte para que no se levante mucho polvo.

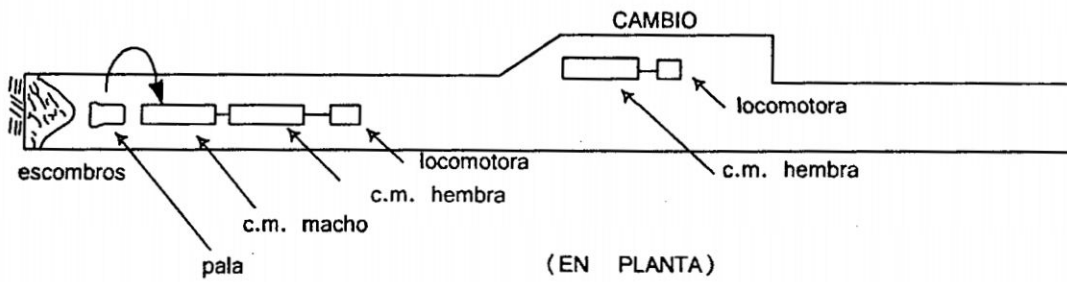
El operador de la pala comenzará la limpieza introduciendo la cuchara al escombros. Una vez lleno, este basculará la cuchara hacia atrás de modo que el desmonte caiga sobre el carro minero macho.

Este proceso se repite hasta que el carro minero se ha llenado acto en el cual se procede a transferirle el desmonte al carro minero hembra a través de su fondo móvil que como se muestra en el siguiente esquema, es accionada por energía eléctrica.

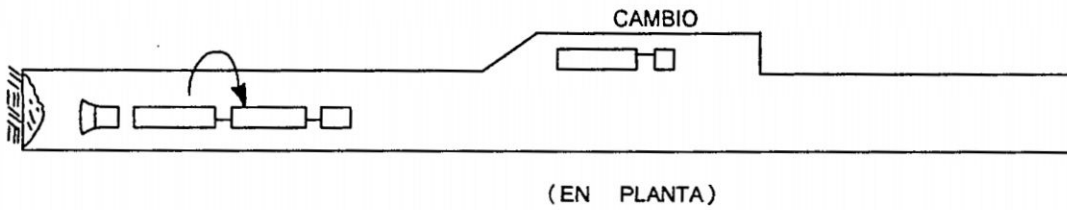
Cuando se ha terminado de transferir el desmonte se desengancha el carro minero "hembra" del "macho" y este se va jalado por la locomotora rumbo al botadero, ubicado a las afueras de la boca del túnel en donde se deposita el desmonte de la limpieza.

Mientras tanto en un "cambio" estará esperando otra locomotora con su respectivo carro minero "hembra" e ingresa al frente de limpieza para engancharse con el carro minero "macho" y hacer la misma operación anterior (ver Lámina N°4.5).

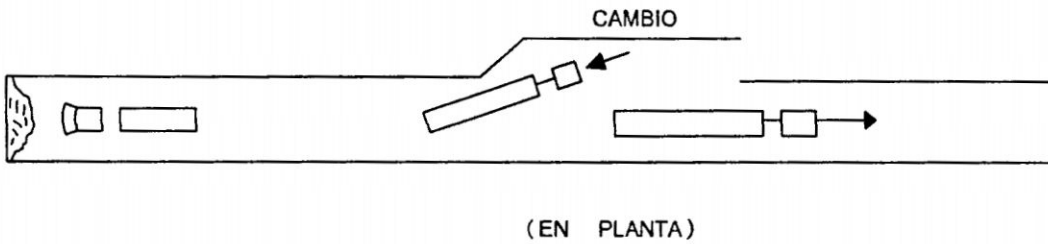
1º LA PALA LLENA EL CARRO MINEROS MACHOS.



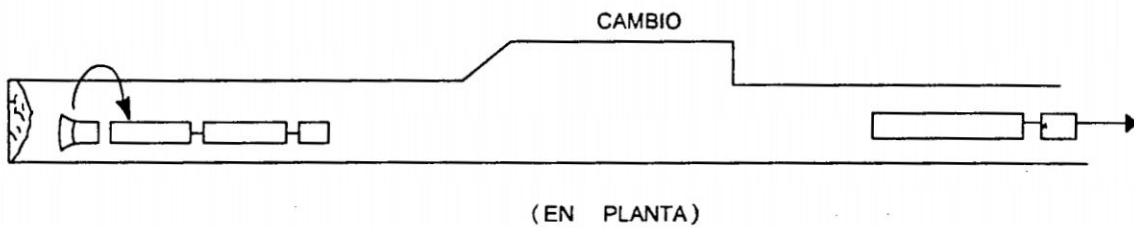
2º LLENO EL CARRO MINERO PASA EL DESMONTE AL C.M. HEMBRA CON LA FAJA TRANSPORTADORA.



3º EL CARRO MINERO SALE RUMBO AL SHUTE, ENTRA EL CARRO MINERO QUE ESTABA ESPERANDO EN EL CAMBIO.



4º SE REPITE EL ROCESO 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**ESQUEMA DE LIMPIEZA**

Escala : S/E

Lámina:

Autor : Manuel Fernando Huamán Mejía

Fecha : Marzo de 2008

**4-5**

La locomotora que hizo el primer viaje al botadero deberá estar esperando en el cambio para volver a ingresar.

Los cambios se construyeron para permitir optimizar los tiempos de limpieza y están destinados a permitir la espera de la locomotora con su carro minero hasta que salga la otra y se ubican generalmente a cada kilómetro de excavación.

El número de viajes dependerá del volumen de desmonte producido por la voladura. Evidentemente cuando se perfora con 8' se hará más viajes que cuando se perfora con 5'.

En cuanto al tiempo de viaje del carro minero desde el frente de limpieza hasta el botadero estará en función de la distancia entre ambos.

En algunos casos cuando la roca es buena el desmonte puede ser utilizado como material de afirmado o "ripio" para el mantenimiento de carreteras, en estos se construye tolvas donde se echa el desmonte para que caiga sobre volquetes.

**TIEMPOS EN CADA UNA DE LAS ACTIVIDADES DEL CICLO DE LA  
EXCAVACIÓN EN UN TUNEL DE SECCIÓN PEQUEÑA**

Considerando una perforación de 8`:

| ETAPA                 | TIEMPO<br>PROMEDIO |
|-----------------------|--------------------|
| Marcación del frente  | 15 m               |
| Perforación           | 1 h 15 m           |
| Carga y disparo       | 30 m               |
| Ventilación           | 15 m               |
| Limpieza              | 1 h 45 m           |
| <b>TOTAL: 4 horas</b> |                    |

- Ello indica que en 4<sup>h</sup> deben sacar un disparo de 2.4 m.

Considerando una perforación de 5`:

| ETAPA                 | TIEMPO<br>PROMEDIO |
|-----------------------|--------------------|
| Marcación del frente  | 15 m               |
| Perforación           | 45 m               |
| Carga y disparo       | 15 m               |
| Ventilación           | 15 m               |
| Limpieza              | 1 h                |
| <b>TOTAL: 2h 30 m</b> |                    |

Ello indica, que en 2<sup>h</sup> 30' deben de sacar un disparo de 1.5 m.

## **CAPITULO V**

# **EVALUACION ECONOMICA**

### **5.1 GENERALIDADES**

Para poder hacer un adecuado análisis del costo en una excavación, resulta indispensable conocer los elementos que intervienen en cada uno de los rubros en los cuales se hace este análisis y que son:

- Materiales
- Equipos
- Mano de obra

Toda vez que es necesario un estricto control sobre cada uno de estos rubros es necesario la presencia de una oficina de costos que se encargue de elaborar los análisis correspondiente.

**a) MATERIALES**

Se debe conocer los materiales que se utilizan en los trabajos de la excavación.

Para llevar un adecuado control del consumo de los materiales debe existir un almacén cuyo jefe deberá elaborar los cuadros resúmenes de consumo diario y mensual, reportándolos a la oficina de costos.

**b) EQUIPOS**

El control de los equipos se establecerá en función de las horas trabajadas (horas-maquina). Para ello debe existir un jefe de mantenimiento de equipos quien será el encargado de llevar los partes diarios de los equipos y hará el seguimiento de cada uno de ellos, reportando el cuadro horas máquina para cada uno de los equipos a la oficina de costos.

**c) MANO DE OBRA**

La mano de obra se controlara en base a las horas-hombre trabajadas por cada uno de los hombres que trabajan en la excavación.

Por lo general en los túneles se trabaja en dos guardias o turnos de 12 horas cada una (día y noche). Además existen los talleres de apoyo (mecánicos y eléctricos). El control de las h.h. estará a cargo de la oficina de tiempo.

## 5.2 CALCULO DEL COSTO POR ML

Para determinar el costo por ml de avance es necesario aplicar los conocimientos explicados anteriormente. Esto quiere decir que cada uno de los rubros (materiales, equipos y mano de obra) se debe conocer que es lo que se utiliza, en que cantidad y cuanto tiempo según sea el caso.

El verdadero costo por metro lineal se obtiene cuando se haga excavación y se tomen los parámetros reales que se están utilizando en obra. Sin embargo se puede prever con cierta exactitud este costo, para lo cual sera necesario conocer el tipo de roca que atravesara el túnel, con lo cual se hará el diseño de voladura y la del equipo con el que se cuenta.

Lo anterior sera válida siempre y cuando no exista problemas en la excavación, que suelen aparecer con cierta frecuencia como son: demasiadas filtraciones de agua, presencia de fallas, roca incompetente, etc. Que sólo se podran conocer al excavar el túnel.

## 5.3 EJEMPLO DE APLICACIÓN

Proyectar una estimación del costo por ml de avance en un túnel cuya longitud a excavar sera de 2 km; los estudios geológicos han determinado que pasará por roca Tipo I (cuarcita) habiendo en algunos tramos cierta filtración de agua.

**Datos:**

Sección

Base = 2.40 m.

Hastial = 1.80 m.

Diseño de voladura

Taladros perforados 42

Taladros cargados 38

Dinamita 80% gelatinosa: 122 cartuchos

Dinamita 865% gelatinosa: 204 cartuchos

Fanel 38

Pentacord 5m.

Guía lenta 3m.

Fulminate 2 piezas

Perforacion 8`

**5.4 COSTO DE MATERIALES**

**a) EN PERFORACION**

- Se usarán barrenos de 8`
- Costo de adquisición Cadq = \$ 167.46
- Vida útil Vu = 1000 pies perforados = 300ml

$$\text{Cadq/Vu} = \$ 0.56\text{ml}$$

- Considerando que en un disparo se perforan 42 taladros de 8` entonces en un disparo perforan:

$$(42) \cdot (2.4) = 100.8 \text{ ml.}$$

- Entonces el costo de barrenos por disparo será:

$$(\$ 0.56/\text{ml}) (100.8 \text{ ml}) = \$ 56.45/\text{disparo}$$

- Para hallarlo por ml de avance sabemos que el disparo será de 2.4 m

$$(\$ 56.45) (2.4 \text{ ml}) = \$ 23.52 \text{ ml}$$

#### b) EN CARGA Y DISPARO

Del diseño de voladura tenemos:

- Consumo de dinamita:

$$W = (122) (0.152) + (0.139) = 46.9 \text{ Kg}$$

- Entonces tenemos el siguiente cuadro para ver el costo por disparo:

| MATERIAL        | UND | CANTIDAD | PU \$ | SUB TOTAL     |
|-----------------|-----|----------|-------|---------------|
| Dinamita        | Kg. | 46.9     | 4.20  | 196.98        |
| Fanel           | pza | 38       | 2.54  | 96.52         |
| Pentacord       | ml. | 5        | 0.30  | 1.50          |
| Guia lenta      | ml  | 3        | 0.16  | 0.48          |
| Fulminate comum | pza | 2        | 0.16  | 0.32          |
| <b>TOTAL</b>    |     |          |       | <b>295.80</b> |

Para hallarlo por ml de avance sabemos que el disparo será 2.4 m

$$(\$ 295.8) / (2.4\text{ml}) = \$ 123.52 \text{ ml}$$

**NOTA:** Los costos unitarios de los explosivos son los precios puestos en obra, lo cual indica que incluye el flete y la seguridad.

Estos unitarios fueron los usados en la excavación del túnel Tinca.

**c) EN SERVICIOS AUXILIARES**

- Consideramos que en 100 ml de excavación deben usarse las siguientes cantidades:

- 1) Tuberías de F° C° de 2" para agua : 100 ml
- 2) Tuberías de F° C° de 4" para agua : 100 ml
- 3) Tuberías de F° C° de 6" para agua : 100 ml
- 4) Manga de ventilación: 100 ml
- 5) Riel de 60 Lb/Yd : 100 ml
- 6) Cable de alta : 300 ml
- 7) Línea trifásica : 300 ml
- 8) Durmientes: como irá espaciados cada metro entonces serán:  $100/1 + 1 = 11$  durmientes.
- 9) Focos de 100W: como irán espaciados cada 10 m. entonces serán:  $100/10 + 1 = 11$  focos
- 10) Fierro: se utilizará:

- Fierro de 1" en Cáncamos de  $L = 0.75$  ml espaciados cada 10 m, entonces se usará:

$$W = (4 \text{ Kg. / m.}) (0.75 \text{ m.}) (11 \text{ cáncamos}) = 33 \text{ kg}$$

- Fierro de  $\frac{3}{4}$ " en las crucetas de  $L = 0.5$  espaciados cada 10 m. entonces en 100 ml se usará:

$$W = 2.26 \text{ kg. /m} \times 0.5 \times 11 \text{ crucetas} = 12.43 \text{ kg}$$

Sumando  $33 + 12.43 = 45.43$  Kg. (consideramos 50 kg).

- 11) Alambre: Para efectos prácticos se asume igual a la cantidad de fierro.

Entonces en 100 ml de excavación tenemos:

| MATERIAL              | UND | CANTIDAD | PU \$        | SUB TOTAL          |
|-----------------------|-----|----------|--------------|--------------------|
| Tuberías de de 2":    | ml  | 100      | 12.86        | 1286.00            |
| Tuberías de de 4"     | ml  | 100      | 36.00        | 3600.00            |
| Tuberías de 6"        | ml  | 100      | 87.68        | 8768.00            |
| Manga de ventilación: | ml  | 100      | 9.68         | 968.00             |
| Linea cauville        | ml  | 100      | 59.18        | 5918.00            |
| Cable de alta:        | ml  | 100      | 60.00        | 6000.00            |
| Linea trifasica:      | ml  | 300      | 5.00         | 1500.00            |
| Durmiente             | pza | 101      | 9.28         | 937.28             |
| Focos de 100W         | pza | 11       | 0.74         | 8.10               |
| Fierro                | kg  | 50       | 0.90         | 45.00              |
| Alambre N° 8          | kg  | 50       | 0.76         | 38.00              |
|                       |     |          | <b>TOTAL</b> | <b>\$ 29068.42</b> |

**Nota:**

Los precios de los materiales son los puestos en el túnel Tinca.

- Consideramos un costo adicional de 5% por clavos de riel, bridas, pernos, etc.

$$(0.05) (29068.42) = \$ 1453.42$$

- Entonces el total sería:

$$\$ 1453.42 + \$ 29068.42 = \$ 30521.84$$

- Para prorratearlo por ml. Lo dividimos entre 100 ml.

$$\$ 30521.84 / 100\text{ml.} = \$ 305.22 \text{ ml.}$$

- El costo total por material, será la suma de los costos en perforación, explosivos y accesorios, entonces:

$$C_{mat} = \$ 23.52 \text{ ml.} + 123.25 \text{ ml.} + \$ 305.22 \text{ ml.}$$

$$C_{mat} = \$ 452 \text{ ml.}$$

## 5.5 COSTO DE EQUIPOS

Para calcular las horas trabajadas de los equipos debemos tomar en cuenta los tiempos en cada una de las etapas del ciclo de excavación.

Para una perforación de 8 pies los tiempos aproximados son los siguientes:

| ETAPA                | TIEMPO         |
|----------------------|----------------|
| Marcación del frente | 15 m.          |
| Perforación          | 1h. 15m.       |
| Carga y disparo      | 30m.           |
| Ventilación          | 15m.           |
| Limpieza             | 1h. 45 m.      |
| <hr/>                |                |
| <b>TOTAL:</b>        | <b>4 horas</b> |

Este total indica que en 4.00 horas debe salir un disparo de 8'. Además para el cálculo de equipos tendremos en cuenta lo siguiente:

- Se utilizara 1 grupo de 500 Kw. y 3 compresoras de 500 pcm. cada una.
- Los ventiladores y transformadores irán ubicados a cada 500 m. de la excavación siendo su número de :

$$N \text{ ventiladores} = 2000/500 = 4$$

$$N \text{ transformadores} = 2000/500 = 4$$

- Se prevé colocar 2 bombas eléctricas para asegurarse un buen drenaje de agua.
- El grupo electrógeno, las compresoras, ventiladores y transformadores trabajarán las 24 horas del día.
- Se utilizarán 2 locomotoras y 3 carros mineros.
- Los trabajos topográficos se harán con nivel y teodolito.

### COSTO DE EQUIPO

Considerando un ciclo de excavación de 4 horas

| <b>Etapa total</b>   | <b>Equipo</b>       | <b>Horas</b> | <b>Número de Equipos</b> | <b>Total Hm</b> | <b>Tarifa \$</b> | <b>Sub</b>      |
|----------------------|---------------------|--------------|--------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Marcación del frente | Nivel               | 1.00         | 1                        | 1.00            | 2.00             | 2.00            |
|                      | Teodolito           | 1.00         | 1                        | 1.00            | 4.00             | 4.00            |
| Perforación          | Perforadoras        | 1.25         | 3                        | 3.75            | 8.12             | 30.45           |
|                      | Bomba neumática     | 1.25         | 1                        | 1.25            | 6.04             | 7.55            |
| Limpieza             | Pala neumática      | 1.75         | 1                        | 1.75            | 19.48            | 34.09           |
|                      | Locomotora          | 1.75         | 2                        | 3.50            | 52.94            | 185.29          |
|                      | Carro minero        | 1.75         | 3                        | 5.25            | 10.00            | 52.50           |
| Ventilación          | Ventiladores        | 4.00         | 4                        | 16.00           | 7.40             | 118.40          |
| Drenaje              | Bomba eléctrica     | 4.00         | 2                        | 8.00            | 10.32            | 82.56           |
| Energía              | Grupo electrógeno   | 4.00         | 1                        | 4.00            | 105.54           | 422.16          |
|                      | Compresora          | 4.00         | 3                        | 12.00           | 22.06            | 264.72          |
| Accesorios           | Transformadores     | 4.00         | 4                        | 16.00           | 3.78             | 60.48           |
|                      | Cargador de batería | 0.25         | 1                        | 0.25            | 0.25             | 1.51            |
| <b>TOTAL</b>         |                     |              |                          |                 |                  | <b>1,265.71</b> |

Para obtener (teóricamente) el valor por ml de excavación dividimos entre el disparo (2.4) = 527.38/ml

**Nota:** las tarifas de las horas máquinas no incluyen operador

## 5.6 COSTO DE LA MANO DE OBRA

Para calcular el costo de la mano de obra determinamos el tiempo en que la cuadrilla completa (carrilanos, topografía y excavación) ha terminado un ciclo.

El tiempo promedio en que la cuadrilla logra un disparo de 8' (2.40 ml) con su respectivas limpieza es de 4 horas.

### COSTO DE LA MANO DE OBRA

Consideramos que en 4 horas deben avanzar 2.4 ml.

| Cuadrilla    | Ocupación           | Categoría | HH | Número de personas | Total | \$/hh | Sub total     |
|--------------|---------------------|-----------|----|--------------------|-------|-------|---------------|
| Topografía   |                     |           |    |                    |       |       |               |
|              | Topógrafo           | Cpt       | 4  | 1                  | 4     | 3     | 12            |
|              | Ayudante topógrafo  | Of        | 4  | 2                  | 8     | 1.83  | 14.64         |
| Excavación   |                     |           |    |                    |       |       |               |
|              | Ing jefe            | E         | 4  | 1                  | 4     | 4.50  | 18            |
|              | Capataz general     | Cpt       | 4  | 1                  | 4     | 3.50  | 14            |
|              | Capataz de frente   | Cpt       | 4  | 1                  | 4     | 3.00  | 12            |
|              | Perforista          | Op        | 4  | 3                  | 12    | 2.03  | 24.36         |
|              | Palero              | Op        | 4  | 1                  | 4     | 2.03  | 8.12          |
|              | Tubero              | Op        | 4  | 1                  | 4     | 2.03  | 8.12          |
|              | Mecánico            | Op        | 4  | 1                  | 4     | 2.03  | 8.12          |
|              | Locomotorista       | Op        | 4  | 2                  | 8     | 2.03  | 16.24         |
|              | Bombero             | Op        | 4  | 1                  | 4     | 2.03  | 8.12          |
|              | Eléctrico           | Op        | 4  | 1                  | 4     | 2.03  | 8.12          |
|              | Grupero             | Op        | 4  | 1                  | 4     | 2.03  | 8.12          |
|              | Bodeguero           | Op        | 4  | 1                  | 4     | 2.03  | 8.12          |
|              | Ayudante perforista | Of        | 4  | 3                  | 12    | 1.83  | 21.96         |
|              | Ayudante locomotora | Of        | 4  | 1                  | 4     | 1.83  | 7.32          |
|              | Ayudante palero     | Of        | 4  | 1                  | 4     | 1.83  | 7.32          |
| Carrilanos   |                     |           |    |                    |       |       |               |
|              | Capataz carrillado  | Cpt       | 4  | 1                  | 4     | 3.00  | 12            |
|              | Ayudante            | Of        | 4  | 5                  | 20    | 1.83  | 36.6          |
| <b>Total</b> |                     |           |    |                    |       |       | <b>253.28</b> |

Para obtener el valor por ml de excavación dividimos entre el disparo (2.4) = \$ 105.53/ml

En total tenemos:

|                       |              |
|-----------------------|--------------|
| COSTO DE MATERIALES   | \$ 450.00/ml |
| COSTO DE EQUIPOS      | \$ 527.38/ml |
| COSTO DE MANO DE OBRA | \$ 105.53/ml |

---

|              |                        |
|--------------|------------------------|
| <b>TOTAL</b> | <b>\$ 1,084.91 /ml</b> |
|--------------|------------------------|

Incrementamos un 10% por gasto en talleres entonces el total será:

**COSTO DIRECTO: (1.1) (1084.91) = \$1,193.00/ml**

## **CONCLUSIONES**

1. La voladura en rocas permite obtener a través del disparo, la fragmentación y el desplazamiento del macizo rocoso y su acción se acondiciona a tres parámetros fundamentales: Parámetros de roca, de explosivos y de carga.

De la adecuada relación de estos parámetros dependerá el éxito de la voladura.

2. Una buena voladura tiene los siguientes efectos:

- Evitará debilitar el macizo rocoso circundante a la excavación
- Mínimo consumo posible de explosivo
- Mayor avance por disparo

3. La rotura de la roca por efecto de la voladura se debe a dos causas:

- La onda de choque ( $H_x$ ) producida por la detonación del explosivo dentro del taladro, las cuales generan que abre fisuras radiales en planos verticales al taladro.
- La expansión de gases, generan fisuras de flexión en planos horizontales al taladro.

4. La dinamita es el explosivo más utilizado en la excavación de túneles de pequeña sección (área menos de  $10 \text{ m}^2$ ). El objetivo principal de su uso se debe a que poseen una capacidad rompedora excelente y puede ser iniciada con facilidad.

5. El requisito indispensable para que se produzca el desplazamiento de la masa rocosa como consecuencia de la voladura es que deben de existir dos caras libres hacia donde se proyecte el bloque de roca.

Como en un túnel sólo existe una cara libre y que es el mismo frente; es necesario crear otra cara libre. Ello se consigue con los denominados "taladros de alivio", que vienen a ser taladros sin carga.

6. Los accesorios para voladura (guía lenta, fanel, fulminante común, pentacord) complementarán a la dinamita en el trabajo para excavación y su finalidad será la de iniciar, retardar o propagar la acción de las cargas explosivas.

Un adecuado conocimiento de los accesorios para voladura y como se relacionan estos en el disparo, nos permitirá procesar la voladura.

7. En la voladura en un túnel los taladros cargados salen con una secuencia establecida de acuerdo a su tipo (arranque, ayudas, cuadradores, alzas, arrastres). Ello se consigue con el uso de los faneles, lo que nos permite obtener diferentes tiempos en las salidas (retardo).
8. La iniciación de la columna explosiva estará dado por la detonación del cebo, prima o booster, que viene a ser un cartucho de dinamita en el cual se ha insertado el fanel.

9. Uno de los aspectos más importantes en la excavación de túneles es la perforación de los taladros. El uso de las perforadoras manuales a energía neumática "Jack Leg" facilita enormemente esta operación. Asimismo el paralelismo en los taladros de "arranque", es un factor de primera importancia.
  
10. Plantear un diseño de la voladura significa establecer el trazo para perforación y la cantidad de carga que deberá de colocarse en cada taladro.

El problema se centra principalmente a calcular:

- El número de taladros cargados y perforados.
  - La cantidad de carga por taladro.
11. Tal vez un valor muy importante a tener en cuenta en un diseño para voladura es el llamado "factor de carga" que se define como la cantidad de explosivo en Kgs. Que es necesario utilizar para desplazar  $1 \text{ m}^3$  de roca.

La elección del factor de carga se hace en base a tablas establecidas, que están en función de roca y del área de la sección.

12. El éxito de un disparo dependerá en gran parte de la adecuada elección del tipo de arranque a utilizar, ya que son los arranques los que al salir formarán la cara libre para los demás taladros cargados.

13. En toda excavación de un túnel de pequeña sección es necesario disponer de un sistema de rieles que formaran el camino de rodadura por donde se desplazarán los equipos de limpieza y transporte (locomotoras, carros mineros, pala neumática).

14. Se define como "Ciclo de la Excavación" a los trabajos en orden secuencial que se realizan para excavar un túnel.

Estos trabajos que son: marcación del frente, perforación, carga y disparo, ventilación y limpieza; están relacionados unos con otros y para lograr un óptimo rendimiento se busca optimizar los tiempos de realización de cada fase operacional.

15. Los servicios auxiliares (energía eléctrica, energía neumática, ventilación, drenaje, línea férrea) vienen a ser indispensables para poder ejecutar todo tipo de trabajos en el túnel.

16. El cálculo de los costos en la excavación se centra principalmente a establecer en cada uno de los rubros: materiales, equipos y mano de obra que se utilizará, en qué cantidad o en cuánto tiempo, según sea el caso.

Tal vez los problemas más saltantes estén en la necesidad de saber en el caso de materiales, la unidad de medida de los insumos. En el caso de equipos que se utilizan y en el caso de mano de obra en conocer las cuadrillas típicas que se emplean, así como el tiempo de realización de cada trabajo.

## **RECOMENDACIONES**

1. Antes de empezar con los trabajos de excavación es imprescindible conocer las propiedades de la roca en que se excavará el túnel.

Siempre resulta necesario la colaboración de un geotecnista para determinar la clasificación de la roca, establecer los aspectos geoestructurales visibles o previsibles (fallas, pliegues) que puedan afectar la estabilidad del túnel.

Toda vez que el tipo de roca dependerá el número de taladros a perforar y la cantidad de carga a utilizar, es muy importante clasificar adecuadamente a la roca.

2. La elección del tipo de dinamita a utilizar se fundamenta en conocer sus propiedades más saltantes como son la potencia realtiva, la densidad, el brisance y la resistencia al agua de tal modo que la dinamita se amolde a las condiciones que la roca le impondrá.

Debe de tener en cuenta que el explosivo no solo debiera ser lo suficientemente potente como para fracturar a la roca sino que además debe tener un remanente para mover el material fracturado hacia la cara libre.

3. El número de talaros de alivio que se perforarán debiera estar en función del tipo de roca, ya que una roca dura necesitará más taladros de alivio que una semidura o blanda. Así por

Ejemplo, se recomienda que en roca de tipo I se perforen más taladros de alivio que en roca tipo II.

4. Es muy importante poner cuidado en la preparación de cada uno de los accesorios para voladura ya que en mal trabajo puede llevar a una pesima performance en el disparo.

5. La preparación de los cebos o primas debe estar a cargo de una persona capacitada y con experiencia.

Los cebos se colocarán dentro del taladro de tal forma que el fanel apunte siempre hacia la mayor carga explosiva.

6. La negligencia en la perforación puede anular las ventajas que se esperaban obtener de un buen diseño, por lo que se recomienda una constante supervisión técnica en esta operación, de tal modo que vale porque los taladros sean perforados en lugares indicados y manteniendo su paralelismo.

7. La elección del número de faneles se encuentra a criterio del supervisor, pero siempre se debe de respetar el orden de salida de los taladros. Por lo general se recomienda utilizar faneles rojos en el arranque y blancos en los demás taladros, además se debe de buscar mayores números de retardo entre tipo de taladros para disminuir las vibraciones.

8. El cálculo del numero de taladros se puede determinar en base a fórmulas pero de manera refencial ya que el verdadero número de taladro saldrá del criterio del supervisor al distribuirlos en la sección.

9. Un buen diseño de voladura especificará:

- La forma del arranque.
- La cantidad de carga a utilizar
- Los números de fanel a utilizar
- Las medidas del pentacord, la guía y el número de fulminante comunes.

10. Se recomienda establecer un estricto control sobre cada una de las etapas del ciclo de la excavación.

El objetivo de todo supervisor será el de lograr tiempos óptimos en cada uno de los trabajos. Ellos sólo se conseguirá si se hace una supervisión constante.

11. Se recomienda instruir de manera permanente a los trabajadores sobre los reglamentos de seguridad, para lo cual es imprescindible contar con un ingeniero de seguridad; quien será el encargado de capacitar a personal sobre las normas a seguir en los trabajos de excavación.

12. Antes de instalar los servicios auxiliares es importante hacer estudios de demandas o necesidades para que estos satisfagan las exigencias a la que estarán sometidos. Asi por ejemplo:

- Se hará estudios de demanda de energía eléctrica y neumática para la instalación del grupo electrógeno y las compresoras respectivamente.

- La capacidad de las bombas estará en función del caudal de filtración a drenar, para lo cual es necesario establecer o cuantificar este caudal.
13. Un costo real sólo será posible, si se ha hecho un control minucioso sobre los materiales consumidos o utilizados. Las horas máquinas trabajadas por los equipos y el tiempo en que se ha terminado un ciclo de la excavación, por parte de las cuadrillas.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1. ATLAS COPCO PERUANA S.A** “Metodos de Minado Subterraneo en Rocas Duras  
Lima – 1982
- 2. ATLAS COPCO PERUANA S.A** “Breve guia de los metodos de mineria y los Equipos  
aconsejables”  
Stockholm – Suecia, 1976
- 3. BORISOV Y OTROS** “Labores Mineras”  
Editorial Mir – Moscu, 1976
- 4. CENTROMIN PERU** “Manual de Voladura”  
Departamento de capacitacion  
USA – 1973
- 5. DUPONT S.A** “Manual de Uso de explosivos”  
USA – 1995
- 6. EXSA (Explosivos S.A)** “Manual Práctico de Voladuras”  
Lima – 1995
- 7. GARCIA J. y ROSAS E.** “ Usos de fanel en las Operaciones de voladura”  
XV Convención de Ingenieros de Minas  
Trujillo – 1982
- 8. GUSTAFSSON, Rune** “Técnicas Suecas de Voladuras de Rocas”  
Editorial URMO, España – 1968

- 9. HOEK, E. y BROWN, E** "Excavaciones Subterráneas en Roca"  
Editorial Mc. Graw Hill  
México - 1968
- 10. LAGERFORS, ULF** "Técnicas Modernas de Rocas"  
Editorial URMO  
España - 1968
- 11. MAYTA LINO, Maximo** "Maquinaria Minera"  
Departamento de Ingeniería de Minas  
UNSAAC, Cusco - 1992
- 12. RIOS, Jose** "Principios de Geología y Geotécnia"  
Editorial OMEGA  
España - 1972
- 13. ROBLES, Nerio** "Excavación y Sostenimiento de Túneles en  
Roca"  
CONCYTEC  
Lima - 1994