

Dej. 86

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

EXPLORACION DE ROCA

TESIS

Que para obtener el título de Ingeniero Civil

Presenta

Oscar Octavio Jiménez Márquez

México, D.F.

1981



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## A) GENERALIDADES

En la explotación de roca se encuentran los siguientes casos importantes: la roca graduada y la roca sin graduar.

La explotación de roca graduada es aquélla en la que se piden requerimientos de tamaño (trituración, enrocamientos, etc.).

La explotación de roca sin graduar es aquélla en la que no se piden requerimientos de tamaño (cortes).

En los dos casos anteriores, se necesita fragmentar la roca para poder manipularla.

Para hacer una explotación debida es necesario conocer el tipo de roca y el estado en que se encuentra, es decir, es importante analizar la roca de acuerdo a su clasificación geológica y atendiendo al grado de agrietamiento, intemperismo, etc.

Hay dos métodos importantes para la explotación de roca, el uso de explosivos y el uso de escarificadores.

Es importante, dar una introducción histórica:

En Europa, entre los años 1200 y 1300, se conoció la pólvora negra, la más antigua de las substancias explosivas, que consistía en una mezcla de salitre, carbón de leña y azufre.

La pólvora negra sólo se utilizó en un principio para fines bélicos, y no fue sino hasta el siglo XVII cuando se probó en Alemania e Inglaterra para demoler piedras.

Cuando los resultados que se obtuvieron fueron satisfactorios, se abandonaron los viejos métodos mineros, generalizándose el trabajo con barrenos en la construcción de túneles y caminos. La operación de dar fuego a los barrenos se consideró siempre peligrosa, ya que hasta el año de 1831 se conoció la mecha lenta.

Cinco siglos después de descubierta la pólvora negra, el químico francés Berthollet la modificó y la transformó en un explosivo más potente. El alquimista inglés Howard obtuvo el fulminato de mercurio, el cual hace explosión por medio de llama o de percusión constituyendo un verdadero detonante.

Aunque los descubrimientos de la nitroglicerina y el algodón pólvora por los químicos Sobrero y Schonbein influyeron notablemente en el campo de los explosivos, el que descubrió nuevos horizontes en esta industria, fue el sabio sueco ALFREDO NOBEL (1833-1896) que logró hacer manejable la peligrosa nitroglicerina, transformándola en un explosivo de trabajo, al que llamó DINAMITA, la cual no es otra cosa que el 75% de nitroglicerina absorbida en 25% de tierra de infusorios (una tierra de diatomeas muy porosa). A Nobel se le debe también, la gelatina explosiva, así como la introducción del ya olvidado fulminato de mercurio, que fabricó a manera de cebo para provocar con seguridad la explosión de la dinamita, del algodón pólvora y de otros explosivos.

Los suecos Ahlsson y Norrbin obtuvieron los explosivos de nitrato de amonio, precursores de los explosivos de seguridad.

La salida al mercado de la pólvora sin humo, inició la erección de fábricas de pólvoras y explosivos en todo el mundo, dando así principio a una nueva era en la que se ha tratado de sacar el mayor provecho a estas sustancias.

Queda al constructor sacar el mayor provecho de los explosivos industriales y así cooperar al constante adelanto de los procedimientos de construcción, ya que éstos son una expresión objetiva de la evolución constante de la humanidad.

En cuanto, a los escarificadores hay datos que nos dicen que son muy antiguos, pero el escarificador que conocemos hoy en día apareció en el año de 1930.

R.G. Letourneau está reconocido como uno de los precursores del escarificador moderno y su tractor de arrastre.

Introducido hace poco tiempo, el escarificador montado en el tractor aumentó su eficiencia debido al peso adicional que influyó también en el diente del escarificador.

Al aumentar el peso del tractor y la potencia también aumentó la capacidad del escarificador.

## B) PROCESO DE EXPLOTACION DE ROCA

Este proceso tiene tres etapas:

1. Extracción
2. Carga
3. Acarreo

1. Extracción.- Consiste en separar un fragmento de roca de un banco o corte y reducirlo al tamaño adecuado para el uso a que se destine.

El uso puede ser para trituración, enrocamientos, corte y pedraplén.

Para trituración, la extracción debe hacerse adecuada al tamaño limitado, por la abertura de la quebradora primaria.

Para enrocamientos, la extracción debe hacerse adecuada al tamaño limitado en el proyecto, especificaciones y por el equipo de carga y acarreo.

Para corte y pedraplén, la extracción debe hacerse adecuada al tamaño limitado por el equipo de carga y acarreo o por la capacidad de los tractores.

Los métodos más usuales para la extracción de roca son:

- . Extracción con arado
- . Extracción con explosivos

La extracción con arado, también recibe el nombre de: ESCARIFICACION

Ahora bien, hay materiales que son esscarificables y otros que no lo son.

Para determinar si una roca puede o no ser escarificable se pueden utilizar las pruebas de tanteo que son el medio más efectivo, pero antes hay que conocer las características de las rocas. Para esto es necesario unos conocimientos de Geología.

Las rocas ígneas, son bastante difíciles de escarificar porque carecen de las superficies planas de la estratificación y de los planos de clivage que son esenciales para escarificar roca dura. Ejemplo de éstas son los basaltos, granitos, vidrio volcánico, etc.

Las rocas sedimentarias, generalmente son las más fáciles de escarificar por estar estratificadas. Ejemplo de éstas son la piedra arenisca, caliza, conglomerado, pizarra y caliche, etc.

Las rocas metamórficas, para su escarificación dependerá de su grado de laminación o de clivage. Ejemplo de éstas son el gneis, el cuarzo, la pizarra, etc.

Aunque las rocas sedimentarias son las más fáciles de escarificar, las rocas ígneas y metamórficas si tienen fracturas o están intemperizadas también ofrecen la menor resistencia ha ser escarificadas. Generalmente las formaciones rocosas y compactas tienen que ser barrenadas y voladas.

Las características físicas favorables a la escarificación son:

- Las fracturas, los defectos y los planos de fallas de cualquier clase.
- El desgaste debido a los agentes atmosféricos y a los cambios de temperatura y humedad.
- Naturaleza quebradiza y la cristalización.
- Alto grado de estratificación o laminación.
- Grano de gran tamaño.

- Arcilla impregnada de humedad, pizarra y formaciones rocosas.
- Baja resistencia a la compresión.

Las características físicas más desfavorables a la escarificación son:

- Sólida y homogénea.
- No cristalizada y por lo tanto, tampoco quebradiza.
- Sin superficies planas de debilidad.
- Grano fino con un agente cementante sólido.
- De origen arcilloso en que la humedad pueda impedir la escarificación por la plasticidad del material.

Estos puntos para determinar la escarificación están basados en observaciones.

La dureza de la roca es un factor muy importante, esto se mide según la escala de durezas de Moh's.

Las rocas blandas según esta escala pueden escarificarse olvidando la formación, esto es perceptible utilizando la uña, una moneda de cobre o una navaja.

Cuando se encuentran rocas más duras, tales como calizas o areniscas es necesario hacer un examen de cómo está consolidada la formación.

Sismógrafo de refracción.- Este aparato indica el grado de consolidación, además la dureza de la roca, la estratificación, hasta que grado puede estar fracturada y el estado de descomposición o de alteración debida a la intemperización.

El análisis sísmico está basado en el tiempo necesario para que las ondas sísmicas atraviesen las diferentes clases de materiales abajo de la superficie.

La velocidad de estas ondas en una roca dura y compacta es muy grande, puede ser hasta de 20 000 ft/seg. En un suelo suelto es tan lenta como 1 000 ft/seg. Por lo tanto, si se mide la velocidad de una onda sísmica a través de varias capas de materiales, el grado de consolidación se determina fácilmente y así es posible predecir el método y el equipo que se necesita para aflojarla.

El análisis de los materiales en una obra es sencillo.

Se necesitan de 10 a 20 minutos para realizar cada prueba y determinar las velocidades de la onda sísmica.

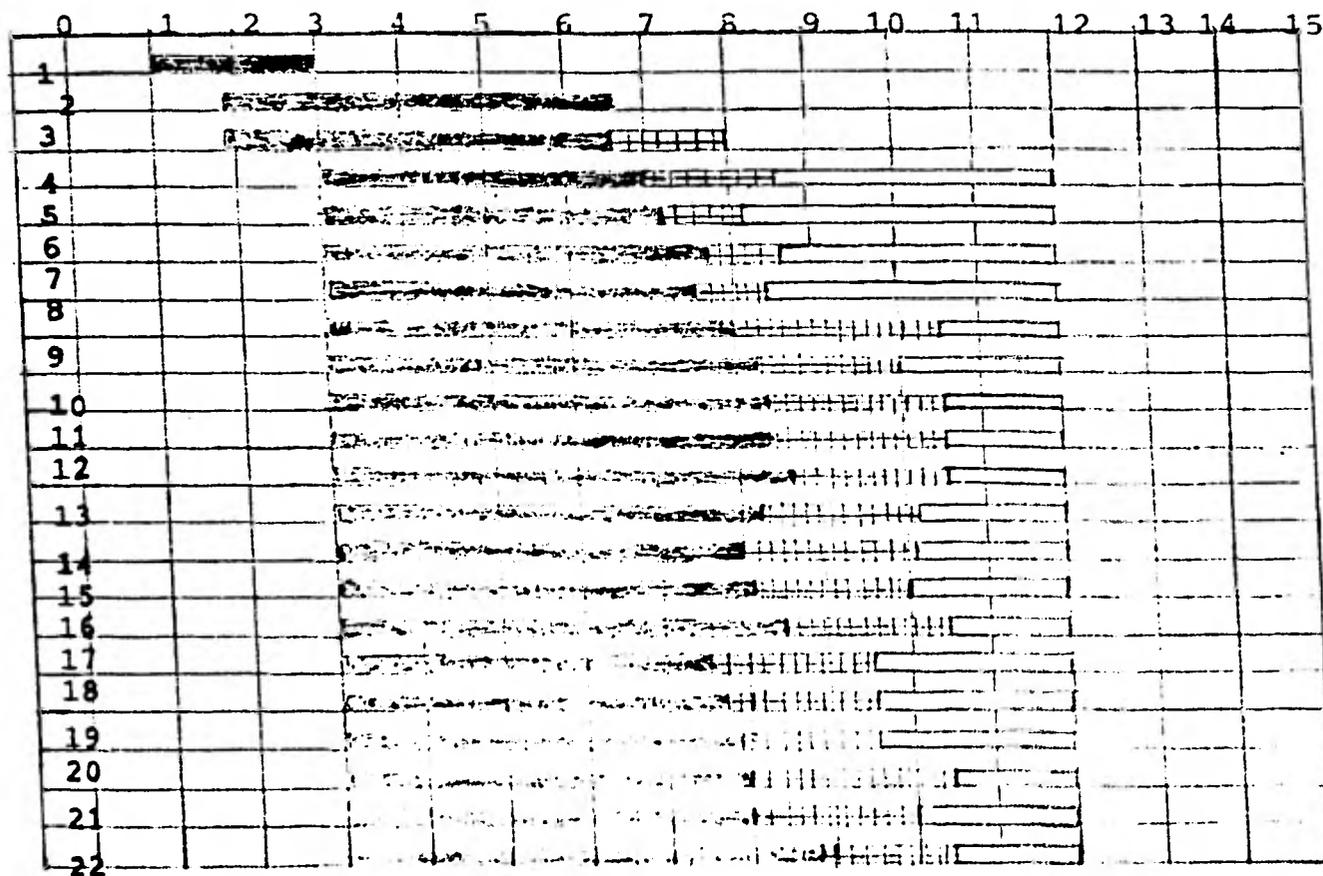
Las gráficas siguientes muestran las velocidades del material escarificable y la velocidad más alta, de materiales que normalmente son demasiado duros para ser escarificados.

1. Capa superficial
2. Arcilla
3. Sed. Estratif. (en ventisq.)
4. Rocas ígneas
5. Granito
6. Basalto
7. Basalto columnar
8. Rocas sedimentarias
9. Pizarra
10. Arenisca
11. Sedimento consolidado
12. Roca arcillosa
13. Conglomerados
14. Brecha
15. Caliche
16. Caliza
17. Rocas metamórficas
18. Esquistos
19. Pizarra

- 20. Minerales
- 21. Carbón
- 22. Mineral de hierro

RENDIMIENTO DEL ARADO EN RELACION CON LAS VELOCIDADES  
DE LAS ONDAS SISMICAS

Velocidad en Pies por Segundo x 1000



Escarificable █ Intermedio ████ No escarificable [ ]

Además de determinar el grado de consolidación (o de escarificabilidad) de cada estrato, es posible determinar su profundidad y espesor.

La fórmula siguiente sirve para determinar el espesor y profundidad de cada estrato de diferente composición y dureza.

$$D = \frac{x}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

D = profundidad.

x = distancia del aparato al punto de intersección.

$V_1$  = velocidad de onda en la capa superior.

$V_2$  = velocidad de onda en la capa inferior.

#### SELECCION DEL EQUIPO PARA ESCARIFICAR

Para obtener una producción y eficiencia óptima es necesario utilizar el equipo adecuado. Los puntos principales para una buena selección son:

1. Que en la punta del escarificador haya la presión adecuada hacia abajo. Esto determina si el escarificador tiene o no la suficiente fuerza de penetración, la que debe obtenerse y sostenerse.
2. Los caballos de fuerza al volante del tractor, determinan si el tractor tiene la fuerza suficiente para avanzar y sostener el avance.
3. El peso bruto del tractor determina si éste tiene o no tiene la suficiente fuerza de arrastre para utilizar su potencia.

## DISEÑOS DE ESCARIFICADORES

Hay dos diseños fundamentales de escarificadores montados en tractor.

### 1. El Tipo Articulado:

En este tipo de escarificador, una vigueta soporta el conjunto articulado y los pivotes de los dientes están fijos en la parte trasera del tractor.

El arco resultante del movimiento de arriba hacia abajo produce un ángulo de 30 grados respecto del brazo cuando el diente está en el suelo. El ángulo cambia a medida que el diente entra y sigue escarificando a mayor profundidad.

Este tipo de escarificadores, utiliza una vigueta con una o más abrazaderas para sostener uno o más dientes.

Cada abrazadera permite hasta cinco posiciones del diente para adaptar el ángulo de profundidad y del diente según las condiciones de operación. En general, las abrazaderas permiten hasta 20 grados de movimiento lateral para que el diente pueda moverse alrededor de puntos extra duros del terreno buscando la dirección de menor resistencia.

### 2. El tipo de Paralelogramo:

Este tipo de escarificador difiere del tipo articulado, en que el diente guarda el mismo ángulo sin tener en cuenta la profundidad en que se encuentra, con un ángulo constante y con características excelentes de penetración. Hay dos modelos de escarificadores de paralelogramo: el de un solo diente y de dientes múltiples.

Los escarificadores de un solo diente son los que se usan cuando se requiere la mayor profundidad de escarificación. Un conjunto integral de empuje permite la utilización de otro tractor para ayudar y aflojar materiales extraordinariamente duros.

Los escarificadores de diente múltiple producen menor profundidad de escarificación y no están diseñados para que los tractores de empuje ayuden.

Permitirán el uso simultáneo hasta de tres puntas en algunos materiales donde se requiere una fractura más fina por pasada.

El ángulo de la punta de los escarificadores de paralelogramo produce desgaste en la parte lateral de la punta. Esto, combinado con las características de algunos dientes que se afilan solos, ayuda a mantener una penetración excelente.

Por otro lado, el diente del escarificador articulado tiende a redondearse debido al ángulo variable de penetración y entonces hay que cambiar los dientes con mucha frecuencia.

Cuando el diente escarificador tropieza contra una losa dura que detiene al tractor, con frecuencia es posible hacerla rodar a un lado con la fuerza hidráulica ascensional. Esto acontece en los tipos de paralelogramo, porque el montaje del diente, es rígido y la punta puede enganchar exactamente donde se necesita.

El escarificador tipo articulado es menos efectivo puesto que la abrazadera oscilante o el movimiento lateral del diente le permitirá resbalar fuera del obstáculo.

También pueden retroceder y apartarse del obstáculo al levantar la punta.

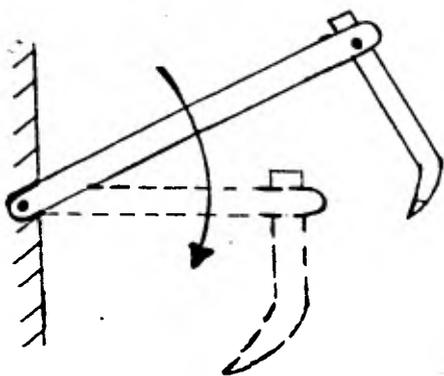
Los escarificadores de paralelogramo favorecen la visibilidad desde el tractor, por lo que el operario puede percatarse si la punta ha sufrido algún daño para repararla inmediatamente y así evitar daño al diente.

## DIENTES

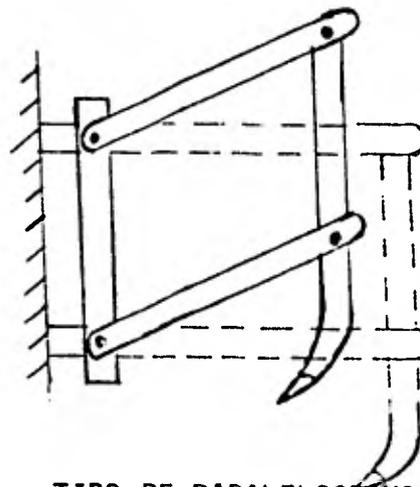
Entre los diferentes tipos de dientes que se usan para escarificar, se encuentran los siguientes: curvos, rectos y lisos de velocidad.

Las ventajas de cada uno de ellos depende de la clase de material.

En la siguiente figura se muestran los diferentes tipos de dientes:

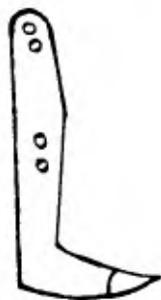


TIPO ARTICULADO



TIPO DE PARALELOGRAMO

## DIENTES



RECTO



CURVO



PERFIL LISO DE VELOCIDAD

## PUNTAS

Las puntas de los escarificadores se fabrican de muchos tamaños y formas, tres son las características básicas de diseño:

1. Buena penetración.
2. Buenas características de fractura del acero.
3. Mayor vida útil.

Todo munda está de acuerdo en que la penetración depende de la presión que se ejerce hacia abajo, aunque también el ángulo de penetración es muy importante.

El mejor ángulo lo puede variar en diferentes lugares del corte, según sea la clase de material y su consolidación. Por lo tanto, se fijará el diente con el ángulo que mejor se preste para escarificar el material de que se trate.

El factor principal para determinar como un diente y su punta atacará una formación, es la característica de fractura que tenga el propio material.

La anchura de la punta y el grado del esfuerzo que se imparta al material son factores importantes.

El desgaste de una punta depende del temple y de la clase de acero que se use en su fabricación. Las puntas deben fabricarse para que resistan el desgaste los esfuerzos que producen la fractura del material.

En algunos materiales muy abrasivos la duración de la punta es de 20 a 30 minutos aproximadamente.

Las puntas son de tres tipos: la corta, la intermedia y la larga.

La punta corta es para usarse cuando la penetración es difícil y el golpe es fuerte.

La punta larga es para usarse cuando la penetración se realiza en materiales muy abrasivos en los que el rompimiento no es el factor principal.

La punta intermedia se recomienda para emplearla cuando el material es abrasivo y lo suficientemente duro que pueda causar la ruptura de la punta larga.

Consideraciones.- Variando las distancias de los dientes, puede controlarse el tamaño del material destrozado. Mientras más cercanos estén los dientes, más pequeños serán los fragmentos.

#### TECNICAS PARA ESCARIFICAR

Algunos de los factores que se pueden considerar para emplear la mejor técnica de esscarificación, son:

##### 1. El engranaje más conveniente:

El primer engranaje (primera velocidad) se usa para la mayoría de los trabajos de esscarificación, porque de 1 a 1.5 MPH (millas por hora) generalmente ofrece la producción más económica. El desgaste de la parte inferior del esscarificador y de su punta aumenta rápidamente con sólo un pequeño aumento de velocidad. Es mejor usar dos o tres dientes que aumentar la velocidad, cuando el trabajo se hace con materiales fácilmente esscarificables.

##### 2. El número de dientes a usar:

En la mayoría de los casos se empieza con un diente. Si el material ofrece facilidad de penetración y se rompe en pedazos de tamaño satisfactorios, se hace la prueba con dos dientes. Tres dientes deben usarse en material muy fácil de esscarificar como tepetate o pizarra.

Un diente se usa normalmente en material que se encuentra en grandes y gruesas lajas.

Frecuentemente, es preferible usar un sólo diente, porque hay menos deslizamientos y menos detenciones, y es mucho más fácil para la máquina y para el maquinista, aun cuando pueda trabajarse con dos dientes.

### 3. Profundidad conveniente:

Por lo general, es conveniente escarificar tan profundo como sea posible. Sin embargo, cuando se encuentran estratificaciones compactas de espesor considerables, esto puede no ser cierto.

Algunas veces es mejor escarificar a una profundidad no del todo completa y retirar el material probando sus juntas naturales que intentar hacer una pasada en toda la profundidad.

Una pasada inicial a la mitad de la profundidad puede triunfar el material y dejarlo suelto de manera que una segunda pasada pueda hacerse a toda la profundidad con mucho menos esfuerzos.

Si el diente no penetra a toda la profundidad, la parte trasera del tractor se levantará del suelo. Cuando esto ocurre se pierde el esfuerzo de tracción y el material escarificado se reduce. El peso que se añade a los rodillos delanteros y a la rueda guía causa una tensión y un desgaste indebidos.

### 4. Espacio que debe usarse entre los pases:

El espacio para el paso del tractor ayuda a determinar el monto de la producción indicando el tiempo que se requiere para cubrir el área por escarificar.

Mientras más cercanos sean los espacios más chicos serán los fragmentos de roca aflojados.

Las limitaciones que impone la trituración, y la forma de transporte, son lo que puede indicar el espaciamiento que se requiere.

#### 5. Dirección de escarificación adecuada:

Generalmente, la dirección que debe seguir el escarificador la dicta la disposición del trabajo.

Sin embargo, existen ciertas condiciones bajo las cuales la dirección del escarificador afectará grandemente la producción y los resultados.

Cuando se escarifica un corte para acarreo con escrepa, resulta ventajoso escarificar en la misma dirección en que cargan las escrepas. Esto permite al tractor escarificador duplicar su acción como empujador y permite que el tránsito se haga en la misma dirección.

De cuando en cuando una formación de roca que contiene laminaciones verticales puede interceptarse y correr paralela al corte. La escarificación en estas laminaciones sólo puede dar por resultado la formación de canales profundos.

Cuando esto ocurre será necesario escarificar el material a través del corte a fin de obtener la debida fracturación del material.

#### 6. Escarificación cruzada:

La escarificación cruzada hace la superficie más accidentada, perjudica más la escrepas así como las otras herramientas de excavación; de ser posible, debe evitarse.

Se usa solamente donde la escarificación en la misma dirección no afloje debidamente la formación.

La escarificación cruzada sí ayuda a romper el material que sale en grandes losas y también aflojará material en el cual con una sola pasada produce solamente canales profundos. Cuando el material es sumamente duro y

casi impenetrable, la escarificación cruzada con frecuencia separará las superficies planas dejadas por la pasada inicial del escarificador.

Aunque la escarificación cruzada requiere hasta dos veces más pasadas que la escarificación paralela, puede permitir que se use el escarificador donde, de otra manera, la voladura sería necesaria.

#### 7. Retirar el material escarificado:

Nunca debe usarse tractor o escrepa para retirar todo el material antes de haber escarificado a mayor profundidad. Es conveniente dejar varias pulgadas de material escarificado sobre la formación que no ha sido escarificada para que el tractor tenga una capa amortiguadora y para facilitar el tránsito. El coeficiente de fricción entre roca y roca es considerablemente más alto que entre roca y las bandas de las orugas.

#### 8. Escarificación en tándem:

Agregando un segundo tractor que empuje al primer tractor escarificador puede ampliarse considerablemente el área de escarificación.

Cuando la producción de roca escarificada baja a menos de 150 ó 200 yardas cúbicas por hora, se aumenta la producción con un segundo tractor, hasta tres o cuatro veces, aunque se duplican los costos.

Donde quiera que se encuentre una formación dura, la escarificación con un solo diente está indicada, puede necesitarse algo de escarificación en tándem para obtener una producción económica. En esos casos el escarificador de paralelogramo de un solo diente es el que debe usarse, puesto que está diseñado como un bloque integral para el empuje en tándem en condiciones muy severas.

#### 9. Programación del equipo:

Los tractores escarificadores pueden destinarse para otro trabajo tan pronto como hayan cumplido su cometido.

Pueden usarse paret del tiempo para empujar y ser utilizados para escarificar. El segundo tractor puede necesitarse solamente para escarificar una pequeña parte de la roca, la que se encuentre más dura.

#### 10. Voladura antes de escarificar:

La roca que presenta dificultad de ser escarificada puede ser volada previamente con una ligera carga y luego ser escarificada con éxito.

La experiencia obtenida con este procedimiento está limitada y requiere una cuidadosa comparación de costos.

Esta práctica se ha venido usando para reducir el costo del acarreo de roca en formaciones grandemente consolidadas.

#### CALCULO DE LA PRODUCCION DE UN ESCARIFICADOR

Los costos de escarificar deben compararse con otros métodos para aflojar material (tales como los de perforación y de voladura), sobre la base de volumen en banco. Por lo tanto, el cálculo exacto de la producción del escarificador es necesario para determinar los costos de la escarificación.

Existen tres métodos para determinar la producción de un escarificador:

a) Hacer secciones transversales en el área del terreno y registrar el tiempo que se tarda en ser escarificado.

Después que el material ha sido retirado, se vuelven hacer secciones transversales en el área para determinar el volumen de la roca que ha sido removida. Ese volumen entre el tiempo que duró la escarificación es el promedio escarificado en función del volumen de material en banco por hora.

b) Consiste en registrar el tiempo que dura la escarificación y contar las cargas de la escrepa durante cierto tiempo. Pesando o calculando el promedio de carga por hora y por unidad se obtiene el dato que puede convertirse en volumen de material en banco por hora.

c) Consiste en medir el tiempo que tarda el escarificador en determinado recorrido. Un promedio de viajes en kilómetros por hora o en millas, por hora puede calcularse por el número de pasadas y el tiempo empleado en hacerlas. El tiempo utilizado en las vueltas de un lado a otro, lo mismo que el de los regresos debe incluirse también. Mídase la profundidad media de penetración y la distancia de las pasadas. Este dato dará el volumen por unidad en la duración del viaje con el cual puede calcularse la producción en banco por hora.

La experiencia ha demostrado que los resultados obtenidos con este método son de 10 a 20 por ciento más exactos que los obtenidos por el método de secciones transversales.

#### Cálculo de la producción de un escarificador:

Datos:

D9-Nº 9 con un solo diente

3 pies por pasada

1 milla por hora como velocidad promedio (incluyendo derrapadas)

A cada 300 pies se necesitan un cuarto de minuto para levantar, girar, dar vuelta y bajar otra vez (300 pies una pasada).

2 pies promedio de penetración.

#### METODO PARA CALCULAR LA PRODUCCION:

Tiempo por pasada:

1 milla por hora = 88 pies por minuto.

De donde:  $\frac{300}{88} = 3.41$  minutos

entonces  $3.41 + 0.25 = 3.66$  minutos.

Si el operador trabaja un promedio de 45 minutos por hora, entonces:

$$\frac{45}{3.66} = 12.3 \text{ pasadas por hora}$$

$$\text{volumen escarificado: } 300 \times 3 \times 2 = 1800 \text{ pies cúbicos}$$

pero: 1800 pies cúbicos = 66.7 yardas cúbicas

Producción: 66.7 x 12.3 = 820 yardas cúbicas por hora

Los resultados obtenidos por este método son generalmente de 10% a 20% más altos que la verdadera producción que puede esperarse del trabajo.

No existe ninguna respuesta inmediata o solución con reglas empíricas para predecir la producción del material escarificado.

### c) EXPLOSIVOS. CARACTERISTICAS Y USOS

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

Si la explosión está confinada, se aprovecha para separar la roca del banco.

Propiedades:

#### FUERZA:

Por fuerza se entiende la energía o potencia del explosivo; energía que a su vez determina el empuje o fuerza que desarrolla y, por consiguiente, el trabajo que es capaz de hacer. Las dinamitas nitroglicerina se clasifican según la proporción de nitroglicerina por peso que contienen.

La dinamita nitroglicerina de 40% de fuerza, por ejemplo, contiene realmente 40% de nitroglicerina. La fuerza de acción de este tipo de explosivo se toma como base para la clasificación de todas las demás dinámitas. Así pues, la fuerza de cualquier otra dinamita, expresada en tanto por ciento, indica que ésta revienta con tanta potencia como otra alaca equivalente de dinamita nitroglicerina en igualda de peso. La tabla siguiente muestra el número de cartuchos de determinada fuerza necesaria para igualar un cartucho de diferente fuerza y de la misma densidad.

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

**VELOCIDAD:**

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

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

**RESISTENCIA AL AGUA:**

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

**DENSIDAD:**

La densidad de una dinamita se expresa en forma del número de cartuchos de 1.25" x 8" (3.175 x 20.32. cms.) que contiene una caja de 25 kgs. la diferencia de densidad tiene por objeto facilitar la tarea de concentrar o distribuir las cargas de la manera deseada.

**INFLAMABILIDAD:**

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

**EMANACIONES:**

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

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

SELECCION:

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

Tipo	Agente Explosivo	F u e r z a	Velocidad	Resistencia al Agua	Emanación	U s o
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 excelentes	muy pocos gases a 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
nitrato de amonio	amoniaco	-	regular	ninguna	exceso de gases	trabajos a cielo abierto

Selección y propiedades de los explosivos más comunes en construcción.

## D) BARRENACION, EQUIPOS, RENDIMIENTOS, MODELOS DE BARRENACION

Por barrenación se entiende la horadación del terreno practicada por medio de herramientas manuales o mecánicas, con la finalidad de ser destiandos a alojar explosivos para aflojar la roca, cuando ésta no puede ser económicamente aflojada y excavada por otros sistemas de explotación de roca.

Las máquinas perforadoras se pueden clasificar de la siguiente manera:

Perforación por percusión

Perforación por rotación

Perforación por fusión

Las máquinas perforadoras que se encuentran dentro de la perforación por percusión son:

1. Perforadoras de percusión por cable o de pulseta.
2. Perforadoras de percusión directa con pistón que puede ser accionado por motores neumáticos o electricos.
3. Perforadoras neumáticas de martillo o taladro de percusión.

Las máquinas perforadoras que se encuentran dentro de la perforación por rotación son:

1. Perforadoras rotatorias con herramienta cortante.
2. Perforadoras rotatorias con herramientas abrasivas.
3. Perforadoras rotatorias con herramientas trituradoras.

Las máquinas perforadoras que se encuentran dentro de la perforación por fusión son:

1. Perforadoras de fusión
2. Perforadoras de chorro o flama

Las perforadoras más usuales son las neumáticas de martillo o taladro de percusión, por lo que sus características se mencionan a continuación:

#### PERFORADORAS NEUMATICAS DE MARTILLO O TALADRO DE PERCUSION

Tienen un pistón que se mueve en forma recíprocante dentro del cilindro de la perforadora, golpeando en cada ciclo completo el zanco o espiga del acero de barrenación.

La energía transmitida por el acero de barrenación hasta la broca, que a su vez golpea la roca en el fondo del barreno fragmentándola en pequeñas partículas que son desalojadas del agujero por medio de una corriente de aire, o de aire y agua, que son inyectados desde la perforadora a través de un conducto coaxial interior en el acero de barrenación, llamado conducto de circulación o de soplado.

La broca realiza un sucesivo cincelado en el fondo de barreno, ya que está animada de un movimiento giratorio sufriendo un desplazamiento angular en cada ciclo completo del pistón de la perforadora, con lo cual se logra que los filos de la barrena golpeen en posición diferente en cada golpe sucesivo. Para obtener un rendimiento óptimo en la barrenación, la broca debe estar en contacto con el fondo del barreno antes de recibir el impacto siguiente, con lo cual se evitan prematuras averías, el contacto se logra manteniendo un empuje constante en la perforadora, el cual se obtiene por acción manual o por mecanismos automáticos. Después de cada golpe, la corriente de aire o aire agua, limpian el frente extrayendo las partículas de roca.

Esta formada de los siguientes mecanismos principalmente:

Está formada de los siguientes mecanismos principalmente:

1. Mecanismo de percusión
2. Mecanismo de rotación.

3. Sistema de circulación para limpieza y extracción del corte en el barreno.

4. Dispositivos de empuje para mantener una presión constante y un contacto efectivo entre la broca y el fondo del barreno, con lo cual se evitan prematuras averías y roturas, tanto de la broca como del acero de barrenación.

DISPOSITIVOS DE EMPUJE

- : Mecanismos alimentadores de empuje telescópico.
- : Mecanismo alimentador por motor neumático, y
- : Tornillo sobre un mástil
- : Cadena montados sobre un mástil

Selección del método de barrenación

Los factores que deben tomarse en cuenta son los siguientes:

1. La topografía del terreno; por ejemplo, en un terreno sin accesos convenientes, se impondrá el empleo de perforadoras de mano de combustión interna.
2. La profundidad de los barrenos; pues en tanto más profundo sean, más pesada deberá ser la perforadora.
3. La dureza y la tenacidad de la roca a perforar.
4. El grado de fracturamiento y de cementación de la roca.
5. La magnitud de la obra en que se realizarán los trabajos de barrenación y más particularmente el volumen de barrenación.
6. Las limitaciones que impongan las especificaciones de construcción en lo que respecta al grado de fragmentación de la roca explotada.
7. La disponibilidad de agua para trabajar perforando el húmedo.

Diámetro de la Broca	P R O F U N D I D A D   D E L   B A R R E N O						
	1'	5'	10'	20'	30'	40'	
E N O	1"	9.42	47.12	94.25	188.50	282.75	377.00
	1-1/8"	11.93	59.64	119.28	238.56	357.84	477.12
	1-1/4"	14.73	73.63	147.26	294.52	441.78	589.04
	1-3/8"	17.82	89.09	178.19	356.38	534.57	712.76
	1-1/2"	21.21	106.03	212.06	424.12	636.18	848.24
	1-5/8"	24.89	124.43	248.87	497.74	746.61	995.48
	1-3/4"	28.86	144.32	288.64	577.28	865.92	1154.56
	1-7/8"	33.13	165.67	331.34	662.68	994.02	1325.36
R A R O D E L	2"	37.70	188.50	376.99	753.98	1130.97	1507.96
	2-1/8"	42.56	212.80	425.59	851.18	1276.77	1702.36
	2-1/4"	47.71	238.57	477.13	954.26	1431.39	1908.52
	2-3/8"	53.16	265.81	531.62	1063.24	1594.86	2126.48
	2-1/2"	58.91	294.53	589.05	1178.10	1767.15	2356.20
	2-5/8"	64.94	324.71	649.43	1298.86	1948.29	2597.72
	2-3/4"	71.28	356.38	712.75	1425.50	2138.25	2851.00
	2-7/8"	77.90	389.51	779.02	1558.04	2337.06	3116.08
R O	3"	84.82	424.12	848.23	1696.46	2544.69	3392.92
	3-1/4"	99.55	497.75	995.50	1991.00	2986.50	3982.00
	3-1/2"	115.44	577.20	1154.40	2308.80	3463.20	4617.60
	3-3/4"	132.47	662.35	1324.70	2649.40	3974.10	5298.80
T E M A	4"	150.72	753.60	1507.20	3014.40	4521.60	6028.80
	4-1/4"	171.00	855.00	1710.00	3420.00	5130.00	6840.00
	4-1/2"	190.80	954.00	1908.00	3816.00	5724.00	7632.00
	4-3/4"	212.53	1062.65	2125.30	4250.60	6375.90	8501.20
I A	5"	235.56	1177.80	2355.60	4711.20	7066.80	9422.40
	5-1/2"	285.00	1425.00	2850.00	5700.00	8550.00	11400.00
D	6"	339.12	1695.60	3391.20	6782.40	10173.60	13564.30
	6-1/2"	397.90	1989.50	3979.00	7958.00	11937.00	15916.00

Tabla 1.- Espacio volumétrico de barrenos de diversos diámetros y profundidades (pulgadas cúbicas).

8. El sitio en que se realicen los trabajos de barrenación, ya sea a cielo abierto o en túneles.
9. El porcentaje de barrenación secundaria económica conveniente.
10. La capacidad de las máquinas excavadoras que cargarán el material tronado.
11. El volumen de roca que será volada con un solo disparo.
12. El equipo que la compañía tiene en existencia, puesto que a veces resulta más costoso rentar o adquirir equipo que utilizar el ya existente.

Cada obra requiere de un cuidadoso estudio para determinar el equipo de barrenación más adecuado.

#### El rendimiento de las perforaciones neumáticas:

El rendimiento de estas perforadoras dependen de muchos factores, entre otros podemos enumerar los siguientes, los derivados de la misma máquina, los relacionados con las características de las rocas, así como de ciertas condiciones en los sitios de trabajo.

#### Factores que afectan los rendimientos de barrenación:

1. Capacidad de la perforadora.

Depende fundamentalmente de la presión media de trabajo de la perforadora, de la velocidad de impacto de su correspondiente pistón, la que a su vez depende de la presión y finalmente del diámetro del pistón. Se puede considerar que a una presión de trabajo constante, el rendimiento será proporcional al cuadrado del diámetro de su correspondiente pistón, puesto que la energía transmitida por el mismo será proporcional a su diámetro.

## 2. Capacidad del motor alimentador de empuje.

Debe ser suficientemente capaz de satisfacer todas las demandas posibles de las perforadoras, que van en función de la calidad de las rocas perforadas, el diámetro del barreno y su profundidad.

## 3. Características de las rocas.

Las más importantes son: dureza, tenacidad y cohesión del material.

**DUREZA.-** A mayor dureza mayor cantidad de energía se requerirá para fragmentar un volumen unitario de la misma, e igualmente mayor desgaste se tendrá en las herramientas de la sarta de barrenación.

**TENACIDAD.-** Aumenta proporcionalmente con la elasticidad de la roca, y en tanto mayor es la elasticidad, mayor será el esfuerzo a la energía necesaria para fragmentarla dado que una gran parte de la energía se pierde disipada en forma de calor al deformarse y recobrase la roca en el frente del ataque de la broca.

**COHESION DEL MATERIAL.-** En rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas o que se encuentren bien cimentadas, la barrenación no tiene dificultades o sueltas con poca cohesión los materiales tiene la tendencia de desprenderse de las paredes del barreno lo cual puede llegar incluso a atrapar la sarta de barrenación o una parte y no ser posible de recuperarse parcial o totalmente, incurriendo en la necesidad de practicar una nueva perforación, si no se obtienen barrenos rectos y limpios, pueden no caber el número mínimo de cartuchos de explosivos que se habían programado para obtener una correcta tronada, pues en caso contrario el barreno será un fracaso en sus resultados y rendimientos cualitativos.

## 4. Magnitud o escala de los trabajos.

En obras muy pequeñas donde la profundidad y diámetro de los barrenos también lo es, las maniobras aumentan mucho los costos pues se pierde gran tiempo en ello cosa que no sucede con las obras de gran escala donde se

perfora a grandes diámetros y profundidades, es prácticamente axiomático que, en tanto más pesada es una perforadora neumática, mayor será el grado de utilización de la misma siempre y cuando guarde proporción con la obra en que se utiliza.

Es difícil establecer rendimientos de barrenación exactos, pero se han hecho registros estadísticos de operaciones en gran escala, donde se aprecian rendimientos promedios representativos, incluyendo las maniobras, tales como: cambios de localización, cambio de acero de barrenación y barrenas, así como el cuidado general del equipo.

Diámetro del Barreno	Calidad de la Roca	Perforadoras de Mano	Perforadoras con Alimentación Mecánica
1 3/4"	suave	5 a 6.5	10 a 15
	media	3 a 4.5	8 a 12
	dura	2 a 3.5	5 a 10
2 3/8"	suave	3.5 a 5	10 a 17
	media	2.5 a 3.5	6.5 a 12
	dura	1.5 a 3	5 a 10
3"	suave	- 0 -	10 a 17
	media	- 0 -	5 a 6
	dura	- 0 -	3 a 7
4"	suave	- 0 -	3.5 a 8.5
	media	- 0 -	1.8 a 5
	dura	- 0 -	0.7 a 3

TABLA 2.

Rendimientos Promedio Representativos de Barrenación con Perforadoras Neumáticas de Pistón Reciprocante en metros por hora.

Para facilitar el uso de esta Tabla 2 se consigna la Tabla 3 que es el índice de dureza de las rocas, referido a la escala de Mohs.

ROCA O MINERAL	INDICE	DE DUREZA
diamante	10.0	
cuarzo	7.0	
basalto	7.0	
horsteno	6.5	rocas duras
feldespado	6.2	
gnelses	5.2	
esquisitos	5.0	
magnetita	4.2	
granito	4.0	
areniscas	3.8	rocas medias
dolomitas	3.7	
rocas calizas	3.3	
pizarra	3.1	
lutitas	3.1	
calcita	3.0	rocas suaves
antracita	3.0	
mármol	3.0	
carbón bituminoso	2.5	
mica	2.3	rocas muy
yeso	2.0	suaves
talco	1.0	

TABLA 3.

Indice de Dureza de Algunas Rocas, Referido a la Escala de Mohs.

## ACERO Y BROCAS DE BARRENACION

La barrenación con perforadoras neumáticas de pistón recíprocante se lleva a cabo empleando barras de acero sometidas a tratamientos especiales y puede ser del tipo llamado "acero integral, acero hueco de barrenación y acero seccional". En cualquier tipo de acero, en el extremo inferior de la "sarta de barrenación", se encuentra montada la broca que es la que ataca directamente el fondo del barreno.

### ACERO INTEGRAL

Está constituido en una sola pieza y en donde se encuentran integrados en este solo elemento todos los componentes de la "sarta de barrenación", como son:

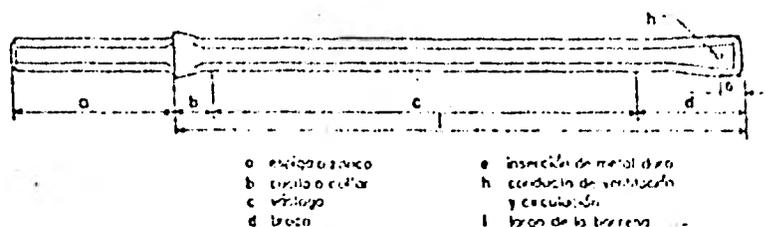
- a) Espiga o zanco, que es la pieza que se ajusta al broquero de la máquina perforadora.
- b) Cuello o collar que es elemento de soporte y ajuste en el broquero y portaherramientas de la perforadora.
- c) Cuerpo o vástago de longitud variable.
- d) Broca, y
- e) Conducto de soplado o limpieza.

Los aceros integrales de barrenación son aceros con tratamientos y aleaciones que le proporcionan muy altos grados de dureza y capacidad de carga, llevan en su extremo un inserto de metal duro comúnmente de carburo de tungsteno en forma de cincel en algunos casos y otros en forma de cruz.

La falla más común en el acero de barrenación se debe a la fatiga del material y por la corrosión del mismo, esto generalmente se inicia por el conducto central de limpieza, que al ser atacado reduce la sección debilitándola.

La resistencia a la fatiga se obtiene aumentando a dureza del acero y logrando que las superficies tanto interiores como exteriores no tengan angulosidades en donde se acumulen los esfuerzos, así por esto los cambios de sección se realizan de una manera muy suave y continua.

Para evitar la corrosión las barreras vienen cubiertas en el interior del conducto de soplado o limpieza por acero inoxidable en una proporción de bajo carbono y un 13% de acero cromado.



#### ACERO HUECO DE BARRENACION

Son barrenas que se encuentran dotadas de un hombro con conexión para montar sobre éste una broca el tipo intercambiable. Existen dos tipos de conexiones la de espiga con rosca y el otro de espiga ahusada, en el primero obviamente se atornilla la broca y en el otro la broca entra a presión, es semejante al integral, sometiéndose al mismo tratamiento térmico, y a las forjas necesarias en sus partes constituyentes endureciéndose sus superficies por procedimientos térmicos que aumentan su resistencia y duración.

**ACERO HUECO SECCIONAL DE BARRENACION**

Son barras de acero hueco dotadas con roscas en cada uno de sus extremos, las que son surtidas por los fabricantes en diámetros y longitudes variables para emplearse en barrenación muy profunda, acoplando cada barra a la subsecuente por medio de coples o manguitos roscados.

Para su uso se emplean zancos adaptadores que se instalan en los broque-ros y que en su extremidad libre son unidos a la primera sección de acero por medio de los coples o manguitos roscados.

ESPECIFICACIONES DE ACERO INTEGRAL DE BARRENACION (HEXAGONAL)  
 BROCA DE INSERTO DE CARBURO DE TUNGSTENO TIPO CINCEL

Marca y Serie	Sección del Acero (pulgadas)	Largo de la Barrena sin Zanco (en mm)	Diámetro de la Broca		Peso de la Barrena (kg)	Nº de Catálogo con Zanco de:	
			mm.	pulgadas		02.5-3 $\frac{1}{4}$ 108 - 4 $\frac{1}{4}$	
seco 1 1	7/8	000	34	1-11/32	29	715-0834	714-0834
		1 600	33	1- 5/16	5.3	715-1633	714-1633
		2 400	32	1- 1/4	7.7	715-2432	714-2432
		3 200	31	1- 7/32	1.01	715-3231	714-3231
		4 000	30	1- 3/16	1.25	715-4030	714-4030
		4 800	29	1- 5/32	1.49	715-4829	714-4829
seco 1 2	7/8	000	40	1- 9/16	2.9	714-0840	714-0840
		1 600	39	1-17/32	5.3	715-1639	714-1639
		2 400	38	2- 1/2	7.7	715- 243	714-2438
		3 200	37	1-15/32	10.1	715-3237	714-3237
		4 000	36	1-13/32	12.5	715-4036	714-4036
		4 800	35	1- 3/8	14.9	715-4835	714-4835
		5 600	34	1-11/32	17.3	715-5634	714-5634
6 400	33	1- 5/16	19.7	715-6433	714-6433		
seco 1 3	7/8	400	34	1-11/32	1.7	715-0434	714-0434
		800	33	1- 5/6	2.9	715-0835	714-0835
		1 200	32	1- 1/4	4.1	715-1232	714-1232
		1 600	31	1- 7/32	5.3	715-1631	714-1631
		2 000	30	1- 3/16	6.5	715-2030	714-2030
seco 1 6	7/8	600	35	1- 3/8	2.3	715-0635	714-0635
		1 200	34	1- 1/32	4.1	715-1234	714-1234
		1 800	33	1- 5/16	5.9	715-1833	714-1833
		2 400	32	1- 1/4	7.7	715-2432	714-2432

Marca y Serie	Sección del Acero (pulgadas)	Largo de la Barrena sin Zanco (en mm)	Diámetro de la Broca		Peso de la Barrena (kg)	Nº de Catálogo con Zanco de: 02.5-3 $\frac{1}{4}$ 108 - 4 $\frac{1}{4}$	
seco		600	41	1- 5/8	2.3	715-0641	714-0641
1 Z	7/8	1 200	40	1- 9/16	4.1	715-1210	714-1240
		1 800	39	1-17/32	5.9	715-1839	714-1839
		2 400	38	1- 1/2	7.7	715-2438	714-2438
		seco		800	36	1-13/32	4.2
1	1	1 600	35	1- 3/8	7.6		734-1635
		2 400	34	1-11/32	11.1		734-2434
		3 200	35	1- 5/16	14.5		734-3233
		seco		800	42	1-21/32	4.2
3 2	1	1 600	41	1- 5/8	7.6		734-1641
		2 400	40	1- 9/16	11.1		734-2440
		3 200	39	1-17/32	14.5		734-3239
		4 000	38	1- 1/2	18.0		734-4038
		4 800	37	1-15/32	21.4		744-4837
		5 600	36	1-13/32	24.8		734-5636
		6 400	35	1- 3/8	28.3		734-6435

B A R R E N A S    C O N    B R O C A    D E    I N S E R T O    E N    C R U Z

seco	5 1	7/8	800	34	1-11/32	3.1	745-0334	745-0834		
			1 600	33	1- 5/16	5.5	745-1633	745-1633		
			2 400	32	1- 1/4	7.8	745-2432	744-2432		
			3 200	31	1- 7/32	10.3	745-3231	744-3231		
seco	5 2	7/8	800	40	1- 9/16	3.2	745-0840	744-3237		
			1 600	39	1-17/32	5.6	745-1639	744-1639		
			2 400	32	1- 1/4	7.8	745-2438	744-2438		
			3 200	37	1-15/32	10.4	745-3237	744-3237		
			seco		600	37	1-15/32	2.4	745-0637	744-0637
			1 200	36	1-13/32	4.2	745-1236	744-1236		
			1 800	35	1- 3/8	6.0	745-1835	744-1835		
			2 400	34	1-11/32	7.9	745-2434	744-2434		
		3 000	33	1- 5/16	9.6	745-3033	744-3033			

TABLA 5.

ESPECIFICACIONES DE ACERO HUECO DE BARRENACION HEXAGONAL CON  
CUELLO PARA CONEXIONES DE BROCAS INTERCAMBIABLES

Marca	Sección del Acero (pulgadas)	Largo de la Barrena sin Zanco (mm.)	Peso de la Barrena (kg)	Nº de Catálogo con Zanco de:	
				82.5 mm. 3 - 1/4"	108 mm. 4-1/4"
"Rapid"	7/8	610	2.4	RC-1502	RC-1402
		915	3.3	RC-1503	RC-1403
		1 220	4.3	RC-1504	RC-1404
		1 524	5.2	RC-1505	RC-1405
		1 830	6.1	RC-1506	RC-1406
		2 105	7.0	RC-1507	RC-1407
		2 440	8.0	RC-1508	RC-1408
		3 050	9.8	RC-1510	RC-1410
		3 655	11.6	RC-1512	RC-1412
		4 625	13.5	RC-1514	RC-1414
		4 875	15.3	RC-1516	RC-1416
		5 485	17.2	RC-1518	RC-1418
		6 085	19.0	RC-1520	RC-1420
		"Rapid"	1	610	3.4
915	4.7				RC-3403
1 220	6.1				RC-3404
1 524	7.4				RC-3405
1 830	8.7				RC-3406
2 105	10.0				RC-3407
2 440	11.3				RC-3408
3 050	13.9				RC-3410
3 655	16.4				RC-3412
4 265	19.1				RC-3414
4 875	21.8				RC-3416
5 485	24.4		RC-3418		
6 085	27.0		RC-3420		

Con respecto a las roscas que es donde ocurren la mayor frecuencia de roturas prematuras del acero seccional, se ha logrado aumentar no sólo su resistencia, dureza y robustez, sino que se han diseñado roscas especiales de paso amplio o rosca de fondeo.

Este acero tiene el campo más grande de su aplicación de trabajos ejecutados en rocas duras, barrenos profundos y de gran diámetro, se acostumbra realizar la barrenación empleando primero las barras con zanco y después las barras de acero hueco seccional con zanco adaptador.

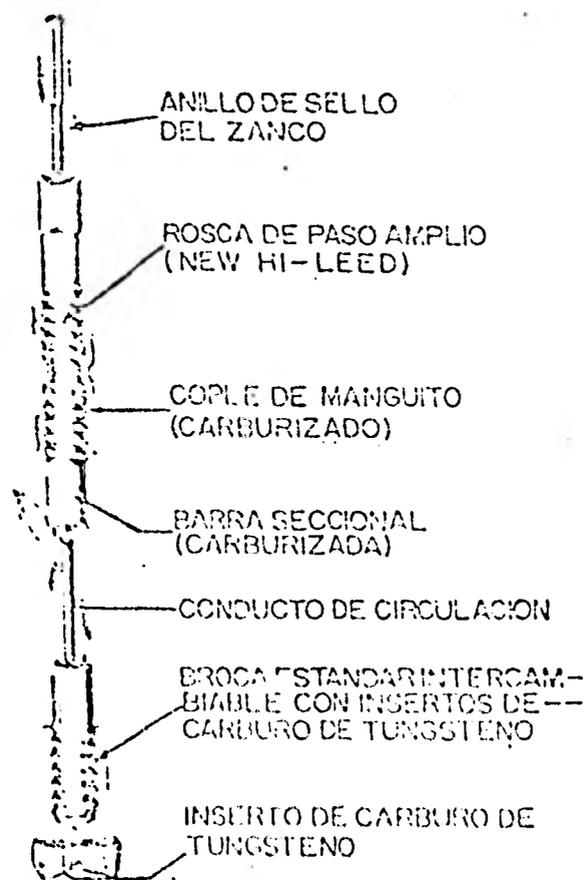


Figura 2. ESQUEMA DEL ACERO SECCIONAL DE BARRENACION

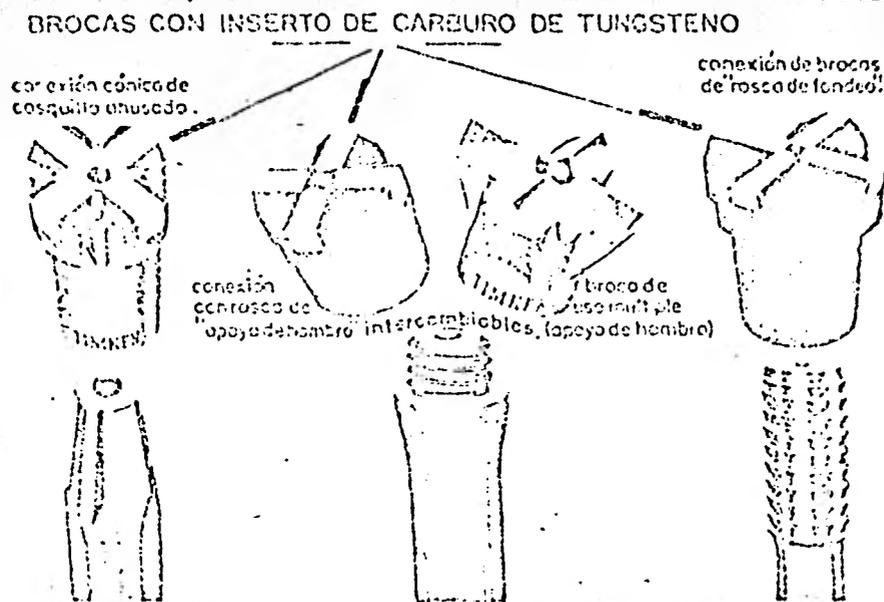


Figura 3. DIVERSOS TIPOS DE BROCAS INTERCAMBIABLES

#### Selección del Acero de Barrenación:

Todos los trabajos de barrenación están condicionados por factores locales tales como las propiedades y características de las rocas a trabajar, puesto que como vimos anteriormente la barrenación está destinada a alojar explosivos, de aquí que el diámetro de los barrenos queda delimitado por el uso económico de explosivos y éstos por la clase de fragmentación deseada en el material tronado.

#### ACERO INTEGRAL

Es empleado para barrenos con diámetro hasta de 1 3/4" principalmente con perforadoras de mano y en menor escala con perforadoras equipadas con dispositivo alimentador de empuje. La mayoría de este acero es fabricado con broca del tipo cincel con insertos de carburo de tungsteno y con zanco equipado con cuello o collar.

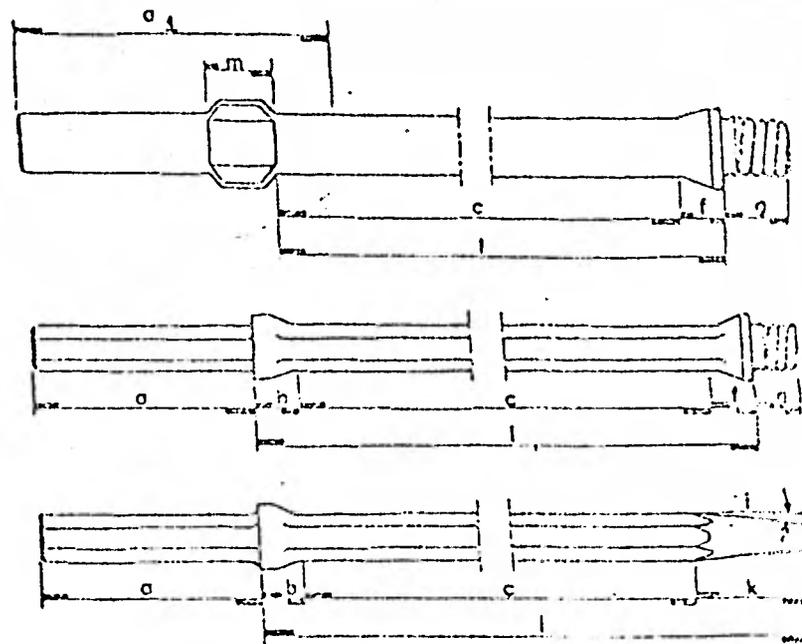
Se fabrica en secciones hexagonales, cuadradas, planas y redondas, pero podemos mencionar que el 99% del consumo de acero integral es hexagonal y de éste el 80% es de 7/8" de diámetro.

### Ventajas:

- a) El acero puede continuarse usando, aún en el caso de que el calibre de la broca se haya reducido hasta un diámetro igual al vástago de barra.
- b) El diámetro del barrenado no requiere ser aumentado para dejar un apreciable espacio anular entre sus paredes y el diámetro del vástago del acero.
- c) Se pueden realizar barrenos con diámetros menores, lo que significa que a una misma capacidad de perforadora, se obtengan mayores rendimientos, reduciendo por tanto el costo unitario por metro barrenación.
- d) Ausencia de piezas seccionales de extensión entre el acero y la broca, lo que implica:
  1. Que no se presentan roturas en la espiga, desgastes en las roscas de la misma, ni roturas en el hombro de la barrena.
  2. Se reduce notablemente el riesgo de perder las herramientas en la barrena, como cuando quedan atrapadas por caídos.
- e) El acero integral con broca del tipo de cincel es muy fácil de ser reafilado, lo cual se puede hacer en los propios sitios de excavación.

### ACERO HUECO CON BROCAS INTERCAMBIABLES

En formaciones geológicas donde el desgaste de las brocas es frontal, es donde encuentra este acero su mejor aplicación, se utiliza en diámetros de 7/8" y 1" con brocas de 1 3/4" para barrenadoras de mano y las de dispositivo de empuje, con barras de sección redonda con un diámetro de 2 1/2" la broca y con perforadoras cuyo pistón sea de 3 1/2" de diámetro y mayores tipo "drifters". En lugares donde el acceso es sumamente dificultoso dan gran resultado ya que una vez montado el equipo sólo será necesario el transporte de las brocas para ser reafiladas, reduciendo los gastos por el concepto de transportes.



- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| a Zanco                          | l Angulo del ahucamiento a 1/2                           |
| a <sub>1</sub> Zanco tipo Leyner | k Ahucamiento  |
| b Collar                         | l Longitud del acero de barrenación sin incluir el zanco |
| c Vóstag                         | m orejas   |
| f realce                         |  |
| g rosca                          |  |

Figura 4. ACERO HUECO PARA BROCAS INTERCAMBIABLES

## ACERO SECCIONAL DE BARRENACION

Este acero logra abatir los costos unitarios en las obras donde son necesarios barrenos muy profundos y de grandes diámetros, los aceros han mejorado muchísimo al grado de que con las grandes máquinas perforadoras de pistón recíprocante cada vez más pesadas y equipadas, los trabajos realizados anteriormente por medio de perforadoras de diamante han pasado al dominio de estas máquinas y estos aceros.

El empleo de estos aceros tiene las siguientes ventajas y desventajas:

- a) Es posible barrenar económicamente a grandes profundidades y diámetros.
- b) Se abaten considerablemente los precios unitarios, cuando se trabaja en bancos de gran altura y con barrenos de pozo destinados a alojar una fuerte densidad de explosivos.
- c) El rendimiento disminuye en tanto mayor es el número de secciones empleadas en un barreno, es decir, en tanto mayor es la profundidad de éste debido principalmente al aumento del número de maniobras para aumentar o disminuir la "sarta de barrenación".
- d) El costo unitario por unidad de longitud, para una misma profundidad dada, es mayor empleando acero seccional, que los tipos integrales lo cual sólo puede ser compensado con barrenos profundos.
- e) Es posible realizar barrenos hasta de 9" de diámetro, lo cual resulta muy conveniente en ciertos casos especiales.
- f) Cuando existe una proporción entre la profundidad de los barrenos y su diámetro y no hay limitación en cuanto a la fragmentación, es más económico usar acero integral, puesto que reduce el concepto de explosivos.
- g) El equipo puede ser usado en trabajos de exploración, túneles y en excavaciones en banco.

h) Aumentan las posibilidades de programar firmemente los trabajos de excavación, haciéndolos incluso, independientes de otras operaciones en una misma obra.

i) Se reduce la necesidad de personal muy calificado, ya que las perforadoras grandes que utilizan acero seccional pueden ser eficientemente operadas por personal sometido a un corto entrenamiento.

#### CONSUMOS DE ACERO DE BARRENACION

Dados los múltiples y complejos factores que intervienen para realizar una estimación del consumo de acero tomaremos en consideración las siguientes premisas:

- a) Que el equipo es el adecuado para los trabajos a ejecutar.
- b) Que se utilizan brocas y aceros adecuados a las perforadoras empleadas.
- c) Que las perforadoras son operadas a su presión óptima de trabajo.
- d) Que la barrenación bien sea en seco o en húmedo, los barrenos sean convenientemente soplados y limpiados conforme avanza la broca.
- e) Que cualquiera que sea la perforadora utilizada, aplicará al acero presión adecuada de trabajo.
- f) Que el mantenimiento en general tanto de equipo como herramientas será el más adecuado.

TABLA 6.

VALORES INDICE DE VIDA ECONOMICA PROMEDIO DE ACEROS DE BARRENACION  
INTEGRALES Y SECCIONALES (en metros)

Clase de Roca	V i d a
<u>Muy duras:</u>	
cuarzo, basalto y hematita	10 a 100
hortenso y feldespato	50 a 100
<u>Medianamente duras:</u>	
gneises y conglomerados muy duros silicificados	100 a 150
esquistos, granito, riolitas, andesitas y similares	150 a 200
areniscas duras y diabasa	200 a 250
areniscas suavez y similares	250 a 400
<u>Suaves y descompuestas:</u>	
areniscas muy suaves, dolomitas y rocascalizas, así como conglomerados suaves poco cementados y materiales granurales sueltos; rocas similares intemperizadas	400 a 800
<u>Muy suaves</u>	
pizarras, lutitas, antracita, mármol, mica y carbón	600 a 1000

El acero de barrenación falla principalmente por roturas debidas a cristalización por fatiga; por esto podemos afirmar que los valores consignados en la tabla 6 son valores índice, puesto que para determinar la vida efectiva y los consumos, debemos tomar en consideración el factor derivado de la relación entre la longitud del acero de barrenación y la profundidad del barreno, esto es, convertir los metros de perforación a "metros barra".

La barrenación se mide en metros lineales, pero según sea la profundidad del barreno, la vida del acero de barrenación podrá ser variable, dependiendo de la relación existente entre dicha profundidad y la longitud de cada tramo de acero. En tanto mayor sea el número de cambios de acero necesarios para barrenar un agujero hasta su profundidad total, menor será la vida del acero, expresada en metros barra es completamente diferente del valor de metros de barrenación.

La relación entre los valores "metros barra" y metros de perforación depende del número de barras que se deban emplear en la perforación de un barreno, por ejemplo: Si un barreno tiene una profundidad de 6.0 metros, se practica empleando dos barras, la primera de tres metros y la segunda de 6 metros, tratándose de acero integral, es obvio que el acero de barrenación de la primera barra realizará un trabajo de 3 "metros barra"; en tanto que el segundo tramo lo hará de 6 "metros barra", lo que sumado arroja un total de 9 "metros barra", contra 6 metros de barrenación.

De acuerdo con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{n+1}{2}$$

en la que:

K = factor de conversión para convertir los metros de barrenación a metros barra, siendo el valor "metros barra" el representativo del trabajo efectivamente realizado para horadar un barreno.

n = número de barras empleadas para barrenar un barreno bien que se trate del número de cambios de acero, cuando la barrenación se haga con acero integral, o de tramos, cuando se haga con acero seccional.

El valor n será igual a H/L, siendo H la profundidad total del barreno y L la longitud de cada tramo seccional, o en su caso, el incrementode una barra integral a la siguiente más larga. Si empleamos el concepto de "metro barra" como representativo del trabajo real ejecutado, podemos utilizar la Tabla 6, para obtener la vida del acero de barrenación, la cual será de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Vida del acero de barrenación} = \frac{\text{valor índice de vida económica}}{K}$$

TABLA 7.

FACTOR DE CONVERSION K DE METROS DE BARRENACION A METROS BARRA

Número de Cambios de Acero Integral o de Barras Seccionales	Factor Conversión $K = \frac{n + 1}{2}$
1	1
2	1.5
3	2
4	2.5
5	3
6	3.5
8	4.5
10	5.5
20	10.5

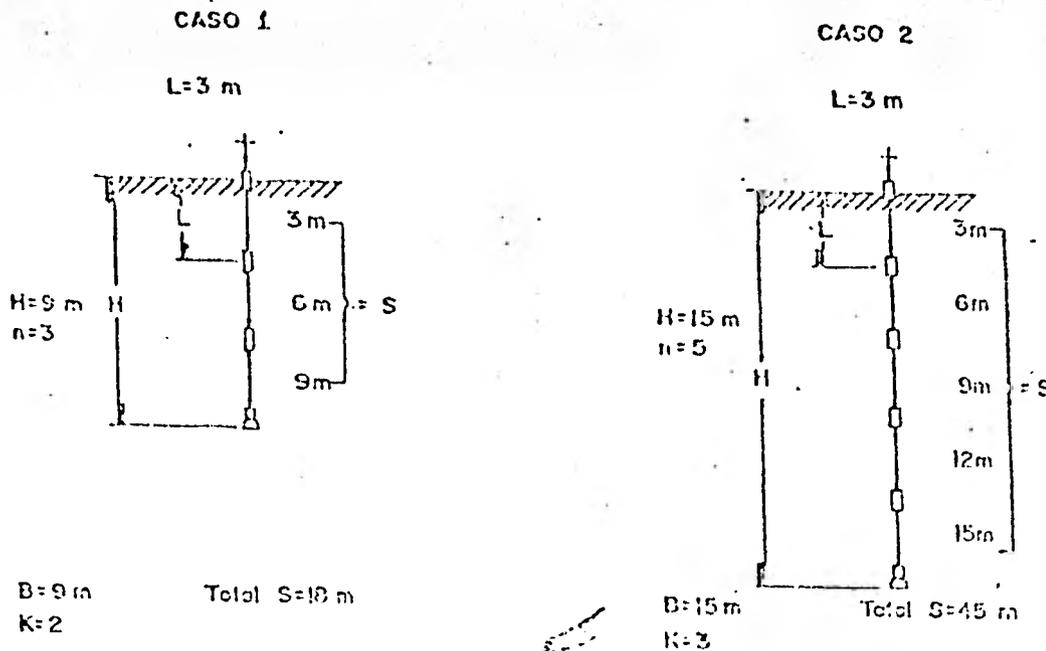


Figura 5. ESQUEMA MOSTRANDO LA CONVERSION DE METROS DE BARRENACION A "METROS BARRA"

Ejemplo.- En una excavación de roca caliza destinada a alojar una estructura, se practicarán barrenos de 2.40 metros y de 4.80 metros de profundidad aproximadamente, para alojar explosivos, empleando para ello acero integral SECO serie 51, con cambios crecientes sucesivos desde 800 mm. Determinar el consumo del acero de barrenación por metro de barreno perforado.

De la Tabla 4 determinamos que el acero de referencia tiene un peso promedio de 3.1 kg/m. de longitud y que los tramos aumentan de 800 en 800 mm. por consiguiente se requerirán 3 cambios para los barrenos de 2.40 m. y 6 cambios para los de 4.80 m. de donde:

$$K_1 = \frac{3 + 1}{2} = 2$$

$$K_2 = \frac{6 + 1}{2} = 3.5$$

De la Tabla 6 determinamos que el índice de la vida económica promedio del acero integral para roca caliza es de 400 a 800 metros, adoptando el valor medio de 600 metros, se obtendrán las siguientes vidas ajustadas a la profundidad:

En barrenos de 2.40 metros:

$$\frac{600}{2} = 300 \text{ metros}$$

En barrenos de 4.80 metros:

$$\frac{600}{3.5} = 171.5 \text{ metros}$$

Por consiguiente, los consumos promedios del acero de barrenación integral serán de:

Para barrenos de 2.40 metros:

$$\frac{3.1 \text{ kg/metro}}{300} = 0.0104 \text{ kg/metro de barrenación}$$

Para barrenos de 4.80 metros:

$$\frac{3.1 \text{ kg/metro}}{171.5} = 0.0181 \text{ kg/metro de barrenación}$$

#### BROCAS INTERCAMBIABLES

Actualmente sólo se fabrican dos tipos de broca intercambiable una de ellas es la de aleaciones de acero, que es la broca que tiene sus gavilanes y filo del mismo material y la otra que es la que lleva insertos de carburo de tungsteno que constituyen los filos de la misma.

Las brocas de aleaciones de acero en la actualidad tienden a desaparecer debido al perfeccionamiento de las brocas con insertos de tungsteno que dan mayores rendimientos. Estos insertos pueden variar su dureza fabricándose en varios grados pues la experiencia ha demostrado que debe existir una relación definida entre la dureza de la roca a perforar y la de la broca, para que ésta rinda su máxima eficiencia en rendimiento y vida económica. Sus diámetros de fabricación van desde 1 1/8" hasta 10".

Se clasifican según sus series y tipos de conexión:

- . Brocas con conexión de rosca de fondeo
- . Brocas con conexión de rosca de apoyo de hombro
- . Brocas de conexión cónicas

Las brocas de conexión de rosca de fondeo con cuerda de paso amplio tienen la gran ventaja de reducir notablemente las roturas, así como la de facilitar su conexión y desconexión.

CARACTERISTICAS DE ALGUNAS BROCAS INTERCAMBIABLES CON INSERTOS  
DE CARBURO DE TUNGSTENO

Serie	Diámetro de la Rosca (pulgadas)	Diámetro de la Broca (pulgadas)	Sección del Acero de Barrrenación (pulgadas)	Diámetro Máximo del Pistón de la Perforadora (pulgadas)
CONEXION CON ROSCA DE PASO AMPLIO (FONDEO)				
12	1.1/16	1.5/8, 1.3/4, 1.7/8, 2	7/8	2.3/4
14	1.1/4	2, 2.1/4, 2.3/3, 2.1/2	1.1/8 ó 1	3.1/2
16	1.1/2	2.1/2, 2.3/4, 3, 3.1/2, 4	1.1/4 ó 1.1/2	4.1/2
17	1.3/4	3, 3.1/2, 4	1.1/2	4.1/2
1000	2.1/2	4, 4.1/2, 5, 5.1/2, 6	1.7/8	5.1/2
CONEXION CON ROSCA DE CORDON (FONDEO)				
91	1.1/4	1.7/8, 2, 2.1/4, 2.1/2	1 ó 1.1/8	3.1/2
92	1.1/2	2.1/2, 2.3/4, 3, 3.1/2	1.1/4 ó 1.1/2	4.1/2
93	1.3/4	3, 3.1/2, 4	1.1/2	4.1/2
94	2	3.1/2, 4	2	5.1/2
CONEXION DE ROSCA CON APOYO DE HOMBRO				
MC	1	1.1/2, 1.5/8, 1.3/4, 1.7/8, 2	7/8 ó 1	2.3/4
GC	1.13/32	2.1/4, 2.3/8, 2.1/2, 2.3/4, 3	1.1/4 ó 1.1/2	4
KC	1.11/16	2.3/4, 3, 3.1/2, 4	1.1/4 ó 1.1/2	4.1/2

CARACTERISTICAS DE ALGUNAS BROCAS INTERCAMBIABLES  
DE CARBURO DE TUNGSTENO Y CONEXION CONICA

Cara	Angulo de Conexión	Diámetro de la Broca (pulgs.)	Sección del Ace- ro (pulgs.)	Diámetro Máximo del Pis- tón (pulgs.)
cincel, varios usos	7/8"x6°	1.1/2	7/8	2.5/8
cruz varios usos	7/8"x12°	1.1/4, 1.3/8, 1 1/2	7/8	2.5/8
cruz un uso	7/8"x6°	1 3/8, 1.1/2	7/8	2.5/8
cruz un uso	7/8"x11°	1.3/8	7/8	2.5/8
cruz un uso	1"x6°	1.3/8	7/8	2.5/8
cruz un uso	1"x11°	1.1/2	7/8	2.5/8
cruz varios usos	1"x12°	1.5/8, 1.3/4	1	3.1/8

## CARAS DE LAS BROCAS

Se fabrican en forma de cruz y en forma de equis. Son de cuatro insertos la mayoría generalmente tienen los agujeros de circulación y soplado en el centro, las brocas en forma de cruz son las normalmente usadas y las de equis en las formaciones geológicas donde aparece el llamado "rayado de rifle" que es donde las brocas se cuadran.

El barreno con "rayado de rifle" se produce en ciertas formaciones geológicas en las que por condiciones especiales derivadas de la naturaleza de esta roca, se provoca que el ciclo de golpes en una rotación de 360° sea múltiplo de cinco en lugar de cuatro que deben ser. Cuando esto ocurra el barreno presenta una sección transversal en forma de pentágono, con lo que los gavilanes de la broca se cuadran por estar golpeando constantemente con los lados o esquinas del pentágono.

En los casos en que no se disponen de las brocas en equis podemos tomar una con cara de cruz y esmerilar uno de los gavilanes de la broca hasta reducirlo en 1/8".

## LIMPIEZA DEL BARRENO

Generalmente las brocas están diseñadas para que el fondo del barreno sea correctamente limpiado tanto cuando se barrena en húmedo como cuando se barrena en seco, el tipo común de la broca tiene la perforación en el centro salvo en formaciones cementadas que tienden a tapar el agujero de la broca, aquí deben usarse brocas con agujeros laterales.

## SELECCION DE LAS BROCAS

Para que una broca rinda su óptimo fruto, aumentando al máximo su vida, deberá ser correctamente elegido y debemos tomar en cuenta los siguientes factores:

1. Diámetro del barreno a ser perforado.
2. Diámetro del pistón de la perforadora.
3. Diámetro del acero de barrenación y tipo de conexión.
4. Dureza de la roca, eligiendo una broca con inserto de adecuada dureza, según que el material sea abrasivo, semiabrasivo o no abrasivo.
5. Limpieza del barreno, para lo cual se elegirá una broca con el o los agujeros de soplado, limpieza de diámetro.
6. Dibujo de la cara, según el tipo de formación a ser perforada.
7. Tipo de conexión, la conexión está íntimamente ligada a la profundidad y al diámetro del barreno.
8. Explosivos a usarse.
9. Grado de fragmentación de la roca.

Dada la gran cantidad de brocas fabricadas podemos asegurar que siempre habrá una broca adecuada para resolver cualquier problema.

Se ha logrado demostrar que la prematura inutilización de las brocas se debe principalmente a las siguientes deficiencias:

1. Presión inadecuada (empuje axial) transmitida por la perforadora.
2. Deficiencia en el suministro del volumen de aire que implica una caída de presión.
3. Inadecuada relación entre el diámetro de la broca y el diámetro del pistón de la perforadora.
4. Limpieza deficiente del fondo del barreno, la que puede ser originada por un soplado insuficiente, o por una inadecuada selección de la broca, bien sea en su cara o en el número y ubicación de sus agujeros de circulación.
5. Cuadramiento de la broca debido al rayado de rifle en los barrenos.

## CONSUMO DE BROCAS

Dada la gran calidad que han alcanzado en su fabricación los insertos de carburo de tungsteno podemos afirmar que la vida de las brocas y la vida del acero se encuentran prácticamente balanceados, por lo que para determinar los consumos de este tipo de brocas conviene consultar las tablas 6 y 7 que se refieren al acero integral.

En cuanto a las brocas intercambiables y con insertos de carburo de tungsteno, que son las que en la actualidad tienden a predominar, gracias a su durabilidad y economía, son múltiples y complejos los factores que afectan su durabilidad y por consiguiente, a sus consumos: unos de ellos dependientes de las características de su fabricación, y otros, los más, de la naturaleza de las rocas y de las formaciones geológicas en las que se utilizan para trabajos de barrenación.

La dureza, tenacidad y propiedades abrasivas de las rocas son los factores que más afectan al consumo de brocas, y sabido es que tales propiedades varían ampliamente aun dentro de un mismo banco de barrenación, para fines de consulta podemos revisar los valores consignados en la Tabla 3, donde aparecen los índices de dureza de algunas rocas para poder juzgar respecto a su rendimiento, basándose en el criterio señalado a continuación:

Como regla empírica se ha llegado a establecer que la vida de una broca de acero dotada con insertos de carburo de tungsteno de dureza apropiada a las formaciones geológicas en que se utilice, es igual a su diámetro respectivo en pulgadas, multiplicado por cien (100), obteniéndose así su rendimiento en metros de barrenación para condiciones de dureza media.

Así por ejemplo, la vida de una broca de 2" de diámetro es en promedio de 200 metros de barrenación, cuando se emplea en formaciones apropiadas; la vida de una broca de 1 1/2" de diámetro es en promedio de 150 metros de barrenación.

## AFILACION DE BROCAS

Durante el desempeño de la perforación la broca sufre desgaste que implica la necesidad de reafilar los filos de las mismas, también debemos mencionar que algunos elementos del acero de barrenación tales como zancos y ros-cas están expuestas a deterioros derivados de desajustes, los cuales se evitan calibrando dichas partes con la oportunidad necesaria.

Por lo general, en todas las obras se organiza un servicio de reafilado, empleando para ello máquinas semiportátiles de afilado, ya que la experiencia ha demostrado que es preferible reafilar brocas que aún no estén muy gastadas que suspender la perforación de un barreno para reafilarlas, o en su defecto trabajarlas en mal estado, con muy malas consecuencias.

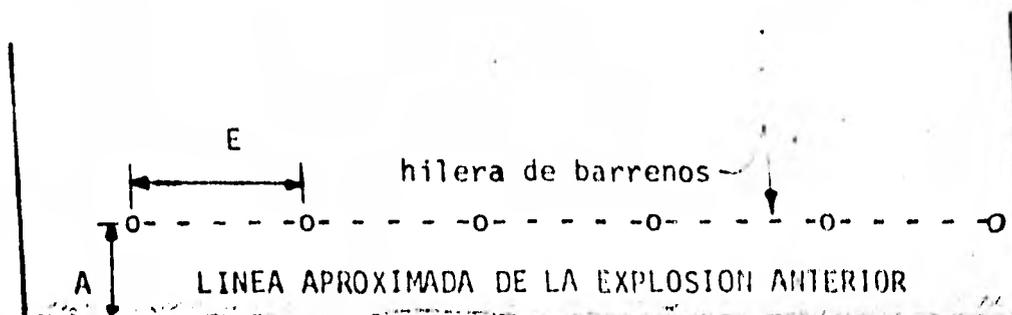
## MODELOS DE BARRENACION

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

Un corte puede atacarse tronando parte de él, como si se tratara de una cantera de frente angosto, disparando varias hileras de barrenos al mismo tiempo (figura 6).

Hay que tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

si  $P < 3.00$  metros  
 entonces  $A < P$   
 $E \geq P$   
 $E > 3.00$  metros



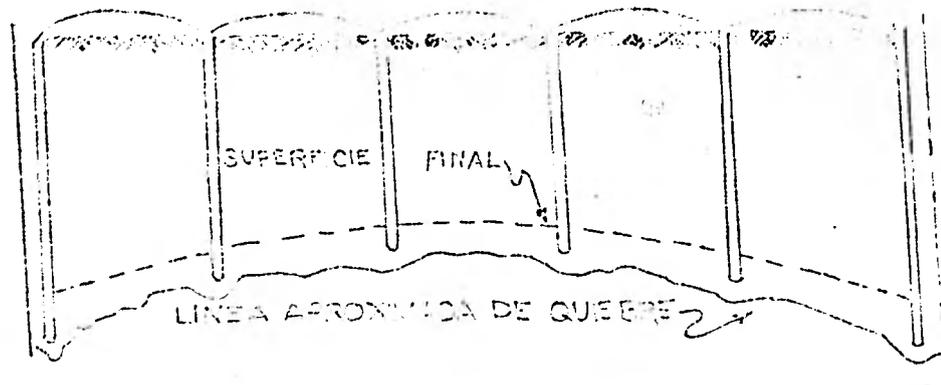


Figura 6

Para barrenación es recomendable los barrenos de  $1\frac{1}{2}$  " (3.81 cm.) de diámetro.

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

En la construcción de terracerías en laderas deberá utilizarse los escombros o rezagas del corte para completar la cama deseada, como se indica en la figura 7. Tanto en este caso como en los otros es recomendable efectuar una sola tronada del corte utilizando el sistema Mark V o de los milisegundos, pues con él se obtiene una mejor fragmentación.

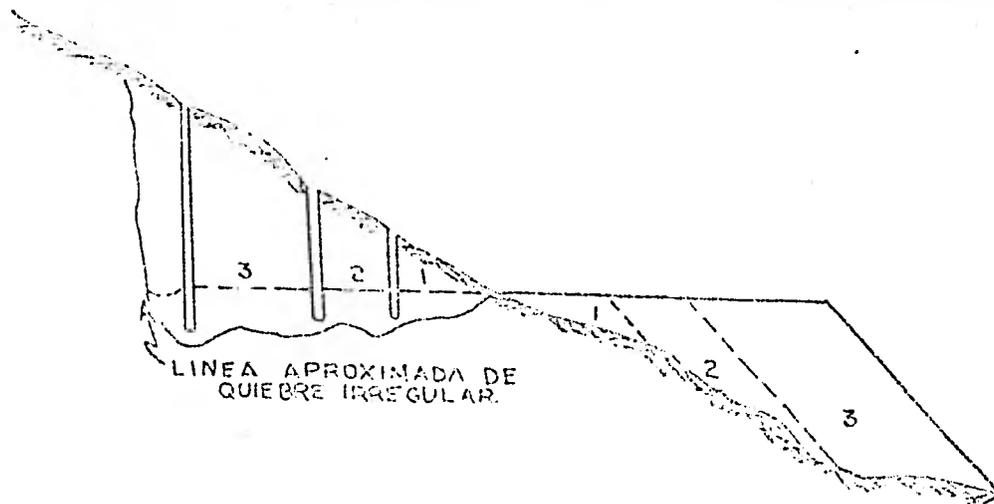


Figura 7

Control de proyección, menor vibración y, con ello, mayor seguridad. Los resultados con el sistema Mark V son sorprendentes; con la práctica puede dominarse una voladura. Los siguientes ejemplos ilustran lo anterior:

#### Método para reducir la Vibración

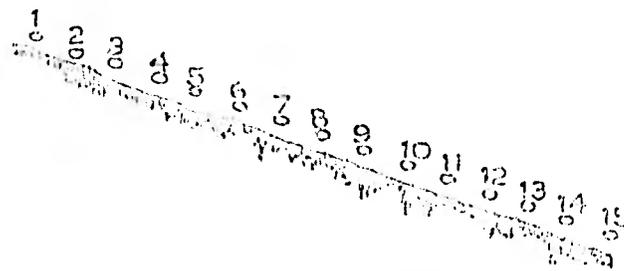


Figura 8

Método para evitar la proyección excesiva

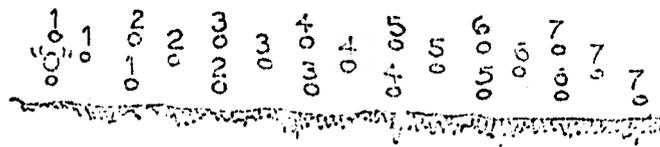


Figura 9

Método para dar mayor fragmentación, pero con máxima proyección.

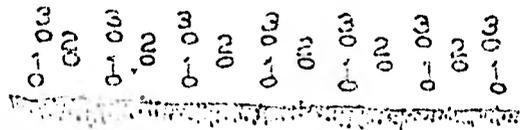


Figura 10

Para disminuir la proyección es recomendable el siguiente método:

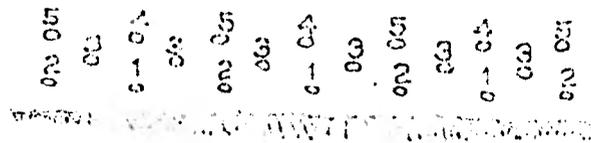


Figura 11

En la explotación de canteras, cuando los frentes no son muy altos (menores de 10 metros), se utilizan los métodos de las figuras 8, 9, 10 y 11 antes expuestos.

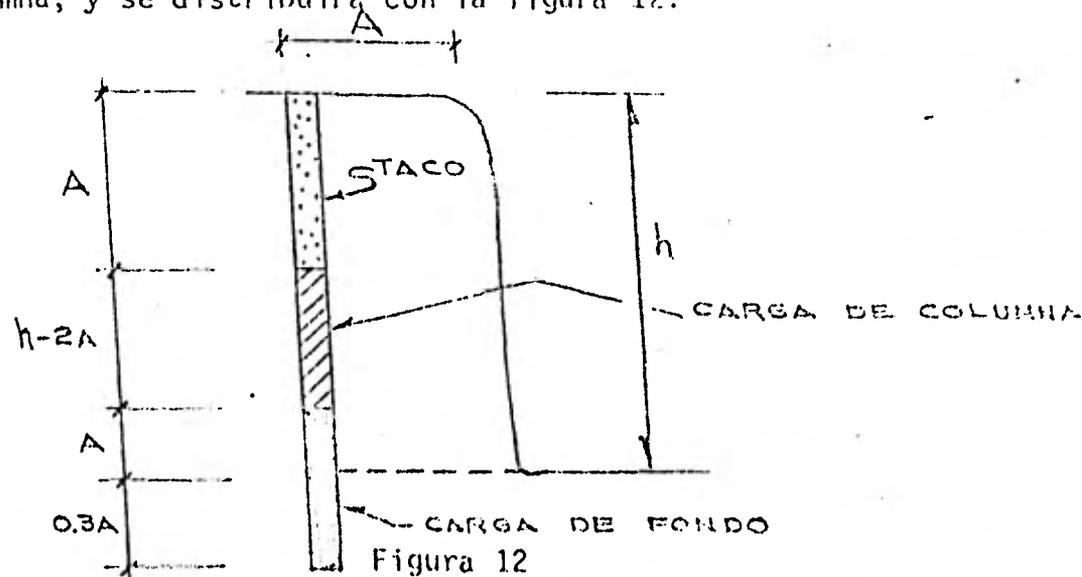
Para bancos comprendidos entre 8 y 15 metros de altura es recomendable disparar de 2 a 5 hileras de pozos simultáneamente con el objeto de desprender suficiente material y aumentar la fragmentación.

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

#### CONSUMO DE EXPLOSIVOS

Este debe determinarse en cada caso por medio de pruebas. Para facilitar las pruebas se parte de las siguientes reglas:

1. La carga por metro cúbico de roca fragmentada, será la misma, independientemente del tamaño de la prueba.
2. La carga específica necesaria para una voladura es alrededor de 0.4 kg/m<sup>3</sup>.
3. La carga del fondo del barreno debe ser 2.7 veces mayor que la carga de la columna, y se distribuirá con la figura 12.



4. Un buen procedimiento para hacer pruebas consistente en volar barrenos de 0.50 m. de profundidad y 0.50 m. de pata. Se repite varias veces el procedimiento, aumentando la carga hasta que sea suficientemente grande para fracturar la pata.

Si el centro de gravedad de la roca es lanzado hacia el frente de 0 a 1 m. se dice que la carga es la correcta. Lanzamientos mayores de la roca, a 2, 4, 6 y 8 m. indican excesos de carga de 10, 20, 30 y 40% respectivamente.

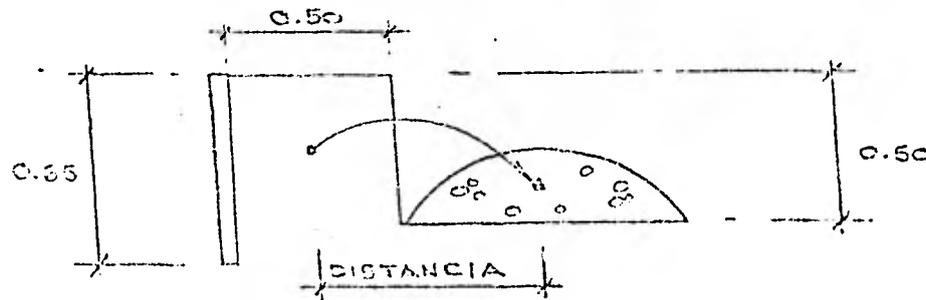


Figura 13

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

5. La separación entre barrenos es aproximadamente 1.3 A.
6. La pata depende de la carga por metro que se pueda concentrar en el fondo y de la altura de la carga.

La altura de la carga, a su vez, depende del diámetro del barreno.

7. La relación entre el tamaño de la pata y el diámetro del barreno (d), está dada por:

$$A = 40 d.$$

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

$$A_1 = A - 0.05 h.$$

10. El consumo específico para barrenos múltiples es de 20% menos que el de un solo barreno.
11. El peso volumétrico de la dinamita extra 40% o gelatina 60% es de 1.0 a 1.4 kg/dm<sup>3</sup>.

#### CALCULO DE UNA VOLADURA POR EL METODO SUECO (OVERBURDEN)

##### Fórmulas:

Carga de fondo:

$$q_f = 0.001 d^2 \text{ kg/m} \quad (d \text{ en mm})$$

Carga de columna:

$$q_c = 0.4 q_f$$

Pata o Berm:

$$A_T = 45 d \quad (\text{teórica})$$

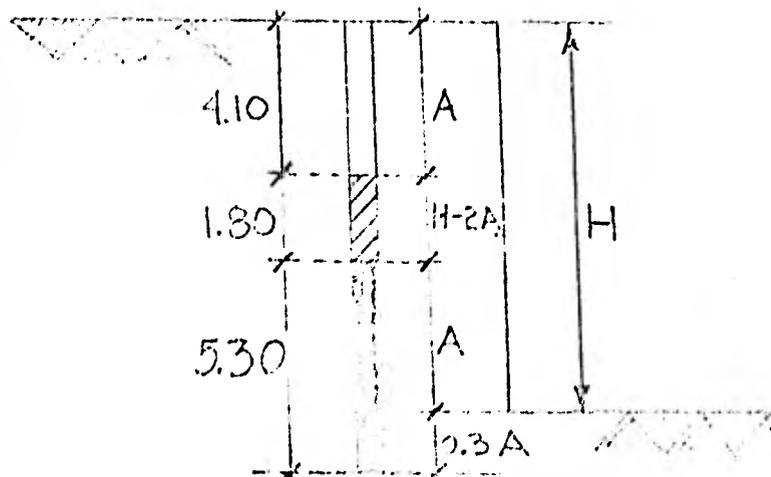
$$A_R = A_t - 0.05 - 0.03 H \quad (\text{real})$$

Ejemplo:

$$d = 4 \text{ "}$$

$$H = 10 \text{ m}$$

$$\ast - A - \ast$$



$$A_t = 45 \times 0.01 = 4.50$$

$$A_R = 4.50 - 0.1 - 0.3 \times 10 =$$

$$A_R = 4.10 \text{ m.}$$

$$q_f = 0.001 \times \frac{100^2}{1000} = 10 \text{ kg/m}$$

$$C_f = 10 \times 5.30 = 53 \text{ kg.}$$

$$q_c = 0.4 \times 10 = 4 \text{ kg/m.}$$

$$C_c = 4 \times 1.8 = 7.2 \text{ kg.}$$

La plantilla más sencilla para una voladura de varias hileras, lateralmente limitadas, es la que se muestra en la figura 14.

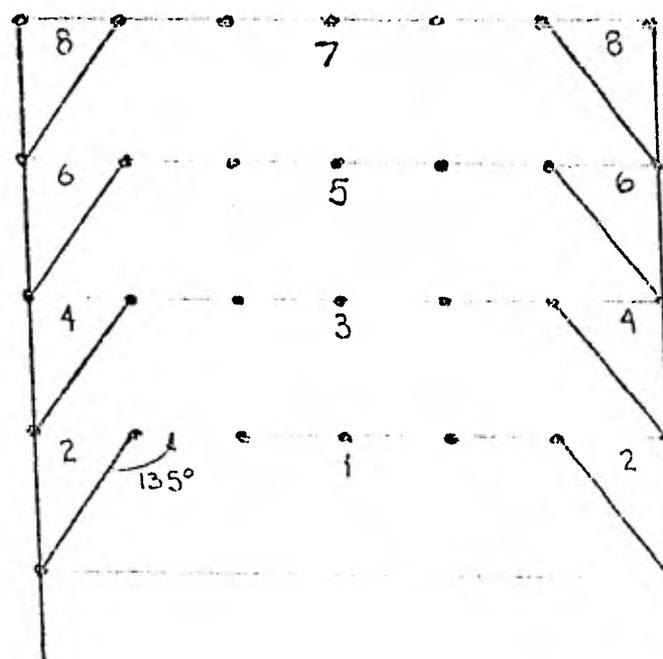


Figura 14

Todos los barrenos por hilera, excepto los de esquinas, se inician con un mismo número de retardo, con lo que, en el momento de la detonación, cada barreno tiene rotura libre. Esto no sería posible si los barrenos de esquina se iniciaran al mismo tiempo, ya que se tendría una probabilidad muy grande de que éstos se encendieran antes de los inmediatamente próximos, quedando en condiciones de rotura desfavorable. Este tipo de encendido exige el doble de intervalos que hileras, lo cual es una restricción cuando se trata de grandes voladuras con varias hileras, ya que los intervalos disponibles no son suficientes para la aplicación de una secuencia de encendido como la de la figura 14.

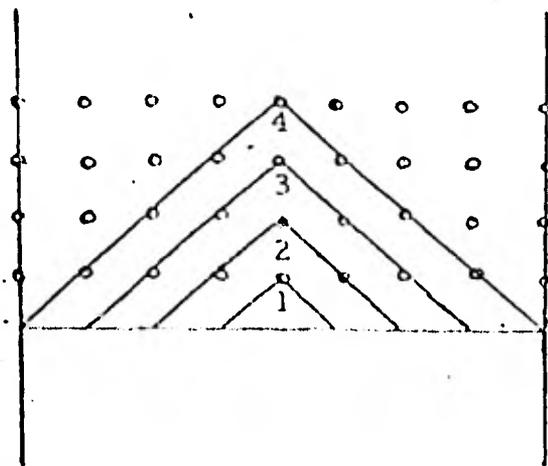


Figura 16

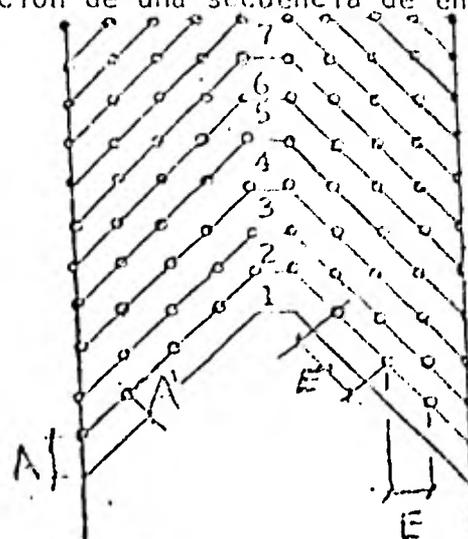


Figura 17

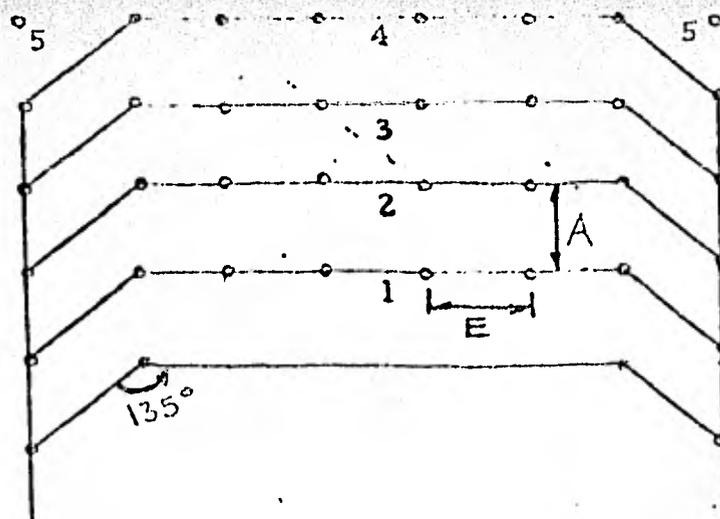


Figura Nº 15

La plantilla anterior, se puede modificar como se muestra en la figura 15 en la cual todos los barrenos de la hilera, a excepción de los de esquina, se encienden con el mismo intervalo que los barrenos de esquina de la hilera anterior. Con este arreglo, se usa un menor número de intervalos en los estopines.

Otro tipo de plantilla sería como la mostrada en la figura 16, la cual es adecuada para una mayor fragmentación, un mejor acabado en las paredes y una rezaga más concentrada, aunque presenta malas condiciones para el desprendimiento de la parte central, pues después del encendido del retardo número 1 que tiene la rotura libre; salen los dos barrenos de ambos lados de la misma hilera con el retardo número 2, así como este mismo, lo que da como resultado que el barreno de la segunda hilera se pueda adelantar a los de enfrente, quedándose encerrado en el momento de encendido y efectuando una voladura defectuosa.

Para evitar lo anterior, se utiliza una plantilla como la mostrada en la figura 17.

Los dos barrenos que están ligeramente más comprimidos que los otros, se han dispuesto en la hilera de modo que, el desgarramiento en sus alrededores, no afecte al contorno final de la pared acabada.

Además, ese debe tomar en cuenta la gran importancia que tiene la relación pata-espaciamiento para la fragmentación; en la figura 17 así como en la 16 se tiene que, en comparación con la figura 15.

$$E' = E \times 2, \quad A' = A \quad 2$$

Por lo que, igualando términos,  $\frac{E'}{A'} = \frac{2E}{A}$  lo cual es favorable para la fragmentación; esto queda más claro si se toman en cuenta las ilustraciones de las figuras 18 y 18A, las cuales fueron determinadas experimentalmente.

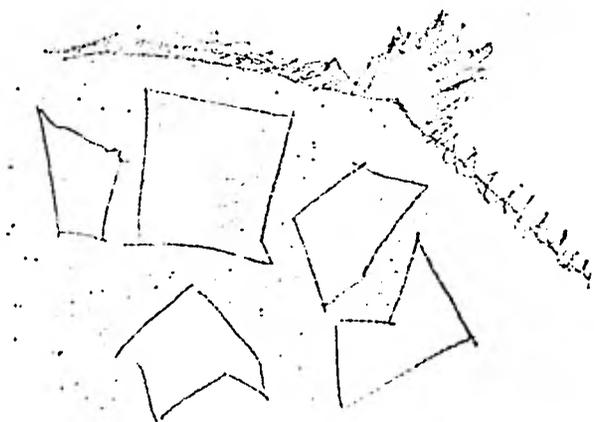


Figura 18

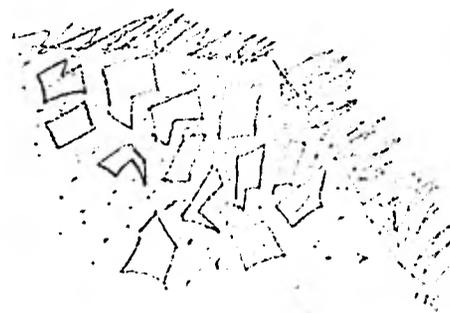
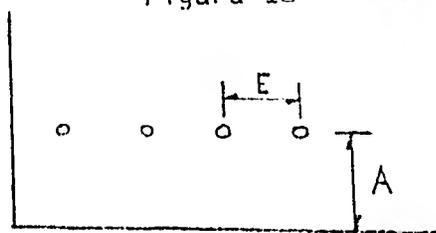
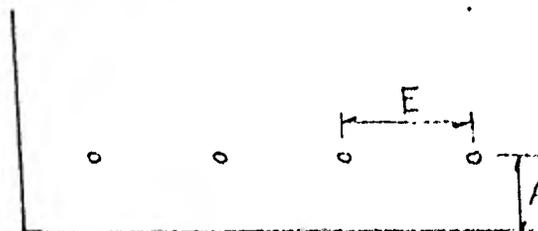


Figura 18A



Donde se ve claramente que al aumentar la relación  $E/A$ , aumenta la fragmentación.

## E) ADITAMENTOS Y ARTIFICIOS

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

### INICIADORES

#### a) Mecha para Minas

La mecha para minas consiste en un núcleo de pólvora negra especial, envuelto con varias cubiertas de hilazas o cintas y sustancias impermeabilizantes. Su objeto es hacer estallar al fulminante, por lo tanto debe arder en una forma continua y uniforme. La velocidad de ignición oscila entre 125 y 131 segundos por metro.

#### b) Ignitacord

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

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

### DETONADORES

#### a) Fulminantes

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

### b) Estopines Eléctricos

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

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

### c) Estopines Eléctricos Tipo Instantáneo

Los estopines eléctricos instantáneos tiene casquillos de aluminio de 1 1/8" de largo; éstos son los detonadores para usos comunes. Un alambre lleva aislamiento color rojo y el otro amarillo, estos dos colores distintos son de gran ayuda al hacer las conexiones.

### d) Estopines Eléctricos de Tiempo

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

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

### e) Estopines Eléctricos de Tiempo Regulares Mark V

La nueva serie de estopines eléctricos de tiempo regulares, ha sido fabricada para disparar con un intervalo definido entre el estopín más lento de cualquier período y el más rápido del siguiente período. Estas nuevas series aseguran un intervalo positivo de tiempo entre períodos y a través de toda

la serie de tiempos. Comprenden 10 períodos de retardo, los tiempos de detonación de los estopines Mark V después de aplicar la corriente, para el primer período es de 25 MS y para el décimo período 9.6 segundos.

f) Estopines Eléctricos de Tiempo "MS"

Los estopines eléctricos de tiempo con retardo de milésimos de segundo difieren de los estopines de tiempo ordinario en que los intervalos de retardo son muy cortos. Su elemento de retardo es diferente al de los estopines de tiempo ordinarios. Se surten en 10 períodos cuyos números indican el tiempo que tarda el disparo en producirse en milésimos de segundo a saber: MS - 25, MS - 50, MS - 100, MS - 150, MS - 200, MS - 300, MS - 400, MS - 600, MS - 800, MS- 1000.

MECHAS DETONANTES

a) Primacord

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

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

PINZAS CORRUGADORAS DE FULMINANTES

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

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

#### MAQUINAS EXPLOSORAS

Estas máquinas suministran la corriente necesaria para disparos eléctricos. Hay dos tipos de máquinas explosoras. El tipo "descarga de condensador" y el tipo "generador".

#### DESCARGA DE CONDENSADOR

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

1. Una capacidad extremadamente alta, en comparación con su peso y tamaño.
2. La ausencia de partes dotadas de movimiento.
3. La eliminación del factor humano que interviene en las máquinas de tipo mecánico.
4. Una luz piloto, y
5. Un sistema de alambres e interruptores que reúne importantes características de seguridad.

## GENERADOR

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

## INSTRUMENTOS DE PRUEBA

### a) Galvanómetro para Voladuras

Este instrumento tiene una pila especial de cloruro de plata que proporciona la corriente necesaria para mover una manecilla en una escala graduada. La pila y las partes mecánicas están encerradas en una caja de pasta la cual está provista de dos bornes de contacto. Sirve para probar los estopines eléctricos individuales y también para determinar si un circuito de voladura está cerrado o no y si está en condiciones para el disparo; además sirve para localizar los alambres rotos, las conexiones defectuosas y los cortos circuitos, así como para medir la resistencia aproximada de un circuito.

### b) Voltiómetro para Voladuras

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

c) Reostato

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

## F) VOLADURAS CONTROLADAS

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

En voladuras controladas se utilizan varios métodos para reducir el exceso de rompimiento; sin embargo, todas tienen un objetivo común.

Disminuir y distribuir mejor las cargas explosivas para reducir al mínimo los esfuerzos y la fractura de la roca más allá de la línea misma de excavación.

Por muchos años la barrenación en línea fue el único procedimiento utilizado para controlar el rompimiento excesivo. La barrenación en línea o de límite simplemente consiste de una serie de barrenos en línea, vacíos, a corta distancia unos de otros y a lo largo de la línea misma de excavación, proporcionando así un plano de debilidad que la voladura puede romper con facilidad.

### BARRENACION EN LINEA, DE LIMITE O DE COSTURA

#### Principio

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

## Aplicación

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

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

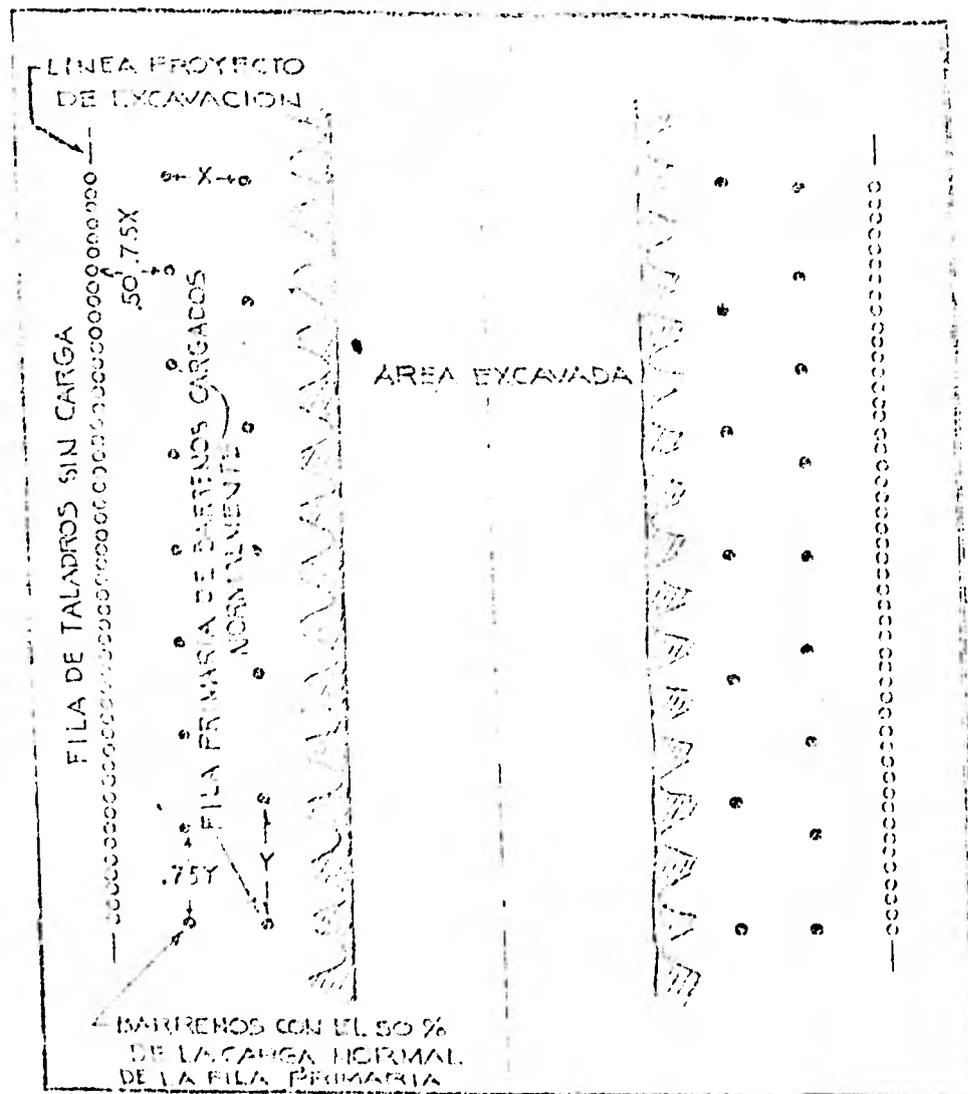


Figura 8A

Plantilla Típica del Procedimiento de Barrenación en Línea

Los barrenos de la voladura directamente adyacentes a los de la barrenación en línea, se cargan generalmente con menos explosivos y también a menor espaciamento que los otros barrenos. La distancia entre las perforaciones de la barrenación en línea y los más próximos, cargados, es usualmente del 50 al 75% de la pata usual.

Los mejores resultados con la barrenación en línea se obtienen en formaciones, homogéneas en donde los planos de estratificación, juntas y henduras son mínimas.

## Trabajos Subterráneos

La aplicación de la teoría básica del sistema de barrenado en línea, esto es, utilizando solamente barrenos vacíos, es muy limitada en trabajos subterráneos. Generalmente se usan barrenaciones cerradas, pero siempre cargadas aunque ligeramente. A este procedimiento hemos preferido llamarle "voladura perfilada" y será descrita posteriormente.

### VOLADURAS AMORTIGUADAS

#### Principio

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

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

Obviamente, a mayor diámetro de barreno, se obtiene mayor amortiguamiento.

TABLA 1.

## CARGAS Y PLANTILLAS PROPUESTAS PARA VOLADURAS AMORTIGUADAS

Diámetro del Barreno en Pulgadas	Espaciamiento en (1) Pies	Berma en Pies (1)	Carga Explosiva en Libras/Pie(1)
2 - 2 $\frac{1}{2}$	3	4	0.08 - 0.25
3 - 3 $\frac{1}{2}$	4	5	0.13 - 0.50
4 - 4 $\frac{1}{2}$	5	6	0.75 - 0.75
5 - 5 $\frac{1}{2}$	6	7	0.75 - 1.00
6 - 6 $\frac{1}{2}$	7	9	1.00 - 1.59

(1) Dependien de la naturaleza de la roca.  
Las cifras anotadas son promedios.

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

Trabajos a Cielo Abierto

El banco o perma y el espaciamiento variarán de acuerdo con el diámetro de los barrenos que se hagan. La Tabla 1 muestra una guía de patrones y cargas para diferentes diámetros de barrenos. Nótese que los números mostrados cubren un campo promedio debido a las variaciones que resultan del tipo de formación por volarse. Con este procedimiento los barrenos se cargan con cartuchos enteros o fraccionados atados a líneas de Primacord a manera de rosario, usándose generalmente cartuchos de  $1\frac{1}{2}$  " de diámetro por 8" de largo y colocándose a 1 ó 2 pies de separación.

Para efectos de un amortiguamiento máximo las cargas deben colocarse dentro del barreno tan próximas como sea posible a la pared correspondiente al lado de la excavación (ver figura 9).

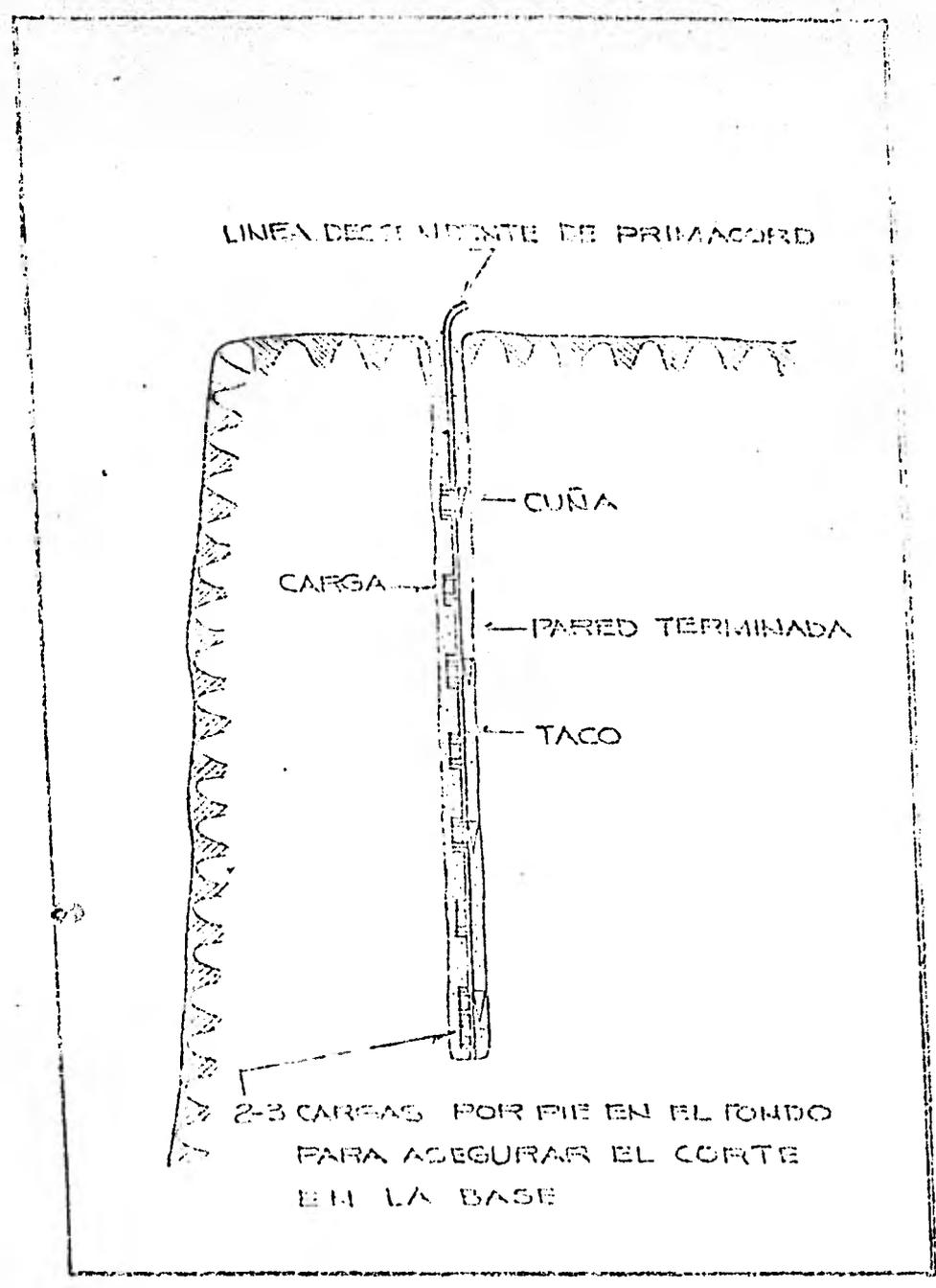


Figura 9

COLOCACION DE LAS CARGAS DE EXPLOSIVO PARA VOLADURAS AMORTIGUADAS

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

La profundidad máxima que puede volarse con éxito por este método, depende de la precisión de alineamientos de los barrenos. Con barrenos de diámetros mayores puede mantenerse un mejor alineamiento a mayor profundidad. Las desviaciones de más de 6" del plano de los barrenos dan generalmente malos resultados. Se han hecho voladuras con éxito usando barrenos de amortiguamiento hasta de 90 pies de profundidad.

Cuando se realizan voladuras por amortiguamiento en áreas curvas o en esquinas, se requieren menores espaciamientos que cuando vuela una sección recta. Pueden también utilizarse ventajosamente taladros-guía cuando se vuelan caras no lineales. En esquinas a 90°, una combinación de varios procedimientos para voladuras controladas, dará mejores resultados que la voladura amortiguada simple (figura 10).

#### VENTAJAS

La voladura amortiguada ofrece ciertas ventajas, tales como:

- . Mayores espaciamientos entre barrenos para reducir los costos de perforación.
- . Mejores resultados en formaciones no consolidadas.

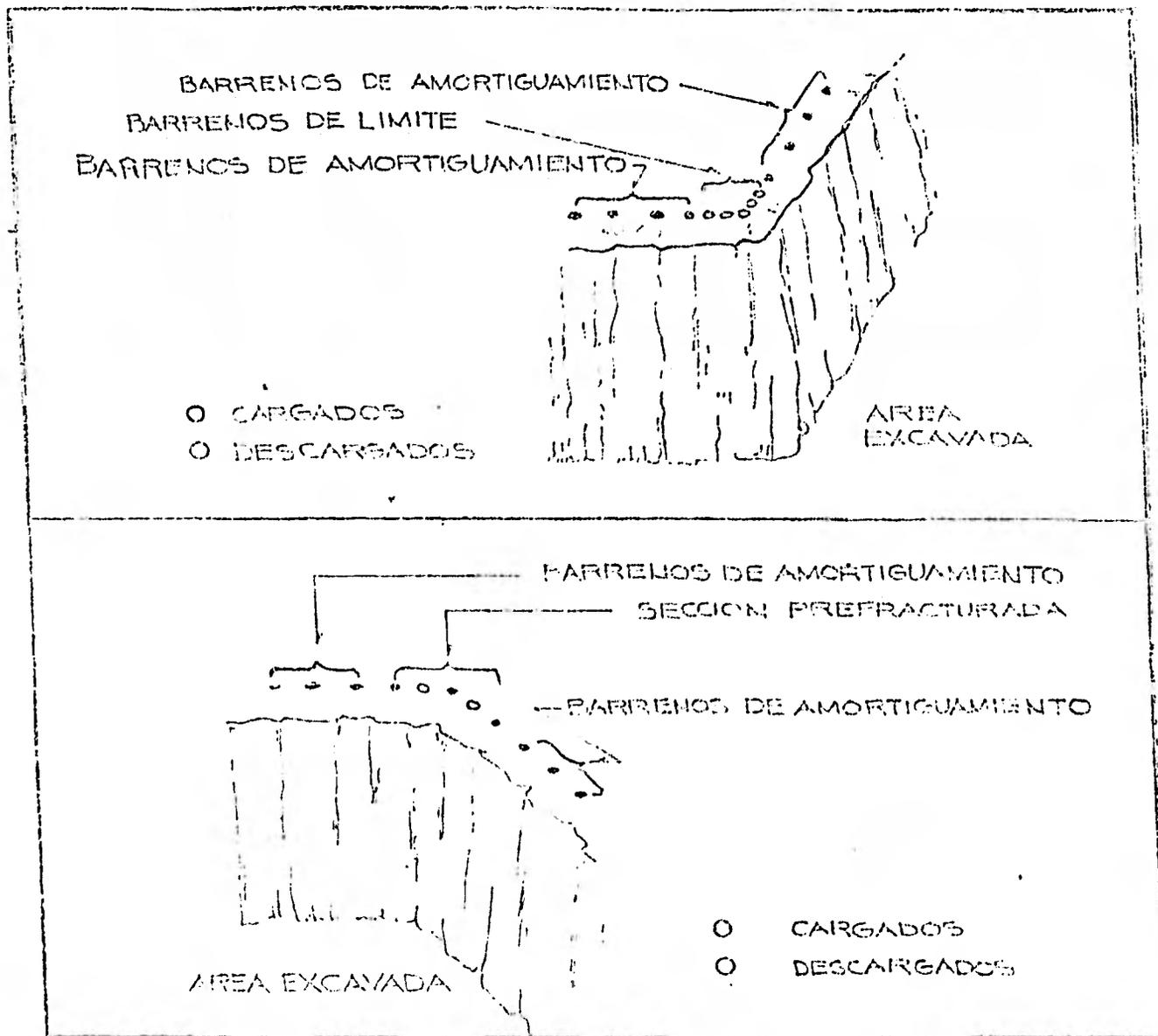


Figura 10

VOLADURAS AMORTIGUADAS EN FRENTES, EN ESQUINA O EN RINCON

El mejor alineamiento obtenido con barrenos de gran diámetro permite perforar barrenos más profundos.

## VOLADURAS PERFILADAS O DE AFINE

### Principio

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

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

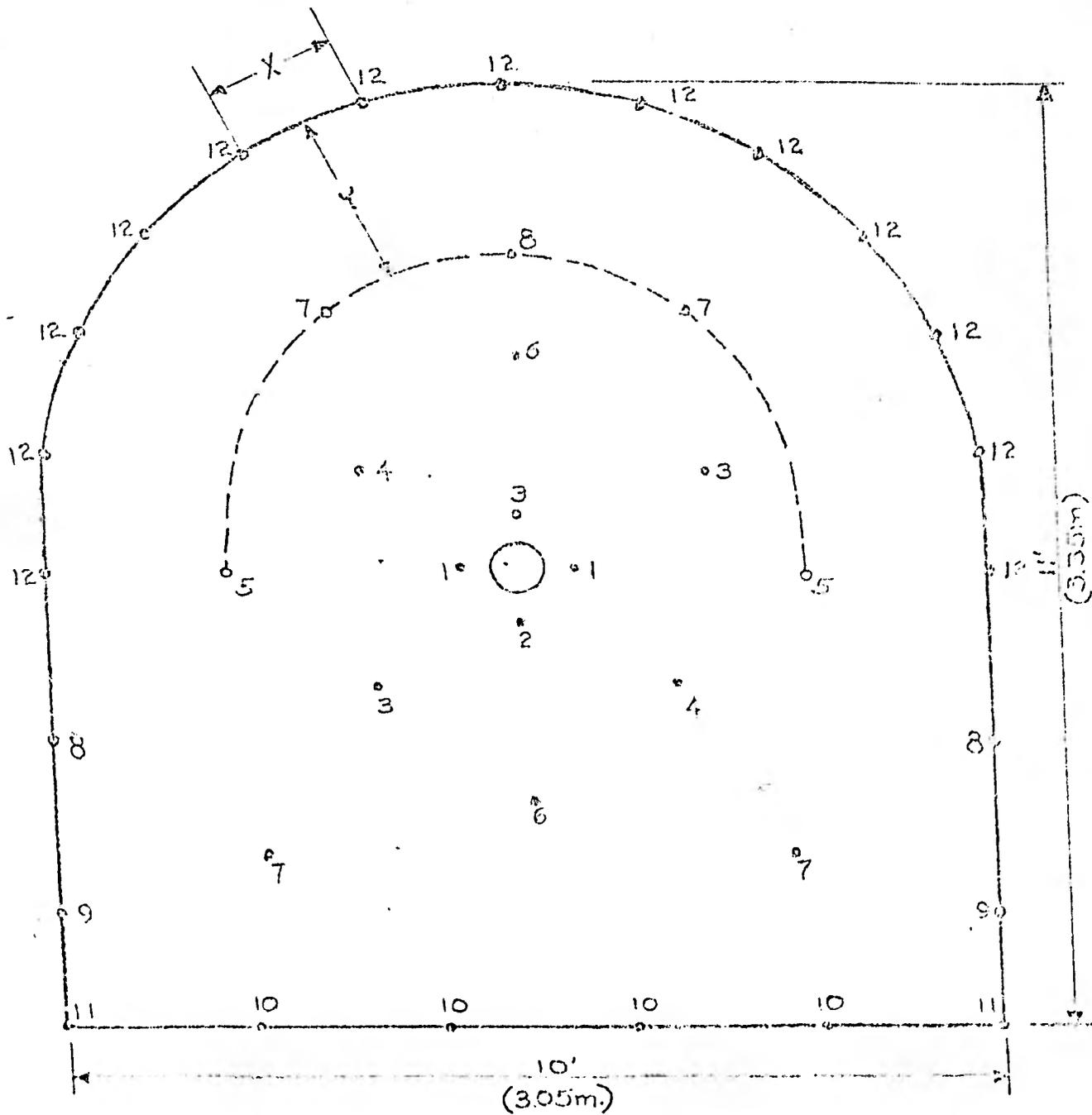
### APLICACION

#### Trabajos Subterráneos

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

Empleando el método de la Voladura Perfilada o de Afine con cargas ligeras y bien distribuidas en los barrenos perimetrales, se requieren menos soportes y resulta una menor sobreexcavación. Aun en formaciones homogéneas más duras, este método proporciona techos y paredes más lisos y más firmes.

Figura 11.



PLANTILLA TIPICA PARA EXPLOSIONES  
RETARDADAS EN GALERIAS DE AVANCE

La voladura perfilada en trabajos subterráneos utiliza barrenos perimetrales en una relación de aproximadamente  $1\frac{1}{2}$  a 1, entre el ancho de la berma y el espaciamiento usando cargas ligeras, bien distribuidas y disparadas en el último período de retardo de la voladura (ver figura 11). Estos barrenos se disparan después de los barrenos de pata o pié para asegurar que al roca fragmentada se desplace lo suficiente para ofrecer el máximo desahogo a los barrenos de la Voladura Perfilada. Este franqueo permite la libre remoción del banco final y produce menos fractura más allá del límite de la excavación.

Las cargas pequeñas bien distribuidas en los barrenos perimetrales usando plantillas y retardos convencionales, han producido regularmente resultados satisfactorios. La Tabla 2 proporciona las plantillas recomendadas y las cargas en libras por pié, para la Voladura Perfilada.

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

#### VENTAJAS

La Voladura Perfilada o de Afine ofrece dos ventajas principales:

Reduce el rompimiento excesivo que produce los métodos convencionales

Requiere menos ademe.

TABLA 2.

VOLADURA PERFILADA

Diámetro del Barrero en Pulgadas		Espaciamiento en (1) Piés	Berma en Piés (1)	Carga Explosiva Libras/Pie (1)
1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{3}{4}$	2	3	0.12 - 0.25
2		2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	0.12 - 0.25

(1) Dependen de la naturaleza de la roca

Las cifras anotadas son promedios

PREFACTURADO

Principio

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

La roca alrededor de un barreno está sometida a tensión (figura 12).

La teoría del prefacturado consiste en que cuando dos cargas se disparan simultáneamente en barrenos adyacentes, se suman las tensiones a la roca, especialmente en el plano que los une ya que además de ser el plano de menor resistencia, es el lugar geométrico de la máxima suma de las tensiones (fig. 12).

CONDICION 1

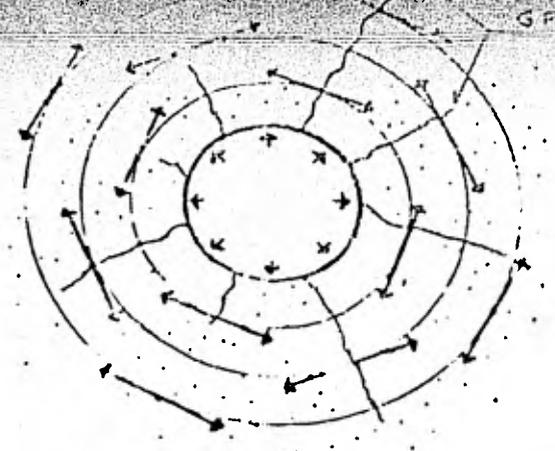
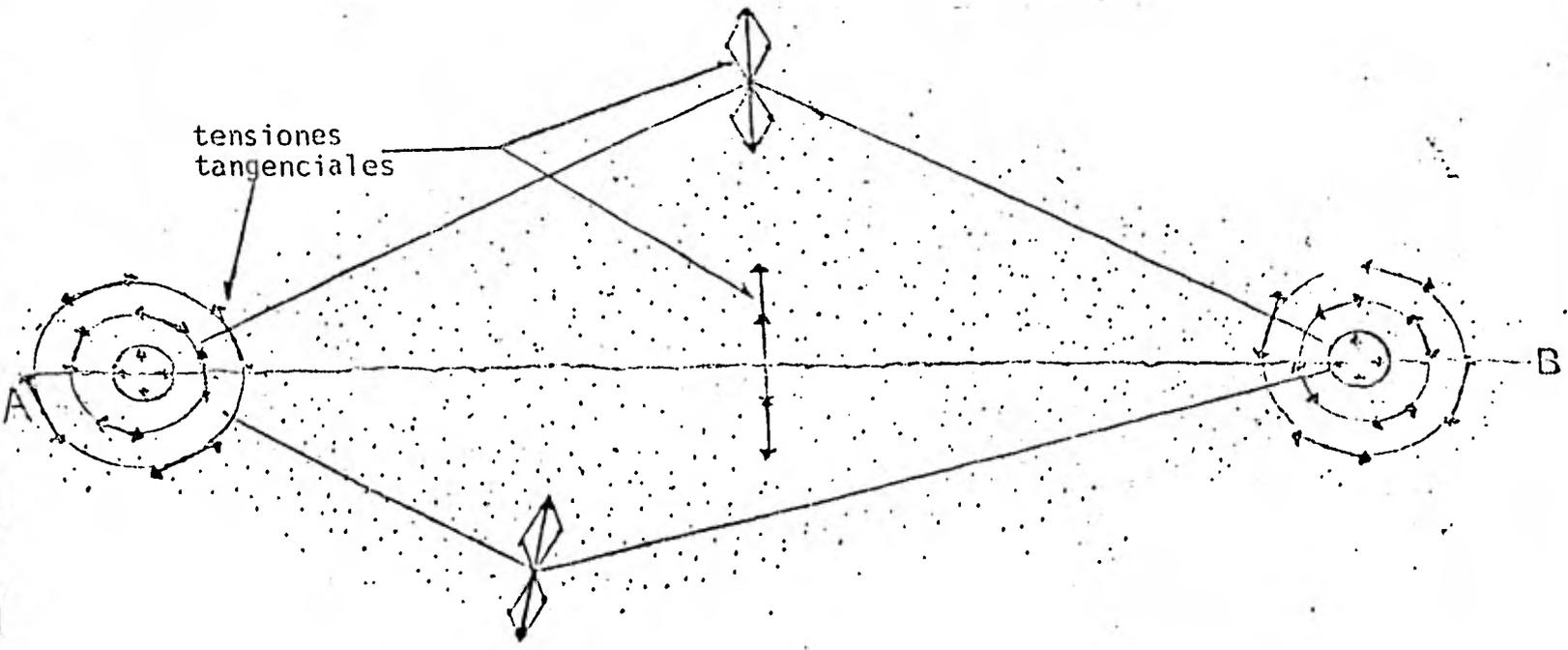


Figura 12

LA ROCA, ALREDEDOR DE UN BARRENO CON GASES A PRESION (DEL EXPLOSIVO) ESTA SOMETIDA A TENSION.

Figura 12

SI PENSAMOS EN UNA ROCA DE EXTENSION INFINITA



DOS BARRENOS, COMO EL DE LA CONDICION 1, TRONADOS SIMULTANEAMENTE, SUMARAN LAS TENSIONES A LA ROCA, ESPECIALMENTE EN EL PLANO QUE LOS UNE (A-B) YA QUE, ADEMAS DE SER EL PLANO DE MENOR RESISTENCIA, ES EL LUGAR GEOMETRICO DE LA MAXIMA SUMA DE LAS TENSIONES.

## APLICACION

Trabajo a Cielo Abierto

Los barrenos para prefacturar se cargan de manera similar a los barrenos para voladuras amortiguadas, esto es, se forman "en rosario" de cartuchos enteros o partes de cartucho, de 1" ó  $1\frac{1}{2}$ " de diámetro, por 8" de largo, espaciados a 1 a 2 piés centro a centro.

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

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

Los espaciamientos promedio y las cargas por pié de barreno se dan en la Tabla 3. Estas cargas anotadas son para las condiciones de rocas normales y pueden obtenerse utilizando cartuchos de dinamita convencionales, fraccionados o enteros, espaciados y ligados a líneas de Primacord, ("rosario").

La profundidad que puede prefracturarse de una sola vez, nuevamente depende de la habilidad para mantener un buen alineamiento de los barrenos. Las desviaciones mayores a 6" del plano de corte deseado, darán resultados negativos. Generalmente la máxima profundidad que puede utilizarse para barrenos de 2" a  $3\frac{1}{2}$ " de diámetro sin una desviación considerable en el alineamiento es de 50 piés.

TABLA 3.

CARGAS Y ESPACIAMIENTOS PROPUESTO PARA EL  
PREFACTURADO

Diámetro del Barreno en Pulgadas	Carga Explosiva en Lbs./Pié (1) (2)	Espaciamento en Piés (1)
1 $\frac{1}{2}$ - 1 $\frac{3}{4}$	0.08 - 0.25	1 - $\frac{1}{2}$
2 - 2 $\frac{1}{2}$	0.08 - 0.25	1 $\frac{1}{2}$ - 2
3 - 3 $\frac{1}{2}$	0.13 - 0.50	1 $\frac{1}{2}$ - 3
4	0.25 - 0.75	2 - 4

(1) Dependen de la naturaleza de la roca

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

Teóricamente, la longitud de una voladura para Prefacturar es ilimitada. En la práctica, sin embargo, el disparar muy adelante de la excavación primaria puede traer problemas pues las características de la roca pueden cambiar y la carga ser causa de un exceso de fractura en las zonas más débiles. Llevando el Prefacturado adelante únicamente a la mitad de la voladura principal siguiente (ver figura 13) los conocimientos que se van obteniendo con las voladuras principales respecto a la roca, pueden aplicarse a los disparos de prefacturado subsecuentes. En otras palabras, las cargas pueden modificarse si es necesario y corren un menor riesgo que si se dispara el total de la línea de excavación antes de avanzar con las voladuras principales.

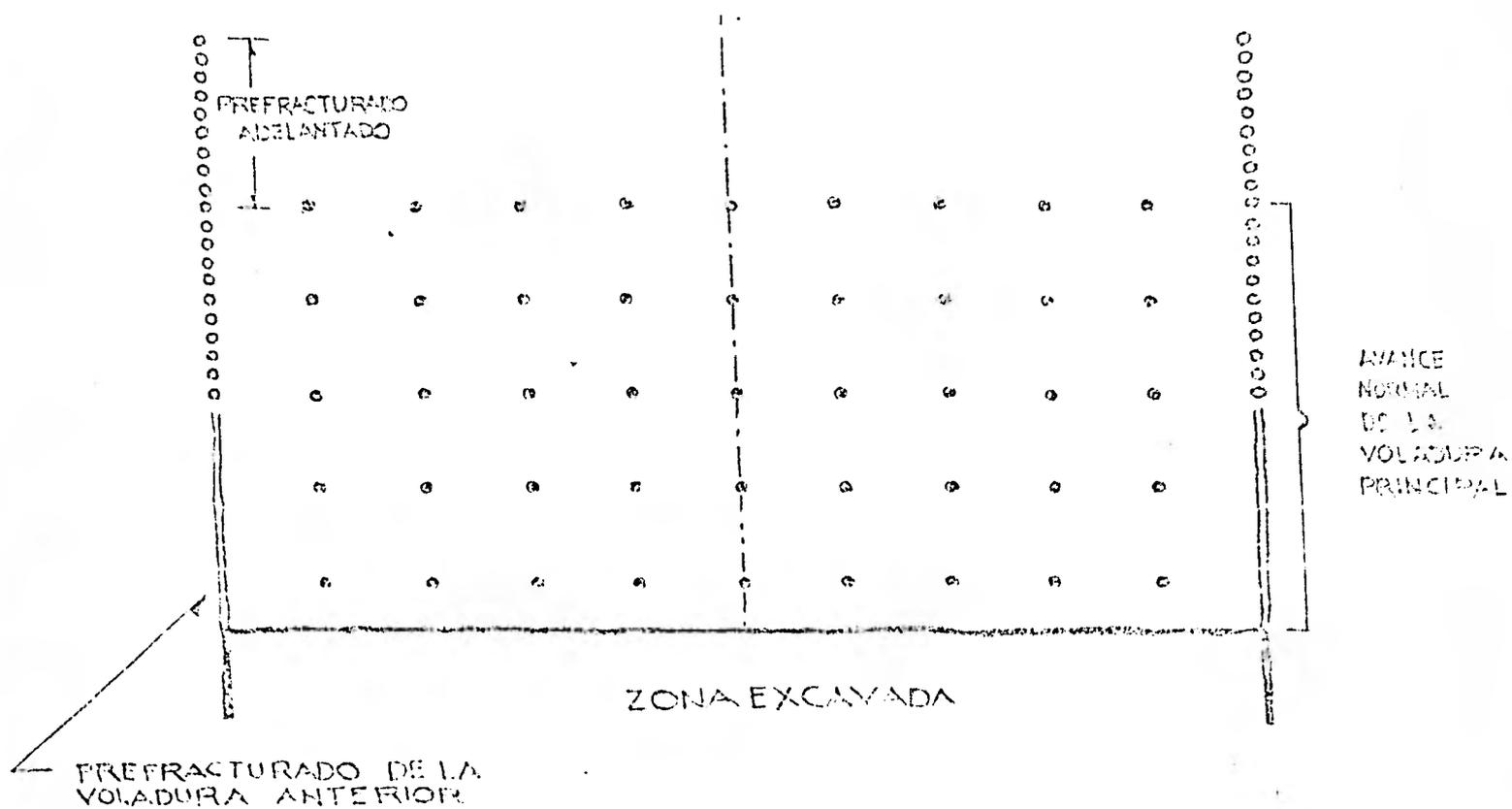
El Prefacturado puede realizarse simultáneamente a la voladura principal retrasando sus barrenos con retardadores MS, de manera que los barrenos de Prefacturado estallen primero que los de la voladura principal (ver figura 14).

#### VENTAJAS

El Prefacturado ofrece las siguientes ventajas:

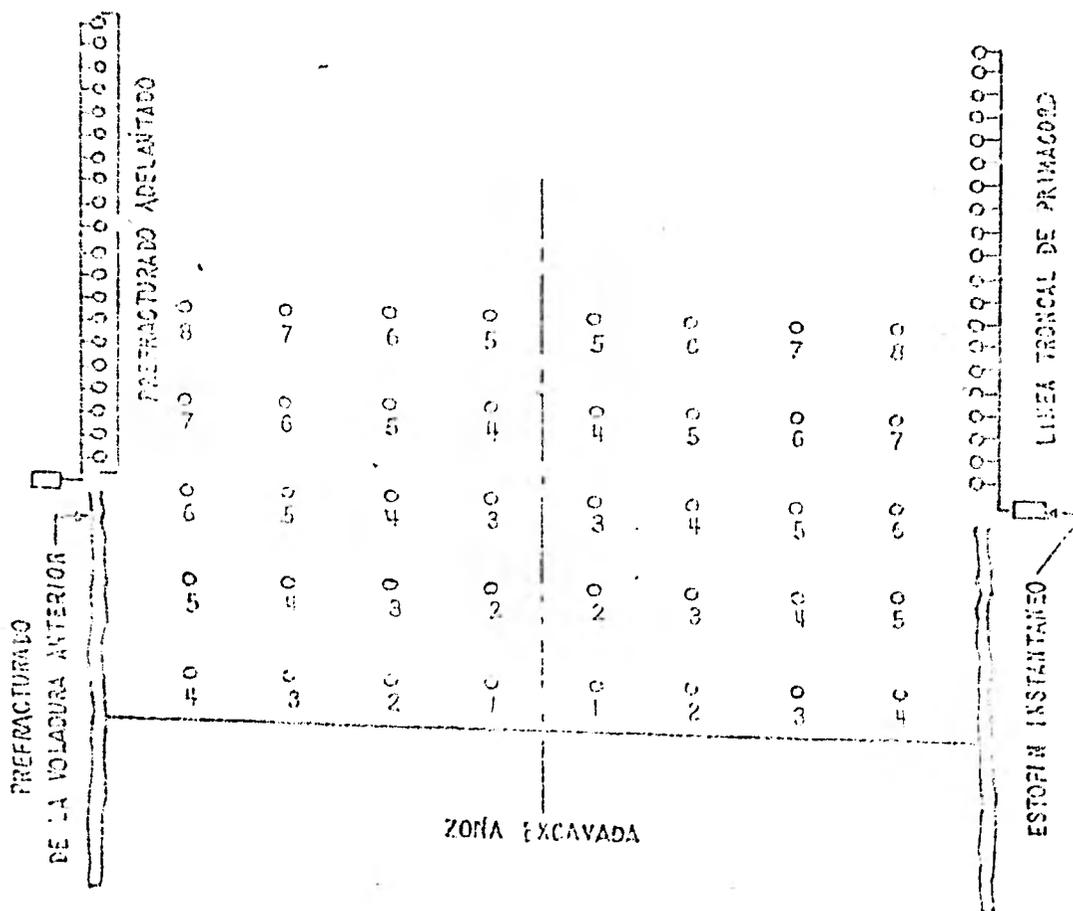
Aumento en el espaciamiento de los barrenos-reducción de costos de barrenación.

Figura 13



PROCEDIMIENTO RECOMENDADO PARA EL PREFACTURADO

Figura 14.



PROCEDIMIENTO DE EXPLOSIONES RETRASADAS DURANTE LA VOLADURA PRINCIPAL EN EL PREFABRICADO

## g) CARGA Y ACARREO DE LA ROCA

### A distancia corta para pedraplenes

Normalmente se usan tractores, pues sirven para acomodar la roca.

### A distancia para alimentar otra máquina (quebradora)

Se usó durante mucho tiempo pala y camiones. Con el perfeccionamiento de los cargadores frontales, especialmente los de neumáticos, éstos han ido desplazando a las palas y camiones, haciendo ellos mismos las dos operaciones.

Haremos un análisis de producción y veremos algunos puntos importantes relativos a un cargador frontal en una planta de trituración.

ESTUDIO DE PRODUCCION PARA UN CARGADOR FRONTAL marca MICHIGAN, modelo 175-III, CON CUCHARON DE 5.5 Yds.3 A UNA DISTANCIA DE 550' CARGANDO ROCA CALIZA.

### Cálculo del ciclo de carga y acarreo

carga y descarga (constante) .500'

#### Acarreo

cargado a 550' - a 9.95 MPH  
(velocidad 2a. y 3a.)

$\frac{550}{9.95 \times 88}$  .628'

Vacío a 550' - a 17.85 MPH  
(velocidad 3a. y 4a.)

.350'

total del ciclo 1.394'

=====

1.394' oor ciclo entre 50' = 35.87 ciclos

2.671 peso del material por Y3.

5.50 yardas el cucharón = 14 690 lbs.

$\frac{50' \times 2.671 \times 5.50}{2000} = 263 \text{ tons.}$

1.394 · 2000

263 tons. hora x 8 hrs.=2 104 tons.

2 104 tons. x .9078 tons. met. - 1910 tons. métricos

INDICACIONES UTILES PARA CARGA Y ACARREO CON CARGADOR FRONTAL DE NEUMATICOS EN UNA PLANTA DE TRITURACION.

1. Localización de la planta.

Lo más cerca posible, generalmente a unos 45 m. del banco.

2. Los caminos deben estar bien conservados, tener pocas curvas.

Sus pendientes máximas deben ser 10% y en rampas cortas 20%, De más de 5% reduzca la producción en 2%/1%.

3. Llantas.

Estas representan el mayor renglón de costos, es necesario vigilarlas.

4. Cucharones y dientes

El cucharón debe ser considerado como artículo de desgaste. Salvo que el material sea poco común en peso, en contenido de finos, o en características de carga el cucharón sugerido por el fabricante será la solución más adecuada.

Si no son necesarios los dientes en el cucharón para excavar, no los use puesto que el material tiende a escaparse entre los dientes estropeando el camino de acarreo.

#### CARGA Y ACARREO A DISTANCIAS LARGAS

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

## H) RESUMEN

Dada la Geología de nuestro país, el ingeniero mexicano encontrará, con mucha frecuencia, que tiene que construir sobre o dentro de formaciones ígneas del tipo extrusivo, como son basaltos, andesitas, riolitas, etc.

Ninguna de estas formaciones presenta en general características homogéneas, aun dentro de áreas relativamente pequeñas en los mantos que la forman. Diferencias morfológicas, agrietamientos, intrusiones de otras rocas e infinidad de accidentes, nos obligan a estudiar el comportamiento del manto en conjunto, dentro de las áreas de influencia de las estructuras impuestas.

Prácticamente en toda altiplanicie del país, en vastas zonas al sur del Istmo de Tehuantepec, así como en amplias zonas del norte, encontramos este tipo de formaciones y podemos asegurar que en general todas ellas están fracturadas. Este fracturamiento se puede deber a enfriamientos bruscos, de las lavas, pero también en forma importante por efectos sísmicos y de acomodo de la corteza terrestre. Estas circunstancias indican que no se pueden establecer reglas generales para los procedimientos de excavación, sino que en cada caso particular debemos hacer un análisis del problema, ya que los procesos de explotación de roca vistos en este trabajo no son exactos, sino que se basan en muchos aspectos de la experiencia.

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

En algunas regiones, estas formaciones sedimentarias se encuentran metamorfozadas y aunque del mismo origen que las anteriores, se comportan de diferente manera ante el uso de explosivos o escarificadores.

Por último, en la costa del Pacífico encontramos zonas muy extensas formadas por rocas ígneas intrusivas, como son los granitos, dioritas, etc. Superficial e interiormente presentan, al igual que las otras rocas, diferencias muy marcadas en su aspecto y comportamiento, causadas por efectos de intemperismo y agentes extraños.

En su interior, producto de acción sísmica presentan agrietamientos, fisuras y fallas.

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

En la actualidad, la calidad en las herramientas usadas en los procesos de explotación hace que los rendimientos en el volumen de excavación sean mayores.

El descubrimiento de nuevos explosivos (nucleares) hacen suponer que en un futuro, no muy lejano, se utilicen en forma comercial para la explotación de la roca, entonces seguramente el volumen de excavación aumente considerablemente.

# BIBLIOGRAFIA

<u>Nombre</u>	<u>Autor</u>
Manual para el Uso de Explosivos	Du Pont
Equipo de Construcción	E. Peurifox
Voladura en Roca	ULF Langesdorf y Kihlström
Construcciones en Roca	Colegio de Ingenieros Civiles de México
Manual de Escarificación	Caterpillar Tractores Co.
Trabajos de Construcción en Roca	Robert Crimmins y Ruben Samuels
Pólvora y Explosivos	Otto Sttetcher