

24. 17



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica**

**"APLICACION PRACTICA PARA EXPLOTACION  
DE ROCAS A CIELO ABIERTO"**

**Tesis Profesional**

**Elaborada para obtener el título de**

**INGENIERO CIVIL**

**P r e s e n t a**

**FRANCISCO AMBRIZ GARCIA**



**México, D. F.**

**Enero 1986**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

APLICACION PRACTICA PARA EXPLOTACION DE ROCAS  
A CIELO ABIERTO

I N D I C E

I.- INTRODUCCION

- I.1.- Enfoque de la Tesis
- I.2.- Breve Descripción de la Clasificación de Rocas
- I.3.- Aspectos Generales de Explotación de Rocas

II.- TECNICA DE VOLADURA DE ROCAS

- II.1.- Resumen Histórico
- II.2.- Introducción al Cálculo de una Voladura
- II.3.- Explosivos, Accesorios, Conexiones y Artificios
- II.4.- Casos Especiales Durante el Proceso de Explotación

III.- EXPLOTACION A CIELO ABIERTO

- III.1.- Diagrama
- III.2.- Proceso Constructivo
  - a).- Planeación
  - b).- Organización
  - c).- Dirección
  - d).- Control

IV.- EJEMPLO

- IV.1.- Proceso
- IV.2.- Costo

## I.- INTRODUCCION

### I.1.- Enfoque de la Tesis

El enfoque que se le dará a esta tesis es como atacar el problema desde un punto de vista práctico. La parte teórica se simplifica y se considera que existe bastante literatura sobre este tema y por lo tanto toca al Ingeniero Constructor consultar información más especializada en caso de que quiera profundizar en el asunto.

Este trabajo presenta en forma sencilla y práctica los verdaderos problemas que pueden ocurrir en el campo, en el transcurso de realización en una voladura de rocas en una cantera y la forma en que puede seguirse dicho proceso. Este estudio no trata de ser una fórmula, sino una guía para aquel Ingeniero que tenga que realizar un trabajo de este tipo, ya que combinando esta con su experiencia y conocimientos antes adquiridos, dará como resultado un trabajo satisfactorio. Además se está suponiendo que el proyecto ya está hecho y que únicamente se va a presentar una propuesta de realización de dicho trabajo. Este es elaborado por alguna dependencia que lo da a concurso o lo adjudica en forma directa a alguna empresa constructora, por tanto el constructor únicamente le queda por hacer la verificación de ciertas restricciones como: Cantidades de Obra, Programa, Calidad (Especificaciones), Económicas (Formas de Pago), Legales (IMSS, Hacienda, Etc.) y Otras (Especiales o Específicas).

## 1.2.- Breve Descripción de la Clasificación de Rocas

Partiremos de la concepción de roca, ya que no se puede hablar de una explotación de la misma, por cualquier mecanismo que se use, sin antes describir en forma general su significado y origen Geológico. Debido a que este estudio de voladura de rocas en una cantera tratará de ser práctico, El Ingeniero Constructor que quiera profundizar en este tema, también tendrá que acudir a libros especializados. Las tablas I.1, I.2, I.3 nos dan una idea clara de su clasificación.

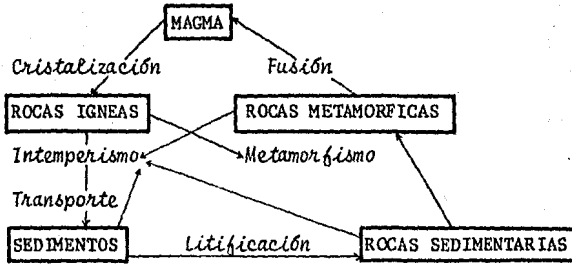
Primeramente diremos que para la Ingeniería práctica:

Roca, es una masa de material natural compacto, que va de semidura a dura y que está compuesta por uno o más minerales.

Por su origen Geológico, las rocas se pueden clasificar en:

- a) Rocas Igneas
- b) Rocas Sedimentarias
- c) Rocas Metamórficas

El siguiente diagrama muestra el Ciclo Geológico de las rocas y es una forma de ver el proceso de transformación simplificado.



Todo Ingeniero cuando sale al campo, debe reconocer una roca aunque no sea en forma precisa, ya que éste trabajo es para los Geólogos, pero sí en forma general. Para esto no se necesita llevar consigo aparatos de funcionamiento complicado, sino que se puede hacer en forma sencilla. Lo único que tiene que procurar es llevar consigo un martillo de Geólogo para poder romper la roca y así ver bien los granos de los minerales que componen la muestra que se elija, una lente de bolsillo para poder ver bien los granos finos, una navaja para averiguar la dureza del material según la escala de Mohs (Ver tabla I.4), un frasco de ácido clorhídrico para reconocer la presencia de carbonatos en la roca y finalmente se necesita que el Ingeniero use su criterio para que pueda reconocer fallas, fracturas, intemperismo, agua freática existente, plegamientos, etc.

TEXTURA	COMPOSICION		
	Rocas Acidas (con más de 50% de Sílice)		Rocas Básicas (con menos de 50% de Sílice)
	Minerales de color claro predomina principalmente feldespato		Predominan los minerales de color obscuro
	Cuarzo abundante	Poco o sin Cuarzo	Sin Cuarzo, abundantes Feldespatos, Anfíbolos, Piroxenas y Plagioclasa.
Grano Grueso (cristales de minerales fácilmente visibles) Grano Fino (cristales de minerales generalmente no visibles) Vitreas	Granito	Diorita	Galero
	Riolita	Andesita	Basalto
	Obsidiana Retinita Pómez		

TABLA I.1 Rocas Igneas Comunes

TIPOS	SEDIMENTOS	ROCAS
Clásicas o Fragmentarias	Gruesos (grava) Medios (arena) Finos (limo y arcilla)	Conglomerado Arenisca Laminares
Piroclásticas	Gruesos (escorias) Finos (cenizas)	Aglomerado Toba
Precipitados químicos y evaporitas	Carbonato de Calcio Carbonato de Calcio y Magnesio. Bióxido de Calcio Sulfato de Calcio Cloruro de Sodio	Caliza Dolomita Pedernal Yeso, Anhídrida Sal de Roca
Orgánicas	Carbonato de Calcio (restos animales) Carbón (restos de plantas).	Coquina y algunas rocas Carbón de Piedra

TABLA 1.2 Rocas Sedimentarias Comunes



## FOLIADAS

TEXTURA	ROCA	CARACTERISTICAS
De grano Gueso	Gneis	Rayadas o listadas imperfectamete foliadas
De Grano Medio	Esquisto	Bien foliadas, se separan en pedazos facilmente, generalmente ricas en mica
De Grano Fino	Pizarra	Se separan facilmente en hojas lisas

## NO FOLIADAS O MACIZAS

MINERALES QUE CONTIENEN	ROCA	CARACTERISTICAS
Principalmente Cuarzo	Cuarcita	Duras y Quebradizas
Principalmente Calcita o Dolomita	Mármol	
Principalmente Silicato Hidratado de Magnesio	Algunos tipos de Serpentina	Bastante Blandas, Verdes

TABLA I.3 Rocas Metamórficas Comunes

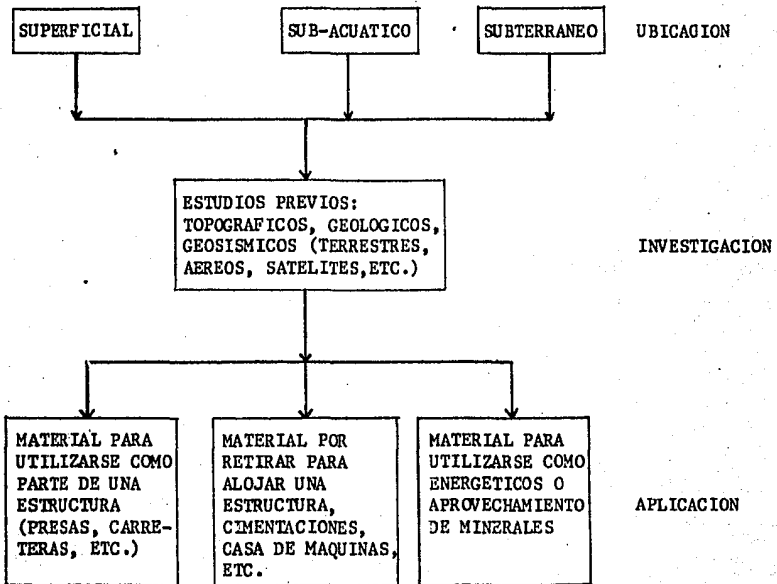
DUREZA	MINERAL	PRUEBA CARACTERISTICA
1	Talco	Pueden rayarse con la uña
2	Yeso	" " "
3	Calcita	Se cortan fácil con navaja
4	Fluorita	" " "
5	Apatita	Es difícil rayarlas con navaja
6	Ortoclasa	Este y los siguientes minera--
7	Cuarzo	les no son rayados por el ace--
8	Topacio	ro, pero el Cuarzo si es raya--
9	Corindon	do por el Topacio, el cual a
10	Diamante	su vez es rayado por el Corin--
		don y éste por el Diamante.

TABLA I.4 *Tabla de Dureza de Mohs*

## 1.3.- Aspectos Generales de Explotacion de Roca

## CASO GENERAL DE EXPLOTACION DE ROCAS

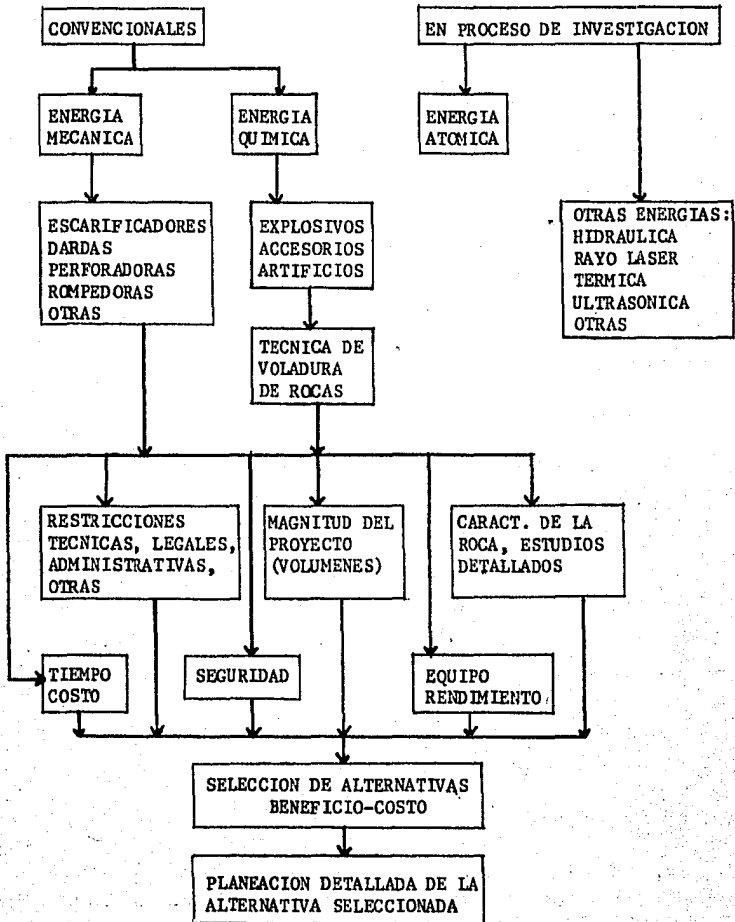
PARA EL PROYECTO:



PARA SU OBTENCION:

PROCESO DE EXPLOTACION

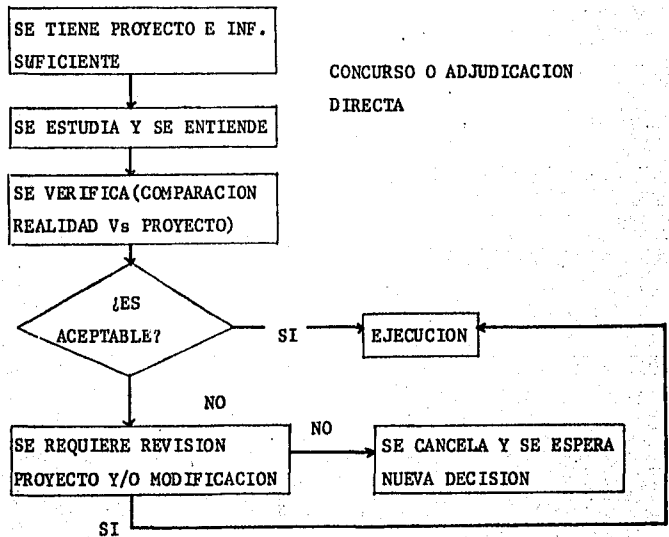
## METODOS



En la mayoría de los problemas de ejecución de obras se parte de la existencia de un proyecto previo, sobre todo en México que de acuerdo con la ley de Obras Públicas, el contrato se supone se obtiene casi siempre mediante concurso y en el cual se presenta la información necesaria y suficiente para estudiar y presentar la propuesta para su ejecución. Ver diagrama I.

Aunque también se puede presentar el caso en que no se tiene información ni proyecto, en tal caso se debe partir de si el proyecto es un proyecto paquete (proyecto + construcción) el cual deberá tener un proceso diferente. Ver diagrama II.

DIAGRAMA I  
CASO NORMAL.



## CASO EXCEPCIONAL

## ADJUDICACION DIRECTA

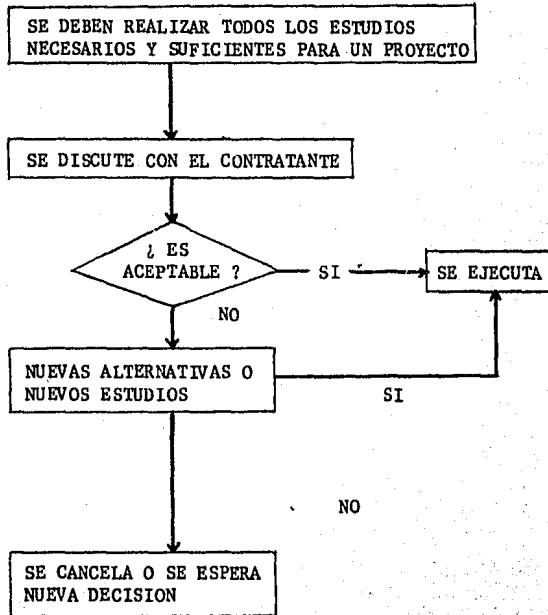


DIAGRAMA II

## II.- TECNICA DE VOLADURA DE ROCAS

### II.1.- Resumen Histórico

El trabajo de romper roca es casi tan antiguo como el mismo hombre, pero el desarrollo de la técnica de extraerla data de hace cuarenta y cinco años, siendo la más sofisticada la más reciente.

Entre los primeros métodos de extracción, mencionaremos dos: Uno de los métodos originales era calentar la roca con fuego para después enfriarla bruscamente con agua fría, produciendo grandes tensiones las cuales originaban grietas y fisuras que después eran ampliadas con cuñas y marros los cuales ayudaban a la extracción de los bloques.

Los Egipcios desarrollaron un método diferente, el cual consistía en hacer en una misma línea agujeros en los cuales se introducían cuñas de madera seca, la cual al agregarle agua sufría un hinchamiento que separaba las grietas de la roca.

En el siglo XVII, se empezó a desarrollar el uso de la pólvora que ya había hecho su aparición con anterioridad, el uso de ésta, debido a que fue descubierta por un Frayle Alemán, de Alemania se extendió a toda Europa y se consolidó su uso debido a la guerra religiosa que duró 30 años. En 1847, el Italiano Ascanio Sobrero descubrió la nitroglicerina pero la dejó por considerarla muy peligrosa.

Fue hasta 1864, cuando Alfredo Nobel encontró la forma de industrializar la nitroglicerina en forma de aceite, pero debido a sus propiedades de líquido, surgió el problema de que se infiltraba muy fácilmente en las fisuras de la roca, ocasionando una explosión incontrolable. Nobel encontró la forma de combinar el aceite con una piedra porosa (kieselguhr) con lo que produjo una pasta plástica llamada dinamita. Para obtener una iniciación controlada se introdujo el uso del estopín, el primero en aparecer al mercado consistía en una cápsula de cobre que contenía fulminato de mercurio como agente explosor, más tarde el kieselguhr fue sustituido en la dinamita por nitrocelulosa y se obtuvo la llamada dinamita gelatina.

A partir del año de 1957, en Estados Unidos se empezaron a usar los explosivos que no contienen nitroglicerina y que por lo tanto daban una mayor seguridad en el uso. Estos productos fueron el ANFO que es una combinación de Nitrato de Amonio con aceite, y los Hidrogeles que son los más recientes y que aparte de ser más seguros en su uso, tienen la cualidad de ser resistentes al agua.

Los estopines también tuvieron gran evolución desde el primero que se hizo por medio de fulminato de mercurio, este fue sustituido más tarde por otro de material más durable.

El disparo se hacía con mecha. En el año de 1876, el Americano R. Julius Smith inventó el estopín eléctrico de retardo con un retardo de un segundo por intervalo, poco después llegaron los estopines de retardo de un medio segundo, hasta que en el mercado aparecieron los estopines mili-segundo con retardo de 10 y 100 mili-segundos con



*lo cual hubo un gran avance en la técnica moderna de la voladura de rocas.*

## II.2.- Introducción al Cálculo de una Voladura

Para poder entrar de lleno al estudio de la carga de explosivos y la determinación del diagrama de barrenación en la voladura de un banco, es necesario conocer sus elementos o magnitudes geométricas, estas están ilustradas en la figura 2.1 en donde:

$K$  = Altura de banco

$B$  = Ancho del banco

$d$  = Diámetro del barreno

$V$  = Bordo (que es la distancia entre líneas adjuntas de barrenación)

$E$  = Distancia entre barrenos en una misma línea de barrenación

$H$  = Profundidad total en el banco

$H_e$  = Carga de explosivos

$S$  = Sub-barrenación o incremento de barrenación bajo el fondo técnico del banco.

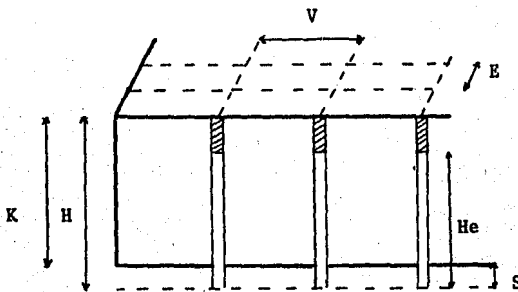
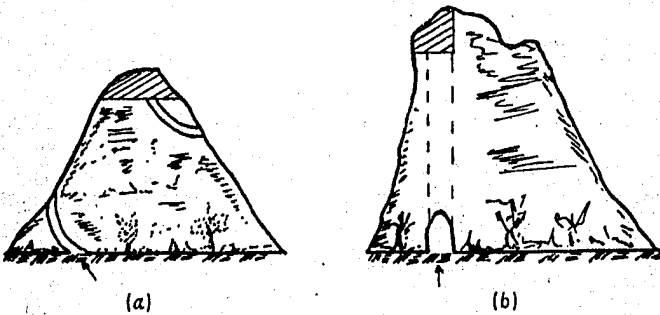


FIGURA 2.1 Elementos que intervienen en la explotación de un banco.

### Altura de Banco

Cuando se va a explotar un banco, la forma de atacarlo va a depender de la producción diaria que se requiere extraer, es decir que éste se puede dividir en una serie de bancos en los cuales la altura se puede saber por medio de experiencia, estudios hechos o estadísticas y está dada de acuerdo a las necesidades y equipo que se tenga disponible. Para encontrar la forma en que se va a dividir la cantera, se puede hacer un programa, si es necesario, en donde se analizarán varias alternativas de las cuales se seleccionará la mejor.

Normalmente se seleccionará una altura de banco grande, cuando las especificaciones requieran tamaños de fragmentos pequeños, en caso contrario se seleccionará una altura de banco pequeña.



Alternativas de ataque a un banco dependiendo de las condiciones del mismo.

### Selección del Diámetro

Los factores más importantes que se consideran en la selección del diámetro son:

- a) Altura de banco
- b) Producción requerida
- c) Equipo disponible
- d) Otras

Cuando se requiere una gran cantidad de volumen de material, se utilizan diámetros grandes, debido a que la fragmentación también está definida en función del diámetro. Debe ponerse especial atención debido a que se pueden producir costos con desperdicio.

Para seleccionar el diámetro de un barreno se pueden tomar los siguientes criterios.

- 1)  $K / 5 \leq d \leq K / 2$
- 2)  $d = K$
- 3)  $d = V$

DONDE:

$d$  = Diámetro

$K$  = Altura de banco

$V$  = Bordo

Como se puede apreciar, la expresión (1) solamente nos está dando un rango de valores en el cual puede estar cualquier diámetro calculado con las expresiones (2) y (3).

Aunque debe aclararse que el diámetro se toma normalmente por experiencia y volumen requerido.

### Selección del Equipo de Perforación

Como ya se mencionó, el equipo de perforación tiene una gran importancia en la determinación de la altura del banco, por lo tanto se debe conocer un poco el tipo de maquinaria que se puede usar y que criterios deben tomarse para poder hacer una buena selección.

Para seleccionar el equipo de perforación, se puede tomar como base el siguiente proceso.

- 1) Determinar y especificar las condiciones de trabajo bajo las cuales la máquina será usada, así como los factores de servicio (trabajo, lugar, clima, etc.)
- 2) Establecer los objetivos de cada una de las fases del ciclo operativo para la voladura; considerando las restricciones de excavación y rezaga, capacidad de trituración, cuota de producción, geométrica de la cantera, en términos de tonelaje, fragmentación, etc.
- 3) En base a los requerimientos de la voladura diseñar la plantilla de barrenación.
- 4) Determinar los factores de perforabilidad, y para la roca-específica, seleccionar los métodos de perforación factible.
- 5) Especificar las variables operativas para cada sistema, considerando los factores debidos a la perforación, acero, brocas, y fluido circulante.
- 6) Estimar los factores de rendimiento, incluyendo los costos.
- 7) Seleccionar el equipo que además de satisfacer todos los requerimientos, tenga el menor costo.

Como ayuda a la selección del equipo existen tablas que relacionan la aplicación al tipo de roca, como la tabla 2.1, en la cual la escala es una medida de la perforabilidad. Y cuando se ha seleccionado un método considerando costos, la figura 2.3, nos sirve de ayuda, en esta gráfica se compara el costo por metro de un barreno de 22.86 de diámetro. Esta gráfica está hecha para tres de los métodos más usados, pero se debe hacer hincapié en que esta es usada únicamente para hacer comparaciones ya que ni está en moneda nacional, ni se puede tomar como base para el cobro de un trabajo de perforación debido a su inexactitud.

#### ESCALA

Categoría	Cuave	Medianamente Dura	Dura	Muy Dura
Ejemplos	Limolita	Arenisca Limolita	Granito	Cuarcita Táconita
Métodos:				
Rotatorio Empuje	X	X		
Rotatorio Rodillo	X	X	X	X
Percusión		X	X	X
Jet Piercing			X	X

TABLA 2.1 Aplicación de los métodos de perforación y penetración para diferentes tipos de roca.

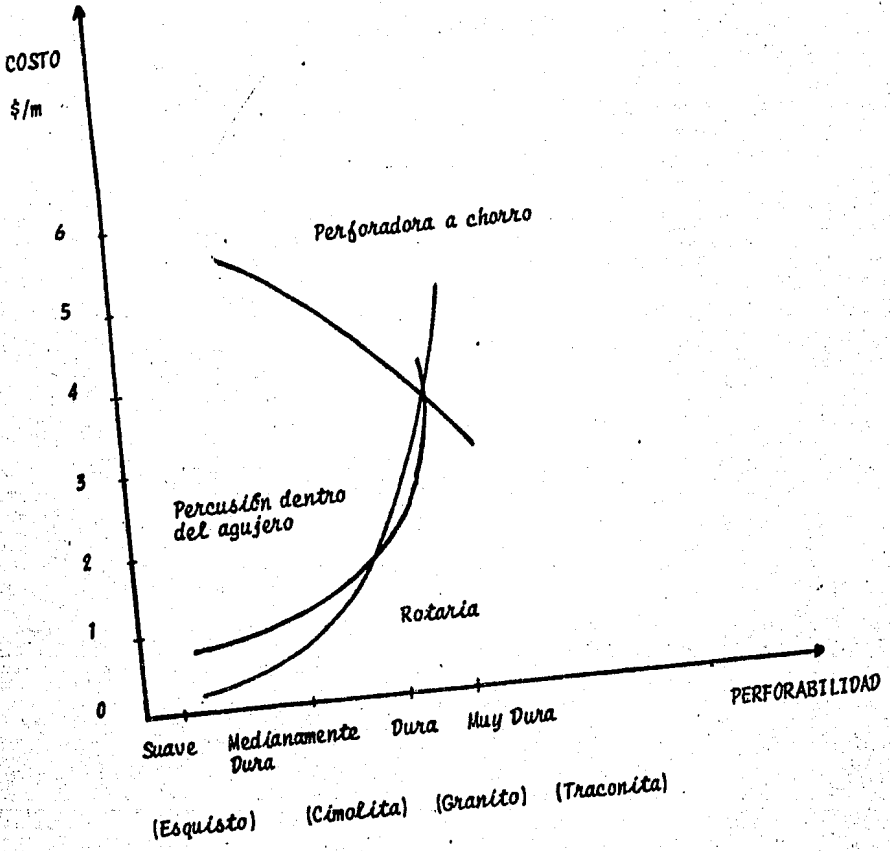
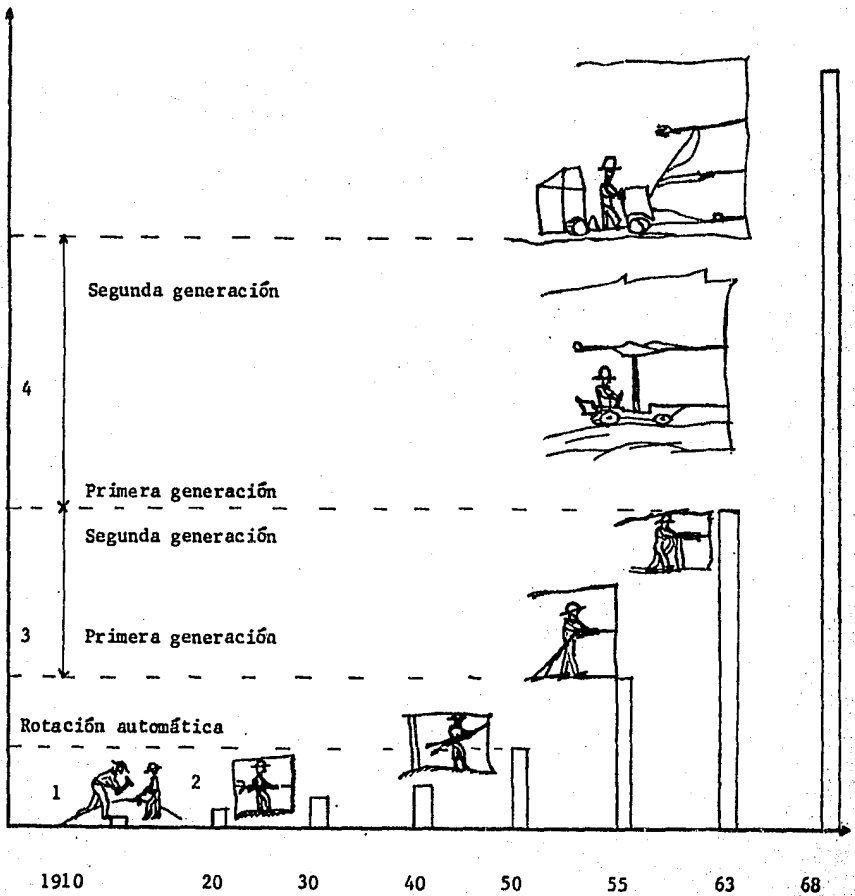


FIGURA 2.3 Costo en función de la perforabilidad



- 1) Trabajo a mano
- 2) Rotación a mano
- 3) El método Sueco
- 4) Totalmente Mecanizado

*Desarrollo Gráfico de Equipo de Perforación.*



### Conceptos Teóricos de la Voladura de Rocas

Para el cálculo de la carga y del diagrama de barrenación se tiene que conjugar la teoría con la experiencia, debido a que los cálculos dados por fórmulas y gráficas sirven como base, pero no se puede considerar como algo definitivo que se tenga que realizar. Es indudable que el criterio y experiencia del Ingeniero Constructor juega un papel decisivo en el diseño final de la explotación de un banco.

Antes de seguir con el desarrollo del cálculo práctico de la carga, es necesario hacer mención de algunos conceptos teóricos que nos ayuden a comprender mejor el proceso antes mencionado.

#### Mecanismos de Ruptura

El fenómeno de ruptura de roca en una explotación, la podemos dividir en dos fases:

- 1) Cuando truena un explosivo, se producen en la roca confinada, grandes presiones y tensiones que precipitan el fracturamiento de la roca debido a que tiene poca resistencia a la tensión.
- 2) En la segunda fase, los gases de la explosión entran en las grietas provocadas en la primera fase, y si la roca tiene una cara libre, las presiones que se producen abren las grietas, ampliando las y haciéndolas más profundas de tal forma que puedan ser lanzados los bloques de piedra. En caso de que no haya cara libre en una distancia adecuada para la ruptura, la segunda fase no se realiza y las grietas se vuelven a cerrar. Fig. 2.5.

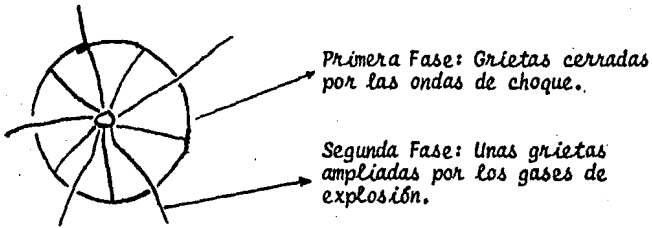


FIGURA 2.5 Fases del fenómeno de ruptura en una explosión.

Los ángulos naturales de ruptura que se esperan en una voladura con cara libre (que varían entre  $90^\circ$  y  $120^\circ$ ) están representados en la figura 2.6.

En la figura 2.6a se muestra el ángulo de fractura con fondo libre, y en el inciso (b) se muestra el ángulo de fractura cuando el fondo es cerrado.

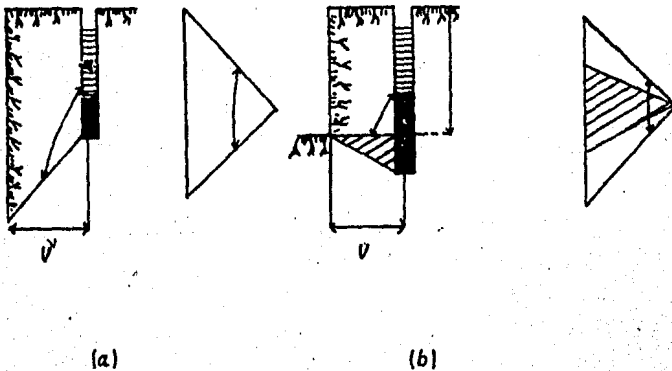


FIGURA 2.6 Ángulos naturales con cara libre

*Ley de la conformidad*

Esta ley nos dice que una carga (Q) que está situada sobre una roca homogénea, hace un crater de dimensiones: Profundidad  $d_1$  y diámetro  $L_1$  y si se repite el experimento aumentando la carga, las dimensiones aumentan en el crater en una proporción igual al aumento de carga con factor (F). Figura 2.7.

Esta ley se escribe:

$$Q_1 / Q_2 = L_1 / L_2$$

DONDE:

$Q_1$  y  $Q_2$  son las cargas del explosivo, correspondiente a los diámetros  $L_1$  y  $L_2$  del crater.

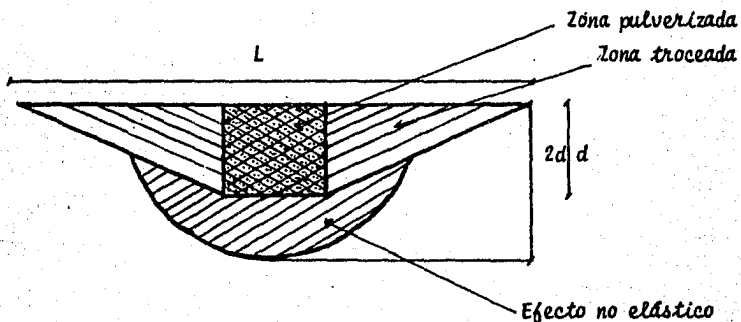


FIGURA 2.7 Efecto de las cargas extremas.

Hagamos un poco de historia para saber como ha evolucionado el estudio de la carga de explosivos.

Por ejemplo Belidor propuso en 1725, que la parte de la carga se supone proporcional al volumen arrancado y la otra a la superficie obtenida.

$$Q = K_2 V + K_3 V^3$$

DONDE:

$K_2$  y  $K_3$  son constantes

Hofer, dió una relación en la que unicamente se incluye el primer término de la fórmula de Belidor, pero incluye un factor  $b_1$  para el explosivo y otro  $b_2$  para la resistencia de la roca.

$$Q = b_1 b_2 V^2$$

Frabehkel, relaciona la explosibilidad (S), que es una medida de la resistencia de la roca, la piedra máxima, la profundidad del barrenado (H), la profundidad de la carga (h) y el diámetro (d) del barrenado.

$$h d^2 = Q = 50^{3.3} V_{max}^{3.33} (S^{3.3} H d^{2/3})$$

Aparte de esta existen otras fórmulas que representan el cálculo teórico de la carga, pero debido a su inexactitud no resultan prácticas. Para tener una fórmula que nos de la carga de explosivos para

una voladura, tenemos que ponerla en función de todas las variables que influyen en ella, Esto queda representada en la siguiente ecuación.

$$Q = f_1 (V, K, E, h, d, s, \rho, u, c)$$

Q = Cantidad necesaria de explosivos para romper la piedra

V, K, h, d = Magnitud geométrica

s,  $\rho$ , u = Factores característicos del explosivo

c = Depende de la roca y del grado de fijación

Debido a que esta fórmula está en función de muchas variables, se hacen varias simplificaciones con el fin de llegar a tener una fórmula práctica, pero debido a que no es de interés en este trabajo la simplificación de dicha fórmula, no se hará.

Para el diseño de explotación de rocas, existen dos métodos: El Americano, y el Sueco que fue propuesto por Langefors. Ver fig. 2.8. Es importante señalar que el método Sueco es mucho más conservador que el Americano por lo que es más usado.

#### Características de los Barrenos

- 1) Puede ser vertical (no es muy práctico, pero se puede usar cuando la orientación de la estatigrafía de la roca sea desfavorable).
- 2) Puede ser inclinada (es la posición más usada).
- 3) La carga total se divide en:

- a) Carga de columna  
 b) Carga de fondo  
 4) Retacado (arena seca o polvo de la misma barrenación, pero nunca con material inflamable).

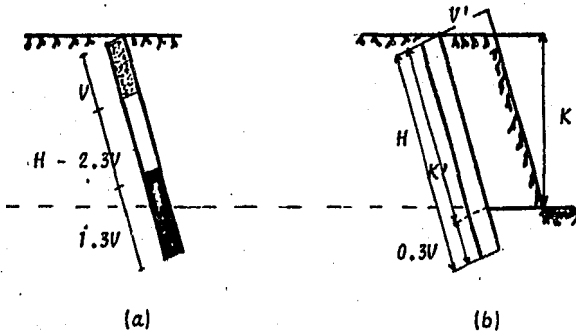


FIGURA 2.8. Distribución de barreno

Va habíamos comentado la formación de grietas radiales en la roca cuando sucede la explosión, pero estas grietas no son perpendiculares al barreno por lo tanto se necesita algo que las provoquen y que además venza la resistencia en el fondo de éste y que corte primero la roca y después supere la fricción entre el piso y la roca desprendida.

El objetivo de la distribución de la carga de fondo tiene que romper no solamente las paredes del barreno, sino que también el fondo del bordo, pero como no es posible controlarla en un sólo punto, se le da una extensión para poner la cantidad necesaria. Para un

mejor aprovechamiento dicha extensión debe ser igual al bordo arriba del piso del banco y 0.3V abajo de éste, ver fig. 2.8b.

#### Constante de Roca (c)

Esta constante nos da la resistencia que tiene la roca y corresponde a la carga específica en ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) de un explosivo normalizado.

Langefors ha demostrado que a pesar de que las propiedades de las rocas pueden variar bastante, se puede usar una  $c = 0.4 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

#### Proyección

Después de una explosión, la primera respuesta es la proyección de la roca tronada o movimiento de la misma por el explosivo.

#### Lanzamiento

Este fenómeno es difícil de controlar aunque se pueda calcular, siempre hay piedras chicas que se lanzan lejos de la tronada.

#### Hinchamiento

Es el esponjamiento necesario para completar el desprendimiento, se puede decir que a cielo abierto es alrededor de 50%.

#### Fragmentación

Con fragmentación se expresa el grado de trituración que se obtiene con explosivos. Aunque no se puede dar una definición precisa, es importante notar siempre una buena fragmentación, es decir tratar de

*cubrir los requerimientos del proyecto.*

*Para mejorar la fragmentación se puede recurrir a las siguientes sugerencias:*

- 1) Usar un explosivo adecuado al tipo de roca*
  - a) Cuando la roca es dura y homogénea, debe usarse un explosivo potente y con alta velocidad.*
  - b) Cuando la roca está muy fisurada, se debe usar un explosivo más lento, ya que éstos producen más gas, el cual hace el trabajo fundamental en roca fisurada.*



## II.- Explosivos, Accesorios, Conexiones y Artificios

Para que se pueda efectuar una buena voladura, es necesario hacer una buena selección y uso correcto de los explosivos durante el proceso, además debe procurarse usar el método más adecuado.

Para poder garantizar un uso correcto de los explosivos, se pueden tomar en cuenta los siguientes factores.

- 1) Selección del explosivo
- 2) Confinamiento del explosivo
- 3) Dosificación del explosivo
- 4) Colocación inteligente de los explosivos

Primeramente se debe hacer una selección de explosivos dependiendo de los requerimientos de cada caso, para esto podemos consultar la tabla 2.1, en la cual se muestran algunas propiedades.

El confinamiento de la carga es de gran importancia cuando sucede la explosión, ya que produce una presión en todas direcciones y una mala confinación provocaría que la presión rompa el punto más débil y se pierda parte del efecto.

Para que la carga esté completamente confinada, ésta debe estar dentro de un barrenado o en caso de que no se pueda cumplir esta restricción (para hacer desmonte), la carga del explosivo debe ser amarrada para que se logre un confinamiento parcial.

Desde la aparición de la pólvora, el hombre se dio cuenta que era posible por medio de la técnica y la experiencia, llegar a crear

explosivos que den eficiencia, seguridad y economía en un trabajo de explotación de rocas.

Para poder conocer un poco más los explosivos, es necesario saber algunas de las propiedades que los definen.

Primeramente diremos que explosivo, es un compuesto químico que se puede iniciar mediante calor, golpe, impacto, fricción, etc.

#### *Velocidad:*

Es la velocidad a la cual viaja la onda de detonación a través de una columna de explosivos.

#### *Potencia*

Se considera como la fuerza o energía que determina el empuje que desarrolla el explosivo para hacer un trabajo útil.

#### *Resistencia al agua*

Es la capacidad del explosivo para resistir bajo el agua sin perder sus propiedades y detonar.

#### *Flamabilidad*

Se define como la facilidad que tiene un explosivo a ser incendiado mediante flama o calor.

Además debe tomarse en cuenta que debido a las propiedades explosivas que tienen y la gran sensibilidad para iniciarse, se debe tener mucho cuidado en el manejo y transporte de un explosivo ya que de esto depende trabajar con seguridad.

TIPO	AGENTE EXPLOSIVO	FUERZA	VELOCIDA	RESISTENCIA AL AGUA	EMANACION	USO
Dinamita Nitroglicerina	Nitroglicerina	-	Alta	Buena	Exceso de gases.	Trabajos a cielo abierto
Extra	Nitroglicerina y Amoniaco	20 a 60%	Alta	Regular	Exceso de gases.	Trabajos a cielo abierto
Granulada	Amoniaco	25 a 65%	Baja	Muy mala	Exceso de gases.	Trabajos a cielo abierto (canteras)
Gelatina	Amoniaco	30 a 75%	Muy Alta	Buena a excelente.	Muy pocos gases o nulos	Sismología Trabajos submarinos y subterráneos.
Permitidos	?	-	Alta	Regular	Muy pocos gases.	Trabajos mineros (carbón)
Baja densidad Amoniaco		25%	Regular	Ninguna	Pocos gases	Trabajos mineros.

TABLA II.1 Selección y Propiedades de los Explosivos más comunes en construcción

### Accesorios, Conexiones y Artificios

La introducción de sistemas de microrretardo (que no es más que intervalos de tiempo de explosión entre cada uno de los estopines) en la voladura de rocas, ha incrementado en gran escala el volumen a extraer, y produce la disminución de vibraciones en el terreno. En estos sistemas se usan accesorios de retardo (estopines eléctricos).

Los estopines eléctricos se dividen en dos tipos: Estopín instantáneo y estopín milisegundo.

Los circuitos eléctricos que podemos usar para hacer la conexión de los estopines en un diagrama de barrenación, pueden ser:

#### Circuitos en Serie

Proporcionan una sola línea de flujo para la corriente eléctrica que va a pasar por cada fulminante. Fig. 2.9a.

#### Circuitos en Paralelo

En este circuito los cables de cada fulminante van conectados al circuito detonante. Fig. 2.9b.

#### Circuitos en Serie-paralelo

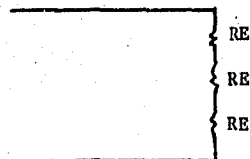
Este circuito está compuesto por la combinación de los dos métodos antes expuestos y consiste en conectar dos o más series en paralelo. Fig. 2.9c.

Después que se ha elegido el tipo de conexión y que se ha instalado, es necesario revisar con un galvanómetro o un voltímetro. Al revisar el circuito con estos aparatos se puede detectar alguna mala conexión, si existe algún corto circuito o si existen fugas de energía.

Para poder calcular cuanta energía se va a necesitar para hacer la explosión, es necesario conocer algunas características de los circuitos.

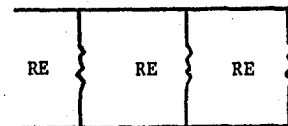
El encendido de los circuitos que forman la voladura se hace por medio de máquinas explosoras o corriente eléctrica, proporcionada por líneas de conducción. Existen dos tipos de máquinas explosoras: Las de condensador y las de generador.

Conexiones en Serie:



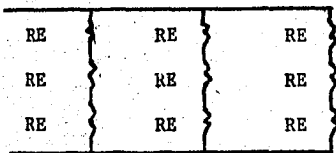
$$R_t = NR$$

Conexiones en Paralelo:



$$R_t = RE/N$$

Conexiones en Paralelo:



En los tres casos:

RE = Resistencia por estopón

$R_t$  = Resistencia total

$N_n$  = Número de estopines

$N_s$  = Número de series

$$1/R_t = 1/(NRE) + 1/(NR) + \dots + ..$$

Si:  $N = N = N_n$   $R_t = REN/N_s$

Además de la resistencia de los estopines, también es necesario conocer la de los cables de conexión y de encendido para obtener la resistencia total del circuito, para esto es necesario consultar unas tablas, las cuales dan valores para estopines y cables de diferentes calibres. Tablas 2.2 y 2.3.

#### RESISTENCIA DE CABLES DE COBRE

Calibre:	Resistencia en Ohms (Por cada 100 mts)
8	0.209
10	0.333
12	0.529
14	0.842
16	1.340
18	2.130
20	3.383
22	5.380

TABLA 2.2

## RESISTENCIA DE ESTOPINES CON CABLE DE COBRE

<i>Longitud de cable</i> (Mts)	<i>Instantáneo</i> (Ohms)	<i>Microrretardo</i> (Ohms)
3.50	1.50	1.40
4.30	1.67	1.57
6.00	1.91	1.81
7.30	2.07	1.97
9.00	1.71	1.61
12.00	1.91	1.81
15.00	2.12	2.02
30.00	3.13	3.03

TABLA 2.3

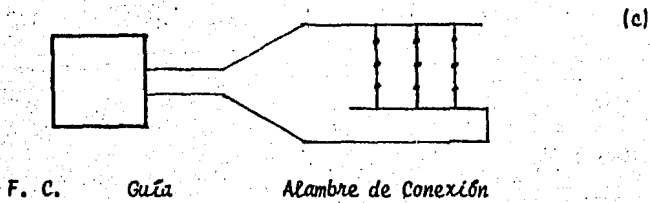
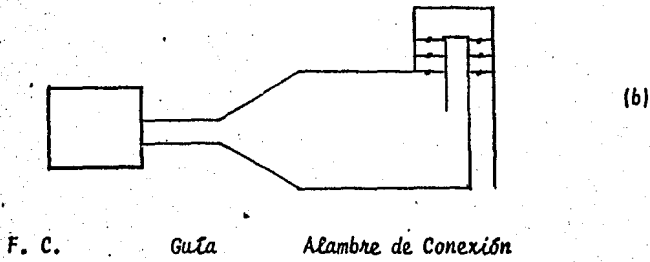
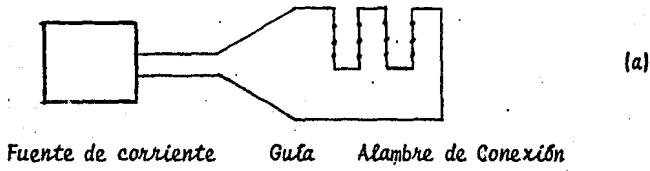


FIGURA 2.9 Tipos de Circuitos

- a) Serie
- b) Paralelo
- c) Serie-paralelo



#### II.4.- Casos Especiales Durante el Proceso de Explotación

En el proceso de explotación, una de las primeras actividades es el desmonte del banco, para esto podemos recurrir a las siguientes alternativas.

- a) Manual
- b) Maquinaria
- c) Explosivos

Estos últimos son necesarios cuando hay en el banco árboles y tocones muy difíciles de extraer por otros medios o para algunas piedras muy grandes que se encuentren aisladas en el banco, por tal motivo resulta de interés saber como podemos resolver tales problemas cuando se nos presenten en la práctica. A continuación se mencionan algunos casos.

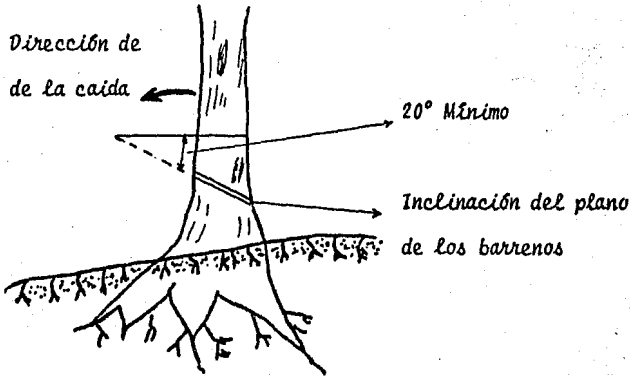
- 1) Fórmulas para el cálculo de cargas confinadas, cuando se desea derribar árboles.

$$P = D^2 / 3 \ 000$$

DONDE:

D está en centímetros

P está en kg.



*Caída de árboles verticales.*

## 2) Demolición de Tocones:

Se presentan dos casos:

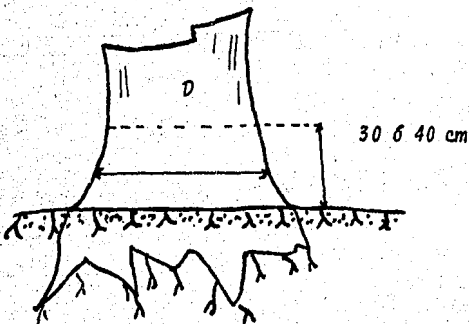
- a) Para tocones muertos:  $P = 1.5D$
- b) Para tocones vivos:  $P = 3D$

En ambos casos:

$P$  = Carga en kg. de TNT

$D$  = Diámetro del tocón en m, medida a

30 ó 40 cm arriba del suelo



Para colocar la dinamita se debe distinguir:

- a) Si los tocones tienen raíces laterales (fig. 4.3)
- b) Si los tocones tienen raíces profundas (fig. 4.4)

En caso de que no se pueda conocer, se toma el primero.

Para la colocación en raíces profundas se usan de una a cuatro cargas, de tal forma que la suma de ambas dé la carga total calculada.

Si se requiere cortar la raíz a una profundidad  $H$  se debe usar un número par de cargas (de dos a cuatro), y colocar la mitad de las cargas de un lado arriba y la otra mitad abajo de esta profundidad para provocar un efecto cortante.

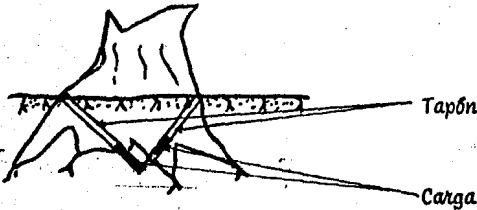


FIGURA 4.3

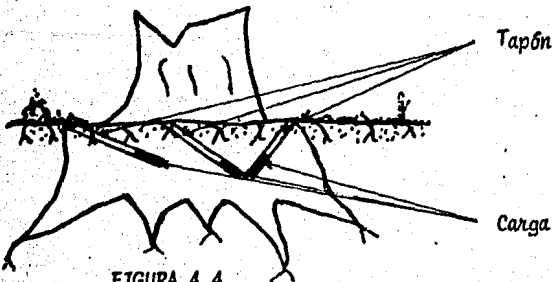


FIGURA 4.4

Para la colocación de cargas en árboles de raíces laterales.

En estos casos se coloca la carga lo más posible del centro del tocón y a una profundidad igual al radio de la base del tocón. Por tanto se usan 3 ó 4 cargas, de tal manera que la suma de todas ellas sea la P calculada.

### 3) Demolición de Rocas Aisladas

Existen tres métodos:

- a) Método del barreno de culebra (fig. 4.5)
- b) Método de la carga externa (fig. 4.6)
- c) Método clásico (fig. 4.7)

El método del barreno de culebra, es aplicable en rocas superficiales o poco hundidas.

Consiste en hacer un barreno lo suficientemente largo para contener la carga y el tapón, se excava la roca, se carga y se hace estallar.

Para calcular la carga se usa la siguiente fórmula:

$$P = 1.1D - 0.2$$

DONDE:

p = la carga en kg de TNT

D = diámetro de la roca en metros.

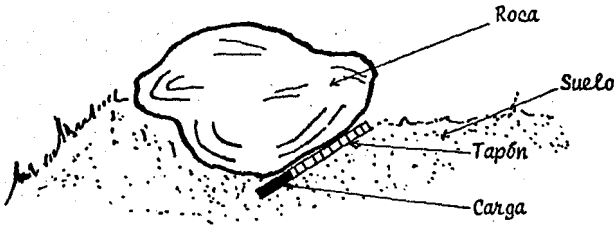


FIGURA 4.5

El método de la carga externa, también es aplicable a rocas superficiales, en este método se coloca la carga sobre o a un lado de la roca y se cubre con 25 ó 30 cm de lodo o arcilla, después se hace estallar. Es recomendable poner la carga en bolsa de plástico para que no la afecte la humedad del lodo.

Este método es efectivo y económico y el tamaño de la carga se calcula de la forma siguiente:

$$P = 2.2D - 0.5$$

DONDE:

P = Carga en kg de TNT

D = Diámetro de la roca en metros.

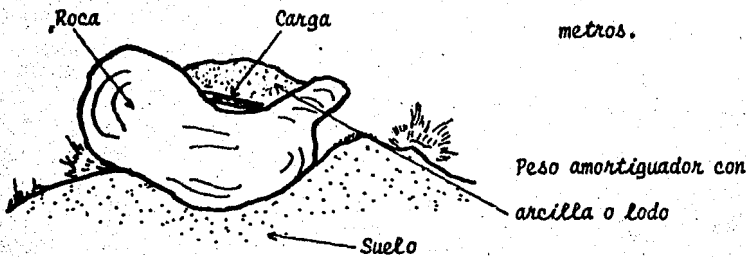


FIGURA 4.6

El método clásico consiste en taladrar un barreno y en este, meter la carga y confinarla con un tapón o taco. Este método resulta el más eficiente cuando la roca no es superficial, sino que forma parte de una roca mayor o de un manto de roca.

El taladro hace el barreno hasta una profundidad igual al radio de la roca bajo el nivel del suelo. Para el cálculo de la carga se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = 0.15D$$

DONDE:

- P = Carga en kg de TNT
- D = Diámetro de la roca en metros.

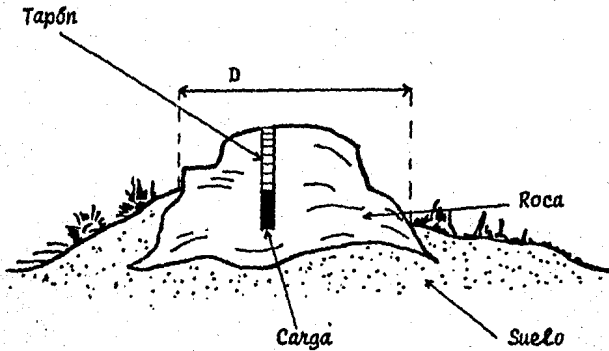
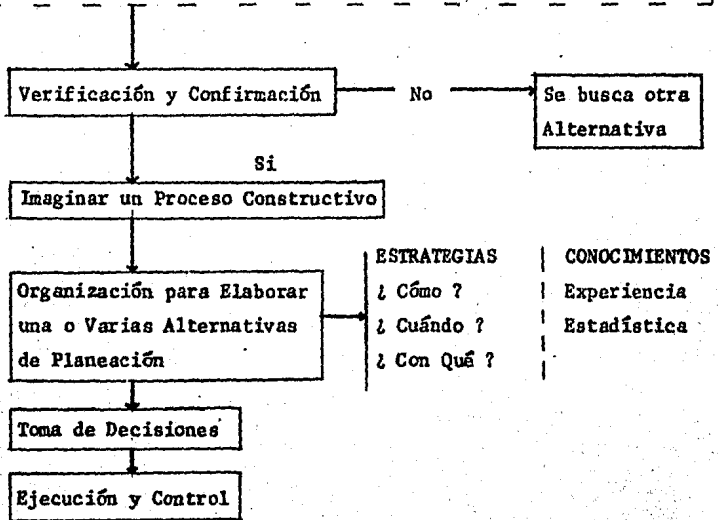


FIGURA 4.7

III.- Explotación de Rocas en Canteras o Bancos

III.1.- Diagrama

- Información mínima del proyecto:
- a) Características geométricas (planos)  
(ubicación, topografía, secciones, dimensiones, etc.)
  - b) Características geológicas y geofísicas (planos)  
(tipo de roca, formación, fallas, manantiales, restricciones, calidad, etc.)
  - c) Restricciones técnicas:  
Cantidades de obra (desmonte, despilme, volúmenes de roca utilizable, desperdicios, etc.)  
Forma y distribución del producto (granulométricas y transporte).  
Tiempo de ejecución (programa o programas)
  - d) Restricciones externas (afectaciones, seguridad, etc.)



### III.2.- Proceso Constructivo

Como pueden ser, los pasos prácticos en términos generales para una cantera cualquiera.

#### Planeación

#### COMO:

- a) Atacar desmontes y despalmes
- b) Distribuir y dimensionar los bancos ya desmontados y desplamados.
- c) Perfilar el/los bancos
- d) Construir caminos de acceso o de construcción dentro de la cantera y/o los sitios de depósito.:

#### CUANDO:

- a) Conocimiento del volumen requerido en banco
- b) Conocimiento del coeficiente de abundamiento u obtención del mismo.
- c) Conocimiento del o los tiempos efectivos de ejecución exigido o el que se plantea fijarse en caso de no existir fecha límite.
- d) Suposición del o los turnos que se trabajarán y su duración horaria efectiva.
- e) Obtención de los rendimientos requeridos mensuales, diarios y horarios considerando las informaciones de (a-d).
- f) Adecuar en un programa (ruta crítica o Gant) de las diferentes actividades en una primera alternativa.



- g) Retroalimentación con participación de los posibles ejecutores, directores, etc. Reducción de posibles alternativas considerando ordenamiento y secuencia de las actividades, el no olvido de alguna actividad y de los tiempos dispuestos por exigencia del programa.

**CON QUE Y CUANDO:**

- a) Conocimiento del ciclo del proceso

**PROCESO DE EXPLOTACION**

1.- Barrenación

2.- Carga de explosivos, artificios y conexiones

3.- Pruebas de las conexiones

4.- Retiros de equipo, personal, etc.

5.- Explosión

6.- Espera por emanación de gases y seguridad

7.- Acercamiento del equipo

8.- Carga del material

9.- Acarreo o transporte

10.- Colocación del material

- b) Suposición de los recursos mecánicos

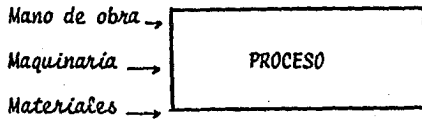
- c) Balanceo de conjuntos de equipos, considerando rendimientos requeridos, rendimientos obtenidos de conjunto (tiempo fijo).

- d) Obtención de alternativas representadas en rutas críticas (tiempo variable).

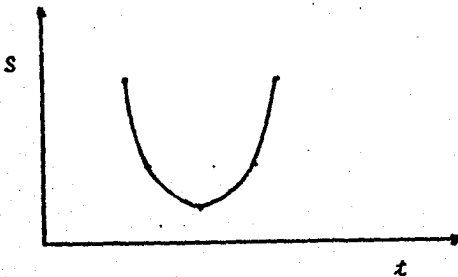
CUANTO

[COSTO]:

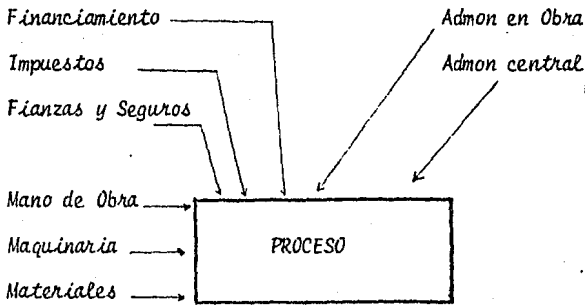
- a) Análisis de los costos directos a los recursos por aplicar en cada una de las alternativas.



- b) Obtener curva tiempo-costo o tabular para toma de decisiones (selección de alternativa)



- c) El análisis de los costos indirectos es importante aunque no vayan directamente relacionados concepto a concepto, pero si se necesitan en cada posible alternativa.



### Organización

En la organización para elaborar una o varias alternativas de planeación, se pueden incluir los siguientes conceptos.

- a) Participación humana
- b) Distribución de funciones
- c) Métodos y herramientas y/o sistemas para su elaboración
- d) Información
- e) Políticas

A estas alturas estamos suponiendo que ya tenemos una sola alternativa, la cual fue debidamente seleccionada.

### Dirección

Consiste en la representación en el campo de todo lo que se planeó en un papel. Durante la ejecución el Ingeniero tiene que verificar que el personal y la maquinaria estén listos para entrar en fun--

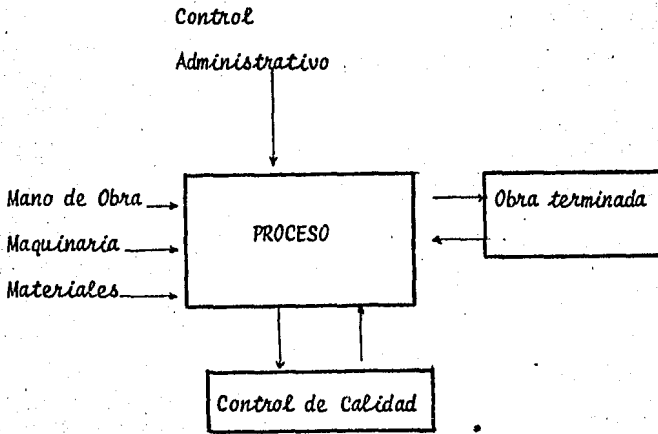
ción justo cuando empiece el turno, debe verificarse también que todos los materiales que se van a ocupar, estén en la obra, en caso de que falten algunos conseguirlos de inmediato, que los camiones estén cargando el material sin ningún problema antes de llevarlos a su depósito o a su colocación, que todo el personal y equipo sea retirado cuando vaya a efectuarse una explosión, etc.

#### Control

En la ejecución de una obra, debe haber cierto control de todas las actividades y situaciones imprevistas que se presenten durante el proceso.

- a) Que el personal no retrase las actividades que están previstas para un cierto tiempo.
- b) Estar pendiente por si sucede algún problema imprevisto que ponga en peligro la continuidad (descompostura de una máquina, algún accidente por falta de seguridad, etc.).
- c) Que el material esté saliendo con las especificaciones de proyecto
- d) Que los ciclos de carga y acarreo se estén cumpliendo y no provoquen amontonamiento de carros en espera del material, ya que Esto provocaría pérdidas.
- e) Resolver algún problema que se presente con la empresa contratante
- f) Checar constantemente la seguridad, para evitar accidentes.

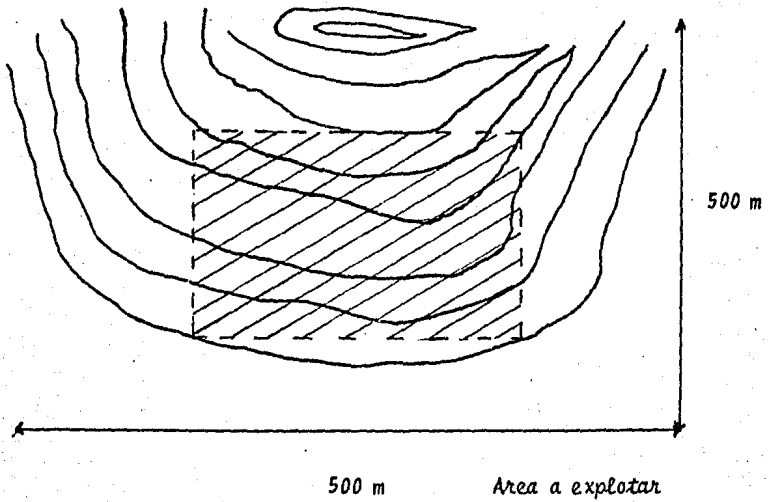
Con el control en la obra, llegamos a la culminación del sistema que da como resultado el producto que se quiere obtener. La figura siguiente muestra el sistema en su totalidad.



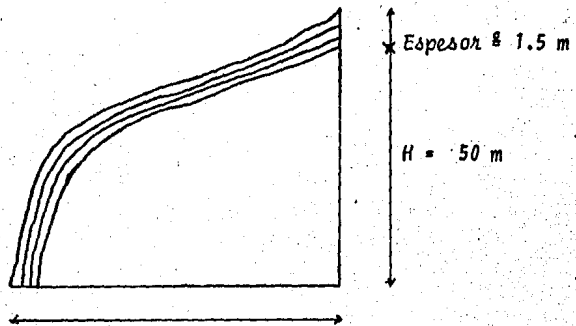
## IV.- Ejemplo

## IV.1.- Proceso

Imaginemos un banco, en un cerro que tiene la siguiente información:



Desmonte  
Despalme  
Remoción roca  
Alterada



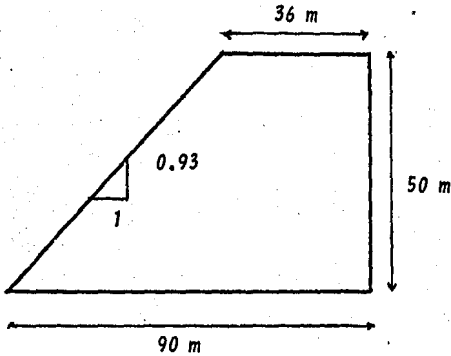
$$\text{Area de desmonte} = 200 \times 100 = 20\,000 \text{ m}^2$$

Inclinada nos da: 3 Hectáreas

$$\text{Espesor de despalme medio} = 1.00 \text{ m}$$

$$\text{Volumen aproximado de despalme} = 30\,000 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de roca alterada} = 10\,000 \text{ m}^3$$



Roca sana

$$\text{Area} = \frac{(36 + 90)50}{2} = 3\,150 \text{ m}^2$$

Sección media:

$$\text{Longitud} = 200 \text{ m}$$

$$\text{Vol. Aprox.} = 3\,150 \times 200 = 630\,000 \text{ m}^3$$

NOTA.- Este es un ejemplo que en la realidad se cubica de acuerdo con las curvas de nivel y los procedimientos de cálculo adecuados que determinan el volumen lo más exacto posible.

**Granulometría:**

1" - 3" - 10%

3" - 6" - 40%

6" - 12" - 50%

Considerando que el 50% pasa la malla cuadrática de 1" a 6" el coeficiente de fragmentación será  $S_{50} = 20$

Tiempo de ejecución : 12 meses

Utilización: Enrocamiento de una presa

Si cada mes se trabajarán 25 días efectivos y tenemos un volumen total de 630 000 m, tenemos que extraer un volumen, por día, igual a 2 100 m por tanto vamos a analizar el cálculo de un banco para extraer dicho volumen.

Cálculo de la carga de explosivos y obtención del diagrama de barrenación.

**DATOS:**

- Altura de banco = K = 9 m
- Ancho del banco = B = 24 m
- Inclinación de la pared = Vertical
- Explosivo = Tovex-700
- Tamaño de tronada = Dos intervalos por hilera
- Secuencia de Ignición = Milisegundo



### Barrenos de la voladura

Inclinación de los barrenos	= 1:3
Diámetro de la broca	= $d = 76 \text{ mm}$
Diámetro de los barrenos	= Igual al diámetro de la broca
A.- Bordo máximo	= $V_{\max} = 0.045 \times d = 0.045 \times 76 \text{ m} = 3.42 \text{ m}$
Sub-barrenación	= $U = 0.3 V_{\max} = 0.3 \times 3.42 \text{ m} = 1.03 \text{ m}$
Profundidad de los barrenos	= $H = 1.05(K + U) = 1.05(9 + 1.03) = 10.53 \text{ m}$
Desviación de los barrenos	= $F = 0.05 + 0.03 H = 0.05 + (0.03)(10.53)$ = 0.37 m
Bordo práctico	= $V = V_{\max} - F = 3.42 \text{ m} - 0.37 \text{ m} = 3.1 \text{ m}$
Espaciamiento entre hilera	= $E = 1.05 \times V = 1.05 \times 3.05 \text{ m} = 3.2 \text{ m}$
Número de espaciamientos	= $24/3.1 = 7.7 \approx 8$
Espaciamiento práctico	= $24/8 = 3.0 \text{ m}$
Número de barrenos por hilera	= No de espacios + 1 = 8 + 1 = 9 Barrenos
Coefficiente de barrenación	= <u>Metros Lineales totales de barrenación</u>

Volumen por extraer

Coefficiente de

$$\text{barrenación} = \frac{27 \text{ Barrenos} \times H}{\text{Volumen por extraer}} = \frac{284.31}{2100} = 0.135 \text{ m/m}^3$$

Este coeficiente nos da el volumen que se puede extraer por cada metro de barrenación. Para motivo de cobro, Este coeficiente se puede dar en m/m.

B.- Cálculo de la carga de explosivos:

Concentración de carga

$$\begin{aligned} \text{de fondo} &= Q_{kf} = d^2 / 1000 = (176)^2 / 1000 = \\ &= 5.78 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Altura de carga de

$$\begin{aligned} \text{fondo} &= H_f = V_{\max} + U = 3.42 \text{ m} + 1.03 \text{ m} \\ &= 4.50 \text{ m} \end{aligned}$$

Carga de fondo

$$= Q_f = Q_{kf} \times h_f = 5.78 \times 4.5 = 26.0 \text{ kg}$$

Taco

$$= h_o = V = 3.1 \text{ m}$$

Altura de columna

$$\begin{aligned} &= h_c = H - h_o = 10.53 - 4.50 - 3.1 \\ &= 2.93 \text{ m} \end{aligned}$$

Proporción entre

concentración de

columna y carga de

fondo (c = 0.4 - 0.7)

$$= c = 0.5$$

Concentración de carga

de columna

$$= Q_{kc} = Q_{kf} \times c = 5.78 \times 0.5 = 2.89 \text{ kg/m}$$

$$\text{Carga de columna} = Q_c = Q_{hc} \times h_c = 2.89 \times 2.93 = 8.5 \text{ kg}$$

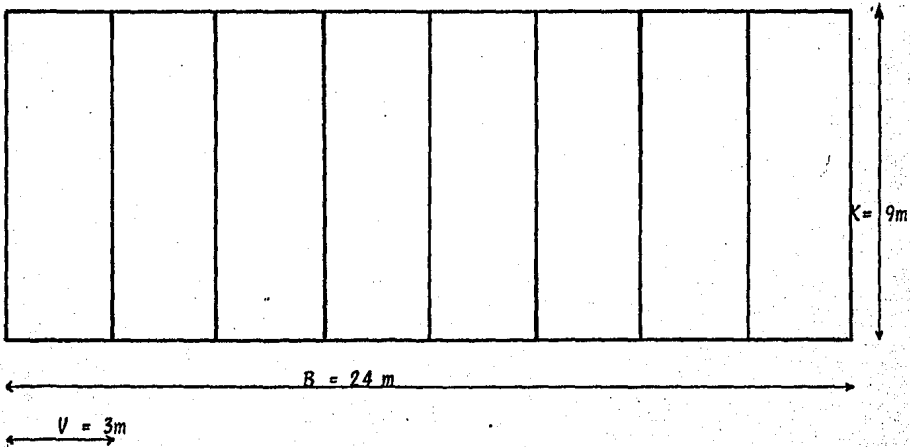
Carga total por

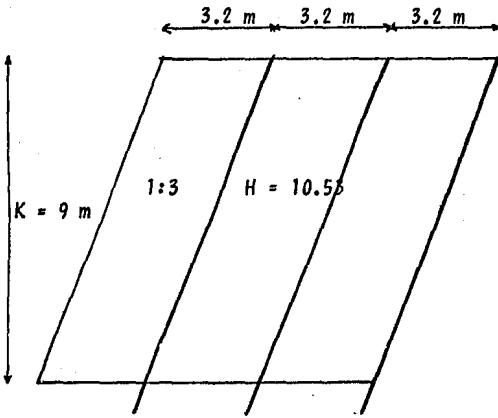
$$\text{barreno} = Q_{tot.b} = 8.5 + 26.0 = 34.5 \text{ kg}$$

Carga total

$$\begin{aligned} \text{del Banco} &= Q_{tot.B} = \text{No de barrenos} \times Q_{tot.b} = 27 \times 34.50 \\ &= 931.50 \text{ kg.} \end{aligned}$$

C.- Diagrama de barrenación:





Plan view diagram showing a rectangular layout with dimensions  $3.0\text{ m}$  by  $3.2\text{ m}$ . The layout is divided into a grid of 8 columns and 3 rows. Numerical values are placed in each cell of the grid.

150	125	125	125	125	125	125	125	150
100	75	75	75	75	75	75	75	100
50	25	25	25	25	25	25	25	50

Estopines: MS

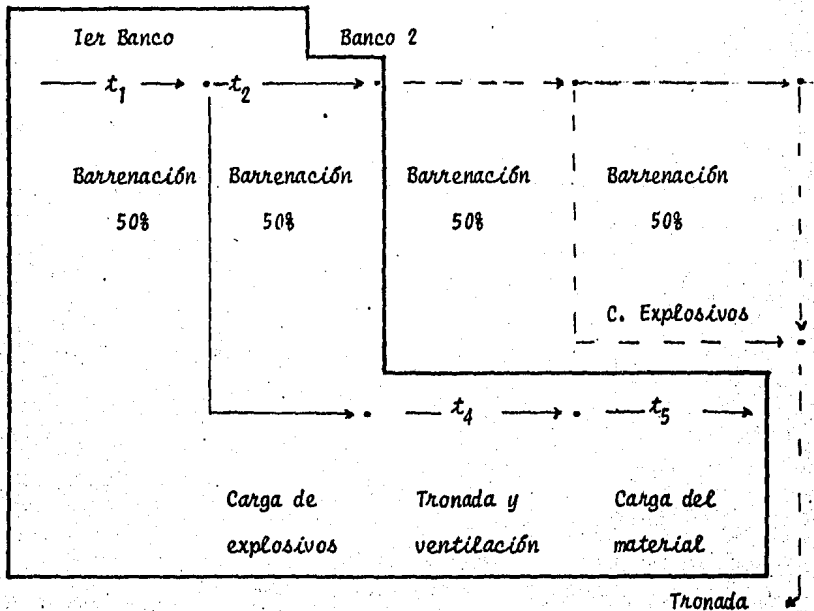
Escala 1:150

D.- Ahora suponiendo que la perforación de los barrenos se hace en un turno de 8 hrs con una eficiencia de 85% y que se va a llevar a cabo con Track Drilles, que tienen una velocidad de perforación de 15 ml/hr.

$$\text{Rendimiento de un Track por turno} = 15 \text{ ml/hr} \times 1 \times 8 \times 0.85 = 102 \text{ ml/turno}$$

$$\text{No Tracks} = \frac{\text{ml totales de barrenación}}{\text{Rendimiento del Track}} = \frac{284.31}{102} = 3 \text{ Tracks}$$

Veamos el proceso de explotación en el siguiente ciclo.



$$t_1 + t_2 + t_4 = 8 \text{ hrs}$$

$V$  es el tiempo que se requiere para obtener  $2\ 100\ \text{m}^3$ .

Por lo tanto para cargar y acarrear el material, trabajando dos turnos por día nos quedan 8 hrs.

E.- Para realizar la carga y acarreo del producto del banco se tienen los siguientes datos:

Coefficiente de abundamiento = 1.6

Un cargador de  $4\ \text{Yd}^3$  con un rendimiento práctico de  $180\ \text{m}^3/\text{hr}$  abundados.

Capacidad del camión =  $10\ \text{m}^3$

Longitud de acarreo 10 Km

Velocidad de ida 30 Km/hr

Velocidad de regreso 60 Km/hr

Tiempo de descarga

del camión 1 minuto

Considerar horas de 60 minutos

El ciclo se considera formado por:

Tiempo de maniobra del cargador	--	$180/60 = 3\ \text{m}^3/\text{minuto}$	
		$10\ \text{m}^3/3 =$	3.33 minutos
Tiempo de ida	--	$\frac{10\ \text{Km} \times 60\ \text{min.}}{30\ \text{Km}}$	=20.00 minutos
Tiempo de regreso	--	$\frac{10\ \text{Km} \times 60\ \text{min.}}{60\ \text{Km}}$	= 10.00 minutos
Tiempo de descarga del camión	--		<u>1.00 minutos</u>
			$t_c = 34.33\ \text{minutos}$

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen a extraer por día} &= 2\,100\text{ m}^3 \\
 \text{Volumen abundado} &= 2\,100\text{ m}^3 \times 1.6 = 3\,360\text{ m}^3 \\
 \text{Rendimiento del cargador} &= 180\text{ m}^3/\text{hr} \\
 \text{Horas turno} &= 8\text{ hr} \times 0.85 = 6.80\text{ hrs} \\
 \text{Producción del cargador} &= 180\text{ m}^3/\text{hr} \times 6.80\text{ hrs} = 1\,224\text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{No de cargadores} = 3\,360/1\,224 = 2.7 \approx 3 \text{ cargadores}$$

$$60\text{ min.}/34.33\text{ min.} = 1.75$$

$$10\text{ m}^3 \times 1.75 = 17.5\text{ m}^3/\text{hr por camión}$$

$$\text{No de camiones} = \frac{180\text{ m}^3/\text{hr}}{15.6\text{ m}^3/\text{hr}} = 10.3 \approx 10 \text{ camiones por cargador}$$

$$\text{No total de camiones} = 3 \times 10 = 30 \text{ Camiones}$$

F.- Tenemos una plantilla de barrenación de nueve barrenos por hilera. Cada barreno lleva un estopín en la carga. El alambre de conexión tiene una longitud de 100 metros y el alambre de línea de encendido, 100 metros por cada conductor (se considera que se requiere mínimo 2 amperes por estopín para su encendido). Se calcula el voltaje necesario, si el circuito se conecta en serie-paralelo.

Resistencias:

Alambre de conexión

(calibre 20)

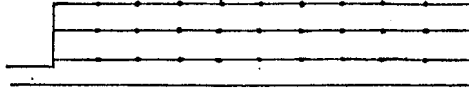
3.383 Ohms cada 100 mts

Alambre de encendido

0.842 Ohms cada 100 mts

Estas resistencias fueron obtenidas de la tabla 2.2 del cap. II.

## Sistema de conexión en Serie-paralelo



$$R = \frac{\text{Resistencia de una serie}}{\text{No de series}} = \frac{2.03 \times 9}{3} = 6.09 \text{ Ohms}$$

$$R_{\text{alambre de encendido}} = 3.383 \text{ Ohms}$$

$$R_{\text{alambre de encendido}} = \frac{0.842 \text{ Ohms}}{10.315 \text{ Ohms}}$$

$$V = I \times R$$

$$V = 2 \text{ Amperes} \times 10.315 \text{ Ohms} = 20.63 \text{ Volts}$$

DONDE:

I = Corriente en Amperes

V = Voltaje aplicado en  
Volts.

R = Resistencia en Ohmios



## IV.2.- Costo

Para el análisis de los costos, en la explotación de roca de una cantera, tomaremos los siguientes conceptos.

- 1.- Desmote
- 2.- Despalme
- 3.- Extracción y Remoción
- 4.- Sobre-acarreo - 10 Km.

A) Desmote de vegetación para explotación del banco.

a).- Mano de obra

1 cabo de cuadrilla	\$ 715.16/turno
10 peones x \$ 387,42/turno	<u>\$ 3874.20/turno</u>
	\$ 4589.36/turno

Herramienta y equipo de seguridad 10%	\$ 458.94/turno
	<u>\$ 5048.30/turno</u>

Rendimiento = 0.10 Ha/turno

$$\text{Cargo} = \frac{\$ 5048.30/\text{turno}}{0.10 \text{ Ha/turno}} = \$ 50\,483.00/\text{Ha}$$

## b).- Materiales

Diesel para quema.

$$600 \text{ Lt/Ha} \times \$ 1.40/\text{Lt} = \$ \underline{840.00/\text{Ha}}$$

$$\text{CARGO TOTAL POR DESMONTIE} = \$ 51\,323.00/\text{Ha}$$

## B.- Despalme

## a).- Equipo

$$\text{Tractor D8K} \quad \quad \quad \$ 1\,560.34/\text{hr}$$

## b).- Operación

$$\text{Operador de tractor} \quad \quad \quad \$ 1\,310.95/\text{turno}$$

$$\text{Ayudante} \quad \quad \quad \underline{447.10/\text{turno}}$$

$$\$ 1\,758.05/\text{turno}$$

Herramienta y equipo

$$\text{de seguridad el 3\% de Oper.} \quad \quad \quad \$ \underline{52.74/\text{turno}}$$

$$\$ 1\,810.79/\text{turno}$$

CARGO por

$$\text{operación} = \frac{\$ 1\,810.79/\text{turno}}{8 \text{ hr}/\text{turno} \times 0.85} = \$ 266.30/\text{hr}$$

$$\text{CARGO por equipo} \quad \quad \quad \$ 266.30/\text{hr}$$

$$\text{y operación} \quad = \quad \underline{\$ 1\,560.34/\text{hr}}$$

$$\$ 1\,826.65/\text{hr}$$

Si tenemos un rendimiento de  $40 \text{ m}^3/\text{hr}$  de material incluyendo acarreo fuera del límite de explotación y zonas utilizables.

$$\text{CARGO TOTAL POR} = \frac{\$ 1\,826.65/\text{hr}}{40 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$ 45.66/\text{m}^3$$

DESPALME

## C.- Extracción y remoción del material

## Barrenación

a).- La perforación se hace con Track Drilles y la plantilla de barrenación es de 3 m x.3.20 m y barrenos de 10.53 m de profundidad.

Coefficiente de barrenación =  $0.135 \text{ m/m}^3$

Rendimiento perforadora = 15 ml/hr

Track Drill \$ 600.80/hr

Compresor 600 PCM \$ 533.83/hr

\$1 134.63/hr

Cargo =  $\frac{\$ 1 134.63/\text{hr} \times 0.135\text{ml/m}^3}{15 \text{ ml/hr}} = \$ 10.21/\text{m}^3\text{-banco}$

## b).- Mano de obra

1 cabo de barrenación \$ 834.34/turno

1 compresorista \$ 665.48/turno

1 ayudante operador

Trac \$ 447.10/turno

1 operador Track \$ 1 072.74/turno

\$ 3 009.66/turno

Herramienta y equipo

de seguridad 3% del

cargo de mano de obra \$ 90.29/turno

3 099.95/turno

Cargo por maquinaria

$$\text{y mano de obra} = \frac{\$ 3\,099.95/\text{turno} \times 0.135 \text{ m}^3/\text{m}^3}{8 \text{ hr}/\text{turno} \times 0.85 \times 15 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$ 4.1/\text{m}^3\text{-ban.}$$

c).- Herramienta usada para la barrenación.

Descripción	Duración (m)	Costo (\$)	\$/mL
Barra de ext. de 1 1/2"	360	8 640.00/pza	= 24.00
Cople 1 1/2"	360	1 390.00/pza	= 3.86
Barra de golpeo	1 550	5 960.00/pza	= 3.85
Broca tipo "x" de 3" 0	250	8 250.00/pza	= $\frac{33.00}{64.71}$

$$\text{Cargo por herramienta} = 64.71/\text{mL} \times 0.135 \text{ m}^3/\text{m}^3 = \$ 8.74/\text{m}^3\text{-banco}$$

CARGO POR

$$\text{BARRENACION} = 10.21/\text{m}^3\text{-banco} + \$ 4.1/\text{m}^3\text{-b.} + \$ 8.74/\text{m}^3\text{-b.}$$

$$= \$ 23.05/\text{m}^3\text{-banco}$$

Cargo de explosivos

a).- Materiales

Volumen a extraer por barreno

$$3.2 \text{ m} \times 3.0 \text{ m} \times 10.53 \text{ m} = 101.1 \text{ m}^3/\text{barreno}$$

$$\text{Densidad de carga} = \frac{34.5 \text{ kg}}{101.1 \text{ m}} = 0.34 \text{ kg/m}$$

Tovex-700

$$0.34 \text{ kg/m}^3 \times \$ 44.00/\text{kg} = \$ 14.96/\text{m}^3\text{-bco}$$

Estopines Ms de 5 metros:

$$0.013 \text{ pza/m}^3 \times \$ 27.4/\text{pza} = \frac{\$ 0.36/\text{m}^3\text{-bco}}{\$ 15.32/\text{m}^3\text{-bco}}$$

Alambre para conexión,

$$\text{explosor, galvanómetro, etc.} = \frac{\$ 0.50/\text{m}^3\text{-bco}}{\$ 15.82/\text{m}^3\text{-bco}}$$

$$\text{Carga por materiales} = \frac{\$ 15.82/\text{m}^3\text{-bco}}{\$ 15.82/\text{m}^3\text{-bco}}$$

## b).- Mano de obra

Cuadrilla para poblado y tronado:

$$1 \text{ poblador} \times \$ 953.53/\text{turno} = \$ 953.53/\text{turno}$$

$$2 \text{ cargadores} \times \$ 715.16/\text{turno} = \$ 1\,430.32/\text{turno}$$

$$2 \text{ ayudantes} \times \$ 447.10/\text{turno} = \frac{\$ 894.20/\text{turno}}{\$ 3\,278.05/\text{turno}}$$

Herramienta y equipo de

seguridad 3% de la mano de

obra

$$\frac{\$ 98.34/\text{turno}}{\$ 3\,278.05/\text{turno}}$$

$$\frac{\$ 3\,376.39/\text{turno}}{\$ 3\,376.39/\text{turno}}$$

$$\text{Carga de mano de obra} = \frac{\$ 3\,376.39/\text{turno}}{27 \text{ barrenos/tur.} \times 101.1 \text{ m/barr.}}$$

$$= \$ 1.24/\text{m}$$

## c).- Equipo de sopleteado

Compresor 600 PCM = \$ 533.83/hr

Operador

$$\frac{655.48/\text{turno} \times 1.03}{8 \text{ hr}/\text{turno} \times 0.85} = \frac{\$ 99.28/\text{hr}}{\$ 633.11/\text{hr}}$$

$$\text{Carga por equipo} = \frac{\$ 633.11/\text{hr} \times 6 \text{ min}/\text{barr.}}{60 \text{ min}/\text{hr} \times 101.1 \text{ m}/\text{barr.}} = \$ 0.63/\text{m}^3\text{-bco}$$

$$\text{CARGO POR EXPLOSIVOS} = \$ 17.69/\text{m}^3\text{-bco}$$

## Remoción del material

## a).- Equipo

Tractor D8K = \$ 1 912.79/hr

Rendimiento = 70 m<sup>3</sup>-bco/hr

$$\text{Carga} = \frac{\$ 1 912.79}{70 \text{ m}^3\text{-bco}/\text{hr}} = \$ 27.33/\text{m}^3\text{-bco}$$

## b).- Operación

Operador de tractor = \$ 1 310.95/turno

Ayudante = \$ 447.10/turno

\$ 1 758.05/turno

Herramienta y equipo

de seguridad 3% de oper. = \$ 52.74/turno

\$ 1 810.79/turno

$$\text{Carga por operación} = \frac{\$ 1 810.79/\text{turno}}{8 \text{ hr}/\text{turno} \times 0.85 \times 70 \text{ m}^3\text{-bco}/\text{hr}}$$

$$= \$ 3.80/\text{m}^3\text{-bco}$$

$$\text{CARGO POR REMOCION} = \$ 31.13/\text{m}^3\text{-bco}$$

#### D.- Carga del material

##### a).- Equipo

$$\text{Cargador 988-B} = \$ 2\,242.71/\text{hr}$$

$$\text{Rendimiento} = 180 \text{ m}^3\text{-suelto/hr}$$

$$\text{Carga por equipo} = \frac{\$ 2\,242.71/\text{hr}}{180 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$ 12.46/\text{m}^3$$

##### b).- Operación

$$\text{Operador de cargador} = \$ 1\,310.95/\text{turno}$$

Herramienta y equipo

$$\text{de seguridad } 3\% \text{ de ope.} = \frac{\$ 39.33/\text{turno}}{\$ 1\,350.28/\text{turno}}$$

$$\text{Carga por oper.} = \frac{\$ 1\,350.28/\text{turno}}{8 \text{ hr/turno} \times 0.85 \times 180 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$ 1.1/\text{m}^3$$

CARGO POR CARGA

$$\text{DE MATERIAL} = \$ 13.56/\text{m}^3$$

#### E.- Acarreo del material (10 Km)

Para el cálculo de este concepto se toma el tiempo del ciclo de acarreo que se obtuvo en el inciso D del proceso.

a).- Si el camión de volteo pesado R-22 tiene un precio de  
\$ 1 799.64/hr.

CARGO POR

$$\text{ACARREO} = \frac{\$ 1\,799.64/\text{hr} \times 0.64 \text{ hr}}{10 \text{ m}^3} = \$ 115.17/\text{m}^3 \text{ en } 10 \text{ Km.}$$

$$\text{CARGO POR Km} = \frac{\$ 115.17/\text{m}^3}{10 \text{ Km}} = \$ 11.5/\text{m}^3\text{-Km.}$$



#### IV.- Presentación del problema

Se deben presentar los recursos planeados en formas o esquemas que permitan controlarse a lo largo de la ejecución.

Varias formas tentativas pueden ser las que se manifiestan a continuación.

Resumen a costo directo:

Extracción, remoción y carga (medidas en banco)

##### 1.- Extracción

###### a).- Barrenación:

Equipo	\$ 10.21/m <sup>3</sup>
M. de obra	\$ 4.10/m <sup>3</sup>
Materiales	\$ 8.74/m <sup>3</sup>
	<u>\$ 23.05/m<sup>3</sup></u>

###### b).- Voladura:

Equipo y herramienta	\$ 0.75/m <sup>3</sup>
M. de obra	\$ 1.24/m <sup>3</sup>
Materiales	\$ 15.82/m <sup>3</sup>
	<u>\$ 17.69/m<sup>3</sup></u>

##### 2.- Remoción

Equipo	\$ 27.33/m <sup>3</sup>
M. de obra	\$ 3.80/m <sup>3</sup>
	<u>\$ 31.13/m<sup>3</sup></u>

## 3.- Carga del material

Equipo	\$ 12.46/m <sup>3</sup>
M. de obra	\$ 1.10/m <sup>3</sup>
	<u>\$ 13.56/m<sup>3</sup></u>

De la memoria de cálculo anterior, podemos extraer un último resumen.

Desmonte	\$ 51 323.00/Ha
Despalme	\$ 64.84/m <sup>3</sup>
Explotación (extracción y remoción)	\$ 71.87/m <sup>3</sup>
Carga del material	\$ 13.56/m <sup>3</sup>
Acarreo del material	\$ 11.50/m <sup>3</sup>

## Cálculo de indirectos

## 1.- Administración de obra.

## a).- Ingeniería:

Personal técnico	3.00	
Previsión social	0.45	
Pasajes y viáticos	0.30	
Rentas, Depreciación y mantenimiento	0.60	
Vehículos	0.50	
Gastos de oficina de campo	0.20	
Correo, telégrafo, teléfono y radio	0.15	5.20

## b).- Administración.

Personal administrativo	1.55	
Previsión social	0.20	
Pasajes y viáticos	0.10	
Renta, depreciación y mantenimiento	0.50	
Vehículos	0.30	
Gastos de oficina	0.25	
Correo, telégrafo, telefona y radio	<u>0.10</u>	3.00

## c).- Campamento y rentas 1.80

## d).- Fletes

Equipo	2.20	
Otros	<u>0.44</u>	2.64

## e).- Administración central

Prorrateo de gastos generales	10.46	
Financiamiento	3.23	
Renovación de Creditos bancarios		

0.25 x 2 meses = 0.17

3

Fianzas y seguros 1.0 14.86

f).- Cargos adicionales (impuestos y diversos)	<u>1.00</u>
SUMA DE CARGOS INDIRECTOS	28.50 %

Factor por que se deberá multiplicar el costo para obtener el precio unitario.

(CD) Costo Directo	1.0000 CD
(CI) Costo Indirecto	<u>0.2850 CD</u>
	1.2850 CD

g).- Cargos por utilidad

(UT) Utilidad neta 5% de la suma (CD + CI)

$$0.05 \times 1.2850 \text{ CD} = 0.0643 \text{ CD}$$

Impuestos sobre utilidad (ISU) 42% de la Utilidad bruta

$$\text{Utilidad Bruta} = \frac{0.0643 \text{ CD}}{0.58} = 0.1109 \text{ CD}$$

$$0.1109 \times 0.42 = 0.0466 \text{ CD}$$

h).- Cargos por deducciones

O.M.B.S.R.	1.00%	del P.U.
Servicios de inspección y vigilancia de la SPP	0.50%	del P.U.
Aportación para ICIC	<u>0.20%</u>	del P.U.
SUMA	1.70%	del P.U.

Factor de deducciones:

$$\frac{1}{1 - 0.017} - 1 = \frac{1}{0.983} - 1 = 0.017294$$

$$(CD + CI + UT + ISU) = 1.0 + 0.2850 + 0.0643 + 0.0466 \\ = 1.3959$$

$$1.7294\% \text{ de la suma } (CD + CI + UT + ISU) = (1.3959)(0.017294) \\ = 0.0241 \text{ CD}$$

$$\text{PRECIO UNITARIO} = 1.4200 \text{ CD}$$

PRECIOS UNITARIOS:

Desmante	\$ 51 323.00/Ha	x	1.42	=	\$ 72 878.66/Ha
Despalme	\$ 45.66/m <sup>3</sup>	x	1.42	=	\$ 64.84/m <sup>3</sup>
Explotación	\$ 71.87/m <sup>3</sup>	x	1.42	=	\$ 102.05/m <sup>3</sup>
Carga del Material	\$ 13.56/m <sup>3</sup>	x	1.42	=	\$ 19.25/m <sup>3</sup>
Acarreo del Material	\$ 11.50/m <sup>3</sup>	x	1.42	=	\$ 16.33/m <sup>3</sup>





## NOTA:

En la realidad, cuando se va a realizar un trabajo de Ingeniería cualquiera que sea, se deben estudiar muy bien los planos para poder empaparse bien de la obra. Después de esto el Ingeniero ya está listo para cubicar todos los conceptos que se estén usando y poder así hacer su programa de realización.

El programa de la página anterior, es simplemente ejemplificativo ya que en la práctica se efectúa lo que se llama "proforma" que incluye.

- 1) Un programa o el tiempo en que se va a realizar cada una de las actividades incluidas.
- 2) Un programa de utilización de maquinaria, en este se incluyen los diferentes tipos de máquinas que se van a usar y cual es su costo por mes.
- 3) Programa de materiales, se incluyen todos los materiales que se van a usar en cada actividad y su costo aproximado por mes.
- 4) Programa de mano de obra, en este se incluye todo lo que se va a gastar en personal, según las actividades que se vayan a efectuar ya que de esto dependerá la cantidad y las categorías del personal que se contrate.



El objetivo de hacer un "proforma", es saber de antemano la cantidad de obra que vamos a realizar, el tiempo de ejecución de la misma y cuanto vamos a gastar en mano de obra, materiales y maquinaria, ya que conociendo el costo total de realización y teniendo los anexos de los precios unitarios que vamos a cobrar por actividad y además las cantidades de obra por realizar, estaremos en condiciones de hacer una comparación entre lo que nos va a costar y lo que vamos a cobrar, ya que de acuerdo a ésta diferencia nos podremos dar cuenta de si estamos ganando o perdiendo. No es de asombrarse que en una obra halla pérdidas, pues suele suceder que empresas normalmente grandes, en ocasiones, contraten obras unicamente para conservar su prestigio. La pérdida se puede ocasionar debido a que las obras se contratan con precios unitarios muy bajos aunque debe aclararse que la empresa contratada puede hacer una apelación a la empresa contratante y es posible que lleguen a un acuerdo para la empresa que está realizando el trabajo y al finalizar la obra, se hacen ajustes de pago con los cuales la empresa se recupera.

## BIBLIOGRAFIA

*Movimiento de tierras*

*Nichols*

*Voladura de rocas*

*Langefors*

*Apuntes de mov. de tierras*

*Centro de Educación Continua*

*Técnica Sueca de voladuras*

*Rune*

*Gustafsson*

*Manual para el caso de explosivos*

*Du Pont*

*Apuntes de precios unitarios*

*Facultad de Ingeniería*