



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ACATLÁN**

**INGENIERIA CIVIL**

**EXPLOTACION DE BANCOS DE ROCA  
A CIELO ABIERTO PARA LA OBTENCION  
DE AGREGADOS**

M-0028749

**TESIS PROFESIONAL**

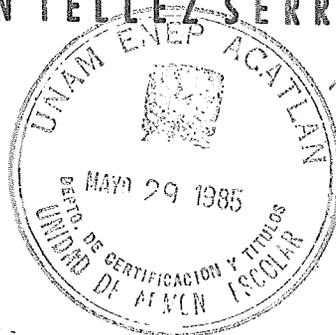
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A

**ESTEBAN TELLEZ SERRANO**

MEXICO, D. F.



UN. G. 7739627-5

1985



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN  
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

CI/027/1985

SR. ESTEBAN TELLEZ SERRANO  
Alumno de la carrera de Ingeniería  
Civil.  
P r e s e n t e .

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha, 15 de agosto de 1983, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien -- asignarle el siguiente tema de tesis: "Explotación de Bancos de Roca a Cielo Abierto para la Obtención de Agregados", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Generalidades.
- II.- Trabajos previos.
- III.- Perforación en roca.
- IV.- Carga de barrenos y tronado.
- V.- Movimiento de la roca tronada.
- VI.- Tratamiento.
- Conclusiones.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. Salvador Díaz Díaz, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

Respectuosamente,  
Acatlan, Tlax., a 27 de febrero de 1985.

ING. JUAN RAMIRO RAMIREZ SECERA  
Coordinación del Programa de  
Ingeniería.  
PROGRAMA DE INGENIERIA

ARS/rem.

Doy gracias al apoyo económico y moral dado por mi mamá Irene Serrano Vergara, a mi abulita Camila, a mis tios: Tomás, Benito, Hilario y Procopio Q. E. P. D., para lograr llegar al final de una carrera profesional, y también -- agradezco a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron para el mismo fin.

Agradezco de manera especial a mi tía Leonor Serrano V. y al Sr. Leobardo Reyes Manriquez así como a mis primos Julio Serrano y Leobardo Reyes el apoyo brindado.

Por el tiempo que estuve con ellos, agradezco su apoyo económico y moral que me brindaron, a: mi tía Plácida Guzmán, a Dagoberto Ramirez, a Jorge, Alejandra, Rosario y a la Sra. Benita.

Dedico la presente tesis a mi mamá Irene Serrano Vergara, a mis hermanos : Juana y Genaro, a mis sobrinos: Sandra y Roberto.

El presente trabajo fue realizado bajo la dirección y supervisión del Ing. Salvador Díaz Díaz al cual le agradezco su apoyo y guía para llevar a efecto la elaboración de esta tesis.

## INDICE

INTRODUCCION . . . . .	1
CAPITULO I. GENERALIDADES . . . . .	5
I.1. Tipos de bancos de roca . . . . .	5
I.2. Exploración de bancos . . . . .	12
I.3. Especificaciones, de los agregados . . . . .	14
CAPITULO II. TRABAJOS PREVIOS. . . . .	26
2.1. Desmante . . . . .	27
2.2. Despalme . . . . .	29
2.3. Precauciones con el agua. . . . .	31
CAPITULO III. PERFORACION EN ROCAS . . . . .	31
3.1. Tipos de perforación . . . . .	31
3.2. Equipo utilizado . . . . .	55
3.3. Operación en los bancos. . . . .	76
CAPITULO IV. CARGA DE BARRENOS Y TRONADO . . . . .	81
4.1. Características de los explosivos . . . . .	81
4.2. Artificios y accesorios para realizar la voladura . . . . .	98
4.3. Técnicas de disparo eléctrico. . . . .	108

4.4. Carga y cebado de los barrenos . . . . .	115
4.5. Calculo de la plantilla de barrenación y cantidades de explosivo . . . . .	125
4.6. Precauciones para el manejo y almacenamiento de los explosivos . . . . .	156
CAPITULO V. MOVIMIENTO DE LA ROCA TRONADA . . . . .	186
5.1. Carga de la roca . . . . .	186
5.2. Acarreo . . . . .	188
CAPITULO VI. TRATAMIENTO . . . . .	191
6.1. Trituración y cribado . . . . .	193
6.2. Almacenamiento . . . . .	208
C O N C L U S I O N E S . . . . .	211
BIBLIOGRAFIA . . . . .	214

## INTRODUCCION

En la actualidad el aumento de la población en nuestro país, ha traído como consecuencia, la demanda de obras civiles que cumplan con los satisfactores que resuelvan sus necesidades y además apoyen el desarrollo nacional.

Esto obliga a la construcción de grandes sistemas de riego, sistemas de conducción de aguas, de almacenamiento de las mismas, sistemas ferroviarios, carreteros, aeroportuarios y portuarios, enormes redes de conducción eléctrica, gasoductos, oleoductos, drenajes, rectificaciones de cauces, nivelaciones de tierra, etc., en fin, grandes obras de ingeniería que requieren de una cuidadosa planeación y construcción.

En todas las obras de ingeniería se realizan grandes movimientos de materiales entre los cuales una gran mayoría son rocas, a las que se les busca una aplicación en la obra misma o hacer una explotación especial para cumplir con los requerimientos que ésta obra solicita.

Generalmente el material producido de roca es conocido como agregados pétreos que con diferentes características son empleados en las obras de ingeniería. Una clasificación general de los principales tipos de agregados utilizados en la industria de la construcción sería: agregados para elaborar concretos, agregados para la construcción de carreteras y aeropistas y agregados para la construcción de vías férreas.

En la explotación de bancos de roca para la obtención de agregados, pétreos generalmente se sigue el siguiente orden de actividades:

a). - Estudio de los bancos de roca

Este estudio se realizará con los diferentes métodos de exploración que existen, eligiendo el que dé mejores resultados y al menor costo; complementándolo con algún otro método si es necesario.

En un país como México, con casi 2 millones de kilómetros cuadrados de superficie, se encuentra prácticamente todo tipo de rocas para la elaboración de agregados pétreos.

b). - Desmonte y despalme

Considerados como trabajos previos, que permiten limpiar de material no deseado al yacimiento de roca y éste quede listo para las etapas sucesivas.

c). - Barrenación

Es la perforación en la roca con equipo especializado que trabaja de diferentes maneras, con equipo adicional que sin él no cumpliría su finalidad eficientemente.

De las diferentes máquinas de perforación siempre se elegirá aquella que de acuerdo con las condiciones dé los mejores rendimientos.

d). - Voladura

Una vez realizada la barrenación, se procederá a la utilización del explosivo, que es una de las principales herramientas con que se cuenta hoy en día, a la vez la más poderosa y lo suficientemente segura y controlable para realizar la voladura de rocas.

El usar explosivo se hará en una cierta medida por lo cual se necesitará, calcular la cantidad requerida, conociendo sus características, accesorios necesarios, formas de iniciarlo y precauciones generales de manejo y almacenamiento.

e). - Carga y transporte

Una vez realizada la voladura, seña necesario mover al material en greña, continuando con la etapa de trituración.

Para llevar el material a la planta de trituración se requerirá maquinaria, capaz de poder cargar el material en los medios de transporte, eligiendo la más adecuada de acuerdo a las características de operación, tratando de equilibrar las unidades de carga con las unidades de acarreo.

f). - Trituración, cribado, lavado y almacenamiento

Es el tratamiento que se le dará al material en greña, en la planta de trituración y así obtener los agregados pétreos útiles para la obra civil.

Existen diferentes máquinas que van reduciendo sucesivamente el tamaño de la roca hasta lograr el tamaño deseado, de acuerdo a las especificaciones que debe cumplir el agregado pétreo en función del tipo de obra en la cual se utilizará.

Como el empleo del agregado pétreo no se hará inmediatamente, este requerirá de un almacenamiento, el cual generalmente se hace, sobre el terreno circundante a la explotación.

En este trabajo se consideran todas estas fases, tomando en cuenta las características necesarias y fundamentales para tener un conocimiento adecuado de lo necesario, para efectuar una explotación de bancos de roca a cielo abierto, para la obtención de agregados y poder tomar las decisiones para elegir la maquinaria más adecuada, buscando siempre el mínimo costo.

## CAPITULO I: GENERALIDADES

Nuestra sociedad moderna requiere de una gran variedad de materiales para construcción, los cuales provienen de la corteza terrestre, la roca como uno de estos materiales se encuentra en una gran variedad y con características diferentes en cada tipo.

Quando se encuentre un depósito de roca, lo que es conocido como "banco" y determinando el tipo de roca que lo compone se procederá a la exploración que es el examen general preliminar, hecho fundamentalmente en la superficie para determinar las acumulaciones de roca capaces de ser explotados.

En la exploración se deberá utilizar el método adecuado el cual nos permite conocer la calidad y cantidad de el "banco" para que al iniciar la explotación, la obtención del material sea eficiente y al mínimo costo.

La explotación se realizará de acuerdo a ciertas variables tales como: los bloques serán del tamaño adecuado para el equipo que se encargará de mover la roca hacia los procesos necesarios para obtener los agregados de acuerdo a las especificaciones requeridas en las obras para las cuales se está produciendo la roca triturada.

### I.I. TIPOS DE BANCOS DE ROCA

De los materiales que nos ofrece la corteza terrestre y que son -

accesibles para su aprovechamiento, que nos permitan desarrollar la vida -- del ser humano, vemos que estos materiales se componen de minerales y rocas.

Los minerales son sustancias inorgánicas naturales de composición química y estructura definidas.

De los minerales que forman rocas podemos mencionar a los silicatos, óxidos, carbonatos y sulfatos.

La roca como parte de los materiales ofrecidos por la naturaleza es de gran importancia para la Ingeniería Civil, ya que es parte fundamental - de cualquier obra, en una o en otra forma. El término "roca" designa una masa de material natural de semidura a dura, compuesta de uno o varios minerales, esta se puede encontrar a una cierta profundidad cubierta por una capa de suelo o puede estar aflorando en la superficie.

Estando en cualquier forma de las arriba mencionadas se conoce como cantera o banco de material, dependiendo del tipo de roca se estudiará si es factible de aprovechar e iniciar la excavación de esa roca

Los tipos más antiguos de excavación en roca, fueron los que -- hizo el hombre para protegerse de sí mismo y de las inclemencias de la naturaleza, excavando un refugio en la ladera de un acantilado.

Los Romanos aplicaron métodos para disgregar las formaciones-

rocosas tanto para la construcción de caminos como para la explotación de canteras.

Los Egipcios que construyeron las grandes pirámides, disgregando densas formaciones rocosas en forma de bloques masivos para la construcción, que luego sobrepusieron y formaron las pirámides.

Las rocas se forman de diferentes maneras: por enfriamiento del magma (roca fundida que proviene de profundidades considerables bajo la superficie); por precipitación de materia inorgánica en las aguas; deposición de conchas de diversos organismos; por condensación de un gas que contenga partículas minerales; por desintegración de otras rocas y recombinación de los minerales que dan origen a un nuevo tipo de roca; y por acción de intenso calor o presión, actuando sobre las rocas existentes.

La clasificación de las rocas de acuerdo a su origen es la siguiente: rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Las rocas ígneas que se encuentran actualmente en la superficie se formaron a partir del magma procedente de depósitos profundos, cuando el magma se derrama en la superficie se llama lava y cuando los fragmentos de magma solidificada son arrojados violentamente, constituyen los materiales piroclásticos.

La ceniza volcánica endurecida hasta convertirse en roca se llama

ma toba, cuando en una roca contenga fragmentos angulares en una masa de ceniza se llama brecha volcánica, y cuando dichos fragmentos esten redondeados se llama conglomerado volcánico.

De las rocas ígneas podemos mencionar el granito, la riolita, el basalto, el gabro, la andesita y la peridotita, la diorita y lapilli.

La toba en su mayoría son rocas poco resistentes y en nuestro país es muy abundante en toda la Sierra Madre Occidental, generalmente intercaladas con lavas riolíticas.

La riolita roca extrusiva se halla en las cumbres de la Sierra Madre Occidental que comprende zonas de los Estados de Nayarit, Zacatecas, Sinaloa, Durango y Chihuahua y también abunda en el centro del país.

La andesita es abundante en corrientes de lava y en fragmentos de brecha volcánica, la Sierra de Pachuca está constituida en sus dos terceras partes inferiores por andesita y en la cumbre por dasita.

Gran parte del contorno de la cuenca del Valle de México está constituida por andesitas y las faldas de las Sierras del Sur de la Ciudad de México están formadas por material piroclástico andesítico.

El mismo material se encuentra al Oriente de Texcoco, en parte de Cuernavaca Mor. y en el Estado de México en los Montes de Ocuilán, Manilalco y Malinaltenango.

El basalto es muy abundante encontrándose en la República en casi todos los Estados especialmente en el Valle de México.

De las rocas de tipo intrusivo está el granito que abunda en las costas del Océano Pacífico, en la Sierra de Chiapas, en el batolito de Acapulco, en Guerrero, y los de Michoacán y Jalisco, en los dos extremos de la península de Baja California y en algunas regiones de los Estados de Sonora y Sinaloa.

La diorita se presenta en grandes masas de roca como al Sur de Zitácuaro y en varios lugares de la Sierra Madre Occidental y en las costas del Océano Pacífico.

El gabbro se encuentra en el Estado de San Luis Potosí, en el Estado de Hidalgo cerca de Tlanchinol, en el camino Pachuca-Huejutla, en el Estado de Sinaloa y en el Estado de Baja California.

Las rocas sedimentarias se componen de sedimentos sueltos ocasionados por el intemperismo tales como arena, grava y lodo que a través del transcurso del tiempo se endurecen y consolidan formando rocas.

Estas rocas se encuentran generalmente dispuestas en capas o estratos que están expuestas en la superficie o en el fondo de un lago o del océano.

En las rocas sedimentarias los minerales más comunes son la

arcilla, el cuarzo y la calcita.

Algunos tipos de rocas sedimentarias son: el conglomerado roca constituida por fragmentos más o menos redondeados; la arenisca que contiene granos individuales consolidados del tamaño de la arena; la lodolita y lutita son rocas que se componen por partículas del tamaño de la arcilla y el limo; una de las más importantes es la caliza que está formada principalmente por el mineral calcita; la dolomita; las evaporitas dentro de las cuales encontramos la sal de roca y el yeso, y la anhidrita que es el yeso sin el agua; y por último el carbón que se forma a partir de lo que se conoce como turba.

El conglomerado se encuentra formando grandes masas en el Estado de Guerrero en las zonas de Chilapa y Tlapa, también en el norte del país se encuentra ocupando grandes extensiones y formando masas pequeñas se le encuentra en todas partes.

Las brechas son abundantes en las áreas montañosas que han tenido movimientos tectónicos intensos.

La arenisca aflora en la zona de Ciudad Altamirano, en Guerrero, en la Sierra Madre Occidental, en la planicie costera del Golfo, en la zona norte del Istmo y en masas menores en toda la República.

La lutita es una roca que abunda en el territorio nacional principalmente al Este y al Sur.

La caliza forma la masa general de la Sierra Madre Oriental, forma grandes masas en el Sur del país; constituye la totalidad de la península de Yucatán y se encuentra en casi todos los Estados de la República.

El travertino roca formada por carbonato de calcio abunda en el Estado de Puebla desde el Valsequillo hasta Tehuacán, en Viesca en el Estado de Nuevo León.

La dolomita se encuentra en Teapa Tabasco y en el cañón de Pe-taquillas Guerrero.

Las rocas metamórficas son aquellas que han sufrido modificaciones como consecuencia de cambios en la temperatura, presión y flúidos químicamente activos, que son producidos por las fuerzas que pliegan, afallan, invectan magma y elevan o deprimen la roca, y estas fuerzas causan el proceso llamado metamorfismo.

Las rocas metamórficas se pueden derivar de cualquiera de las rocas sedimentarias o ígneas, algunas rocas metamórficas son la pizarra, la filita, el esquisto, la anfibolita, el gneis, la cuarcita, micaesquisto, esquisto de anfibola y el mármol.

Del tipo de roca metamórfica como son pizarras y esquistos se encuentran en los Estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz en el camino Vizarro a Jalpan (Edo. de Queretaro) y también en los Estados de México y Mi-

choacán.

El gneis abunda en las zonas de la República donde se presentan grandes masas de granito como existen en los Estados de Oaxaca, Guerrero y Michoacán.

Independientemente del tipo de roca, esta ha sido utilizada a través de miles de años como material para la construcción y su importancia se ha incrementado debido al descubrimiento de nuevas técnicas para extraerla del lugar donde se forme por medio de voladura y quebradoras que la rompen en tamaños utilizables que formaran la base de carreteras, el balasto de las vías de ferrocarril, el revestimiento de aeropuertos, las piedras del malecón de los puertos y muchas aplicaciones más.

## I.2. EXPLORACION DE BANCOS

La exploración de una región o un lugar determinado tiene como finalidad descubrir la existencia de formaciones rocosas que nos permitan explotarlas y aprovecharlas como material para la construcción.

Los métodos de exploración son variados los cuales se presentan a continuación:

a). - Interpretación de fotografías aéreas. Este método ofrece una gran visión del terreno desde el aire y se utiliza para levantamiento de mapas y estudios geológicos.

El empleo de fotografías aéreas no es un sustituto de la investigación sobre el terreno sino que es una etapa preliminar.

b). - Mapas geológicos. Tienen como finalidad determinar los contactos de las formaciones de roca las cuales se encuentran frecuentemente cubiertas por terrenos sueltos, estos mapas se apoyan en los mapas topográficos para dar la información lo más verídica posible .

Como es difícil que el estudio geológico proporcione y asegure que la información es la que existe en la realidad, toda exploración irá acompañada de sondeos de reconocimiento lo cual permitirá determinar la formación del banco de roca y con los métodos sencillos de exploración de suelos, calicatas y pozos de reconocimiento se conocerá la capa de suelo que cubre la roca viva.

Cuando se trate de conocer la naturaleza de la roca se emplearán sondeos con extracción de testigos, que posteriormente se analizarán para conocer las características que tiene la roca.

c). - Otros métodos empleados para la exploración. Son los métodos geofísicos que constituyen parte de los elementos auxiliares para la investigación geológica.

Se basan en el magnetismo que generan las masas rocosas la velocidad con que las ondas de choque se mueven a través de la corteza, la

riación de la densidad de las masas de rocas adyacentes e incluso las propiedades eléctricas de la corteza terrestre.

Estos métodos no descubrirán más que, lo que una buena serie de sondeos nos daría y nunca deben emplearse sin una correlación con la información geológica que se posea.

Dichos métodos son: el magnético, el sísmico, el gravimétrico y el eléctrico.

### I.3. ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS

Para obtener un rendimiento óptimo en la producción de agregados es muy importante conocer las especificaciones que requiera el proyecto.

Con esto se puede hacer una buena planeación en las etapas productivas y evitar pasos indebidos que nos incrementen los costos y el tiempo de producción.

Se darán algunas especificaciones de proyectos los cuales utilizan materiales agregados, únicamente se darán aquellos que se refieran a la utilización de la roca.

En las terracerías la roca utilizada se clasifica como fragmentos de roca que están dentro de un rango de 7,6 cm. (3") hasta 2m. a su vez hay

una subclasificación de fragmentos grandes ( mayores de 75cm. y menores -- de 2 m.) fragmentos medianos ( mayores de 20 cm. y menores de 75 cm. ) -- y fragmentos chicos ( mayores de 7.6 cm. (3") y menores de 20 cm. ) haciendo también combinaciones entre estos fragmentos los cuales solo se utiliza-- rán en el cuerpo del terraplen.

Materiales utilizados para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento:

- a). - Materiales pétreos que no requieran ningún tratamiento de disgregado, cribado o trituración.
- b) - Materiales pétreos que para su utilización requieren tratamiento de disgregado, cribado o trituración.
- c). - Mezclas de dos o más materiales del grupo a), del grupo b) o de materiales provenientes de ambos grupos.
- d). - Materiales de los grupos a), b) o c) mezclados con un material asfáltico.
- e). - Materiales de los grupos a), b) o c) mezclados con cemento Portland o una mezcla adecuada de cemento Portland y puzolana.
- f). - Materiales de los grupos a), b) o c) mezclados con cal -- hidratada, cal hidratada y puzolana, o cal hidratada y Cemento Portland.

De los materiales dados anteriormente cuando se utilicen como --  
 revestimiento en carreteras, cumplirán con que su curva granulométrica quede  
 comprendida entre los límites exteriores de las zonas 1 y 3 no empleando ma  
 terial cuya curva esté alojada en la zona 1, que se muestra en la figura 1.

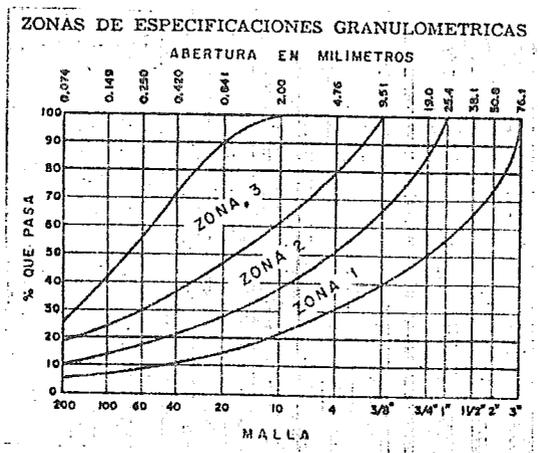


Figura # 1

De los materiales a), b) y c) empleados en sub-base de pavimen  
 tos flexibles en carreteras y aeropistas cumplirá con que su curva granulomé--  
 trica quedará comprendida entre los límites inferior de la zona 1 y el superior--  
 de la zona 3 y el tamaño máximo no deberá ser mayor de 51 mm. (2"). Fig. 2

Cuando estos materiales se utilizan en bases para carreteras o --  
 aeropistas y para sub-bases en pavimentos rígidos en aeropistas cumplirán con  
 la curva granulométrica esté comprendida en el límite inferior de la zona 1 y --

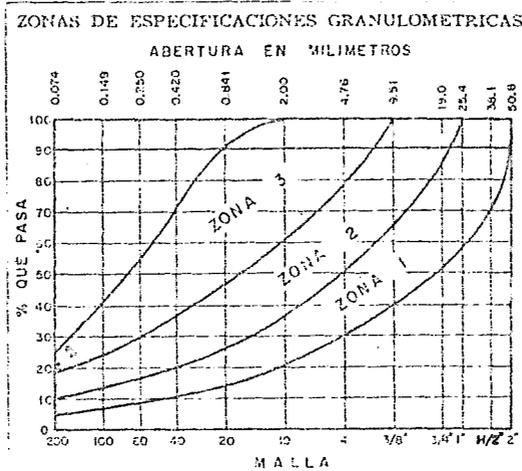


Figura # 2

el superior de la zona 3 pero de preferencia se utilizarán materiales que estén en la zona 1 o 2. Figura 2, siendo el tamaño máximo de 51 mm (2") para el material a) y de 38 mm. ( 1 1/2" ) para el material b).

Los materiales del grupo d) empleados para la construcción de bases asfálticas y/o capas de nivelación o empleados en bacheos deben cumplir con los requisitos siguientes: la curva granulométrica deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 2, de preferencia en la zona 1. Figura 3, y como se puede ver el tamaño de la partícula no será mayor de 38 mm. ( 1 1/2" ).

Los materiales pétreos para carpetas y mezclas asfálticas son materiales naturales que requieren tratamiento de disgregación, cribado, trituración

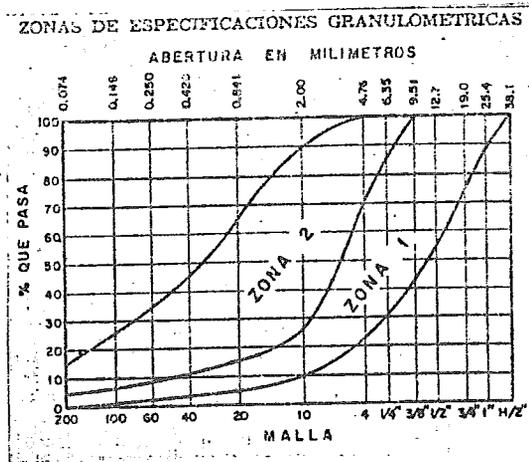


Figura # 3

ción y lavado o mezclas de 2 o más materiales.

Los materiales utilizados para la elaboración de carpetas asfálticas elaboradas en planta o en el lugar tendrán una curva granulométrica que esté en el límite inferior de la zona 1 y el límite superior de la zona 2, en la zona 1 está la granulometría de los materiales gruesos y en la zona 2 los materiales de la granulometría fina. Figura 4.

Para la elaboración de concretos asfálticos la curva granulométrica quedará comprendida en la zona limitada por las curvas que se presentan en la figura 5.

Los materiales pétreos para carpetas asfálticas por sistema de --

riegos deberán cumplir con la granulometría que se presenta en la tabla posterior a las figuras 4 y 5.

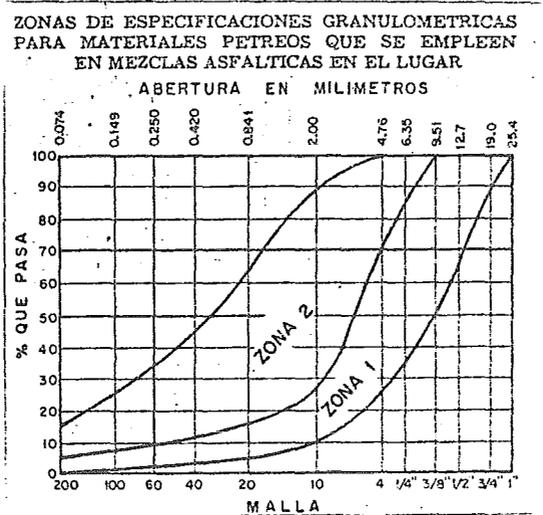


Figura # 4

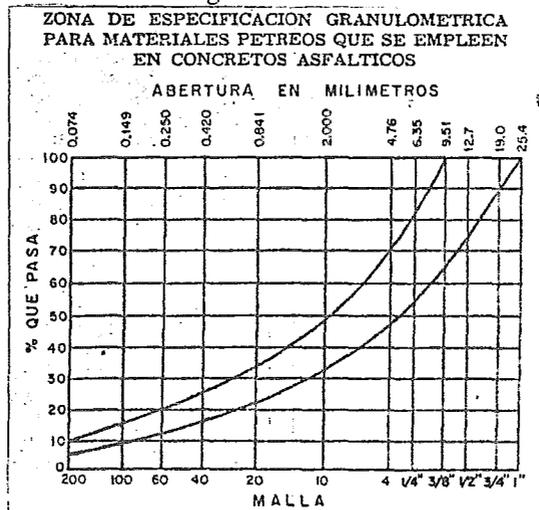


Figura # 5

ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEEN EN CARPETAS ASFALTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS O PARA RIEGOS DE SELLO

DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO	POR CIENTO QUE PASA LA MALLA										
	50.8 mm (2")	39.1 mm (1 1/2")	32.0 mm (1 1/4")	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")	12.7 mm (1/2")	9.51 mm (3/8")	6.35 mm (1/4")	4.75 mm (Núm. 4)	2.38 mm (Núm. 3)	0.420 mm (Núm. 40)
1			100	95 Mfn.		5 Mfx.		0			
2					100	95 Mfn.		5 Mfx.			
3-A						100	95 Mfn.		5 Mfx.		
3-B							100	95 Mfn.		5 Mfx.	0
3-E							100	95 Mfn.	5 Mfx.	0	0

Tabla

Para morteros asfálticos se requiere una granulometría del material que esté comprendida entre las curvas de la gráfica mostrada en la fig. 6

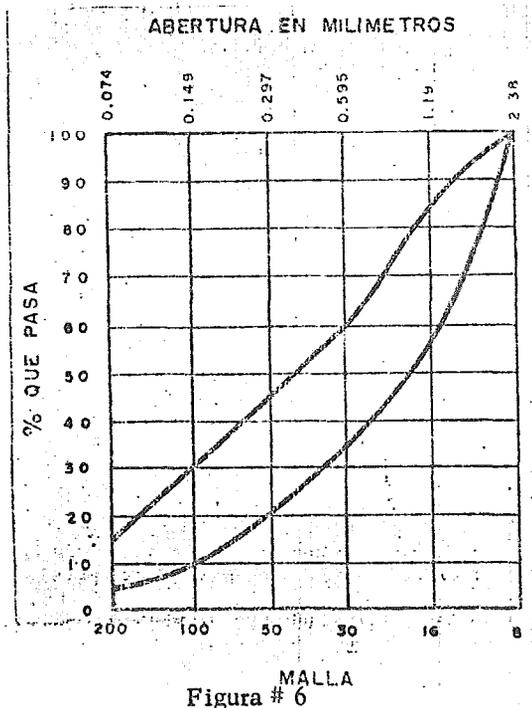


Figura # 6

Los materiales pétreos para construir guarniciones de concreto asfáltico deberá generalmente cumplir con que la curva granulométrica qued dentro de la zona limitada por las curvas de la gráfica de la figura 7.

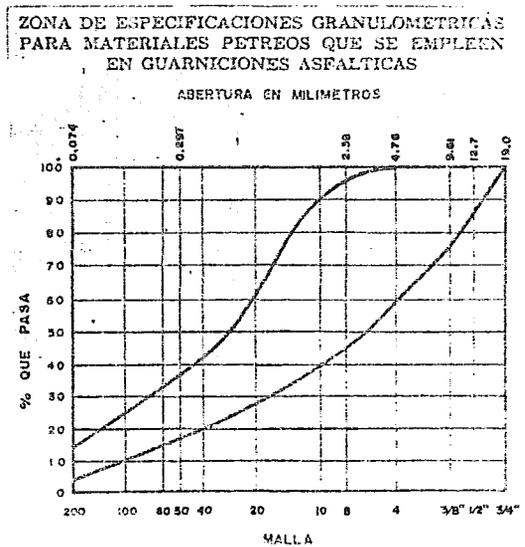


Figura # 7

Otra aplicación de los agregados es en construcción del sub-balastado y balastado de una vía férrea, para el sub-balastado se pueden emplear los procedentes de suelos, depósitos naturales, rocas fragmentadas o alteradas que generalmente no requieren un tratamiento para su utilización pero para el balastado se utilizará aquel material procedente de depósitos naturales donde se requiere la explotación, trituración, cribado y/o lavado para su utilización.

Para el sub-balasto la granulometría debe de estar, comprendida entre los límites de la zona 1 y zona 3 preferentemente entre las zonas 2 y 3 de la gráfica en la figura 2.

Los materiales empleados en el balasto de acuerdo con el tamaño máximo, el material deberá cumplir con alguna composición granulométrica de los que se muestran a continuación.

DEFINICIÓN	POR CIENTO EN PESO QUE PASA LA MALLA DE									
	76.1 mm 3"	64.0 mm 2 1/2"	50.8 mm 2"	38.1 mm 1 1/2"	25.4 mm 1"	19.0 mm 3/4"	12.7 mm 1/2"	9.51 mm 3/8"	4.75 mm Malla Núm. 4	2.38 mm Malla Núm. 8
1	100	60-100	—	25-100	—	0-10	0-5	—	—	—
2		100	95-100	35-70	0-15	—	0-5	—	—	—
3			100	90-100	20-55	0-15	—	0-5	—	—
4				0-5	90-100	10-75	15-35	0-15	0-5	—
5				0-5	85-100	—	25-60	—	0-10	0-5

Tabla

Otra utilización importante de la roca o fragmentos de esta, es en la construcción de mamposterías, zampeadas y concretos ciclópeos, dichos fragmentos deberán ser sanos y resistentes y que puedan ser labrados cuando la obra lo requiera y no se aceptarán aquellos fragmentos que presenten grietas, fracturas y tengan forma de laja.

Otro agregado empleado en la construcción es la arena, producto de la desintegración natural de algunas rocas u obtenido por trituración de piedra o grava y cuya granulometría deberá quedar dentro de los límites de la siguiente tabla.

TAMAÑO DE LA MALLA	Porcentaje en peso
Número 4 (4760 micras)	0
Número 8 (2380 micras)	0 a 5
Número 100 (149 micras)	75 máximo
Número 200 (74 micras)	00 mínimo
Módulo de finura	1.6 a 2.5

Tabla

Los agregados finos utilizados en la elaboración de concreto, su granulometría estará comprendida entre los límites que están en la siguiente tabla.

Malla	Tamaño	Porcentaje en peso
%	9.51 mm	100
Núm. 4	4.750 mm	95 a 100
Núm. 8	2.360 mm	90 a 100
Núm. 16	1.180 mm	70 a 85
Núm. 30	0.600 mm	35 a 50
Núm. 50	0.300 mm	10 a 20
Núm. 100	0.150 mm	5 a 10

Tabla

El agregado grueso que puede ser grava natural o grava triturada tendrá la granulometría indicada en la tabla siguiente.

TIPO DEL AGREGADO	POR CIENTO EN PESO QUE PASA POR LAS MALLAS								
	1" 25.4 mm	3/4" 19.0 mm	3/8" 12.7 mm	3/16" 9.5 mm	Núm. 4 4.75 mm	Núm. 5 2.33 mm	Núm. 10 1.18 mm	Núm. 20 0.25 mm	Núm. 40 0.425 mm
AGREGADO FINO									
4.75 mm a 0 mm Núm. 4 a 0				100	85 a 100		40 a 80	10 a 35	5 a 25
AGREGADO GRUESO									
25.4 mm a 12.7 mm 1" a 3/8"	95 a 100		0 a 10						
25.4 mm a 4.75 mm 1" a Núm. 4	95 a 100		25 a 50		0 a 10				
19.0 mm a 4.75 mm 3/4" a Núm. 4	100	50 a 100		20 a 50	0 a 10				
12.7 mm a 4.75 mm 3/8" a Núm. 4		100	50 a 100	10 a 20	0 a 10	0 a 10			
9.5 mm a 2.33 mm 3/16" a Núm. 5			100	80 a 100	5 a 40	0 a 20			
AGREGADOS FINOS Y GRUESOS COMBINADOS									
12.7 mm a 0 mm 3/8" a 0"		100	95 a 100		50 a 80			5 a 15	2 a 15
12.7 mm a 0 mm 3/4" a 0"			100	90 a 100	65 a 85	35 a 85		10 a 25	5 a 15

Y por último se darán las especificaciones de los agregados ligeros tanto finos como gruesos para concreto estructural que tienen como características su bajo peso volumétrico y resistencia a la compresión, los cuales pueden ser tratados o no.

Algunos agregados preparados mediante tratamiento de materiales naturales como: piedra pómez, tezontles, escorias y tobas deben de tener la granulometría que se muestra en la siguiente tabla.

TAMAÑO NOMINAL	POR CIENTO EN PESO QUE PASA POR LAS MALLAS											Núm. 4 4.75 mm	Núm. 8 2.38 mm	Núm. 16 1.19 mm			
	4" 101.6 mm	3½" 90.5 mm	3" 76.1 mm	2½" 64.0 mm	2" 50.8 mm	1½" 38.1 mm	1" 25.4 mm	¾" 19.0 mm	½" 12.7 mm	⅜" 9.51 mm	⅓" 8.50 mm						
88.9 mm a 38.1 mm 3½" a 1½"	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5									
64.0 mm a 38.1 mm 2½" a 1½"			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5									
50.8 mm a 4.75 mm 2" a Núm. 4				100	95 a 160		35 a 70		10 a 30		0 a 5						
33.1 mm a 4.75 mm 1½" a Núm. 4					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5						
25.4 mm a 4.75 mm 1" a Núm. 4						100	95 a 160		25 a 60		0 a 10	0 a 5			0 a 5		
16.0 mm a 4.75 mm ¾" a Núm. 4							100	90 a 160		20 a 55	0 a 10	0 a 5			0 a 5		
12.7 mm a 4.75 mm ½" a Núm. 4								100	90 a 100	90 a 70	0 a 15	0 a 5			0 a 5		
9.51 mm a 2.38 mm ⅜" a Núm. 8									100	75 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5		0 a 5		
50.8 mm a 25.4 mm 2" a 1"				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5								
25.4 mm a 19.0 mm 1½" a ¾"					100	90 a 100	20 a 70	0 a 15		0 a 5							

## CAPITULO II. TRABAJOS PREVIOS

La explotación de bancos de roca a cielo abierto tiene dos etapas que se pueden clasificar como: los trabajos previos y la extracción.

Antes de iniciar la extracción de la roca es necesario retirar la -- vegetación y el material con características inadecuadas que cubre la roca para que el producto extraído no contenga elementos nocivos.

Las operaciones que permitirán tener la cantera en condiciones de ser explotada eficientemente son: el desmonte y el despalle.

### 2.1 DESMONTE

El desmonte tiene como finalidad la remoción de la vegetación -- que pueda existir sobre el banco de roca que puede ser de hierbas, malezas, - matorrales y tocones .

El desmonte se puede hacer de dos formas: desmonte a mano o - con maquinaria .

La utilización de uno u otro estará en función de la cantidad de -- vegetación que haya, del area por desmontar y de las condiciones topográficas del terreno.

En general un desmonte se hace aplicando las dos formas antes - mencionadas .

Para el desmonte con maquinaria el equipo empleado es el tractor de orugas con cuchilla, del tamaño adecuado al tipo de vegetación existente.

El sistema de trabajo y la disposición del producto del desmonte-estará determinado por el tamaño y forma del banco, normalmente las superfi-  
cies son pequeñas y no requieren equipo especial como en el caso de desmon-  
tes para fines agrícolas.

## 2.2 DESPALME

El despálme es la remoción del material de características inadecuadas que forma parte del banco que va a ser explotado y puede ser terreno superficial; capa vegetal o materia orgánica, material intemperizado y otros depósitos sedimentarios.

El espesor del despálme depende de, su carácter y accesibilidad del valor de la formación sub-yacente y de la porción del material removido que puede venderse o utilizarse.

Cuando el material despálmado sea susceptible de aprovechar, será conveniente realizar la venta de este material, para el pago de parte del costo del despálme.

Si el material excavado no se puede utilizar el modo más económico de moverlo es tirándolo lateralmente.

La maquinaria usada en este tipo de despirme son: el buldozer, - cuando el depósito es poco profundo; las motoescrepas cuando es necesario - el acarreo y despirme combinado a distancias intermedias; cargador y camión para distancias largas; también se emplean palas equipadas con plumas para - aumentar el alcance de tiro, con dragas que despiroman a lo largo del frente de excavación, paralelamente al tajo excavando hacia atrás de éste y tirando sobre el montón del desperdicio.

Cuando el tiro lateral no da un área de trabajo suficientemente -- amplia para mover el material, el despirme se llevará a una zona de desperdicio, (esta solución se dá en las explotaciones de minas llamadas fosos a cielo abierto).

El lugar donde se tire el desperdicio deberá estar lo más cerca posible del banco para reducir los costos de acarreo, pero no deberá estar comprendido en un área que pudiera ser excavada.

Se deberá tener cuidado en considerar la pendiente del camino para tener un acarreo económico, lo más conveniente sería tener un trayecto a nivel desde el corte a la descarga pero como esto es muy difícil que se de, - las pendientes favorables o desfavorables alterarán la eficiencia y costo del acarreo.

El ancho del camino estará en función del volumen de acarreo y - en aquellos donde se realice un acarreo intenso deberán tener un ancho de 4 a

$4\frac{1}{2}$  veces el ancho de los vehículos que lo utilizan.

### 2.3 PRECAUCIONES CON EL AGUA

En la explotación del banco se pueden presentar problemas ocasionados por el agua existente, ya sea esta superficial originada por escurrimientos o por la subterránea debida al nivel freático o corrientes subterráneas, por lo cual se tendrán que tomar precauciones que nos eviten las inundaciones y - poder realizar una explotación continua.

#### a) .- Agua superficial

La lluvia generalmente parará las operaciones de excavación y acarreo, además puede convertir los pisos de explotación y los caminos de acarreo en pantanos o estanques lo cual ocasionaría que se suspendan los trabajos por días o semanas.

Para evitar esto se tratará de que los pisos de las explotaciones y los caminos tengan drenaje, si la explotación se hace en una colina los pisos deberán inclinarse ligeramente hacia arriba y al frente.

Si la explotación es en un foso, el desagüe puede hacerse en lo más profundo de este lo cual despejará el piso de trabajo.

Una explotación también puede tener problemas por escurrimientos superficiales de las áreas vecinas, por lo que para esto se construirán zanjas -

de desviación para conducir los escurrimientos por zonas donde no afecten -- los trabajos y si el agua se necesita se puede almacenar.

b). - Agua subterránea

Cuando se hace una explotación en una colina puede llegarse a -- irrumpir con el nivel de agua freática y tener problemas de desagüe de diversa índole lo cual daña las alternativas; de excavar con agua; solo en épocas de - secas; drenar o bombearla.

Si el terreno tiene una pendiente de gran longitud en la vecindad - del área de explotación, se puede hacer un drenaje con la excavación de una - zanja a cielo abierto, y con más razón si el material es del mismo tipo del -- que se está extrayendo.

Cuando el drenaje por gravedad no es práctico, el agua tiene que - eliminarse por bombeo y también puede ser el método preferido si el agua --- puede utilizarse en la planta de tratamiento, cuando sea necesario lavar los - agregados .

Generalmente se hace un colector en la zona mas baja donde se -- coloca la manguera de succión.

### CAPITULO III: PERFORACION EN ROCA

La barrenación es la horadación del terreno practicada por medio de herramientas manuales y/o mecánicas, con la finalidad de hacer hoyos -- destinados a alojar explosivos para aflojar la roca.

En la explotación de un banco de roca, la barrenación es la parte inicial fundamental, ya que ésta es la que con la ayuda del explosivo permitirá fraccionar la roca en tamaños que puedan ser manejados por el equipo de - carga y acarreo que se tenga destinado para tal trabajo, y permita trabajar con rapidez y eficiencia.

Los diversos tipos de máquinas perforadoras que se emplean en - los trabajos de barrenación, que son elegidas de acuerdo con la dureza, tenacidad y compactidad de las rocas pueden realizar su trabajo por trituración, -- corte, abrasión o fusión.

#### 3 . I . TIPOS DE BARRENACION

La barrenación en roca se puede hacer de dos formas: barrenación a mano y barrenación mecánica.

La barrenación manual, es un método cada día menos usado ya -- que es lento, de poco rendimiento y por consiguiente de costo elevado por el - consumo de tiempo y mano de obra necesaria.

Aunque presenta inconvenientes hay ocasiones en que puede ser -

utilizado por ejemplo, cuando la profundidad y cantidad de barrenos sea mínima; porque el desplazamiento de una máquina, más grande de perforación resultaría más caro que la barrenación manual.

En el método de barrenación mecánica existen máquinas que de acuerdo a cómo realizan su trabajo se clasifican en:

a). - Perforación por percusión

a.1.). - Perforadora de percusión por cable o pulseta.

Esta máquina realiza su trabajo por medio de una pesada barrena o trépano, unida a un vástago y un dispositivo giratorio suspendidos de la máquina por medio de un cable que se encuentra en su extremo opuesto, parcialmente enrollado en un tambor.

El trabajo se realiza accionando el conjunto de herramientas suspendidas del cable haciéndolas subir y bajar en forma recíprocante.

En la carrera de descenso la herramienta se deja caer libremente, siendo el impacto sobre la roca el que produce la perforación al fragmentarla y triturarla; durante las carreras sucesivas la herramienta sufre ligeros giros sobre su eje lo que hace que el filo o filos de la barrena se vayan desplazando radialmente en el curso de la perforación.

El material triturado producto de la perforación es sacado del agujero, por medio de una constante corriente ascendente de un fluido conocido -

como lodo de perforación o en forma intermitente suspendiendo la perforación para extraer el material, por medio de un balde diseñado para tal efecto.

Es más conveniente utilizar los lodos de perforación ya que con ellos se enfría la herramienta de barrenación así como sellador de las grietas del agujero perforado.

La aplicación de las perforadoras de cable en los trabajos de barrenación son muy limitados ya que conviene utilizarlas en barrenos de diámetros muy grandes ( 6" a 12" ), o cuando se requiera explotar grandes volúmenes de roca sin exigencias limitativas, en su grado de fragmentación.

El uso de estas perforadoras se recomienda en trabajos de barrenación, en explotaciones de canteras muy grandes y permanentes.

El rendimiento de las perforadoras de cable varía de acuerdo con la dureza, y la tenacidad de la roca, así como con el diámetro de la perforación.

#### RENDIMIENTOS DE BARRENACION CON PERFORADORA DE CABLE HASTA UNA PROFUNDIDAD DE 30.0 METROS.

Tipo de roca	Diámetro del barreno (pulg.)	Rendimiento por hora
Andesita	6	0.80 m
Granito	6	0.40 m
Basalto	6	0.20 m
Calizas masivas	6	0.60 m
Gneises	9	0.80 m
Pórfido de cuarzo	9	1.90 m
Magnetita	9	1.00 m
Minerales de hierro	9	1.00 m

a.2). - Perforadoras de percusión directa con pistón.

Es una perforadora neumática que opera por medio de una línea de perforación, formada por tubería hueca, la que se mueve en forma recíproca a la par del pistón de la perforadora, llevando en el extremo inferior la barrena con insertos de carburo de tungsteno.

Son máquinas muy pesadas que se emplean solamente en instalaciones muy grandes y de preferencia fijas, para barrenar grandes diámetros y donde no se tienen limitaciones en la fragmentación de la roca.

En ningún caso conviene emplearlos en terrenos con profundidad menor de 20 a 30 metros y diámetros menores de 6".

Rendimiento promedio para un diámetro de 6".

Tipos de roca	m/hr
Calizas cretácicas con nódulos de pedernal	18
Caliza	4-6
Cuarcita	4-5
Granito	2-3

a.3). - Perforadoras neumáticas manuales de martillo de percusión.

Son estas máquinas las que más se emplean en barrenos de diámetro de 3/4" a 1 1/2" y con una profundidad máxima de 6 metros.

El elemento básico en las perforadoras de percusión es un pistón que se mueve en forma recíproca dentro del cilindro de la perforadora, golpeando en cada ciclo completo el zanco o espiga del acero de barrenación.

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

La broca realiza un sucesivo cincelado en el fondo del barreno ya que tiene un movimiento giratorio que hace un desplazamiento angular en cada ciclo completo del pistón de la perforadora, con lo cual se logra que los filos de la barrena golpeen en posición diferente en cada golpe.

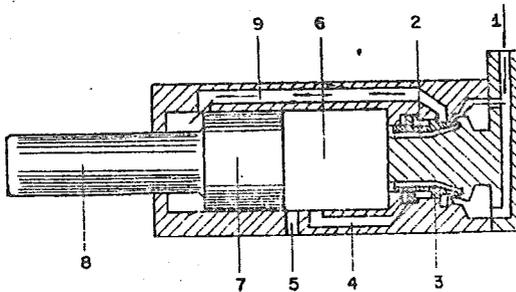
Para obtener un rendimiento óptimo en la barrenación, se requiere que la broca esté en contacto con el fondo del barreno antes de recibir el siguiente impacto.

Dicho contacto se puede obtener ejerciendo un empuje constante en la perforadora ya sea por acción manual o por medio de un mecanismo automático. Después de cada golpe la corriente de aire o agua limpian el frente del barreno.

Cualquier perforadora de percusión neumática consta de los siguientes mecanismos:

1. - Mecanismos de percusión
2. - Mecanismos de rotación
3. - Sistemas de circulación para limpieza en el barreno
4. - Dispositivo de empuje para mantener una presión constante y un contacto efectivo entre la broca y el fondo del barreno.

Mecanismo de percusión: en la figura # 1, se muestra la sección-transversal del cilindro de una perforadora neumática de percusión manual, -- así como el pistón y los conductos de aire comprimido.



- |  |  |
|--|--|
| 1.- Entrada de aire comprimido.              | 6.- Cámara del cilindro                      |
| 2.- Conducto de entrada a la cámara superior | 7.- Cabeza del pistón                        |
| 3.- Válvula tubular                          | 8.- Vástago del pistón                       |
| 4.- Conducto regulador                       | 9.- Conducto de entrada a la cámara inferior |
| 5.- Conducto de descarga del cilindro        |  |

Figura # 1

La cantidad de roca que puede ser perforada por una broca de tamaño fijo, en tiempo unitario, es proporcional a la cantidad de energía transmitida por el pistón al acero de barrenación.

El rendimiento de una perforadora a características constantes de -- una roca es directamente proporcional a la presión de trabajo de la perforadora, la velocidad de impacto del pistón y diámetro de la cabeza del pistón.

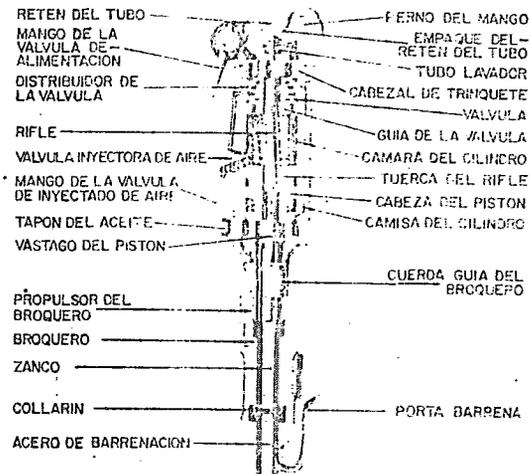
Por lo tanto, el acero de barrenación como las brocas, deben ser -- de un diámetro adecuado a la capacidad del diámetro del pistón de la perforadora.

2.- Mecanismo de rotación: existen dos sistemas para impartir el movimiento de rotación, uno aprovecha el movimiento recíproco del pistón de la perforadora y el otro es un sistema auxiliar constituido por un motor neumático.

En el primero, el pistón es hueco y en su interior se encuentra una barra con un rayado en forma de espiral llamada "rifle". El rifle superior, tiene un trinquete que le sirve de cabezal en la culata del pistón, que es el que gira un cierto ángulo en cada carrera de regreso del pistón.

Es el conjunto del rifle con su trinquete y la contratuerca del rifle, -- lo que constituyen el mecanismo de rotación, que hacen girar al pistón en un solo sentido de la carrera de regreso del mismo, siendo guiado por el rayado del rifle.

El extremo del cuello del pistón tiene ranuras que a su vez hacen -- girar el broquero y elementos asociados, como se muestra en la figura 2.

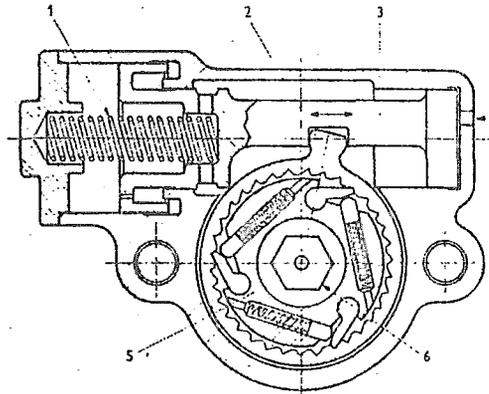


Corte transversal de una perforadora neumática de mano J-10. Clase de 55 libras de peso, la cual puede perforar en seco, con agua (húmedo) y soplar el barrenado (Jugersall-Rand).

Figura # 2

El segundo método se emplea en perforadoras muy pesadas, en la barrenación de rocas muy duras donde se necesita impartir a la broca un fuerte momento de rotación.

El mecanismo consiste fundamentalmente en un segundo pistón reciprocante que se acciona por aire comprimido como se muestra en la figura 3.



Esquema del mecanismo de rotación auxiliar para una perforadora neumática, en el que: (1) resorte de retroceso; (2) oreja o cuña del anillo del trinquete; (3) pistón recíprocante; (4) conducto de entrada del aire comprimido; (5) cabeza del trinquete de rotación; (6) zancos del acero de barrenación. (Perforadora BBE 12 DR. (Atlas Copco Mexicana, S. A.)

Figura # 3

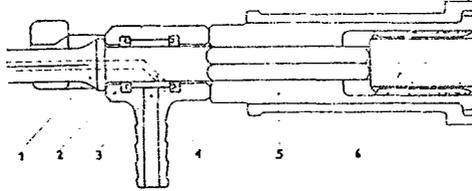
### 3. - Sistemas de circulación para limpieza del barreno.

A medida que la broca va golpeando el fondo del barreno, va dejando partículas de roca trituradas sueltas que deben ser desalojadas para mantener siempre el frente de ataque limpio, para efectuar un contacto efectivo de la broca con la roca.

En trabajos que se realizan a cielo abierto la limpieza se conoce -- como "soplado" y se realiza con aire exclusivamente.

El fuído de limpieza o "soplado" se inyecta desde la perforadora a través de un conducto central coaxial que tiene el acero de barrenación hasta conectar con la broca, la cual a veces tiene un sólo ducto o conductos múlti--





Zanco del acero de barrenación equipado con cabezal de limpieza separado. (1) acero de barrenación; (2) cabezal de limpieza; (3) entrada del agua; (4) conducto de circulación del acero de barrenación; (5) broquera rotatorio; (6) vástago guía del pistón de la perforadora. (Atlas Copco Mexicana, S. A.)

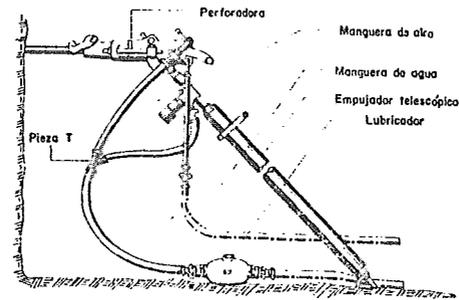
Figura # 5

#### 4.- Dispositivo de empuje.

Este mecanismo está formado por una barra que aloja un pistón que se desplaza dentro de su correspondiente cilindro, suministrando así la fuerza de empuje necesaria, que va haciendo avanzar a la perforadora montada sobre el mismo a medida que progresa la horadación del barreno.

No se ahondará más en este punto ya que su empleo es principalmente en la barrenación en minas subterráneas y túneles, cuando se requieren barrenos horizontales, inclinados y verticales hacia arriba.

En la figura 6, se muestra un empujador del tipo de pierna.



Esquema de conexiones de una perforadora montada en un empujador telescópico tipo de pierita. (Atlas Copco Mexicana S. A.)

Figura # 6

Especificaciones de perforadoras manuales, de la Chicago Pneumatic Tool de México S. A .

Modelo	peso (lbs)	largo total (pulg)	φ del pistón (pulg)	presión de trab. (psi)	consumo de aire p.c.m. seco húmedo	φ del acero de barrenación ( pulg ).
CP-39	38	20 ½	2 3/8"	80	70	7/8 x 3 1/4 hexagonal
CP-39W	40	20 ½	2 3/8"	80	52	7/8 x 3 1/4 hexagonal
CP-32A	52	22	2 5/8"	80	85	7/8 x 3 1/4 hexagonal
CP-32AW	54	22	2 5/8"	80	75	7/8 x 3 1/4 hexagonal
CP-69	61	24 ½	2 3/4"	80	110	1 x 4 1/4 hexagonal
CP-69W	63	24 ½	2 3/4"	80	90	1 x 4 1/4 hexagonal

φ: diámetro

Psi: Presión en libras / pulg 2

P.C.M Pies cúbicos por minuto.

Para perforaciones de mayor diámetro o profundidad se utilizan máquinas de mayor peso y alcance que vienen montadas en columnas de donde son accionadas por cadenas, la máquina es complementada con un chasis y un sistema de movimiento que puede ser de llantas neumáticas ( Wagon Drills ) o en orugas ( track Drills ) lográndose diámetros de  $1\frac{1}{2}$  a  $4\frac{1}{2}$  pulgadas con profundidades del orden de 15 metros.

El mecanismo que tienen estas máquinas consiste en una perforadora neumática montada sobre un mástil, junto con su motor neumático de empuje y un tornillo o cadena que transmite el movimiento haciendo avanzar o retroceder a la perforadora a lo largo del mástil.

a.4). - Perforadora neumática montada sobre ruedas ( Wagon Drills ), tiene el mecanismo anterior acoplado al aguilón del carro y forma el mástil, que puede ser puesto en cualquier posición por medios manuales, mecánicos o neumáticos.

Su empleo más común es en las excavaciones a cielo abierto en bancos y canteras donde se requieren barrenos de diámetros del orden de 2" a 4" y de 10 a 15 metros de profundidad.

a.5). - Perforadoras montadas sobre orugas ( track Drills ), tienen el mismo sistema que la anterior, la cual está acoplada al aguilón móvil del carro, que está montado sobre orugas, las cuales son autopulsadas por medio de motores neumáticos.

Las track Drills, son máquinas muy pesadas, diseñadas funda

mentalmente para trabajos de barrenación muy profunda en terreno irregular -- rocoso, pudiendo operar con acero seccional.

La maniobrabilidad que tienen estas perforadoras es de 180 grados de giro horizontal y 85 grados de giro vertical.

En la figura 7, se muestran algunas partes constitutivas de una perforadora montada sobre orugas ( track Dill ).

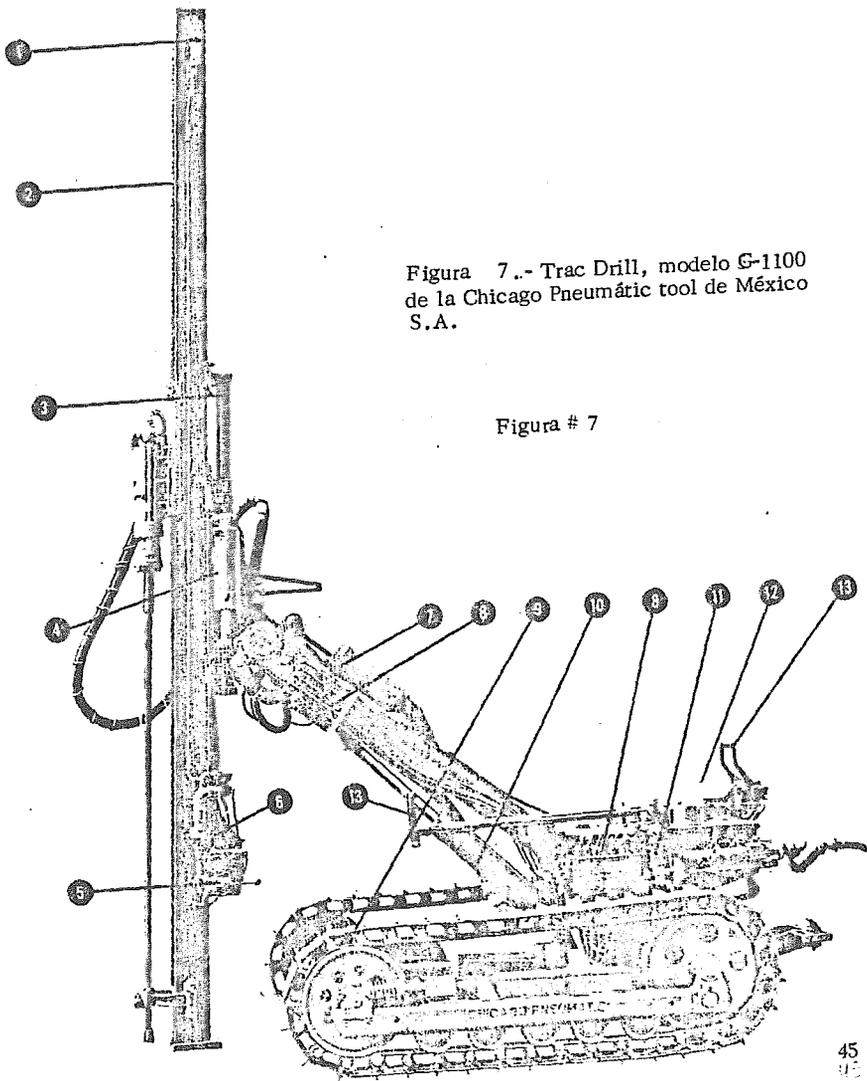


Figura 7.- Trac Drill, modelo G-1100  
de la Chicago Pneumatic tool de México  
S.A.

Figura # 7

1. - Mástil
2. - Cadena con alta resistencia al rodamiento
3. - Cono de deslizamiento hidráulico que fija y estabiliza firmemente la base y ajusta el mástil para perforaciones en bajadas y salientes.
4. - Cilindro hidráulico que oscila inclinando el mástil hacia la derecha o izquierda a través de un arco de 90 grados.
5. - Estación de control de la perforadora.
6. - Dispositivo que permite el constante y preciso control de la alimentación de la presión.
7. - Cilindro hidráulico que permite una inclinación de 180 grados del mástil.
8. - Controles de elevación oscilación e inclinación que aseguran una rápida posición del barreno.
9. - Arrastradores ásperos que permiten buena estabilidad en terreno difícil.
10. - Cilindro hidráulico que permite una elevación por arriba de los 90 grados.
11. - Dispositivo lubricador.
12. - Cilindro hidráulico que permite la oscilación de 90 grados ( no mostrado ).
13. - Dispositivo que permite tres posiciones de control hacia atrás al lado o al frente.

Válvula reguladora y frenos de disco automáticos que dan la seguridad del operador.

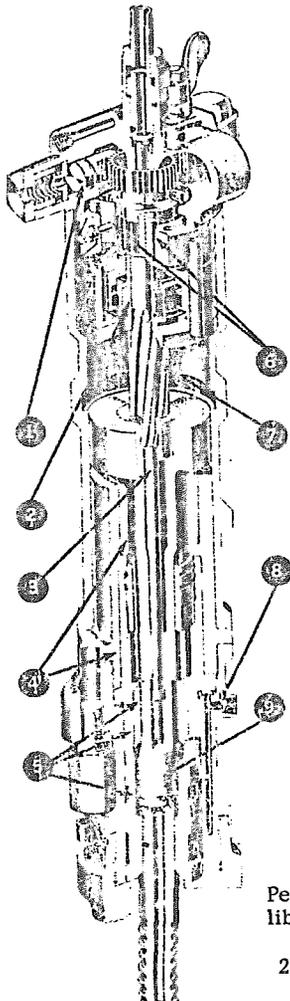


Figura # 8

Algunos modelos existentes en México de trackdrills -- son la G - 900 y la G - 901, los cuales funcionan con un compresor portátil 600 - R O 2 y utilizan una perforadora CP - 475 DR la que se describirá a continuación en la figura 8.

1. - Control remoto de rotación hacia adelante, neutral o reversa.
2. - Válvula que desarrolla alta eficiencia a plena capacidad de perforación y a fuerte rotación.
3. - Tubo de aire de diámetro grande que sujeta el máximo de aire a la parte inferior de la barra.
4. - Renovaciones útiles de bronce.
5. - Piezas construidas con mordaza.
6. - Barras de operación reversible con aire.
7. - Rifle, el cual da la rotación a la barrenadora.
8. - Parte absorbidora de grasa.
9. - Barra en la cual es transmitido todo el poder de la perforadora.

Especificaciones de la perforadora CP-475 DR

Peso en libras .	Ø del pistón en pulgadas	Presión de - trabajo (psi)	Capacidad de barrenado
252	4 3/4	80	3 1/2" por 23 mts. de profundidad.

Para calcular la producción de una perforadora, se requiere conocer datos y factores de operación de los compresores, perforadoras y la Trac-Drill, además debe haber la máquina adecuada para cada componente.

Además se debe de conocer el tipo de roca que se va a perforar, - así como sus factores de perforación y el índice de abrasividad, ya que aunque sea el mismo tipo de roca pero en diferente localización varían estos dos factores.

En los Estados Unidos esto se tiene bien definido pero en México no, por lo cual sería conveniente realizar un estudio para tener estos datos.

Antes de calcular la producción se hará lo siguiente:

1. - Definir el tipo de perforadora que se va a utilizar.

Perforadora	Volúmen de aire
VL - 140	750 Pcm a 100 Psi

2. - Relacionar las máquinas complementarias adecuadas.

Trac Drill	Perforadora	Compresor	Ø del barreno
CM - 350	VL - 140	D X L 750	3 ½"

3. - El método de cálculo es el siguiente:

3.1 Será necesario conocer los siguientes datos.

La Trac Drill empleada, el tipo de perforadora, el compresor, tipo de roca, diámetro del barreno y número de horas efectivas de trabajo por día.

Trac Drill - - - - - CM - 350  
Perforadora - - - - - VL - 140  
Compresor - - - - - D X L 750  
Roca - - - - - Caliza  
Diámetro  $\emptyset$  del barreno - - -  $3 \frac{1}{2}$ "

Horas efectivas de trabajo 8 horas. Turno de 10 horas con factor de eficiencia 0.8

3.2 Se va a la tabla A y se busca el rendimiento del equipo de perforación, y se obtiene 53 pies/Hr.

3.3 Se multiplica este dato por el factor de perforación de acuerdo a la roca y su localización. En este caso la caliza se considera de unas características similares a la lowa (caliza blanda) y el factor obtenido de la tabla B es: 1.79

$$53 \text{ Pies/Hr} \times 1.79 = 94.87 \text{ pies/Hr} = 28.92 \text{ m/Hr.}$$

3.4 Se determinará la distancia del barreno al borde del frente de barrenación en función del tipo de roca y el diámetro del barreno tabla C.

Distancia - - 7 pies = 2.13 M

También la separación entre barreno y barreno tabla D.

Distancia - - 9 pies = 2.74 M

3.5 Con estos valores se obtiene el volumen de roca des---  
plazado, en M3/M de barrenación.

$$2.13 \times 2.74 \times 1.0 = 5.84 \text{ M3/M.}$$

Este valor se multiplica por el rendimiento obtenido en el paso --

3.3 y se obtiene:

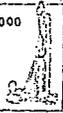
$$28.92 \text{ M/Hr} \times 5.84 \text{ M3/M} = 168.89 \text{ M3/Hr}$$

3.6 Se determina el volumen por turno que será:

$$168.89 \text{ M3/Hr} (8 \text{ Hrs./turno}) = 1351.12 \text{ M3/turno.}$$

Rendimiento en ft/hr en roca de granito incluyendo el levantamiento y cambio de acero en un barreno - de 12 mts.

TABLA A

T <sub>r</sub> ac Drill	Perforadora	Compresor	Diámetro del barreno en pulgadas.	*								
				2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5	5 1/2		
	VL 120	—	DR 600	100	51	—	52	—	—	—	—	—
	—	DHD 24	DF 365	100	—	—	—	73	19	—	—	—
	VL 120	—	DR 600	100	51	47	39	—	—	—	—	—
	URD 475	—	DX 300	100	73	57	45	37	—	—	—	—
	URD 475	—	DXL 370	100	72	70	65	45	—	—	—	—
	VL 140	—	DAL 750	100	61	57	50	44	—	—	—	—
	—	DHD 24	DR 365	100	—	—	—	51	41	—	—	—
	—	DHG 24	DAL 600	100	—	—	—	31	24	—	—	—
	URD 550	DHD 24	DAL 750H	100	—	—	—	57	47	—	—	—
	VL 120	—	DR 600	100	54	43	39	—	—	—	—	—
	URD 475	—	DAL 750	100	59	51	45	41	—	—	—	—
	URD 475	—	DXL 370	100	72	71	69	54	—	—	—	—
	VL 140	—	DAL 750	100	60	54	50	45	—	—	—	—
	—	DHD 24	DR 365	100	—	—	—	51	41	—	—	—
	—	DHD 24	DAL 750	100	—	—	—	31	24	—	—	—
	URD 550	DHD 24	DAL 750H	100	—	—	—	57	47	—	—	—
	URD 550	—	DAL 1000	100	—	104	91	79	67	45	—	—
	VL 170	—	DAL 1000	100	—	—	—	110	79	70	—	—
	—	DHD 24	DAL 750H	100	—	—	—	31	22	—	—	—
	—	DRD 15	DAL 600	100	—	—	—	—	—	56	52	—
	—	DHD 15	DAL 750H	100	—	—	—	—	—	41	46	—

\* Presión en lb/pulg<sup>2</sup>

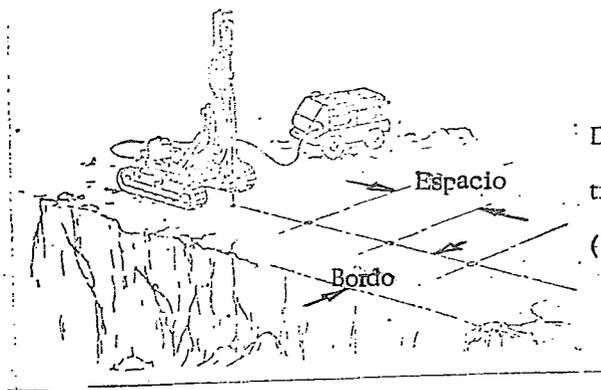
TABLA B

Tipos de roca Localización (A) (B) Tipos de roca Localización (A) (B)

1. Basalto	Barro Vermado USA	1,00	1,00	51. Magnetite	Kivuna Swazila	,67	1,33
2. Granito	Quilmes	,25	2,79	52. Talco	Kashim Lake, Ontario, Canada	,24	4,13
3. Gneiss	Grand Coulee Wash. USA	,51	2,43	53. Talco	Kashim Lake, Ontario, Canada	,86	2,21
4. Gneiss/Gneiss	Hawburg N. J. USA	,67	1,48	54. Sulfuro	Chillicothe N. Y. USA	,69	,55
5. Gneiss	Washington N. J. USA	,67	1,69	57. Sulfuro	Chillicothe, Virginia	,90	,69
6. Gneiss	Springham Dam Alaska USA	,76	,74	78. Magnetite	Kivuna Swazila	,95	1,21
7. Gneiss/Gneiss	W. Kennerly B. C. Canada	,83	1,03	39. Magnetite	Kivuna Swazila	1,03	1,23
8. P. y Gneiss	Mad. B. and Texas, France	,92	,80	40. Sulfuro	Shawangung, Quebec, Canada	1,00	,55
9. Gneiss	Kennerly N. J. USA	1,03	1,27	41. Magnetite	Kivuna Swazila	1,22	,33
10. Gneiss	California USA	1,10	,84	42. Magnetite (Red)	Chillicothe, Virginia	1,50	,40
11. Gneiss	California, Idaho, USA	1,11	1,14	43. Magnetite (Dark)	Chillicothe, Virginia	2,23	,70
12. Gneiss/Gneiss	Denver Colorado USA	1,52	1,19				
13. Gneiss	Michigan, Ont. Ontario, Canada	,63	,69	44. Sulfuro	Kennerly B. C. Canada	,75	2,30
14. Gneiss	Denver Colorado USA	,82	2,65	45. Sulfuro	New Jersey	2,29	1,20
15. Basalto	Mad. B. and Texas, France	,93	,77	46. Sulfuro	New Jersey Canada	2,79	,14
16. Gneiss	California USA	,34	,67				
17. Basalto	New Jersey USA	,56	3,76	47. Sulfuro	Michigan B. C. Canada	,75	2,00
18. Magnetite	Kennerly, Ont. Canada	,67	1,14	48. Sulfuro	Secretary, Pa. USA	2,00	,03
19. Sulfuro	Florida, Georgia, USA	,75	,25				
20. Sulfuro	Florida, Georgia	,75	,36	49. Sulfuro	Harrisburg Pa. USA	,80	,14
21. Basalto/Gneiss	Florida, Georgia	,81	,27	50. Sulfuro	Washington D.C., Canada	,61	,44
22. Magnetite	New Jersey	,54	,04	51. Sulfuro	Chillicothe, Virginia USA	,78	,36
23. Magnetite	Michigan, Ohio, Wash. USA	1,27	,28	52. Sulfuro	Washington USA	,75	,67
				53. Sulfuro	Washington USA	,03	,11
24. Magnetite	Canada	,39	1,17	54. Sulfuro	Harrisburg Pa. USA	,58	,29
25. Magnetite	Michigan, Pa. USA	,56	,37	55. Sulfuro	Chillicothe, Va. USA	,89	,12
26. Magnetite	Canada	,72	3,17	57. Sulfuro	Buffalo, N. Y. USA	,59	,69
27. Magnetite	New Jersey	,78	1,17				
28. Sulfuro	Canada, Ont. Ontario, USA	1,03	1,69	58. Magnetite	Chillicothe Va. USA	,64	,89
29. Magnetite	Canada, Ont. Ontario, Canada	1,27	2,73	59. Magnetite	Tulsa Ok. USA	1,12	,03
				60. Magnetite	Tulsa Ok. USA	1,13	,10
54. Magnetite	Canada	,53	3,03				
55. Magnetite	Kivuna Swazila	,59	1,54	61. Magnetite	Saratoga N. Y. USA	1,22	,01
56. Magnetite	Kiv and Lake, Ontario, Canada	,59	1,41	62. Sulfuro	Harrisburg Pa. USA	1,70	,01
				63. Magnetite	Parsippany N. H. USA	1,77	,65
				64. Magnetite	Garwood, Iowa, USA	1,79	,20

Factor de perforación ( A )

- Factor de abrasividad ( B )



Determinación de la planilla de barrenación - - -  
( Bordo X espaciamiento )

Bordo es la separación hacia el frente del banco ( pies )

TABLA C

Tipos de roca		Diámetro del barreno en pulgadas						
		2½	3	3½	4	4½	5	5½
Rocas pesadas	granito y basalto	4	5	6	7	7.5	8	9
Rocas medianas	calizas	5	6	7	8	9	10	11
Rocas ligeras	areniscas y calizas	6	7.5	9	10	11	12.5	14

Espaciamiento es la separación entre barrenos ( pies )

TABLA D

Tipos de roca	Diámetro del barreno en pulgadas							
	2½	3	3½	4	4½	5	5½	-
Rocas pesadas granito y basalto	6	7.5	9	10.5	11	12	13.5	
Rocas medianas calizas	6.5	8	9	10.5	12	13	14	
Rocas ligeras areniscas y calizas	7	9	11	12	13	15	17	

#### a.6. - Perforadoras rotatorias

Las perforadoras rotatorias neumáticas se emplean en obras muy grandes, para barrenar rocas suaves a grandes diámetros.

Normalmente son máquinas autopropulsadas que realizan la perforación por medio de una tubería suspendida desde el mástil y conectada a su respectiva compresora y a un dispositivo giratorio que en su extremo inferior lleva montada una barrena, que normalmente es del tipo tricónico de roles giratorios.

En el interior de la tubería de perforación se inyecta aire que sirve como enfriador de la herramienta y como limpiador expulsando al exte-

rior los detritus del corte.

La barrenación por medio de perforadoras rotatorias está muy limitado por ser antieconómico en nuestro medio de la explotación de bancos de roca.

#### a.7. - Perforadoras rotatorias con herramientas abrasivas.

Las perforadoras de diamante debido a su elevado costo de operación, especialmente en lo que se refiere a consumo de brocas, casi no se emplea en trabajos de barrenación para voladura y su uso es mas aplicado a la exploración geológica.

Lo mismo pasa con las perforadoras por fusión, las cuales tienen muy alto costo de operación y campos de aplicación muy específicos por lo cual no se ahondará más en este tipo de perforación.

### 3.2 EQUIPO UTILIZADO

El equipo de uso constante y representativo de la perforación en roca a cielo abierto, consta de :

a) Compresores. - Son máquinas que tienen un mecanismo compresor que transmite su energía al aire y lo comprime, luego una o varias líneas de mangueras conducen el aire comprimido hasta el lugar de su utilización y finalmente los mecanismos a los que se conectan los motores neumá-

ticos, de las diversas máquinas que operan con el fluido comprimido.

Las operaciones de comprimir, conducir y utilizar el aire implican pérdidas de energía y eficiencia, las cuales deben reducirse al mínimo para que su utilización sea económica.

Para que esto se obtenga es necesario que se haga una correcta selección de la planta compresora, la cual deberá estar balanceada con los sistemas de conducción y con la demanda del conjunto de máquinas que alimente.

Una instalación de aire comprimido deberá cumplir con los siguientes requisitos:

1. - Que el aire comprimido se disponga siempre en cantidad suficiente y a una presión adecuada.

2. - Que los compresores tengan una cierta capacidad de sobrecarga para hacer frente a las demandas máximas.

3. - Que el aire sea comprimido, conducido y utilizado a una temperatura mínima posible.

4. - Que las compresoras y motores neumáticos, estén mantenidos y conservados en estado satisfactorio de eficiencia por personal adecuado.

5. - Instalar las plantas compresoras lo más cerca posible a los lugares de utilización, para evitar pérdidas debidas a caída de presión por fricción en la tubería y fugas en la conducción.

6. - Que los sistemas de conducción sean de las dimensiones y capacidades adecuadas.

Los compresores se dividen en estacionarios y portátiles, de estos los más empleados en la explotación de bancos de roca, son los segundos ya que los estacionarios sólo se justifica su uso en instalaciones muy grandes y para abastecer obras que durarán mucho tiempo.

Los compresores portátiles están montados en un chasis con 2 ó 4 llantas que permiten hacer su remolque fácilmente.

Los mecanismos que comprimen el aire son de tres tipos, el primero es un sistema de pistón el cual ya ha dejado de usarse por el desarrollo de los demás, los cuales son: el de rotor de aspas y el del tornillo helicoidal.

En el primero, el ciclo de compresión es el siguiente:

Cada etapa de compresión consiste en un rotor con aspas, encerrado en un cilindro de compresión sellado.

El rotor está colocado en posición no concéntrica con el cilin-

dro, las aspas deslizantes insertadas radialmente en el rotor, crean sectores sellados de capacidad variable. Estos sectores aumentan o disminuyen de tamaño conforme las aspas deslizantes siguen el contorno del cilindro de compresión.

Las lubreras de admisión están colocadas de manera que el aire entre al cilindro de compresión cuando aumenta la distancia entre el rotor y la pared del cilindro.

Cuando las aspas están totalmente extendidas, el volumen del sector está a su máxima capacidad, un ligero movimiento rotacional aisla el sector lleno de aire, de las lubreras de admisión.

A medida que el sector gira hacia las lubreras de descarga, su volumen disminuye por la convergencia entre las paredes del cilindro y el cuerpo del rotor.

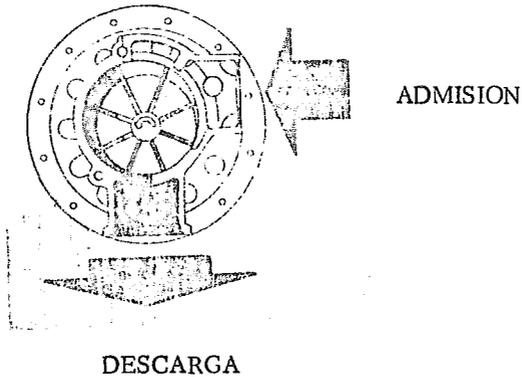
Esta disminución en el volumen del sector continúa hasta que se alcanza la máxima compresión.

Conforme el sector pasa por las lubreras de descarga, el aire comprimido es liberado y se repite el ciclo.

El esquema de la figura 9 representa el ciclo.

En la figura 10 se muestra el ciclo completo, para compresores

Figura # 9



de 2 etapas con la inyección de aceite que tiene como función la de lubricación, enfriamiento y sello de presión de aire.

El aceite es inyectado por presión y pasa a través de la cámara de compresión mezclado con el aire.

Esta mezcla aire - aceite limita altamente el aumento de temperatura del aire durante la compresión.

Después de pasar a través del compresor, el aceite se separa del aire, es enfriado y filtrado.

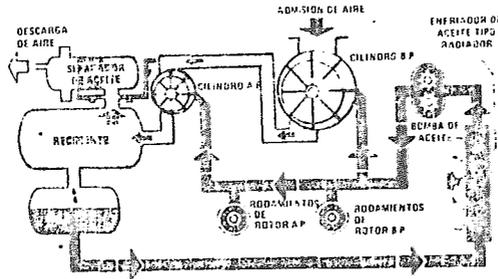


Figura # 10

Algunos compresores portátiles existentes en México son los siguientes:

Modelo	Capacidad PCM	Presión normal ( Psi )	Etapas	Tipo	Motor	Llantas
175 RO-1	175	100	1	aspas rotatorias	Diesel	2
315 RO-2	315	100	2	aspas rotatorias	Diesel	3
600 RO-2	600	100	2	aspas rotatorias	Diesel	4
900 RO-2	900	100	2	aspas rotatorias	Diesel	4



do, por lo cual, la selección del diámetro de las mangueras deberá ser --  
seleccionado en la forma más adecuada posible.

En la siguiente tabla están las pérdidas de presión correspon-  
dientes al flujo de aire comprimido en mangueras de diversos diámetros.

— PÉRDIDAS DE PRESIÓN POR FRICCIÓN EN MANGUERAS DE 15.25 m. (50 pies),  
INCLUYENDO SUS COPLES DE EXTREMIDAD, MEDIDA EN PSI.

DIÁMETRO DE LA MANGUERA	LARGO DE LA MANGUERA EN PIES	CARGA DEL APELICIONANTE EN PESOS CUBICOS POR MINUTO												
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140	160
1/2"	50	1.8	5.0	10.1	18.1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1/2"	60	1.3	4.0	8.4	14.8	23.4	---	---	---	---	---	---	---	---
1/2"	70	1.0	3.4	7.0	12.4	20.0	28.4	---	---	---	---	---	---	---
1/2"	80	---	2.9	6.0	10.8	17.4	25.2	34.6	---	---	---	---	---	---
1/2"	90	---	2.4	5.4	9.6	14.8	22.0	30.5	41.0	---	---	---	---	---
1/2"	100	---	1.7	2.3	4.8	8.4	13.3	19.3	27.2	36.6	---	---	---	---
1/2"	110	---	1.6	2.0	4.3	7.6	12.0	17.6	24.6	33.3	4.5	---	---	---
3/4"	50	---	.4	.8	1.5	2.4	3.5	4.4	6.5	8.5	11.4	14.2	---	---
3/4"	60	---	.3	.6	1.2	1.9	2.8	3.8	5.2	6.8	8.6	11.2	---	---
3/4"	70	---	.2	.5	.9	1.5	2.3	3.2	4.2	5.3	7.0	9.3	11.0	---
3/4"	80	---	.2	.5	.8	1.3	1.9	2.6	3.6	4.5	5.8	7.2	8.8	10.6
3/4"	90	---	.2	.4	.7	1.1	1.6	2.3	3.1	4.0	5.0	6.2	7.5	9.0
3/4"	100	---	.2	.4	.6	1.0	1.4	2.0	2.7	3.5	4.4	5.4	6.6	7.9
3/4"	110	---	.1	.3	.5	.9	1.3	1.8	2.4	3.1	3.9	4.9	5.9	7.1
1"	50	---	.1	.2	.3	.5	.8	1.1	1.5	2.0	2.6	3.5	4.8	7.0
1"	60	---	.1	.2	.3	.4	.6	.8	1.2	1.5	2.0	2.6	3.3	4.2
1"	70	---	.1	.1	.2	.4	.5	.7	1.0	1.3	1.6	2.0	2.5	3.1
1"	80	---	.1	.2	.3	.5	.7	.8	1.1	1.4	1.7	2.0	2.4	2.7
1"	90	---	.1	.2	.3	.4	.6	.7	.9	1.2	1.4	1.7	2.0	2.4
1"	100	---	.1	.2	.2	.4	.5	.5	.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1
1"	110	---	.1	.2	.2	.3	.4	.6	.7	.9	1.1	1.3	1.5	1.8
1 1/4"	50	---	---	---	.1	.2	.3	.4	.5	.7	1.1	---	---	---
1 1/4"	60	---	---	---	.1	.2	.3	.3	.5	.6	.8	1.0	1.2	1.5
1 1/4"	70	---	---	---	.1	.2	.2	.3	.4	.4	.5	.7	.8	1.0
1 1/4"	80	---	---	---	---	.1	.2	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8
1 1/4"	90	---	---	---	---	---	.1	.2	.2	.3	.4	.5	.6	.7
1 1/4"	100	---	---	---	---	---	---	.1	.2	.2	.3	.4	.5	.6
1 1/4"	110	---	---	---	---	---	---	.1	.2	.2	.3	.3	.4	.5
1 1/2"	50	---	---	---	---	---	.1	.2	.2	.2	.3	.3	.4	.5
1 1/2"	60	---	---	---	---	---	.2	.2	.2	.2	.3	.3	.4	.5
1 1/2"	70	---	---	---	---	---	.1	.1	.1	.2	.2	.2	.3	.4
1 1/2"	80	---	---	---	---	---	---	---	.1	.2	.2	.2	.3	.4
1 1/2"	90	---	---	---	---	---	---	---	---	.1	.2	.2	.2	.3
1 1/2"	100	---	---	---	---	---	---	---	---	---	.1	.2	.2	.2
1 1/2"	110	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	.1	.2	.2

Es importante también no hacer muchas conexiones para evitar las pérdidas por fuga de aire, en las mangueras se procurará que tengan la menor longitud posible ( 15.24 m ) y una pérdida por fuga de aire no mayor del 5 %.

En la tabla siguiente están las características del tipo de manguera utilizada en los trabajos de explotación de roca.

∅ interior (mm) (pulg)	capas	marca	largo (m)	∅ exterior (mm) (pulg)	presión de trabajo (kg/cm <sup>2</sup> ) (lbs/pulg <sup>2</sup> )
9.5	3/8	3	tipo 88 15.24	20 51/64	21.1 300
12.7	1/2	3	tipo 88 15.24	24 61/64	21.1 300
19.1	3/4	3	tipo 88 15.24	31 1 15/64	15.8 225
19.1	3/4	4	tipo 88 15.24	33 1 5/16	18.3 260
25.4	1	3	tipo 88 15.24	37 1 31/64	15.8 225
25.4	1	4	tipo 88 15.24	40 1 9/16	18.3 260
31.8	1 1/4	3	tipo 88 15.24	48 1 57/64	14.1 200
38.1	1 1/2	3	tipo 88 15.24	54 2 9/64	14.1 200
38.1	1 1/2	4	tipo 88 15.24	57 2 7/32	17.6 250
50.8	2	4	tipo 88 15.24	69 2 23/32	15.5 220
63.5	2 1/2	4	tipo 88 15.24	83 3 17/64	12.3 175
76.2	3	5	tipo 88 15.24	98 3 27/32	12.3 175
101.6	4	5	tipo 88 15.24	124 4 27/32	12.3 175

Modelos de manueras para aire disponibles en el mercado. --  
( Compañía Hulera Euzkadi, S.A. ) .

Con el objeto de poder calcular la capacidad adecuada de la --  
planta compresora, como la de las líneas de conducción que abastecen un ---  
frente de trabajo, es necesario determinar el volúmen de aire requerido por --  
las maquinas así como las pérdidas originadas por fugas .

Por lo tanto el consumo de aire total abastecido por una línea, -  
de conducción debiera calcularse sumando los consumos de todos y cada uno -  
de los motores abastecidos y multiplicando dicha suma por los factores de --  
corrección siguientes :

a ) Factor de corrección por presión de trabajo.

Señalado en la siguiente tabla :

Presión de trabajo Psi	Factor de corrección KI	Presión de trabajo Psi	Factor. KI
70	0.80	100	1.20
78	0.90	107	1.30
85	1.00	115	1.40
92	1.10	125	1.50

b) Factor de corrección por uso

$$K2 = 1.05$$

c) Factor de diversidad ( K3 ).

Son datos estadísticos que indican que en un momento dado no todas las máquinas están operando.

No. de máquinas	Grado de utilización			
	60%	70%	80%	90%
1	1.0	1.0	1.0	1.0
2	0.91	0.93	0.95	0.97
3	0.83	0.87	0.91	0.95
4	0.76	0.82	0.88	0.94
5	0.70	0.78	0.86	0.93
6	0.65	0.75	0.84	0.92
7	0.62	0.72	0.82	0.91
8 o más	0.60	0.70	0.80	0.90

70 % — en trabajos de barrenación en bancos, con perforadoras de mano.

80 % - Trabajos de barrenación en túneles empleando perforadoras con dispositivo de avance del tipo de pierna, para barrenos de profundidad.

90 % - Para trabajos de barrenación con perforadoras montadas sobre orugas o ruedas equipadas con mecanismos de avance automático.

d) Factor por fugas de aire. ( K 4 )

Se considera como 1.05 en frentes reducidos, como excavaciones en bancos y de 1.10 para líneas de conducción muy grandes y para compresores estacionarios.

En función de estos factores el consumo total es:

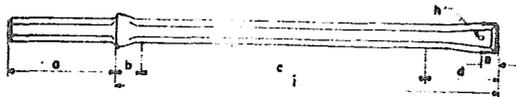
Consumo total = Consumo total nominal X K1 X K2 X K3 X K4

c) Perforadoras. - Ya se mencionó ampliamente lo referente a las perforadoras en el subcapítulo 3.1

d) Barras y brocas.

La barrenación se realiza empleando barras de acero sometidas a tratamientos especiales, las que pueden ser del tipo "acero de barrenación", "acero hueco de barrenación" o "acero seccional".

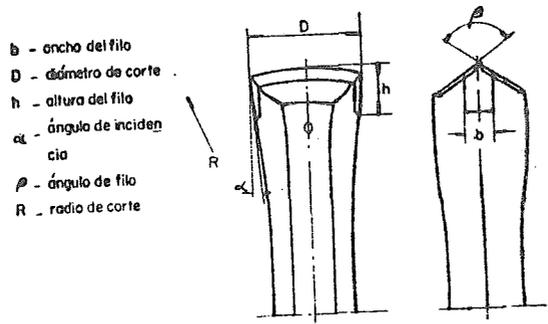
El llamado "acero integral de barrenación" está formado por una sola pieza en la que se encuentran incorporados todos sus elementos como los que se aprecian en las figuras 12 y 13.



- a espiga o rancho
- b cuello o collar
- c vástago
- d broca
- e inserción de metal duro
- h conducto de ventilación y circulación
- i largo de la barrena

Esquema de una barrena integral, con inserto de metal duro. (Broca tipo cincel)

Figura # 12



- b - ancho del filo
- D - diámetro de corte
- h - altura del filo
- $\alpha$  - ángulo de incidencia
- $\phi$  - ángulo de filo
- R - radio de corte

Extremo de barrena integral, broca tipo cincel con inserción de pastilla de carburo de tungsteno.

Figura # 13

Durante muchos años se emplearon aceros integrales de barrena en los que la broca se formaba y afilaba por medio de forja, formando un filo llamado "cincel".

Aproximadamente en 1927 en Alemania se inició el empleo de carburo de tungsteno, teniendo sus primeras aplicaciones en minería, por el año

de 1928, desarrollándose durante los años subsecuentes el sistema de insertos de carburo de tungsteno como elemento constituyente del filo de las brocas, siendo hasta 1950 cuando se generaliza su empleo.

El carburo de tungsteno, terminado su proceso térmico de sintetización, tiene muy alta dureza y resistencia a la abrasión.

d.1 ) Acero integral de barrenación. Este es empleado para barrenos con diámetro hasta de 1 3/4" principalmente con perforadoras de mano.

La mayoría del acero integral es fabricado con broca del tipo - de cincel, con insertos de carburo de tungsteno y con zanco equipado con cuello, que tiene como finalidad apoyar el broquero y portaherramienta.

El acero integral tiene las siguientes ventajas:

a). - El diámetro de la broca puede desgastarse hasta llegar a tener un diámetro igual al del vástago del acero.

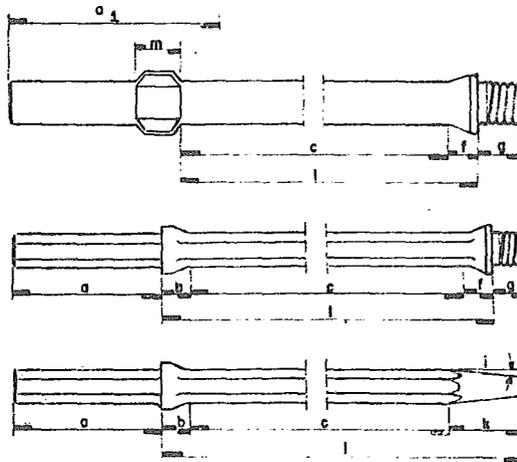
b). - Ausencia de piezas seccionales de extensión entre el acero ( vástago ) y la broca.

c). - El acero integral es mucho más fácil de extraer del barreno.

d).- El acero integral con broca tipo cincel, es muy fácil de ser reafilado.

d.2 ) Acero hueco de barrenación. Son las barrenas dotadas de un hombro con conexión para montar sobre el mismo, una broca del tipo intercambiable.

Existen dos tipos de conexión, uno a base de espiga con rosca a la cual se atornilla la broca y el otro con espiga ahusada a la cual se le adapta la broca a presión, como se ve en la figura 14.



- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| a-Zanco                           | i-Angulo del ahusamiento a 1/2                           |
| a <sup>1</sup> -Zanco tipo Leyner | k-Ahusamiento  |
| b-Collar                          | l-Longitud del acero de barrenación sin incluir el zanco |
| c-Vástago                         | m-orejas   |
| f-redec                           |  |
| g-rosca                           |  |

Acero hueco de barrenación para brocas intercambiables.  
 C.A.H.S. Copco Mexicana, S. A.

Figura # 14

Este tipo de acero se emplea en diámetros de 7/8" a 1" con brocas de 1 3/4" hasta 2 1/2".

d.3 ) Acero hueco seccional. Son barras con roscas en cada uno de sus extremos, de diámetro y longitudes variables, para emplearse en barrenación muy profunda acoplando cada barra a la subsecuente por medio de coples.

Este tipo de acero es muy empleado por las perforadoras montadas sobre llanta o sobre orugas.

El acero seccional da las siguientes ventajas y desventajas:

a). - Es posible barrenar económicamente a grandes profundidades y diámetros.

b). - Es posible realizar excavaciones bajando notablemente los costos.

c). - El rendimiento disminuye en tanto mayor es el número de secciones empleadas en el barreno.

d). - El costo por unidad de longitud a una misma profundidad es mayor empleando acero seccional, que el tipo integral.

e). - Se pueden realizar barrenos hasta de 9" de diámetro.

tro lo cual resulta conveniente en ciertos casos.

f). - Se reduce el costo unitario de excavación por concepto de explosivos cuando hay una proporción entre la profundidad del barrenado y su diámetro, siempre y cuando no exista limitación en lo que respecta al tamaño de la roca.

g). - El mismo equipo puede ser empleado en trabajos de exploración en túneles y en excavaciones en banco.

d.4 ) Consumo del acero de barrenación. Los consumos de acero de barrenación varían en forma muy amplia, dependiendo de muchos factores, tales como: la calidad del equipo, y su adecuado empleo, tipo y características de la roca, el tipo, diámetro y profundidad de la barrenación.

En la siguiente tabla se dan los valores índice promedio de la vida económica de aceros de barrenación. ( En metros )

CLASE DE ROCA	VIDA
Muy duras	
Cuarzo, basalto y hematita	10 a 100
Feldespato	50 a 100
Medianamente duras	
Gneises y conglomerados muy duros silicificados	100 a 150
Esquistos, granito, riolita, 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

El acero de barrenación falla por roturas debidas principalmente a cristalización por fatiga, por lo que los valores anteriores son un índice, - ya que para determinar la vida efectiva y los consumos de acero es necesario

hacer una relación entre la longitud del acero de barrenación y la profundidad del barreno, esto es, convertir los metros de perforación a "metros de barra".

Esto se hace de la siguiente manera: si un barreno con una profundidad total de 9 mts. requiere 3 secciones de acero de 3 mts. cada una para barrenar, la primera toma parte en la barrenación de los 9 mts. que es la profundidad total del barreno, la segunda toma parte con 6 mts. de barrenación, y la tercera con 3 mts. únicamente.

Resumiendo, para hacer un barreno de 9 mts. de longitud se tiene un valor de 18 "metros barra" que viene siendo el trabajo efectivo del acero de barrenación.

La relación entre los valores "metros -barra" y "metros de perforación" depende del número de barras que se emplean en la horadación, de acuerdo a la siguiente fórmula.

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

En la que: K - factor para convertir los metros de barrenación a "metros -barra".

n - número de barras empleadas

$$n = \frac{H}{L}$$

H - profundidad total del barreno

L - longitud de cada tramo seccional

Y para obtener la vida del acero de barrenación se utilizará la siguiente fórmula.

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

Por otra parte, lo que se refiere a las brocas se ve que aquellas que tienen los insertos de carburo de tungsteno son las más empleadas y por lo tanto se fabrican en muy variadas series, tipos y medidas.

Su cara puede ser en forma de "cruz" o en "equis" teniendo el agujero en su centro, para permitir hacer la limpieza del fondo del barreno, con la corriente de aire de soplado.

Para que una broca rinda en forma óptima, obteniendo su máxima vida se deberá elegir tomando en cuenta los siguientes factores:

1. - Diámetro del barreno a ser perforado
2. - Diámetro del pistón de la perforadora. Empíricamente el diámetro de la broca deberá ser 1" menor que el diámetro del pistón, de la perforadora.
3. - Diámetro del acero de barrenación y el tipo de conexión para el ajuste correcto de la broca.

4. - Dureza de la roca. Se eligirá una broca con insertos de adecuada dureza, según el material que se está barrenando.

5. - Limpieza del barreno, para la cual se eligirá una broca con el agujero o agujeros de soplado y limpieza de diámetro y ubicación adecuado.

6. - Dibujo de la cara según el tipo de formación a ser perforada.

7. - Tipos de conexión, la cual está ligada a la profundidad y diámetro del barreno.

8. - Explosivos a usarse:

9. - Grado de fragmentación requerido en la roca.

La dureza, tenacidad y propiedades abrasivas de las rocas son los factores que más afectan el consumo de brocas y dichas propiedades varían ampliamente, lo que lleva a plantear la siguiente regla empírica.

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

Por ejemplo la vida de una broca de 2" de diámetro será en promedio de 200 mts.

Durante los trabajos de barrenación las brocas sufren desgastes que implican dar un mantenimiento, con una máquina afiladora que reafile los filos de las brocas.

El cargo por concepto de mantenimiento del acero de barrenación se ha considerado en un 30% del costo unitario por concepto de consumo de brocas, considerando un promedio de 10 a 12 afiladas para cada broca.

### 3.3 OPERACION EN LOS BANCOS.

Las canteras se clasifican de dos formas: una como tipo de tajo y la otra como ladera, esto dependiendo de la topografía del área en la cual están localizadas.

El tipo de tajo se abre abajo del nivel del terreno vecino y es accesible únicamente mediante una rampa.

La del tipo ladera indica que se ha abierto en la falda de un cerro y el material que se está explotando queda arriba de la elevación del área circundante, el acceso casi siempre es a nivel.

La operación de la cantera consiste en el desarrollo de cuando menos un frente vertical, si la formación es muy profunda, de varios bancos-

Las caras o bancos relativamente bajos, con altura de 6 mts. - a 18 mts. son los más económicos para operar y menos peligrosos para trabajar.

Sin embargo con el equipo popular de perforación de 3 a 4 pulgadas de diámetro, la altura de la cara generalmente es de 6 mts. a 12 mts.

Una consideración importante es la localización de un plano -- de estratificación suave y abierto que pueda emplearse como piso de operación lo que facilita bastante las operaciones de voladura y la producción de pala.

Las palas mecánicas giran en círculo completo, y tienen capacidades de 4 a 6 yardas cúbicas montadas sobre orugas, los camiones de --- arrastre con capacidad de 15 a 30 toneladas son los más comunes y el tamaño de las quebradoras varía hasta un máximo de 60 pulgadas con capacidad de -- hasta 2,500 toneladas por hora, dependiendo del tipo de material y del grado de fragmentación.

Las alturas que se buscan en los bancos del tipo de tajo son - también de un rango de 6 a 18 mts.

Los barrenos de diámetro grande se consideran de 4 1/2 pulgadas a 9 7/8 pulgadas y son los más utilizados para alturas de banco de más - de 9 mts.

Los barrenos se perforan por lo regular en hileras sencillas, excepto en bancos de 6 mts. a 12 mts. de altura en donde se disparan de 2 a 4 hileras simultáneamente.

A veces es necesario hacer disparos acolchonados que se emplean en bancos bajos donde la pata se rompe fácilmente, el método involucra disparar la voladura teniendo descansando sobre el frente, una pila de roca que brada, producto de la voladura anterior, en donde la anchura de ésta pila varía unos cuantos metros hasta 7 o 9 mts. de acuerdo con las condiciones.

Para voladuras de canteras de bancos menores de 12 mts. de diámetros pequeños las perforadoras montadas sobre orugas son las utilizadas.

A veces no es posible perforar un banco desde la parte superior debido a terreno áspero, en este caso se utilizan los barrenos arrastrados perforados en el fondo del banco, empleando brocas de 3 a 4 1/2 pulgadas.

Los barrenos arrancan de 60 a 90 cm. arriba del piso de la cantera y se perforan con profundidades de 7 a 12 mts. inclinados hacia abajo y hacia otras, deteniéndose al nivel o abajo ligeramente del piso.

Este método se utiliza únicamente en lugares en donde no se cuenta con equipo de barrenación vertical para barrenos profundos.

En las canteras del tipo de ladera existen mayores alturas del-

banco, por lo cual la barrenación se hace en hileras simples.

El método de coyoterías es un método que se emplea donde los tipos convencionales de barrenación no son prácticos debido a lo abrupto del terreno o a causa de características desfavorables de la piedra.

Las coyoterías son más adecuadas en formaciones que producen fragmentación satisfactoria producida únicamente por el desplazamiento, o -- para producir rocas grandes como para escolleras y rompeolas.

Dicho método consiste en túneles horizontales con uno o varios cruceros a 90 grados y de una sección aproximada de 1.20 por 1.5 mts. que es suficiente por proporcionar espacio de trabajo.

Para mejores resultados con este método, el banco de la cantera debe tener cuando menos 22 mts. de altura pero no más de 45 mts.

Por muy buena que resulte la planeación y ejecución de una tronada, siempre existirá un cierto número de bloques mayores a los que puede mover el equipo y aceptar las trituradoras, por lo cual siempre será necesario efectuar voladuras secundarias, estas se hacen con un pequeño barreno con -- una pistola neumática y se carga apenas con la dinamita suficiente para fragmentarla.

Si no se emplea la barrenación para las voladuras secundarias -

se puede utilizar el método de plasteo que consiste en poner el número requerido de cartuchos sobre la piedra, en contacto directo unos con la otra, se cubren con una capa de lodo de 7 a 10 cm. ( libre de rocas o de otro material que pudiera constituir un proyectil peligroso ) y luego se procede al tronado.

## CAPITULO IV: CARGA DE BARRENOS Y TRONADO

Una vez que se han hecho las perforaciones en la roca por cualquier método de perforación el siguiente paso en la explotación, es el cargado de los barrenos con la cantidad de explosivo dado por el cálculo y luego efectuar el tronado.

La calidad del explosivo estará determinada por el diámetro y profundidad del barreno, además el tipo de roca existente en el banco y la cantidad estará determinada por el método de cálculo empleado.

### 4.1 CARACTERISTICAS DE LOS EXPLOSIVOS

Probablemente nunca se conozca al inventor de la pólvora, pero su uso se atribuye a los chinos, hindúes y árabes.

En Inglaterra los escritos de Roger Bacon durante el siglo XIII contienen instrucciones para la preparación de pólvora negra. En el siglo XVII Martín Weigold por el año de 1613 propuso la utilización de la pólvora negra en la minería pero no hay referencias de que se haya hecho, sino hasta 1627 por un hombre llamado Kaspar Weindl en una mina de Hungría ya en 1689 se utilizaba pólvora negra en los trabajos de las minas de estaño en Cornwall, Inglaterra.

En América la manufactura de la pólvora se inició por el año -

de 1675, en Milton Massachusetts con la fórmula tradicional que era la combinación del 75 % de nitrato potásico, 15 % de carbón y 10 % de azufre.

En 1846 un químico Italiano de apellido Sobrero descubre la nitroglicerina que era la combinación de ácido nítrico con glicerina, lo cual daba un explosivo muy poderoso.

Las propiedades explosivas de la nitroglicerina fueron abandonadas por lo peligroso de su manejo y fué hasta 1865 cuando Alfredo Nobel mezcló la nitroglicerina con un material absorbente que dió como resultado una sustancia sólida sensible a la acción de un fulminante pero relativamente insensible a un golpe ordinario, esto lo logró mezclando tierra porosa con nitroglicerina y cuyo resultado denominó "Dinamita".

Esta fué fabricada por primera vez en México en 1904 pero su producción fué esporádica, hasta 1925 desde donde se fabricó, regularmente para usos industriales.

Los explosivos que se utilizan en las operaciones de voladura de roca son, con algunas excepciones, mezcla de sólidos o de sólidos y líquidos que son capaces de una descomposición rápida y violenta dando por resultado una conversión a grandes volúmenes de gas.

La descomposición de un "alto" explosivo denominado "detonante", como lo es la dinamita se efectúa con gran rapidez mientras que un

sos y en granos finos.

Existen dos tipos de pólvora negra para voladura de rocas, una es el tipo "A" que contiene nitrato de potasio y la otra es tipo "B" que contiene nitrato de sodio.

La pólvora negra para voladuras "A" es considerablemente más rápida y más fuerte que la tipo "B" y con respecto a la granulometría, entre -- más fino sea el grano, más rápida será la pólvora.

Las pólvoras de grano grueso son más convenientes en su uso -- y más seguras para manejar que los de grano fino ya que hay menor peligro -- producido por los derrames.

Desde su invención, los explosivos detonantes han desplazado casi totalmente en uso de la pólvora en los trabajos de ingeniería gracias a su potencia y las ventajas de su diseño.

Por su potencia, los explosivos se clasifican en primarios y secundarios.

a). - Primarios: Son los que por su elevada potencia y sensibilidad se usan exclusivamente como iniciadores de grandes cargas de -- explosivos ( cebos ). No deben ser utilizados como explosivos de trabajo ya -- que implica mucho riesgo su transporte y manejo.

b). - Secundarios: Son aquellos del tipo comercial --- standard, que generalmente se emplean en gran escala en los trabajos de ex-- plotación de rocas, los cuales siempre son iniciados por un cebo hecho de ex-- plosivos primarios.

Por su composición, los explosivos se clasifican en tres gru-- pos:

1. - Explosivos simples: Están constituídos exclusiva mente por un sólo compuesto químico homogéneo, el calor de la explosión se libera por una reacción química exotérmica en la que se rompe el arreglo y la estructura de las moléculas originales recombiniéndose los átomos constitu-- yentes para formar los productos residuales de la explosión como agua bió-- xido de carbono, nitrógeno y otros gases y posiblemente otras sustancias sól<sup>u</sup> das como carbón.

A este grupo pertenecen los explosivos detonantes propiamente dichos como son: la nitroglicerina, el nitroglicol, la nitrocelulosa, el tetrilo, etc.

2. - Explosivos mezclados: Estos explosivos están -- formados por una mezcla íntima y homogénea realizada por procedimientos -- mecánicos, de diversos reactivos químicos, caracterizados unos por ceder -- oxígeno y otros por consumirlo durante la reacción, pero que en sí mismo no --

son explosivos cuando están aislados.

A este grupo de reactivos pertenecen la mayoría de los compuestos orgánicos, pólvoras metálicas, nitratos inorgánicos cloratos y percloratos, el más empleado es el nitrato de amonio.

3. - Explosivos compuestos: Estos están formados por la mezcla mecánica de explosivos simples y reactivos químicos que durante la reacción toman unos y ceden oxígeno los otros.

Las dinamitas con nitrato de amonio son un ejemplo, La gran mayoría de los explosivos comerciales utilizados en los trabajos de voladura de rocas, pertenecen a este grupo y tienen la ventaja de ser los más económicos y se pueden fabricar en forma más segura, de mayor resistencia a la humedad, etc.

De estos podemos mencionar los siguientes:

Un tipo muy especial e importante de explosivos es aquel que está formado por una mezcla de explosivo simple deficiente en oxígeno con un agente oxidante poderoso por ejemplo: Tetrilo, combinado con nitrato de amonio.

El nitrato de amonio libre de nitroglicerina del tipo fertilizante con aceite combustible, polvo de carbón o aceite mineral ( petróleo ) cuando es iniciada por medio de un explosivo altamente detonante ( dinamita ) se

comporta como un agente explosivo.

Un agente explosivo es un compuesto o mezcla química insensible al fulminante, que no contiene ingredientes explosivos y que puede hacerse detonar cuando se inicia con un cebo explosivo de alta potencia.

El nitrato de amonio es una combinación estable a temperaturas normales. Si se calienta de 150 grados a 200 grados centígrados se descompondrá sin explotar en agua y óxido nitroso.

Si se somete a un fuerte calor bajo confinamiento o detonación directa de altos explosivos, el nitrato de amonio se descompone explosivamente en agua, nitrógeno y oxígeno.

En 1955 se descubrió que el diesel es un material casi ideal para mezclar con nitrato de amonio ( NA ) y hacer un explosivo práctico, la mezcla se le llamó AN-FO .

La potencia explosiva máxima se obtiene cuando la mezcla contiene cerca del 94 % de NA y 6 % de diesel, esto es, 1.5 lts. de diesel por 25 kg. de abono.

En el cebado se deben emplear cebos que produzcan la suficiente explosión para detonar el AN - FO a alta velocidad, estos cebos pueden ser dinamita o gelatina de 60 % de potencia.

En general debe haber un cebo en el fondo y otro en la parte superior del barreno, y cuando menos uno a cada 2.5 m.

La presentación de un explosivo es uno de los factores que afectan a la economía de su empleo, debido a su influencia en la capacidad y densidad de carga de los barrenos.

Por su presentación, los explosivos se clasifican como sigue:

1. - Explosivos plásticos o semiplásticos. La consistencia de estos explosivos es tal que el producto pueda adaptarse a la forma del barreno, llenando su sección aplicando para ello una presión moderada ( atacado ).

A este tipo de explosivos pertenecen los explosivos comercialmente conocidos como " gelatinas " formadas disolviendo algodón, pólvora en nitroglicerina de consistencia que varía desde un líquido grueso y viscoso hasta una sustancia dura como el hule.

Son prácticamente impermeables y producen muy poca cantidad de gases entre los grados de 20 a 60 % de potencia.

Son de gran utilidad en los trabajos difíciles en rocas duras y en voladuras donde se requiere una máxima fragmentación de la roca.

2. - Explosivos sólidos. Estos son presentados en

forma de cartuchos que en su interior contienen el explosivo, o como material granular empacado en bolsas. La desventaja de estos tipos de explosivos está en que la densidad de carga resulta menor a igualdad de circunstancias, lo cual implica una elevación en los costos de la barrenación, puesto que se requerirá de mayor volumen para alojar una carga determinada.

Dinamita. - Es ahora el explosivo mejor conocido y más ampliamente utilizado. La dinamita es una mezcla sensible a la cápsula que contiene un compuesto explosivo ya sea como sensibilizador o como el medio principal para desarrollar energía, la mayor parte de las dinamitas tienen nitroglicerina como sensibilizador.

Hay una gran variedad de tamaños pero el más popular es el de 8 " de largo por 1 1/8" hasta 1 1/4" de diámetro.

El porcentaje de nitroglicerina por peso contenido en la mezcla sirve para identificarla en su potencia la cual está desde 15 % hasta 60 %.

Dinamitas de nitroglicerina. - Tienen como único constituyente explosivo la nitroglicerina. Se caracterizan por su alta velocidad, que da una acción rápida y fracturadora. Producen abundantes gases los que las hace poco aptas para ser empleadas en trabajos subterráneos.

Su empleo es limitado debido a su alto costo, y sensibilidad a los golpes y fricciones y su gran inflamabilidad.

Dinamitas amoniacales. - En estas, parte de la nitroglicerina se reemplaza por nitrato de amonio, en cantidad suficiente para mantener el grado de fuerza nominal.

Este es el tipo de explosivo más utilizado en trabajos de explotación de canteras, excavaciones a cielo abierto en materiales de dureza media, donde no exista agua o humedad abundante.

Dinamitas granulares. - Están formadas por nitroglicerina y nitrato de amonio, empaquetados en bolsas, o en cartuchos, tienen poca resistencia al agua y producen gran cantidad de gases.

Por sus características de granulación y baja velocidad es un tipo de explosivo adecuado para la producción de cascajo y piedra suelta.

Los factores que determinan la conveniencia o inconveniencia de un explosivo son los siguientes:

1. - Efecto de estallido. Este está influenciado por complejos factores como son la generación de calor de la explosión, el volumen de gases liberados, la presión y temperatura de los gases que tienen influencia decisiva sobre la fragmentación de la roca, y la velocidad de propagación de la detonación que tiene importancia en el efecto del impacto.

- 1.a). - Calor de la explosión. Al realizarse -

la explosión ocurre una reacción química exotérmica que genera una cantidad de calor igual a la teórica potencial. Esto en la práctica nunca ocurre, puesto que la transformación siempre es incompleta, por diversas razones una de ellas es el rápido enfriamiento de los gases, producto de la tronada en rocas suaves.

A partir del calor de la explosión y del volumen de gases liberados teóricamente puede ser calculado el efecto potencial de un explosivo. En los explosivos comerciales el calor de la explosión varía entre 900 y 1600 kilocalorías / kg. en tanto que el volumen de gas está entre 500 y 975 litros / kilogramos de explosivo.

1.b).- Energía del explosivo. La energía teóricamente al estallar un explosivo está dada por la siguiente fórmula:

$$E = V_b D_e C_e \quad \text{donde:}$$

- E - energía liberada
- $V_b$  - volumen del barreno
- $D_e$  - densidad del explosivo en kg / dm<sup>3</sup>
- $C_e$  - calor de la explosión en kilocalorías / kg. de explosivo.

En rocas duras como el granito, basalto, magnetita, etc. resulta más económica emplear explosivos de alto grado ( 60 % ) como las gelatinas, con la finalidad de abatir el costo de la barrenación ya que se requiere -

un volúmen menor de barrenación para la concentración de energía explosiva.

1.c). - Velocidad de detonación. Es la rapidez con que se propaga la onda de detonación y es medida en metros por segundo, - ( m/seg ), la velocidad varía entre 1200 y 8000 m/seg.

Generalmente cuanto mayor es la velocidad de detonación de un explosivo mayor es el efecto de su impacto y de rompimiento de la roca.

2. - Facilidad de iniciación y estabilidad de la detonación. Un explosivo bien fabricado debe tener una buena sensibilidad a la iniciación y estabilidad de la detonación, es decir su tendencia a detonar debe ser adecuada al uso a que se destine, para que rinda el máximo fruto, sin incrementar su peligrosidad en su manejo.

3. - Seguridad en el manejo. El manejo y uso de explosivos violentos tiene consigo muy serios riesgos por lo que aun los de potencia baja deben tratarse ajustándose a las normas recomendadas por los fabricantes y a los reglamentos indicados por las autoridades.

4. - Estabilidad química y física. En los explosivos comerciales no hay problemas derivados de su estabilidad química, pero la estabilidad física si suele ser un importante problema ya que diversos agentes tales como la humedad, los cambios de temperatura, y el tiempo de almacenamiento, afectan a ciertas propiedades de los explosivos, principalmente en su sensibilidad y velocidad de detonación.

El paso del tiempo, combinado con temperaturas extremas y con la humedad del ambiente, afectan adversamente a las propiedades de los explosivos.

Por regla general y como norma se acostumbra dar salida, para su consumo, primero a los explosivos que tienen mayor tiempo de almacenados, asimismo se toman medidas adecuadas para protegerlas contra temperaturas extremas y se suelen mantener bien ventilados, para evitar los efectos de la humedad.

La nitroglicerina pura se congela a una temperatura de 13.4 -- grados centígrados por lo que en los explosivos fabricados parcialmente a base de nitroglicerina, el congelamiento de esta reduce seriamente la sensibilidad y velocidad de detonación del explosivo, aumentando la dificultad de insertar las estopines o fulminantes.

La mayoría de los explosivos comerciales empleados en voladura de rocas contienen sales generadoras de oxígeno durante la reacción, los cuales suelen ser solubles en el agua, por lo tanto a los explosivos se les debe de proteger contra la humedad lo mejor posible.

5. - Emisión de gases tóxicos y dañinos. En general se busca que los explosivos generen en la explosión un mínimo de gases tóxicos que estén de acuerdo con el lugar de aplicación y la ventilación del mismo, para evitar efectos nocivos fisiológicos en la salud de los trabajadores.

Los gases liberados en la explosión están formados por una mezcla de monóxido y bióxido de carbono, vapores de agua y nitrógeno y en menor escala gases nitrosos, óxidos sólidos, sulfatos y otros productos derivados de la combustión de ciertos ingredientes del explosivo.

De estos el más peligroso es el monóxido de carbono el que se combina con la sangre, bajando la presión y una pérdida insensible del olfato, sus efectos insensibilizan al individuo que por lo general no se da cuenta de ello.

A fin de reducir al mínimo la generación de monóxido de carbono en una tronada se deben tomar las siguientes medidas principales:

1. - Realizar la tronada empleando un buen iniciador en cada barreno.
2. - Emplear un explosivo formado por reactivos en los que se encuentre balanceada la demanda y generación de oxígeno.
3. - Reducir al mínimo la materia orgánica accesoria del explosivo, como lo es la envoltura.
4. - Emplear preferentemente disparos eléctricos.

En la siguiente tabla se dan los volúmenes de aire puro requeridos para diluir hasta un grado aceptable los gases nocivos producidos por 1 kg de dinamita del tipo gelatina amoniacal de 35 % de potencia.

**TABLA** Volúmenes de aire necesario para diluir hasta un grado fisiológicamente aceptable los gases venenosos generados en la explosión de un kilogramo de dinamita del tipo gelatina amoniacal al 35% (\*) (incluyendo envoltura de cartucho).

G A S	MAXIMA CONCENTRACION PERMISIBLE Por ciento en volumen	VOLUMEN DE GASES GENERADOS POR UN KILOGRAMO DE EXPLOSIVO, MEDIDOS EN LITROS A UNA PRESION Y TEMPERATURA NORMALES		CANTIDAD DE AIRE NECESARIO PARA DILUIR LOS GASES NOVENOS HASTA UNA CONCENTRACION FISIOLOGICAMENTE ACEPTABLE, litros
		Sin considerar la envoltura	Considerando la envoltura	
Bióxido de carbono	0.5	150	140	28
Monóxido de carbono	0.006	25 a 30	6 a 7	100 a 120
Gases nitrosos	0.0005	0.3 a 0.5	0.5 a 0.8	12 a 20

En la siguiente tabla se puede hacer una primera tentativa de selección del explosivo adecuado de acuerdo al trabajo específico.

**TABLA** Consideraciones básicas sobre la conveniencia de los tipos de explosivos para su empleo en diversas condiciones de trabajo.

NATURALEZA DEL TRABAJO	CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL EXPLOSIVO ADECUADO	EJEMPLO DE EXPLOSIVO ADECUADO
Trabajos subterráneos.	Que el oxígeno sea balanceado, incluyendo las envolturas.	Algunas gelatinas o semigelatinas.
Barrenos con agua, en los que el explosivo quedará muy expuesto.	Gelatinas explosivas con bajo o nulo contenido de sales solubles en el agua.	Gelatinas amoniacales con un contenido mayor de 45 a 50% de NGL.
Barrenos con agua en los que el explosivo quedará poco expuesto.	Gelatinas explosivas con alto contenido de sales solubles y explosivos sólidos con protección contra la humedad.	Gelatinas amoniacales con potencia menor de 15'.
Trabajos a temperaturas muy frías, de -20 a -25° C.	Explosivos sólidos o semisólidos. Gelatinas con nitroglicol.	Gelatinas amoniacales con más de 30% de nitroglicol.
Trabajos en ambientes de elevada temperatura y humedad.	Preferiblemente explosivos de nitrato de sodio. Poco contenido de nitroglicol.	
Grandes bancos a cielo abierto.	Buenas propiedades de fragmentación y adecuada resistencia a la humedad. Explosivos económicos.	Dinamitas amoniacales o nitrato de amonio preparado como agente explosivo, con un cebo de mucha potencia.
Trabajos de monero por el método de embarre.	Explosivos de muy alta velocidad de detonación.	Gelatinas y semigelatinas de alta velocidad de detonación. Se requiere un muy buen iniciador.

Además se deben considerar las propiedades siguientes y complementarias a las antes mencionadas.

Potencia. - La potencia de una dinamita se clasifica de acuerdo con el porcentaje expresado en peso, de su contenido efectivo de nitroglicerina, por ejemplo una dinamita nitroglicerina de 60 % de potencia contiene un 60 % de nitroglicerina medida en peso.

Densidad. - La densidad de una dinamita se expresa en forma del número de cartuchos de 1 1/4" por 8" que contiene una caja de 25 kg. dicho número varía en las diversas clases, tipos y potencias de los explosivos.

Dicha variación en la densidad tiene como fin facilitar en los cálculos y en el poblado de los barrenos la operación de distribuir las cargas en la forma necesaria.

Resistencia al agua - Las gelatinas son prácticamente impermeables, las dinamitas de gran densidad son bastante resistentes, perdiéndose esta, en proporción a la disminución de densidad de las dinamitas.

La mayoría de los explosivos comerciales, son expedidos en forma de cartuchos de diversos tamaños, cuya envoltura les imparte cierta protección contra la humedad.

Los cartuchos preencerrados tienen un bajo contenido de parafina en el papel de la envoltura por lo que da mejores condiciones de humo, teniendo muy poca resistencia al agua y son de consistencia rígida.

Los cartuchos parafinados generalmente tienen un recubrimiento superficial y ligero de parafina, su resistencia al agua y su rigidez son mejores, pero su generación de gases y humo es más desfavorable.

Los cartuchos reparafinados se presentan en envolturas parafinadas, las que después de envuelto el explosivo son nuevamente reparafinadas para aumentar su resistencia al agua y la humedad.

Se ha acostumbrado rajar los cartuchos con la finalidad de atacarlos en los barrenos para aumentar la densidad de la carga, entendiéndose por densidad de carga, el peso de explosivos por unidad volumétrica de roca tronada.

Actualmente existen cartuchos perforados o ajustables que al ser golpeados con el atacador se rompen extendiéndose de manera de llenar por completo la sección del barreno.

Con el empleo de este tipo de cartucho se obtienen las siguientes ventajas:

- a). - Se ahorra el tiempo empleado en hacer los cortes

a los explosivos.

b). - Se evita el contacto del explosivo descubierto con las paredes del barreno.

c). - Se elimina el desmoronamiento y chorreado de explosivos al cargar barrenos de techo o inclinados.

d). - Se elimina el contacto del poblador con el material explosivo.

Otro tipo muy común de presentación es en forma granular, empacados en bolsas, bien para verter el producto en barrenos verticales o para colocarlo en sus propias bolsas en el caso de grandes tronadas.

#### 4.2 ARTIFICIOS Y ACCESORIOS PARA REALIZAR LA VOLADURA

En cualquier operación de voladuras se obtendrán los mejores resultados si los dispositivos para la iniciación se seleccionan adecuadamente.

El tronado de barrenos se puede hacer de dos formas que son: empleando dispositivos eléctricos de iniciación y dispositivos no eléctricos.

Estos dispositivos son utilizados para iniciar las cargas de ex

plosivos, proporcionar o transmitir la flama para iniciar una explosión y llevar una onda de detonación de una carga de explosivos a otra.

Estos artificios o dispositivos son consumidos o destruidos en la tronada y básicamente se dividen en: iniciadores, detonadores, mecha detonante y detonantes reforzadores.

a) **Iniciadores.** - Son los dispositivos empleados para encender y llevar una llama que inicie una explosión, bien sea directamente - como cuando el explosivo está formado por pólvora o indirectamente haciendo estallar un detonante como cuando el explosivo es dinamita.

El iniciador más conocido y empleado es el llamado mecha -- para minas el cual consiste en un cordón formado por un núcleo central de pólvora negra a base de nitrato de potasio, envuelto en varias envolturas o cubiertas de materiales textiles impermeabilizantes, que protegen a la pólvora contra la abrasión y penetración de agua.

Además estas capas tienen el objetivo de evitar la propagación del fuego interior entre tramos continuos de mecha, reduciendo al mínimo la posibilidad de que la carga explosiva sea encendida prematura y accidentalmente, por chispas que salgan por los costados de la mecha.

Las mechas para minas son clasificadas de acuerdo con la velocidad de propagación del fuego la cual se mide en segundos por metro.

Se fabrican en diversas categorías distintas en su velocidad de combustión una por ejemplo de 98 segundos por metro y la otra aproximadamente de 131 seg/m. estas velocidades son en condiciones óptimas ya que factores como la presión atmosférica, altitud, clima, almacenamiento, tipo de retazado en el barrenado y malos manejos afectan la velocidad de quemado de las mechas.

Existen diversos tipos de encendedores de mecha que tienen como finalidad facilitar los trabajos de "pega" en barrenos múltiples disminuyendo el tiempo de encendido del sistema de disparo y por consiguiente los riesgos del "pegador".

Estos tipos de encendedores son: los cerillos, encendedor de mechas de tubo de plomo, encendedor de mecha por frotamiento y el encendedor de mecha de alambre caliente.

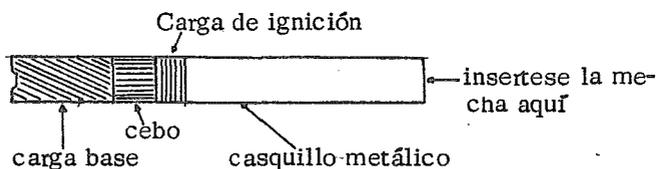
b) Detonadores. - Estos están formados generalmente por una cápsula metálica que contiene en su interior uno o más explosivos de gran sensibilidad que al detonar hacen estallar los cebos o cargas explosivas en los barrenos.

Los hay de muy diversos tipos de los cuales se mencionarán los más importantes:

Cápsulas fulminantes. - Son casquillos metálicos ce-

rrados por uno de sus extremos y que contienen una carga de uno o varios explosivos de gran sensibilidad, colocados para detonar con la chispa de la mecha que se emplea como iniciador.

Tienen en el fondo una carga de explosivos de alta velocidad - como por ejemplo el tretilo, una segunda carga cebadora y finalmente una -- carga de ignición.



#### FULMINANTE

Figura # 1

Están diseñados para insertar por su extremo abierto la punta - de la mecha correspondiente, después de la cual se aprieta por medio de pinzas especiales que dejan el casquillo perfectamente ceñido a la mecha.

Los fulminantes se detonan siempre por medio de mecha para minas, su empleo es limitado en grandes obras de Ingeniería Civil ya que en este campo han sido desplazados por los detonantes eléctricos.

Los fulminantes no deben golpearse o someterse a ningún tipo

de abuso ya que esto puede provocar una detonación.

Los fulminantes se emplean para disparar una sola carga, también se emplea en los disparos de rotación es decir, de aquellos cuya explosión es continuada una de otra.

Esto se logra cortando la mecha de distintos tamaños o usando Ignitacord.

El Ignitacord tiene la apariencia de un cordón y se quema a todo lo largo con una flama exterior en la zona de quemado.

La flama es corta y muy caliente y ofrece un medio para encender una serie de mechas de seguridad en la rotación deseada.

c) Detonadores eléctricos estopines. - Son detonadores fabricados para ser disparados por medio de una corriente eléctrica.

En su construcción son similares a las capsulas fulminantes, pero encima de la carga de ignición tienen un puente formado por un alambre que une los extremos de los alambres de conexión del detonador, los que son mantenidos en su posición correcta por medio de aislamientos de plástico y tapón de hule.

Al aplicar la corriente eléctrica el puente se pone incandescente, haciendo así detonar al "estopín eléctrico"

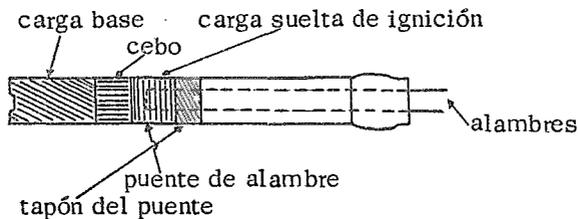


Figura # 2

Los estopines eléctricos tienen una aplicación muy amplia en todas las obras de Ingeniería Civil; pues con ellos pueden iniciarse simultáneamente grandes cargas de explosivos colocados en diferentes barrenos, los estopines van conectados en serie o en paralelo a los alambres conductores de la energía que puede proceder de un explosor.

Los detonadores eléctricos se fabrican en diferentes tipos, y cada detonador trae sus propios alambres de conexión de varias longitudes desde 2 m a 20 m. y forrados con aislamiento por lo general en dos colores.

Existen cuatro tipos de detonadores que son:

1. - Detonadores instantáneos en los cuales la carga de ignición inicia la detonación en forma prácticamente instantánea, al ponerse el alambre del puente en estado incandescente.

2. - Detonadores eléctricos de retardo, su construcción es semejante a los detonadores instantáneos, salvo que entre el

punte eléctrico y la carga de ignición llevan colocado un elemento de retardo.

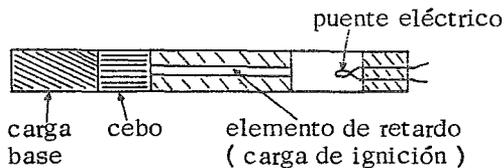


Figura # 3

A su vez los detonadores eléctricos de retardo se fabrican en dos tipos diferentes.

3. - Detonadores eléctricos regulares de tiempo, en los cuales hay varios periodos de retardo, ( hasta 10 periodos ) y el intervalo suele ser de un segundo para el primero aumentando gradualmente en los siguientes hasta 2 seg. en el mayor retardo.

4. - Detonadores de tiempo tipo "MS". Son estopines eléctricos con retardos medidos en períodos a intervalos de milisegundos.

TABLA SERIES DE DETONADORES DE TIEMPO DEL TIPO "MS"			
ATLAS DE MEXICO S. A.		CIA. MEXICANA DE EXPLOSIVOS S. A.	
Número	Retardo	Número	Retardo
0	0	1	25
1	8	2	50
2	25	3	75
3	50	4	100
4	75	5	125
5	100	6	150
6	125	7	175
7	150	8	200
8	175	9	250
9	200	10	300
10	250	11	350
11	300	12	400
12	350	13	450
13	400	14	500
14	450		
15	500		
16	550		

El retardo más común es el de 25 milisegundos.

Con el sistema de voladuras de barrenos múltiples usando detonadores de retardo del tipo milisegundo ( MS ) . Se obtienen las siguientes ventajas :

- a) .- Mejor fragmentación.
- b) .- Menor sacudimiento y vibración.
- c) .- Control en el lanzamiento del material.
- d) .- Reducción de barrenos robados.
- e) .- Disminución de la cantidad de explosivos por metro cúbico de roca tronada .

d) .- Mecha detonante ( PRIMACORD ) .- Consiste en un cordón , redondo, flexible y detonante que tiene en su núcleo un explosivo violen

to como lo es el tetranitrato de pentacritritol, llamado ( PETN ), cubierto con varias combinaciones de materiales, para protegerlo contra el daño provocado por abusos físicos, además proporcionan resistencia a la tensión o flexibilidad.

El primacord se detona por medio de un iniciador y tiene una velocidad de detonación de aproximadamente 7000 mts /seg. y detona cualquier explosivo.

Se fabrican en varios tipos que son clasificados de acuerdo con el contenido de explosivos en granos por pie.

Los tipos comunes tienen de 40 a 60 granos por pie, los grados menores de 40 granos se usan principalmente para voladuras secundarias, y poco profundas en condiciones secas y las más altas que tienen un contenido de 100 a 400 granos se usan para iniciar columnas continuas de mezclas de nitrato de amonio con petróleo.

e) Detonantes reforzadores. - Son dispositivos que contienen cargas explosivas de muy alta velocidad, utilizándose para aumentar la intensidad de la explosión de los detonadores o de la mecha detonante "primacord" en especial.

Además de los accesorios para voladura antes mencionadas intervienen otros, los cuales se darán a continuación.

a) Engargoladoras. - Tienen como finalidad sujetar -- firmemente los fulminantes ordinarios a la mecha de seguridad.

Siendo la mecha de seguridad el medio a travez del cual se --- transporta la flama a un régimen continuo para el dispara directo o indirecto - de la carga explosiva.

b) Máquinas explosoras. - Existen dos tipos de máquinas, explosoras que se utilizan para disparar estopines eléctricos.

Una de ellas utiliza baterias para cargar un banco de condensadores, los que posteriormente descargan la energía al circuito de voladura --- cuando se cierra el interruptor de disparo.

La otra es del tipo generador que descarga la corriente directamente al circuito de voladuras.

c) Alambre de conexión. - Para conectar las líneas de guía al circuito de voladura se utiliza alambre de conexión de pequeño calibre.

d) Líneas de guía. - Se utilizan para conectar el circuito de voladuras a la fuente de energía, por lo general se utiliza alambre de -- cobre del tipo sencillo o duplex de calibre No. 14 o No. 16.

e) Ganchos para bajar explosivos. - Consiste en un -- gancho y anillo de bronce que está formado y tiené un peso tal que soltará un -

cartucho de dinamita simplemente aflojando la cuerda que se utiliza para bajar la carga.

f) Bolsas para tacos . - Son de papel grueso y se utilizan como recipientes para arena, arcilla o cualquier otro material no combustible para tacos en los barrenos .

#### 4.3 TECNICAS PARA DISPARO CON ELECTRICIDAD.

Existen tres órdenes de velocidad en relación con el disparo de explosivos .

Existe la combustión lenta de una mecha, la combustión rápida de los altos explosivos, y el movimiento prácticamente instantáneo de la electricidad a travéz del alambre .

El disparo eléctrico requiere de un circuito completo desde la fuente de energía, pasando por todos los detonadores y regresando a dicha fuente .

La fuente de energía eléctrica son máquinas explosoras, las cuales se clasifican de acuerdo con el número de estopines que pueden disparar; se le hace una prueba a base de un reostato especial que produce una resistencia en la línea y desde uno a cuatro estopines y si la máquina supera esta resistencia del reostato y además dispara los detonadores está en buenas

condiciones.

Para poder diseñar circuitos de voladura es necesario conocer - la ley de Ohm y la cantidad de corriente necesaria para asegurar la iniciación de todos los estopines eléctricos de un circuito, la ley de Ohm es la siguiente:

$$I = \frac{E}{R}$$

donde: E - voltaje del suministro eléctrico - en volts.

I - corriente en amperes.

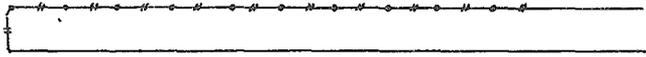
R - resistencia del circuito en Ohms.

Un circuito formado por dos resistencias, una de 1 ohm y --- otra de 4 ohms. conectados en serie (Total 5 ohms ) conectado a una fuente de potencia de 220 volts, tendrá 44 amperes de corriente fluyendo en el circuito.

Los tres circuitos básicos comunmente utilizados en disparos - múltiples son: en serie, en paralelo y el de series en paralelo.

a) Circuitos en serie. - Este tipo de circuito proporciona una única trayectoria para el paso de la corriente a través de cada estopin.

En la siguiente figura se muestra la forma de conectar una línea de barrenos en serie.



Líneas de guía a la fuente de energía.

Figura # 4

Suponiendo que se tengan 50 estopines instantáneos conectados en serie a dos alambres guía No. 14 cada uno de 300 mts. de longitud, con una resistencia de 2.5 ohms / 1000 pies, los estopines tienen alambre de cobre de 16 pies de largo y una resistencia de 1.75 ohms cada uno.

Para un circuito en serie con estopines instantáneos, se requiere una corriente mínima de 1.5 amperes.

Para este ejemplo la resistencia total de los estopines será :

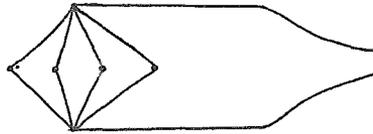
$$50 \text{ estopines} \times 1.75 \text{ ohms por estopin} = 87.5 \text{ ohms.}$$

La resistencia de la línea guía es : 600 mts.  $\times$  2.5 ohms entre 300 mts. = 5.00 ohms.

El voltaje requerido será:  $E = IR$  por lo tanto  $E = 1.5 \text{ amper} \times ( 87.5 \text{ ohms} ) = 139 \text{ volts.}$

Esto es aplicable en circuitos en serie formados solo por estopines eléctricos instantáneos o estopines eléctricos de retardo.

b) Circuitos en paralelo. - La conexión en paralelo --- más sencilla se logra agrupando un alambre de cada estopín ( un color ) en -- una conexión común a una línea de guía, y todos los otros alambres de los es-- topines ( de un color diferente ) a una conexión común a la otra línea guía.



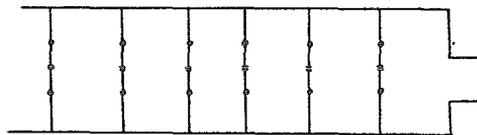
Línea de guía a la -- fuente de energía.

Figura # 5

La corriente total requerida para iniciar los estopines del cir-- cuito simple puede calcularse simplemente conociendo la corriente necesaria por estopín y aplicando la ley de Ohm.

Pero este circuito es impráctico debido a que los alambres de-- los estopines no son lo suficientemente largos para alcanzar un punto común.

c) Circuito de series en paralelo. - Consiste en unir -- dos o más series de estopines eléctricos .. conectándolos en paralelo.



Alambres conducto-- res

Figura # 6

La corriente que pasa por cada estopín en un circuito en paralelo puede calcularse utilizando las leyes de Kirchhoff.

Este cálculo implica resolver tantas ecuaciones simultáneas diferentes como existen estopines en el circuito, es físicamente impráctico hacer el cálculo a mano por lo que es recomendable utilizar las computadoras, o emplear el Galvanómetro de voladuras o Voltímetro de profundidad con los cuales se lee la resistencia total del circuito al conectar cada serie individual a las antenas, así como para detectar si está o no cerrado un circuito, revisar las líneas de corriente y para medir corrientes extrañas.

La electricidad extraña se refiere a la energía eléctrica no deseada que puede entrar a los circuitos eléctricos de voladura proveniente de cualquier fuente.

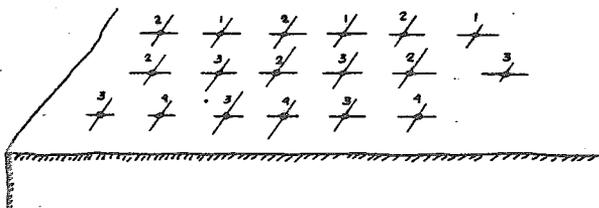
Las fuentes de esta electricidad caen en dos categorías: las generadas por la naturaleza y las producidas por el hombre.

Las generadas por la naturaleza incluyen el rayo, la estática y la acción galvánica.

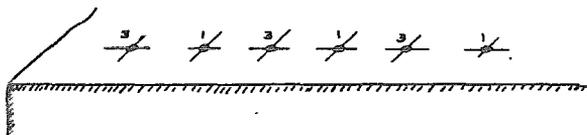
Las producidas por el hombre comprenden a las corrientes inducidas por la radio frecuencia, generadores estáticos, corrientes erráticas producidas por equipo eléctrico impropriadamente instalado o en malas condiciones de trabajo, descargas de líneas de transmisión de alto voltaje, y otras.

A continuación se darán algunos métodos para la colocación de tiempos de los estopines de retardo para obtener un efecto determinado.

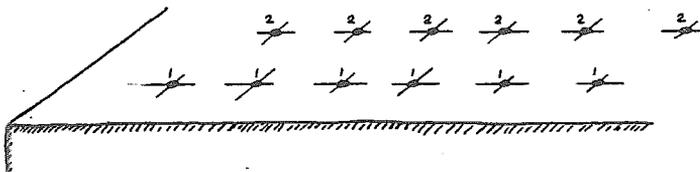
Ejemplos de distribución de tiempos para disparo de estopines con retardo, según el efecto deseado.



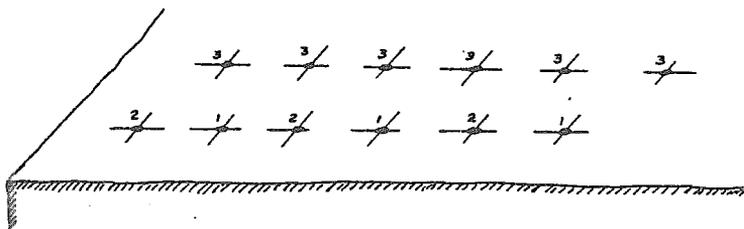
Mayor fragmentación, reduce lanzamiento, disminuye ruido y rotura de respaldo.



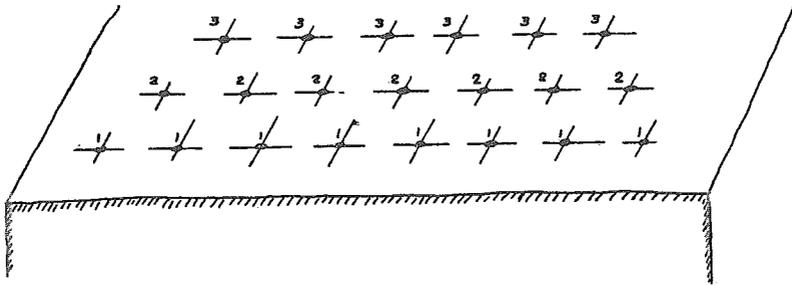
Para rocas muy duras



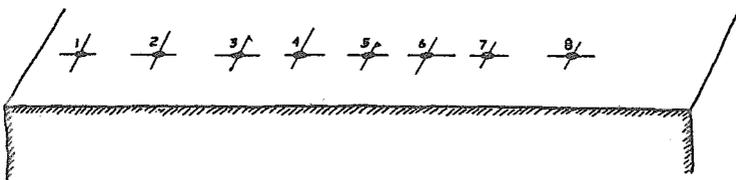
Mejor fragmentación y lanzamiento.



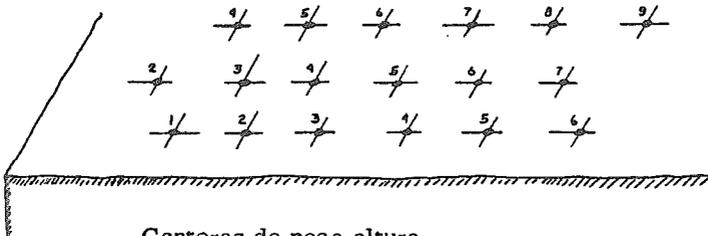
Mejor fragmentación y menor lanzamiento que el caso anterior.



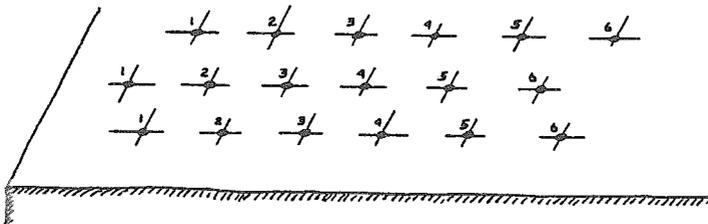
Bancos comunes reduce rotura respaldo.



Para reducir vibración.



Canteras de poca altura.



Para bancos que tienden a romperse en la base.

#### 4.4 CARGA Y CEBADO DE LOS BARRENOS

El cargado abarca la operación completa de colocar una carga - en la forma deseada con uno o más cebos y dejarlos listos para el disparo.

Las cargas se colocan en los barrenos y se confinan con un taco ( relleno de la parte superior que tapa el barreno ) lo que hace posible que los explosivos desarrollen máxima eficiencia al efectuar el rompimiento del material adyacente.

El cargado de barrenos de una voladura debe efectuarse siempre por alguien que tenga suficiente experiencia y conocimiento de todas las fases del procedimiento, especialmente las precauciones de seguridad que deben observarse, no solo durante el proceso de carga, sino también antes de iniciar el trabajo.

La carga de barrenos se puede hacer de varias maneras que se clasifican como sólida, espaciada en carga dividida y secanteada.

a) Sólida. - En esta forma se coloca tanto, explosivo dentro del agujero, como sea posible.

Se vierte dentro del agujero un explosivo que corra libremente con o sin retacadura.

El atacador deberá ser de madera, redondo de un diámetro lige

ramente menor que el diámetro del agujero.

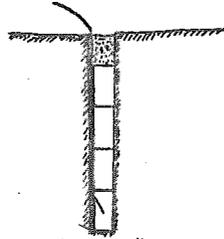


Figura # 7

b) Carga separada. - Para este procedimiento deben usarse separadores para colocar los cartuchos a lo largo de un barreno que no va a cargarse completamente.

Estos separadores pueden ser de madera, barro, concreto pobre o cartón enrollado, se hacen con anticipación en longitudes de 20 a 30 cms

Deberá haber suficiente espacio de aire alrededor de ellos, para permitir que los cartuchos se exploten unos a otros por propagación.

Los separadores pueden alternarse con cartuchos o con pares de cartuchos en las porciones de barreno que no van a cargarse completamente.

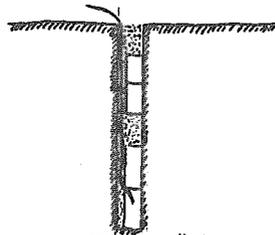


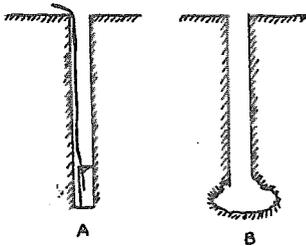
Figura # 8

c) Cargas divididas. - Los barrenos grandes, cuyas cargas tienen que extenderse, usualmente son separadas por tapones sólidos de arena o de otro material de atacadura y cada sección de la carga, debe ser cebada separadamente, a menos que se dispere con mecha detonante.

d) Secanteado. - Si la fuerza de una voladura se va a concentrar en el fondo a través de un barreno, puede ser necesario hacer una cámara para contener explosivo adicional.

Esto se hace explotando una pequeña cantidad de dinamita de uno o más cartuchos en el fondo.

El secanteado produce una cavidad por fracturación de la roca circundante, los barrenos secanteados no son aconsejables donde el volumen de roca sea ligero, o la roca tienda a fracturarse fácilmente a lo largo de juntas o planos de estratificación.



Efectos del secanteado, etapas A y B.

Figura # 9

Antes de intentar cargar con los explosivos los barrenos de pequeño diámetro deben revisarse cuidadosamente las condiciones y profundidad de cada uno.

Todos los barrenos deben estar limpios para facilitar el cargado y además para evitar una falla parcial o total del barreno por la separación de la carga o por daño provocado a la mecha de seguridad o a los alambres de los estopines.

Al atacar una pequeña carga de dinamita, como ejemplo dos cartuchos, por lo regular, dos o tres golpes ligeros del atacador son suficientes para producir una buena compactación.

En algunos casos, solo se necesita una presión constante con el atacador, pero por lo general el operario es el que determina el "toque" del atacador de acuerdo a su experiencia.

Una vez que se ha cubierto todo el espacio, el atacado adicional es inútil y puede aún ser peligroso, particularmente si el atacador se maneja con demasiada energía.

En barrenos de diámetro grande también es necesario realizar un examen visual utilizando un espejo o luz artificial para localizar cualquier falla, caverna, lugares excepcionalmente ásperos o rocas sueltas, si hay duda de que el barreno esté obstruido es necesario comprobar sus condiciones --

con el atacador.

Siempre será benéfico retirar toda la roca suelta que esté cerca de la boca del barreno y la porción superior, hasta donde se pueda alcanzar para que no haya posibilidad de que entre material extraño durante el cargado.

La perfecta limpieza del barreno asegura que llegue la carga — hasta el fondo y acelera la operación de cargado en general.

Los barrenos de gran diámetro generalmente se cargan con los cartuchos de mayor diámetro posible para utilizar al máximo el diámetro del barreno.

Una holgura de 1 pulgada es por lo general suficiente y 1/2 pulgada donde los barrenos son uniformes y suaves.

Si los barrenos están secos, los cartuchos pueden soltarse desde la boca ya sea confinados o no dependiendo del grado de compactación deseado.

Si el barreno contiene agua, los cartuchos deben bajarse hasta que la columna quede arriba del agua.

El soltar los cartuchos bajo estas condiciones puede provocar que los cartuchos se deshagan en la superficie del agua, si el producto es suave y existe poca holgura a los lados.

Existen muchos tipos de atacadores para barrenos de pequeño diámetro y profundos, durante años recientes se ha utilizado tubo de plástico con un tapón de madera en la punta, con mucho éxito, también se ha utilizado atacadores seccionales de madera equipados con conectores de metales que no produzcan chispas como lo son aluminio o cobre, dando buenos resultados.

Otra parte importante componente de la carga del barreno es el taco, que debe de ser de un material inerte tal como tierra, arena o roca finamente triturada, que se usa para llenar las partes de un barreno que no contiene explosivo y para el tapón superior, se usa principalmente para taponar los barrenos verticales desde la parte superior del explosivo hasta la superficie.

Su uso mejora la fracturación, ya que confina la fuerza de la explosión y aumenta la seguridad previniendo la ignición accidental de la carga antes de su disparo.

Y la parte principal de la carga de los barrenos es el cebo el cual contiene el dispositivo de disparo y sirve para iniciar la carga entera de explosivos o agentes explosivos con los que está en contacto.

El cebo puede ser simplemente un cartucho de dinamita con un fulminante ( eléctrico o no eléctrico ) o un cordón detonante insertado y fijado adecuadamente.

Todos los cebos deben prepararse cuidadosamente de tal modo

que satisfagan los siguientes puntos:

1. - Que el fulminante no pueda zafarse del cartucho -  
de cebo.

2. - Que el fulminante debe estar en la posición más -  
segura y efectiva en el interior del cartucho de cebo.

3. - Los alambres de los dispositivos eléctricos de --  
disparo o los fusibles no deben estar sujetos a esfuerzos dañinos.

4. - El cebo debe ser resistente al agua cuando sea --  
necesario.

5. - Toda la unidad de cebo pueda cargarse con seguri  
dad fácilmente de un modo conveniente y en la posición preferida dentro de la  
carga.

Por razones de seguridad y eficiencia el detonador debe de in--  
sertarse bien y en el centro del cartucho y quedar tanto como sea posible a lo  
largo de su eje mayor.

Para seleccionar un cebo se tomarán en cuenta los siguientes -  
factores:

a) Seguridad. - Los cebos sin nitroglicerina dan la ma

mayor seguridad ya que no son sensibles al choque ni a la fricción como los cebos de dinamita y son más convenientes en su manejo.

Pero sin embargo los cebos de dinamita son los más económicos y no son demasiado peligrosos si se manejan con las reglas de seguridad adecuadas.

b) Tamaño. - El diámetro del cebo debe ser esencialmente igual al diámetro del cartucho del producto que se está cebando.

c) Velocidad y presión de detonación. - Un buen cebo requiere una alta presión de detonación para desarrollar la energía completa de los productos insensibles a la cápsula.

d) Densidad. - Un explosivo de mayor densidad producirá una mayor presión de detonación, que uno de baja densidad.

e) Resistencia al agua. - Un cebo debe tener mayor resistencia al agua que la del producto detonante al cual se está cebando. Debe ser sensible al cordón detonante o a la iniciación por cápsula después del tiempo de exposición requerida.

A continuación se muestran algunas formas de cebar las cargas en el interior de los barrenos, figuras 11, 12 y 13, así como la forma correcta de insertar la mecha al fulminante, figura 10.

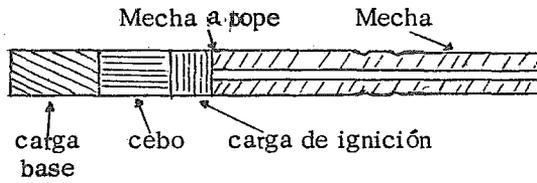
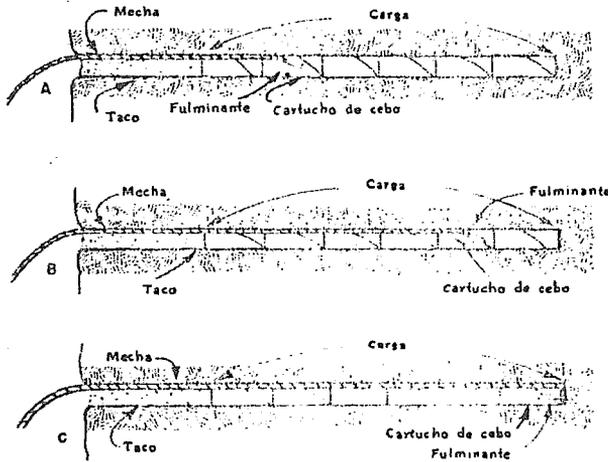
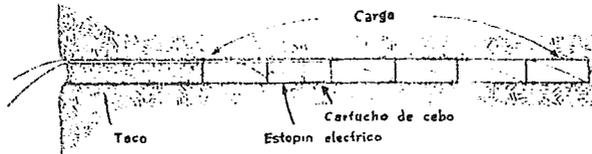


Figura # 10

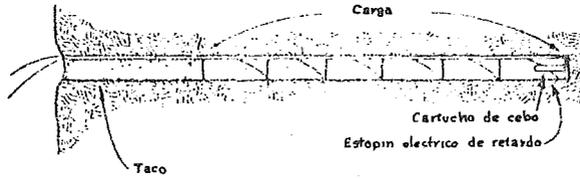


Métodos recomendados de cebo carga de amonita, disparadas con fulminante y mecha de seguridad: (A) para disparos sencillos, (B) para disparos múltiples o en rotación en barrenos mojados, (C) para disparos múltiples o en rotación en barrenos secos o en barrenos mojados siempre que se utilicen mechas con plástico.

Figura # 11

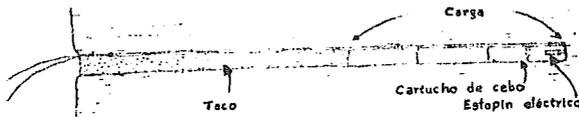


Método recomendado para cebar cargas de dinamita cuando se utilizan estopines eléctricos instantáneos



Método recomendado para cebar cargas de dinamita para voladuras instantáneas y para todos los retardos cuando se utilizan estopines eléctricos de retardo

Figura # 12



Cebado indirecto, el método recomendado de cebar cargas de dinamita permisible

Figura # 13

#### 4.5 CALCULO DE LA PLANTILLA DE BARRENACION Y CANTIDADES DE EXPLOSIVO

La roca se rompe o fractura por la explosión, de tres maneras que son: por compresión, por esfuerzo cortante y por tensión.

Por compresión es cuando se efectúa por el golpe directo de la explosión contra la masa de roca inflexible.

Un explosivo que está profundamente enterrado no puede romper hacia la superficie por lo tanto rompe por compresión únicamente.

Por esfuerzo cortante, es cuando el movimiento de las piezas o bloques de roca se hace a lo largo de las líneas de figura o estratificación.

Y el de tensión se produce por flexión desde el punto de la explosión hacia una superficie no confinada o al frente de menor resistencia de la roca que lo circunda.

La efectividad máxima de los explosivos se obtiene por tensión.

Ahora, de la determinación y colocación de los barrenos, la cantidad de carga y la secuencia de rotura constituyen los principales problemas en la práctica de las voladuras.

En las voladuras a cielo abierto es necesario, por la seguridad del trabajo, evitar una proyección excesiva de la roca y al mismo tiempo hay que buscar la fragmentación más adecuada para la carga del material.

El cálculo de la carga primero abarca la deducción de la carga mínima requerida para el desprendimiento de la roca, cumpliéndose esta condición en todos los casos.

Pero en la práctica esto no es suficiente y debe tenerse en cuenta en el cálculo final los siguientes puntos:

- Errores en la perforación
- Proyección de la roca
- Abundamiento del material
- La fragmentación
- El efecto obtenido en la roca circundante.

Los cálculos dados aquí se basan en voladuras experimentales sistemáticas efectuadas de acuerdo con las deducciones teóricas.

a). - La ley de conformidad

Cuando una carga  $Q_1$ , situada encima de una roca homogénea -- detona, presiona la zona bajo ella y trocea la roca alrededor formando un cráter de profundidad  $d_1$  y diámetro  $L_1$ , como se observa en la figura 14.

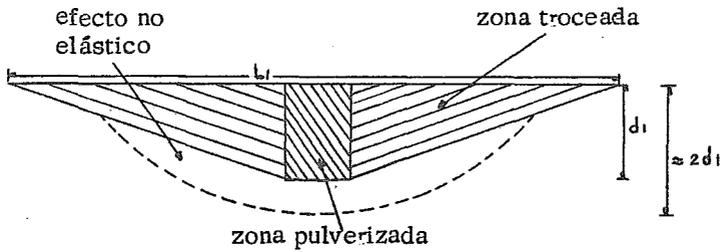


Figura # 14

El volúmen será :  $V_1 = f(L_1, d_1) = K d_1 L_1^2$  - - - - - 1

Ya que se considera un cono y el volúmen de dicha figura es:

$$V = \frac{\pi}{3} r^2 d \quad \text{como } r^2 = \frac{L_1^2}{4} \quad \text{el volúmen será como está}$$

en la fórmula anterior donde  $K = \frac{\pi}{12}$

Si se repite el experimento aumentando uniformemente la carga  $Q$ , el cráter de acuerdo con Broberg, aumentará también en todas las direcciones en la misma proporción que la ampliación lineal de la carga, o sea:

$$d_2 = n d_1, \quad L_2 = n L_1 \quad \text{--- 2} \quad \text{por lo tanto el } V_2 = f(L_2, d_2) = K d_2 L_2^2 \quad \text{--- 3}$$

Sustituyendo 2 en 3 se tendrá

$$V_2 = K (n d_1) (n L_1)^2$$

$$V_2 = K n^3 d_1 L_1^2 \quad \text{Pero } K d_1 L_1^2 = V_1 \text{ según 1 entonces}$$

$$V_2 = n^3 V_1 \quad \text{--- 4}$$

Sabemos que la carga y el volúmen de roca obtenido varían en-

la misma proporción, entonces la expresión ( 4 ) la podemos escribir como :

$$n^3 = \frac{V_2}{V_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \quad \therefore \quad n = \sqrt[3]{\frac{Q_2}{Q_1}}$$

pero  $n = \frac{L_2}{L_1}$  igualando tendremos :  $\sqrt[3]{\frac{Q_2}{Q_1}} = \frac{L_2}{L_1}$

Esta fórmula representa la ley de la conformidad.

Una consecuencia de ésta uniformidad es que la carga por m<sup>3</sup> ( q ) es constante sin importar el tamaño de la voladura, es decir :

$$q = \frac{Q_1}{V_1} = \frac{Q_2}{V_2} = \frac{Q_3}{V_3} = \text{etc.},$$

La zona quebrada alrededor de una carga aumenta en la misma manera cuando dicha carga es insertada en la roca.

Este aumento es directamente proporcional al radio de la carga tratándose de cargas cilíndricas o esféricas.

La más sencilla y probablemente también la más antigua fórmula para el cálculo de la carga es la fórmula de Vauban para voladuras de mina,  $Q = H B^3$ , da el mismo tipo de relación que la ecuación ( 5 ) entre la carga Q y una longitud por ejemplo, el bordo B.

De acuerdo también con la fórmula de Vauban la carga por volumen de roca; diciendose por ejemplo que el consumo de explosivos es de

0.4 kg/m<sup>3</sup> en un tipo de roca.

En 1725 Belidor establece que en las voladuras, una parte de la carga puede suponerse proporcional al volúmen arrancado y la otra parte a la superficie obtenida:

Esto da una fórmula del tipo  $Q = K_2 V^2 + K_3 V^3$  donde  $K_2$  y  $K_3$  son constantes.

Hofer dá una relación en la que incluye el primer término de la fórmula anterior pero le añade un factor  $b_1$  para el explosivo y otro  $b_2$  para la resistencia de la roca.

$$QH = b_1 b_2 V^2$$

Fraenkel dá una relación entre la explosividad (  $s$  ), que es una medida de la resistencia de la roca, el bordo máximo (  $V \text{ máx}$  ), la profundidad del barrenado (  $H$  ), la altura de la carga (  $h$  ) y el diámetro (  $d$  ) del barrenado dando la fórmula siguiente:

$$hd^2 = 50^{3.3} V \text{ máx}^{3.3} ( s^{3.3} H d^{2/3} )$$

Y  $nd^2 = Q$  para el grado ordinario de atacado  $P = 1.27 \text{ g/cm}^3$ .

Con un aumento uniforme de  $V$ ,  $H$ , y  $d$  la carga  $Q$  se incrementará en proporción  $V^{1.6}$  pero se encontró que el exponente 1.6 es demasiado-

pequeño.

Pero todas estas fórmulas son hoy, bastante inexactas como para tomarlas como base de los rendimientos en las voladuras.

Nomenclatura a usarse:

- Q.- Peso de la carga de explosivo en un barreno
- B.- Bordo, es la separación frontal de los barrenos
- H.- Altura del barreno
- E.- Espaciamiento entre barrenos
- h.- Longitud de la columna de la carga
- d.- Diámetro del barreno
- s.- Potencia del explosivo
- S.- Resistencia de la roca a la voladura
- M.- Velocidad de detonación
- SP.-Subperforación
- CC.-Carga de columna
- CF.-Carga de fondo
- CT.-Carga total

El cálculo de la carga de los explosivos en las voladuras de rocas es una función de muchas variables que influyen en los resultados, pudiendo darse la siguiente fórmula:

$$Q = f ( B, H, E, h, d, s, S, M, c ), \text{ donde} \dots \dots \dots -1$$

En la que Q es la carga necesaria para la rotura al frente, B --  
H, E, h y  $\varnothing$  son magnitudes geométricas, s, S y M son factores característicos  
del explosivo y c factor que depende de la roca.

Para determinar experimentalmente la función f es necesario --  
reducir el número de variables, lo que puede hacerse si se realizan ensayos --  
con el mismo explosivo, con una densidad determinada y con las mismas condi  
ciones de roca, además si la voladura se reduce a un solo barreno, la funci  
ción f2 será:

$$Q = f_2 ( B, H, h, \varnothing ), \quad s, S, M, c \text{ constantes } - - - - - 2$$

Como Q está determinado por  $\varnothing$  y h nos limitamos a 3 variables  
independientes como sigue:

$$Q = f_3 ( B, H, h ), \text{ tomando como variables independientes } B, H/B \text{ y } h/B. --3$$

Si esta relación se obtiene de una serie de ensayos, no deberán  
modificarse independientemente todas las variables sino de tal manera que --  
las proporciones geométricas permanezcan constantes.

La ecuación anterior para valores constantes de H/B y h/B puede  
ponerse en la siguiente forma:

$$Q = f_4 ( B, H/B, h/B ) = f(B) \quad H/B \text{ y } h/B \text{ constantes } - - - - - 4$$

De manera que Q es una función de una sola variable y la dimensión lineal B, siendo f una función positiva de B que puede desarrollarse en la serie exponencial siguiente:

$$f(B) = K_0 + K_1 B + K_2 B^2 + K_3 B^3 + \dots \quad \text{-----} \quad 5$$

En la que los valores  $K_0, K_1, K_2, K_3$ , etc. dependen de la relación H/B y de la distribución de la carga en el barreno. El problema se reduce a determinar los valores de las constantes "K".

De forma que puedan estudiarse las propiedades en la región donde se aplica la serie.

Como  $f(0) = 0$  tenemos que  $K_0 = 0$ .

En un estudio posterior de una gran columna de carga, con el consiguiente aumento de B y variaciones de las dimensiones lineales, estaremos también en un caso geométrico uniforme en el que se pueden aplicar las fórmulas 4 y 5. La carga por metro  $Q/B = K_1 + K_2 B + \dots$  debe tender a 0 cuando  $B = 0$  luego  $k_1 = 0$ .

El problema se ha considerado de modo general y dispuesto de tal forma que solamente queda para la parte experimental de la investigación de los valores  $k_i$  ( $i \geq 2$ ).

Si ha visto que puede considerarse  $k_i = 0$  para  $i = 4$  si no es -



Los diferentes términos de ( 6 ) tienen de acuerdo con las pruebas de laboratorio, una clara interpretación física.

El primero está asociado con la pérdida de energía que se consume en la superficie interna de las rocas, el segundo representa la parte que corresponde a la ley de la concordancia y el último es la parte necesaria para levantar la masa de roca y obtener su rotura total.

Para bordos "B" entre 1 y 10 m. prácticamente la carga específica necesaria para una voladura es alrededor de 400 gr / m<sup>3</sup>.

Este valor se puede considerar como guía general pero no como regla, ya que es indispensable considerar las características de la roca, del explosivo y las magnitudes geométricas del corte para obtener resultados satisfactorios.

El cálculo de la carga de fondo se realiza como una carga concentrada; teniendo en cuenta que en la práctica generalmente se debe colocar la mayor cantidad de explosivo en el fondo para poder arrancar, con un diámetro determinado el mayor volumen de roca.

No es conveniente que la carga de fondo se eleve por encima de 1.0 B, aconsejándose aumentar el poder de rotura de dicho fondo mediante la prolongación del barrenado ( sub - perforación ), abajo de la profundidad de proyecto en una relación de  $SP \approx 0.3 B$ .

Para un barreno cargado como se muestra en la figura 14, el-bordo B está determinado por la cantidad de carga por metro (  $Q/B$  ) en el fondo del barreno; definiéndose como carga de fondo CF la que llena el barreno- desde  $-0.3 B$  a  $+ 1.0 B$  obteniéndose un total de  $CF = 1.3 B$ .

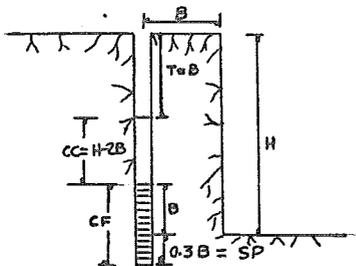


Figura # 14.

Se ha encontrado que en roca con una fracturación normal y -- distancias entre barrenos mayores a 2 veces el espesor del bordo , los barrenos no cooperan el uno con el otro para obtener una fracturación correcta.

Para voladuras de 4 o mas barrenos en donde  $E = B$  la carga en cada una de los barrenos se puede disminuir hasta en un 80 %, la carga necesaria para un solo barreno.

Segun la figura anterior la carga de fondo no debe subir a más de B desde el piso de excavación, o sea que la longitud  $1.3 B$  será la que mejores resultados dé.

El resto de la columna hasta una profundidad B abajo de la superficie del barreno, debe llenarse con la carga de columna calculada y su --

longitud será  $H - 2B$ .

Para poder comparar las formulas generales de la carga de fondo y de columna por metro se han establecido en función de la longitud del barreno  $CF = 1.1 \cdot (0.07 B \text{ kg/m}^2 + S B^2)$ , y para la carga de columna ---  $CC = 0.4 (0.07 B \text{ kg/m}^2 + S B^2 \text{ kg/m}^3)$ .

De esta comparación se concluye que la carga de fondo debe ser 2.7 veces mayor que la carga de columna.

Si a estas mismas fórmulas se les agrega un valor  $s$  para la potencia del explosivo la carga por metro de barreno será.

$$CF = \frac{1.1}{s} (0.07B + SB^2)$$

$$CC = \frac{0.4}{s} (0.07B + SB^2)$$

Tomando las primeras fórmulas para calcular la carga de fondo, la carga de columna y la carga total en peso ( kg ), estarán dadas por las fórmulas respectivas.

$$CF = 1.4 (0.07B^2 + SB^3)$$

$$CC = 0.4 \left( \frac{H}{B} - 2 \right) (0.07 B^2 + SB^3)$$

$$CT = CF + CC \text{ ó también } CT = 0.4 \left( \frac{H}{B} + 1.5 \right) (0.07 B^2 + SB^3)$$

El factor  $s$  Kg/ m<sup>3</sup> para la resistencia de la roca a la voladura que varia de 0.4 a 0.6 en México y que se toma como un promedio el valor-

de 0.5 kg/m<sup>3</sup>.

Introduciendo un valores para la potencia del explosivo y un factor ( f ) de confinamiento la fórmula para barrenos múltiples quedará - - -

$$Q = f \frac{1}{s} \frac{E}{B} 0.8 CT$$

donde: s = 1 para una dinamita del 35 %

s = 1.27 para una gelatina pura

s = 0.87 para nitrato de amonio y aceite mineral

y f = 1 para una pared recta con fondo cerrado y barrenos verticales.

f = 0.90 para talud del frente 3:1

f = 0.85 para talud del frente 2:1

donde la CT es la correspondiente a la de un barreno aislado.

Con el objeto de conocer bien los efectos de una carga dentro de un barreno, es necesario conocer además de los resultados de pruebas que se han hecho para tal efecto otros factores tales como el diámetro de los barrenos, espaciamiento entre barrenos, bordo máximo, proyección de la roca, abundamiento y fragmentación.

El diámetro no tiene ninguna influencia en la cantidad de carga necesaria para la fracturación, el tamaño de la carga por m. en el fondo del barreno es la que decide el tamaño del bordo.

El grado de retacado se define como la cantidad de carga en - - -

kg / dm<sup>3</sup>, usando atacador el valor varía de 1.0 - 1.4 kg / dm<sup>3</sup> y con cargador neumático de 1.3 - 1.6 kg / dm<sup>3</sup> y cuando se utiliza nitrato de amonio se obtienen densidades del orden de 1.0 - 1.2 kg / dm<sup>3</sup>.

El espaciamiento entre barrenos más indicados será  $E = 1.3 B$  y no mayor ya que en relaciones mayores el corte será desigual entre barrenos y la proyección de la roca mucho mayor de lo conveniente.

El bordo máximo depende de la carga por metro que se pueda concentrar en el fondo, así como su altura, que en general debe ser  $1.3 B$ , y su concentración queda determinada por el diámetro de la broca en el fondo.

Para cualquier diámetro en general se puede decir que la carga de fondo será  $CF = P \left(\frac{d}{32}\right)^2$

$d$  = diámetro del barreno en el fondo en mm.

$P$  = grado de atacado

La fórmula para el bordo máximo será:

$$B = \sqrt{0.9 \frac{s P}{f S} \left(\frac{d}{32}\right)^2 - 0.07 \frac{B}{S}}$$

$s$  = valor para la potencia del explosivo de la carga de fondo --  
( 1.30 para dinamita extra 60 % )

$f$  = grado de confinamiento (  $f = 1$  para barrenos verticales con constricción de pata ).

$S$  = resistencia de la roca a la voladura ( kg / m<sup>3</sup> )

B = ancho del bordo ( m )

P = grado de atacado o compactación  $P = 1024 \frac{CF}{d^2}$  en kg/dm<sup>3</sup>

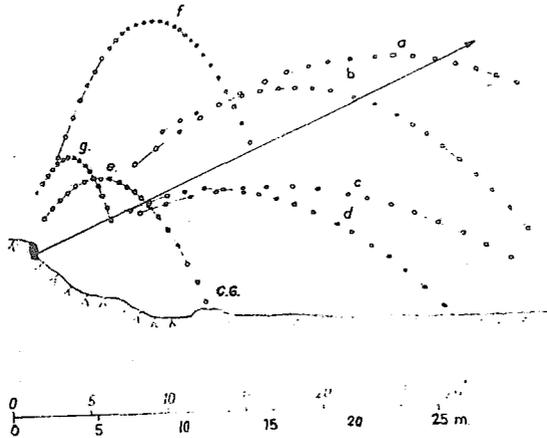
CF = carga de fondo en kg / m

d = diámetro del barreno

Proyección de la roca. La proyección de una voladura que afecta el volúmen principal de la misma será mayor mientras mayor sea la carga de dinamita.

La proyección de algunos pequeños fragmentos que en muchos casos se debe a fugas de los gases de la dinamita por figuras

En la figura 15 se observan las trayectorias de pequeños fragmentos, cuya posición está representada en 0.10 de segundo.



Estudio del movimiento de los trozos de roca que se desprenden de la voladura. La posición de las piedras está representada en 0.10 de segundo. La dirección principal de la voladura está representada por la línea recta que pasa por el punto de explosión.

Figura # 15

En igniciones instantáneas la fragmentación es menor pero la proyección es mayor, con igniciones de retardo de milisegundos se obtiene una mejor fragmentación y una proyección menor.

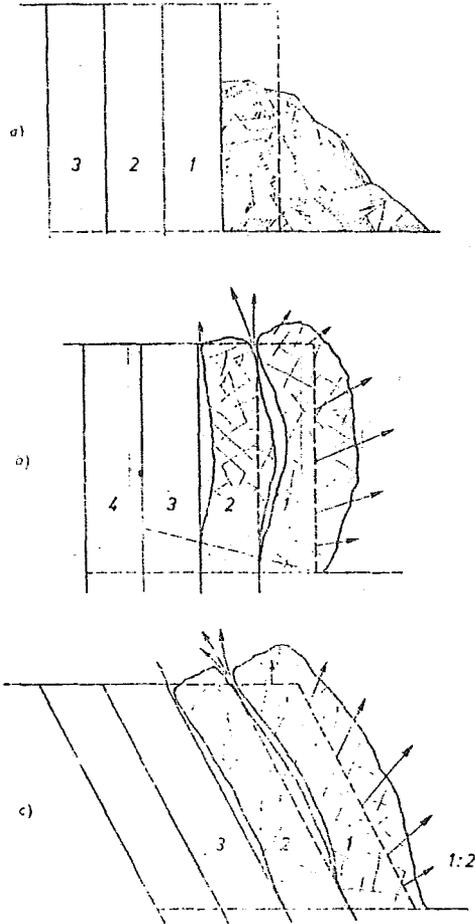
En la siguiente tabla se observa el desplazamiento del centro de gravedad de la roca en función del exceso de carga.

Exceso de la carga kg/m <sup>3</sup>	0	0.10	0.20	0.30	0.40
La roca es lanzada hasta una distancia m	0	6	12	18	24

Existe en efecto más en la voladura, que es el del abundamiento presentado en voladuras de filas múltiples o en filas donde el bordo está cargado con material previamente volado, por lo cual se requerirá una carga mayor.

En voladuras a cielo abierto, donde haya mayor libertad de movimiento para la roca y con cargas específicas menores de 0.6 kg/m<sup>3</sup> el abundamiento es del orden de 40 a 50 %.

Se ilustra este efecto de abundamiento o expansión en la figura 16.



En las voladuras de hileras múltiples, la fila anterior a cada hilera obstruye su movimiento hacia adelante lo que obliga a una sobrecarga para obtener un desprendimiento suficiente en el fondo. a) Banquero vertical, con retardo mayor de 0,5 s, después de volar la primera fila; b) y c) micro-retardo con un intervalo de 25 ms entre hileras.

Figura # 16

La carga adicional que se necesita para dar una expansión suficiente es del orden de:

$$q_{ae} = 0.04 H$$

Lo que hará que se aumenten los barrenos de  $d$  a  $d_1$  pero esto generalmente no se hace y lo más conveniente es reducir el bordo después de la fila frontal con la siguiente relación:

$$B_1 = \frac{B}{1 + 0.05 H}$$

Existen otros efectos de las voladuras de roca a cielo abierto que acarrear dificultades, para realizar la explotación libremente y que generalmente son quejas por la posibilidad real o imaginaria de los daños que se puedan ocasionar a estructuras cercanas y por el ruido originado por las explosiones.

La vibración o movimiento de ondas producido en la roca y en el terreno por la voladura constituyen la fuerza principal de daños a las construcciones existentes cercanas a la explotación.

Existen ondas viajando profundamente bajo el suelo y otras en la superficie, las que viajan en la superficie forzan al suelo en forma semejante a las ondas causadas por el viento sobre el agua, excepto que su altura es de centesimos de milímetro y la distancia entre crestas es entre 30 y 300 m. y su intensidad es como la de 1/100 de la requerida para causar daño, teniendo

do una frecuencia de 4 a 20 ciclos por segundo.

Las ondas que viajan profundamente bajo tierra tienen una frecuencia de 20 a 90 ciclos por segundo en la roca y viajar entre 2500 y 800 --- m/seg.

La posibilidad de daño es aproximadamente 10 veces mayor en las capas de suelo sobre la roca de 15 m. o menos profundidad que en la roca de espesor indefinido.

Sumario de fórmulas para el cálculo.

$$\text{Carga de columna kg/m} \quad CC = 0.4 ( 0.07B + S B^2 )$$

$$\text{Carga de fondo kg} \quad CF = 2.15 B ( 0.4 ( 0.07B + S B^2 ) )$$

$$\text{Carga total kg} \quad CT = ( H + 1.5 B ) ( 0.4 ( 0.07B + S B^2 ) )$$

S - resistencia a la voladura entre 0.4 kg/m<sup>3</sup> y 0.5 kg/m<sup>3</sup>

Para voladura de varios barrenos, la carga total por cada barren  
no en kg se-á

$$Q = \frac{f}{s} \frac{E}{B} 0.80 CT$$

CT - carga de un barreno aislado

$$\text{Carga específica en kg/m}^3 \quad q = \frac{Q}{HEB}$$

Bordo máximo para un diámetro de fondo d y una relación ----

$$\frac{E}{B} \doteq 1.3$$

$$B = \sqrt{0.9 \frac{q P}{f S} \left( \frac{d}{32} \right)^2 - 0.07 \frac{B}{S}}$$

d - diámetro del barreno en mm.

Altura de la carga de fondo  $h = 1.3 B$

Cantidad de explosivo por metro lineal de barrenos

$$q_m = 0.000785 d^2 De$$

d - diámetro del barrenos en mm.

De - Densidad del explosivo kg/dm<sup>3</sup>.

Reglas prácticas

Bordo máximo:  $B_{m\acute{a}x} = 45 d$ , siendo el más aconsejable -  
40 veces el diámetro.

Espaciamiento, el cual debe de estar entre 1.25 y 1.3 B.

$$E = 1.3 B.$$

Corrección del bordo por desviación de los barrenos.

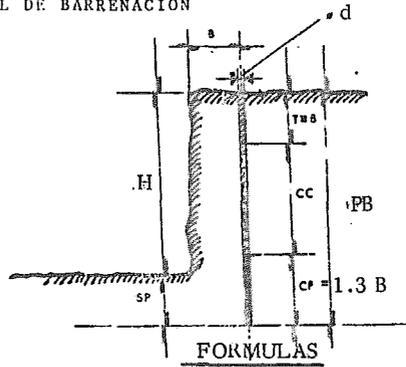
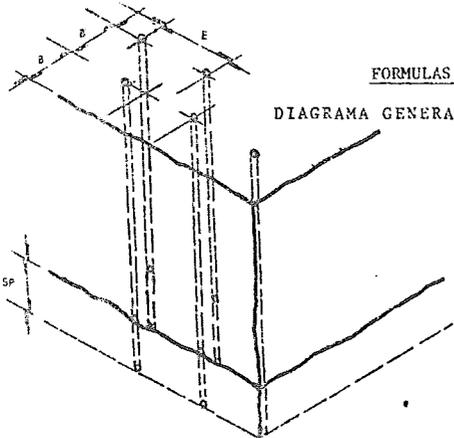
$$B_1 = ( B - 0.05 H )$$

El diámetro del barrenos deberá estar entre 0.5 % y 1.25 % de la  
altura del banco.

H = 10 m. diámetro aconsejable, está entre 50 y 125 mm.

FORMULAS PRACTICAS

DIAGRAMA GENERAL DE BARRENACION



NOMENCLATURA

FORMULAS

- d = Diámetro del barreno
- B = Bordo (distancia entre barrenos y cara libre del banco y entre líneas de barrenos)
- T = Taco =
- E = Espaciamiento (distancia horizontal entre barreno)
- SP = Sub - Perforación (pe-fo-ación - bajo el piso)
- H = Altura del frente
- PB = P-ofundidad del barreno (Longitud del barreno)
- CF = Carga del Fondo
- CC = Carga de Columna

- a) d entre 0.5 % y 1.25 % de H
- b)  $d = 34 \quad H$  en mm.
- $B = 33 \times d$  (6" y 9")
- $B = 40 \times d$  (2 1/2" y 6")
- T = B
- $E = 1.3 (B)$
- $SP = 0.3 (B)$
- H = Depende del equipo
- PB = Depende del equipo
- $CF = 1.3 (B)$
- $CC = PH - 2.3 (B)$
- $V = (B) \times (E) \times (H) =$  volúmen total por barreno
- $V = (B) \times (E) \times 1m =$  volúmen por m. de barreno

A continuación se dan los nomogramas que han sido construidos para calcular la máxima separación de los barrenos, la cantidad de explosivos correspondientes a la calga de fondo, a la carga de columna y la carga total por barreno así como la carga específica.

Con el empleo de los nomogramas, el cálculo de los diversos datos desconocidos en una tronada se hace en forma muy rápida. ( Debe tomar se en cuenta que los nomogramas fueron construidos para un explosivo equivalente a una dinamita con 35 % de potencia ).

En el nomograma la. se encuentra la máxima separación ---- frontal.

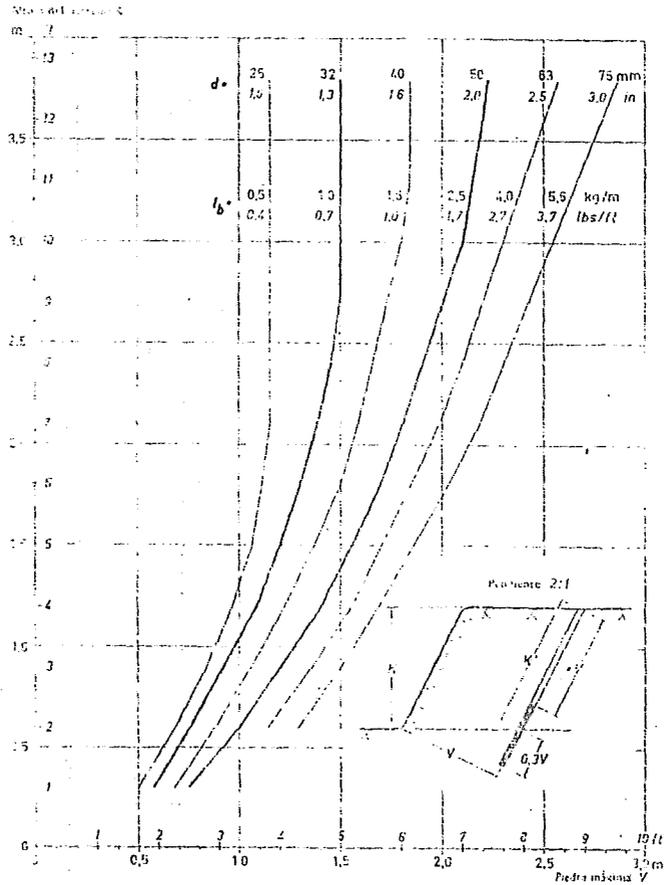
Ejemplo : altura del banco  $H = 6.0$  m, diámetro del barreno  $d = 32$  mm. grado de atacado  $P = 1.25$  kg/dm<sup>3</sup>, dinamita del 35 % por lo que  $s = 1.0$ , espaciamiento entre barrenos  $E = 1.3$  B, inclinación 2:1 y resistencia de la roca  $S = 0.4$  (Secuencia a, b, c, d, e, f, g, ).

Resultado B máx = 1.65 m.

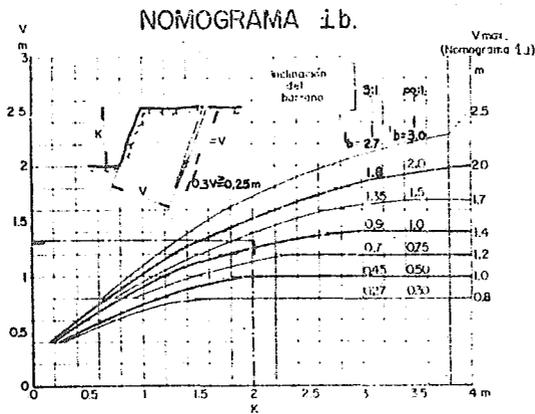
Si fuera barreno vertical con  $E = 1.25$  B entonces se obtendrá que B máx = 1.6 m. ( Secuencia a, b, c, d, e, y continuando en línea recta --- hasta g ).



Para el cálculo del bordo máx para bancos donde  $H = 2B$  se pueden utilizar los diagramas siguientes:



Gráficas para bancos de pequeña altura ( $K < 1,8 V$ ) y varios diámetros de barrenos (torta normal  $c = 0,4$ )



Cálculo de la cantidad de explosivo para la carga de columna y la carga de fondo para un banco de poca altura  $K < 2V$  y diferentes inclinaciones de taludes para un banco de 3:1.

con datos como la altura del banco  $H = 2.0$  m con  $CF = 1.0$  k/m para un diámetro de 32 mm. con una inclinación 3:1.

Al leer los nomogramas 1a y 1b en sentido contrario se obtienen las cantidades de explosivo para la carga de fondo y la carga de columna, para un valor dado de B.

Si  $H \geq 2B$  se empleará el nomograma 1a y cuando  $H < 2B$  se empleará el nomograma 1b.

Como la carga de fondo es  $1.3 B$ , la carga de columna será — considerando un valor igual a B que quedará sin carga, por lo tanto la altura de la carga de columna será  $CC = H - 2B$ .

Si se toman los datos del ejemplo inicial  $B = 1.65$  y  $H = 6.0$  m donde la perforación bajo el piso es  $0.3 B$ .

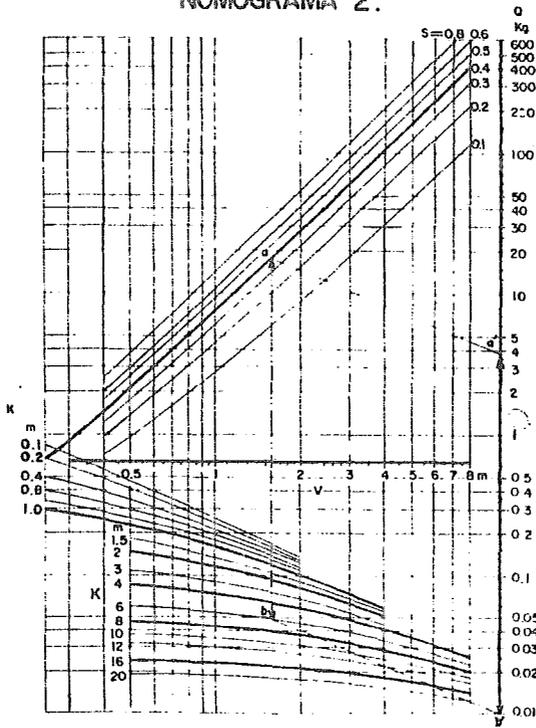
La longitud ocupada por la carga de fondo será  $B+0.3B=2.2m$  en el nomograma se lee  $1.25 \text{ kg/m}$  (secuencia g, h, e, d, c, b, y a), por lo tanto el peso de la carga de fondo será  $2.2 \times 1.25 = 2.7 \text{ kg}$ . de dinamita.

Para el cálculo de la carga de columna se parten con los mismos datos salvo que se utilizará un explosivo de menor potencia para no sobrecargar el barrenos  $s = 0.8$  y  $H = 6.0 \text{ m}$  la longitud de la carga de columna será  $H - 2B = 6 - 3.3 = 2.7 \text{ m}$ , y se lee  $0.65 \text{ kg/m}$  (secuencia g, f, d", c", b<sup>1</sup> y b"), por lo tanto el peso será  $2.7 \text{ m} (0.65 \text{ kg/m}) = 1.9 \text{ kg}$ . de explosivo. La inclinación de los barrenos no tiene influencia sobre la magnitud de la carga de columna por eso se puso por el punto "f" sin desviación.

Para el cálculo de la carga total se puede utilizar el nomograma 2 cuyo resultado es aplicable cuando se utiliza el mismo explosivo en la carga de fondo y la carga de columna, o el diagrama 2.3 y también con el nomograma la.

Datos:  $H = 6.0 \text{ m}$ .     $B = 1.6 \text{ m}$ ,     $d = 32 \text{ mm.}$ ,     $S = 0.4$ ,     $s = 1.0$ , ---  
 $P = 1.25 \text{ kg/dm}^3$      $E = 1.25 \text{ B}$ ;    barrenos verticales (inclinación 00:1) -  
dando la carga total igual a  $3.8 \text{ kg}$ .

## NOMOGRAMA 2.

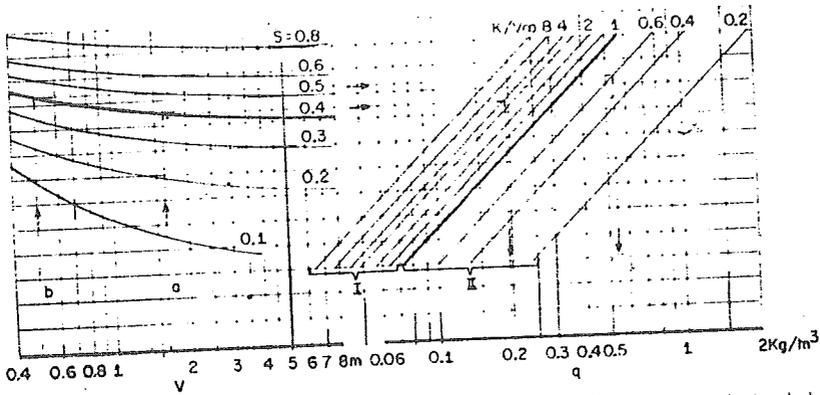


Cálculo de la carga total por barreno en función de la seguridad frontal, altura del banco y resistencia específica de la roca a ser volada  
Atlas Capic Mexicana S. A.

Para determinar la carga específica ( kg por metro cúbico de roca tronada ) se utiliza el nomograma número 3, suponiendo una inclinación de los barrenos de 3:1 o 2:1 .

Datos requeridos  $H = 6.0$  m     $B = 1.6$  m     $S = 0.4$   $\text{kg/m}^3$      $\frac{K}{V} = 3.7$   
obteniendo un resultado de  $q = 0.2$   $\text{kg/m}^3$ .

### NOMOGRAMA 3.

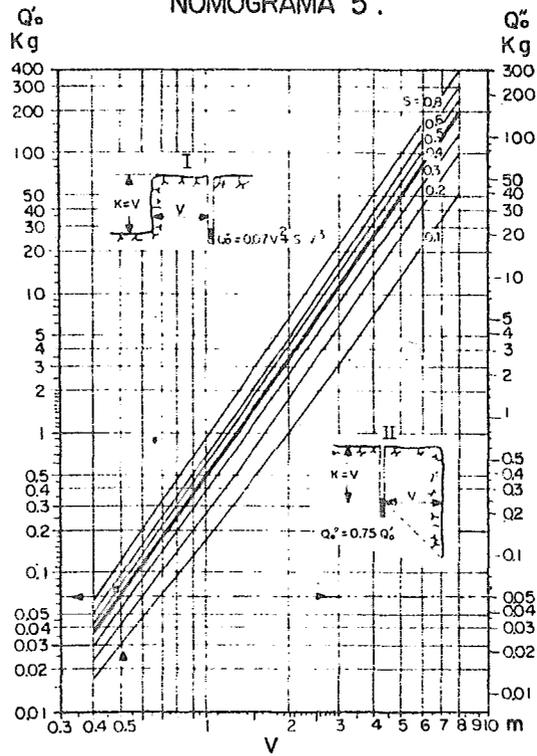


Cálculo de la carga específica dinámica de 35° de potencia en  $\text{Kg/m}^3$  roca, como una función de la separación frontal de los barrenos, resistencia a la voladura y relación  $K \cdot V$ . Atlas Copco Mexicano, S. A.

El nomograma 5 sirve para determinar la resistencia específica de la roca a ser volada.

Se supone  $H = B$  y es aplicable a bancos en los que el fondo del barreno se encuentre confinado o libre, inicialmente se supone una  $S = 0.4$  y se calcula la carga, con ésta, se hace la voladura y se analizan los resultados en función de la fragmentación y lanzamiento del material, en caso de fallar la tronada, ésta se repite aumentando la carga en un 20 % aproximadamente.

### NOMOGRAMA 5.



Calculo de la resistencia específica de la roca a ser trabada determinable por trabajos experimentales. La carga mínima de fondo se obtiene para una separación frontal de los barrenos igual a la altura del punto K = V. Atlas Capca Mexicana, S. A.

Los bancos generalmente requieren de barrenos con profundidades comprendidas entre 1 y 8 ó 10 metros donde la separación frontal  $\delta$  bordo -- ( B ) práctico resulta de orden de 1 a 3 metros .

Por lo que respecta a la inclinación de la barrenación, este sistema reduce notablemente las "patas de los bancos " con lo que se puede traba

-jar con mayores separaciones frontales en las filas de barrenos, reduciendo las cargas de fondo, obteniéndose mejor fragmentación y más uniforme y reduciendo notablemente los destrozos en los respaldos y pisos de los bancos, en la figura 2 se ilustran las ventajas de la barrenación inclinada con respecto a la vertical. Figura 17.

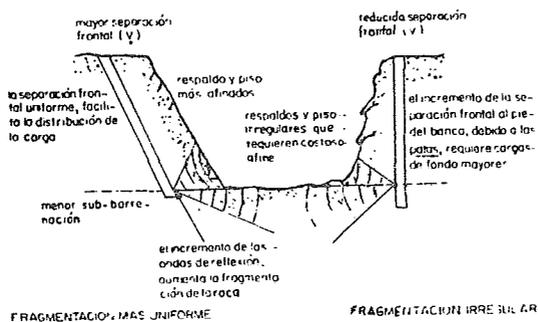


Figura # 17

En los bancos de cantera donde la explotación dura largos periodos de tiempo, en los que los trabajos se reducen a base de frente de mucha altura que requieren barrenos con profundidades del orden de 15 a 40 ó 50 metros con separación frontal del orden de 4 a 10 metros y de diámetro comprendidos de 6" hasta 9".

En este tipo de explotaciones el explosivo más empleado es el de nitrato de amonio sensibilizado con aceites minerales, y el disparo es hecho generalmente con mecha detonante "primacord".

Es práctica común aumentar hasta un 10 % las cargas explosivas necesarias con la finalidad de reducir los trabajos de moneo.

El "moneo" es la fragmentación de grandes bloques de roca que resultan de la tronada que eventualmente requerirán de barrenación secundaria.

Existen tres métodos de "moneo" que son:

a). - Moneo empleando barrenos de culebra, los que se perforan directamente debajo del bloque de roca para alojar una carga de explosivos de magnitud adecuada.

b). - Moneo de barrenación directa el que implica una barrenación secundaria que se practica directamente sobre el bloque de roca hasta una profundidad suficiente para alojar la carga de explosivos adecuada en el centro del bloque.

Consumo de explosivos en el moneo de bloques con tendencia de cubo o esfera.

Dimensiones del bloque	Peso de la carga explosiva
m <sup>3</sup>	kg
0.2	0.014 a 0.018
0.8	0.060 a 0.085
1.8	0.115 a 0.140
6.1	0.450 a 0.680

c).- Moneo de embarre, el cual consiste en adherir directamente al bloque de roca la carga explosiva que queda cubierta por un material muy cohesivo y adherente, que comunmente es lodo o arcilla, y se aplica a bloques de roca con tendencia plana.

En la siguiente tabla se dan algunos valores de la cantidad de explosivo necesaria para efectuar dicho moneo.

Espesor de los bloques de roca	Peso total de la carga por bloque
m	kg
0.30	0.084 a 0.113
0.60	0.113 a 0.227
1.20	0.340 a 0.454

#### 4.6 PRECAUCIONES EN EL MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE LOS EXPLOSIVOS.

En las operaciones de voladura de rocas, hay que tener precauciones en el manejo de explosivos tanto en el personal que los maneja, prepara el área de voladura, el regreso a la misma, con las debidas precauciones contra los gases nocivos que se generan y no descuidando la posibilidad de voladuras incendiadas o retrasadas.

Con respecto al personal existen cuatro principios fundamentales para evitar accidentes.

El primero es que entre menos hombres manejen los explosivos menores sean los riesgos de accidentes, esto implica la división de la mano de obra y sistematización de las operaciones.

El segundo es que los hombres que manejen explosivos deben poseer ciertas características de inteligencia y sentido común y suficiente experiencia y conocimiento de los explosivos.

El tercero consiste en enseñar al personal las prácticas de seguridad con el fin de hacer cumplir los reglamentos de seguridad lo cual implica una supervisión cercana y una disciplina estricta.

Y el último principio se aplica al consumidor individual que pretende hacer sus disparos solo o con la ayuda de uno o dos empleados miembros de su familia o vecinos.

Nadie sin tener entrenamiento previo o experiencia a este campo debe tomar un riesgo de tal naturaleza.

Con lo que respecta al área de voladura esta se considera que es el área en la que el efectuar un disparo se pudiera dañar al personal o al equipo.

Se recomienda que todo el personal y el equipo innecesario es indispensable retirarlo del área de voladura antes de que se lleven explosivos

al lugar.

Además no debe permitirse ninguna actividad tal como la operación de palas y equipo de transporte cerca de un frente que se carga con explosivos sensibles a la cápsula o si se están utilizando estopines eléctricos en los barrenos.

Antes de que la voladura esté lista para el disparo siempre hay que tomar las siguientes precauciones:

a). - Tener suficientes guardias para asegurar que el área de voladuras se conserva libre.

b). - Proporcionar un refugio adecuado al personal o equipo que debe permanecer en el área.

c). - Tener un sistema de señales sencillo pero adecuado.

Para regresar al área de voladura es recomendable hacerlo después de que haya transcurrido tiempo suficiente para que se despeje el humo, polvo y gases de la explosión.

Seguidos los métodos, adecuados de preparación de cebos, de cargado, cebado, retacado y disparo es raro que exista un barreno quedado, en caso de que exista, la investigación y corrección de dicho barreno debe dejarse a un hombre cuidadoso y experimentado para que lo maneje con seguridad.

Se debe seguir al procedimiento adecuado en la voladura, para evitar los barrenos quedados o parcialmente quedados ya que estos pueden causar que toda la carga o parte de ella se incendie y se de una explosión llamada "explosión demorada" que ocasione daños al personal.

A). - Permisos para adquisición y uso de explosivos.

Los documentos que aquí se describen, se ajustan a los requisitos que marca la Ley y que exige la Secretaría de la Defensa Nacional (SDN).

Lo primero que se requiere, es obtener un comprobante de la contratante de que en la obra que se esta ejecutando es necesario el uso de explosivos, documento que se puede obtener en la residencia de construcción (A).

A continuación se obtendrá un comprobante de la autoridad municipal que atestigüe que la empresa efectivamente esta trabajando en la región-- (B).

Con copia de estos documentos se dirige al C. Gobernador del Estado, una solicitud de opinión favorable y de que no tiene objeción para que la SDN otorgue el citado permiso ( C ).

Estos tres documentos deben formar un legajo para enviar a - - SDN acompañado de una solicitud de permiso para adquisición, manejo y uso de explosivos de acuerdo con la forma adjunta ( D ); tambien deben formar parte de este legajo los documentos anexos que sean llenados de acuerdo con su contenido y firmados y sellados por las autoridades que en ellos aparecen asi mis-

mo planos constructivos y de ubicación de los polvorines.

CONSTRUCTORA: \_\_\_\_\_  
CALLE: \_\_\_\_\_ No. \_\_\_\_\_  
CIUDAD: \_\_\_\_\_

SR. ING.

\_\_\_\_\_  
JEFE DE LA RESIDENCIA DE CONSTRUCCION  
SRIA. \_\_\_\_\_

Con el presente, nos permitimos solicitar de Ud., un compro--  
bante en el que haga notar la imperiosa necesidad que tenemos para la ejecu--  
ción de la Obra del uso de explosivos y sus artificios. Esto con objeto de ---  
gestionar ante la Sria. de la Defensa Nacional, el permiso para adquisición, -  
manejo y uso de estos materiales.

Anticipamos nuestras gracias por la atención que nos dispense-  
y nos suscribimos de Ud.

A T E N T A M E N T E

CONSTRUCTORA \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
EL SUPERINTENDENTE.

( A )

SECRETARIA DE  
RESIDENCIA EN \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ A \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_ DE 19 \_\_\_\_\_

A QUIEN CORRESPONDA:

P R E S E N T E . -

El que suscribe Residente de Construcción de \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ por la presente hace constar que la - -  
Constructura \_\_\_\_\_ está trabajando en -  
esta obra y para el cumplimiento de su cometido, necesitará mover aproxima-  
damente \_\_\_\_\_ M3 de roca que se utilizará en \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

A T E N T A M E N T E

ING. \_\_\_\_\_  
RESIDENTE DE CONSTRUCCION.

Contestación A (A )

PRESIDENCIA MUNICIPAL

DE

EDO. DE -----

----- a ----- de ----- de 19 -----

A QUIEN CORRESPONDA:

P R E S E N T E . -

El suscrito Presidente Municipal con el presente certifica que -  
la Constructora -----  
----- esta trabajando en este Municipio en la construcción  
de -----  
y que tiene sus oficinas en la calle ----- No. -----  
de esta Ciudad.

A petición de la Constructora y para lo fines que crea convenientes extiende el presente certificado el ----- de ----- de -----  
19 -----

A T E N T A M E N T E

-----  
EL SECRETARIO.

( B )

-----  
EL PRESIDENTE MUNICIPAL.

CONSTRUCTORA \_\_\_\_\_  
CALLE \_\_\_\_\_ No. \_\_\_\_\_  
CIUDAD \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 198 \_\_\_\_\_

SR. GOBERNADOR CONSTITUCIONAL DEL  
ESTADO DE \_\_\_\_\_

Distinguido Sr. Gobernador:

Con el presente y a nombre de Constructora \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ me estoy permitiendo solicitar de Usted de la  
manera más atenta si para Uo no tiene inconveniente; una carta dirigida a la  
Sria. de la Defensa Nacional en la que consta que el Gobierno de su digno car-  
go, no tiene inconveniente en que se nos conceda el permiso necesario para la  
utilización de explosivos en la Construcción de \_\_\_\_\_  
que estamos ejecutando mediante contrato  
suscrito con la Sria. de \_\_\_\_\_

No dudando de la atención que se sirva otorgar a la presente, --  
nos suscribimos de Usted con las seguridades de nuestra atenta y distinguida --  
consideración.

CONSTRUCTORA: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
SUPER INTENDENTE GENERAL.

( C )

SECRETARIA GENERAL DE GOBIERNO  
DEPARTAMENTO JURIDICO

OFICIO NUMERO:

EXPEDIENTE:

C. Gral. de Div.

Secretario de la Defensa Nacional  
Lomas de Sotelo, D. F.

En relación a la solicitud presentada con fecha \_\_\_ de \_\_\_  
del presente año, por Constructora  
hago de su conocimiento que el Ejecutivo de mi cargo no tiene inconveniente  
para que se autorice a dicha persona moral a utilizar los explosivos que pre-  
cisa en su solicitud, los que serán utilizados en la explotación del banco de ro-  
ca que se localiza sobre el kilómetro \_\_\_ a \_\_\_ mts. de \_\_\_  
y del municipio de \_\_\_  
material que se utilizará para la construcción de la O-  
bra \_\_\_ de la  
Municipio de \_\_\_

A T E N T A M E N T E

SUFRAGIO EFECTIVO. NO REELECCION  
EL GOBIERNO DEL ESTADO.

EL SECRETARIO GENERAL DE GOBIERNO.

Ejemplo de la carta que el Sr. Gobernador del Es-  
tado debe dirigir al C. Secretario de la Defensa  
Nacional ( Esta carta deberá ser solicitada y --  
gestionada por la Superintendencia ) enviandola-  
junto con todos los documentos.

C. GRAL. DE DIV.

SECRETARIO DE LA DEFENSA NACIONAL  
LOMAS DE SOTELO, D. F.

AT'N: DEPTO. DE REGISTRO Y CONTROL  
DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS

Con la atención debida, solicitamos a Ud. tenga a bien ordenar se estudie la solicitud anexa de emergencia para manejo y uso de explosivos, mismos que son indispensables para la construcción de \_\_\_\_\_ en el Edo. de \_\_\_\_\_ obra encomendada a esta Empresa por \_\_\_\_\_ de acuerdo con el contrato número \_\_\_\_\_

Agradecemos de antemano la atención a nuestra solicitud y nos es grato manifestar a Ud. nuestra más atenta consideración.

A t e n t a m e n t e

-----

Ejemplo de Carta de solicitud del permiso que -  
deberá ser formulada en la Superintendencia con  
los datos del contrato.

La firma se podrá poner en la misma oficina --  
Central.

( D )

SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL  
Depto. de registro y control de fuego y explosivos - Lomas de Sotelo D. F.

Solicitud de permiso extraordinario para la compra de polvora, de explosivos de artificios o de substancias químicas relacionadas con los mismos ( Artículo 57 del Reglamento de la Ley Federal de Armas de Fuego y explosivos ).

DATOS DEL SOLICITANTE

-----  
Primer apellido                      2o. apellido                      1er. Nombre                      2o. Nom.

-----  
Fecha de nacimiento, nacionalidad sexo lee, escribe, profesión oficio ocupcn.  
día mes y año

Calle -----                      No.                      Ciudad, población o localidad. -----

Municipio o Delegación                      Edo. Territorio                      C. P.                      Teléfono. -----

Referencia del domicilio cuando lo requieran. -----

DATOS DE LA NEGOCIACION

Denominación o razón social -----

Calle -----                      Núm.                      Ciudad, población o localidad -----

Municipio o Delegación                      Número                      Edo. territorio o Dist.                      C.P.                      Teléfono. -----

Actividad a la que se dedicara -----

Cantidades y clases de materiales explosivos por comprar, tiempo en que se consumiran los materiales señalados en el punto anterior.

-----  
Protesto, que los datos anotados son verídicos, que la firma es auténtica y la única que utilizaré en los documentos que dirija a la Secretaría de la Defensa nacional.

México, D. F. a        de                    de 198  
Lugar y fecha -----

Firma del solicitante. -----

ADJUNTOS A ESTA SOLICITUD, SE REMITEN LOS DOCUMENTOS SIGUIENTES:

- A. - Copia certificada del Registro Civil del Acta de nacimiento del solicitante. Los extranjeros el documento que justifique su legal estancia en el País.
- B. - Opinión favorable del Gobernador del Estado o Territorio del lugar donde -- estén establecidos los polvorines y donde se utilizará el material explosivo, o bien del Jefe del Departamento del Distrito Federal y del Delegado-- correspondiente en su caso.
- C. - Certificado de Seguridad de los polvorines y del lugar donde se pretende - usar el material explosivo expedido por la primera autoridad administrati- va local. Indicando que estos son adecuados, no ofrecen peligro para la - seguridad y tranquilidad pública y estén protegidos contra robos.
- D. - En caso de sociedades mercantiles, se remitirá copia del acta constituti- va y cuando las solicitudes de permiso se hagan por conducto de apodera- do, deberán acreditar su personalidad con poder notarial.
- E. - Referencias del lugar de consumo manifestándolas en la "forma" reglamen- taria.

Nota: No se atenderá la solicitud si no están correctos y claros los datos anota- dos; o si falta alguno de los documentos señalados en el instructivo.

SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL.  
Depto. de registro y control de armas de fue-  
go y explosivos, Lomas de Sotelo D.F.,

Referencias del lugar donde el solicitante consumirá o usará los explosivos -  
artificios o substancias químicas relacionadas con los mismos, en las obras  
operaciones industriales o explotación minera que señala en gestión petitoria.

-----  
( denominación o razón social del peticionario )

Situación exacta del lugar de consumo : \_\_\_\_\_  
( referida a puntos conocidos del  
-----  
terreno para facilitar su localización. )

UBICADO EN : \_\_\_\_\_  
Municipio o Delegación, Estado, Territorio o Distrito .

DISTANCIAS MAS CORTAS, EN SUS ALREDEDORES A : \_\_\_\_\_ MTS.  
Casas habitación.  
\_\_\_\_\_ MTS. \_\_\_\_\_ MTS. \_\_\_\_\_ MTS. \_\_\_\_\_ MTS.  
carreteras Vías férreas líneas eléct. polvorines.

" EXISTE O NO BARRERA DE PROTECCION A : \_\_\_\_\_ Casas habitación  
-----  
carreteras Vías Férreas Líneas eléctricas polvorines.

\_\_\_\_\_  
Lugar y fecha

\_\_\_\_\_  
Firma.

Nota: " Barrera de protección ", significa cualquier elevación natural del terre-  
no, muralla artificial de espesor no menor de un metro construida con-  
tierra, adobes o sacos terreros, o bosques de tal densidad que las partes circun-  
dantes que requieran protección no puedan verse desde el lugar de consumo de -  
explosivos aún cuando los arboles esten desprovistos de hojas.

SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL  
Depto. de registro y control de armas de fue  
go y explosivos, Lomas de Sotelo, D. F.

Certificado de seguridad del lugar de consumo de explosivos, artificios o subs  
tancias químicas relacionadas con los mismos, expedido por la primera autori-  
dad administrativa.

El suscrito: \_\_\_\_\_ Primera autoridad.

Administrativa de: \_\_\_\_\_

HACE CONSTAR Y CERTIFICA

Que: \_\_\_\_\_  
( Denominación o razón social )

Con domicilio en:

\_\_\_\_\_ calle \_\_\_\_\_ Núm. \_\_\_\_\_ Ciudad, población o localidad. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Municipio o Delegación Estado, territorio o D. \_\_\_\_\_ C. P. Teléfono. \_\_\_\_\_

EMPLEARA LOS MATERIALES SIGUIENTES \_\_\_\_\_  
( pólvora, dinamita, explosivos)

\_\_\_\_\_ ( al nitrato de amonio, artificios, clorato de potasio ) \_\_\_\_\_

EN LABORES CONECTADAS CON LA: \_\_\_\_\_  
( Explotación de canteras, industria de

la construcción, minería, metalúrgica, cerillera, de pinturas, et c. ) \_\_\_\_\_

Trabajos que efectuará precisamente en el lugar de consumo ubicado en:

(referido a puntos conocidos del terreno para su fácil localización ) \_\_\_\_\_

El cual por su situación, no representa peligro para la seguridad y tranquilidad pública.

-----  
a \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 198\_\_

Sello y firma.

Ejemplo de certificado de seguridad. Deberá ser solicitado y obtenido de la primera autoridad administrativa del lugar.

El manejo y almacenamiento de los explosivos, agentes explosivos y accesorios, en todas las etapas de su existencia, requieren procedimientos y métodos adecuados que cumplan con la ley, atención a la protección y preservación de estos materiales y consideración de la naturaleza peligrosa de estos productos.

B. - Transporte. De acuerdo con las leyes y reglamentos del país, los transportes deben hacerse por conducto de los distribuidores que tienen unidades de transporte especiales que se ajustan a estos reglamentos, si los volúmenes por mover justificaran la adquisición de unidades propiedad de la empresa, estas deberán ser aprobadas por la Sria. de la Defensa Nacional.

Los vehículos deberán ser lo suficientemente fuertes para ma--

nejar la carga y estar en buenas condiciones mecánicas .

Deberá tener un piso de madera machihembrada o de metal --- que no produzca chispas, y las porciones del interior que estén en contacto - con la carga tienen que ser contruidos con un material no metálico, el ca-- mión debe ser una caja cerrada .

Los conductores que operan dichos vehículos deben ser perso- nas cuidadosas, capaces y confiables, además, que estén familiarizadas con y obedecer las leyes y reglamentos que gobiernan el transporte de explosivos .

Cuando se realice la descarga de los explosivos, es necesario hacer una inspección para conocer las condiciones del material .

Jamás se deberá fumar mientras se manejan explosivos, agen- tes explosivos o accesorios, o cuando se está trabajando cerca de ellos .

#### C). - Almacenamiento .

El almacenamiento de los explosivos se hace en los llamados polvorines que deben estar localizados, protegidos, contruidos y operados - de tal modo que esten protegidos contra la explosión accidental de sus conte- nidos, y para evitar lesionar a personas o propiedades en caso de que ocurra- dicha explosión .

Deben de contruirse cuando menos dos polvorines, uno para - explosivos y otro para artificios .

Las características de estos polvorines, están en función de los volúmenes de explosivos por usar, es decir, de acuerdo con el volumen de obra en general, deben tener capacidades para almacenar un mínimo de 125% de las necesidades de un mes, para trabajar la primera semana del mes siguiente mientras se obtiene la autorización mensual de adquisición.

Aunque la Sria. de la Defensa Nacional otorga el permiso por un año, es indispensable informarla por conducto de la Jefatura de Zona, del movimiento mensual de los explosivos para que ésta última autorice la adquisición mensual.

Los polvorines deben ajustarse para su construcción a las siguientes disposiciones:

a) Tener capacidad suficiente para el volumen que se pretende manejar más un 10% para imprevistos.

b) Estar construido de materiales sólidos que en ningún momento puedan ser perforados por una bala.

c) Estar bien ventilados de tal manera que no sea posible la formación de gases o aumento de temperatura por falta de circulación de aire.

d) Estar los materiales siempre limpios, sin explosivos regados por rotura de envases u otras causas.

f) Estar separados los explosivos de los artificios por alguna protección, de ser posible natural, que impida la propagación por sensibili

dad entre uno y otro.

Su ubicación debe ser, lejos de los centros de población, a -- distancias no menores de las indicadas por los reglamentos y de ser posible -- con barrenos naturales .

Sus muros deben de ser de materiales tales como: tabique, la drillo, block o adobe.

Los techos pueden ser de: torta de lodo protegida con lámina de cualquier tipo, arena con recubierta de teja o lámina, o loza de concreto.

Pueden ser de forma rectangular con ventilación superior, puer tas de madera con muros y techos con cámara de aire.

La vigilancia la podrá hacer el polvorinero desde su caseta, - ubicada a no menos de 50 mts. desde donde pueda ver las entradas de los pol vorines .

D).- Control. El control de movimientos de los explosivos y sus artificios es de responsabilidad legal directa del superintendente por lo - cual deberá vigilar sus movimientos .

Los movimientos y controles podrán llevarse en la forma si -- guiente:

1. - Se obtendrá la autorización para adquirir mensualmente los materiales que se necesiten ( de la Jefatura de zona ).

2. - Se dará entrada al almacén formulando la orden de alta correspondiente indicando en ella número de autorización y nombre del proveedor, el material entrará al polvorín correspondiente.

3. - De acuerdo con el programa de obra, el superintendente autorizará diariamente los vales de salida de los materiales, solicitados por el poblador.

4. - Mensualmente se hará un balance de entradas y salidas, y se reportará con todo detalle a la S.D.N. acompañando a este balance la solicitud para el mes siguiente restando las existencias de las necesidades calculadas.

Esta documentación se presenta a la Jefatura de zona del Estado, la cual otorga la autorización para el mes siguiente.

5. - Para el último mes solamente se solicitará autorización estrictamente, del faltante para cerrar la obra más un 2% que en caso de no necesitarse, se volará en presencia del superintendente para cerrar a ceros en el informe final a la S.D.N. agregando al pie del informe una nota que aclare que han sido totalmente agotadas las existencias, quedando abierto el permiso para una necesidad posterior, los informes mensuales deberán continuar enviándose con cero de movimiento hasta que termine la vigencia del permiso general.

"Siempre y nunca", para manejar con más seguridad los explosivos.

Tomado del Manual de explosivos de Du Pont.

Durante el transporte de los explosivos:

1. - Siempre obedezca las leyes y reglamentos federales, estatales y locales.

2. - Siempre verifique en cualquier vehículo que se utilice para transportar explosivos que este en buenas condiciones de trabajo y equipado con un piso de madera o de metal que no produzca chispas, con redilas y extremos suficientemente altos para prevenir que los explosivos se caigan. La carga de un camión abierto debe estar cubierta con una lona impermeable y resistente al agua, y no se debe permitir que los explosivos entren en contacto con cualquier fuente de calor, como por ejemplo: el tubo de escape. Todo el alambrado tiene que estar perfectamente aislado para évitar corto circuitos y se deben tener en camión cuando menos dos extinguidores de fuego. Es indispensable que los camiones esten claramente marcados para dar aviso -- adecuado al publico sobre la naturaleza de la carga.

3. - Nunca permita que los metales, excepto los cuerpos metálicos aprobados para comiones, estén en contacto con las cajas de los explosivos. El metal y las sustancias inflamables o corrosivos nunca de-- ben transportarse junto con explosivos.

4. - Nunca permita fumar o que viajen en el vehículo per-- sonas sin autorización o innecesarias.

5. - Siempre cargue y descargue los explosivos cuidadosa-- mente. Nunca los arroje fuera del camión.

6. - Siempre vea que los otros explosivos, incluyendo el - cordón detonante, se encuentren separados de los fulminantes y/o de los es - topines eléctricos en aquellas ocasiones en que se los permita el transporte - en el mismo vehículo.

7. - Nunca conduzca camiones con explosivos a través de ciudades, poblaciones o villas, ni los estacione cerca de lugares como restau - rantes, talleres y gasolinerías, a menos que esto no se pueda evitar.

8. - Siempre solicite que las entregas de explosivos se -- efectúen en el polvorín o en cualquier otro lugar bien retirado de las áreas po - bladas.

9. - Nunca apague incendios después que hayan estado en contacto con los explosivos. Retire a todo el personal a lugares seguros y -- ponga protección al área para evitar extraños.

Durante el amacenamiento de los explosivos:

10. - Siempre almacene explosivos únicamente en un pol - vorín que esté limpio, seco, bien ventilado, bastante fresco, localizado en - un lugar adecuado construido sustancialmente, resistente a las balas y al fue - go y cerrado con candado.

11. - Siempre almacene explosivos de acuerdo con las le - yes y reglamentos federales, estatales o locales.

12. - Nunca almacene fulminantes o estopines eléctricos - en la misma caja, contenedor o polvorín , junto con otros explosivos.

13. - Nunca almacene explosivos, mecha o encendedores - de mecha en un lugar mojado o húmedo o cerca de aceite, gasolina, soluciones limpiadoras o solventes, ni cerca de radiadores, tubos de vapor, tubos - de escape, estufas o cualquiera otra fuente de calor.

14. - Nunca almacene ningún metal que produzca chispas - ni herramientas metálicas que origine chispas en un polvorín de explosivos.

15. - Nunca fume o tenga fósforos o alguna fuente de fuego o flama dentro o cerca de un polvorín de explosivos.

16. - Nunca permita que se acumulen hojas, pasto o malezas o basura dentro de un radio de 7.5 m. al polvorín de explosivos.

17. - Nunca dispare un arma de fuego a los explosivos, ni permita disparos en la vecindad de un polvorín de explosivos.

18. - Siempre consulte al fabricante si la nitroglicerina de los explosivos deteriorados se ha escurrido al piso de un polvorín. El piso de be insensibilizarse lavándolo abundantemente con un agente aprobado para este fin.

19. - Siempre localice los polvorines de explosivos en los lugares más aislados disponibles. Deben estar separados uno de otro, así - como de los edificios habitados, carreteras y ferrocarriles, por distancias no - menores a las recomendadas en la tabla americana de distancias.

Durante el empleo de los explosivos:

20. - Nunca utilice herramientas que produzcan chispas pa-

ra abrir las cajas de madera con explosivos.

Se pueden usar navajas metálicas para abrir las cajas de cartón, siempre y cuando no entren en contacto con las grapas metálicas de la caja.

21. - Nunca fume o tenga fósforos o cualquier fuente de fuego o flama, dentro de un radio de 30 mts. del área en la que se están utilizando o manejando explosivos.

22. - Nunca coloque los explosivos en lugares en donde puedan quedar expuestos a la flama, calor excesivo, chispas o impacto.

23. - Siempre reemplase o cierre la tapa de las cajas de los explosivos después de utilizarlos.

24. - Nunca inserte en el extremo abierto de un fulminante que no sea mecha de seguridad.

26. - Nunca golpee, juegue o intente retirar o investigar el contenido de un fulminante o de un estopín eléctrico, ni intente jalar los alambres de un estopín.

27. - Nunca permita que los niños o personas sin autorización e innecesarias estén presente en los lugares en donde los explosivos se están manejando o utilizando.

28. - Nunca maneje, utilice o esté cerca de explosivos durante la formación o progreso de una tormenta eléctrica. Todas las personas deben retirarse a un lugar seguro.

29. - Nunca utilice explosivos o sus accesorios que estén

obviamente deteriorados o dañados .

30. - Nunca intente utilizar mecha, fulminantes, estopines eléctricos o cualquier explosivo que haya estado empapado con agua, aunque estén ya secos. Consultar al fabricante.

Durante la preparación del cebo:

31. - Nunca prepare cebos en un polvorín o cerca de cantidades excesivas de explosivos, o en cantidades mayores de las necesarias.

32. - Nunca fuerce un fulminante o un estopín eléctrico en un cartucho de dinamita. Inserte el fulminante dentro de un agujero efectuado en el cartucho con un punzón adecuado para este fin.

33. - Siempre prepare los cebos de acuerdo con los métodos aprobados y establecidos. Asegúrese que el casquillo del fulminante esté completamente dentro de la dinamita o del reforzador, y asegurado de tal modo que durante el cargado no se aplique tensión a los alambres o a la mecha en el punto de entrada al fulminante. Cuando se prepara un cebo lateral a un cartucho de pared gruesa o de mucho peso, enrolle cinta adhesiva alrededor del agujero perforado en el cartucho de tal modo que el fulminante no se salga.

Durante la barrenación y el cargado:

34. - Siempre cumpla con los reglamentos federales, estatales y locales relativos a la barrenación y el cargado.

35. - Siempre examine cuidadosamente la superficie o fren

te antes de la barrenación para determinar la posible presencia de explosivos sin disparar. Nunca barrene en los explosivos.

36.- Siempre revise el barreno cuidadosamente con un ata cador de madera o una cinta para determinar su condición antes del cargado.

37.- Siempre identifique la posibilidad de los riesgos de electricidad estática producidos por el cargado neumático y tome medidas pre cautorias adecuadas. Si existe cualquier duda, consulte con su proveedor de explosivos.

38.- Nunca almacene explosivos sobrantes cerca de áreas de trabajo durante el cargado.

39.- Siempre corte del carrete la línea de cordón detonante que se extiende hacia el barreno antes de colocar el resto de la carga.

40.- Nunca cargue un barreno con explosivos después de secantear ( hacer más grande el barreno con explosivos ) o después de terminar la barrenación sin estar seguros de que está ya frío y que no contiene ningún metal caliente o material incendiado. Las temperaturas superiores a --- 150 grados F., son peligrosas.

41.- Nunca ~~secantee~~ un barreno cerca de otro barreno ya -- cargado con explosivos.

42.- Nunca fuerce explosivos al interior de un barreno o a través de una obstrucción dentro del barreno. Esta práctica es particularmente peligrosa en barrenos secos y cuando la carga está cebada.

43.- Nunca raje, deje caer, deforme o abuse del cebo.

Nunca suelte un cartucho de diámetro grande y pesado directamente sobre el cebo.

44. - Siempre evite colocar cualquier parte innecesaria del cuerpo sobre el barreno durante el cargado.

45. - Nunca cargue barrenos cerca de líneas de corriente a menos que la línea de guía, incluyendo los alambres de los estopines, sea tan corta que no pueda llegar a los cables eléctricos.

46. - Nunca conecte fulinantes o estopines eléctricos al cordón detonante excepto con los métodos recomendados por el fabricante.

**Durante el retacado:**

47. - Nunca retaque dinamita que esté afuera del cartucho.

48. - Nunca retaque con dispositivos metálicos de cualquier clase, incluyendo el extremo metálico de los atacadores. Use atacadores de madera sin partes metálicas expuestas, excepto conectores de metal que no produzcan chispas para los atacadores con juntas. Evite un retacado violento. Nunca retaque el cebo.

49. - Siempre cofine los explosivos dentro del barreno con arena, tierra, arcilla o cualquier otro material incombustible adecuado para el cebo.

50. - Nunca haga cocas o gasas ni dañe la mecha, o los alambres de los estopines eléctricos, durante el retacado.

**Durante el disparo eléctrico:**

51. - Nunca desenrolle los alambres o utilice estopines eléctricos durante tormentas de arena o cerca de cualquier otra fuente de grandes cargas de electricidad estática.

52. - Nunca desenrolle los alambres o utilice estopines eléctricos en la vecindad de transmisores de radiofrecuencia, excepto a distancias seguras. Consulte al fabricante o al Instituto de Fabricantes de Explosivos en su folleto llamado "Riesgos de la Radiofrecuencia".

53. - Siempre conserve el circuito de disparo completamente aislado de tierra o de otros conductores como alambres desnudos, rieles, tubería u otras trayectorias para las corrientes erráticas.

54. - Nunca tenga alambres eléctricos o cables de cualquier clase cerca de los estopines eléctricos o de otros explosivos excepto durante el movimiento y para el fin de disparar una voladura.

55. - Siempre revise todos los estopines eléctricos, ya sea uno por uno, o cuando están conectados en un circuito en serie, utilizando sólo un galvanómetro de voladuras específicamente diseñado para este fin.

56. - Nunca utilice, en el mismo circuito, estopines eléctricos producidos por más de un fabricante, o estopines eléctricos de diferente estilo o función, aunque estén construidos por el mismo fabricante, a menos que su uso esté aprobado por él.

57. - Nunca intente disparar un estopín eléctrico, o un circuito de estopines, con una corriente menor a la mínima especificada por el fabricante.

58. - Siempre revise que todos los extremos de los alambres que se van a conectar estén brillantes y limpios.

59. - Siempre conserve los alambres de los estopines, a las líneas de guía, desconectados de la fuente de energía y en cortocircuito hasta que estén listos para dispararse.

Durante el disparo con mecha:

60. - Siempre maneje la mecha chidadosamente para evitar dañar su recubrimiento. En climas fríos, caliéntela un poco antes de utilizarla para evitar fracturas del material impermeabilizante.

61. - Nunca utilice una mecha corta. Conozca la velocidad de quemado de la mecha y asegúrese que tiene tiempo suficiente para llegar a un lugar seguro después del encendido. Nunca emplee menos de dos pies.

62. - Nunca corte la mecha antes de estar listo para insertarlo en un fulminante. Recorte 1 o 2 plg. para asegurar un extremo seco. Recorte la mecha en ángulo recto, utilizando una navaja limpia y filosa. Asiente la mecha ligeramente contra la carga del fulminante y evite girarla después que se encuentra en posición.

63. - Nunca engargole los fulminantes con ningún otro medio excepto la engargoladora diseñada para tal propósito. Asegúrese de que el fulminante está fuertemente engargolado a la mecha.

64. - Siempre encienda la mecha con un encendedor de mecha

chas diseñado para este fin. Si se utiliza un fósforo, la mecha debe rajarse en el extremo y la cabeza del fósforo conservarse en la rajada haciendo contacto con el núcleo de pólvora. Después golpee la cabeza del fósforo con una superficie abrasiva para encender la mecha.

65. - Nunca encienda la mecha antes que se haya colocado suficiente taco sobre el explosivo, para evitar que las chispas o la cabeza del fósforo lleguen a estar en contacto con el explosivo.

66. - Nunca sujete los explosivos con las manos cuando encienda la mecha.

Antes y después del disparo:

67. - Nunca dispare una voladura sin tener señal positiva de la persona responsable, misma que ya se ha asegurado que todos los explosivos sobrantes estén en un lugar seguro, todas las personas y vehículos a una distancia prudente o bajo protección suficiente, y de que se ha dado un señalamiento adecuado.

68. - Nunca regrese al área de cualquier voladura hasta que el humo y los gases se hayan disipado.

69. - Nunca intente investigar demasiado un disparo quedado. Siga las reglas y reglamentos reconocidos, o si no existen en efecto, espere cuando menos una hora.

70. - Nunca barrene, o recoja una carga de explosivos que ha fallado. Los disparos quedados deben manejarse únicamente por o bajo la

dirección de una persona competente y experimentada.

Durante la destrucción de los explosivos:

71. - Nunca abandone los explosivos.

72. - Siempre destruya los explosivos.

73. - Nunca deje explosivos, cartuchos vacíos, cajas, forros, o cualquier otro material utilizado en el empaquetado de los explosivos en lugares donde los niños, personas sin autorización o el ganado puedan tocarlos.

74. - Nunca permita que la madera, papel, o cualquier otro material utilizado en el empaquetado de los explosivos se quemé dentro de una estufa, chimenea, o cualquier otro espacio confinado, o que se utilice para cualquier fin. Estos materiales deben destruirse quemándolos en un lugar aislado, al exterior, y ninguna persona debe estar más cerca de 30 mts. - después que se ha iniciado el incendio.

## CAPITULO V. MOVIMIENTO DE LA ROCA TRONADA.

Una vez que se ha hecho la extracción, o sea la separación de los -- fragmentos de roca de un barro o corte, el siguiente paso en el proceso de la producción de agregados, es realizar la carga de la roca en los medios ade-- cuados para que la llèven a los procesos que den la terminación a la materia prima ( roca ) y se obtenga el producto, reducido al tamaño adecuado para el uso que se destine, que puede ser para trituración, enrocamiento, pedraplén- etc. .

### 5.1 CARGA DE LA ROCA

La carga de la roca se hace en distancias cortas para alimentar otra- maquina, que puede ser por ejemplo ( una trituradora ) y en distancias largas a una máquina que permita su acarreo . La maquinaria más utilizada en -- las operaciones de carga se encuentran las palas mecánicas y cargadores --- frontales.

De esta maquinaria, los cargadores frontales de los que hacen su --- descarga hacia el frente, son los más usuales, y los hay montados sobre -- orugas y sobre neumáticos.

Actualmente el uso del cargador ha desplazado casi el uso de las --- palas mecánicas ya que estas tienen las siguientes desventajas con respecto al cargador ( alta inversión, poca movilidad, altos costos de transportación - etc. ). Además, con el cargador se tienen otras ventajas como son : movili-

dad, un cargador puede moverse fuera del área de voladura rápidamente y con seguridad, y antes que el polvo de la explosión se disipe el cargador puede estar recogiendo la roca regada y preparándose para la entrega del material. Versatilidad, el cargador puede mover rápidamente de un lugar a otro el material que se requiera, es decir; puede realizar la operación de carga y acarreo en ciertas condiciones; cuando por ejemplo, las trituradoras están lo más cerca posible del banco generalmente a unos 45 mts. .

Los caminos deben estar bien conservados, tener pocas curvas y con pendientes máximas del 10% y en rampas cortas, 20%, cuando se utiliza cargador sobre neumáticos, a las llantas se les deberá dar una protección adecuada por medio de accesorios que constan de zapatas y eslabones de acero, para evitar daños ocasionados por los fragmentos de roca.

Independientemente del tipo de máquina utilizada para cargar la roca, su potencia o capacidad estará determinada por los medios de acarreo y de la capacidad de admisión de la trituradora primaria con el fin de evitar pérdidas de tiempo que son siempre costosas por exceso de material.

Si se tiene una sola máquina para cargar, es posible que esta sufra un detenimiento accidental o no accidental, que podría ocasionar un paro total de la producción, por lo que es recomendable formar un almacenamiento de reserva cerca de la trituradora y con un equipo pequeño de carga alimentar la trituradora en lo que se restablece el flujo de producción.

## 5.2 ACARREO

La elección del equipo de transporte se realiza tomando en --- cuenta los siguientes factores:

a) La robustez necesaria para recibir los fragmentos de roca --- del tamaño máximo admitido por la trituradora primaria.

b) La capacidad de transporte en toneladas por hora para asegu --- rar una alimentación regular a la planta de trituración.

El equipo de transporte en los bancos de roca es sometido a --- choques violentos y repetidos de los bloques de roca que le son cargados, dicho equipo debe circular a plena carga y a la mayor velocidad posible sobre un terreno lleno de baches que le imponen, una enorme fatiga, por lo cual el --- equipó de acarreo se ha clasificado de la siguiente manera :

a ) Camiónes de volteo " fuera de carretera "

b ) Camiónes de volteo " dentro de carretera "

Actualmente se estan fabricando camiónes de volteo " fuera --- de carretera " de 22, 32, 45, 55, 68, 77, 109, 154, y 227 toneladas métricas de capacidad, el equipo normal de transporte por carretera es demaciado frá --- gil para utilizarse en la explotación de un banco de roca.

Los camiónes de volteo " fuera de carretera " conocidos en --- México como Euclid están compuestos de un chasis de camión, corto y equipa --- do de organos muy resistentes, su caja es reforzada por nervios soldados y con ---

una pantalla de protección sobre la cabina de conducción.

Su caja puede descargar hacia otras, lateralmente o con apertura de fondo, la primera forma es la más empleada.

Los camiones de volteo "dentro de carretera" constan de un semirremolque que lleva un chasis-caja con descarga hacia otras que se articula a un tractor en su parte delantera, hay muchas variantes al utilizar tractor con uno o dos ejes también.

La elección de la capacidad de la caja está en función de las consideraciones siguientes:

-No debe ser menor que dos o tres veces la capacidad de la máquina cargadora.

-El límite de capacidad superior lo imponen consideraciones de construcción y manejabilidad, así como por las posibilidades de recepción de la trituradora.

El número de vehículos se determinará en función de la producción que se desee y el tiempo de ciclo, el cual estará en función de los trayectos a recorrer y de la mayor o menor rapidez en las maniobras, tratando de acelerar al máximo el ciclo de los vehículos para reducir el número de éstos.

Como el tiempo de carga es una constante que depende del tamaño de la máquina que carga el material, se podrá actuar sobre la rapidez de descarga que dependerá de la cantidad máxima de material que la trituradora

ra pueda recibir en un tiempo dado.

## CAPITULO VI. TRATAMIENTO

El tratamiento en la explotación de un banco de roca, es la etapa final de la producción, en la cual se transforma el material en greña proveniente del banco de agregados naturales, y compuesto de elementos de todas dimensiones, desde bloques hasta elementos finos e impurezas de arcilla y limo en materiales limpios, clasificándolos en categorías granulométricas requeridas dependiendo del uso a que estos agregados se destinen.

Para realizar estas operaciones se cuenta con equipo de trituración propiamente dicho y equipo complementario, que son aquellas máquinas que sin participar directamente en las operaciones de trituración son indispensables para realizar los procesos necesarios para transformar el material en greña, en material útil.

Estos procesos se pueden enumerar de la siguiente manera: alimentación, trituración, transportación en banda, cribado, lavado, manejo, almacenamiento y recuperación del agregado, que se realizan con máquinas adecuadamente balanceadas que constituyen las plantas de trituración que pueden ser portátiles o estacionarias.

La composición de una planta puede dividirse en las siguientes categorías de máquinas:

Equipo de trituración:

-Trituradoras primarias que pueden ser quebradoras de --

quijadas o quebradoras giratorias.

-Trituradoras secundarias que pueden ser trituradoras de cono, rodillos, martillos o impacto.

-Trituradoras terciarias que pueden estar constituidas por cualquiera de las máquinas anteriores.

-Molinos que pueden ser de bolas y barras.

Los siguientes grupos de máquinas pueden considerarse dentro de lo que es el equipo complementario.

Equipo de alimentación:

-De plato reciprocante.

-De delantal o tablero sin rejilla de precibado.

-De banda.

Equipo de cribado:

-Cribas vibratorias horizontales o inclinadas.

-Cribas rotatorias.

Equipo de lavado:

-Guzanos lavadores - clasificadores.

-Tambores desenlodadores.

-Tanques clasificadores.

-Ciclones hidráulicos.

-Bombas.

Equipo de manejo y almacenamiento :

- Motores eléctricos
- Motores diesel.
- Grupos electrógenos.
- Consolas de mando y tableros de control.
- Chasis remolque.
- Tolvas, ductos pasillos, barandales y escaleras.
- Equipos de control de emisión de polvos para contrarres

tar la contaminación ambiental.

- Instrumentos y sistemas de alarma para el control de las presiones y temperaturas de los aceites de lubricación.

Equipo de recuperación del agregado.

- Transportadores de banda portatil.
- Transportadores de banda estacionarios.

#### 6.1 TRITURACION Y CRIBADO.

Las rocas son fragmentadas, trituradas o reducidas de tamaño por medio de una o varias de las siguientes acciones mecánicas, desgaste, - corte, compresión, o impacto.

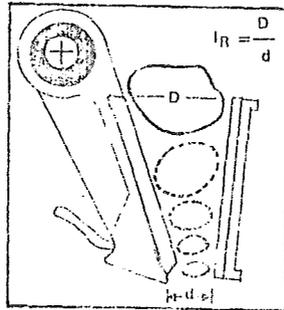
En el siguiente cuadro se ven las máquinas de trituración más-utilizadas y los métodos de reducción que emplean.

QUEBRADORA	METODOS DE REDUCCION			
	 Impacto	 Desgaste	 Corte	 Compresión
Impacto	•			
Pulverizador	•			
Martillos	•	•		
Rodillos			•	•
Giratorias	•			•
Quijadas	•			•
Cono	•			•

Para determinar cual es el tipo de trituración adecuado para resolver un problema de producción de agregados es necesario tomar en cuenta tanto la naturaleza de la roca como el trabajo idóneo para cada tipo de trituradora.

Los conceptos básicos que definen el comportamiento y campo de aplicación de los diferentes tipos de quebradoras son: índice de reducción y coeficiente de forma.

El índice de reducción ( IR), es la relación entre el tamaño en la alimentación ( D ), y el tamaño a la salida ( d ),  $IR = \frac{D}{d}$



En la siguiente tabla se mencionan los índices de reducción obtenidos con las trituradoras y su rango de aplicación:

ETAPA	RANGO DE APLICACION	TIPO DE QUEBRADORA	INDICE DE REDUCCION
1. Trituración primaria	Convierte el material en grava, a tamaños máximos en el rango de 4" a 10" aproximadamente	Quijadas	9/1
		Giratorias	8/1
2. Trituración secundaria	Convierte fragmentos de roca de 4" a 10" a tamaños, en el rango máximo de 1" a 3"	Conos S	10/1
		Rodillo doble	3/1
		Martillos	20/1
3. Trituración terciaria	Convierte fragmentos de 1" a 3" en tamaños máximos en rango de 1/4" a 3/4"	Conos FC o SH	10/1
		Rodillo triple	6/1
		Impacto	30/1
4. Trituración cuaternaria o molienda	Convierte fragmentos de 1/4" a 3/4" a un producto menor de 1/4"	Conos "VFC"	6/1
		Molinos de barra	15/1
		Molinos de bolas	Variables
		Pulverizadores	Variables

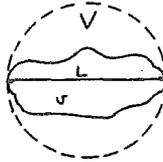
El coeficiente de forma se define como la relación:

$$C_f = \frac{v}{V} = \frac{v}{\frac{L^3}{6}} \quad \text{donde:}$$

L.- Es la dimensión mayor de la roca.

v.- El volumen de dicho fragmento

V.- El volúmen de una esfera cuyo diámetro sea "L"



Aplicando la fórmula, se obtienen los valores promedio siguientes para los fragmentos más comunes:

Forma del fragmento	Valor del coeficiente de forma
Esférico	1
Cúbico	0.37
Tetraedro regular	0.22
Canto rodado	0.34
Grava triturada	0.22
Lajas	0.07
Agujas	0.01

En la producción de agregados, las principales máquinas de trituración que se utilizan son:

La quebradora de quijada para realizar la trituración primaria - esto indica que realiza la primera etapa de reducción de los materiales pétreos los tamaños empleados van de 12'' x 36'' hasta 42'' x 48'' con pisos de - 5.3 toneladas, hasta 48 toneladas con producciones de 18 toneladas por hora y 840 toneladas por hora de acuerdo con el tamaño de la maquinaria su abertura de salida y la naturaleza geológica del material, Figura 1 .

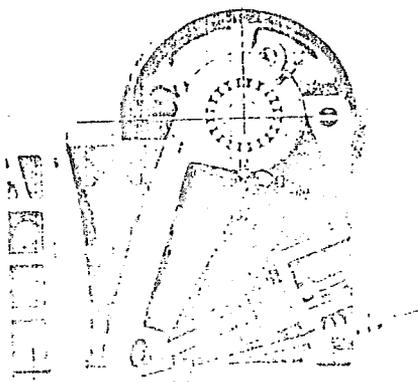


Figura # 1.

En la siguiente tabla se dan algunas capacidades de quebradores de quijada en función del tamaño de la abertura de la alimentación .

# CAPACIDADES DE LAS QUEBRADORAS DE QUIJADAS

Tamaño	1046	1041	1030	1010	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000															
Capacidad en Ton/a una abertura de salida de:																													
15"	4-4	5-9																											
16"	5-6	7-10	15-20	18-27																									
17"	8-11	9-13	17-25	23-31	35-45																								
18"	10-15	15-20	23-34	33-43	45-55	58-70																							
19"	14-20	19-26	29-40	34-45	55-65	75-85																							
20"	17-24	23-31	35-48	42-54	65-78	90-105																							
21"				50-65	75-90	110-135																							
22"					75-110	100-135																							
23"						140-185	180-220																						
24"							220-280	280-350																					
25"								350-450	450-550																				
26"									500-650	650-800																			
27"										800-1000	1000-1200																		
28"											1200-1500	1500-1800																	
29"												1800-2200	2200-2600																
30"													2600-3000																
31"														3000-3500															
32"															3500-4000														
33"																4000-4500													
34"																	4500-5000												
35"																		5000-5500											
36"																			5500-6000										
37"																				6000-6500									
38"																					6500-7000								
39"																						7000-7500							
40"																							7500-8000						
41"																								8000-8500					
42"																									8500-9000				
43"																										9000-9500			
44"																											9500-10000		
45"																												10000-10500	
46"																													10500-11000

- Notas:
- 1.- La potencia requerida varia según el tamaño del producto elaborado por la quebradora y según la dureza de la roca o mineral procesado.
  - 2.- Las capacidades estan dadas en toneladas cortas, 907 Kg. considerando materiales que pesen 1500 kg por metro cubico.
  - 3.- Donde no se especifica capacidad para una abertura dada, significa que la quebradora no puede operarse económicamente con dicha abertura de salida.

En la trituración secundaria y terciaria o sea la reducción --- secundaria y terciaria de los materiales pétreos, las máquinas que más se emplean son las trituradoras de cono, rodillo, impacto y martillos.

Las trituradoras de rodillo usan los efectos de compresión y - corte para efectuar la reducción del agregado pétreo. Figura 2

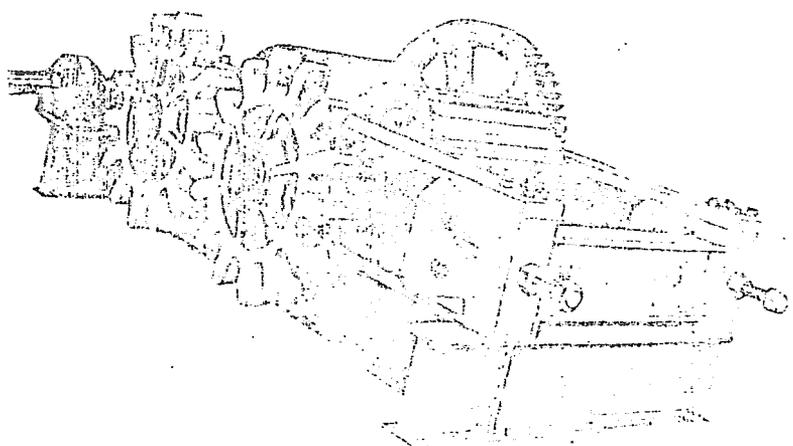


Figura # 2 .

Su utilización hoy en día ha quedado reducida al tratamiento de materiales suaves y para abrasivos ya que las rocas con alto contenido de sílice desgastan rápidamente los rodillos que hace que tengan costos de mantenimiento muy elevados, teniendo además otras limitaciones como son :

a.) El diámetro de los rodillos debe ser de 20 a 30 veces superior al tamaño de los fragmentos en la alimentación.

b ) La producción es directamente proporcional al ancho de los rodillos .

c ) Índice de reducción relativamente bajo.

d ) El coeficiente de forma del material triturado en los rodillos es bajo con tendencia a formar muchos tajos en cierto tipo de rocas .

Las trituradoras de impacto como las de martillo utilizan el efecto de fuertes impactos, de la roca contra las placas del bastidor, impulsados por uno o dos rotores que están girando a elevadas revoluciones por minuto, Figura 3 .

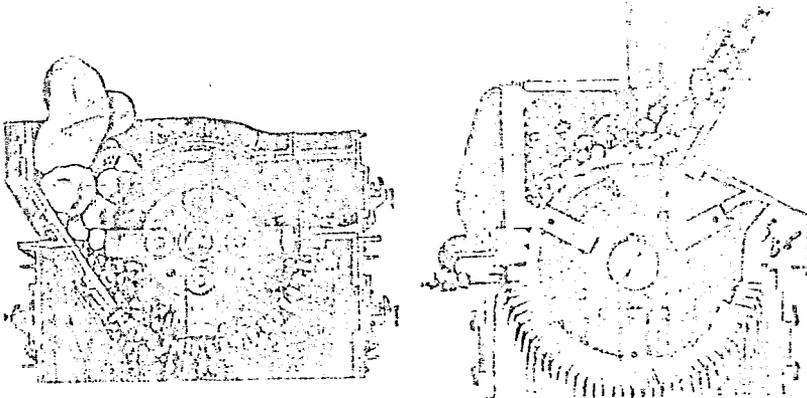


Figura # 3.

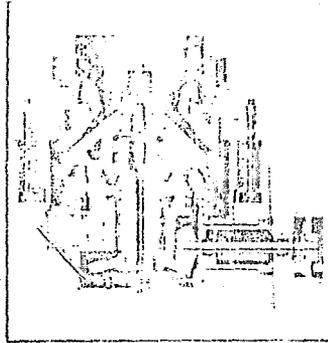
En las trituradoras de martillo con rejilla inferior existen los efectos secundarios de corte y desgaste de la roca entre el martillo y la rejilla.

Con este tipo de máquinas se obtiene un material cúbico de elevado coeficiente de forma, pero estas máquinas no son adecuadas para procesar rocas con más del 6 % de contenido de sílice por el fuerte desgaste que sufren sus martillos y barras de impacto.

Las trituradoras de cono, tienen varias ventajas, tales como :

- a ) Producciones elevadas con un alto índice de reducción.
- b ) Utiliza los efectos combinados de compresiones e impactos sucesivos dando como resultado poco desgaste por abrasión y un producto con muy buen coeficiente de forma.
- c ) Protección contra fragmentos metálicos no triturables.
- d ) Dimensiones compactas que hacen práctica su instalación en grupos móviles de trituración.
- e ) Costos de mantenimiento muy bajos por la elevada duración de sus piezas de desgaste.

Las trituradoras de cono se fabrican en modelos especiales para cumplir las etapas secundaria, terciaria y cuaternaria de reducción.

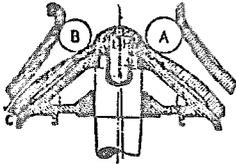


Corte longitudinal de las trituradoras  
de cono cuaternarias tipo V.F.C.

Figura # 4

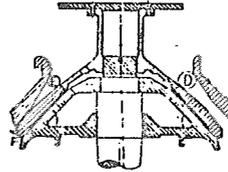
A continuación se dan algunas capacidades de  
trituradoras secundarias y terciarias del tipo -  
cono:

## CAPACIDADES DE PRODUCCION



**Trituradora Secundaria  
Tipo "S"**

Los diagramas y tablas muestran los lados abiertos y cerrados en la alimentación y al cerrado en la descarga de los materiales



**Trituradora Terciaria  
Tipo "FC"**

### TIPO "S"

Tamaño de la Trituradora y Clase	Tipo de Tazón	Abertura de Admisión		Abertura de Descarga mínima recomendada	Capacidades en toneladas cortas por hora, a la abertura de descarga "F" indicada, para materiales que pesen 1,500 kg./m <sup>3</sup>										
		Lado Abierto "A"	Lado Cerrado "B"		1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	2"	2 1/2"			
24 S (2 pies) Yacht	Grueso Mediano	2 1/2" 2 1/2"	2 1/2" 1 1/2"	1/2" 1/4"	17	22	27	33	37	42	47	53			
24 S (2 pies) Yacht	Grueso	4 1/2"	4 1/2"	1/2"	27	32	37	42	47	53					
25 S (3 pies) Tazón	Extra Grueso Grueso Mediano	7 1/2" 5" 4 1/2"	6 1/4" 4" 3 1/2"	1/2" 1/4" 1/4"	36	41	56	71	77	83	89	105	110		
267 S (3 pies) Yacht	Grueso	4 1/2"	6 1/2"	1/2"					71	77	83	89	105	110	
48 S (4 pies) Yacht	Extra Grueso Grueso Mediano	8 1/2" 7 1/2" 5 1/2"	7 1/2" 6 1/4" 4 1/2"	1/2" 1/4" 1/4"	65	110	135	155	170	185	200	215	230		
48 S (4 pies) Yacht	Grueso	10"	9"	1"					170	185	200	215	230		
66 S (5 1/2 pies) Yacht	Grueso Mediano	11" 9"	10" 8"	1" 1/2"					200	235	275	320	365	410	455
66 S (5 1/2 pies) Yacht	Grueso	15"	14"	1 1/2"								365	410	455	

### TIPO "FC"

Tamaño de la Trituradora y Clase	Tipo de Tazón	Abertura de Admisión		Abertura de Descarga mínima recomendada	Capacidades en toneladas cortas por hora, a la abertura de descarga "F" indicada, para materiales que pesen 1500 kg/m <sup>3</sup>							
		Lado Abierto "A"	Lado Cerrado "B"		1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"		
24 FC 2 pies Yachting	Grueso Mediano Fino	2 1/2" 1 1/2" 1 1/4"	1 1/2" 1 1/2" 1/2"	1/2" 1/4" 1/4"	6	8	10	14	20	25	30	
36 FC 3 pies Yacht	Grueso Mediano Fino	3" 2" 1 1/2"	2" 1 1/2" 1/2"	1/2" 1/4" 1/4"	22	32	42	52	62	72	80	
48 FC 4 pies Yacht	Grueso Mediano Fino	4 1/2" 3" 2 1/2"	3" 2 1/2" 1"	1/2" 1/4" 1/4"	55	80	105	130	155	180		
66 FC 5 1/2 pies Yacht	Grueso Mediano Fino	6 1/2" 4 1/2" 3"	4" 2 1/2" 1 1/2"	1/2" 1/4" 1/4"	95	140	180	215	250	280		

NOTA:  
Las capacidades indicadas son promedio, ni máximas ni mínimas, estando basadas en la trituración de roca o mineral blando y seco de 1000 Kg./m<sup>3</sup>, de peso volumétrico y 2.8 de gravedad específica.

Para aberturas menores que las mínimas mostradas, consulte a la fábrica.

En la trituración cuaternaria o molienda se utiliza el molino - de barras, el cual está construido por un tambor cilíndrico de placa de acero - estructural, horizontal y revestido con placas de acero al manganeso para su - protección interior, accionado a través de una corona dentada y un piñón.

El cilindro está cargado con barras cilíndricas de acero de 2" y 3" de diámetro de longitud ligeramente inferior a la del cilindro.

Estas barras accionadas por la rotación del tubo, ruedan las -- unas con las otras y su movimiento relativo genera una acción de molienda.

Los molinos pueden trabajar por vía húmeda o por vía seca y - según el grado de finura por obtener existen tres tipos de alimentación y des-- carga, los cuales se ilustran en la figura 5.

## MOLINOS DE BARRAS

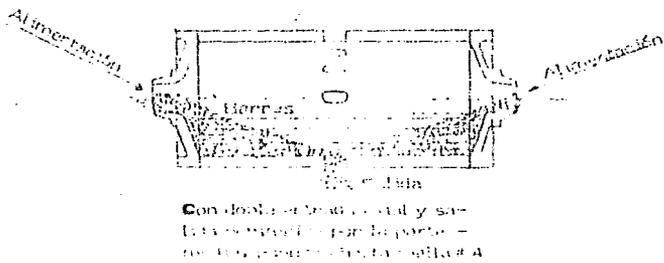
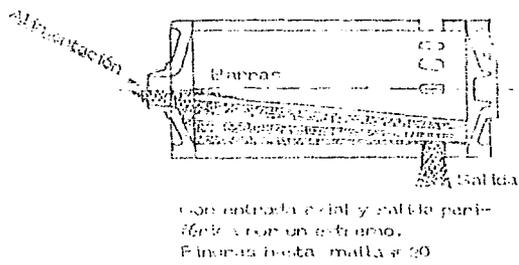
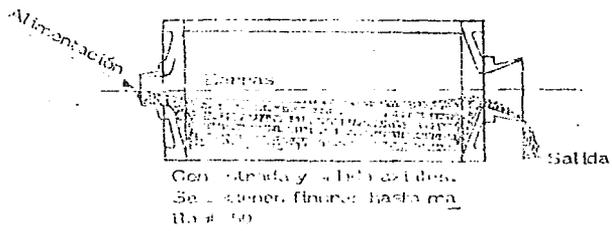


Figura # 5

El cribado tiene por objeto la clasificación o selección de los materiales pétreos granulares, en diversas categorías de acuerdo con los tamaños especificados

Los tipos de cribas empleados son las cribas vibratorias que son máquinas complementarias que se componen de uno, dos o tres pisos de malla de alambre, o de placa perforada en orificios cuadrados, rectangulares o redondos montados en el interior de una caja o bastidor flotante, equilibrado apoyado sobre resortes o suspendido por medio de cables.

Las vibraciones son producidas por el efecto de una flecha ex-céntrica o provista de contrapesos que gira a elevada velocidad, accionada por un motor eléctrico.

La superficie de cribado está constituida en la mayoría de los casos por mallas cuadradas.

Existen cribas vibratorias horizontales con doble mecanismo excentrico, aconsejables en plantas móviles y cribas vibratorias inclinadas de mecanismo excentrico simple utilizados en plantas fijas principalmente.

Los tamaños más utilizados ( ancho por longitud de la superficie de cribado ) son: 4' x 8', 4' x 10', 4' x 12', 5' x 12', 5' x 14', 5' x 16', 6' x 16', en sus versiones de uno, dos y tres pisos.

Para el cálculo de la criba con el auxilio de las tablas que se

dan a continuación se aplicará la fórmula siguiente:

$$\text{Area en pies cuadrados} = \frac{\text{Alimentación menos sobre tamaño}}{A \times B \times C \times D \times E \times F}$$

Fórmula en la cual:

A. - Capacidad específica de la malla en toneladas por hora, por pie cuadrado de malla.

B. - Factor en función de sobretamaño en la alimentación de la criba.

C. - Factor en función del porcentaje de la eficiencia de cribado deseada.

D. - Factor en función del porcentaje de material menor a la mitad de la malla calculada, contenido en el material alimentado.

E. - Factor en función de la abertura de la malla; cuando se criba por vía seca se tomará este factor igual a la unidad.

F. - Factor en función del orden que tenga la malla calculada en la criba.

En la actualidad se utilizan cribas de uno, dos y tres pisos. En caso de criba de dos o tres pisos, se calculará cada una de las mallas separadamente y para seleccionar el tamaño de la criba, regirá la malla mayor.

CAPACIDAD DE LAS CRIBAS VIBRATORIAS

Factor "A": Capacidad especifica en toneladas cortas por hora que pasan a través de un pie cuadrado de malla, basados en una eficiencia del 95%, con un sobretamaño en el material alimentado del 25%

Claro de la Malla Cuadrada	.0116"	.0164"	.0232"	.0328"	.046"	.065"	.093"	1/8"	.131"	.185"	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	
Número de Malla	48	36	28	20	14	10	8	6	4																
Arena	.144	.163	.226	.282	.36	.45	.57	.69	.73	.90															
Polvo de Roca	.120	.152	.188	.235	.30	.375	.475	.56	.595	.75															
Polvo de Carbón	.091	.115	.142	.178	.228	.284	.35	.43	.45	.57															
Grava de Río											1.08	1.40	1.68	1.94	2.16	2.36	2.56	2.90	3.20	3.70	4.05	4.30	4.65	4.90	
Piedra Triturada											.88	1.19	1.40	1.60	1.80	1.95	2.12	2.40	2.69	3.10	3.38	3.60	3.88	4.07	
Carbón											.68	.88	1.04	1.21	1.36	1.48	1.60	1.83	2.00	2.31	2.53	2.69	2.91	3.06	

Usar solo en Cribas de 1 piso

Factor "B" Es función del porcentaje de sobretamaño contenido en la alimentación a la Criba.

Porcentaje de Sobretamaño	Factor "B"	Porcentaje de Sobretamaño	Factor "B"
10%	1.05	85%	.64
20%	1.01	90%	.55
30%	.98	92%	.50
40%	.95	94%	.44
50%	.90	96%	.35
60%	.86	98%	.20
70%	.80	100%	.00
80%	.70		

CAPACIDAD DE LAS CRIBAS VIBRATORIAS

Eficiencia Deseada	60%	70%	75%	80%	85%	90%	92%	94%	96%	98%	99%	Factor "C"
Factor "C"	2.10	1.70	1.55	1.40	1.25	1.10	1.05	1.00	.95	.90	.80	Factor "C": Una separación perfecta o eficiencia del 100% no es económica. En la práctica del cribado de agregados, se acepta una eficiencia del 94%.

Cantidad en la alimentación menor de la mitad de la malla de cribado	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	Factor "D"
Factor "D"	.55	.70	.80	1.00	1.20	1.40	1.80	2.20	3.00	---	Este factor es necesario considerarlo cuidadosamente cuando se esté cribando un material con alto contenido de arena o roca fina. Por ejemplo, si se está cribando a 1/2", considerar el porcentaje menor a 1/4" en la alimentación.

CRIBADO POR VIA HUMEDA

Tamaño de la Abertura de la malla (Pulgadas o número de la malla)	20	14	10	8	1/8"	6	4	1/2"	3/16"	3/8"	1/2"	3/4"	1" o más
Factor "E"	1.10	1.50	2.00	2.25	2.50	2.50	2.50	2.25	2.00	1.50	1.30	1.20	1.10

El cribado por vía húmeda abajo de la malla # 20, no se recomienda. Si se criba por vía seca, se utilizará un factor "E" igual a 1. Un cribado por vía húmeda significa el utilizar de 5 a 10 galones por minuto de agua por cada yarda cúbica de material producido por hora, o sea que por cada 50 yardas cúbicas por hora de material, se necesitarán de 250 a 500 galones por minuto de agua.

Piso	Superior	Segundo	Tercero	Factor "F"
Factor "F"	1.00	.90	.75	Para una criba de un piso, se usará un factor "F" igual a 1. Para una criba de dos o tres pisos para el cálculo de cada piso, se utilizará el factor "F" indicado correspondiente.

## 6.2 ALMACENAMIENTO

Para mover y dirigir el material en el curso del proceso de producción de agregados, de una unidad a otra en la planta de trituración generalmente se utilizan bandas transportadoras, las cuales también sirven para llevar el material ya como producto final al lugar de almacenamiento.

Es un equipo de mecánica simple y de gran eficiencia en el transporte de cualquier tipo de materiales a granel, constan de una cinta o banda de hule, reforzada con capas de lona o de nylon, en anchos de 18", 24", 30", 36", 42", 48", 54", 60", etc., montada sobre trenes de tres rodillos uniformemente espaciados y accionados por una polea de cabeza motriz que a su vez es accionada por un moto-reductor eléctrico que le imprime a la banda una velocidad lineal que va de 30 a 180 metros por minuto, para transportar de este modo un flujo uniforme de material.

La estructura de soporte de los transportadores de banda es viguetas tipo canal para transportadores medianos y pequeños.

El almacenamiento de los agregados se puede hacer en dos formas, una de ellas es el almacenamiento en tolvas y la otra en pilas de almacenamiento sobre el terreno.

El almacenamiento en tolvas, del material obtenido después del tratamiento del producto de excavación de bancos de roca, no es empleado, ya que el volumen por almacenar es muy grande.

El sistema más utilizado es el de pilas de almacenamiento, - habiendo tres tipos principales que son:

a) Apilamiento cónico. Este tipo de almacenamiento es el más simple, más eficiente y económico de todos los tipos de apilamiento. Consiste fundamentalmente de una banda transportadora que lleva el material hacia, el lugar de almacenado y al caer el material se va formando un cono.

b) Apilamiento radial. Con estos se obtiene una gran capacidad de almacenamiento y relativo bajo costo. Una pila radial puede consistir de un depósito continuo de un solo tipo y tamaño de material o varios tipos y tamaños con la utilización de sepradores.

En las figuras 7 y 8 se ve la forma de este tipo de almacenamiento:

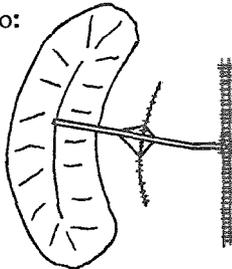


Figura # 7

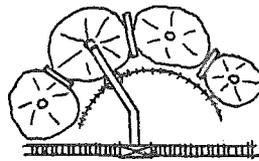


Figura # 8

Existe un método desarrollado conjuntamente con los sistemas de apilamiento llamado "túneles de recuperación", este sistema permite llevar el material desde el almacenamiento en las pilas hasta el lugar de mezclado, dicho método es muy económico por el flujo continuo del material y opera en una amplia variedad de condiciones.

Consta de una compuerta colocada en el fondo de la pila o pilas de almacenamiento, que alimenta a la banda transportadora cubierta, después del área de alimentación, por un túnel.

En la figura 9, se ve el empleo de los túneles de recuperación:

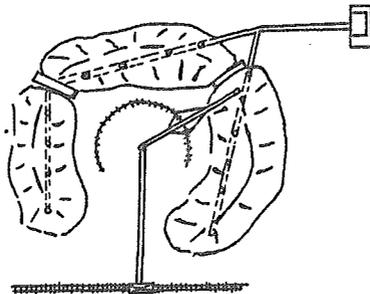


Figura # 9

c) Apilamiento alargado. Este sistema se utiliza para almacenar grandes volúmenes de agregados u otros materiales.

Las pilas pueden ser continuas, con un mismo tipo y tamaño de material o contener varios tipos y tamaños.

En la figura 10, se muestra este sistema:

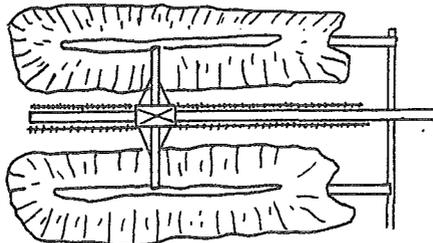


Figura # 10

## CONCLUSIONES

Al terminar el presente trabajo, se ve que, la explotación de bancos de roca a cielo abierto es un área muy especializada donde se requiere también, personal altamente capacitado para explotar este recurso de nuestra tierra y producir material tan básico para las obras de ingeniería, que permitan el desarrollo de nuestro país.

A continuación se dan algunas conclusiones fundamentales para la explotación de bancos de roca a cielo abierto para la obtención de agregados pétreos:

1.- Es necesario hacer un buen estudio del banco de roca para conocer la calidad y las características de los productos que se van a obtener que servirá para seleccionar adecuadamente los equipos necesarios, la extensión del yacimiento, su potencial y sus características geológicas para estar seguros de que no se agotará antes de permitir la amortización de los capitales invertidos.

2.- El material de despilme, se debe llevar a un lugar de desperdicio la más cerca posible del banco pero sin afectar áreas de posible excavación, en caso de ser aprovechable se buscará su mejor utilización.

3.- La actual situación económica de nuestro país, hace difícil la adquisición de máquinas perforadoras y equipo complementario más moderno, limitándonos a utilizar los recursos que se tienen, por lo cual hay que dar-

les el mejor aprovechamiento posible, complementándolo con un buen mantenimiento y operación, actualizando nuestros recursos en cuanto sea posible o cuando un problema en especial lo requiera.

4.- Para efectuar una voladura adecuada, será fundamental que se cuente con el tipo de roca y conocer las características de carga y cebado para que al realizar la voladura se aplique el explosivo adecuado y el cargado de los barrenos se haga correctamente.

Para el cálculo de la carga de los barrenos, en México se utilizan fórmulas prácticas deducidas del método sueco con las cuales se obtienen buenos resultados.

5.- Es importante adiestrar al personal que maneja explosivos en cuanto al cargado de los barrenos y precauciones de manejo y almacenamiento, para aumentar el rendimiento y evitar accidentes.

6.- Al seleccionar el equipo para el movimiento de la roca, es indispensable lograr un adecuado balance entre el equipo de carga y el equipo de acarreo para no tener un incremento en los costos de la producción, ya que la adecuada selección del equipo de producción de agregados, influirá decisivamente en el costo del producto final.

7.- En el caso del tratamiento de la roca, para la producción de agregados, es recomendable utilizar plantas de trituración portátiles donde las trituradoras más empleadas son para la etapa primaria una trituradora de-

quijadas y trituradoras de cono para las etapas secundarias y terciarias .

8.- El almacenamiento más adecuado y económico en la producción de agregados es el que se hace sobre el terreno, en pilas de almacenamiento del tipo cónico y radial .

No son estos los únicos casos que hay que considerar en la explotación de bancos de roca, pero que servirán para tratar de realizar una explotación más efectiva, de esta materia prima, con la mejor utilización de los recursos humanos que se tienen .

## BIBLIOGRAFIA

1. - Revista: Stockpiling and Reclaiming, Techniques, Barber-Green Company 1966, 27 p.
2. - Rico Alfonso y Hermilo del Castillo: La Ingeniería de Suelos en las Vías - Terrestres. Tomo I, Ed. Limusa, México. 1982, 459 p.
3. - Crimmins Robert: Et al. - Trabajos de Construcción en Roca. Ed. Limusa México 1978, 251 p.
4. - Krynine Dimitri P. y William R. Judd: Principios de Geología y Geotécnica para Ingenieros. Trad. José Ma. Ríos. Ed. Omega, S. A. Barcelona. 1961, 829 p.
5. - Longwell Chester R. y Richard F. Flint. Geología Física. Trad. Luis Benavidez García. Ed. Limusa, México, 5a. Ed. 1981, 545 p.
6. - Du Pont: Manual para el uso de Explosivos. Trad. Sergio Vargas Romero - Ed. CECSA, México 1973, 606 p.
7. - Ricci F. Chacón: Explosivos y Voladuras. Instituto Técnico de Ingeniería - A.C., México, 1982, 158 p.
8. - Langefors V. y B. Kihlstrom: Técnicas Modernas de de Voladuras de Rocas Trad. Hurdobro J. J. Et al Ed. Urmo, S. A. España 1976, 425 p.
9. - Costes Jean: Equipos de Extracción y de Preparación de Minerales. Trad. - José Ma. Palomar Llovet, Ed. ETASA Barcelona 1970, 254 p.
10. - Nichols H. L.: Movimiento de tierras. Trad. F. Romero Ferrer, Et al. -- Ed. CECSA, México 1981, 1111 p.
11. - S.C.T. ( Secretaría de Comunicaciones y Transportes ). Normas de Construcción.
12. - S.R.H. ( Secretaría de Recursos Hidráulicos ). Manual sobre el Cálculo de Precios Unitarios de Trabajos de Construcción. Tomo III y IV. - México, D. F. 1963.
13. - Benitez P. L. Esparza: Tecnicas Modernas de Producción de Agregados. - U.N.A.M. Facultad de Ingeniería. Apuntes de Construcción. - México, D. F. 1981, 111 p.

14. - Revista: Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, A. C. ( IMCYC).  
Números 149 y 152, México, D. F. 1983.
15. - Catálogo: Mining and Construcción Equipment. Chicago Pneumatic Tool-  
Co. E. U. A.
16. - Cambefort Henri: Perforaciones y sondeos. Trad. Angel Rodríguez Paradi  
nas. Ed. Omega, S. A. 3a. ed. Barcelona, 1975, 434 p.