

197 115



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

BARRENACION A CIELO ABIERTO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

SERAFIN LOZADA LUNA



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

INTRODUCCION	1
I. GENERALIDADES	4
I.1 Desarrollo de la técnica de voladuras	4
I.2 Glosario	7
II. ANALISIS GEOLOGICO DE LAS ROCAS	10
II.1 Aspectos básicos de la barrenación en diferentes tipos de roca	10
II.2 Clasificación de las rocas:	13
II.3 Localización y explotación de bancos de roca	21
III. EQUIPO DE BARRENACION	26
III.1 Compresores	26
III.2 Perforadoras	35
III.3 Brocas, barras de extensión y barrenas	47
IV. ANALISIS DE BARRENACIONES	52
IV.1 Fórmulas teóricas para diseñar una plantilla de barrenación	52
IV.2 Bancos de roca	60
IV.3 Cortes en caja	68
IV.4 Cortes en zanja y canales (Talud)	72
V. COSTOS	77
V.1 Cálculo de costos unitarios	77
V.2 Programación y control de equipo	104

VI. CONCLUSIONES 111

BIBLIOGRAFIA 114

INTRODUCCION

La Tierra es una enorme esfera de roca, ligeramente irregular, de un volumen tan grande que difícilmente es posible alcanzar a imaginar cuan pesada es.

No es casual entonces que los hombres dependamos en gran medida de las rocas para vivir, al grado que los primeros seres humanos ya las utilizaban hace más de un millón de años. El humano es el único ser que usa herramientas. Las primeras empleadas por nuestros antepasados fueron, -- con toda seguridad, ramas caídas de los árboles y piedras sueltas. Tiempo después, las piedras fueron pulidas para producir mejores herramientas.

Antes de que terminara la Edad de Piedra, el hombre ya estaba en camino hacia lo que ahora llamamos civilización y este avance se debió, en parte, a la habilidad que había adquirido en el empleo de las rocas.

En el siglo XXI, cuando el hombre haya conquistado otros planetas, -- con toda seguridad seguirá dependiendo de las rocas en la Tierra. Así ha ocurrido durante centurias y es muy probable que siga sucediendo en el -- próximo millón de años, si la raza humana sobrevive para entonces.

En la actualidad las rocas revisten especial importancia por sus variados usos. Las empleamos en múltiples actividades y de muy diversas -- formas, tanto por su resistencia como por su atractivo. Pero la verdadera belleza de las rocas reside en la diversidad de panoramas que dan a la superficie terrestre. De rocas están formadas los picos majestuosos de -- los Alpes y las cordilleras de los Andes. La soledad del desierto del -- Sahara y el esplendor del Gran Cañón dependen, en gran medida, de las rocas de variados tamaños y formas que los constituyen.

Sin embargo, a veces la belleza queda opacada por el problema que -- llegan a representar las rocas cuando el ingeniero civil se tropieza con ellas en alguna de sus obras.

Un buen número de trabajos de ingeniería civil incluye como parte -- esencial la operación denominada "Movimiento de Tierras", que no es sino el trabajo de Barrenación a Cielo Abierto. Esta operación es importante, sobre todo en la apertura de vías de comunicación (carreteras o vías fé--

reas); en la construcción de canales; en la preparación de la zona de -- desplante de grandes estructuras, como pueden ser la construcción de algún conjunto habitacional o la cortina de una presa de almacenamiento; - en la construcción de aeropuertos e inclusive de puertos marítimos; en la explotación de bancos de materiales para construcción en la explotación - de yacimientos de minerales, entre otras obras.

Para llegar a buen término, cada una de las obras mencionadas requiere necesariamente de los trabajos de Barrenación.

El presente escrito, que analiza este tipo de obras, pretende ser, - más que un mero texto para cubrir un requisito académico, un libro de -- consulta para quienes estudian materias relacionadas con el tema y, por - qué no, para aquellos profesionales que se encuentran con problemas al - trabajar en presencia de ese preciado material que es la roca.

De esta manera, en el capítulo I se expondrán algunos aspectos generales del trabajo relacionado con la Barrenación a Cielo Abierto.

El análisis geológico de las rocas es de vital importancia para un - buen desarrollo de la barrenación, ya que de él depende que se pueda dise-- ñar la plantilla de barrenación y que se conozca cuál es el equipo más - adecuado, entre otros datos de suma importancia. Asimismo, es factible - diseñar los programas de obra conociendo los volúmenes que se pueden obte-- ner, por ejemplo, en la explotación de un banco de roca o bien en la cons-- trucción de cualquiera de las obras mencionadas con antelación. Este tema será tratado en el capítulo II.

A lo largo del capítulo III se analizan los equipos con que se cuenta en la actualidad para realizar los trabajos de barrenación a cielo -- abierto. Se hace una revisión a compresores y perforadoras, así como a - sus accesorios.

El capítulo IV se refiere a la aplicación misma de la barrenación, - una vez revisados los diferentes tipos de obras que por sus propias caracte-- rísticas y particular grado de dificultad, requieren ser trabajadas de diferente manera. En la excavación de una zanja, por ejemplo, se precisa disminuir la distancia entre un barreno y otro, mientras que en la apertu-- ra de una carretera tal vez esa distancia se podrá ampliar, dependiendo - del equipo a utilizar así como del tipo de roca que se desea remover.

Así pues, hay obras en las que es importante obtener roca de cierto tamaño (granulometría), mientras que en otras lo prioritario es evitar -proyecciones de la roca al ser "volada" o bien vibraciones en el terreno. En el cuarto capítulo se analizarán diferentes formas de barrenación para distintos tipos de obra.

Los costos de los trabajos de barrenación implican un monto considerable en las obras ya citadas. En promedio representan entre un 30 y un 40 por ciento del costo de extracción de la roca.

Una vez conocido el tipo de roca y el equipo con que se cuenta para estos trabajos, es posible diseñar la plantilla óptima de barrenación - que deberá adaptarse a cada tipo de obra. Con estos elementos a la mano es factible calcular fácilmente y con un gran margen de seguridad los - precios unitarios que, como es lógico, serán diferentes para cada obra.

En el capítulo V se incluyen algunos ejemplos para el análisis de - precios unitarios en diferentes tipos de obra. Manejando estos elementos es posible controlar y programar el equipo de manera que se logren - mayores beneficios a un menor costo.

Dada la geología de nuestro país, el ingeniero mexicano encontrará, con mucha frecuencia, que tiene que construir sobre o dentro de formaciones rocosas. Por ello es importante para el ingeniero civil conocer las técnicas del uso de explosivos, así como las cargas y la distribución de los barrenos que debe emplear en cada caso y de acuerdo con las condiciones del trabajo.

I. GENERALIDADES

I.1 Desarrollo de la Técnica de Voladuras

El empleo de explosivos para voladuras en roca empezó a ponerse en práctica a principios del siglo XVIII. Por aquel tiempo, en Alemania se introdujo la pólvora para facilitar los trabajos en la minería. Hasta entonces en esa actividad se había venido utilizando el método ruptura por contracción, procedimiento que consiste en calentar la roca para de inmediato regar agua sobre ella, produciendo tensiones que originan la aparición de fisuras en su estructura. Con mazos, punterolas y cuñas se consigue después quebrar la roca.

En 1864 Alfred Nobel se propuso fabricar un aceite explosivo a partir de la nitroglicerina líquida, producto que en poco tiempo ganó un campo de aplicación sumamente extenso. Hoy en día el método más común para atacar la roca es el que se basa en el uso de explosivos.

La evolución de los sistemas de perforación ha influido en gran medida sobre el desarrollo de los explosivos y, en consecuencia, en la técnica de voladuras. En la actualidad se emplean diámetros cada vez mayores, especialmente en las voladuras a cielo abierto.

Antaño predominaban los barreteros de una mano. Eran personas dedicadas a la perforación de la roca; mientras con una mano sujetaban la barrena o el cincel, con la otra golpeaban ese instrumento, valiéndose de un marro para producir el barrenado. Tiempo después sentaron presencia los barreteros de dos manos. Eran trabajadores que realizaban su labor en parejas; mientras uno sostenía la barrena, el otro golpeaba con el marro.

El desarrollo de los equipos de barrenación ha ido evolucionando en forma muy rápida en todo el mundo, como respuesta a la demanda creciente de servicios por parte de una población que aumenta día a día: la necesidad de más vías de comunicación, de transporte, de la explotación de recursos naturales, son algunos de los

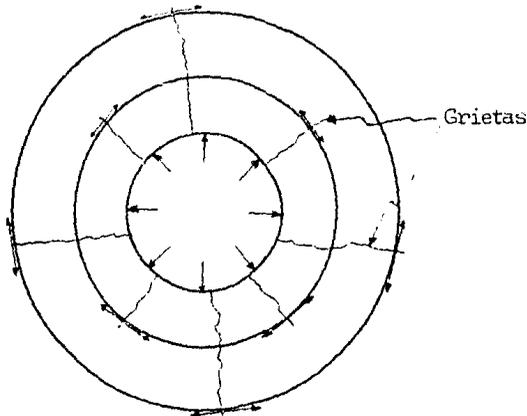
factores que han influido en ese proceso.

A la fecha se cuenta con una gran variedad de equipos que permiten realizar las diferentes labores en que está involucrada la roca.

Los trabajos de barrenación son de vital importancia para el logro de una buena voladura. A su vez, la barrenación depende de un sinnúmero de factores, tales como el diámetro de perforación -- que se va a utilizar, el equipo empleado y sobre todo el tipo de terreno en que se va a laborar, como veremos en el siguiente capítulo.

Resulta oportuno presentar un breve esbozo del proceso completo de una voladura, para así entender y poder hilar cada uno de los capítulos de que consta este trabajo. Sin embargo antes de pasar a ello, conviene preguntarse: ¿Qué sucede a raíz de una explosión?.

Durante el período de denotación, una potente onda de choque se propaga radialmente en el interior de la roca antes de que los gases procedentes de la explosión hayan alcanzado su temperatura y presión más elevadas. Esta onda fractura la roca en dirección radial para dar paso a los gases que tratan de escapar, produciendo así fragmentación de la roca.



El sistema de voladura de rocas es el siguiente:

- a) Una vez realizado el desmonte y el despalme del lugar, se procede a efectuar una serie de perforaciones o barrenos distribuidos en forma estratégica, tal y como se verá más adelante.
- b) Enseguida se introducen las cargas de dinamita, previamente calculadas. Por su importancia para la mejor comprensión de los tópicos abordados en el presente trabajo, en el capítulo cuarto se incluyen algunas fórmulas teóricas para el diseño de las cargas.
- c) Posteriormente se efectúa el retaque de los barrenos. Esto se hace con arena, tierra o el mismo polvo de los barrenos (detritus).
- d) Por último, se procede a la pega o encendido de los barrenos (voladura).

La mayor parte de los estudios acerca de la excavación en roca por medio de explosivos ha sido enfocada hacia la determinación de las variables antes de llevar a cabo la primera voladura. Empleando fórmulas generadas por dichos estudios, el usuario combina datos de la geología y los explosivos para producir un diseño científico de voladura.

Pero, ¿qué ocurre si la primera voladura no da los resultados deseados? Tal vez los datos no fueron exactos, la fórmula no se ajustó a la geología de lugar o el método usado no fue el óptimo, entre otras posibles causas.

Para el ingeniero civil, resulta indispensable conocer las técnicas de uso de explosivos, así como las cargas y la distribución de barrenos que se deben emplear según el caso, de acuerdo con las condiciones específicas de cada trabajo.

Nota: Cuando a lo largo de este trabajo se haga mención de los explosivos o las voladuras, no deben entenderse éstos como términos aislados. Es preciso asociarlos con el concepto de barrenación, indispensable labor previa para realizar en forma adecuada cualquier voladura.

Con estos breves antecedentes, a continuación se presentan algunas definiciones de los términos comúnmente utilizados en los trabajos de Barrenación:

I.2 Glosario:

<u>ATACADOR</u>	Herramienta utilizada para compactar los cartuchos (explosivos). Normalmente es de madera o plástico.
<u>BANCO</u>	Macizo rocoso que presenta al menos dos caras descubiertas.
<u>BARRA,</u> <u>BARRENA</u>	Pieza de acero roscada en los extremos o con punta cortante.
<u>BROCA</u>	Pieza de acero especial colocada en un extremo de barra, que se ocupa de desintegrar la roca.
<u>BARRENO O</u> <u>TALADRO</u>	Es la perforación practicada en la roca, en la cual se inserta la carga de explosivo.
<u>BORDE DEL</u> <u>BANCO</u>	Línea frontal superior de un banco.
<u>CARGA</u>	Cantidad de explosivo. Acción de introducir al explosivo dentro del barreno.
<u>CARGA DE</u> <u>COLUMNA</u>	Es el explosivo situado en la zona de un barreno, -- por encima de la carga de fondo. Por lo general consta de explosivos de baja densidad.
<u>CARGA</u> <u>ESPECÍFICA</u>	Es la cantidad de explosivo utilizada por cada M ³ de roca volada (Kg/m ³).
<u>CARGA DE</u> <u>FONDO</u>	Es el explosivo concentrado en el fondo del barreno. Por lo general consta de explosivos de alta densidad.
<u>CORTE</u>	Fronte abierto de un banco.
<u>CUELE</u>	Sección abierta en la roca en una voladura.

<u>ESPACIAMIENTO</u>	Distancia entre barrenos de una misma hilera.
<u>ESPONJAMIENTO, ABUNDAMIENTO</u>	Aumento de volumen de la roca después de volada en comparación con su volumen "in situ".
<u>FALLA</u>	Alteración geológica de la roca.
<u>FONDO DEL BARRENO</u>	Parte inferior de barreno.
<u>FRAGMENTACION</u>	Trozos de la roca volada.
<u>FRENTE, CABEZA</u>	Superficie libre de una excavación.
<u>FRENTE DE AVANCE</u>	Cara libre que queda al descubierto cuando se perfora un frente.
<u>HIDROGEL (SLURRIES)</u>	Explosivo a base de sustancias gelificantes y agua, con componentes en suspensión, normalmente conteniendo TNT (trinitrotolueno).
<u>INCLINACION DEL TALADRO</u>	Angulo entre la dirección del barreno y la línea vertical.
<u>LIMPIEZA DE BANCO</u>	Acción de quitar escombros del banco después de la voladura o limpiar su superficie de tierra y piedra.
<u>MONEO</u>	Acción de romper bloques procedentes de una pega con explosivo.
<u>PEGA VOLADURA TRONADA</u>	Etapas en la ejecución de una explosión de barrenos.
<u>PERFORACION ESPECIFICA</u>	Metros de perforación por cada metro cúbico de roca (m/m^3).
<u>PERFORADORA MARTILLO</u>	Máquina de perforación.
<u>PERFORISTA</u>	Personal especializado en trabajos de barrenación.
<u>PIEDRA, BORDO (V)</u>	Distancia del barreno a la cara libre, medida perpendicularmente a éste.

<u>PISO DEL BANCO</u>	Piso inferior de proyecto de un banco.
<u>PLAN DE TIRO</u>	Esquema que indica la perforación, la carga y la secuencia de encendido, así como las medidas a aplicar durante la voladura.
<u>POBLADOR</u>	Personal especializado en trabajos de voladuras.
<u>POLVO DE PERFORACION, "DETRITUS"</u>	Pequeñas partículas de roca procedentes de la acción de un barrenos.
<u>FRECORTE</u>	Barrenos de contorno volados antes que el resto de la voladura, con características especiales. Producen una grieta o corte en el terreno.
<u>PROYECCION</u>	Lanzamiento de las piedras en una voladura.
<u>RETACADO, TAQUEO</u>	Zona sin cargar en un barrenos, normalmente rellena de tierra, polvo, etc.
<u>ROCA SUELTA</u>	Roca desprendida a causa de grietas o fallas.
<u>SANEAR</u>	Desprender trozos de roca suelta, normalmente después de la voladura.
<u>SOBRE-EXCAVACION</u>	Rotura de la roca en la zona superior de los barrenos en una voladura.
<u>SOBREPERFORACION</u>	Perforación realizada por debajo del nivel teórico, a fin de alcanzar el piso de proyecto.

II. ANALISIS GEOLOGICO DE LAS ROCAS

II.1 Aspectos Básicos de la Barrenación en Diferentes Tipos de Roca.

Es importante hacer notar que todo lo que se trata de aquí - en adelante sobre roca o formaciones rocosas, se referirá a las masas o conjuntos cuyo comportamiento ante la barrenación a cielo abierto es nuestro interés.

En general ninguna formación rocosa presenta 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 su conjunto.

Prácticamente en toda la altiplanicie del país, en vastas zonas del Istmo de Tehuantepec así como en regiones del norte, encontramos este tipo de formaciones y podemos asegurar que en general todas ellas están fracturadas. Estas circunstancias nos indican que no podemos establecer reglas generales para los procedimientos de barrenación, sino que debemos hacer un análisis del problema en cada caso particular.

Por otro lado, a lo largo del Golfo de México y en zonas de los estados de Morelos, Chiapas, Nuevo León y Sinaloa, entre otros, se ubican formaciones sedimentarias, principalmente calizas,

Asimismo, en la costa del Pacífico se encuentran zonas muy extensas formadas por rocas ígneas intrusivas, tales como los granitos, las dioritas, etcétera.

En general, podemos decir que en México difícilmente podrán encontrarse amplias zonas rocosas que tengan características homogéneas. Aun dentro de muestras relativamente pequeñas, hay heterogeneidades muy notables.

Lo anterior es de suma importancia, ya que sienta las bases para determinar la acción de la barrenación y los explosivos en cada caso. Las características observadas obligan en muchas oca-

siones a adoptar procedimientos especiales de barrenación. Es ne cesario también hacer notar que aun cuando la composición de dos cuerpos sea la misma, la distribución e intensidad de las fisuras en ellos pueden originar características totalmente diferentes ante la acción de los explosivos.

De manera semejante, la humedad dentro de una formación rocosa puede determinar diferencias en su resistencia al ataque de elementos externos. Un ejemplo de ello se observa en las "lutitas", rocas que durante siglos han estado sujetas a ciertas condiciones de humedad y presentan características de resistencia al ataque muy diferentes cuando se varía la condición a la que han estado sujetas durante siglos.

Estas características notables en algunas rocas nos indican que en ocasiones debemos anteponer la conservación de las condiciones naturales de resistencia a la economía de la excavación. Así se asegura que las condiciones de resistencia de la roca excavada permanezcan semejantes a las de su estado natural.

En los trabajos de barrenación debemos tomar en cuenta las condiciones de los estratos de roca, tanto en lo que respecta a fisuración, como en lo relativo al posible aumento de estas fisuras por causa de los explosivos, de la estratificación, la pérdida de resistencia por intemperismo, así como las diferencias de resistencia que presentan las formaciones en diferentes planos.

II.1.1 Perforabilidad

La capacidad de perforación de la roca depende, entre otras cosas, de la dureza de los minerales de que está compuesta (estos se verán en el apartado II.2) y del tamaño de los granos. El cuarzo es uno de los minerales que con mayor frecuencia aparecen en las formaciones rocosas. En consecuencia, una roca con alto contenido de cuarzo será dura y difícil de perforar, con lo que causará serios desgastes en las barrenas, debido también a su

abrasividad. En cambio, una roca que contenga gran cantidad de calcita se podrá perforar con facilidad y causará pequeños desgastes.

Una estructura de grano basto resulta mucho más fácil de perforar y crea menos desgastes que otra de grano fino. La cuarcita por ejemplo, puede ser de grano fino (0.5 - 1.0 mm) o compacto (0.05 mm); y el granito puede ser de grano grueso (5 mm), medio (1.0 - 5.0 mm) o fino.

En el siguiente inciso se verá con más detalle que el tamaño de los granos es consecuencia del tipo de formación y del proceso de enfriamiento de las rocas.

Como se mencionó antes, uno de los mejores métodos para llegar a determinar las características de la roca en cuestión es efectuar una serie de perforaciones de Ensayo-Observación.

II.2 Clasificación de las Rocas

II.2.1 La naturaleza de las rocas

Para el geólogo, la roca es en general el material - sólido y natural que constituye la Tierra. La palabra - natural elimina de inmediato los materiales creados por el hombre, tales como el cemento, el cristal, entre otros, aunque los componentes de todos ellos provienen de la cor teza terrestre.

El vocablo sólido no incluye al aire y los otros gases, ni a los líquidos. Sin embargo, los sólidos pueden convertirse en líquidos y gases por calentamiento; a su vez, los líquidos y los gases pueden transformarse en sólidos por medio del enfriamiento. En el Antártico, el - hielo se presenta en capas de casi 3 500 metros de espe- - sor. El hielo es, por lo tanto, una roca y se estudia - exactamente igual que las demás formaciones rocosas.

Las arenas húmedas en la playa y las arenas cambian- - tes en el desierto son sólidos y, por ende, rocas.

Ahora bien, la mayor parte de la materia que hay en la corteza terrestre es inorgánica. Sin embargo hay algu - nas rocas que son orgánicas, es decir, proceden de anima - les o plantas. Es el caso de los depósitos de carbón, el petróleo o el asfalto. Son menos conocidas las rocas que se han formado de los residuos de animales y plantas mari- - nos.

A menudo se piensa que las rocas y los minerales son cosas muy similares. Con frecuencia los son; sin embargo, todos los minerales son materia orgánica, compuestos quí- - micos, y por lo tanto tienen una composición química defi - nida.

Las mezclas de minerales forman a menudo una gran - parte de la superficie terrestre y se consideran como ro- - cas. También hay ocasiones en que un solo mineral puede

formar una roca. Sin embargo, las rocas pueden estar -- constituidas por materiales que no son minerales, como es el caso de las formadas por obsidiana, carbón, turba o asfalto.

A pesar de la dificultad para definir a las rocas, - la mayoría se identifica cuando se ven. En su mayoría es tán formadas por minerales o por sustancias parecidas a - estos. Habitualmente son sólidas, duras y pesadas en comparación con otros minerales que se ven y usan a diario.

Puesto que la mayor parte de las rocas contiene minerales, es necesario tener cierto conocimiento de estos - elementos para poder identificarlas. Los minerales son - sustancias químicas y por tanto tienen propiedades espe--ciales que ayudan a reconocerlos.

Normalmente, los minerales que forman las rocas son: cuarzo, calcita, feldespato, hornablenda, mica y clorita. La cantidad que contenga una roca de ciertos minerales - nos da un índice de su dureza.

La clasificación que, según Mohs (escala 1 - 10), -- puede hacerse de los minerales atendiendo a su dureza es la siguiente:

- | | |
|---------------|---|
| 1. TALCO | Desmenuzable con los dedos. |
| 2. YESO | Rayable con las uñas. |
| 3. CALCITA | Rayable con las uñas. |
| MICA | No rayable con las uñas. |
| 4. FLUORITA | Rayable con un objeto metálico. |
| 5. APATITO | Rayable con un objeto metálico. |
| HORNABLENDA | Rayable con un objeto metálico. |
| 6. FELDESPATO | No rayable con un objeto metálico. |
| 7. CUARZO | Raya el cristal y puede rayarse - con un objeto de acero especial - con filo. |
| 8. TOPACIO | Raya de cristal y puede rayarse - con diamante. |

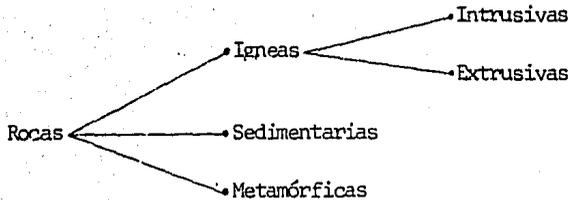
9. CORINDON

Raya el cristal y puede rayarse -
con diamante.

10. DIAMANTE

Raya el cristal.

II.2.2 Clasificación geológica de las rocas.



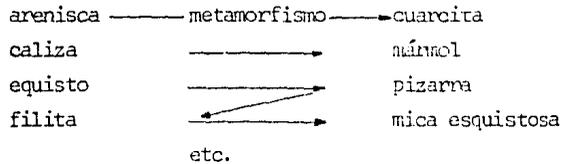
Rocas Igneas.- Es el principal grupo de las rocas. La palabra ígne significa "de fuego". Las rocas ígneas fueron, hace siglos, un líquido llamado magna, caliente y denso localizado en el subsuelo. Estas rocas son el resultado del enfriamiento de masas derretidas - que emergieron del interior de la Tierra a través de fisuras. Si la masa derretida se enfrió antes de llegar a la superficie de la Tierra, la roca se define como "intrusiva"; es el caso del granito, el gabbro, la pegmatita, el pórfido, etcétera. Si la masa derretida se enfrió después de haber llegado a la superficie terrestre, la roca se define como "extrusiva", por ejemplo la riolita, el basalto, el basalto amigdaloides, la andesita, la pumita, etcétera.

Rocas Sedimentarias.- Este grupo de rocas se compone únicamente de fragmentos de roca, deyecciones y residuos. Al referirse a las rocas de este grupo, los geólogos las llaman fragmentarias o clásicas. Son el resultado del arrastre de sedimentos a través del agua, el viento y otros medios naturales, y que quedaron depositados en algún sitio. Como ejemplo tenemos a los conglomerados, las areniscas, las pizarras, las arcillas y las calizas, entre otras.

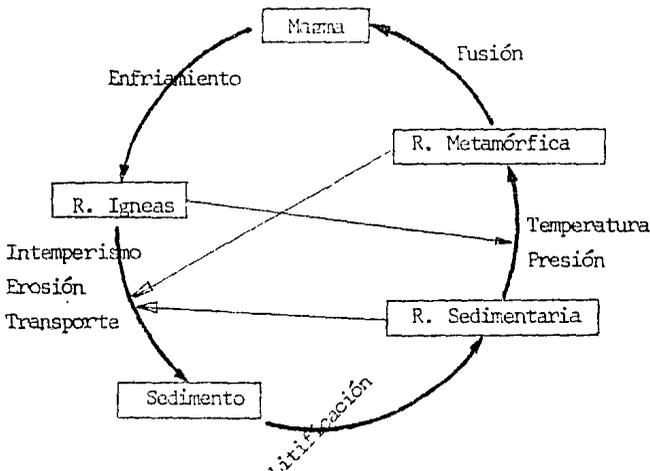
Las rocas sedimentarias pueden clasificarse de acuerdo con su proceso de formación y según el tamaño de las partículas que las componen.

Rocas Metamórficas.- El cambio perpetuo es la característica más sobresaliente del mundo de las rocas. Los cambios que afectan las propiedades de la Tierra, también surten efecto sobre las rocas. Entre ellas, a las que han sufrido un cambio y, en consecuencia, la alteración de sus características básicas, se les conoce como rocas metamórficas.

Cuando las rocas ígneas o sedimentarias se sujetan a altas temperaturas, presiones, etcétera, sufren cambios en su estructura y en su textura. Las rocas metamórficas se forman cuando estos procesos duran mucho tiempo o causan modificaciones importantes en la roca. Algunas rocas metamórficas han cambiado tanto que son totalmente diferentes de aquellas a partir de las cuales fueron formadas. Por ejemplo:



Apoyándonos en las definiciones anteriores y a manera de resumen, podemos obtener el Ciclo de las rocas:



En este esquema las flechas curvas () indican el proceso original en la formación de los diferentes tipos de roca. Las flechas rectas señalan que se puede retornar a un proceso anterior o bien seguir con uno posterior.

II.2.2.1 Clasificación de las rocas en ingeniería civil.

Como ya se indicó, casi todos los materiales - existentes sobre la Tierra en rocas. Por ello los suelos son considerados como rocas desintegradas.

Ahora bien, en Ingeniería Civil es más común - hablar de "materiales" que de "rocas". De acuerdo con su naturaleza, los materiales se pueden clasificar en tres grandes grupos y los procedimientos de excavación para cada uno de ellos requieren de técnicas muy diferentes.

a) Terrenos suaves (Material I)

Corresponden a este grupo los materiales poco cohesivos o sin cohesión, representados por suelos residuales o transportados. Su origen puede ser: - aluvial, lacustre, aluvio-lacustre, eólico, marino o piroclástico.

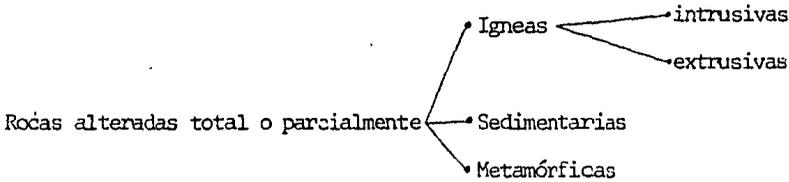
Se incluyen en este grupo materiales como: suelos residuales producto de alteración total de rocas preexistentes con características de limo, arcilla, - arena limosa, etcétera. Todos ellos materiales trabajables que no necesitan del uso de desgarrador o explosivos.

b) Terrenos mixtos (Material II)

Se asocian a este grupo los materiales antes mencionados, rocas parcialmente alteradas y materiales granulares, cohesivos, calcáreos, arcillo-calcáreos,

etcétera.

Se incluyen dentro de este grupo los siguientes materiales:



Algunas areniscas

Lutitas

Margas

Algunas tobas

Algunas rocas metamórficas

Para ser trabajados, estos materiales no requieren del uso de explosivos pero sí requieren del desgarrador o el bulldozer.

c) Terrenos rocosos o coherentes (Material III)

Este grupo abarca todas las rocas sanas, ya sean ígneas, sedimentarias o metamórficas. Según el grado de fracturamiento y alteración, estos materiales eventualmente pueden ser explotados utilizando el desgarrador y la cuchilla, pero por lo general la roca masiva sólo puede ser volada utilizando explosivos.

Por último, a continuación se incluye una tabla que puede ser de suma utilidad cuando se desean calcular volúmenes y precios unitarios así como cuando se quiere seleccionar el equipo óptimo para los trabajos de Barrenación y Movimiento de Tierras.

Tipo de roca o suelo	Densidad	Factor Abundamiento	Excavación
1. Basalto	3.00	1.60	D
2. Granito	2.65	1.55	D
3. Arenisca cementada	2.60	1.60	M-D
4. Arenisca porosa	2.50	1.60	M
5. Caliza dura	2.70	1.60	M-D
6. Caliza suave	2.20	1.50	M-D
7. Creta	1.90	1.30	M
8. Lutita	2.40	1.45	M-D
9. Grava seca	1.80	1.25	S
10. Arena seca	1.70	1.15	S
11. Arena y grava seca	1.95	1.15	S
12. Arcilla ligera	1.65	1.30	M
13. Arcilla densa	2.10	1.35	M-D
14. Arcilla, grava y arena seca	1.60	1.30	M

S - Material suave fácilmente cavable.

M - Material de dureza media, parcialmente consolidado.

M-D - Material de dureza media y difícilmente cavable.

D - Materiales difíciles que incluyen arcilla plástica y otros que requieren el uso de explosivos.

II.3 Localización y Explotación de Bancos de Roca.

Uno de los costos más importantes en la construcción y mantenimiento de vías terrestres corresponde a los materiales; roca, grava, arena y otros suelos, por lo que su localización y selección se convierte en uno de los problemas básicos del ingeniero civil, en estrecha conexión con el geólogo. La experiencia diaria enseña que, si se da a estas tareas la debida importancia, podrán localizarse depósitos de materiales apropiados cerca del lugar donde se requieran, abatiéndose de esta manera los costos de transportación, que suelen ser los más onerosos. Otras veces se logra obtener materiales útiles en zonas que antes dependían de fuentes más alejadas. Por estas razones, no es de extrañar que la búsqueda científica y la explotación racional de los materiales ocupe cada vez más y más la atención de los grupos técnicos interesados.

Durante muchos años la detección de bancos y materiales dependió de métodos exploratorios comunes. Desde la simple observación sobre el terreno, hasta el empleo de pozos a cielo abierto, posteadoras, barrenos y aun máquinas perforadoras. En épocas más recientes, los estudios geofísicos, de gran potencialidad en estas cuestiones, han venido a sumarse a la técnica disponible, ahorrando mucho tiempo y esfuerzo humanos así como largos períodos de exploración.

Un punto fundamental en la determinación de bancos de materiales es la valuación de las rocas o suelos contenidos, que suele ser muy difícil de establecer en forma cuantitativa. En lo que se refiere a las rocas, dos puntos principales merecen atención. El primero se refiere a los cambios físicos que la roca puede sufrir por fragmentación durante la extracción, por su manejo o durante su colocación. El segundo a la alteración físico-química que pueda tener lugar durante la vida útil de la obra.

En cada caso se requerirá de la realización de pruebas de campo y de laboratorio que analicen las rocas que forman el banco de estudio.

II.3.1 Localización de bancos

Pocos aspectos prácticos son tan importantes en la realización de una obra de movimiento de tierras, y resultan a la vez más elusivos para un tratamiento general, que el referido al desarrollo de criterios y técnicas para la localización de bancos de materiales. El tema es de tal importancia que un proyecto no se puede considerar terminado o digno de autorización, si no contiene una lista completa y detallada de los bancos de materiales de los que han de salir los suelos y las rocas que formarán la obra.

Localizar un banco es más que descubrir un lugar en donde exista un volumen alcanzable y explotable de suelos o rocas que pueda emplearse en la construcción de una determinada obra, satisfaciendo las especificaciones de calidad de la institución constructora y los requerimientos de volumen del caso. El problema tiene muchas otras implicaciones. Ha de garantizarse que los bancos elegidos sean los mejores entre todos los disponibles, en varios aspectos que se interrelacionan. En primer lugar, relación con la calidad de los materiales extraíbles juzgada en relación estrecha con el uso que se les dará. En segundo lugar, tienen que ser los más accesibles y los que se puedan explotar por los procedimientos más eficientes y menos costosos. En tercer lugar, tienen que ser los que produzcan las mínimas dispendancias de acarreo, renglón cuya repercusión en los costos es de las más importantes. En cuarto lugar, tienen que ser los que conduzcan a los procedimientos constructivos más sencillos y económicos durante su tendido y colocación final en la obra, requiriendo el mínimo de tratamientos. En quinto lugar, -sin que signifique que es el menos importante- los bancos han de estar localizados de tal manera que su explotación no origine pro-

blenas legales de difícil o lenta solución y que no perjudiquen a los habitantes de la región, produciendo injusticias sociales.

Es evidente que en cualquier caso práctico muchos de los requisitos anteriores estarán en contraposición y la delicada labor del ingeniero estriba precisamente en elegir el conjunto de bancos que concilie de la mejor manera las contradicciones que surjan en cada caso.

Es evidente que el complicado balance que más arriba se ha esbozado, comienza con una etapa de localización - simple, al final de la cual el ingeniero debe disponer de un mapa donde aparezcan todas posibles fuentes de material que interesan a su obra, habiéndose excluído probablemente muchos otros. Entre todo este conjunto de bancos factibles, el ingeniero deberá desarrollar sus líneas de opción en estrecha vinculación con su proyecto.

La búsqueda y localización de bancos de materiales - puede hacerse principalmente por fotointerpretación o por reconocimientos terrestres directos; estos últimos pueden auxiliarse, a su vez, por la fotointerpretación o por métodos de proyección geofísica.

La fotointerpretación constituye un método sin rival para explorar grandes áreas a bajo costo, de manera tal - que fácilmente puede equivaler en precisión a un reconocimiento terrestre, en especial si intervienen geólogos bien capacitados en la aplicación de ese sistema. De hecho, es te es, sin duda, uno de los aspectos en que la geología - aplicada puede contribuir con mayor eficacia a la tecnolo gía de este tipo de obras.

Bien sea que se utilice como único método de detección o como complemento de un estudio de fotointerpretación, el reconocimiento terrestre del futuro banco es indispensable.

II.3.1.1 Bancos para la producción de agregados pétreos.

Huelga mencionar los múltiples usos a que son destinados los agregados pétreos: entre - - ellos, la elaboración de concreto hidráulico de mezclas asfálticas, de material de terracerías como sub-base y base de pavimentos, sub-balasto y balasto, etcétera.

Las fuentes de materiales para estas obras están constituidas por formaciones rocosas sanas, donde quiera que aparezcan, exceptuando naturalmente aquellas cuya naturaleza arcillosa - las hace en adecuadas para tales fines. Estos materiales deberán ser triturados totalmente y, en algunos casos, sujetos a tratamientos especiales para mejorar alguna característica específica como, su afinidad con el asfalto. Durante la explotación de los bancos deberá tenerse especial cuidado en evitar las zonas alteradas o la contaminación con arcilla o material orgánico que rellene fracturas o grietas, puede llegarse en algunos casos al recurso del lavado para eliminar los materiales indeseables.

II.3.1.2 Bancos para la construcción de escolleras.

Además de las características mencionadas con antelación para los bancos de agregados pétreos, es preciso obtener rocas de tamaños considerables que llegan hasta los 3 m³ y cuyos pesos varían de los 10 kg. a las 25 toneladas, ya que la obra en cuestión es una obra de protección de puertos o costas. Por ende, el banco elegido ha de contar con roca sana de un alto peso específico.

II.3.2 Explotación de bancos.

La explotación de bancos de roca se hace empleando equipos con características y usos bien establecidos -- por la experiencia previa de construcción. La selección de equipo adecuado para un caso particular dependerá de tres factores fundamentales:

- a) La disponibilidad de equipo.
- b) El tipo de material por atacar.
- c) La distancia de acarreo del material.

Establecida la clase de equipo requerido, su tamaño se determinará sobre todo en función del volumen de la obra que se debe ejecutar, del tiempo en que dicha obra debe realizarse y del espacio disponible para maniobras.

III. EQUIPO DE BARRENACION

Este capítulo se ocupará únicamente de la revisión del equipo relacionado en forma directa con los trabajos de Barrenación a cielo Abierto, ya que es un tema bastante extenso. Aun cuando se abordarán los puntos fundamentales, el autor pretende dar una visión sencilla y práctica de estos equipos, sin profundizar en cuestiones mecánicas o de índole demasiado teórica.

III.1 Compresores

III.1.1 Tipos

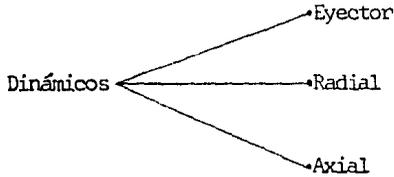
En general los compresores se dividen en dos grandes grupos: Los Compresores de Desplazamiento y los Compresores Dinámicos. Cada tipo se clasifica a su vez en varios grupos de acuerdo con su forma de trabajar. Por ello se analizará sólo el principio de funcionamiento de cada grupo.

A) Compresores de desplazamiento

Una bomba de bicicleta puede considerarse como un simple compresor de desplazamiento positivo. El pistón fijado a un vástago tubular, seguro y manejable, lleva una superficie de cuero en forma de copa, que se abre al descender cuando se utiliza la bomba. El movimiento descendente del pistón causa una presión inicial suficiente para abrir el cuero y producir el ajuste hermético entre él y la pared del cilindro.

El aire, forzado a salir, pasa al interior del neumático a través de una válvula de retorno. El movimiento ascendente del pistón crea un vacío parcial en el interior del cilindro, permitiendo el paso del aire atmosférico hacia el interior de éste. Así se repite el ciclo. El cuero realmente actúa como una válvula -

de no retorno, puesto que abre para permitir el paso del aire al interior del cilindro (carrera ascendente), pero evita su escape en la carrera descendente, debido al -- ajuste hermético señalando líneas atrás.



El aire que entra al cilindro debe ser comprimido desde la presión de aspiración inicial a la presión de impulsión o descarga final, continua termodinámica y mecánicamente. Este proceso se conoce con el nombre de "Compresión en una Etapa".

Por otra parte, algunas veces es necesario comprimir, en un primer cilindro, hasta lograr sólo una parte de la presión deseada, refrigerar el aire en un intercambiador de calor (Refrigerador Intermedio) exterior al cilindro, y comprimir después, en un segundo cilindro, el aire enfriado hasta obtener la presión final de descarga. Esta es la llamada "Compresión en dos Etapas".

Asimismo, pueden efectuarse más de dos etapas de compresión, con refrigeración intermedia entre ellas, lo - que será función de la relación entre las presiones inicial y final.

B) Compresores dinámicos

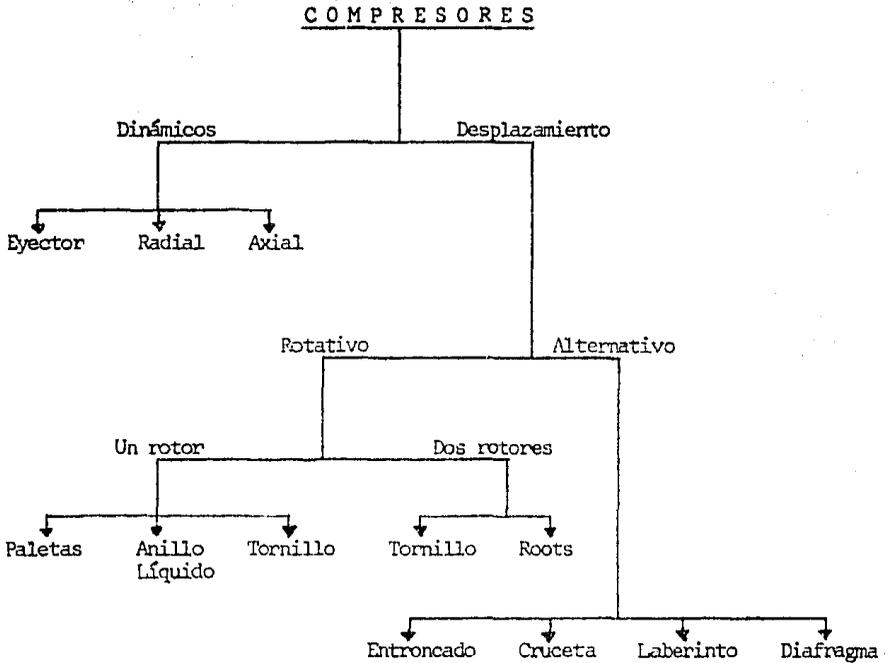
Los compresores dinámicos incorporan elementos de rotación para producir la aceleración del gas o aire. La velocidad del gas, merced a la acción de un difusor, se convierte en presión estática.

La energía total, en un flujo de aire en movimiento,

siempre es constante. Cuando dicho flujo atraviesa un orificio de mayor sección, la velocidad del mismo (energía cinética) se reduce, transformándose en presión.

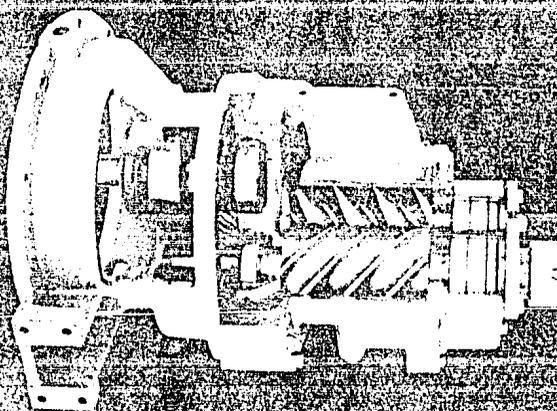
De manera similar, la presión estática es más elevada en el orificio de mayor sección. Según su diseño, -- los compresores dinámicos pueden ser centrífugos (radiales), axiales y radiaxiales (mezcla de los dos anteriores). En general, estos tipos de compresores son más adecuados para grandes caudales y presiones relativamente bajas, aun cuando en máquinas de múltiples etapas de presión se puede aumentar.

En la figura siguiente podemos observar los tipos básicos de compresores.



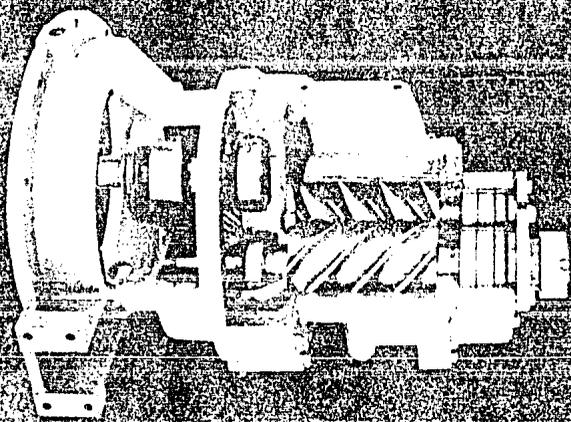
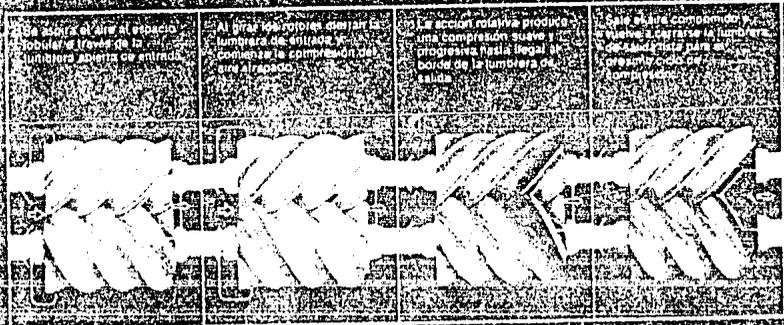
En la figura siguiente podemos observar el principio de funcionamiento de un compresor de tornillo.

Principio del compresor de Tornillo



En el elemento de compresión del GA Standard, los lóbulos del rotor macho engranan con las estrías del rotor hembra en dirección contraria, esto comprime el aire entre ellos. El aceite se inyecta para lubricar y enfriar los rotors.

Principio del compresor de Tornillo



En el elemento de compresión del CA Standard, los lobos del rotor macho engranan con las estrias del rotor hembra en dirección contraria; esto comprime el aire entre ellos. El aceite se inyecta para lubricar y sellar y enfriar los rotadores.

III.1.2 Capacidades

Los compresores de aire se utilizan para impulsar - perforadoras neumáticas, martinets de estacado, bombas de desagüe, etcétera. Por ende, los compresores se clasifican de acuerdo con la cantidad de aire comprimido - que pueden ofrecer. En general, éste se mide en pies - cúbicos por minuto (pcm).

Ahora bien, es recomendable seleccionar el compresor a utilizar, rebasando en un 30% la cantidad de aire necesario para accionar las herramientas neumáticas.

En la práctica la capacidad con que se designa a un compresor indica el número de perforadoras que puede accionar en forma eficiente. Hoy en día existe en el mercado una gran variedad de compresores, cuya capacidad - va desde los 125 pcm (ideal para accionar una perforadora grande) hasta los 1,200 pcm, aunque estos últimos no son muy fáciles de maniobrar.

Dependiendo de la marca del compresor, se contaría con distinta capacidad. Por ejemplo, algunas casas de compresores tienen de 125 pcm, 165 pcm, 250 pcm, 365 - pcm, 600 pcm, 900 pcm y 1200 pcm.

Existen compresores de mayor capacidad pero no son aplicables en los trabajos a que se refiere este texto, debido principalmente a su poca maniobrabilidad y a su elevado costo en relación con los demás.

En las tablas siguientes (III.1 A y B) podemos observar algunas características de estos equipos.

XA-XR 210/350

Compresores rotativos portátiles

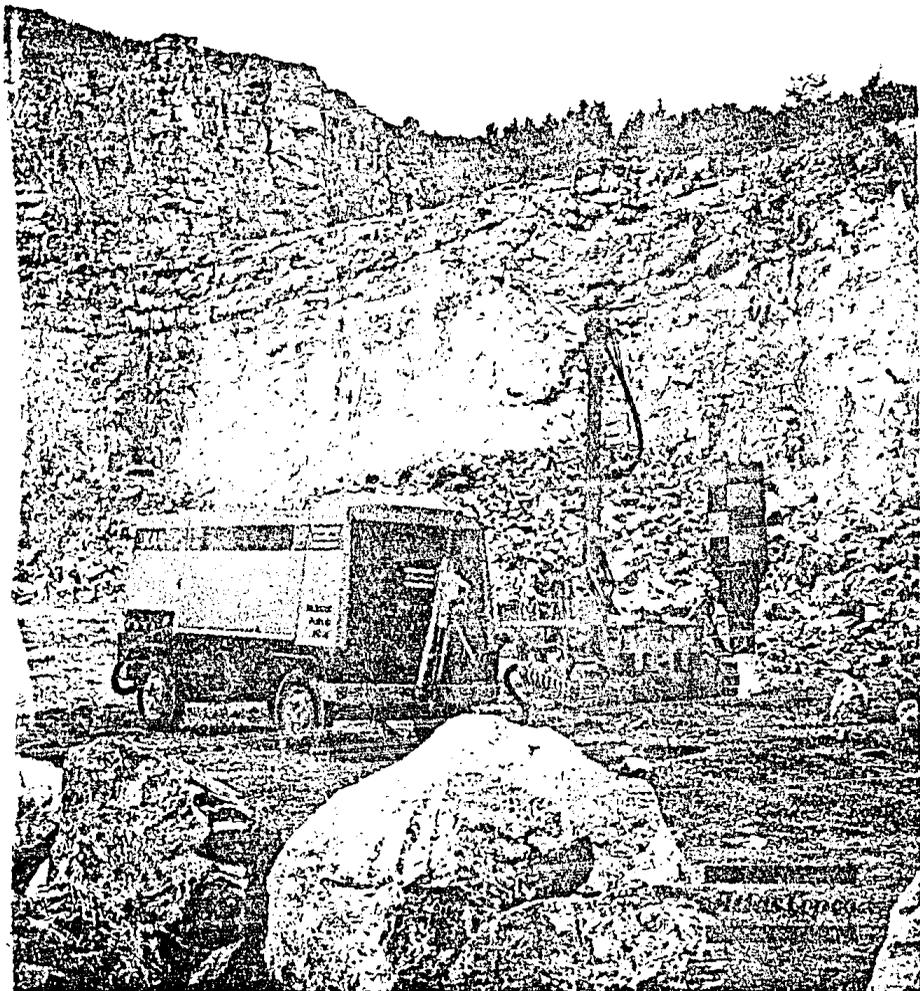


TABLA III.1 - ESPECIFICACIONES COMPARATIVAS DE COMPRESORAS PORTATILES
HOJA "A"

FABRICANTE MODELO.	CARACTERISTICAS DE LA COMPRESORA							CARACTERISTICAS DEL MOTOR					MONTAJE					
	rendimiento en PCM o 100 psi	tipo	N. de volantes	RPM o rpm/metro	capacidad del cilindro en pulgadas cúbicas	presión máxima en psi	presión máxima operativa en psi	tipo del cilindro de alimentación	capacidad del cilindro en gallones	MOTOR DE GASOLINA marca y modelo	N. de cilindros	potencia nominal en: HP.	MOTOR DIESEL marca y modelo	N. de cilindros	potencia nominal en: HP	capacidad del tanque de combustible en gales	pesos	2 ruedas	4 ruedas
ATLAS COPCO																		
VT-3	112	RECIPROCANTE	2	1750	3.8	124	170	AIR	2	.....	.....	DIESEL 411115	2	81	13.8	.....	.....	.....
VT-2	112	RECIPROCANTE	2	1600	3.2	121	170	AIR	2	.....	.....	DIESEL 411115	2	81	13.8	.....	.....	.....
VT-1	112	RECIPROCANTE	2	1600	3.2	121	170	AIR	2	.....	.....	DIESEL 411115	2	81	13.8	.....	.....	.....
PH-105	345	TORNILLO HELICOIDAL	2	1650	12.1	185	160	AIR	18.15	.....	.....	DIESEL 411115	2	118	51	.....	.....	.....
PH-100	300	TORNILLO HELICOIDAL	2	1600	11.1	185	160	AIR	14	.....	.....	DIESEL 411115	2	100	45	.....	.....	.....
CHICAGO PNEUMATIC																		
175	119	ROTACION	1	1600	1.8	171	165	ACRILIC	6	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
200	190	ROTACION	1	1600	2.8	181	160	ACRILIC	10	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
345	345	ROTACION	1	1775	12.8	178	160	ACRILIC	17	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
400	400	ROTACION	1	1775	16	178	160	ACRILIC	20	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
900	900	ROTACION	2	1775	60	185	160	ACRILIC	45	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
DAVEY																		
125-VD	111	RECIPROCANTE	2	1495	3.8	111	160	AIR	2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
125-RP	111	RECIPROCANTE	1	1600	3.8	111	160	ACRILIC	2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
160-WDS	160	RECIPROCANTE	1	1600	6.8	112	160	AIR	2.15	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
210-WDS	210	RECIPROCANTE	1	1600	11.8	112	160	AIR	3.5	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
250-RP	250	RECIPROCANTE	1	1600	16.8	112	160	AIR	5	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
315-WDS	315	RECIPROCANTE	1	1600	26.8	112	160	AIR	8	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
600-RP	600	RECIPROCANTE	1	1600	60.8	112	160	ACRILIC	16	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
DANFOS DENVER																		
SP-125	125	TORNILLO HELICOIDAL	1	1600	2.8	111	160	ACRILIC	6	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
SP-150	150	TORNILLO HELICOIDAL	1	1600	3.8	111	160	ACRILIC	6	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
SP-185	185	TORNILLO HELICOIDAL	1	1600	4.8	111	160	ACRILIC	6	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
SP-200	200	TORNILLO HELICOIDAL	1	1600	5.8	111	160	ACRILIC	6	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
SP-250	250	TORNILLO HELICOIDAL	1	1600	8.8	111	160	ACRILIC	6	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
SP-300	300	TORNILLO HELICOIDAL	1	1600	11.8	111	160	ACRILIC	6	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
SP-1200	1200	TORNILLO HELICOIDAL	1	1600	60.8	111	160	ACRILIC	16	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
INGERSOLL RAND																		
RA-125	125	ROTACION	1	1600	1.24	.....	160	ACRILIC	1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
R-250	190	ROTACION	1	1600	2.48	.....	160	ACRILIC	1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
R-365	345	ROTACION	1	1600	3.72	.....	160	ACRILIC	1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
R-600	600	ROTACION	1	1600	11	.....	160	ACRILIC	1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
R-600	600	RECIPROCANTE	1	1600	11	.....	160	ACRILIC	1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
L-1200	1100	TORNILLO HELICOIDAL	1	1600	60.8	.....	160	ACRILIC	16	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
JAEGER																		
125 Redford	125	ROTACION	1	1700	2.8	112	160	ACRILIC	7	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
250	250	ROTACION	1	1700	5.6	112	160	ACRILIC	14	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
365	345	ROTACION	1	1700	8.4	112	160	ACRILIC	21	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
600	600	ROTACION	1	1700	23.2	112	160	ACRILIC	42	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
900	900	ROTACION	1	1700	35	112	160	ACRILIC	63	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

(1) 1/2" Línea de conexión a 100 psi
(2) 1/2" Paso exterior por donde

TABLA III.1 - ESPECIFICACIONES COMPARATIVAS DE COMPRESORAS PORTATILES
HOJA "B"

CARACTERISTICAS DE LA COMPRESORA										CARACTERISTICAS DEL MOTOR				MONTAJE			
Tipol	N. de patios	RPM a carga máxima	capacidad del motor regulada de 1 a 100 psia en: pies cúbicos.	presión máxima en psi.	presión máxima recomendada por el fabricante normal.	tipo de sistema de lubricación	capacidad del cilindro en galones	MOTOR DE GASOLINA			MOTOR DIESEL			patines	2 ruedas	4 ruedas	
								marca y modelo	N. de cilindros	potencia nominal en: HP.	marca y modelo	N. de cilindros	potencia nominal en: HP.	capacidad del tanque de combustible en galones			
ROTATORIO	1	1500	2.8	142	100	ACEITE	3	Coil F-142	4	30	-----	-----	-----	19	X	X	
ROTATORIO	1	1750	3	175	100	ACEITE	12.5	Walt. D-1002	4	30	Walt. D-3402	4	30	40	X	X	
ROTATORIO	2	1750	15	125	100	ACEITE	10.5	-----	-----	-----	GM 4-71	4	100	40	X	X	
ROTATORIO	1	1750	16	115	100	ACEITE	30	-----	-----	-----	GM 5-71	6	100	110	X	X	
ROTATORIO	2	1800	21	116	100	ACEITE	36	-----	-----	-----	GM 5-110	6	310	146	X	X	
ROTOR CENTRIFUGO	1	1100	1.85	---	100	ACEITE	4	Coil F-124	4	40	-----	-----	-----	14	X	X	
RECIPROCANTE	1	1500	3.8	---	100	AGUA	1.2	Scotch D124	4	41	-----	-----	-----	18	X	X	
RECIPROCANTE	1	1750	4	---	100	AGUA	1.25	Scotch D124	4	35	-----	-----	-----	17	X	X	
ROTOR CENTRIFUGO	2	1800	1.1	---	100	ACEITE	3	Scotch D124	4	30	GM 3-53	3	30	19.5	X	X	
ROTOR CENTRIFUGO	1	1800	1.3	---	100	ACEITE	10	Coil M104	8	32	GM 4-53	4	31	19	X	X	
ROTOR CENTRIFUGO	2	1100	3.3	---	100	ACEITE	20	-----	-----	-----	GM 4-71	4	110	54	X	X	
ROTOR CENTRIFUGO	2	1800	15	---	100	ACEITE	30	-----	-----	-----	GM 4-71	4	100	52	X	X	
ROTOR CENTRIFUGO	2	1800	24	---	100	ACEITE	60	-----	-----	-----	GM 121 9-71	9	301	160	X	X	
RECIPROCANTE	1	1500	2.6	123	100	AIRE	2.25	Walt. W-4603	4	40	-----	-----	-----	14	X	X	
RECIPROCANTE	1	1750	3.8	300	100	AGUA	2.25	Scotch D124	3	41	Scotch D124	3	41	20	X	X	
RECIPROCANTE	1	1750	3.8	300	100	AGUA	2.25	Scotch D124	3	41	Scotch D124	3	41	20	X	X	
RECIPROCANTE	1	1550	7	290	100	AGUA	1.12	Scotch D124	6	33	1HC UD-144	4	30	16.5	X	X	
RECIPROCANTE	1	1192	11	292	100	AGUA	3.75	-----	-----	-----	1HC UD-18A	6	116	48	X	X	
RECIPROCANTE	1	1500	19	300	100	AGUA	3.75	-----	-----	-----	GM 4-71	4	110	90	X	X	
RECIPROCANTE	1	1750	4.5	150	100	AGUA	2.5	Walt. W-12	3	37	-----	-----	-----	20	X	X	
ROTATORIO	1	1875	2.9	125	100-110	AIRE/ACEITE	6	Coil 5-123	4	35	Walt. D-1180	4	35	20	X	X	
ROTATORIO	1	1800	0.8	125	100-110	AIRE/ACEITE	6	Coil 5-123	4	35	Coil 5-123	4	35	21.2	X	X	
ROTATORIO	1	1800	1.83	125	100-110	AIRE/ACEITE	16	Coil 5-127	6	109	GM 4-53	4	33	41.3	X	X	
ROTATORIO	2	1800	10	125	100-110	AIRE/ACEITE	17	-----	-----	-----	Coil 5-127	6	110	50	X	X	
ROTATORIO	1	1800	14.3	125	100-110	AIRE/ACEITE	31	-----	-----	-----	Coil 5-127	6	110	100	X	X	
ROTATORIO	2	1800	21.6	125	100-110	AIRE/ACEITE	45	-----	-----	-----	Coil 5-127	6	300	160	X	X	

III.1.3 Aplicaciones

Como se mencionó antes, los compresores se utilizan para impulsar las herramientas neumáticas.

La aplicación de este equipo dependerá sobre todo del tipo de obra en cuestión. Por ejemplo, podemos necesitar un compresor de 600 pcm para la explotación de un banco de roca o bien para la apertura de una vía terrestre. De igual forma podríamos requerir un compresor de 125 pcm para accionar una perforadora manual y realizar los trabajos de demolición de bloques grandes de roca (moneo) en el mismo banco de roca, etcétera.

En general podemos decir que todos los compresores pueden darnos el mismo servicio, la diferencia estriba en las condiciones de la obra y obviamente en el costo de cada uno de ellos.

Actualmente los compresores de nueva edición cuentan ya con elementos silenciadores y con depósitos para captar el polvo producido por las perforadoras al trabajar, lo cual los hace aún más eficientes.

III.2 Perforadoras

Las perforadoras, mejor conocidas como pistolas o taladros, son las herramientas neumáticas o hidráulicas que pueden realizar el trabajo de barrenación con ayuda del aire comprimido y el acero de barrenación. Por lo general estas herramientas trabajan por percusión y rotación. Una herramienta de percusión consta básicamente de un cilindro por cuyo interior se desplaza un pistón. La embolada del pistón transmite una energía de impacto a la culata del útil de trabajo (perforadora), o a la culata de la barrena o barra de perforación. Ese útil o barrena, es el elemento que realiza el trabajo sobre la pieza o frente de perforación. Cada impacto aplicado por el pistón produce una onda de choque. Dicha onda está determinada, por una parte,

por la forma geométrica del pistón, material de que está construído y útil de trabajo; y por otra, por la velocidad de impacto del pistón. La velocidad de la onda de choque es la velocidad sónica del mismo material que atraviesa. Las perforadoras modernas funcionan con velocidades de impacto del orden de los 10 m/s, que equivale aproximadamente a 2,200 golpes/minuto del pistón sobre la culata.

III.2.1 Tipos

A) Perforadoras manuales

Son operadas por una sola persona. Se conocen - también como perforadoras de piso o perforadoras de pierna; estas últimas, auxiliadas con un mecanismo de sostén, se utilizan para perforación de barrenos horizontales (túnel).

B) Perforadoras sobre tractor (TRACK - DRILL)

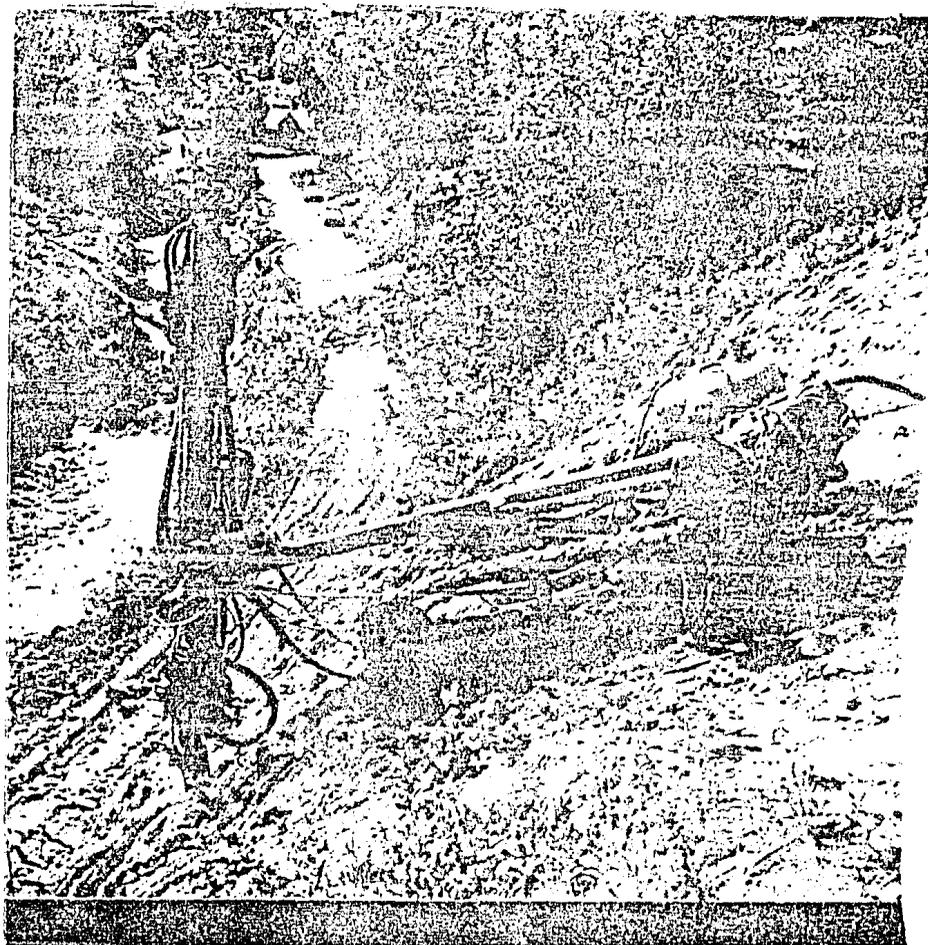
Son perforadoras más pesadas y por ende montadas sobre un mecanismo de sostén (pluma), a la vez colocado sobre un tractor (orugas).

C) Perforadoras sobre vagón (VAGON - DRILL)

Son también perforadoras pesadas, pero montadas sobre una carretilla o sobre un vagón ligero.

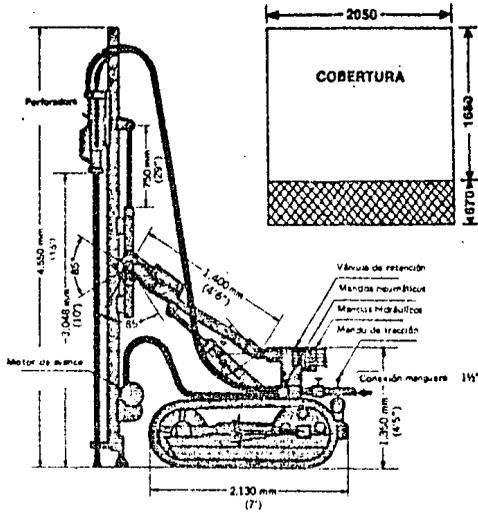
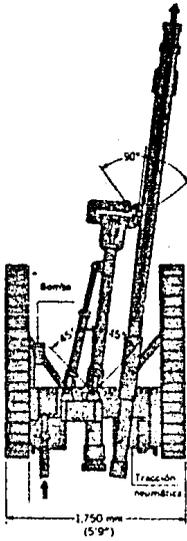
D) Jumbos

Son perforadoras aún más pesadas, montadas sobre orugas o sobre vagones. Debido al tamaño de la perforadora, producen barrenos de mayor diámetro.



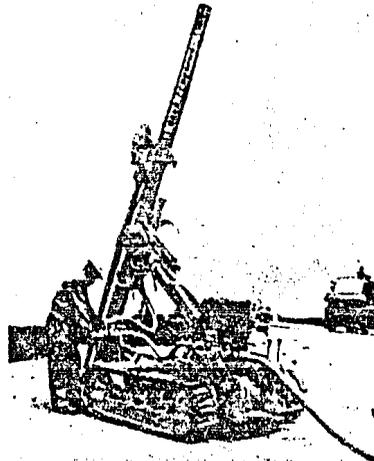
Crawlair[®]
ECM-350, CM-351 y LM-100
para perforar desde 44 hasta 140 mm.

INGERSOLL-RAND.
EQUIPO DE PERFORACION



LM100 Crawler especificaciones

Dimensiones:	
Longitud total	3.850 mm
Anchura total	1.750 mm
Altura (transporte)	1.250 mm
Altura que sobe sobre el suelo	230 mm
Ancho de orugas	2.048 mm
Longitud de orugas	1.845 mm
Oscilación de las orugas	30°
Posicionamiento:	
Elevación del brazo	48° arriba
	30° abajo
Giro del brazo	45° derecha
	45° izquierda
Giro de la deslizador (horizontal)	45° derecha
	45° izquierda
Giro de la deslizador (vertical)	30° (dos posiciones)
Características de perforación (POSC):	
Diámetro de barrenos	44-84 mm
Longitud de barrenos	3.040 mm
Cobertura horizontal	1.050 mm
Diámetro de la barra	32 mm
Cobertura vertical:	
Máxima altura	2.305 mm
Mínima altura	850 mm
Profundidad recomendada máxima	32 m
Peso total	2450 Kg
Motor neumático de tracción (2)	7 hp
Motor neumático de la bomba hidráulica	1.5 hp



INGERSOLL-RAND.
EQUIPO DE PERFORACION

Forma CM-200 Mx. 1984

BHW- Vagón perforador para barrenos de gran diámetro

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

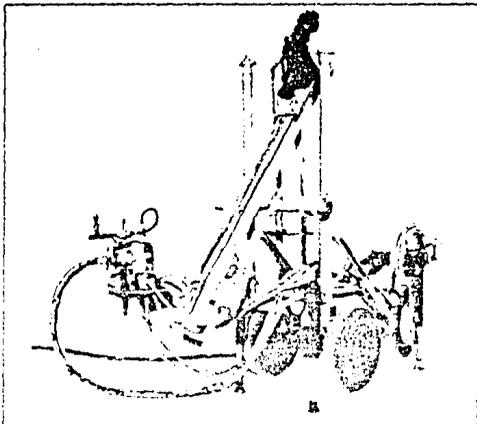
El equipo está montado sobre un bastidor de perfiles de acero, que se mueve sobre tres ruedas de automóvil. Un potente motor de tracción, de 4,8 kW (6,5 ch), se une directamente, mediante un acoplamiento flexible, a un eje trasero especial al que suministra ampliamente la energía de tracción. Durante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

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

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

Aplicaciones

Hundimiento por subniveles, hundimiento por corte inferior, perforación de chimeneas, barrenos para cables y para desagüe y barrenos para relleno.



Características

Perforadora (martillo en el fondo)	COP 4
Tubos de perforación	76 x 1500 mm (3" x 4'11")
Rosca, tubos estándar	API 2 3/8" reg
Gama de perforación	
— perforación de explotación	105 — 115 mm (4 1/8" — 4 1/2")
— barrenos especiales	140 mm (5 1/2")
Presión de funcionamiento de la perforadora	5 — 10,5 bares (70 — 150 lbs/pulg ²)
Par de la unidad de rotación	900 Nm (665 pies.lbs)
Peso total	1350 kg
Peso, sin la unidad de perforación	310 kg
Dimensiones para transporte	
— altura	1780 mm (70")
— anchura	1370 mm (54")
Altura mínima de la galería	3300 mm (108")

E) Perforadoras sobre camión

En la actualidad, existen camiones a los cuales se les ha adaptado el compresor y la perforadora. - Esto los hace más fáciles de maniobrar, aunque también les impone restricciones para cierto tipo de trabajos.

F) Perforadoras hidráulicas

A últimas fechas se ha venido desarrollando este tipo de perforación. En él la perforadora trabaja gracias a la presión que le proporcionan ciertos líquidos a presión. Por lo regular estas perforadoras están montadas sobre tractor o sobre llantas.

G) Motoperforadoras

Son perforadoras portátiles (ligeras) y manuales que funcionan a base de gasolina.

III.2.2 Capacidades

A) Perforadoras manuales

Se clasifican por su consumo de aire o por su peso.

Por su consumo las hay principalmente de 3 capacidades: grandes, que requieren de 90 a 100 pcm; medianas (70 a 90 pcm) y chicas (50 a 70 pcm). Su peso es de alrededor de 60, 50 y 40 libras (27.24, - 22.7 y 18.16 kg.) respectivamente.

En las tablas siguientes (III.2 y III.3) podemos observar algunas características de las perforadoras. Asimismo, en la tabla III.4 podemos observar algunos rendimientos obtenidos para algunos tipos de perforadoras.



Perforadora manual. Trabajando en una excavación en zanja, con diámetros de barrenación de 40 milímetros.

B) Perforadoras sobre tractor "Track-Drill"

Utilizan perforadoras pesadas, del orden de 75 a 260 lb. De acuerdo con su tamaño, este tipo de perforadoras requiere para su operación de compresores de 375 pcm a 600 pcm. Por ejemplo, una perforadora de 260 lb. requiere forzosamente de un compresor de 600 pcm.

C) Perforadoras sobre vagón "Vagon-Drill"

Requieren de la misma cantidad de aire que los track-drill. Como se mencionó líneas atrás, la única diferencia radica en el chasis que las soporta.

Las perforadoras restantes: jumbos, sobre camión y motoperforadoras, se diferencian por el tipo de compresor que se haya adaptado al vehículo.

Esto dependerá del trabajo de que se vayan a ocupar.

III.2.3 Aplicaciones

A) Perforadoras manuales

Se aplican principalmente a trabajos donde el volumen de roca por perforar no es considerable, o bien a labores donde no es posible tener o no se justifica un equipo de mayor tamaño.

Este tipo de perforadoras sólo puede proporcionar barrenos hasta de 40 mm de diámetro, así como profundidades máximas de perforación de 6.4 m. Por ello se afirma que su aplicación es un tanto limitada.

B) Perforadoras montadas sobre tractor (Track-Drill)

Son útiles para mover grandes volúmenes de roca. Esto se debe a su versatilidad en cuanto a diámetros de perforación así como a la facilidad para manipularlas dentro de la obra, ya que el movimiento de este equipo se realiza de manera autónoma, ayudado por el aire comprimido. Asimismo es capaz de remolcar al mismo compresor que le proporciona el aire. Por lo anterior, este equipo tiene aplicación en casi todas las obras de Barrenación a Cielo Abierto, tales como bancos de roca, apertura de vías terrestres, sondeos, zanjas, etcétera.

Con este equipo podemos barrenar hasta 4 1/2 pulgadas de diámetro y 30 m. de profundidad económicamente.

C) Perforadoras sobre vagón (Vagón-Drill)

Su aplicación se reduce debido al tipo de chasis que lo sostiene. Se requiere por ello de otro equipo extra para su movimiento en la obra.

La experiencia recomienda no realizar barrenos de más de 2 1/2 pulgadas con este equipo y no rebasar los 6 metros de profundidad.

D) Jumbos

Debido al gran diámetro de perforación que podemos obtener con este equipo (hasta 30 cm, 12" aprox.) resulta ideal para trabajos de grandes volúmenes, tales como bancos de roca o la construcción de un vaso para una presa. Con este equipo podemos realizar barrenos de hasta 100 m. de profundidad.

TABLA III.2 --ESPECIFICACIONES COMPARATIVAS DE PERFORADORAS DE MANO Y SUS PIERNAS NEUMATICAS TELESCOPICAS CORRESPONDIENTES

FABRICANTE MODELO.	peso en libras.	largo total en pulgadas	diametro del piston en pulgadas	presión de trabajo en Psi	CONSUMO DE AIRE EN PCM		DIAMETRO RECOMENDADO PARA LAS MANIJERAS (en pulgadas)		DIAMETRO DEL ACERO DE BARRIENACION RECOMENDADO (pulgadas)	PIERNA NEUMATICA TELESCOPICA								
					seco	húmedo	de aire	de agua		modelo	avance máximo en pulgadas.	peso en libras.	manijera					
ATLAS COPCO																		
56D-32 LH	24.5	17.7	1.3 7/8	85	58		3/8		3/4 x 4/4 - 7/8 BK 1/4 MEVA-201A	DMK 11	19 3/4	10	1/2					
56D-32 WH	24.5	17.5	1.3 7/8	85		82	3/8	1/2	3/4 x 1/2 - 7/8 BK 1/2	DMK 11	19 3/4	10.25	1/2					
56D-32 SW	49.0		2.1 7/8	85		64	3/4	1/2	7/8 x 4/4	DMK 41	31	21.8	3/4					
56D-32 Y	49.0		2.1 7/8	85	78		3/4	1/2	7/8 x 4/4	DMK 41	31	21.8	3/4					
56D-32 X	48.8		2.1	85	100		3/4	1/2	7/8 x 4/4	DMK 51 D	25.0	32	1/2					
56D-32 YL	46.8		2.1	85	117		3/4	1/2	7/8 x 4/4	DMK 51 D	23.8	32	1/2					
56D-32	46.5		2.3 7/8	85	122		1	1/2	7/8 x 4/4	DMK 50 1/4	24	29	COMMON					
56D-32	60	26.1 1/2	2.3 7/8	85	121		1	1/2	7/8 x 4/4	DMK 50 1/4	24	29	COMMON					
56D-32 W	60	25	2.3 7/8	85		124	3/4	1/2	7/8 x 4/4	DMK 50	31	35	COMMON					
56D-32 W	61.7		2.6	85			3/4	1/2	7/8 x 4/4	DMK 51 GA2	31	35.2	1/2					
CHICAGO PNEUMATIC																		
CP-27	23	19.7 7/8	2.3 7/8	80	60		3/4	1/2	7/8 x 3/4	HEXAGONAL								
CP-27B	37	20.1 1/2	2.3 7/8	80		82	3/4	1/2										
CP-39	39	20.1 1/2	2.3 7/8	80	70		3/4	1/2	7/8 x 3/4	*	PL-A339-439	35-48	39 1/2-44	1/2				
CP-39W	40	20.1 1/2	2.3 7/8	80		92	3/4	1/2			PL-A339-439	35-48	39 1/2-44	1/2				
CP-39A	52	22	2.5 7/8	80	84		3/4	1/2	7/8 x 3/4	*	PL-A332A-432	35-48	39 1/2-44	1/2				
CP-32W	54	22	2.5 7/8	80		75	3/4	1/2			PL-A332A-432	35-48	39 1/2-44	1/2				
CP-37	63	24.1 1/2	2.3 7/8	80	110		3/4	1/2	1 x 3/4	*	PL-A369-469	72	61	1/2				
CP-37W	63	24.1 1/2	2.3 7/8	80		90	3/4	1/2			PL-A369-469	72	61	1/2				
GARDNER DENVER																		
G33	31-34	20.1 1/8	2.5 7/8	80	63		3/4	1/2	7/8	HEXAGONAL								
G48	46-50	20.3 7/4	2.1 1/2	80	94	68	3/4	1/2	7/8-1	*	FL 48	24-60	80-84	3/4				
G52	56 1/2-58 7/8	23.3 3/8	2.2 1/8	80	103	105	3/4-1	1/2	1	*								
G58	58 1/2-59 1/4	22.3 3/4	2.3 3/8	80	107	98	3/4-1	1/2	1	*	FL 58	24-60	81-98	3/4				
G73	67-69	22	2.3 7/8	80	109	92	3/4-1	1/2	1-1/2	*								
G81E	71	3	100			106		1/2	7/8-1	*	FL 7-FL 9	66	112	1				
INGERSOLL-RAND																		
J-40	55	22.3 7/8	7/8	90	102		3/4		7/8 x 3/4	HEXAGONAL	JL 4	48	47-75	3/4				
J-50A	58	23.1 1/8	2.5 7/8	90	108		3/4	1/2	1 x 4/4	*	JL 4	48	47-75	3/4				
J-300A						198												
J-368	102 Con piernas		2.3 7/8	80		140	3/4	1/2	7/8 x 4/4	*	JR 368	75	Perforadora y barra integral					
J-30R	50	18.3 7/4	2.3 7/8	90			3/4	1/2	7/8 x 3/4									
JOY MFG. CO.																		
LB-37	58	24	2.3 7/8	80	100	90	3/4	1/2	1 x 1/4	HEXAGONAL	J81-37B	48	37	3/4				
LA-37	59	17	2.1 1/2	80	70	65	3/4	1/2	3/4 x 3/4	*	J81-37B	36	31	3/4				
LA-47	34	17	2.5 1/8	80	90	80	3/4	1/2	7/8 x 3/4	*	257-11C	42	34	3/4				

TABLA III.3 - ESPECIFICACIONES COMPARATIVAS DE PERFORADORAS NEUMATICAS DE COLUMNA (DRIFTERS) Y SUS RESPECTIVOS MONTAJES OPCIONALES MAS COMUNES

FABRICANTE MODELO	PESO DE LA PERFORA- DORA (libras)	DIAMETRO DEL PISTON (pulgadas)	AVANCE MAXIMO (pulgadas)	PRESION DE TRABAJO (psi)	CONSUMO DE AIRE (pcm)		CONSUMO MAXIMO DE AIRE INCLUYENDO MD TOR ALIMENTADOR DE EMPLEJE (pcm)	MONTAJE AUXILIAR OPCIONAL			CADENA DE ALIMENTACION
					SECO	HUMEDO		COLUMNA O MASTIL	CARRO DE RUEDAS	CARRO DE CRUGAS	
ATLAS COPCO											
RH57W	40.7/8	2.1/8	70/8	85		64	64	BMP 31			
RH57I	40.17/2	2.1/8	70/8	85	78		78	BMP 31			
RH55F	40.17/2	2.1/8	70/8	85	117		117	UMP 31			
BDC 44 RB	104	4	94---90	85	314		314		BVB14(23)		BMM-134-104 #12-33-43
BDC 44 RPL	110	4	94---90	85	357		357		BVB14(23)		BMM-134-104 #12-33-43
BDC 32 RPL	148	4.3/4	85---60	85	358		358		BVB 25		BMM-1333-43K(8)
BDC 61	364	4.3/4	118	85	475		475			BVB 61	BMM-35K156
CHICAGO PNEUMATIC											
CP-50H	214	3	60---66	80	170	142	185---157			G180	
CP-60H	234	3.1/2	60---66	80	207	180	223---175			G150	
CP-400	528	4	60---66	80	275	205	298---225			G 400	G900-G903
CP-400HM	1792(4mm)	4	60---66	80	270	210	300---230			G 400	G900-G903
CP-420 DM	2665(4mm)	4.1/2		80	373	276	345---285				G900-G903
GARDNER DENVER											
D75H	80	2.3/4	34 1/2-62 1/2	80		113	113	SF 124-173	LHLRM 73		SF124(130,136,148,160)172
D76B	87	3	34 1/2-62 1/2	80		125	125	SF 124-172			SF124(130,136,148,160)172
D83	112	3.1/8	34 1/2-62 1/2	80		156	156	SF 124-172	CRHM 93		SF124(130,136,148,160)172
D99	136	4	34 1/2-62 1/2	80		188	188		URMB 99		SF224(230,236,248,260)272
SF199	253-306	4	36---36	80		175	175	SF 224-272	URMB 99		
SF123	246-322	4.1/2	36---36	80		210	210		JHM123		
PR 123J	290	4.1/2	74	80			325---350			ATD 3000	HMC11
DM 143J	170	4.1/2	78	80			325---350			ATD 3000	HMC12
DM 99J	158	4	70	80			326---350			ATD 3000	HMC12
INGERSOLL-RAND											
D8-30	125	4	24	80				Dr 3"	JHM		
D8-35	167	4	30	80				Dr 3"-3 1/2"	JHM		
D-30S	210	4	30	90				Dr 4"-4 1/2"			CRAWL-IR
D-40	2405	4	20	90			328				CRAWL-IR
D-40S	2405	4.1/2	20	90			325				CRAWL-IR
D-47S	2405	4.3/4	20	90			383				CRAWL-IR
JOY MFG. CO.											
TM 350	109	3.1/2	50---168	90					LW-JM		TDM-TOL
TM 400	144	4	60---168	90					LW-JM		TDL-TOM
TM 400B	340	4	96---168	90					LW-JM		TOL-TOM
TM 400	360	4	70	90					LW-JM		TOL-TDM
450-DH	7350	4.1/2	20	90			410				TDM-TDL



Perforadora sobre tractor "Track-drill",
Barrenando "en caja" para la apertura de
un camino.

E) Perforadoras hidráulicas

La aplicación de este tipo de perforadoras se está encaminando principalmente hacia la perforación de túneles.

F) Motoperforadoras

Debido a su ligereza (entre 30 y 40 lbs.), estas perforadoras -manuales- tienen aplicación sobre todo en trabajos de exploración, ya que no son eficientes en profundidades mayores de 1.5 m. Sin embargo, son las únicas que pueden transportarse a ciertos lugares donde no hay acceso a vehículos.

III.3 Brocas, Barras de Extensión y Barrenas

III.3.1 Brocas

Como se mencionó en el capítulo I, la broca es la parte del equipo de perforación que hace contacto con la roca para desintegrarla.

Para los trabajos de barrenación a cielo abierto, existe una gran variedad de brocas. Su uso estará en función del equipo de perforación, así como de la geología del lugar. Las más usuales son las siguientes:

A) Brocas desmontables o móviles

Son aquellas que pueden ponerse o quitarse a las barras o varillas de perforación. Para esto requieren de equipo complementario como zanco, para incrustar a la perforadora una barra de perforación. Cuando se requiere hacer perforaciones de mayor profundidad, es preciso el uso de coples.

B) Broca forjada

Es una barrena que se forja sobre acero de broca.

C) Broca de carburo de tungsteno

Es una broca desmontable cuyas aristas cortantes están hechas de carburo de tungsteno e incrustadas en una base de acero más suave.

D) Broca de diamante

Es una broca móvil cuyos elementos cortantes se componen de pedaceras de diamante incrustadas en una matriz de metal.

Las brocas removibles tienen muchas ventajas en comparación con las forjadas, a saber: se pueden poner y quitar con facilidad, las hay en diversos tamaños, formas y durezas y son más baratas, además pueden afilarse con esmeril cada vez que sea necesario.

III.3.2 Barras de extensión

Son equipo complementario para realizar trabajos de barrenación. Una unidad de barrenación completa consiste en un zanco, una barra de extensión y una broca, amén de la perforadora.

Se llaman barras de extensión porque precisamente sirven para alargar el barreno, ya que cada una mide 3 metros (10 pies).

Las hay también de diferentes tipos: Roscadas en toda su extensión o únicamente en las puntas; también cuentan con diferentes tipos de rosca y presentan distintas formas (redondas, exagonales, etc.).

Este tipo de brocas al igual que las barras de extensión, se utilizan en equipos de track drill, vagón drill, jumbos y perforadoras hidráulicas.

III.3.3 Barrenas

Se denominan "Barrenas Integrales", ya que tienen una punta de tungsteno tipo cincel. Se usan en las perforadoras manuales y se consiguen en longitudes desde 0.8 m. hasta 6.4 m. variando de 0.8 m. en 0.8 m. Cuentan con capacidad para perforar diámetros máximos de 40 mm.

Las tablas siguientes (III.4 y III.5) pueden ser de mucha utilidad en cuanto a programación de equipo, así como para el cálculo de precios unitarios.

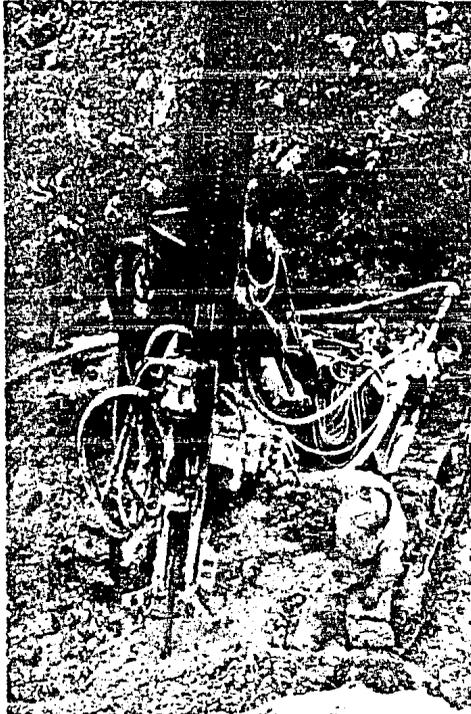


TABLA III.4

RENDIMIENTOS PROMEDIO REPRESENTATIVOS DE BARRENACION CON PERFORADORAS NEUMATICAS DE PISTON RECIPROCANTE, EN METROS POR HORA (')

Diámetro del Barreno	Calidad de la Roca	Perforadoras de Mano	Perforadoras con Alimentación Mecánica
1 3/4"	Suave Media Dura	5 a 6.5 3 a 4.5 2 a 3.5	10 a 15 8 a 12 5 a 10
2 3/8"	Suave Media Dura	3.5 a 5 2.5 a 3.5 1.5 a 3	10 a 17 6.5 a 12 5 a 10
3"	Suave Media Dura	--- o --- --- o --- --- o ---	10 a 17 5 a 10 3 a 7
4"	Suave Media Dura	--- o --- --- o --- --- o ---	3.5 a 8.5 1.6 a 5 0.7 a 3

(') En formaciones de rocas que presenten tendencia a derrumbes y caídos, los rendimientos deberán reducirse afectándolos de coeficientes que solo pueden ser valorizados de acuerdo con los datos del problema específico. Los rendimientos consignados en esta Tabla deberán corregirse, aplicando factores adecuados, para los casos en que las máquinas trabajen sobre plataformas, suspendidas, y en general, en forma no natural.

TABLA III.5

VALORES INDICE DE LA VIDA ECONOMICA PROMEDIO DE ACEROS DE BARRENACION INTEGRALES Y SECCIONALES. (En metros)

CLASE DE ROCA	V I D A
MUY DURAS:	
Cuarzo, basalto y hematita:	10 a 100
Hortenso y feldespatos:	50 a 100
MEDIANAMENTE DURAS:	
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 suaves y similares:	250 a 400
SUAVES Y DESCOMPUESTAS:	
Areniscas muy suaves, dolomitas y rocas calizas, así como conglomerados suaves poco cementados y materiales granulares sueltos; rocas similares intemperizadas:	400 a 800
ROCAS MUY SUAVES	
Pizarras, lutitas, antracita, mármol, mica y carbón:	600 a 1000

IV. ANÁLISIS DE BARRENACIONES

IV.1 Fórmulas Teóricas para Diseñar una Plantilla de Barrenación.

Desde que se inventó la pólvora, y dada la gran cantidad de gases que se liberaban en el estallido de una masa de explosivos, se vió la posibilidad de fracturar roca mediante el uso de esos artefactos. No obstante, no fue sino hasta el siglo XVIII cuando se empezaron a buscar las conexiones entre la carga (Q) de explosivo y la masa de roca que podía fracturarse por efecto de él. Vauban, a principios del siglo, ideó la fórmula $Qe=KV^3$, en donde V era el diámetro superior del cráter que se formaba al hacer explotar la mina. No obstante, fue hasta 1725 cuando Belidor concibió una fórmula empírica para calcular la carga en función del volumen excavado y de la superficie resultante. Esta fórmula era $QR_2 - R_3V^3$, en donde:

V - era el espesor entre el barreno y la superficie libre de un corte (pata).

R_2 y R_3 - las constantes que dependen del tipo de roca.

Más tarde aparecieron otras fórmulas como la de Hüfer de la forma $Qn=b b_2 V^2$. En fecha más reciente apareció también la fórmula de Frankel, el cual introdujo un factor de "volabilidad" (S) que es una medida de la resistencia de la roca a la voladura.

La fórmula queda expresada de la siguiente forma:

$$hd^2 = \frac{50 \cdot 3.3 \cdot V_{max} \cdot 3.3}{S \cdot 3.3 \cdot Hd^{2/3}}$$

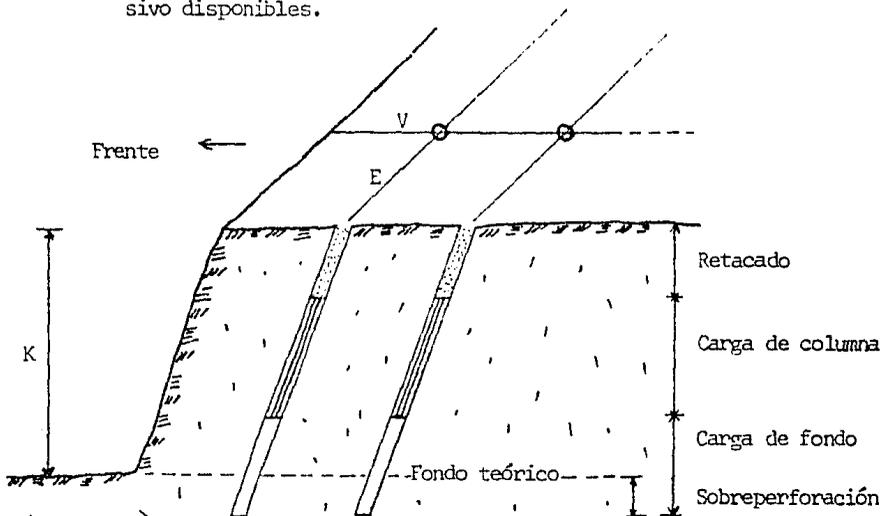
Sin embargo, estas y algunas otras fórmulas que han aparecido por ahí, tienen varios inconvenientes; unas se olvidan de considerar algunos factores y otras sólo son aplicables en ciertas condiciones de trabajo. Es por ello que las investigaciones a este respecto no se han detenido hasta la fecha, ya que día a día se van obteniendo novedosos resultados de investigaciones de observaciones directas de obras que así lo permiten.

Aunque a la fecha no se haya encontrado una fórmula capaz de abarcar todos los tipos de terrenos y condiciones de trabajo, los resultados obtenidos con cálculos básicos de Langerfors han sido tan buenos, que no hay razón para utilizar nuevas fórmulas empíricas. Tal sistema considera casi todos los factores que intervienen tanto en el diseño de la plantilla de barrenación, como en el de una buena voladura.

En síntesis, como ya se mencionó en capítulos anteriores es necesario considerar:

- tipo de roca
- diámetro del taladro
- condiciones del terreno
- fragmentación deseada
- leyes y normas locales, entre otros factores.

A continuación se describen los resultados obtenidos por Langerfors (investigador sueco), los cuales -indica la práctica- pueden aplicarse con suma confianza para el inicio de voladuras, realizando posteriormente las correcciones que correspondan a las condiciones del lugar de operación así como del equipo y el explosivo disponibles.



V debe ser medida realmente perpendicular a los barrenos. -
Más adelante se verá la importancia de la inclinación de los barrenos.

Aunque la figura ilustra una plantilla de barrenación en banco, casi todos los tipos de voladura pueden ser considerados de cierta forma como voladuras en banco.

Por ende, el cálculo de la plantilla de barrenación, así como de la carga de explosivo, es la siguiente (según Langerfors):

Nomenclatura:

V_{máx} = Piedra máxima (m)
V = Piedra práctica (m). Línea de menor resistencia
F = Error de perforación
E = Espaciamiento práctico (m)
U = Sobreperforación (m)
H = Longitud del barreno (m)
K = Altura de banco (m)
Q_b = Carga de fondo (kg)
Q_p = Carga de columna (kg)
Q_{tot} = Carga total (kg/barreno)
q = Carga específica (kg/m³)
d = Diámetro del barreno (mm)
Q_{bk} = Concentración de carga de fondo (kg/m)
Q_{pk} = Concentración de carga de columna (kg/m)
h_b = Altura de carga de fondo
h_p = Altura de carga de columna
h_o = Retacado (m)
b = Perforación específica (m/m³)
B = Anchura de la pega (m)

V_{máx} = 45 (d)
U = 0.3 (V_{máx})
H = K + U + 0.05 (K+U)
F = 0.05 + 0.03 (H)
V = V_{máx} - F
E = 1.25 (V)
Q_{bk} = $\frac{d^2}{1000}$
h_b = 1.3 (V_{máx})
Q_b = h_b (Q_{bk})
Q_{pk} = 0.4 - 0.5 (Q_{bk})
h_p = H - (h_b+h_o)
h_o = V (en ciertos casos V_{máx})

A continuación se presenta un ejemplo que permitirá entender mejor los cálculos:

Datos: Altura del banco $K=12$ m
Ancho de la pega $B=20$ m
Diámetro de perforación = 64 mm (2.5")

$$\begin{aligned} V_{\text{máx}} &= 45 (64) = 2,880 \text{ mm} = 2.88 \text{ m} \\ U &= 0.3 (2.88) = 0.864 \text{ m} \approx 0.9 \text{ m} \\ *H &= 12+0.9+0.05 (12 + 0.9) = 13.54 \text{ m} \approx 13.6 \text{ m} \\ F &= 0.05+0.03 (13.6) = 0.46 \text{ m} \\ *V &= 2.88-0.46 = 2.42 \text{ m} \approx 2.40 \text{ m} \\ E &= 1.25 (2.40) = 3.0 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Número de espacios } \frac{B}{E} = \frac{20}{3} = 6.6 = 7$$

$$* \therefore E = \frac{B}{\text{N}^{\circ} \text{ espacios}} = \frac{20}{7} = 2.86 \text{ m}$$

$$Q_{bk} = \frac{64^2}{1000} \approx 4.1 \text{ kg/m}$$

$$hb = 1.3 (2.88) = 3.74 \text{ m}$$

$$*Q_b = 3.7(4.1) = 15.2 \text{ kg}$$

$$Q_{pk} = 0.5 (4.1) = 2.05 \approx 2.0 \text{ kg/m}$$

$$h_o = 2.40 \text{ m}$$

$$h_p = 13.6 - (3.7+2.4) = 7.5 \text{ m}$$

$$*Q_p = 7.5 (2.0) = 15 \text{ kg}$$

$$Q_{tot} = 15.2 + 15 = 30.2 \text{ kg}$$

$$*q = \frac{\text{Barrenos/hilera } (Q_{tot})}{V (k) (B)} = \frac{8 (30.2)}{2.4(12) (20)} = 0.42 \text{ kg/m}^3$$

$$*b = \frac{\text{Barrenos/hileraxH}}{V (K) (B)} = \frac{8 (13.6)}{2.4(12) (20)} = 0.19 \text{ m perforación/m}^3$$

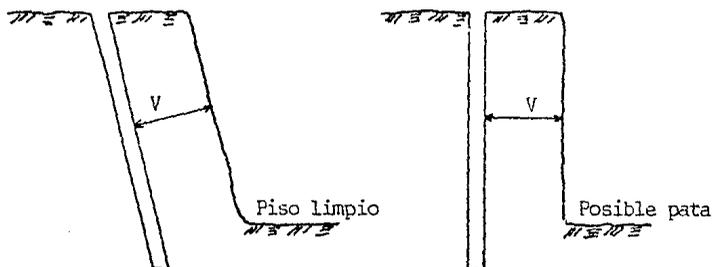
* Datos importantes.

Plantilla de Barrenación.- Viene determinada por la línea de menor resistencia (V), que depende directamente del diámetro del barreno y el espaciamiento entre barrenos (E), que a su vez son función de la cantidad de explosivo que puede colocarse en el fondo del barreno. Es decir, a mayor diámetro, mayor cantidad de explosivo y, por consecuencia, mayor espaciamiento entre barrenos - (mayor esquema de perforación).

Un factor que también influye es la intensidad relativa del explosivo o potencia explosiva. Teóricamente, el barreno debe cargarse en el fondo con un explosivo de la mayor densidad posible. A la carga del fondo le sigue una carga de columna con una concentración de explosivo de alrededor del 50% de la primera. La longitud superior del barreno se rellena con arena y se "retaca".

En el fondo del barreno se precisan cargas de mayor concentración, por aquello de que en esta parte del banco la roca está más "compactada".

Otro de los factores importantes a considerar en una buena voladura es la "inclinación de los barrenos", ya que la fuerza que producen los gases del explosivo actúan hacia arriba y hacia la línea de menor resistencia (como se dice comúnmente: "el hilo se rompe por lo más delgado"). Una plantilla con barrenos completamente verticales seguramente causará problemas al frente de la voladura ("pata") al ir elevando el piso de proyecto. Un barreno inclinado hasta $1/3:1$ da condiciones favorables para desprender la pata.

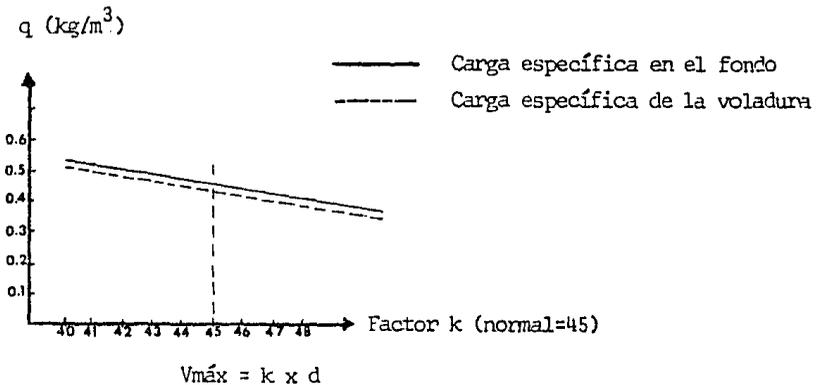
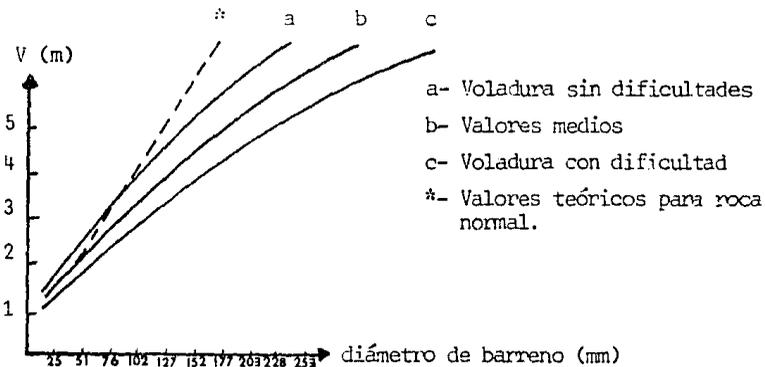


La sobreperforación (U) persigue el mismo objetivo de eliminar las "patas" al frente de cada voladura.

Resulta interesante considerar también el método o secuencia de encendido al realizar la voladura, ya que una buena elección de éste redituará buenos resultados en la labor.

Como se mencionó antes, estas fórmulas obtenidas por Langerfors pueden ser de mucha ayuda al iniciar trabajos de Barrenación a Cielo Abierto, tales como voladuras de prueba.

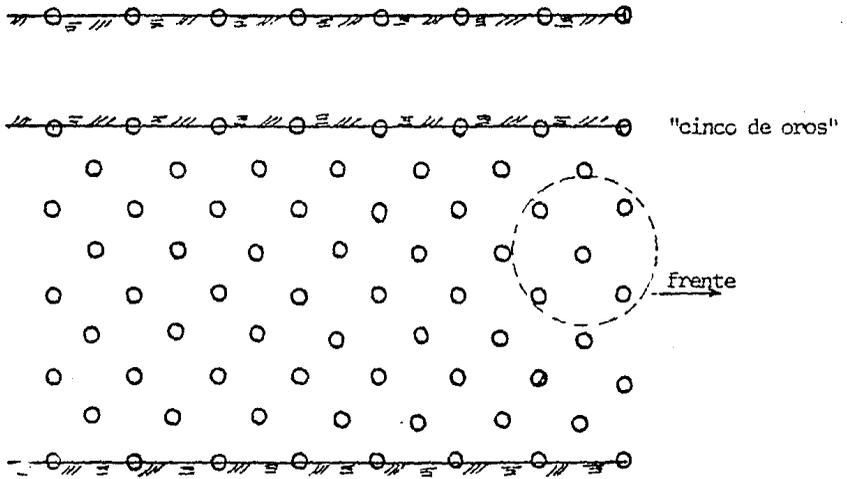
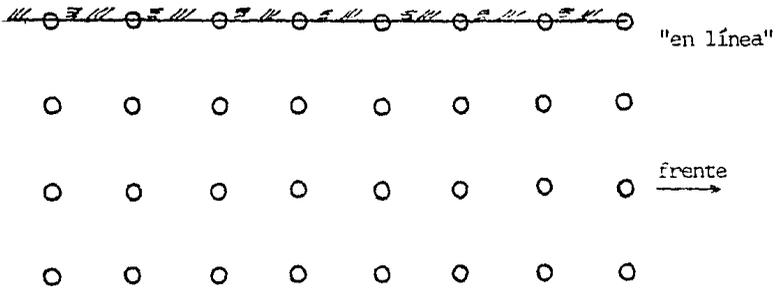
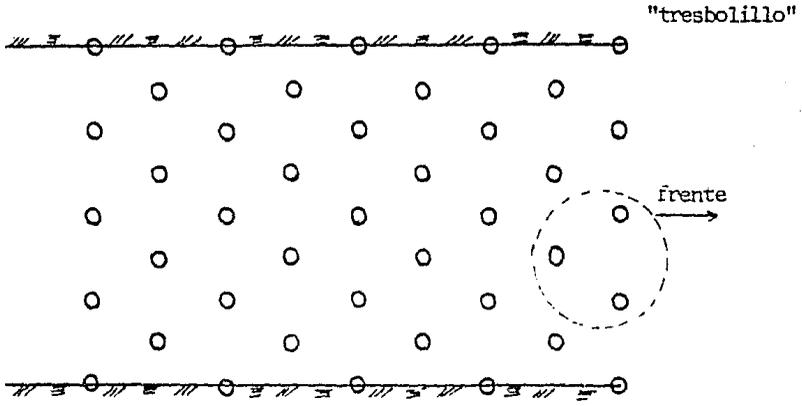
Las gráficas siguientes pueden ayudarnos a simplificar los cálculos anteriores cuando no se requiere mucha exactitud en ellos o cuando se trata de voladuras de prueba:



En la práctica es usual utilizar cualquiera de los siguientes diagramas de barrenación. El decidir usar uno u otro de estos, dependerá propiamente de los factores que se presenten al momento de ejecutar tal o cual trabajo, tales como: equipo disponible de perforación, condiciones geológicas del lugar, etcétera.

Según el sistema de encendido que utilicemos al momento de la explotación, se modificará el diagrama de barrenación (sin cambiar la posición de los barrenos), obteniendo de esta manera una infinidad de diagramas. Es aquí donde el ingeniero ha de hacer uso de su "ingenio" y creatividad, para obtener resultados óptimos. En los ejemplos siguientes se verá esta situación con más detalle.

Esquema de barrenación



IV.2 Bancos de Roca

En este tipo de explotaciones la roca se perfora con taladros verticales (inclinados de preferencia) y después se efectúa su voladura. En el terreno se forma una especie de peldaño o "banco", del que este método toma su nombre.

La plantilla de barrenación y la carga de los barrenos se diseñan con el método señalado en el inciso anterior.

Además de considerar los factores que intervienen en el cálculo citado, es conveniente tomar en cuenta también los siguientes factores, que intervienen directamente en este tipo de voladuras.

- . tipo de roca
- . condiciones de terreno
- . fragmentación deseada
- . diámetro del barreno.

El considerar estos factores de una manera precisa, aportará elementos que permitan disminuir costos al aumentar la producción.

- A) Tipo de Roca.- Determina normalmente la elección del equipo a utilizar.

Por otra parte, la dureza y abrasividad de la roca son factores que influyen de manera decisiva en el desgaste del acero de barrenación. Además, las peculiaridades de la voladura, que son también función del tipo de roca, exigirán diferentes tipos y cantidades de explosivo.

- B) Condiciones del Terreno.- En este caso, la importancia del terreno en la elección del equipo también es fundamental.

En los trabajos de barrenación a cielo abierto, el terreno es por lo general irregular, y por ende, los sistemas de perforación serán preferentemente sobre orugas, -

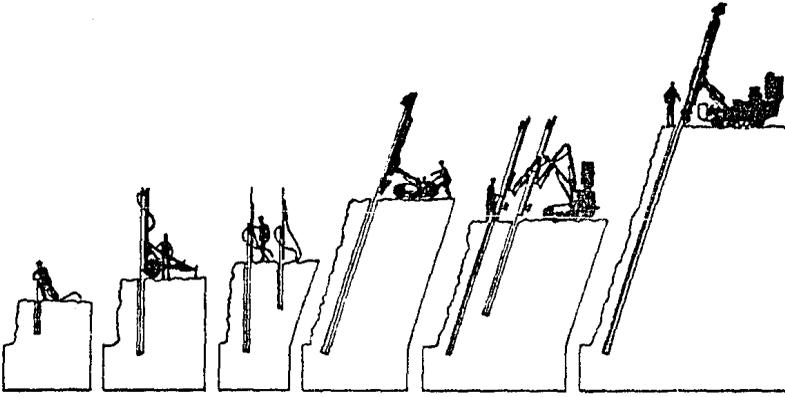
aunque también podrían ser sobre ruedas, ya que el terreno se va nivelando al avanzar los trabajos. De manera similar las condiciones del terreno determinan el método de barrenación a seguir, así como las cargas de explosivo necesarias, ya que si existe roca sana, la carga será diferente a la que correspondería a un terreno fracturado.

- C) Fragmentación.- Es el término general que describe el tamaño individual de la roca después de su voladura. La fragmentación de la roca depende del uso a que se habrá de destinar. Cuando la roca se usará en la construcción de escolleras, deberá extraerse en grandes bloques, mientras que si se destina a la producción de agregados pétreos, se requerirá en bloques pequeños.

Se han efectuado multitud de cálculos y consideraciones para llegar a determinar la fragmentación antes de hacer la voladura, pero todavía no se ha logrado establecer una fórmula aplicable a todos los tipos de roca.

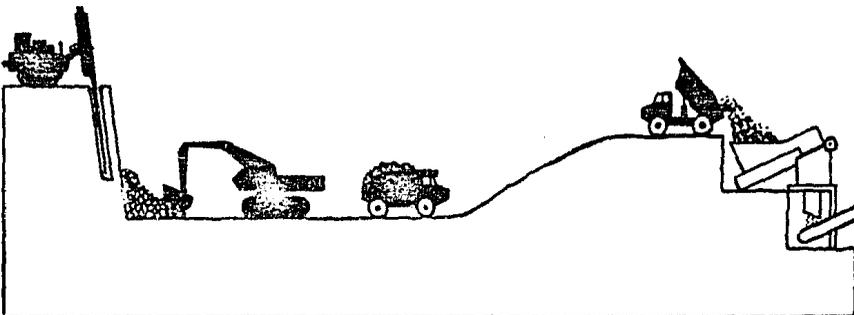
- D) Diámetro de Perforación.- Por lo general, el ritmo de producción aconseja la elección del diámetro bajo el supuesto de que a mayor diámetro, mayor rendimiento productivo. Ahora bien, pueden surgir ciertos aspectos que necesariamente aconsejen reducir el diámetro de perforación, como son la fragmentación de la roca, las limitaciones en la carga del explosivo, las grandes proyecciones, etcétera.

Además de tomar en cuenta los factores mencionados se recomienda no tener bancos con una altura menor a $2 V_{máx}$, ya que la explotación de un banco más pequeño acarreará costos más elevados.



Perforación de bancos

La perforación en todas sus variedades, ha evolucionado técnicamente de tal forma que, se ha pasado rápidamente de la perforación manual a la perforación con equipos autónomos de elevado rendimiento. El trabajo es cada vez más cómodo, en base a que también se ha cuidado su entorno (reducción del ruido, polvo, etc.)



Visión esquemática del ciclo de trabajo en una explotación a cielo abierto.

IV.2.1 Bancos de roca para la producción de agregados pétreos.

En la explotación de bancos de roca se llevarán a cabo los procesos que a continuación se mencionan:

- explotación del banco
- remoción del material. Normalmente se realiza con tractor.
- carga del material
- acarreo en camiones a la planta de trituración
- trituración

El factor más importante y que influye de manera considerable en todas las actividades descritas, es sin duda la fragmentación. En este tipo de bancos es necesario obtener -gracias a la voladura- tamaños máximos de roca, determinados principalmente por la abertura de la trituradora.

Para obtener una fragmentación es necesario combinar todos los elementos que hasta ahora hemos estudiado. En principio es conveniente diseñar una buena plantilla de barrenación, económicamente hablando. La experiencia indica que a mayores diámetros de barrenación se obtienen voladuras más económicas, ya que esto nos lleva a una mayor separación entre barrenos. Por otra parte, se dice también que con diámetros mayores se obtienen bloques mayores, lo cual eleva el costo en forma cuantiosa al tener que seleccionar dichos bloques para después realizar voladuras secundarias (moneo).

Una vez convencidos de que un diámetro mayor reduce los costos al disminuir la barrenación específica - ($m \text{ perf.}/m^3$), podemos recurrir a otros artificios para obtener la fragmentación deseada sin tener que aminorar el diámetro de barrenación. Por ejemplo:

- Un incremento de la carga específica (kg/m^3) manteniendo constante el esquema de perforación, produce un aumento de la fragmentación. Dado que normalmente -

se desea utilizar al máximo los barrenos, con frecuencia se incrementa la carga de columna debido a que el explosivo utilizado en ella es mucho más barato.

- La precisión en la perforación es de gran importancia, ya que si los barrenos están mal distribuidos o los errores de perforación son elevados, la fragmentación será mucho menor.

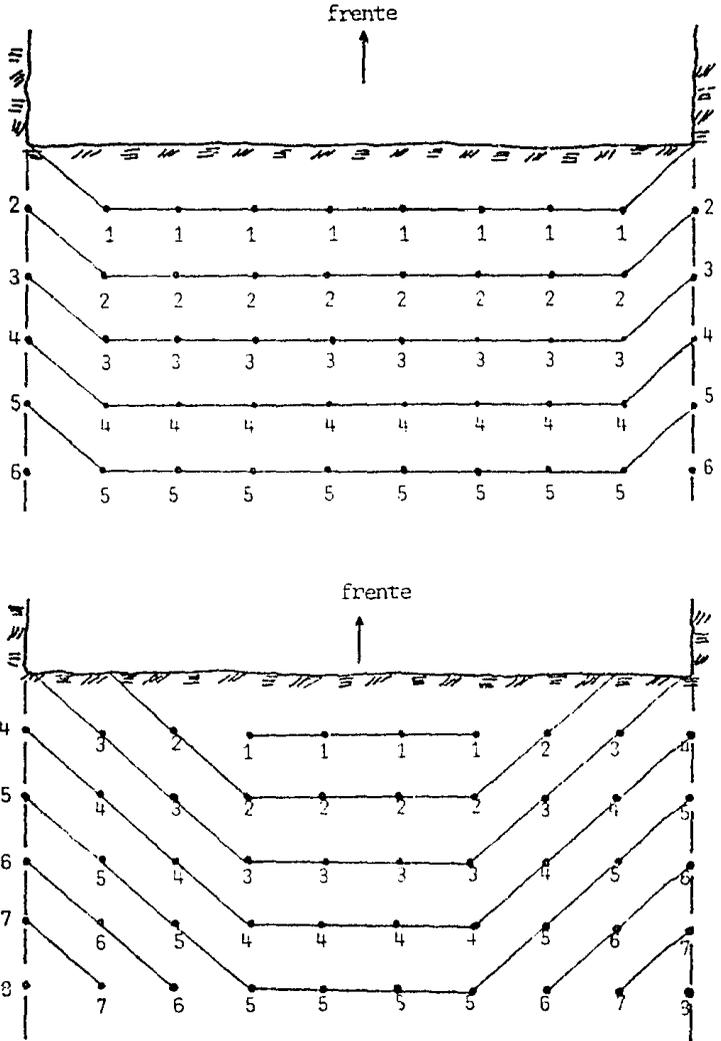
- El sistema de encendido empleado es de suma importancia. Las voladuras realizadas con tiempos de retardo muy pequeños implican en principio que la roca se rompa en etapas, con una diferencia de tiempo de milésimas de segundo entre barrenos adyacentes.

El efecto de tiempos de retardo muy cortos entre barrenos adyacentes se traduce en una colaboración entre ellos para la fragmentación de la roca, consiguiendo además mantenerla unida durante la voladura y produciendo menor efecto de proyección.

La figura siguiente muestra dos ejemplos de voladura con tiempos de retardo. Los números indican la secuencia de encendido de los barrenos.

Ya en la obra y estudiando las condiciones de trabajo, se pueden diseñar otros tipos de esquemas de encendido, buscando en cada caso mayor fragmentación del material.

Esquema de encendido en cuña



Los números indican la secuencia de encendido, es decir, primero estallan los números 1, enseguida los números 2, etcétera.

IV.2.2 Bancos de roca para la construcción de escolleras.

En cierto tipo de obras, como las que se ocupan de la construcción de puertos, de escolleras, etcétera, se necesita obtener menor fragmentación, debido a la demanda de bloques de determinado tamaño y peso específico.

La dificultad de obtener menor fragmentación puede ser muchas veces análoga a la necesidad de obtener bloques de tamaño pequeño, siendo por lo común la roca con sus características, el factor responsable de esta dificultad. Cuando la roca es homogénea, la obtención de grandes bloques es con frecuencia más sencilla.

Existen algunos métodos para conseguir menor fragmentación, ellos son:

- Carga específica baja
- Espaciamiento desfavorable para la rotura, E/V menor de 1.
- Voladura instantánea
- Voladura de una hilera en cada tronada
- Combinación de estos métodos, de acuerdo con las circunstancias.

Quizás lo más difícil en este tipo de obras sea la localización de un banco de roca que presente la mayor - homogeneidad posible y permita así obtener la fragmentación deseada.

IV.2.3 Moneo.

También denominada voladura secundaria, es el término para designar a las voladuras destinadas a romper bloques de roca demasiado grandes para ser transportados o triturados. La manipulación de tales bloques es una cuestión muy costosa, razón por la cual las voladuras se planifican de modo que no se produzca en ellas un número demasiado abundante de bloques de excesivo tamaño.

Al momento de decidir la ubicación de las perforaciones que vayan a hacerse, es preciso tomar en cuenta las fisuras existentes en el bloque.

No es recomendable realizar este tipo de trabajos cerca de instalaciones o zonas edificadas, ya que como este tipo de voladuras se realiza al aire libre, las proyecciones de material son abundantes.

El proceso de "moneo" resulta muy costoso debido a que intervienen los siguientes pasos para su realización.

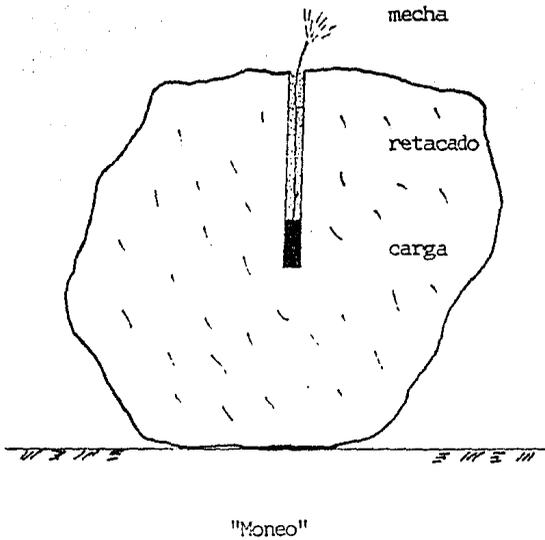
- selección de bloques, ya sea con el tractor que realiza la remoción del banco, o bien con el cargador, según el tamaño de dicho bloque.
- barrenación de dichos bloques
- suspensión de trabajos en toda el área debido a las grandes proyecciones de la roca "volada".

Como se ve, cada uno de estos factores se refleja de manera evidente en el costo total de la explotación; por ello se sugiere que se realicen bien los cálculos y trabajos descritos en el inciso destinado a voladuras - en bancos de agregados pétreos.

A últimas fechas se han venido utilizando otros métodos para reducir el tamaño de estos bloques. Entre ellos está el uso de la energía hidráulica, auxiliado con herramientas tipo cincel o cuñas de acero. Estas herramientas se montan en el brazo de una retroexcavadora aprovechando la fuerza hidráulica de la misma.

La elección de uno u otro método dependerá sobre todo del número de bloques que aparezcan en cada "tronada", así como de la disponibilidad del equipo en determinado momento.

El siguiente capítulo se referirá al costo que tiene el "moneo" con respecto a la explotación del banco.



IV.3 Cortes en Caja

IV.3.1 Aspectos fundamentales

La creciente demanda de vías de comunicación lleva aparejada la aparición de grandes volúmenes de roca a lo largo de su construcción.

Se denominan cortes en caja a aquellos que se encuentran restringidos (encajonados), aunque esto es práctic

ticamente relativo, ya que una vez efectuada la primera "tronada", tendremos un frente de trabajo o banco.

Estos cortes se realizan para llegar al nivel de proyecto, denominado en este caso "línea subrasante".

Este tipo de voladuras pueden tratarse como voladuras en "bancos bajos". Se llama bancos bajos a aquellos en que el frente de trabajo tienen una altura menor a $2 V_{m\acute{a}x}$.

Por otro lado, debido a que el material producido en estos trabajos por lo regular sólo se aprovechan para relleno o terraplenes, se aconseja utilizar diámetros de regular tamaño en la barrenación (2 1/2" o 3"). Además es interesante jugar un poco, tanto con la plantilla de barrenación como con las cargas. Esto dependerá sobre todo del equipo con que se cuente, tanto para la rezaga del material tronado como para la carga y el acarreo del mismo. Es preciso tomar eso en cuenta ya que por un lado podemos economizar en la explotación de la roca (ampliando la plantilla y/o disminuyendo las cargas), pero por otro quizás tengamos que requerir de más potencia o más horas - máquina en los trabajos posteriores.

IV.3.2 Plantilla de barrenación.

Como ya se mencionó, la plantilla de barrenación depende más que nada del diámetro de los barrenos.

Cabe recalcar aquí la necesidad de realizar algunas voladuras de prueba, para ver los resultados obtenidos con cierta plantilla de barrenación y el efecto de las cargas y la secuencia de encendido.

Las primeras voladuras pueden diseñarse con las fórmulas indicadas al principio de este capítulo. Dependiendo de los resultados y del equipo disponible en

esos momentos para los trabajos posteriores (rezaga, carga, etc.), podrán modificarse la plantilla de barrenación y las cargas.

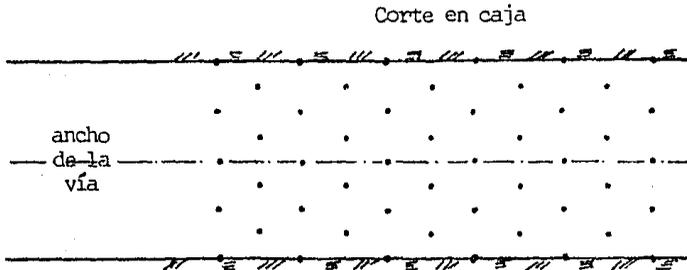
La secuencia de encendido es de vital importancia - para obtener buenos resultados en la voladura.

De igual manera se recomienda dar cierta inclinación a los barrenos (1/3: 1) para reducir la tensión en la roca.

En cuanto al equipo a utilizar, lo más usual es que se emplee generalmente "track-drill" debido a su facilidad de manipulación dentro de la obra, así como a su versatilidad en este tipo de trabajos.

Como ya hemos visto podemos optar por una infinidad de formas en la "disposición" de los barrenos en el diseño de la plantilla de barrenación, así como en la secuencia de encendido. Aparte del diámetro de barrenación, en este caso dependemos principalmente del tipo de roca y de las condiciones del lugar.

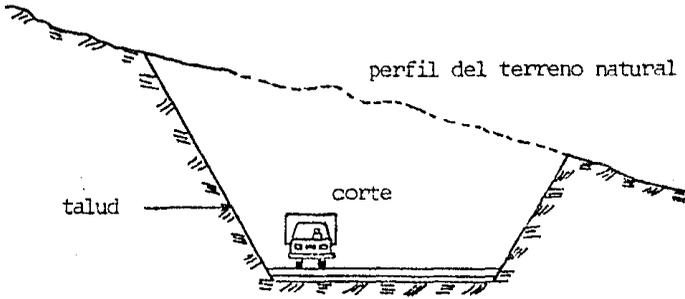
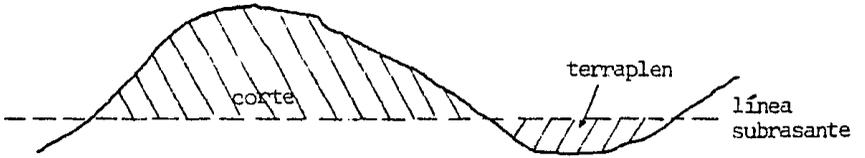
El diagrama de barrenación más utilizado para este tipo de obras (en caja, es el llamado "tresbolillo". En la siguiente figura se muestra este esquema. La separación de los barrenos dependerá -como ya hemos visto- del diámetro que se utilice.



barrenación "tresbolillo"

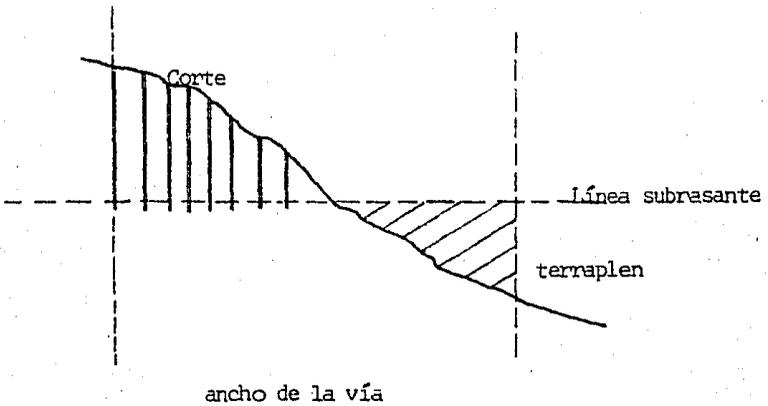
Corte en caja

Corte longitudinal:



Cortes

Transversales



IV.4 Cortes en Zanjas y Canales (Talud)

IV.4.1 Aspectos fundamentales

La creciente demanda de servicios por parte de la población -redes de agua potable, de drenaje, teléfonos, etcétera-, ha incrementado de igual manera la necesidad de abrir zanjas y canales para riego, entre otros servicios.

La barrenación para abrir zanjas implica generalmente voladuras en banco con una anchura no superior a 2 o 3 metros. La frontera entre voladuras en zanjas y voladuras en banco es un poco difusa; lo importante es estar consciente de las diferencias en la perforación y en la carga específica (kg/m^3).

Las voladuras en zanjas requieren principalmente de:

- un menor espaciamiento
- un alto nivel de carga específica

El grado de fricción contra las paredes de la zanja así como el de la misma roca es considerable. Se requieren cargas suplementarias para lograr el abudamiento del material junto con una mayor fragmentación, lo cual facilitará el trabajo de extracción al realizar la rezaga de la zanja.

Al igual que en todas las voladuras, la inclinación de los barrenos es de importancia capital.

Otra cuestión importante que hay que tomar en cuenta es procurar tener la menor sobreexcavación posible, ya que se han dado casos en que se obtiene el 100% de sobreexcavación, lo cual incrementa en un gran margen los costos de la obra.

Ahora bien, debido a que la mayoría de las zanjas se realizan en espacios urbanos, es común utilizar diámetros pequeños (40mm), con los que se obtienen menores "proyec-

ciones" de la roca volada y se logra una disminución de la sobreexcavación. Esto no ocurre cuando la obra en cuestión es un canal, ya que debido a su sección transversal (ancho), y a que comúnmente se realizan en campo libre, es posible utilizar diámetros mayores de perforación (2" o 3") (ver fig. IV.1).

IV.4.1.1 Talud

La voladura "suave o recorte", se aplica a los barrenos en una hilera ininterrumpida. Este tipo de barrenación sirve sobre todo para obtener una menor sobreexcavación, y a la vez para perfilar las paredes de la excavación. Este método se usa principalmente en la construcción de canales y en laderas de vías de comunicación donde se requiere perfilar bien los taludes.

Como en este tipo de barrenación se requiere de un mayor número de perforaciones, es aconsejable su aplicación sólo en obras donde el "talud" vaya a ser de utilidad. (ver fig. IV.2)

Otra manera de lograr una buena perfilación de taludes es la empleada en cortes de vías de comunicación, así como en lugares con restricciones en cuanto a la proyección de vibraciones. Es el llamado "pre-corte". Este consiste en realizar una hilera de barrenos, llamados "de contorno" con poco espacio entre ellos y se realizan en la frontera de la excavación. Al momento de efectuar la voladura, se "truenan" primero estos barrenos (de contorno) con cargas bajas, logrando de esta manera separar la zona de excavación del resto del terreno al producir una grieta. (Ver fig. IV.3)

IV.4.2 Plantilla de barrenación.

Como se indicó en el inciso anterior, para este tipo de trabajos se precisan espaciamientos menores entre barrenos. En la práctica se han utilizado comúnmente - plantillas de barrenación como se muestra enseguida:

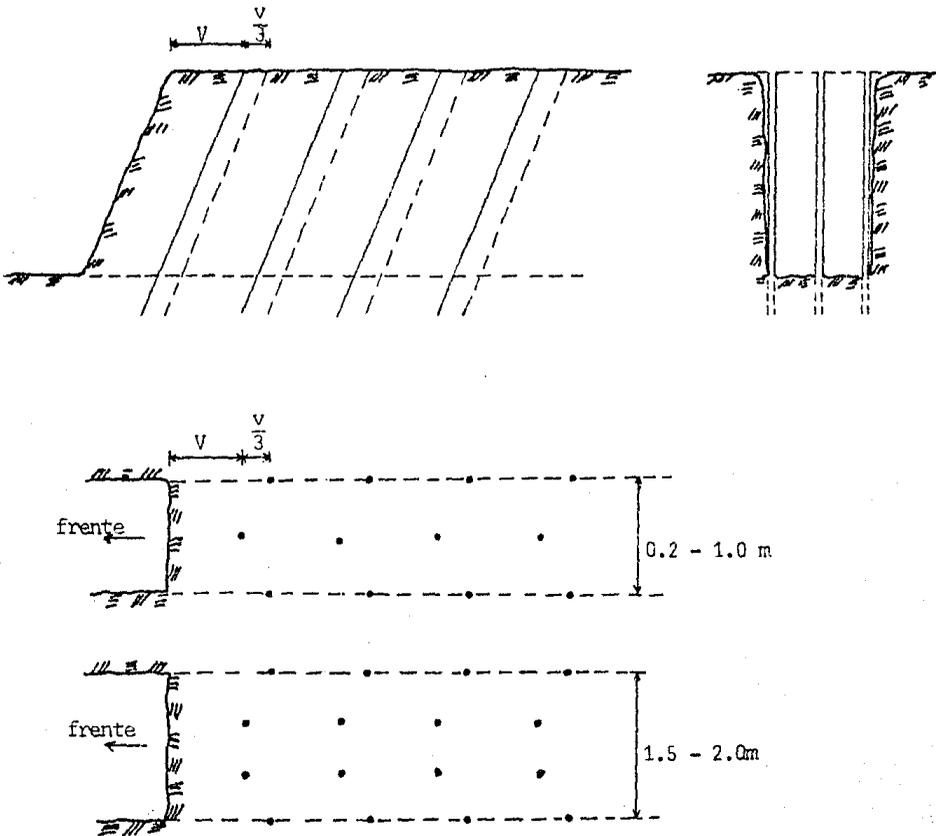


Figura IV.1

En las voladuras de "recorte" suele aplicarse la siguiente plantilla de barrenación

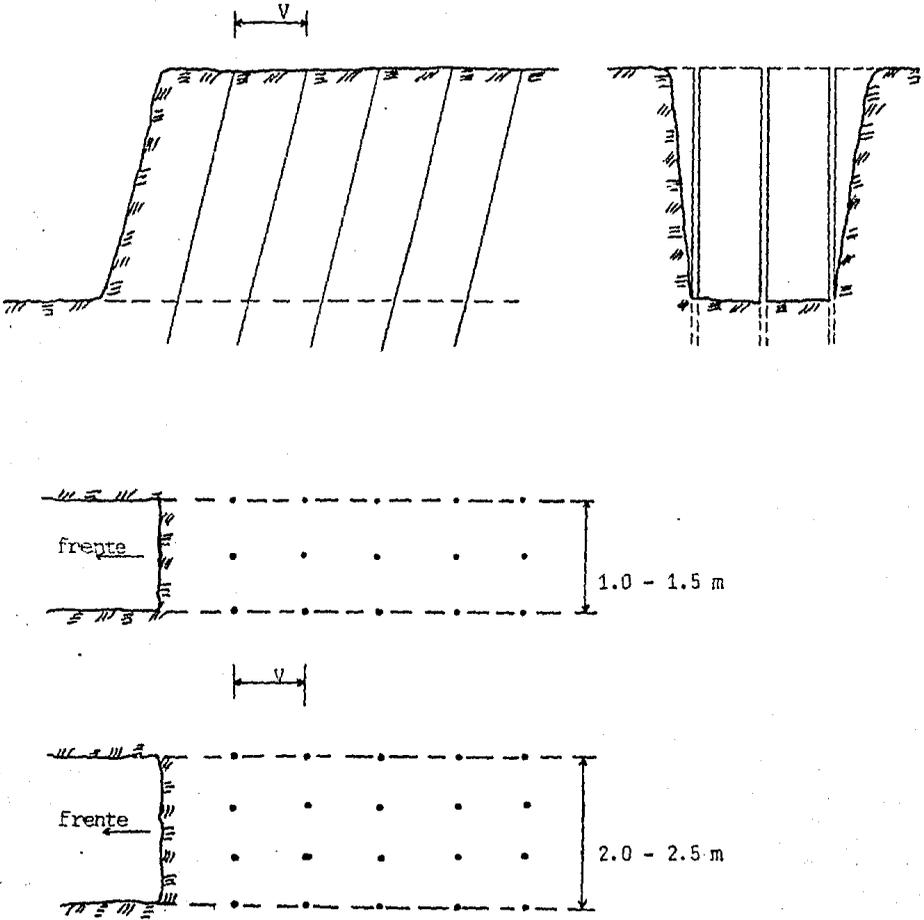


Figura IV. 2

Tal y como se dijo líneas atrás, con este método se logra un mejor acabado en la excavación. El costo de este tipo de barrenación es superior al que se vió antes. Sin embargo, el costo global de la obra puede ser menor al reducir por este método las horas máquina destinadas a la rezaga. (fig. IV.3)

Método para obtener taludes bien perfilados (precorte)

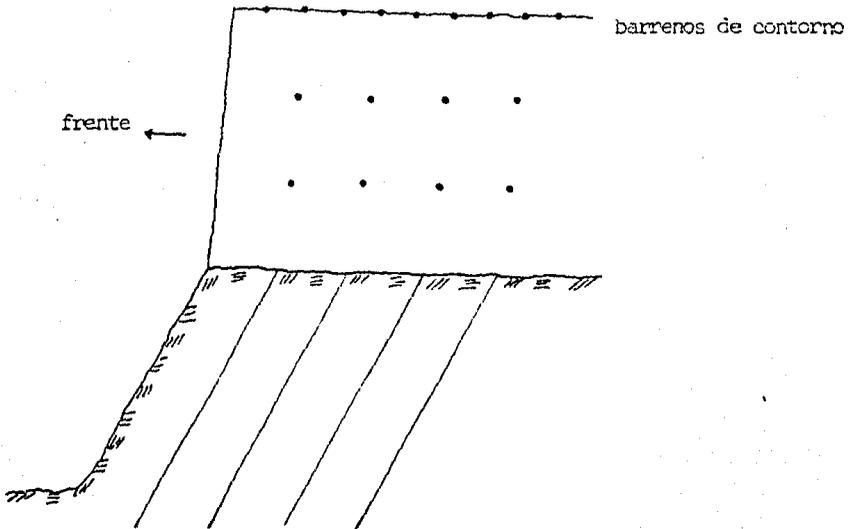


Figura IV. 3

V. COSTOS

En el presente capítulo se pretende presentar un panorama general - del cálculo de costos unitarios.

El diseño de la plantilla de barrenación así como el de las cargas, se logran tomando como base las tablas que se encuentran al final de - este inciso. Estas a su vez se obtuvieron a partir de las fórmulas de Langerfors vistas en el inciso IV.1 de este mismo trabajo.

V.1 Cálculo de Costos Unitarios

V.1.1 En bancos de roca.

A) Para la producción de agregados pétreos

Como se mencionó antes, el diámetro del barreno de-- termina en gran medida los rendimientos en los trabajos de barrenación. Por ello, una buena elección de este im- plemento es de suma importancia. Por otro lado se ha - visto también que a diámetros mayores, mayor será el ren- dimiento. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que con ese procedimiento se obtienen grandes bloques, hecho que puede repercutir en mayores costos, ya sea al disminuir el espacio entre barrenos o al aumentar las cargas explo- sivas en ellos. Por lo mismo es indispensable realizar algunas voladuras de prueba para determinar estos facto- res.

Ejemplo:

Se requiere la explotación de un banco de roca para producir agregados pétreos. Las condiciones son las si- guientes:

- Altura del banco: 6.0 m
- Abertura de la trituradora (primario): 0.40 m
- Roca de dureza media
- No existen restricciones locales

1) Consideraciones generales:

Habiendo decidido utilizar un diámetro de 3" = 75 mm y apoyándonos en la tabla V.4 obtenemos lo siguiente:

- Profundidad del barreno = 7.2 m
- Línea de menor resistencia (V) = 2.6 m
- Espaciamiento = 3.25 m

a. Volumen por barreno:

V x E x Altura del banco (K)

$$2.6 (3.25) (6.0) = 50.70 \text{ m}^3$$

∴ Barrenación específica será $\frac{7.2}{50.70} = 0.14 \text{ m/m}^3$

2) Costo unitario de barrenación:

a. Maquinaria y equipo

- Una perforadora "Track-drill" equipada con un tramo de manguera de 30m de longitud y 3" de Ø

Costo-horario = _____ \$ 4,625.-

- Un compresor de 600 pcm. para accionar el "Track"

Costo-horario = _____ \$ 6,206.-

Costo del Equipo = _____ \$10,831.- hr.

- Rendimiento:

La velocidad de perforación de un Track-drill, afectada por las reducciones de tiempo efectivo y eficiencia, es de aproximadamente 10.0 m/hr. Afectada por el factor de barrenación específica (m/m^3) es de:

$$10.0 \times 0.14 = 71.42 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Por ende el costo por barrenación será --

$$\frac{10,831}{71.42} = \$151.65/\text{m}^3$$

-----\$151.65/m³

3) Consumo de acero de barrenación

a. Para perforar un barreno de 7.2m requerimos del siguiente acero:

	Costo
- 1 zanco para perforadora -----	\$ 91,630.-
- 3 barras de extensión de 10ft c/u=3m ----	\$ 302,610.-
- 2 coples -----	\$ 65,680.-
- 1 broca de 3" Ø -----	\$ 150,400.-
7 piezas Suma -----	\$ 610,320.-

Costo medio del acero:

$$\$ 610,320.- \div 7 = \$ 87,188.57$$

b. Desgaste del acero:

Para perforar 7.2m:

- el zanco trabaja toda la profundidad	7.2m
- la 1 ^a barra de extensión trabaja	3.0m
- la 2 ^a barra de extensión trabaja	6.0m
- la 3 ^a barra de extensión trabaja	7.2m
- el 1er. cople trabaja hasta	6.0m
- el 2º cople trabaja hasta	7.2m
- la broca trabaja toda la profundidad	7.2m
T o t a l -----	43.8m

O sea que para perforar 7.2m se desgastan 43.8m de acero.

Por lo tanto, el consumo de acero es $\frac{43.8}{7.2} = 6.08m$ de acero por barreno.

c. Duración del acero: (ver tabla III.5) varía de 200 a 1000m según la dureza de la roca.

Para este material suponemos una duración de 600m.

entonces: $\frac{600}{6.08} = 98.63$ m de barrenos por cada pieza de acero.

entonces: $\frac{87,188.57}{98.63} = \883.99 por cada metro de barrenación.

Sabemos que 1m de barrenación nos proporciona 7.14 m^3 (Inversa de perforación específica m/m^3)

Por lo tanto: $\frac{883.99}{7.14} = \text{-----} \$ 123.80/\text{m}^3$

4) Consumo de explosivos:

De la misma tabla V.4 obtenemos lo siguiente:

- carga de fondo; (Qb) 15.30 kg. x \$1,070.- = \$16,371.-
esta carga sería "Tovex 700" (ver lista de precios al final de este capítulo).

- carga de columna (Qp); 4.7 kg. x \$224.20 = \$1,053.74
en esta ocasión se usa "mexamón"
(ver lista de precios)

- para el encendido necesitamos una pieza de estopín mili
segundos de 5.0m = \$ 675.60

- 3.0m de alambre #14 para añadidura del estopín a fin de
alcanzar la profundidad y amarres = \$ 30.62

Suma -----\$18,130.96

O sea que un barreno consume \$18,130.96 en explosivos.
Por otro lado, sabemos que un barreno nos proporciona --
 50.70 m^3 .

Por lo tanto $\frac{18,130.96}{50.70 \text{ m}^3} = \text{-----} \$ 357.61/\text{m}^3$

5) Personal para voladura:

	Salario Real	Importe
- 0.2 de cabo	\$ 4,518.84	\$ 903.77
- 1 poblador	4,374.73	4,374.73
- 1 ayudante	3,463.76	<u>3,463.76</u>
	Suma -----	\$ 8,742.26 /jornada

rendimiento:

Una cuadrilla "carga" aproximadamente

7 barrenos en una jornada = 355 m³

por lo tanto: $\frac{8,742.26}{355} = \text{-----} \$ 24.62/\text{m}^3$

6) RESUMEN :

CONCEPTO	Costo (m ³)
- Barrenación	\$ 151.65
- Acero de barrenación	123.80
- Explosivos	357.61
- Personal de "voladuras"	<u>24.62</u>
	Costo directo ---\$ 657.68
- Considerando un 10% por "moneo"	<u>65.76</u>
	Suma -----\$ 723.44
- Considerando un 35% por concep	
to indirectos y utilidad	<u>253.20</u>
PRECIO UNITARIO -----	\$ 976.64/m ³

B) Para construcción de escolleras.

El cálculo de los costos de explotación de un banco para la construcción de escolleras, se efectúa siguiendo los mismos pasos que en el ejemplo anterior, con la salvedad de hacer previamente alguno de los artificios indicados en el inciso IV.2.2 para conseguir menor fragmen-

tación. Tales artificios son los siguientes:

- Carga específica (Kg/m^3) baja
- Espaciamiento desfavorable para la rotura E-V menor de 1. O sea que podemos ampliar la separación entre barrenos.
- Voladura instantánea. Es decir, realizar la voladura de los barrenos sin defasamiento al momento del estallido.
- Voladura de una hilera en cada tronada. Si lo hacemos de esta manera, no hay ayuda de los barrenos posteriores para la fragmentación.
- Combinación de estos métodos de acuerdo con las circunstancias.

V.1.2 En caja

Cabe subrayar que los trabajos de barrenación en caja son aquellos destinados a la apertura de calles, construcción de plataformas para desplante de estructuras, apertura de vías de comunicación, etcétera. Por ende, en la mayoría de los casos los cortes de roca no serán muy grandes, de manera que se pueden considerar como bancos bajos. Por ello no es recomendable el uso de grandes diámetros de barrenación en este tipo de obras. Por lo regular, y debido a que en México no existe una gran variedad en lo que se refiere a diámetros pequeños, se acostumbra utilizar diámetros de 40 milímetros, que es el acero de barrenación más comercial con que contamos.

Ejemplo:

Se requiere realizar algunas voladuras para la apertura de calles en un nuevo fraccionamiento. Este se encuentra en las orillas de la zona urbana, lo cual facilita los trabajos. Según el proyecto, los cortes de roca va-

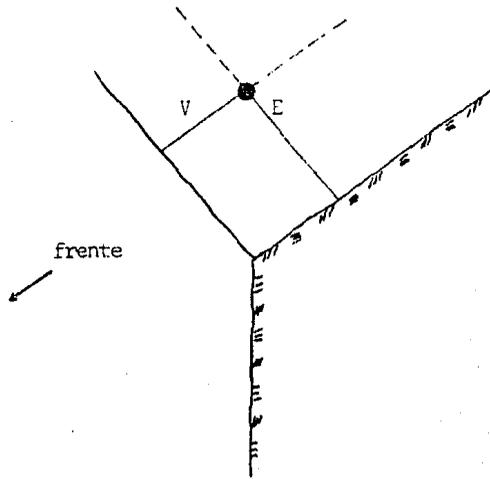
rían entre 2.0 y 3.0 metros. Consideramos también que la roca es de dureza media.

Para el desarrollo del presente ejemplo nos apoyaremos en la tabla V.1 contenida al final de este capítulo, la cual corresponde a diámetros de barrenación de 29 a 40 milímetros.

1) Planteamientos generales:

Consideraremos un corte de 2.5 metros de altura. De la tabla V.1 obtenemos los siguientes datos:

- Profundidad del barreno ----- 3.0 metros
- Línea de menor resistencia (v) ----- 1.1 metros
- Espaciamiento (E) ----- 1.25 metros



a. Volumen por barreno:

$$V \times E \times K$$
$$1.1 \times 1.25 \times 2.5 = 3.43 \text{ m}^3$$

Aquí se toma la altura del corte y no la profundidad del barreno, ya que ésta se ve afectada por la sobrebarrenación.

Por lo tanto, la barrenación específica será:

$$\frac{3.0}{3.43} = 0.87 \text{ m/m}^3$$

2) Costo unitario de barrenación:

a. Maquinaria y equipo

- Se requiere un compresor de 250 pcm, equipado con 2 perforadoras, mangueras y lubricadores.

Costo Horario: \$ 6,212.27

- Rendimiento:

El rendimiento de perforación afectado por los coeficientes de tiempo efectivo y eficiencia es de 5m/hr. Como contamos con dos perforistas, el rendimiento será de 10 m/hr.

Afectando el rendimiento por el factor de barrenación específica (m/m^3) tenemos:

$$10.0 \div 0.87 = 11.49 \text{ m}^3/\text{hr.}$$

- Por lo tanto, el costo por este concepto será:

$$\frac{\$ 6,212.27}{11.49} = \text{-----} \$ 540.67/\text{m}^3$$

3) Consumo de acero de barrenación:

- a. Para perforar un barreno de 3.0 metros necesitamos el siguiente acero:

	Costo
- 1 barrena de acero integral de 0.8 metros	\$ 73,000.-
- 1 " " " " " 1.6 metros	81,050.-
- 1 " " " " " 2.4 metros	88,200.-
- <u>1</u> " " " " " 3.2 metros	<u>96,000.-</u>
4 piezas	Suma -----\$338,250.-

- Costo medio del acero:

$$\$338,250.- \div 4 = \$84,562.50$$

b. Desgaste del acero:

La 1 ^a	barra	trabaja	un	espesor	de	0.8	metros	
La 2 ^a	"	"	"	"	"	1.6	metros	
La 3 ^a	"	"	"	"	"	2.4	metros	
La 4 ^a	"	"	"	"	"	<u>3.0</u>	<u>metros</u>	
Total -----							7.8	metros

O sea que al perforar 3.0 metros se desgastan 7.80 m de acero.

Por lo tanto, el consumo será: $\frac{7.8}{3} = 2.6$ m por barreno.

c. Duración del acero: (ver tabla III.5)

Varía entre 200 y 1000 metros, según la dureza de la roca. Considerando 600 metros tenemos:

$$\frac{600}{2.6} = 230.76 \text{ m barreno por pieza de acero}$$

entonces:

$$\frac{84,562.50}{230.76} = \$366.45/\text{m de barrenación.}$$

Afectando a este resultado por el factor de barrenación específica: (m/m³):

$$366.45 \times 0.87 = \text{-----} \$318.81/\text{m}^3$$

4) Consumo de explosivos:

De la tabla V.1 obtenemos:

- carga de fondo (Qb):

$$1.00 \text{ kg} \times \$1,465.20 =$$

$$\$ 1,465.20/\text{barreno}$$

utilizado "tovex 100" (ver lista de

explosivos al final de este capítulo)

- carga de columna (Qp):
("mexamón")
0.350 kg. x 224.20 = \$ 78.47/barrero

- empleando en el encendido
estopines instantáneos de
3.5 metros de largo = \$ 549.20/barrero
Suma ----- \$ 2,092.87/barrero

Por lo tanto $\frac{\$2,092.87}{3.43\text{m}^3} = \text{-----} \$ 610.17/\text{m}^3$

5) Personal para voladura:	Salario Real	Importe
- 0.2 de cabo	\$ 4,518.84	\$ 903.77
- 1 poblador	4,374.73	4,374.73
- 1 ayudante	3,463.76	<u>3,463.76</u>
	Suma -----	\$ 8,742.26/jornada

- Rendimiento:

La cuadrilla considerada tiene una producción aproxima
da de 80 barrenos por turno. O sea:

$$80 \times 3.43 = 274.4 \text{ m}^3/\text{jornada}$$

Por lo tanto: $\frac{8,742.26}{274.4} = \text{-----} \$ 31.86/\text{m}^3$

6) RESUMEN:

CONCEPTO	Costo /m ³
- Barrenación	\$ 540.67
- Acero de barrenación	318.81
- Explosivos	610.17
- Personal de voladuras	<u>31.86</u>
COSTO DIRECTO -----	\$1,501.51
- Considerando un 35% por concepto de indirectos y utilidad	\$ <u>525.53</u>
PRECIO UNITARIO -----	<u>\$2,027.04/m³</u>

Resulta interesante comparar el costo obtenido en este ejemplo con el del caso anterior. Se puede observar que este último asciende a más del doble del primero.

V.1.3 En zanja

Debido a que la mayor parte de los trabajos en zanja se realizan en zonas urbanas, es común la utilización de pequeños diámetros en la barrenación (40 mm). Además, - no es aconsejable emplear grandes diámetros debido a que la economía que se haya logrado en la barrenación y la - voladura podría perderse en horas máquina de rezaga. Eso sin contar la sobreexcavación que se llegue a producir.

Este no es el caso cuando la obra en cuestión es - un canal, ya que este tipo de trabajos se realiza por lo general en condiciones completamente libres. Cuando se trate de este tipo de obras, podremos utilizar diámetros mayores y apoyarnos en las tablas que hemos usado para - voladuras en banco, así como en la tabla V.7 para la rea - lización de las primeras voladuras (de prueba).

A continuación se presenta un ejemplo en el cual se obtendrá el costo por m³ de material III excavado en zan - ja.

Ejemplo:

Se ha de efectuar un trabajo de voladura en zanja, - con la mayoría de las condiciones a favor. Es decir, no se requiere utilizar materiales de protección al momento de realizar la voladura.

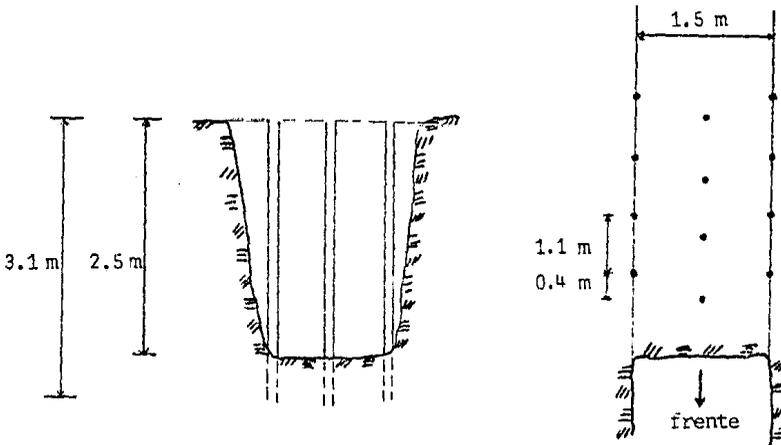
- Ancho de la zanja: 1.5 metros
- Profundidad promedio de la zanja: 2.5 metros

Se ha decidido el uso de perforadoras manuales, con diámetros de 40 milímetros.

Los cálculos de perforación y de carga se realizan - con base en la tabla V.6. De ésta obtenemos lo siguiente:

1) Consideraciones generales:

- Profundidad de los barrenos — 3.1 metros
- Línea de menor resistencia (V) — 1.1 metros



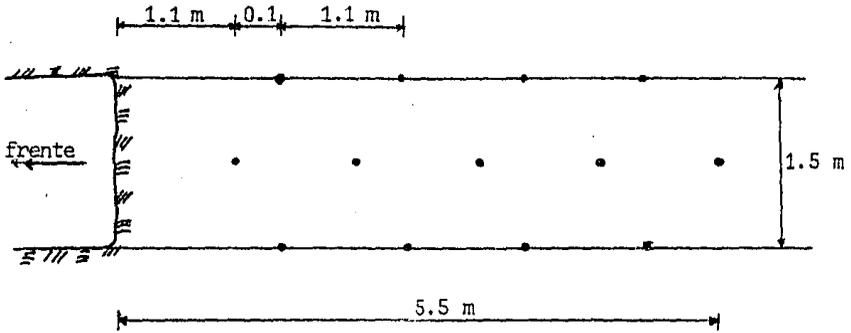
En este caso los números indican la secuencia de encendido al utilizar estopines de retardo o milisegundos.

a. Rendimiento por perforadora

- Un perforista tiene un rendimiento aproximado de - 5 m/hr., ya afectado por los coeficientes de tiempo efectivo y eficiencia. Esto es:

$$5.0 \times 8 \text{ hr.} = 40 \text{ m/jornada.}$$

Ahora bien, $40 \div 3.1$ (profundidad de los barrenos) = 12.9 barrenos \approx 13 si pasamos esto al esquema de perforación:



tenemos $V = 5.5 \times 1.5 \times 2.5 = 20.62 \text{ m}^3/\text{jornada}$ (1 perf.)

b. Volumen por barreno:

$$20.62 \div 13 = 1.58 \text{ m}^3$$

- Luego, la barrenación específica será:

$$\frac{3.1}{1.58} = 1.96 \text{ m/m}^3$$

2) Costo de barrenación:

a. Maquinaria y equipo:

- Si utilizamos un compresor de 250 pcm, equipado con 2 perforadoras, mangueras y lubricadores.

Costo horario: \$6,212.27

O sea, \$49,698.16/jornada

Rendimiento:

Como ya vimos, un perforista rinde $20.63 \text{ m}^3/\text{jornada}$.

Dado que trabajarán dos perforistas, tenemos un rendimiento de: 41.26 m^3 .

- Por lo tanto, el costo por este concepto será:

$$\frac{49,698.16}{41.26} = \text{-----} \$ 1,204.51/\text{m}^3$$

3) Consumo de acero de barrenación:

a. Para perforar un barreno de 3.1 metros necesitamos las siguientes piezas de acero:

	Costo
- 1 barrena de acero integral de 0.8m -----	\$ 73,000.-
- 1 " " " " " 1.6m -----	81,050.-
- 1 " " " " " 2.4m -----	88,200.-
- <u>1</u> " " " " " 3.2m -----	<u>96,000.-</u>
4 piezas	\$338,250.-

- costo medio del acero:

$$338,250 \div 4 = \$84,562.50$$

b. Desgaste del acero:

La 1 ^a barra trabaja un espesor de 0.8m
La 2 ^a " " " " " 1.6m
La 3 ^a " " " " " 2.4m
La 4 ^a " " " " " <u>3.1m</u>
Total: 7.9m

O sea, que para perforar 3.1m se desgastan 7.9m de acero.

Por lo tanto, el consumo será $\frac{7.9}{3.1} = 2.55\text{m}$ por barreno.

c. Duración de acero:

Varía en 200 y 1000 metros, de acuerdo con la dureza de la roca. Considerando 600 metros, tenemos:

$$\frac{600}{2.55} = 235.29/\text{m de barrenación.}$$

Entonces:

$$\frac{84,562.50}{235.29} = \$359.39/\text{m de barrenación}$$

Afectando a este resultado por el factor de barrenación específica: (m/m³)

$$359.39 \times 1.96 = \text{-----} \$ 704.42/\text{m}^3$$

4) Consumo de explosivos:

De la misma tabla (V.6):

- carga de fondo en barrenos centrales
por barreno 0.7 kg x 1,465.20 \$ 1,025.64
 - carga de fondo en barreno de contorno:
0.65 kg.

consideraremos la más alta con dinamita
tovex 100
(ver lista de precios al final de este capítulo)
 - carga de columna:
1.0 x 224.20 = \$ 224.20
con mexamon
 - para el encendido se recomienda utilizar
estopines milisegundos. Se requiere una
pieza por barreno, de 3.0m de longitud \$ 565.20
 - necesitamos 1.2 m de alambre No. 14 para
añadir y anarrar los estopines \$ 12.24
- Suma ----- \$ 1,827.28/barreno
- Por lo tanto: $\frac{1,827.28}{1.58} = \text{-----} \$ 1,156.50/m^3$

5) Personal para voladura:

	Salario Real	Importe
- 0.2 de cabo	\$ 4,518.84	\$ 903.77
- 1 poblador	4,374.73	4,374.73
- 1 ayudante	3,463.76	<u>3,463.76</u>
	Suma -----	\$ 8,742.26/jornada

- Rendimiento:

La cuadrilla en cuestión nos da un rendimiento aproximado de 80 barrenos por jornada. O sea:

$$80 \times 1.58 = 126.40 \text{ m}^3$$

Por lo tanto: $\frac{8,742.26}{126.40} = \text{-----} \$ 69.16/m^3$

6). RESUMEN

CONCEPTO	Costo/m ³
- Barrenación	\$ 1,204.51
- Acero de barrenación	704.42
- Explosivos	1,156.50
- Personal para voladuras	<u>69.16</u>
COSTO DIRECTO -----	\$ 3,134.59
- 35%: indirectos y utilidad	<u>1,097.10</u>
PRECIO UNITARIO -----	\$ 4,231.69/m ³

Cabe señalar que cuando este tipo de trabajo se realiza con ciertas restricciones -tales como impedir al máximo tanto las vibraciones del terreno como las "proyecciones" de fragmentos de roca al realizar la voladura-, el precio por los conceptos vistos en el ejemplo se incrementa en más de un 100 por ciento. Esto se debe sobre todo a la disminución de los rendimientos en la voladura, ya que en estos casos es necesario utilizar materiales de protección, tales como mallas de acero o de yute, llantas, etcétera.

En seguida, a manera de ejemplo comparativo se presenta otro análisis para este mismo problema, salvo que ahora se utilizará un diámetro de barrenación mayor. Las condiciones del problema son las mismas, es decir:

ancho de zanja ----- 1.5 metros
profundidad ----- 2.5 metros

Así pues, se ha decidido utilizar perforadora sobre orugas "track-drill", equipado para realizar perforaciones de 2" de Ø.

Para los cálculos de perforación y carga de explosivos nos apoyaremos en la tabla V.7. De ella obtenemos lo siguiente:

1) Consideraciones generales:

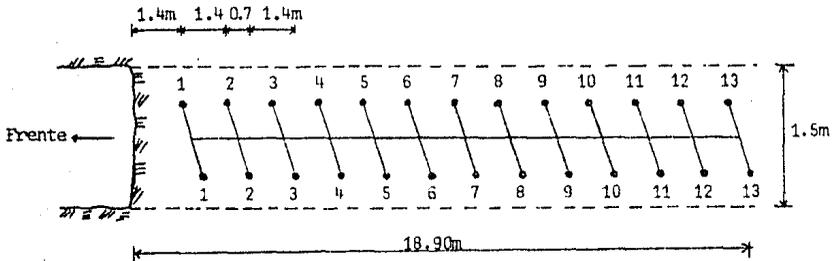
- Profundidad de los barrenos 3.1m, para obtener una excavación efectiva de 2.5m.
- Línea de menor resistencia (V) --- 1.1m. En este caso como el \emptyset es mayor utilizaremos $V_{max} = 1.4m$.

a. Rendimiento:

El rendimiento de perforación de un track-drill es de aproximadamente 10 m/hr., por tanto, en una jornada de trabajo tendremos:

$$10.0 \times 8.0 = 80 \text{ m/hr.}$$

Ahora bien, $80 \div 3.1$ (prof. de los barrenos) = 25.80 barrenos. Tomaremos 26 barrenos/jornada. Pasando esto a un esquema de perforación:



Los números indican la secuencia de encendido al usar retardos o bien, estopines milisegundos (ms).

NOTA IMPORTANTE: No se utilizó el mismo esquema de perforación, ya que de hacerlo así obtendríamos un desperdicio en el diámetro de barrenación, además de obtener probablemente una sobreexcavación excesiva.

del esquema de perforación tenemos:

$$v = 18.90 \times 1.50 \times 2.5 = 70.87 \text{ m}^3/\text{jornada}$$

$$70.87 \div 8 = 8.56 \text{ m}^3/\text{hr.}$$

b. Volumen por barreno:

$$70.87 \div 26 = 2.72 \text{ m}^3/\text{barreno}$$

entonces, la barrenación específica será:

$$\frac{3.1}{2.72} = 1.14 \text{ m/m}^3$$

2) Costo de la barrenación:

a. Maquinaria y equipo:

- 1 perforadora "Track-drill" ATD-3100 equipada con un tramo de manguera de 30m de longitud.

Costo horario ----- \$ 4,625.-

- 1 compresor de 600 pcm accionar el "Track"

Costo horario ----- \$ 6,206.-

Costo del equipo ----- \$10,831/hr.

Entonces el costo de la barrenación será:

$$10,831.- \div 8.56 = \$ \underline{1,265.30/m}^3$$

3) Consumo de acero de barrenación:

a. Para perforar un barreno de 3.1m necesitamos el siguiente acero:

- 1 zanco adaptador ----- \$ 91,630.-

- 1 barra de extensión
de 10 pies de longitud ----- 100,870.-

- 1 cople ----- 25,100.-

- 1 broca de 2" Ø ----- \$ 76,310.-
4 piezas \$293,910.-

- costo medio del acero:

$$\$ 293,910.- \div 4 = \$73,477.50$$

b. Desgaste del acero:

el zanco trabaja un espesor de 3.1m
la barra de extensión 3.1m
el cople 3.1m
la broca 3.1m
12.4m

es decir, que para perforar 3.1m se desgastan 12.4m de acero, por lo tanto el consumo será:

$$12.4 \div 3.1 = 4.0m \text{ por barreno.}$$

c. Duración del acero:

Consideraremos 600 metros:

Por tanto $600 \div 4 = 150$ m barreno

entonces $\$73,477.50 \div 150 = \$489.85/m$ barreno

afectado por el factor de barrenación específica:

$$489.85 \times 1.14 = \$ 558.43/m^3$$

4) Consumo de explosivos:

De la misma tabla (V.7): carga por barreno: (ver lista de precios al final de este capítulo)

- carga de fondo (tovex 700): $0.75 \text{ kg} \times \$1,070.-/kg = \$ 802.50$

- carga de columna (supermexamon 'D') $1.15kg \times \$224.20/kg =$
257.83

- encendido; 1 estopin "ms" de 3.0 m de longitud $\$565.20 =$
565.20

- 1.2m de alambre No. 14 para añadir y amarrar los esto
pines = 12.24
\$1,637.77/
barreno

Entonces: $\$1,637.77 \div 2.72 = \$602.12/m^3$

5) Personal para voladura:

	Salario Real	Importe
- 0.2 de cabo	\$ 4,518.84	\$ 903.77
- 1 poblador	4,374.73	4,374.73
- 1 ayudante	3,463.76	<u>3,463.76</u>
Suma -----		\$ 8,742.26/jornada

- Rendimiento:

La cuadrilla en cuestión nos da un rendimiento aproximado de 80 barrenos/jornada. O sea:

$$80 \times 2.72 = 217.60 \text{ m}^3$$

$$\text{Por tanto: } \$8,742.26 \div 217.60 = \$40.17/\text{m}^3$$

6) RESUMEN

CONCEPTO	Costo Unitario/(m ³)
- Barrenación	\$ 1,265.30
- Acero de barrenación	558.43
- Explosivos	602.12
- Personal para voladuras	<u>40.17</u>
COSTO DIRECTO -----	\$ 2,466.02/m ³
- 35%: indirectos y utilidad	<u>863.10</u>
PRECIO UNITARIO -----	\$ 3,329.12

Conclusión:

Comparando con el ejemplo anterior:

- Se observa que aumentando el diámetro de barrenación y variando el esquema de perforación se obtiene un ahorro en los costos del 27% aproximadamente, lo cual viene a corroborar lo mencionado anteriormente "a mayor diámetro mayor producción".

TABLA V,1

Tabla de perforación y carga para diámetro del taladro de 40 a 29mm.

Inclinación del taladro: 3:1

Altura de banco	Profundidad T.	Piedra Máxima	Piedra Práctica	Espaciamiento P.	Carga de fondo	Carga de Columna	Carga Total	Carga Específica	
K	H	V _{max}	V	E	Q _b	Q _p	Q _{pk}	Q _{tot}	
m	m	m	m	m	kg	kg	kg/m	kg/barrero	
								kg/m ³	
0.5	0.8	0.50	0.50	0.65	0.075	--	--	0.075	0.46
0.8	1.1	0.60	0.60	0.75	0.15	--	--	0.15	0.41
1.0	1.4	0.80	0.80	1.00	0.30	--	--	0.30	0.38
1.2	1.6	0.90	0.90	1.10	0.45	--	--	0.45	0.38
1.5	1.9	1.00	1.00	1.25	0.50	0.10	0.40	0.60	0.35
1.7	2.2	1.00	1.00	1.25	0.60	0.15	0.40	0.75	0.35
2.0	2.5	1.10	1.10	1.25	0.70	0.20	0.40	0.90	0.35
2.5	3.0	1.20	1.10	1.35	1.00	0.35	0.50	1.35	0.36
3.0	3.6	1.40	1.25	1.50	1.70	0.35	0.50	2.05	0.36
3.5	4.2	1.58	1.40	1.75	2.50	0.55	0.70	3.05	0.35
4.0	4.7	1.58	1.40	1.75	2.50	0.90	0.70	3.40	0.35
4.5	5.2	1.53	1.35	1.70	2.30	1.25	0.70	3.55	0.35
5.0	5.7	1.53	1.35	1.70	2.30	1.60	0.70	3.90	0.35
5.5	6.2	1.49	1.25	1.55	2.10	1.75	0.60	3.85	0.35

Nota: Piedra = línea de menor resistencia (máxima y práctica)

Taladro - barrero

TABLA V.2

Tabla de perforación y carga para diámetro del taladro de 51mm.
Inclinación del taladro: 3:1

Altura de banco	Profundidad Taladro	Piedra Máxima	Piedra Práctica	Espaciamiento Práctico	Carga de fondo	Carga de Columna	Carga Total	Carga Específica
K	H	V _{max}	V	E	Q _b	Q _p	Q _{pk}	Q _{tot}
m	m	m	m	m	kg	kg	kg/m	kg/barrero
1.0	1.4	1.00	0.80	1.00	0.40	--	--	0.40
2.0	2.4	1.00	1.00	1.25	0.55	0.50	0.60	1.05
3.0	3.6	1.50	1.50	1.65	2.10	0.70	0.70	2.80
4.0	4.8	2.00	1.80	2.25	5.20	0.40	1.00	5.60
5.0	6.0	2.30	2.10	2.60	7.80	1.30	1.30	9.10
6.0	7.0	2.30	2.05	2.55	7.80	2.50	1.30	10.30
7.0	8.1	2.30	2.00	2.50	7.80	4.00	1.30	11.80
8.0	9.1	2.30	2.00	2.50	7.80	5.30	1.30	13.10
9.0	10.2	2.30	1.95	2.40	7.80	6.80	1.30	14.60
10.0	11.2	2.30	1.90	2.35	7.80	8.20	1.30	16.00
12.0	13.3	2.30	1.85	2.30	7.80	11.00	1.30	18.80
14.0	15.4	2.30	1.80	2.25	7.80	13.80	1.30	21.60

TABLA V.3

Tabla de perforación y carga para diámetro del taladro de 64mm.

Inclinación del taladro: 3:1

Altura de banco	Profundidad Taladro	Piedra Máxima	Piedra Práctica	Espaciamiento Práctico	Carga de fondo	Carga de Columna	Carga Total	Carga Específica	
K	H	V _{max}	V	E	Q _b	Q _p	Q _{pk}	Q _{tot}	q
m	m	m	m	m	kg	kg	kg/m	kg/barrero	kg/m ³
2.0	2.4	1.00	1.00	1.25	0.60	0.50	0.60	1.10	0.48
3.0	3.6	1.50	1.35	1.65	2.10	1.00	0.80	3.10	0.46
4.0	4.8	2.00	1.80	2.25	5.20	1.50	0.90	6.70	0.41
5.0	6.0	2.50	2.20	2.75	7.80	2.70	1.50	10.50	0.35
6.0	7.2	2.88	2.60	3.25	15.30	1.70	2.00	17.00	0.34
7.0	8.3	2.88	2.55	3.20	15.30	4.00	2.00	19.30	0.34
8.0	9.3	2.88	2.55	3.20	15.30	6.00	2.00	21.30	0.33
9.0	10.4	2.88	2.50	3.10	15.30	8.30	2.00	23.60	0.34
10.0	11.4	2.88	2.50	3.10	15.30	10.30	2.00	25.60	0.33
11.0	12.5	2.88	2.45	3.05	15.30	12.60	2.00	27.90	0.34
12.0	13.5	2.88	2.40	3.00	15.30	14.70	2.00	30.00	0.35
13.0	14.6	2.88	2.40	3.00	15.30	16.70	2.00	32.00	0.34
14.0	15.6	2.88	2.35	2.90	15.30	19.00	2.00	34.30	0.36
15.0	16.7	2.88	2.30	2.85	15.30	21.30	2.00	36.60	0.37

TABLA V.4

Tabla de perforación y carga para diámetro de taladro de 75mm.

Inclinación del taladro: 3:1

Altura de banco	Profundidad Taladro	Piedra Máxima	Piedra Práctica	Espaciamiento Práctico	Carga de fondo	Carga de Columna	Carga Total	Carga Específica	
K	H	V _{max}	V	E	Q _b	Q _p	Q _{pk}	Q _{tot}	q
m	m	m	m	m	kg	kg	kg/m	kg/darrreno	kg/m ³
4	4.8	2.00	1.80	2.25	5.20	2.60	1.20	7.80	0.48
5	6.0	2.50	2.20	2.75	7.80	5.60	2.00	13.40	0.44
6	7.2	3.00	2.60	3.25	15.30	4.70	2.60	20.00	0.39
7	8.5	3.37	3.00	3.75	24.60	2.10	2.80	26.70	0.34
8	9.6	3.37	3.00	3.75	24.60	6.20	2.80	30.80	0.34
9	10.6	3.37	3.00	3.75	24.60	9.00	2.80	33.60	0.33
10	11.7	3.37	2.95	3.70	24.60	12.20	2.80	36.80	0.34
11	12.7	3.37	2.90	3.60	24.60	15.10	2.80	39.70	0.35
13	14.8	3.37	2.85	3.55	24.60	21.10	2.80	45.70	0.35
14	15.9	3.37	2.80	3.50	24.60	24.40	2.80	49.00	0.36
15	16.9	3.37	2.80	3.50	24.60	27.20	2.80	51.80	0.35
16	18.0	3.37	2.75	3.45	24.60	30.40	2.80	55.00	0.36
17	19.0	3.37	2.75	3.40	24.60	33.20	2.80	57.80	0.36
18	20.0	3.37	2.70	3.35	24.60	36.10	2.80	60.70	0.37
19	21.1	3.37	2.70	3.30	24.60	38.90	2.80	63.50	0.37
20	22.2	3.37	2.65	3.30	24.60	42.40	2.80	67.00	0.38

TABLA V.5

Tabla de perforación y carga para diámetro de taladro de 100mm.

Inclinación del taladro: 3:1

Altura de banco	Profundidad Taladro	Piedra Máxima	Piedra Práctica	Espaciamiento Práctico	Carga de fondo	Carga de Columna	Carga Total	Carga Específica	
K	H	V _{max}	V	E	Q _b	Q _p	Q _{pk}	Q _{tot}	q
m	m	m	m	m	kg	kg	kg/m	kg/barrero	kg/m ³
10	11.7	4.50	4.00	5.00	58.00	9.00	5.00	67.00	0.33
12	14.0	4.50	4.00	5.00	58.00	21.00	5.00	79.00	0.33
15	17.2	4.50	3.90	4.85	58.00	37.50	5.00	95.50	0.34
20	22.4	4.50	3.80	4.75	58.00	69.00	5.00	127.00	0.35
25	27.7	4.50	3.60	4.50	58.00	89.00	5.00	147.00	0.36
30	32.9	4.50	3.50	4.35	58.00	118.00	5.00	176.00	0.38

TABLA V.6

La tabla siguiente corresponde a barrenos de 40 mm diámetro, y es aplicable a zanjas de 2.0 m de anchura con hileras de tres barrenos en fondo, y a zanjas de 3.0 m de anchura con hileras de cuatro barrenos en fondo.

Profundad. de la zanja	Profundad. de los barrenos	V _{max}	V	Carga de fondo kg/barreno		Carga de		Columna	
				Barrenos Centrales	Barrenos Contorno	Barrenos Centrales	Barrenos Contorno		
m	m	m	m	kg	kg	kg	kg/m	kg	kg/m
0.6	0.9	0.6	0.6	0.20	0.20	--	--	--	--
1.0	1.4	0.8	0.8	0.30	0.25	0.20	0.50	0.20	0.40
1.5	2.0	1.4	1.1	0.45	0.40	0.50	0.50	0.45	0.40
2.0	2.5	1.4	1.1	0.60	0.55	0.70	0.50	0.60	0.40
2.5	3.1	1.4	1.1	0.70	0.65	1.00	0.50	0.85	0.40
3.0	3.6	1.4	1.1	0.80	0.75	1.20	0.50	2.00	0.40
3.5	4.1	1.4	1.1	1.00	0.95	1.40	0.50	1.15	0.40
4.0	4.6	1.4	1.1	1.20	1.00	1.60	0.50	1.40	0.40

TABLA V.7

La tabla siguiente corresponde a barrenos de 50mm de diámetro, y es aplicable a zanjas de 2.0m de anchura con hileras de tres barrenos en fondo, y a zanjas de 3.0m de anchura con los barrenos en hileras de cuatro en fondo.

Profdad de la zanja	Profdad. de los barrenos	V _{max}	V	Carga de fondo kg/Barreno		Carga de		Columna	
				Barrenos Centrales	Barrenos Contorno	Barrenos Centrales	Barrenos Contorno	kg	kg/m
m	m	m	m	kg	kg	kg	kg/m	kg	kg/m
0.6	0.9	0.6	0.6	0.20	0.20	--	--	--	--
1.0	1.4	0.8	0.8	0.30	0.25	0.20	0.50	0.20	0.40
1.5	2.0	1.4	1.1	0.45	0.40	0.50	0.50	0.45	0.40
2.0	2.5	1.4	1.1	0.65	0.60	0.70	0.50	0.60	0.40
2.5	3.1	1.4	1.1	0.75	0.70	1.15	0.60	0.85	0.40
3.0	3.6	1.4	1.1	0.85	0.80	1.50	0.60	1.00	0.40
3.5	4.1	1.4	1.1	1.10	1.05	1.80	0.60	1.15	0.40
4.0	4.6	1.4	1.1	1.30	1.10	2.10	0.60	1.40	0.40

V.2 Programación y Control de Equipo

Una obra cualquiera puede ser ejecutada mediante diversos procedimientos de construcción y empleando diferentes equipos. Sin embargo, como es lógico, siempre existirá un procedimiento en especial y un equipo determinado, gracias a los cuales las operaciones del contratista logren realizarse en forma óptima desde el punto de vista de la economía.

Por otra parte, el mercado de la construcción ofrece una nutrida variedad de maquinaria de diferentes marcas, modelos, capacidades y especificaciones. Deberán por tanto realizarse estudios cuidadosos a fin de determinar cuál es la maquinaria más conveniente para la óptima ejecución de la obra o las obras que se comprometa a llevar a cabo la empresa constructora.

La programación del equipo puede hacerse empíricamente, con base en la experiencia adquirida en la realización de otras obras. O bien -y es lo más conveniente- analíticamente, con apoyo en métodos tales como el de la ruta crítica, el diagrama de barras, etcétera. La tabla V.8 puede ser de mucha utilidad para la programación de equipo de obras de barrenación a cielo abierto, amén de todos los trabajos de movimiento de tierras.

TABLA V. 8

Equipo común para explotación de rocas y movimiento de tierras

Tipo de material	Despalme y limpieza (Si se requiere)	Preparación del banco	Excavación y carga		Transporte	
			Tamaño máximo (m)	Equipo	Distancia (m)	Equipo

R O C A

Roca sana (superficialmente)	Tractor de orugas con cuchilla frontal, inclinable	Barrenación y trozado de acuerdo al tipo de roca y al tamaño máximo por obtener	0.75 x 2.00	Pala mecánica	Menos de 150	Volquete o camión
			0.30 x 0.75	Pala mecánica o cargador frontal	De 150 a 2,500	Vagoneta o camión
			0.075 x 0.30	Pala mecánica o cargador frontal	De 2,500 a 100,000	Camión o remolque
Roca alterada (superficialmente muy alterada)	Tractor de orugas o neumáticos con cuchilla frontal inclinable	Barrenación y trozado, escarificación y moneo sólo escarificación	0.30 x 0.30	Pala mecánica o cargador frontal	Menos de 150	Volquete o camión
			0.075 x 0.30	Pala mecánica o cargador frontal	Del 50 a 2,500	Vagoneta o camión
					Más de 2,500	Camión o remolque
Roca muy alterada (Suelo y fragmentos chicos superficiales)	Tractor de orugas o neumáticos con cuchilla frontal inclinable o escropa jalada con tractor de orugas	Escarificación y moneo o sólo escarificación	0.075 x 0.75	Pala mecánica o Cargador Frontal	Menos de 150	Volquete o camión
					De 150 a 2,500	Camión o vagoneta
		Escarificación	x 0.075	Escropa	Menos de 150	Camión o remolque
					De 150 a 2,500	Escropa jalada con tractor de orugas o motoescrepa
			De 150 a 2,500	Escropa jalada con tractor neumático o motoescrepa		

S U E L O S

Aluviones	Tractor de orugas o neumático con cuchilla frontal inclinable	Escarificación y moneo	0,30 x 0,75	Pala mecánica o cargador frontal	Menos de 150	Volquete o camión
		Escarificación	0,075 x 0,30		De 150 a 2,500	Camión o vagoneta
	Draga	Ninguno	x 0,075	Draga de almeja o de arrastre	Más de 2,500	Camión o remolque
	Tractor de orugas o neumático con cuchilla frontal inclinable o escrepa jalada con tractor de oruga	Escarificación	x 0,075 Sobre N.A.F.	Escrepa	Menos de 150	Escrepa jalada con tractor de orugas o motoescrepa
					De 150 a 2,500	Escrepa jalada con tractor neumático o motoescrepa
Arenas, limos y arcillas	Tractor de orugas o neumático con cuchilla frontal inclinable	Escarificación compacto, cementado o duro	x 0,005	Pala mecánica motoelevadora cargador frontal	Menos de 150 De 150 a 2,500 Más de 2,500	Camión o volquete Camión o vagoneta Camión o remolque
	Escrepa jalada con tractor de oruga o motoescrepa tractor	Escarificación compacto, cementado o duro	x 0,005	Escrepa	Menos de 150	Escrepa jalada con tractor de oruga o motoescrepa
					De 150 a 250	Escrepa jalada con tractor neumático o motoescrepa
	Draga de arrastre o de almeja	Ninguno	x 0,005 Bajo el N.A.F.	Draga de arrastre o almeja	Menos de 150 De 150 a 2,500	Camión Camión o vagoneta
	Draga marina	Ninguno		Draga marina	Conducción hidráulica al tanque de sedimentación.	

En lo referente al control de equipo, es necesario - llevar un reporte diario, en el cual aparezcan aspectos importantes tales como:

- hora de iniciación de trabajos
- hora de terminación
- horas efectivas trabajadas
- consumos (diesel, aceites, refacciones, etcétera)
- observaciones

Llevando un control diario de cada una de las máquinas podremos determinar en cualquier momento el punto donde se localiza la falla (en caso de que exista). De esta manera será más sencillo poner el remedio adecuado para - evitar mermas en la utilidad de la obra.

En relación con este trabajo, se recomienda llevar también reportes de avance en la barrenación, así como de los consumos de broca, barrenas, explosivos, etcétera. En las tablas V. 9 y V. 10, se presentan dos ejemplos del control de la barrenación y de las voladuras.

REPORTE MENSUAL DE BARRENACION

HORAS PROG.	EFICIENCIA	m.l.		RENDIMIENTO m/hr.	CONSUMOS			CONSUMOS		ESPECIFICOS			
		BARRENADO	PROG.		EFICIENCIA	BROCAS	BARRAS	ZANCOS	COPLS	BROCAS/m	BARRAS/m	ZANCOS/m	COPLS/m
1,712	0.57	8,427	17,800	0.47	8.70	200	31	6	32	0.0237	0.0037	0.0097	0.0039
1,502	0.47	13,224	16,250	0.81	17.00	271	19	2	17	0.0395	0.0014	0.0202	0.0013
2,614	0.28	15,898	27,180	0.58	21.70	331	49	8	51	0.0209	0.0031	0.0005	0.0032
2,500	0.41	20,249	26,000	0.78	20.00	161	57	24	42	0.0228	0.0028	0.0012	0.0021
2,000	0.68	22,679	31,874	0.71	16.60	328	30	2	37	0.0145	0.0013	0.0001	0.0016
2,750	0.49	19,249	16,861	1.14	14.41	433	58	60	24	0.0225	0.0030	0.0031	0.0012
2,500	0.64	21,919	26,000	0.84	13.61	739	34	16	47	0.0337	0.0015	0.0007	0.0021
--	--	--	--	--	--	34	10	-	1	--	--	--	--
2,500	1.10	36,090	26,000	1.40	13.80	43	42	10	64	0.0012	0.0011	0.0003	0.0017
--	--	--	--	--	--	72	41	-	50	--	--	--	--
2,500	0.99	37,769	26,000	1.45	15.19	53	75	27	98	0.0014	0.0070	0.0097	0.0026
--	--	--	--	--	--	200	--	-	-	--	--	--	--
TOTALES: 20,638	0.63	195,503	213,965	--	--	2,765	446	155	463	--	--	--	--
PROMEDIOS: 2,293	0.63	21,722	23,774	0.92	15.20	307.2	49.6	17.5	51.4	0.0141	0.0023	0.0008	0.0024

NOTAS:

FORMULO:

REVISO:

Vo. Bo

REPORTE MENSUAL DE VOLADURA DE ROCAS

ACUMULADO:

MES	NUM. BARRE NOS.	PROF. MEDIA (m)	VOLUMEN (m ³)	C O N S U M O S						CONSUMOS ESPECIFICOS					
				ESTO PINES (No.)	CABLE (ml)	PRIMACORD (ml)	GODYNE (kg)	ANFOMEX (kg)	PROPOR CION (%)	ESTO PINES (No/m)	CABLE m/m ³	PRIMA- CORD m/m ³	GODYNE gr/m ³	ANFO MEX gr/m ³	EXPLOSIVO gr/m ³
MARZO	1619	7.05	92,565	1329	10,950	6,250	8,175	10,963	43-57	0.014	0.120	0.070	88.3	118.4	206.7
ABRIL	2111	6.78	131,117	1460	14,400	10,400	9,725	11,175	47-53	0.011	0.146	0.104	81.4	103.8	185.2
MAYO	2383	7.07	141,658	1441	11,450	13,085	11,550	14,150	45-55	0.011	0.101	0.094	88.3	105.0	193.3
JUNIO	2290	8.89	170,326	922	3,430	19,240	14,275	20,100	41-59	0.006	0.021	0.112	85.6	121.4	207.0
JULIO	4020	8.26	256,976	1845	6,083	28,148	21,250	30,025	41-59	0.008	0.025	0.115	85.1	116.8	201.9
AGOSTO	2610	10.67	204,081	743	6,982	27,130	16,889	27,475	38-62	0.004	0.034	0.133	82.8	134.6	217.4
SEPT.	2455	10.78	209,943	560	3,600	27,000	18,925	19,350	49-51	0.003	0.017	0.129	90.3	92.1	182.4
OCTUBRE	2170	10.90	172,317	562	3,564	23,398	19,200	14,875	56-44	0.004	0.022	0.131	113.8	89.6	203.4
NOV.	2622	10.13	205,752	504	2,738	27,321	16,525	24,325	40-60	0.002	0.015	0.135	82.6	117.2	199.8
TOTALES:22,280	--	--	1'584.739	9,366	63,197	181,972	136,511	172,438	44-50	--	--	--	--	--	--
PROMEDS: 2,476	8.94	176,082	1,041	7,022	20,219	15,168	19,158	19,158	44-50	0.007	0.056	0.110	88.7	111.0	199.7

FORMULO:

REVISO:

Vo. Bo.

EXPLOSIVOS INDUSTRIALES, S.A. DE C.V.

DISTRIBUIDORES AUTORIZADOS



PERMISO S.D.N. No. 17

CRUZ VERDE 169 COYOACAN
04330-MEXICO, D.F.
APOD. POSTAL 21-028 TELEX 17-73569
TEL. 649-02-73 - 689-28-88

**LISTA DE PRECIOS No. 82 EN VIGOR A PARTIR DEL 20 DE JUNIO DE 1986
SOBRE ESTOS PRECIOS SE CARGARA EL 15% DE I.V.A.**

<u>DESCRIPCION ARTICULO</u>	<u>PRESENTACION</u>	<u>PRECIO</u>
<u>EXPLOSIVOS</u>		
<u>CENTIMETROS</u>		
Tovex 100	2.54 x 20.32	Caja de 25 Kgs. \$ 36,630.00
Tovex 700	5.08 x 40.64	Caja de 25 Kgs. 26,750.00
Tovex "F" (Flasteo)	5.08 x 40.64	Caja de 25 Kgs. 18,895.00
<u>AGENTES EXPLOSIVOS</u>		
Mexamón "G"		Saco de 25 Kgs. 4,430.00
Supermexamón "D"		Saco de 25 Kgs. 5,605.00
<u>MECHAS</u>		
Blanca		Rollo de 50 Mts. 4,550.00
Blanca		Carrete 1,000 Mts. 90,960.00
<u>FULMINANTES</u>		
Cápsulas No. 6		Ciento 7,730.00
<u>CORDONES DETONANTES</u>		
Primacord Reforzado		Carrete 500 Mts. 87,360.00
E - Cord		Carrete 500 Mts. 56,700.00
<u>ACCESORIOS PARA VOLADURA</u>		
Ignitacord Tipo "B"		Carrete 30 Mts. 6,490.00
Conectores para Primacord en Millisegundos		Pieza 1,340.00
Conectores para Ignitacord		Ciento 6,450.00
<u>ALAMBRES</u>		
Sencillo No. 14		Rollo de 100 Mts. 4,870.00
De Conexión No. 20		Rollo de 100 Mts. 2,440.00
<u>ESTOPINES ELECTRICOS INSTANTANEOS</u>		
<u>ALAMBRE DE COBRE</u>		
De 2 Mts.		Caja 50 Piezas 26,520.00
De 3 Mts.		Caja 50 Piezas 27,460.00
De 5 Mts.		Caja 50 Piezas 29,460.00
De 7 Mts.		Caja 50 Piezas 31,240.00
<u>ESTOPINES ELECTRICOS DE RETARDO</u>		
<u>ALAMBRE DE COBRE</u>		
De 3 Mts. de 25 Millisegundos		Caja 50 Piezas 28,260.00
De 3 Mts. de 50 a 300 Millisegundos		Caja 50 Piezas 32,850.00
De 5 Mts. de 25 Millisegundos		Caja 50 Piezas 33,780.00
De 5 Mts. de 50 a 300 Millisegundos		Caja 50 Piezas 35,140.00
De 3 Mts. de 0 Tiempo		Caja 50 Piezas 29,990.00
De 3 Mts. de 1 al 9° Tiempo		Caja 50 Piezas 32,840.00
De 5 Mts. de 0 Tiempo		Caja 50 Piezas 35,480.00
De 5 Mts. de 1 al 9° Tiempo		Caja 50 Piezas 35,480.00
<u>ACCESORIOS DE IMPORTACION</u>		
Máquina Explosora No. 50		Pieza Dlla. 765.00
Ohmetro		" 305.00
Pinzas No. 4 para Cápsulas		Pieza " 20.00
<u>MANUAL PARA USO DE EXPLOSIVOS</u>		Pieza 3,800.00

CONCLUSIONES

Resulta oportuno resaltar aquí la importancia que tienen los trabajos de barrenación a cielo abierto en las diferentes obras en que es necesario remover grandes volúmenes de roca. También es pertinente recordar que el costo por este concepto es representativo del costo total de nuestra obra, sea cual sea su tipo.

Aunque en el capítulo V aparentemente no se tomaron en cuenta las condiciones geológicas, climatológicas, locales, etcétera, esto no se ha debido a que carezcan de importancia, sino a que los ejemplos tuvieron fines exclusivamente didácticos. En la realidad hay que tener en cuenta dichos factores, ya que pueden influir a favor o en contra del desarrollo de nuestra obra.

Por otro lado, y a manera de resumen, cabe decir que en la explotación de roca podemos encontrar los siguientes casos importantes:

- Roca graduada en la que se requieren tamaños específicos (granulometría)
 - Para trituración
 - Para enrocamientos

- Roca sin graduar (cortes) en donde no hay requerimientos de tamaño

Ahora bien, en lo que a la extracción se refiere, podemos encontrar las siguientes condiciones.

- Para trituración ----- El tamaño limitado por la abertura de la quebradora primaria.

- Para enrocamiento ----- El tamaño limitado por el proyecto, las especificaciones y el equipo de cargas y acarreo.

- Para cortes y pedraplenes ----- El tamaño limitado por el equipo disponible para carga y acarreo, o por la capacidad de los tractores destinados a la remoción.

Dependiendo del tipo de obra y de las limitantes intrínsecas que ella encierra en cuanto al tamaño de la roca explotada, podemos realizar la elección adecuada del equipo de barrenación. También será posible seleccionar el diámetro de barrenación adecuado que, como ya se indicó, entre más grande sea, dará lugar a un menor costo por este concepto.

En este renglón, las características de una buena voladura pueden resumirse en:

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

Por lo que respecta al consumo de explosivos, es importante no tener una actitud inflexible, pues hay que recordar que "la voladura más cara es aquella que no sale".

El mayor beneficio que es posible obtener del uso de los explosivos, se resume en las siguientes líneas:

- Fracturar la roca ----- Util
- Moverla de lugar para
evitar trabazones --
(abundamiento) ----- Util
- Proyectar rocas o -
bien ondas sísmicas ----- Inútil

Los rendimientos del equipo de perforación -como ya se ha visto- dependen de muy diversos factores, unos de ellos fijos y dependientes de la propia máquina, en tanto que otros derivados de las características de las rocas, así como de ciertas condiciones imperantes en los sitios de trabajo.

Un error comúnmente cometido al referirse a los rendimientos de barrenación con una perforadora neumática, es considerar exclusivamente el avance lineal obtenido con la misma, haciendo caso omiso del diámetro del barreno. Dos perforadoras de diferente capacidad, una más pesada que la otra, en cierta forma pueden rendir un metraje igual de barrenación en la unidad de tiempo, pero obviamente, la más pesada perforará a mayor diámetro y es muy importante tener presente que en tanto mayor es el diámetro de un barreno, "mayor será la capacidad del mismo para alojar explosivos", que al final de cuentas es lo que se pretende. A su vez, en tanto mayor sea la cantidad de explosivos alojada dentro de un barreno, mayor será el volumen de roca aflojada por los explosivos contenidos en el mismo. Se ve pues que existe una íntima y recíproca correlación entre:

- el peso, diámetro o capacidad de la perforadora,
- el diámetro de la broca y consiguientemente del barreno,
- la capacidad del barreno para contener explosivos,
- el volumen de roca aflojada por un barreno, y
- el grado de fragmentación de la roca tronada.

Un factor de suma importancia en la barrenación es obtener barrenos rectos y "limpios", con la finalidad de que en ellos pueda alojarse como mínimo el número de cartuchos de explosivo del calibre programado para obtener una correcta tronada, pues en caso contrario el barreno será un fracaso en sus resultados y rendimientos cualitativos.

Así pues, si realizamos una buena combinación de las características de todos los elementos -que se han visto- que intervienen en la "Barrenación a Cielo Abierto", amén de una buena programación del equipo a utilizar se esperarán los mayores beneficios posibles al menor costo.

Espero que todos aquellos que lleguen a tener este trabajo en sus manos, obtengan realmente algún provecho, ya que ésta ha sido una de mis aspiraciones fundamentales al realizarlo.

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

1. La Ingeniería de Suelos en las vías terrestres
 - Ing. Alfonso Rico Rodríguez e Ing. Hermilo del Castillo
Ed. Limusa

2. Manual de movimiento de tierras
 - Herbert L. Nichols, Jr.
Ed. CECSA, 1975

3. Trabajos de construcción en roca
 - Robert Crimmins, Reubin Samuels, Bernard P. Monahan
Ed. LIMUSA, 1978.

4. Excavaciones en roca
 - Colegio de Ingenieros Civiles de México, A. C.

5. Apuntes del curso de "Movimientos de Tierras"

División de Educación Continua. Facultad de Ingeniería, 1984.

6. Técnica moderna de voladuras
 - Langerfors y B. Kihlström.
Ediciones URMO, Bilbao, 1968.

7. Técnica sueca de voladuras
 - Rune Gustafsson
Ed. SPI, Nora, Suecia, 1977

8. Manual "Atlas Copco"
 - Ed. Atlas Copco, S. A., 1984

9. Manual para el uso de explosivos
 - DU PONT
Ed. CECSA, 1979

10. Factores de consistencia de costos y precios unitarios

- Facultad de Ingeniería, UNAM

11. Costos de construcción pesada y edificación

- Ing. Leopoldo Gabriel Varela Alonso
Ed. COMPUEDITA, S.A. DE C.V., 1984