

44



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO DE VOLADURAS EN
MACIZOS ROCOSOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
JOSE LUIS HERNANDEZ GOMEZ



282948

MEXICO, D.F.

OCTUBRE DEL 2000



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-163/96

Señor
JOSE LUIS HERNANDEZ GOMEZ
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M. I. HUGO SERGIO HAAZ MORA**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

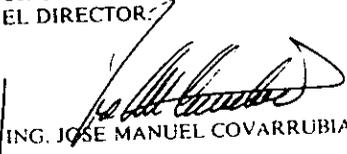
"DISEÑO DE VOLADURAS EN MACIZOS ROCOSOS"

- INTRODUCCION
- I. ASPECTOS GENERALES
- II. MANEJO Y USO DE EXPLOSIVOS
- III. ACCESORIOS Y EQUIPO PARA VOLADURAS
- IV. DISEÑO DE VOLADURAS
- V. CONSIDERACIONES Y CUIDADOS AMBIENTALES
- VI. CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS ACTUALES
- VII. CONCLUSIONES
- ANEXOS
- BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 27 de noviembre de 1996
EL DIRECTOR:


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS

JMCS/GMP*Imf

*A mis padres:
por darme la vida, su apoyo y guiarme
siempre por el buen camino.
Siempre los Amaré.*

*A mis hermanas:
compañeras siempre fieles
y cómplices incondicionales.*

*A Ruth y Mariana:
por ser mi fin y mi motivo.
Las Amo.*

*A mis Amigos:
por estar siempre conmigo
en el momento y lugar indicado.
Gracias por Siempre.*

INDICE

INTRODUCCION	1
I. ASPECTOS GENERALES	2
I.1 Definición de explosivo	2
I.2 Historia de los explosivos	2
I.3 Normatividad	6
I.4 Tipos y clases de explosivos	7
Clases de explosivos	7
Tipos de explosivos	8
Dinamita	8
Hidrogeles	9
Emulsiones	9
Slurries "Hidrogeles de nueva generación"	9
Agentes explosivos	10
AN/FO	10
Altos explosivos	11
Hidrogel	11
Emulsiones	11
I.5 Tipos de voladura	12

I.6 Características y propiedades de los explosivos	12
a) Densidad o gravedad específica	12
b) Velocidad de detonación	13
c) Presión de detonación	13
d) Presión de explosión	13
e) Balance de oxígeno	13
f) Energía y Potencia	13
g) Sensibilidad	14
h) Diámetro crítico	14
i) Sensitividad	14
j) Gases	14
k) Estabilidad	14
l) Resistencia al agua	14
m) Flamabilidad	14
n) Eficiencia	15
o) Compresión	15
II. MANEJO Y USO DE EXPLOSIVOS	16
II.1 Transportación	16
Medidas de seguridad para el transporte de explosivos	16
II.2 Almacenamiento	17
Polvorines	17
Capacidad	17
Producto almacenado	17
Construcción	18

Puertas	18
Techos	18
Farallón	18
Iluminación	18
II.3 Aplicaciones	19
Agente explosivo AN/FO	19
Alto explosivo: Hidrogel	19
Alto explosivo: Emulsiones sensitivas	20
II.4 Destrucción	20
III. ACCESORIOS Y EQUIPO PARA VOLADURAS	22
III.1 Equipo de prueba y medición	22
Galvanómetro de pruebas	22
Volthiómetro para voladuras	22
Reóstato	22
III.2 Perforadoras	22
Perforadoras neumáticas de mano	22
Perforadoras pesadas	23
Perforadoras sin barrenas	23
Perforadoras giratorias	25
Perforadoras de carretilla	25
Perforadoras gemelas	26
Perforadora ligera de orugas	26

Perforadoras portátiles de torre	27
III.3 Brocas y barrenas	28
Barrenas	28
Brocas	29
IV. DISEÑO DE VOLADURAS	30
IV.1 A cielo abierto	30
Bancos de roca	30
1. Tipo de roca	30
2. Tipo de explosivo	31
3. Factor de carga	31
4. Geología estructural	31
5. Barrenación	32
6. Distribución de los explosivos en el barreno	35
7. Relación de explosivos	36
8. Parámetros de voladura	36
9. Taco	36
10. Retardos de voladuras	37
Cálculo y diseño de voladuras a cielo abierto	42
Ejemplo 1	42
Voladuras de zanjeo	47
Ejemplo 2	47
IV.2 Subterráneas	52
Cuña mecánica	53

Plantillas de barrenación	53
Influencia de los intervalos de retardo	54
Diseño de plantillas de barrenación	54
A) Selección de la cuña	54
B) Cálculo del área	55
Túneles	57
Análisis comparativo de excavación de un túnel	58
Alto explosivo - Emulsión	58
Alto explosivo - Emulsión y AN/FO	58
Conclusiones	59
Ejemplo de diseño de una plantilla de barrenación para un túnel llevado por etapas; Etapa I	60
1. Sección de cuña	61
2. Área de la 1/2 sección	61
3. Volumen y tunelaje de la roca a excavar	61
4. Explosivo total por barreno considerando un taco de 0.50 m.	61
5. Cálculo de explosivo utilizado por voladura	62
6. Número de barrenos por voladura	62
7. Ubicación de los barrenos	62
Cálculo de la etapa II	62
Grafica Etapa I	65
Gráfica Etapa II	66
IV.3 Bajo Agua	67
Métodos de barrenación y voladura	67
1. Barrenación y voladura sobre roca	67

2. Barrenación y voladura sobre plataforma	68
Barrenación	69
Carga de explosivos	69
3. Barrenación y voladura con buzos	69
4. Voladuras con <i>Concussion Charges</i>	70
Explosivos	71
Sistemas de iniciación	72
Vibraciones y ondas de choque en el agua	72
IV.4 Sistemas a granel	73
Sistema a granel por bombeo	74
Sistema a granel por gravedad	74
Características de las mezclas	74
Equipo utilizado en sistemas a granel	75
Características del camión mezclador Sistema a Granel	76
Panel de control	76
Transportador de gusano	76
Tolvas de almacenamiento	76
Bomba de Slurry	77
Manguera en carrete	77
V. CONSIDERACIONES Y CUIDADOS AMBIENTALES	78
V.1 Golpe de aire	78

V.2 Vibraciones	80
Monitoreo en campo alejado a la voladura	80
Monitoreo en campo cercano a la voladura	81
V.3 Ruido	82
V.4 Gases y emanaciones a la atmósfera	84
En voladuras confinadas	84
En voladura a cielo urbano	84
V.5 Impacto social y ecológico de una voladura	84
VI. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS ACTUALES	87
VI.1 Ventajas	87
VI.2 Desventajas	88
VI.3 Costos de operación	89
VI.4 Futuro inmediato	93
VII. CONCLUSIONES	95
ANEXOS	
BIBLIOGRAFÍA	

INTRODUCCION

El uso de los explosivos en nuestro país, obtiene importancia en las operaciones mineras desde la época colonial con la extracción de minerales; primero se explotaron las porciones superficiales en tajos, zanjas o pequeños túneles, la profundidad aprovechable estaba limitada por las condiciones de la roca y por lo rudimentario de los equipos y herramientas disponibles en esa época; posteriormente con la introducción de los explosivos se realizaron excavaciones mas profundas, en rocas duras y resistentes, para extraer de la tierra su riqueza, con este método la producción extractiva se incrementó y se fueron acumulando conocimientos empíricos sobre la explotación de las masas de roca y sobre el comportamiento de la roca ante la energía liberada con la acción de los explosivos.

Con la modernización de México y los avances tecnológicos se incrementó la utilización los explosivos, extendiéndose su aplicación a otras actividades, como excavación de taludes, túneles para ferrocarril o carreteras, así como para conducción de agua, excavación de socavones, galerías, túneles y cavernas de centrales hidroeléctricas, en ocasiones se aplican en las proximidades de otras obras, como en la demolición de edificios, o bien debajo de ellas cuando se construyen túneles de conducción o acceso en zonas urbanas. La utilización de los explosivos en la construcción de obras requiere cada vez mas de un riguroso control de calidad, experiencia y aplicación de las técnicas mas modernas en voladuras con el objetivo de garantizar la seguridad de quienes trabajan o transitan dentro de ellas.

Los costos de dichos procesos, la legislación, los trámites burocráticos, así como las diferentes variantes en técnicas actuales, son algunas de las principales características que este trabajo ofrece.

Finalmente, este trabajo pretende dar a conocer de manera rápida y práctica, los diferentes aspectos del diseño de voladuras particularmente en masas rocosas, siendo así un instrumento actual de apoyo didáctico-práctico.

I ASPECTOS GENERALES

1.1 Definición de explosivo.

Un explosivo se puede definir como una mezcla de sólidos y líquidos que al ser iniciados dan como resultado una ignición violenta (explosión) que genera un gran volumen de gases.

Todos los explosivos tienen características individuales, cada una de ellas es muy importante y requiere ser evaluada para determinar el potencial de un explosivo de acuerdo a su naturaleza y destino.

1.2 Historia de los Explosivos.

Los explosivos que comunmente se utilizan en operaciones comerciales de voladura son , con algunas excepciones , mezcla de sólidos, o de sólidos y líquidos, que son capaces de una descomposición rápida y violenta, dando como resultado una conversión a grandes volúmenes de gas. La descomposición de un "alto" explosivo, tal como la dinamita, se efectúa con gran rapidez, en tanto que en el caso de un "bajo" explosivo, tal como la pólvora negra, se verifica mucho más lentamente la acción, simulando una combustión o quemado rápido. Los altos explosivos se denominan explosivos "detonantes" , en tanto que los bajos explosivos se denominan explosivos "deflagrantes".

A partir de un comienzo extremadamente difícil, ha existido una evolución gradual en las características de estos explosivos y en los métodos para utilizarlos. En la actualidad, existen explosivos diseñados especial y cuidadosamente hechos para dar servicio en alguna fase de toda la industria moderna, y estos explosivos pueden aplicarse con seguridad y habilidad para alcanzar un fin constructivo.

A continuación se dará una breve historia de su progreso hasta este siglo XX.

Tal vez nunca se conozca al inventor de la pólvora. Su primer uso es atribuido a los chinos, los hindúes y los árabes. Sin embargo,

los escritos de Roger Bacon, en Inglaterra, durante el siglo XIII , contienen instrucciones para la preparación de la pólvora negra.

Durante tres siglos después de Bacon, se dejó sin explorar la capacidad de la pólvora negra para efectuar trabajo útil. Se utilizó en armas de fuego, pero fué hasta el siglo XVII que se utilizó en la minería. Martin Weigel, o Weigold, la propuso para su uso en la minería, en Sajonia en 1613, pero aparentemente no se tomó ninguna decisión. Existen datos claros, sin embargo, de que un tirolés, llamado Kaspar Weindl, hizo un disparo en las Reales Minas de Schemnitz, localizadas en Ober-Biberstollen, en Hungría, en febrero de 1627. Ya en 1689, se utilizaba pólvora negra en los trabajos de minería en Cornwall, Inglaterra.

Los americanos de los días de la colonia dependían mucho de la fauna silvestre para su alimentación, y la elaboración de la pólvora negra en el Nuevo Mundo se emprendió rápidamente. Se construyó un molino para pólvora en Milton Massachusetts alrededor de seis millas a las afueras de Boston, en 1675. El señor Edward Randolph escribió en 1676, que los colonizadores estaban fabricando una pólvora "tan buena y tan potente como la mejor pólvora inglesa" en Dorchenstein.

Inglaterra consideró que sus colonias americanas debían limitarse a proveer solo de materias primas a las fábricas de la madre patria y a comprar artículos terminados en esas mismas fábricas. Se desalentaron las fabricas americanas, las cuales podían hacer la competencia a las inglesas. Esta ere la situación sobre el desarrollo de los recursos naturales en el Nuevo Mundo. Sin embargo, la pólvora negra pudo haberse utilizádo en las minas de cobre de Simsbury, Connecticut poco tiempo después de su descubrimiento en 1705. Los archivos de la ciudad de Simsbury no hacen mención de la pólvora para voladura pero los ingenieros y mineros alemanes trabajaron allí entre 1712 y 1739, y, sin duda alguna, los alemanes estaban familiarizados con el uso de la pólvora para voladuras.

En la sesión de verano de la Asamblea General de la Colonia de Connecticut en 1773, se nombró un comité para que explorase las posibilidades de obtener la posesión de la mina de cobre de Simsbury para convertirla en una prisión. El comité reportó en octubre que había comprado los diecinueve años restantes de la renta de la propiedad

por 60 libras, y que mediante la voladura de alguna rocas se había "preparado una habitación, bien terminada, aproximadamente de 15 por 12 pies", en las cavernas, se había asegurado el tiro occidental de la mina mediante una gran puerta. Esto se conoció como la prisión de Newgate. Se usó no solamente para confinar a los criminales de Connecticut, sino también a muchos leales de las otras colonias durante la Revolución. Esta es la primera referencia real sobre voladuras en los E. U. y América.

En el siglo XVIII y la primera mitad del siglo XIX vieron el descubrimiento de varios otros explosivos, pero la pólvora negra fué la única que subsistió en usos generales. se producía en E.U. cada vez en cantidades mayores a medida que se terminaba el siglo XIX . De 1790 a 1850 se excavaron alrededor de treinta canales, los mas impresionantes fueron los de Erie, Chesapeake y Ohio. También un número similar de ferrocarriles estuvo en construcción de 1830 a 1850; siendo el más importante de éstos el de Baltimore y Ohio entre Baltimore y Wheeling, vía Harpers Ferry.

Antes de 1730, se descubrió carbón bituminoso cerca de Richmond, Virginia, y se empezó el minado comercial de la antracita en Pennsylvania en 1820. La explotación del carbón estaba destinada a convertirse en la industria de mayor consumo de explosivos en E.U. Entre 1810 y 1860, la producción de mineral de fierro creció de 54,00 a 800,000 toneladas, lo que necesito la explotación usando explosivos, de mayores cantidades de carbón, caliza y fierro. Como consecuencia de ésta y otras actividades, los E.U. producían alrededor de 25,00,000 de libras de pólvora para voladuras por año de 1860.

William Bickford dió en Inglaterra una notable contribución con la invención de la mecha de seguridad y el establecimiento de una fabrica en Cornwall, Inglaterra, para dar servicio a las minas de estaño de la región. En 1836, Bacon , superintendente de la mina de Copper Hill en Simsbury, importó algo de la mecha de Bickford y después se asoció con éste y su mecha inglesa para formar la compañía llamada "Bacon, Biford, Eales & Co." que después se convertiría en "Toy, Bickford & Co."

En 1802, Eleuthere Irénée du Pont de Nemours comenzó la fabricación comercial de pólvora negra cerca de Wilmington,

Delaware. En aquel tiempo la formula era casi igual a la que se había utilizado hacia 120 años: aproximadamente 75% de nitrato de potasio, 15% de carbón y 10% de azufre. La producción continuó en los molinos de Brandywine hasta 1921, cuando se abandonó el lugar debido al crecimiento de la ciudad de Wilmington.

En 1857, Lammot du Pont introdujo una mejora de gran importancia técnica y económica. En lugar del muy costoso nitrato de potasio, introdujo el nitrato de sodio chileno que era mucho mas barato. La nueva formula Du Pont rápidamente reemplazó a la pólvora de nitrato de potasio en casi todos los usos con algunas excepciones. Este invento contribuyó al incremento de consumo de pólvora negra hasta llegar a 98 millones de libras en el año de 1900.

Aproximadamente al mismo tiempo que Lammot du Pont mejoraba la fórmula de pólvora negra en los E.U., Alfred Nobel y su padre, Jmmanuel, estaban tratando en Suecia de encontrar una aplicación técnica a las propiedades explosivas de la nitroglicerina. Sobero quien la descubrió en 1846, la había abandonado. En el curso de sus experimentos, Nobel diseñó el primer fulminante razonablemente seguro y eficiente, una cápsula de estaño (posteriormente cobre) llena con fulminato de mercurio.

En 1866, Alfred Nobel mezcló la nitroglicerina con un absorbente para formar una sustancia sólida sensible a la acción de un fulminante pero relativamente insensible a un golpe ordinario. El absorbente que utilizó era kieseguhr, y este explosivo sólido fué la dinamita.

Alrededor del 25% de la dinamita de Nobel era porosa y que no tomaba parte de la explosión. Aproximadamente en 1870, James Howden, un químico de San Francisco, formuló otra mezcla de 75% de nitroglicerina, absorbida en azúcar, carbonato de magnesio, y nitrato de potasio. Ese fue un explosivo mejor y mas potente. La primer gran obra en que se utilizó la dinamita con éxito fue durante la perforación del túnel de Musconnetcong.

En 1875, Alfred Nobel efectuó otro descubrimiento de gran importancia, cuando disolvió algodón colodión en la nitroglicerina. Esto dió como resultado una masa gelatinosa que era mucho mas poderosa que la dinamita de su invención; ésta es, esencialmente, la actual Blasting Gelatin y la antecesora de todas las dinamitas gelatinas.

I.3 Normatividad.

La normalización de el uso y manejo de explosivos se encuentra regulado por la Secretaria de La Defensa Nacional mediante decreto del 25 de enero de 1972 publicado en el Diario Oficial de la Federación por la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos, misma que fue reformada y aprobada el 21 de diciembre de 1995. **Anexo I.** Esta reforma, (última a la fecha), pretende regular, en forma mas precisa, la expedición de licencias que autoricen el uso de los explosivos ,así como de las armas de fuego y municiones, dando un mayor énfasis a estos últimos.

Dentro de esta Ley se incluyen algunos datos de relevante importancia que a continuación se enuncian.

Los extranjeros quedarán fuera de toda negociación mientras el tipo de operación así lo demande. Esta cláusula, conocida como de "exclusión de extranjeros", es aceptable hasta un 49% en cuanto a inversión de capital se refiere, mientras que el 51% de la inversión restante deberá ser en cualquier caso exclusiva de mexicanos.

Otra condición importante es la que se refiere a la compra y consumo de los explosivos. Esto significa que por lo menos el 95 % de los explosivos adquiridos, previa justificación de la cantidad solicitada, deberá de ser utilizada. Esto es que no se podrá utilizar mas cantidad de la que se requiera para cada trabajo específico, siendo el 5 % el máximo de explosivo no utilizado, mismo\$que deberá de devolverse a la fábrica a la brevedad posible. Estos casos no son los mismos que cuando un explosivo falla al iniciarse y por seguridad se destruye.

La S.D.N. expide permisos a la S.C.T. por unidad de transporte de explosivos, mismos que son entregados a los solicitantes para la transportación de éstos.

La S.D.N. así mismo, podrá llevar a cabo visitas e inspecciones sin previo aviso a las empresas que de alguna manera tengan relación con el uso, fabricación, manejo o transportación de explosivos.

El incurrir en alguno de los puntos antes mencionados sin el permiso correspondiente, será causa de detención y procesamiento conforme a un delito federal.

La S.D.N. hará saber al solicitante los requisitos iniciales para tener relación con los explosivos a través de la Dirección General de Armas de Fuego y Explosivos. **Anexo II.** En dicho documento se enlistan las posibles situaciones que pueda tener la relación Usuario - S.D.N., a partir de este punto le siguen una serie de Certificados a llenar según sea el nivel de relación convenido.

I.4 Tipos y clases de explosivos.

Clases de explosivos

En la actualidad los explosivos se clasifican en tres tipos: químicos, mecánicos y nucleares. Se hará referencia a los primero dado que en ellos radica la gama de explosivos utilizados en las aplicaciones constructivas y mineras, que son el mayor interés de esta tesis.

Como se puede observar en la Figura 1.4, los explosivos químicos se dividen en deflagrantes y detonantes. Los explosivos deflagrantes son aquellos que tienen intervalos de detonación menores a 1000 m/s, como ejemplo tenemos a la pólvora negra, que actualmente se encuentra en desuso.

Los explosivos detonantes son aquellos que tienen una velocidad de descomposición mayor a los 1000 m/s y se dividen en primarios y secundarios. Los primeros son aquellos que pueden detonar por medio de una chispa, flama o impacto y son usados normalmente en los iniciadores; los secundarios requieren de una onda de presión de gran magnitud para iniciar su detonación.

Dentro de los explosivos químicos se encuentran los explosivos tácticos (militares) y los explosivos industriales (comerciales), como es obvio nos referiremos a los explosivos industriales, ya que los tácticos se encuentran restringidos por las Fuerzas Armadas, además, su uso resulta muy costoso comparado con el uso de los industriales.

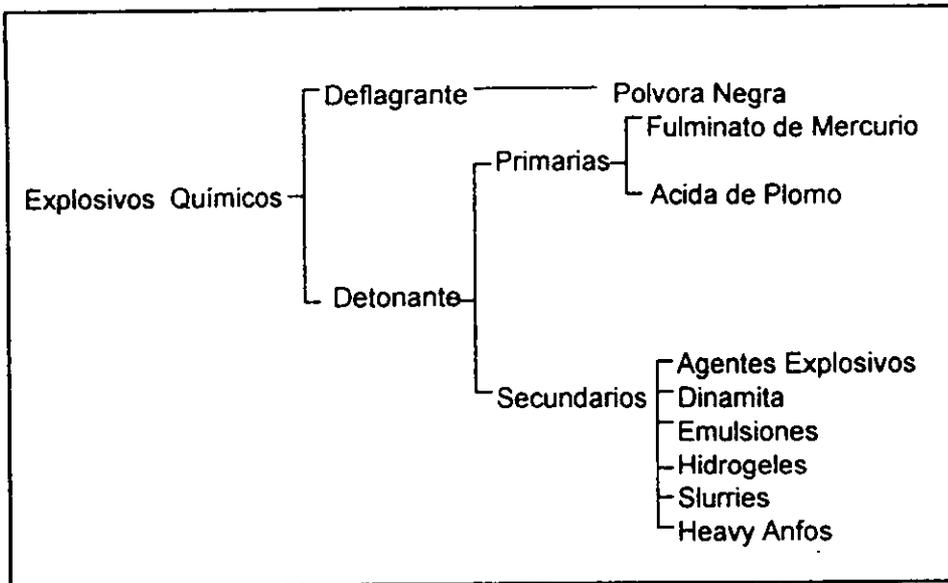


Fig. 1.4
Tipos de explosivos químicos

Tipos de explosivos.

Dinamitas

Es el término genérico que cubre a los explosivos sensibilizados con nitroglicerina, es el tipo mas sensible de los productos comerciales y se dejó de fabricar hace poca mas de 25 años.

Hidrogeles

Un hidrogel es una mezcla de gelatinizador, un sensibilizador explosivo o no explosivo, nitrato de amonio, nitrato de sodio y agua.

Existen en varios diámetros y son el sustituto de las dinamitas en el mundo, ya que realizan el mismo trabajo, sin riesgos y sin las molestias ocasionadas por la nitroglicerina.

Los hidrogeles se empezaron a desarrollar en 1940; sin embargo, no se comercializaron porque los barrenos usados eran en su mayoría inferiores a 10 cm de diámetro. Su verdadero desarrollo empezó de los 50's a la fecha.

Emulsiones

Las emulsiones explosivas constituyen un paso mas en el desarrollo de los hidrogeles. Al igual que los hidrogeles, las emulsiones estan formadas por productos que intrínsecamente no son sustancias explosivas, pero que mezclados adecuadamente y con una iniciación correcta, reaccionan como explosivos de considerable confiabilidad.

Dadas las características de potencia y la sencillez de su fabricación, podrían compararse con un agente explosivo emulsificado resistente al agua y de mayor velocidad de detonación. Salvo que las emulsiones contienen además nitrato de sodio o calcio y un emulsificante (glicerina o parafina) en su mezcla.

"Slurries" Hidrogeles de nueva generación.

Los "slurries" son compuestos que no llevan en su formulación ningún producto que sea de por si explosivo; únicamente, estos productos, reaccionan de forma explosiva en el momento en que se inician con el detonador, cordón detonable o cualquier iniciador.

Todo el conjunto del explosivo va disuelto en una masa acuosa, la cual confiere al producto las características que posee, entre ellas se encuentra su excelente resistencia al agua, excelente resistencia a la presión hidrostática, su gran seguridad en el manejo y transporte, no produce dolores de cabeza, y por último los gases emanados de su detonación no representan peligro alguno para la salud debido a sus ínfimos niveles de toxicidad, dan por resultado un producto superior tanto en energía como en velocidad de detonación.

Los explosivos se dividen en dos tipos a saber:

- A) Agentes explosivos**
- B) Altos explosivos**
 - Hidrogel**
 - Emulsiones**

Agentes explosivos (AN/FO)

El explosivo más utilizado en todas partes del mundo es el AN/FO y México no es la excepción. Si no fuera por la falta de resistencia al agua, el AN/FO acapararía virtualmente el total del mercado de los explosivos.

AN/FO

Es un producto explosivo formado por la mezcla de nitrato de amonio y diesel en una relación de 94.3% de nitrato de amonio y 5.7% de diesel. AN/FO es la abreviación de las siglas en inglés ammonium nitrate and fuel oil.

El uso del AN/FO se ha generalizado debido a su costo y a su alto contenido de energía. Actualmente todos los explosivos que existen en el mercado industrial son comparados contra un AN/FO de características ideales como son una densidad de 0.84 gr/cc y una excelente absorción de diesel.

Altos explosivos (Hidrogel)

Hidrogeles es el término utilizado para denominar a los explosivos a base de agua, conocidos más comunmente como gelatinas.

A diferencia de otros explosivos, éstos contienen en su fase oxidante agua y en su fase combustible ingredientes sólidos suspendidos en una solución. Estas dos fases se ligan con eslabonadores moleculares.

Altos explosivos (emulsiones)

Este es el nuevo concepto en la fabricación de explosivos, es el más reciente producto desarrollado en la tecnología de los explosivos comerciales.

En la introducción de las emulsiones en la minería, sucedió lo contrario a lo acontecido en la introducción de otros productos explosivos, ya que aquellas fueron adoptadas rápidamente, su aceptación mundial se debe a sus características y a su excelente desempeño en el campo.

Las emulsiones tienen numerosas características poco usuales, la interacción íntima de los combustibles-oxidantes produce detonaciones de muy alta velocidad.

Las emulsiones sensitivas se preparan en forma de mezcla de agua en aceite en las que existen dos fases presentes, una fase externa y otra fase interna; esto es análogo a la mezcla de agua y aceite.

Ambas fases están separadas, pero con una agitación adecuada y un emulsificante, un líquido puede ser disperso en otro formando una emulsión.

La fase interna está compuesta de una solución de sales oxidantes suspendidas rodeadas por la fase externa del combustible.

La emulsión está estabilizada contra la separación de líquido por un agente emulsificante. El agente emulsificante actúa como puente entre el oxidante y el combustible, siendo un lado compatible con el oxidante y el otro con el combustible. Y la emulsión así formada es sensitiva por aire.

1.5 Tipos de voladuras.

Dentro de la Ingeniería Civil se tienen dos tipos de voladuras principales a saber, las controladas y las no controladas.

Las primeras se llevan a cabo cuando el resultado que se desea es preponderantemente fundamental, esto es que se busque un talud con un terminado fino en toda su longitud, o bien cuidar de una zona de tráfico, habitacional, reserva ecológica o federal. Dentro de esta clasificación podemos colocar a las voladuras subterráneas, bajo agua y a granel.

Las segundas se pueden entender cuando en el material que desea obtenerse, no es primordial su tamaño o bien forma. En obras de banqueo, fractura o cortes de menor importancia.

En forma poco práctica todas las voladuras son controladas aunque su resultado sea mas o menos fino. El costo de estas operaciones es tan elevado que un mal diseño de las mismas repercute de manera importante en las finanzas de la empresa responsable. Esta por demás decir los tramites que para llegar a esta voladura se debieron haber hecho.

1.6 Características y propiedades de los explosivos.

Los explosivos tienen características individuales que requieren de ser evaluadas para determinar la utilidad potencial de un tipo de explosivo para una aplicación específica. Estas características son las siguientes:

a) Densidad o gravedad específica.

Es el peso por unidad de volumen generalmente expresada en gramos por centímetro cúbico.

b) Velocidad de detonación (VOD).

Es la velocidad a la que la reacción de detonación se extiende a través de una columna de explosivo, ya sea en el cartucho o en el barreno.

c) Presión de detonación.

Se considera como la presión en la zona de choque adelante de la zona de reacción. La presión repentina fragmenta en lugar de desplazar.

d) Presión de explosión.

Esta no debe de confundirse con la presión de detonación. La presión de explosión es la presión que ejercen los gases producto de la explosión inicial. Estos gases pasan a través de las grietas impulsando las rocas.

e) Balance de oxígeno.

Un explosivo con balance de oxígeno adecuado, producirá una concentración mínima de gases nocivos, y ocasionará la liberación máxima de energía.

f) Energía y potencia.

Energía: Es la particularidad del potencial del explosivo para realizar un trabajo. La fuerza del explosivo puede ser expresada en unidades absolutas o comparándolo con la energía del AN/FO, este es el explosivo más utilizado en cualquier parte del mundo.

Potencia: Es el trabajo útil que realiza un explosivo comparado con el que realiza un AN/FO.

g) Sensibilidad.

Es la propiedad de la onda explosiva de propagarse de cartucho a cartucho o de continuarse a través de una columna.

h) Diámetro crítico.

Es el diámetro mínimo al cual un explosivo detona.

i) Sensitividad.

Propiedad que poseen los explosivos para ser detonados por los iniciadores convencionales como: Cordón detonante, fulminante, estopin eléctrico, nonel, etc.

j) Gases.

Cuando un explosivo es detonado, la mayoría de los productos resultantes son vapor de agua o gases. Los principales elementos del total de los vapores o gases son: óxido de carbono, monóxido de carbono, oxígeno, óxidos de nitrógeno e hidrógeno sulfurado.

k) Estabilidad.

Propiedad que poseen los explosivos de conservar sus características físico-químicas en condiciones normales de almacenamiento en un periodo determinado.

l) Resistencia al agua.

Propiedad de los explosivos de mantener sus características físico-químicas sumergidos en agua durante un período determinado.

m) Flamabilidad.

Propiedad de los explosivos de incendiarse por temperatura, fricción, golpe, contacto directo con flama, reacción química, etc.

n) Eficiencia.

Energía que genera un explosivo en el momento de su detonación.

o) Compresión.

Capacidad del explosivo que al detonar genera una fuerza que afectará a los materiales con los que se encuentre en contacto.

II MANEJO Y USO DE EXPLOSIVOS

II.1 Transportación

La transportación de explosivos en México está regulada por la Secretaría de la Defensa Nacional y de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Debido a la alta peligrosidad de los materiales se cuenta con una reglamentación especial para tal efecto.

MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EL TRANSPORTE DE EXPLOSIVOS

a) El transporte de los explosivos se hará en vehículos dotados y destinados especialmente para ello. Estos vehículos llevarán en tiempo de paz, letreros visibles al frente. El sistema de luces será de tal manera que se pueda iluminar toda la unidad de ser necesario.

b) Antes de salir un vehículo con explosivos se revisará perfectamente el motor, ruedas, luces, frenos, suspensión, etc., no debiéndose de realizar el transporte sino en vehículos en perfecto estado. Sobre la marcha se cuidará constantemente el estado del vehículo, efectuando además revisiones menos exigentes durante las detenciones.

c) Se evitará que en el mismo vehículo se transporte explosivos y otros efectos. Cuando sea forzoso hacerlo, se separarán ambas cargas lo suficiente. de cualquier modo nunca se transportarán explosivos, combustibles y materiales inflamables en el mismo vehículo, ni en el mismo convoy. Los detonadores tampoco deberán de transportarse con los explosivos. En caso necesario, los explosivos se llevarán en una caja y los detonadores en un compartimiento especial.

d) Ni en los vehículos, ni en sus cercanías se permitirán que se enciendan fuegos, se fume o se maneje con aparatos que generen chispas o flamas. En los transportes por ferrocarril se colocaran lo mas alejados de la locomotora y se colocarán entre estos otros carros con carga menos peligrosa.

e) Al embarcar los explosivos, se procederá primero con los mas viejos, de modo que al colocarse en el polvorín estos últimos se utilicen primero que los nuevos.

f) Se hace especial hincapié en que el termino " vehículo " es aplicable a las cajas, camiones y trailers.

II.2 Almacenamiento

El almacenamiento está reglamentado por la Ley General de Armas de fuego y Explosivos de la Secretaría de la Defensa Nacional y contiene:

- Requerimientos para almacenamiento. **Anexo III y IV.**
- Permisos para fabricantes y distribuidores. **Anexo V y VI.**
- Permisos a usuarios. **Anexo VII.**
- Certificados de seguridad de consumo. **Anexo VIII.**

Polvorines (lugar)

Deberán de instalarse a una distancia reglamentada por la SEDENA de seguridad de distancia-cantidad (materiales debidamente empacados o envasados). **Anexo IX.**

Capacidad

Será de acuerdo a las necesidades del usuario y a la autorización de la SEDENA.

Producto almacenado

Explosivos compatibles de acuerdo con lo estipulado por la SEDENA. **Anexo X.**

Ejemplo:

- Agente explosivo + Alto explosivo + Cordones detonantes.
- Estopín eléctrico + Fulminantes + Mecha clover + Conectores TH
- + Iniciadores no eléctricos de retardo.

Construcción

Cimentación: De mamposteo (piedra braza). Muros: Tabicón de arena compactada con mezclado pobre de cemento, reforzado lo anterior con castillos a cada 6.00 metros de distancia, de 45 x 45 cms., con alma de 4 varillas de 1" de diámetro. La altura deberá de ser de 2.5 mts.

Puertas

Deberán de ser de madera de 4" de espesor con bastidor de metal (tanto en la base como en todo el contorno de la misma). Deberá de contar también con una cerradura doble de pasador de 10 a 15 cms.

Techos

A dos aguas, altura máxima al centro de 4.00 mts., altura mínima de 2.70 mts., dejando respiradero de 0.20 mts. entre la pared y el techo, el cual deberá de protegerse con algún tipo de malla metálica, para evitar que animales pequeños se introduzcan al polvorín. El material usado anteriormente era asbesto con recubrimiento asfáltico, actualmente se sabe que dicho material produce cáncer si se tiene contacto prolongado con el, por esto el material empleado actualmente es Panel W o Madera.

Farrallón

El polvorín deberá estar enterrado por la corteza de algún cerro, o en su defecto contar con un farallón de 3.00 mts. de altura y 15.00 mts. de largo a terminar a flor de tierra y teniendo entre el frente del farallón y el polvorín 5.00 o 6.00 mts. como mínimo.

Iluminación

Las lámparas deberán de ser de 700 ls/c/u . El espaciamiento de las mismas será de 0.50 mts. a los muros y de 0.40 mts. entre ellas

Además de los datos acentados anteriormente, se enlistan a continuación una serie de puntos a seguir:

Pisos de madera con clavos ocultos.

Contar con: Pico, pala, machete, cubeta (los tres primeros separados uno del otro).

Chapas y Candados antibalas.

Varilla de cobre que aterrice el polvorín.

No yerba al menos a 7.5 mts a la redonda del polvorín.

Pararrayos o apartarrayos en su defecto.

Tambos de 200 lts. uno de agua y otro de arena.

Vigilancia las 24 hrs. del día.

Se recomienda que se construyan polvorines de 60 a 90 m² y con distribución de 400 a 500 kg/m², así mismo construcciones de 11 a 16 m² para resguardo de equipo. **Anexo XI.**

II.3 Aplicaciones

A continuación enunciaremos los usos mas frecuentes de los diferentes tipos de explosivos comunes.

Agente explosivo (AN/FO) y Agente explosivo de baja densidad (AN/FO) B.D.

Se utiliza como carga de columna en trabajos a cielo abierto; se utiliza como agente explosivo en trabajos de pasteo y moneo. No utilizarse en barrenos húmedos o con agua.

Hidrogel (Alto explosivo)

Este producto es excelente para usarlo como iniciador de agentes explosivos, o solo en barrenos con agua, en obras de minería subterránea como frentes, cruceros, contrapozos y voladuras de producción. En la Industria de la Construcción se utiliza en la apertura de túneles, zanjas, canales, cortes para carreteras, moneos, precortes, etcétera.

En minería a cielo abierto y canteras; en voladuras de producción y en general en plasteos.

Emulsiones sensitivas (Alto explosivo)

Usado principalmente como carga de fondo en operaciones de tajo abierto, canteras, en obra de construcción, en zanjas, cortes para carreteras, etcétera.

Su uso se ha extendido a aplicaciones en minería subterránea.

Una aplicación importante ha sido, sin duda alguna, en plasteos, debido a su gran poder de detonación.

II.4 Destrucción

La tarea de destrucción de los explosivos es tan delicada como cualquier otra, para esto es muy conveniente asesorarse con el fabricante.

Muy frecuentemente los explosivos no detonado y dependiendo de su tipo, son utilizados para moneo menor y en algunos otros caso quemados. En el caso particular del AN/FO que carece de resistencia al agua, resulta fácil degradarlo y hacerle perder sus propiedades, a la vez que requiere de un iniciador para detonar dando mas seguridad a la operación y operador.

Por lo general los explosivos duran del orden de 6 meses a partir de la fecha de adquisición, en algunos casos estos tienen defectos ya sea en empaque por caja o individual, es entonces cuando el usuario deberá devolver el o las piezas dañadas a el fabricante para una reparación de las mismos.

Para evitar la caducidad de la piezas se recomienda utilizar los mas antiguos y dejar en la parte posterior del polvorín los que sean de mas reciente adquisición.

El proceso de destrucción por si solo implica un riesgo grave de manejo, puesto que el explosivo mientras se encuentre en su empaque, seguirá siendo el mismo, es por esto que no se debe de

olvidar nunca que se está manejando un elemento muy peligroso que puede causar lesiones de consecuencias fatales, además de resultar incosteable para ambas partes tanto fabricante como consumidor esta operación.

III ACCESORIOS Y EQUIPO PARA VOLADURAS

III.1 Equipo de pruebas y medición

Galvanómetro de pruebas

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

Voltiómetro para voladuras

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

Reóstato

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

III.2 Perforadoras

Perforadoras neumáticas de mano

Las perforadoras de roca neumáticas que se usan para excavación son generalmente máquinas que golpean y hacen girar una barrena de acero con una broca. Las mas ligeras hasta de 30 kg. Siempre se operan con la mano, pero pueden estar montadas en guías equipadas con mecanismos de alimentación manuales o mecánicos. Los mas pesados generalmente van montados sobre guías y son de alimentación mecánica.

A las perforadoras de roca de mano se les llama pistolas o martillos. Se operan con aire, y excepto las tipo mas pequeño que se llaman barrenos de centrado, hacen girar y golpean una barrena hueca de acero que lleva una broca. Su peso varía de 15 a 70 kg. Los golpes astillan, rebanan o trituran la roca, la rotación presenta superficies nuevas de ataque y el aire del escape y el que se aplica directamente para soplar a través de la barrena saca el polvo y los pedazos de roca.

Perforadoras pesadas

Perforadoras montadas. Las perforadoras de aire que pesan 34 kg. o mas, generalmente se montan en soportes y estan provistos de mecanismos de alimentación automáticos.

Estas unidades se clasifican generalmente por el diámetro del cilindro en vez de por peso. Los tamaños ordinarios son de 2 5/8, 2 3/4, 3, 3 1/2, 4, 4 1/2, y 5 1/4 pulgadas, de diámetro en el cilindro, el modelo ordinario de P&G puede pesar 130 lb. y hasta 175 lb.

Estas perforadoras pueden llevar mecanismos para hacerlas girar en un sentido en dos o neutro. Cuando se usan barrenas acopladas, la barrenación se hace con la rotación ordinaria, la rosca se afloja con unos cuantos golpes en neutral, la conexión se destornilla sosteniendo la parte inferior y haciendo girar en reversa la anterior.

Perforadoras sin barrenas

Las perforadoras sin barrenes son unidades neumáticas sencillas en las que el golpe del pistón se aplica contra el vástago de la broca, sin alguna varilla o broca intermedia.

La perforadora es muy delgada en relación a su peso y resistencia. No tiene mecanismos especiales para hacer girar la broca. El aire se escapa por la broca y expulsa los fragmentos a la superficie al rededor de la varilla.

El diámetro de los pistones de los martillos varía de 2 1/2 a 5 in. y los pesos de 13 a 175 lb. Las carreras pueden ser cortas como de

7/8 in., o tan largas como 5 in. La frecuencia de los golpes por minuto varía desde 500 hasta 20700 en las unidades ordinarias y hasta 3800 en los modelos de alta presión.

El límite teórico de la frecuencia de las carreras es aproximadamente de 6000/minuto. La lubricación se efectúa con aceite especial para perforadoras que se mezcla con el aire del compresor.

La barra de la perforadora que va arriba de ella conduce al aire, la mantiene en contacto con la roca a la presión correcta y la hace girar. La rotación que normalmente es de 15 a 25 r.p.m., se obtiene por medio de un motor hidráulico o neumático que tiene posición en la instalación que es la que ocuparía la perforadora. Se sujeta a la perforadora una broca con filos de carburo por medio de un retén de aro partido y una tuerca. Para quitar la broca, se afloja la tuerca por medio de una herramienta hidráulica, y luego se destornilla por medio del mecanismo que reduce la rotación.

Las perforadoras se hacen para trabajar a la presión ordinaria de la maquinaria de construcción de 100 lb/in². Los modelos para alta presión pueden funcionar de 250 a 500 lb. Existe la tendencia de aumentar las presiones para obtener una mayor eficiencia.

La perforadora sin barrena es muy eficaz para hacer barrenos de 4 a 9 in. de diámetro en rocas de dureza alta y media. Ya que ninguna porción de la fuerza de golpe se absorbe por la barra (a la que se le llama barra o tubo cuando los barrenos son profundos y grandes), la profundidad a que puede funcionar está limitada solamente por la capacidad de la corriente de aire para expulsar los fragmentos de roca del barreno, y de la capacidad de los cojines giratorios para soportar el peso de una serie de barras.

El empuje o presión hacia abajo con estas perforadoras es mucho menor que el de las giratorias. Rara vez excede de 2500 lb. aun en roca dura.

El aire de escape que sale por la broca debe tener una velocidad de 3000 ft/min. para limpiar el agujero. Para barrenación rápida con fragmentos grandes de roca se requieren del orden de 5000 ft/min.

Cuando el barreno es grande en relación con el diámetro de la barra, la velocidad del aire baja porque el área del agujero es muy grande. Se puede aumentar la velocidad usando un compresor auxiliar, disminuyendo el tamaño de la broca o usando brocas de mayor diámetro.

Perforadoras giratorias

Este tipo de perforadoras está formado por un mecanismo alimentador, con una cabeza o plataforma giratoria que se coloca sobre el suelo, y de una broca en el fondo del agujero conectadas por una barra hueca que conducen aire comprimido a la broca.

Las brocas son generalmente del tipo de rodillo o de conos triples, con adaptaciones especiales para limpiarse con aire en vez de lodo. La rotación de la broca contra el fondo hace girar los conos, produciendo un desmenuzamiento y una trituración.

En general, los dientes grandes y separados se usan para formaciones blandas, y el tamaño se reduce gradualmente según la dureza del material. Los dientes son de acero, a menudo recubiertos de carburo o tungsteno o alguno otro recubrimiento, excepto en las rocas más duras donde se usan filos de puro carburo de tungsteno.

Perforadoras de carretilla

Esta tiene una perforadora y una guía articulada a una barra en forma de "U", que está a su vez, articulada a un bastidor de tres ruedas que puede remolcarse o arrastrarse a otro sitio. Lleva unas varillas con punta llamadas clavijas, para apoyarlas contra el suelo en las pendientes y durante la barrenación.

La guía puede girar sobre la barra y "U" y ésta se puede subir y bajar, de manera que la cantidad de posiciones es casi ilimitado así como los planos de barrenación.

La guía puede tener también una corredera que permita moverla a lo largo de la de su conexión con la "U", y un pivote que permite una

inclinación lateral limitada que sirve para compensar la inclinación del batidor de los declives.

La rueda trasera unida a un eje vertical, gira libremente y está también unida a una barra de tiro. Las ruedas delanteras mayores, tienen dos posiciones, para trasladar el equipo y en ángulo recto para permitir movimientos laterales precisos para alinear la perforación cuando los barrenos van a quedar muy juntos.

La perforadora tiene una carrera de alimentación en la guía de 8 a 10 Pies por lo que se puede aumentar el tamaño de las barrenas de 6 a 8 Pies en cada cambio.

Los diámetros de las barrenas son comúnmente de 1 1/4 a 1 1/2 Pulgadas.

Perforadoras gemelas

Esta unidad es esencialmente un par de guías de perforadora de carretilla, llevando cada una su propio mecanismo de perforación y de alimentación sujetas a un armazón adaptadas para suspenderla de una pluma de tractor o de grúa. Se utiliza para perforar la roca y hacer cepas para las tuberías. Las barrenas tienen una separación de 3 a 5 Pies. Las cepas más angostas pueden barrenarse sosteniendo el bastidor formando un ángulo con la línea central menor de 90°.

Perforadora ligera de orugas

La perforadora móvil consta de una perforadora pesada de 4 a 1/2 in. una guía o carro, un cono o conexión hidráulica y un brazo en un bastidor transversal entre un par de orugas. Las orugas operan separadamente por motores de aire reversibles que manejan reducciones de engranes.

Las zapatas de la oruga pueden ser de acero con garras, o provistas de zapatas de hule. Su tracción es buena excepto en roca mojada. El control separado de las orugas permite dar vueltas en el mismo sitio y, hacer maniobras con precisión. El operador camina o se para detrás de la máquina.

Una bomba hidráulica movida por aire proporciona la presión del brazo hidráulico y para los controles de guía.

La cantidad de aire depende directamente del tamaño y condiciones de la perforadora, que van desde los 340 hasta los 390 ft³/min. Algunos modelos cuentan con orugas oscilantes otras son rígidas y otras son hidráulicas para evitar las imperfecciones de terreno.

Perforadoras portátiles de torre

Los equipos mayores de perforación tiene una torre, a la que también se le llama mástil o carro, articulada a la base móvil, de tal manera que puede elevarse a las posiciones de operación o bajarse para moverse, por medio de cilindros hidráulicos o un torno de cable. La mayor parte de las perforaciones las ejecutan con la torre en posición vertical, pero muchos modelos pueden trabajar con la torre en posición horizontal o parcialmente levantada.

Las torres se encuentran en la parte posterior del vehículo siendo después la parte frontal del mismo. Estas máquinas son de construcción sencilla permiten colocarse con precisión y toda la máquina puede quedar lejos de los lugares peligrosos.

La máquina se nivel por medio de tres gatos hidráulicos desde la caseta del operador antes de iniciar el trabajo. La barrena se hace girar generalmente desde el extremo superior por medio de un motor ya sea hidráulico o neumático. El mecanismo de alimentación puede ser a través de aire y cadena o un pistón hidráulico de doble acción. La alimentación mantiene la broca en contacto con la roca produciendo la presión adecuada que puede llegar hasta 25 ton. en estas máquinas móviles. El aire que necesitan varía desde 100 hasta 1200 ft³/min. Estas máquinas pueden estar equipadas con perforadoras sin barrenas para perforar agujeros hasta de 9 in. de diámetro y con brocas giratorias de hasta 12 in. de diámetro.

III.3 Brocas y barrenas

Barrenas

Las barrenas huecas para las perforadoras de mano y las montadas se hacen con diámetros de 3/4 a 1/2 o 2 in. Las longitudes ordinarias son de 1 a 20 o 30 ft. pero las mayores se está reemplazando por barrenas seccionales. Su sección transversal puede se hexagonal, octagonal o redonda.

El extremo inferior de la barrena puede forjarse formando una broca, pero esta sistema es cada vez mas raro. Generalmente, el extremo lleva una rosca para la broca. Los filetes de la rosca son gruesos y es rosca izquierda y son diferentes según las marcas de estas.

Los golpes para la barrenación pueden transmitirse a la broca por la roca, o en un talón de la barrena sobre el que se apoya la broca. La rotación normal de la perforadora mantiene la broca apretada cuando está en operación.

La longitud de la rosca es con la aproximación de 1/8 in. igual al diámetro de la barrena.

El enchufe para las brocas desechables o de un uso puede ser una espiga cuadrada o casi redonda en la barrena, que encaja en un agujero de la broca.

Se usan tres tipos de espiga en las barrenas-hexagonales cuadradas con las esquinas biseladas, y redondas, con talones. Las redondas con dos talones se usan principalmente con las perforadoras mas grandes y las barrenas mas gruesas. El diámetro de las espigas, por lo general, es el mismo que el de las barrenas o ligeramente menor.

El collar de la espiga sirve para limitar la penetración de la barrena hacia arriba, en el porta herramientas, e impide que el sujetador permita que se salga la barrena de la perforadora.

Las longitudes de las espigas, de la parte superior del collar al extremo son de 3 y 34 in. en las barrenas pequeñas y de 4 y 4 in para los grandes.

Es importante que estas longitudes no varíen mas de 1/16 in. y que el extremo se mantenga formando un ángulo recto con el eje de la barrena.

Las roscas para la broca y las espigas se deterioran con el uso y requieren reparaciones frecuentes. Existen máquinas para forjar que pueden formarles estos extremos a las barras rectas de acero de barrenación, o repararlas, y también darles la forma de brocas y reconstruirlas. Cada proceso reduce la longitud del acero un poco.

Las barrenas se doblan frecuentemente por mal manejo o accidente o al volar las que se atorán en agujeros. En general, las barrenas delgadas y largas son las que se dañan mas a menudo y mas seriamente. Casi siempre se pueden enderezar en un taller de herrería a un costo menor que el de reemplazo.

El juego de barrenas consiste en barrenas consiste en barrenas de longitud ascendente desde la rompedora que así se llama a la primera, hasta la mas larga que se emplee. Cuando se trabaja con perforadoras de mano el aumento usual de las barrenas sucesivas es de 2 ft. A la diferencia de longitudes entre dos barrenas sucesivas se le conoce como cambio de barrena.

Brocas

Las brocas separables de acero se miden por su calibre que es la longitud de uno de sus filos y el tamaño de la rosca. La mas usual es la que tiene los filos en forma de cruz, en la que los filos se cortan en ángulos rectos, que es la que se adapta al mayor tipo de roca.

IV DISEÑO DE VOLADURAS

IV.1 A Cielo Abierto.

Bancos de roca.

La técnica de voladura de rocas se ha desarrollado enormemente en los últimos años, y de una mera preocupación manual en la que fueron fundamentales la experiencia, la habilidad personal y la intuición, se ha pasado a la creación de una tecnología en la que los conceptos básicos, aunque mas desarrollados, pueden fácilmente transmitirse a los pobladores e ingenieros.

Las canteras y bancos a cielo abierto producen la mayor parte de la roca requerida para la construcción e industrias del país. El término <tajo abierto> generalmente se refiere a una operación de minado de un material específico, que es extraído de una formación donadora, de donde (con excepción de empaques de material ajeno al requerido) se aprovecha la totalidad del producto. Dependiendo de la topografía del área, una cantera se desarrollará como una ladera de montaña o como un tajo.

En donde el área es montañosa y la roca sobresale, la cantera se desarrollará abriendo una cara en uno de los lados de la montaña.

El punto de entrada es generalmente en el fondo del yacimiento. Un punto conveniente se escoge para proporcionar un nivel casi a ras de piso con tan solo el suficiente desnivel para el drenaje natural.

Cuando el terreno es casi plano, es necesario crear rampas hacia abajo, hasta llegar al yacimiento, formando un tajo que estará totalmente por debajo de la superficie del terreno circundante. Es de suma importancia al planear la explotación de un banco de material tomar en cuenta los factores siguientes.

1 Tipo de Roca. El comportamiento de las ondas provocadas por la detonación de un explosivo en un barreno es diferente para cada tipo de roca. La propagación de la onda es mas rápida en la roca dura que en una roca blanda. La composición de la roca tiene gran influencia en la fragmentación de la misma y muchas rocas duras se rompen con mayor facilidad que una roca blanda.

2 Tipo de explosivo. Cada explosivo cuenta con características propias como son: densidad, velocidad de detonación, resistencia al agua, energía disponible, etc. Que son de suma importancia para decidir el material explosivo a elegir.

3 Factor de carga. Se define como la cantidad de explosivo que se requiere para obtener un metro cúbico de roca y se expresa en gr/m^3 . El factor de carga a utilizar varía de acuerdo al tipo de roca, pero aún en casos donde se explota un mismo tipo de roca dicho factor puede cambiar, dependiendo del grado de intemperismo, la geología del yacimiento o la capacidad del equipo de acarreo y trituración con que se cuente. Al inicio de una operación es recomendable utilizar un factor más bien alto, que corresponda al tipo de roca y se deberá de ajustar conforme se observen los resultados, ya que como se mencionó, con anterioridad, un mismo tipo de roca puede responder de manera diferente, aunque dentro de un intervalo determinado.

4 Geología estructural. La geología del material a fragmentar es el factor más importante al determinarse el diseño total de una voladura. Hay muchas teorías que relacionan la velocidad sónica y la dureza de la roca, utilizadas para determinar la cantidad de explosivo requerida para quebrar el material.

Para determinar estos factores es necesario efectuar pruebas de campo. En la mayoría de los casos, los resultados se basan en la suposición que el material a quebrar es homogéneo y los resultados de estas pruebas pueden servir de parámetro para ayudara a determinar la plantilla de barrenación a seleccionar, la cantidad y el tipo de explosivo a utilizar, pero la experiencia es la mejor pauta para determinar el factor adecuado.

Las estructuras geológicas tales como las fisuras, oquedades, fallas y posición de los estratos juegan un factor muy importante en los resultados de una voladura, por lo tanto se deben tomar las precauciones pertinentes para optimizar los resultados.

En rocas fisuradas las voladuras deben ser planeadas cuidadosamente, tomando en cuenta la magnitud de las fisuras, normalmente los patrones de barrenación no deben ser muy amplios y se

deberá usar explosivos de baja velocidad de detonación y de alta producción de gases, como es el caso de los agentes explosivos. Cuando se utilizan diferentes tipos de explosivos conviene señalar que las unidades de energía por unidades de peso se deben considerar para comparar sus efectos. En rocas estratificadas las voladuras deben planearse tomando en cuenta la dirección la estratificación, esto se logra atravesando con la barrenación los planos de contacto de los estratos, para optimizar así el funcionamiento de los explosivos.

5 Barrenación. Dentro de este renglón los factores a considerar son el diámetro, la profundidad, el paralelismo, las plantillas de barrenación y la sub-barrenación.

La selección del diámetro de barrenación está estrechamente ligada al tamaño de la fragmentación requerida, la altura del banco de material y las economías en conjunto, como la inversión inicial y los costos de operación, aunque es común el uso de diámetros entre 6.35 y 8.89 cm para frentes de explotaciones no mayores a 12 m de altura y de 10.13 a 30.48 cm de diámetro para explotaciones mayores y de volúmenes muy grandes de extracción. Para determinar la altura del banco hay que tomar en cuenta el equipo de rezagado disponible, ya que las voladuras deberán contemplar el mayor ahorro posible de trabajo en todos los aspectos, aunque la altura del banco puede determinarse también por el espesor de la formación; sin embargo, dado que la mayoría de las formaciones exceden los límites prácticos de espesor operable, el factor determinante en la selección de la altura de los bancos generalmente está basado en la seguridad.

La estabilidad inherente de la formación es el factor controlante de seguridad en la selección de la altura de los bancos, es decir, que no se debe operar a mayor altura de la permisible por los intervalos de estabilidad del material a explotar.

El paralelismo entre barrenos, así como la simetría del patrón de barrenación, son factores que intervienen en la homogeneidad de la fragmentación de una voladura. Cuando no se tiene en cuenta este factor los resultados no son homogéneos, pudiéndose presentar en algunos lugares como excelentes y en otros menos dentro de la misma voladura, debido a concentraciones diferentes de carga explosiva provocadas por la desviación de los barrenos.

De la plantilla de barrenación depende el buen resultado de una voladura, ya que la distribución de los barrenos dentro del área a volar es fundamental para lograr que la roca se fragmente adecuadamente y la distribución del explosivo en toda la voladura sea el pertinente. Las plantillas de barrenación mas comunes son tres; cuadrada o reticular, rectangular y en tresbolillo.

La plantilla cuadrada tiene igual bordo y espaciamiento y los barrenos en cada fila están directamente alineados detrás de los barrenos de la línea del frente. Fig. IV.1.1

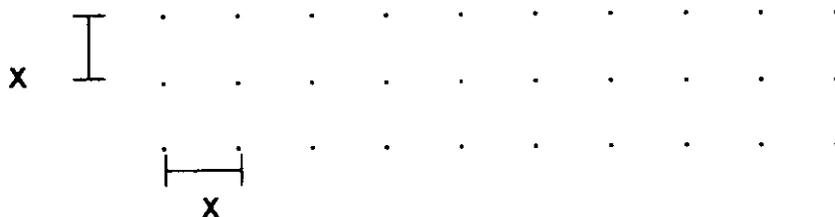


Fig. IV.1.1 Arreglo de plantilla cuadrada.

La plantilla rectangular tiene bordo menor que el espaciamiento. Y como en la cuadrada, también los barrenos están alineados detrás de la línea del frente. Fig. IV.1.2

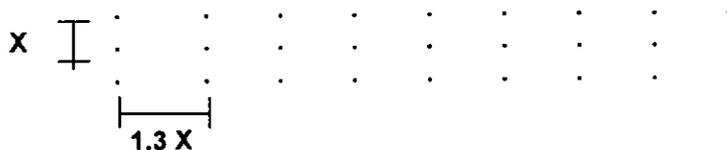


Fig. IV.1.2 Arreglo de la plantilla rectangular.

La plantilla en tresbolillo puede tener la misma distancia de bordo y espaciamiento, pero es mas común encontrar mayor distancia en el espaciamiento que en el bordo; un intervalo confiable de espaciamiento es de 1.3 a 1.5 veces el bordo. Fig IV.1.3

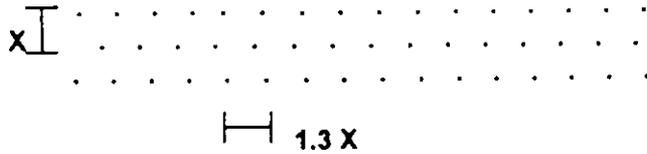


Fig. IV.1.3 Arreglo de la plantilla en tresbolillo.

Sobre la superficie del banco las áreas fracturadas alrededor de los barrenos pueden representarse como círculos. Es lógico asumir, que todos los puntos superficiales deben caer dentro de uno de los círculos para que ocurra una fragmentación efectiva. En la figura IV.1.4 se muestra lo que sucede cuando la plantilla es rectangular y los barrenos están dispuestos uno detrás de otro, la relación borde espaciamento es 1:1.25, comparado con lo que sucede en una plantilla de barrenación con los barrenos dispuestos en tresbolillo.

Este tipo de plantilla produce una mejor distribución del círculo de fracturas, por lo tanto habrá mayor fragmentación en la rezaga utilizando un mismo factor de carga. Teóricamente el punto óptimo se obtiene cuando los barrenos forman un triángulo equilátero.

En este patrón de barrenación reticular se notan las áreas entre los círculos de influencia del explosivo que no se cubren y otras con sobre rompimiento.

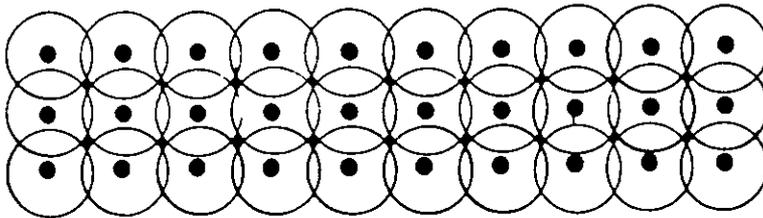


Fig. IV.1.4 Patrón de barrenación reticular.

En el patrón de barrenación de tresbolillo se aprecia una cobertura mas homogénea de la influencia del explosivo. Fig. IV.1.5

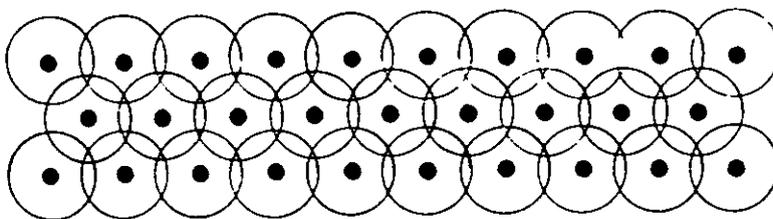


Fig. IV.1.5 Patrón de barrenación en tresbolillo.

Como en lo anteriormente expuesto, la sub-barrenación se determinará de acuerdo a la geología del terreno, la plantilla de barrenación y el número de hileras que se pretendan disparar; esta consiste en darle a la longitud de la barrenación una sobre-longitud que no deberá ser menor a un tercio del bordo y a medida que las hileras se incrementen, se deberá aumentar esta sobre-longitud (comunmente llamada sub-barrenación). Esto es necesario dado que el área reducida para el movimiento de roca opone mayor resistencia conforme a la longitud hacia el borde.

6 Distribución de los explosivos en el barreno. Esta es generalmente el factor mas importante en la fragmentación adecuada del material, está controlado por el diámetro de los barrenos y por la plantilla de barrenación utilizada, sin embargo, la distribución individual del explosivo en el barreno es otro factor importante.

En la mayoría de las formaciones, el fondo de los barrenos presenta mayor resistencia en el movimiento del material a explotar, por lo tanto se utiliza una regla de campo que muchos pobladores o personas encargadas de colocar explosivos conocen, y consiste en diseñar la carga dentro del abrreno de tal forma que la mitad del total del alto explosivo se encuentre localizada en el primer tercio del barreno. Este es tan solo una regla empírica y la distribución del explosivo debe determinarse de acuerdo a las condiciones geológicas y a la dureza del material que se esté explotando.

Debe tomarse en cuenta que la máxima energía deberá localizarse en el fondo del barreno, decreciendo gradualmente a medida que la columna de explosivo se eleve hasta una profundidad preestablecida para el taco.

El cebado adecuado es de vital importancia para obtener una reacción completa del explosivo que se está utilizando, esto es tanto en cantidad como en calidad del producto cebante. Se debe considerar que la presión de detonación del cebo deberá ser superior a la presión de detonación del producto cebado, con el fin de obtener un inicio eficaz.

Los cebos son mas efectivos cuando se colocan de tal manera que la onda de detonación de los iniciadores y de la carga cebo, viajen hacia el explosivo a cebar y en dirección hacia donde se desplazará la onda de detonación.

7 Relación de explosivos. La relación de explosivos se determina de acuerdo a las condiciones del banco como son: geología estructural, humedad, dureza, etc.; pero puede variar en condiciones normales en una relación de alto explosivo-agente explosivo dentro de un intervalo de 30-70 hasta 10-90 de porcentaje en peso. Es decir, que si un barreno el total de explosivo a cargar es de 10 kg. tomando la primera relación, 3 kg. correspondería al alto explosivo y 7 kg. al agente explosivo.

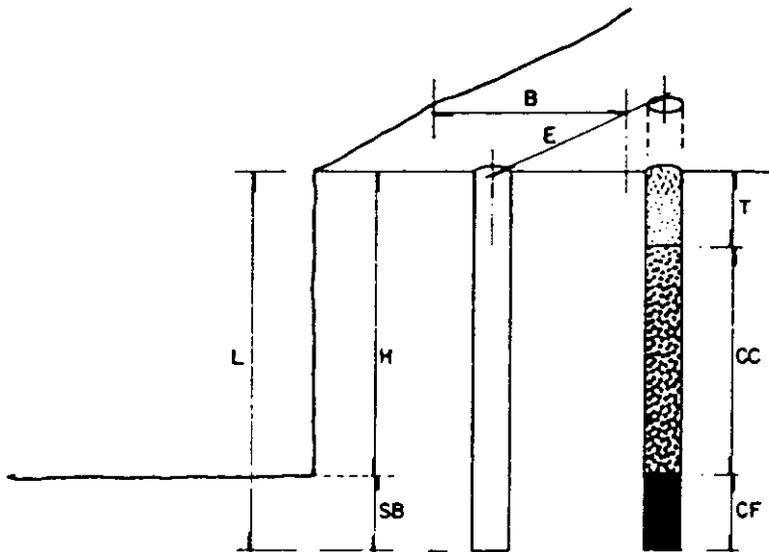
8 Parámetros de voladura. Es importante para adentrarse en el manejo y cálculo de una voladura conocer los parámetros que intervienen en ella. Fig IV.1.6

9 Taco. El taco se define como la longitud que hay entre la terminación de la carga explosiva dentro de un barreno y el borde de este. longitud que está cubierta por material (de preferencia gravilla) con el propósito de evitar el escape de energía y la presión del explosivo al momento de la detonación. La distancia entre la columna de explosivo y la boca del barreno (este tramo relleno con material de atacamiento) es un factor primordial para el control de roca en vuelo.

Podría hasta cierto punto, ser riesgoso sugerir la longitud del taco para determinada longitud de barrenación, este taco se selecciona tomando en cuenta la cantidad de explosivo a utilizar la dureza del material a explotar

y la cantidad de roca en vuelo que pueda tolerarse además de buen juicio y experiencia.

El "taqueo" deberá efectuarse con el mismo cuidado con el que se realiza el cargado de explosivo del barreno, teniéndose especial cuidado para no dañar los dispositivos de iniciación. El posible daño que pudiera causar causarse al sistema de iniciación al intentar retacar de sobremanera el barreno, es demasiado grande para justificar la ligera ventaja que se puede lograr con la compactación.



- B = BORDO (MTS)
- E = ESPACIAMIENTO (MTS)
- L = LONGITUD DEL BARRENO (MTS)
- H = ALTURA DEL BANCO (MTS)
- T = LONGITU DEL TAQUEO (MTS)
- SB = SUB - BARRENACION (MTS)
- CC = CARGA DE COLUMNA (KG)
- CF = CARGA DE FONDO (KG)

Fig. IV.1.6 Parámetros que intervienen en una voladura.

10 Retardos de voladuras. Aunque se cuente con dos vías de desalajo del material en una explotación de tajo (el frente y la parte

superior), la velocidad de la roca al volarse con explosivos es un factor muy importante a considerar. Esto es mas importante en voladuras de varias hileras de barrenos. Para una cantera típica con espaciamientos de 3.00 m. el movimiento inicial en la cara libre ocurre de 10 a 12 milisegundos, esto da como resultado que conforme se detonen las líneas posteriores el vuelo de las rocas, producto de estas líneas, tenderá a la vertical. Fig. IV.1.7

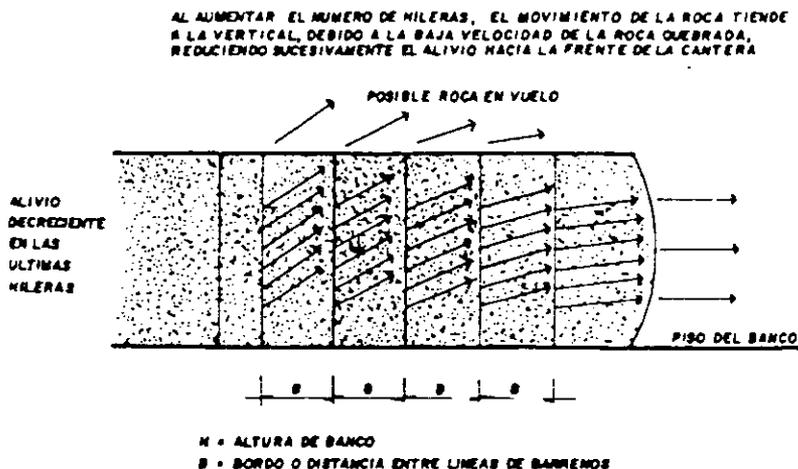


Fig. IV.1.7 Retardos en voladuras.

Al aumentar el número de hileras, el movimiento de la roca tiende a la vertical, debido a la baja velocidad de la roca quebrada, reduciendo sucesivamente el alivio hacia el frente de la cantera.

Dos hileras de barrenos conectados en un sistema troncal de primacord y líneas transversales con retardadores en tres lugares. La primera hilera de barrenos es disparada instantáneamente y la segunda se retarda un periodo. La letra X indica la colocación de los retardadores. La voladura puede iniciarse en cualquiera de los barrenos del frente utilizándose generalmente mecha y fulminante. Fig IV.1.8

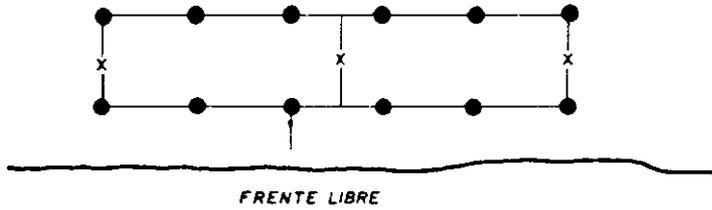


Fig IV.1.8 Comunicación de los retardadores en dos hileras de barrenos conectados en un sistema troncal.

Tres hileras de barrenos conectados por medio de un sistema múltiple de líneas troncales; el barreno del centro en la primera línea troncal disparará instantáneamente y los demás serán retardados progresivamente de acuerdo con los tiempos escogidos, representados en la figura por medio de la letra X, nótese que en esta figura como en la anterior cada barreno tiene dos rutas por donde puede llegar la onda explosiva retardada, para mayor seguridad. Fig. IV.1.9

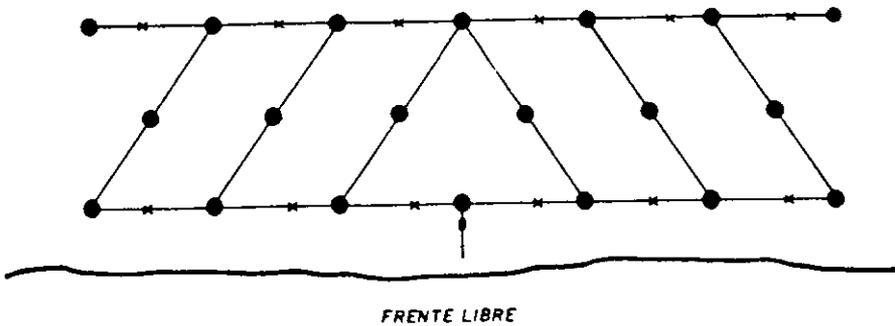


Fig. IV.1.9 Colocación de los retardadores en tres hileras de barrenos conectados en un sistema múltiple.

La utilización de retardos entre línea y línea de barrenos da la oportunidad de provocar el desahogo necesaria y la roca presenta dos ventajas; la primera, se reduce la roca en vuelo hasta niveles mínimos y la segunda, se tiene de la roca al rezagar, ya que con una adecuada distribución de los tiempos, se puede dirigir la voladura de tal manera que se apile hacia el centro del frente de la voladura o en todo el ancho del mismo.

La práctica mas común en la actualidad para el retardo de las voladuras se realiza con conectores retardadores de superficie o reatardos de fondo, mismos que se utilizan conjuntamente con cordón detonante.

En los casos donde se utilizan retardos de superficie, se puede elegir entre usar retardos de un mismo tiempo o combinar dos o mas. Muchos pobladores utilizan un tiempo mas largo en la última línea de barrenos, con el propósito de incrementar el alivio en esta hilera, ya que así se evita el agrietamiento de la nueva cara del banco al momento de la voladura.

La secuencia de tiempos con este tipo de retardos de superficie es prácticamente ilimitada, ya que el retardo es acumulativo de línea a línea. Como ya se mencionó, en su oportunidad, estos retardos se comercializan en tiempos que van desde 9, 17, 25, 35 y 65 milisegundos.

En el caso de los iniciadores no-eléctricos, por sus características, proporcionan resultados impresionantemente buenos, ya que permite retardar cada uno de los barrenos con bastante seguridad y diseñar la voladura para salidas alternativas a la misma, pudiendo superar la limitante de los tiempos disponibles de 0 a 14 con la combinación de conectores de superficie, traduciéndose a una infinita posibilidad de tiempos.

Otra ventaja para el mejor aprovechamiento de los retardos lo representa la forma de amarre del cordón detonante con respecto a los barrenos, y el modo mas usado es el de echelon abierto o cerrado. Las figuras IV.1.10 y IV.1.11 representan dos diferentes aplicaciones.

Para el diseño de los diferentes tipos de voladuras es necesario recurrir a las tablas de valores referidas en el siguiente orden:

Factor de Carga kg/m^3	Anexo XII
Valores típicos de velocidad de las ondas "P" y "S"	Anexo XIII
Carga por metro y pies de barrenación con un explosivo de densidad unitaria 1.0 gr/cm^3	Anexo XIV

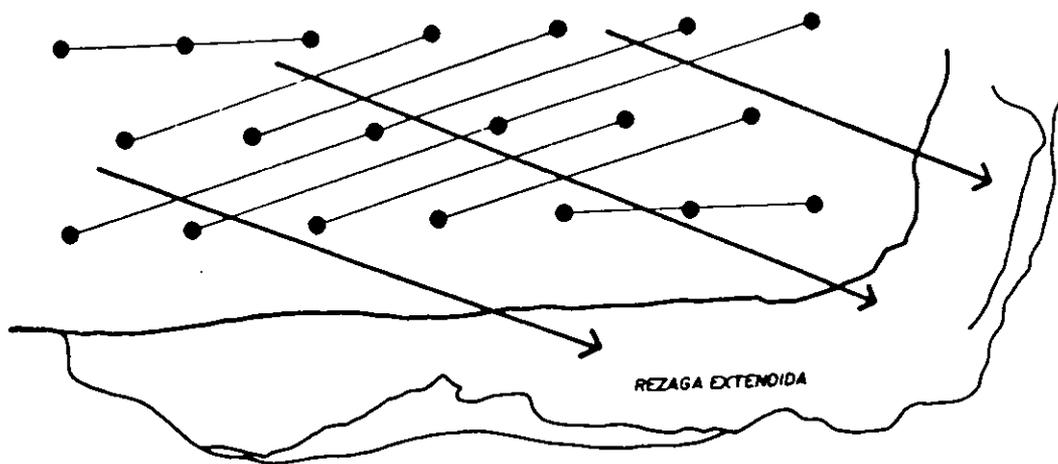


Fig. IV.1.10 Amarre del cordón detonante con el método de echelon abierto.

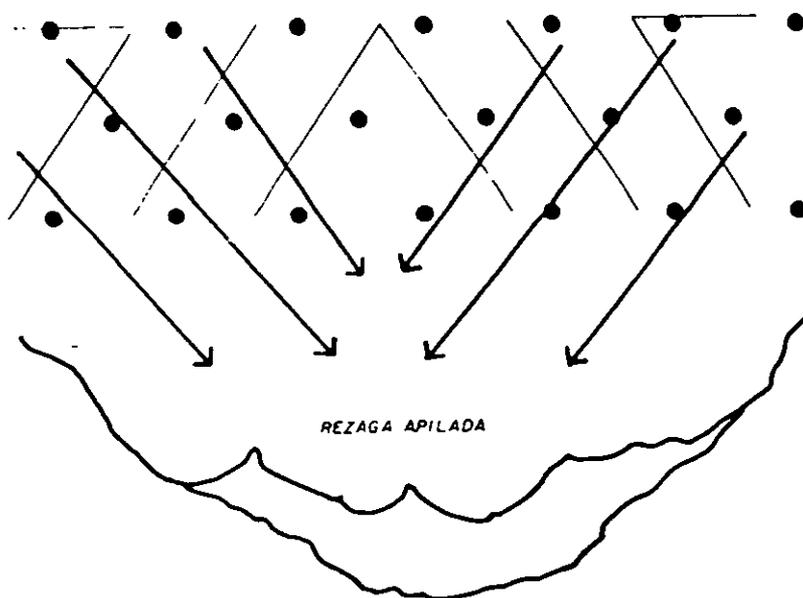


Fig. IV.1.11 Amarre de cordón detonante con el método echelon cerrado.

Cálculo y Diseño de Voladuras a Cielo Abierto

EJEMPLO 1:

Se requiere extraer de una zona 200,000 tons de caliza. Para perforar este material se cuenta con una perforadora que tiene capacidad de perforación de 4" de diámetro. Además se deberán de hacer bancos de 7 mts de altura.

Datos:

Tipo de roca	=	Calizas
Densidad de la roca	=	2.65 g/cc
Factor de carga	=	0.475 kg/m ³
Diámetro de barreno	=	4" = 101 mm
Altura del banco	=	7.0 mts.
Subbarrenación	=	0.90 mts.
Altura del taco	=	1.50 mts.
Densidad de alto explosivo (emulsión)	=	1.18 g/cc (especificación de fábricas)
Densidad de agente explosivo (Anfomex)	=	0.85 g/cc (Especificación de fábrica)

Calcular:

1. Cantidad de explosivo por barreno con una relación 20% emulsión y 80% Anfomex, carga de fondo, carga de columna
2. Calcular el patrón de perforación para plantilla cuadrada y rectangular
3. Metros cúbicos a tumbar
4. Metros de perforación
5. Total de emulsión para tumbar las 200,000 tons
6. Total de Anfomex

Para calcular los kgs de explosivo que requiere cada barreno la carga será distribuida como sigue:

- 20% Alto explosivo (Carga de fondo)
- 80% Agente explosivo (Carga de columna)

Supongamos que vamos a cargar 10 kgs de explosivo en un barreno de 4" de diámetro con la relación de 20% y 80% tenemos que:

La carga por metro lineal en un barreno de 4" es igual a 8.11 kg/m con una densidad de 1.0 gr/cc tabla 8.2.

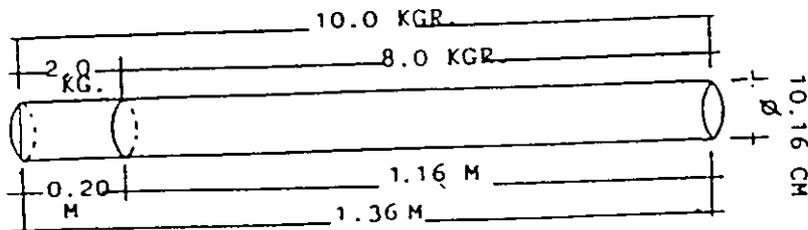
Para densidades diferentes tenemos:

Longitud	$\frac{\text{kg. de explosivo}}{\text{Densidad de expl.} \times \text{kg./mts.}}$
----------	---

Longitud de emulsión	$\frac{2.0 \text{ kg.}}{1.18 \times 8.11} =$.20 mts.
----------------------	--	----------

Longitud de Anfomex	$\frac{8.0 \text{ kgr.}}{.85 \times 8.11} =$	1.16 mts.
---------------------	--	-----------

20% emulsión	=	2.0 kgr. de carga	=	.20 mts.
80% Anfomex	=	8.0 kgr. de carga	=	1.16 mts.
100%	=	10.0 kgr. carga total	=	<u>1.36 mts.</u>



Si tenemos una columna de barreno a llenar de:

Altura a llenar = H. Barreno-H. Taco = 7.90-1.50 = 6.4 mts.

$$\frac{6.4}{1.36} = 4.70 \text{ veces de la Carga Explosiva de 10 kgs}$$

es decir que carga total de explosivo en el barreno

$$C.T. = 4.70 \times 10 = 47.0 \text{ kgs.}$$

de los cuales:

$$\begin{aligned} 47.0 \times 20\% &= 9.41 \text{ kgs.} = .94 \text{ mts. Carga de fondo} \\ 47.0 \times 80\% &= 37.64 \text{ kgs.} = 5.46 \text{ mts. Carga de columna} \end{aligned}$$

Para determinar el patrón de barrenación se identifica el volumen de roca a fragmentar por barreno

$$\begin{aligned} \text{Vol./Barr} &= \frac{\text{explosivo a cargar}}{\text{factor de carga}} \\ \frac{47 \text{ kgr.}}{.475 \text{ kgr/m}} &= \underline{98.94 \text{ m}^3/\text{Barr.}} \end{aligned}$$

Considerando una plantilla cuadrada tenemos que:

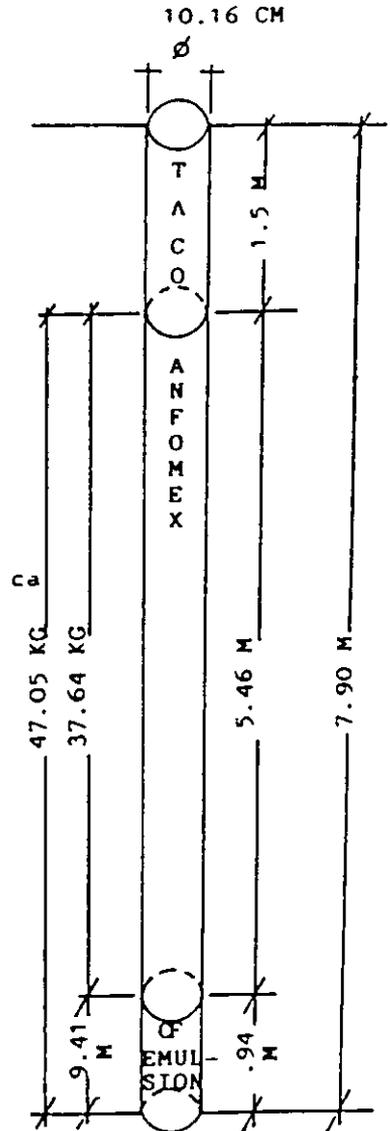
$$V = B \times E \times H \quad \text{como } B = E$$

$$B = \sqrt{\frac{V}{H}} = B = \frac{\sqrt{98.94 \text{ m}^3}}{7.0} = \sqrt{14.13} = 3.75 \text{ mts}$$

$$B = 3.75 \text{ mts}$$

$$E = 3.75 \text{ mts}$$

$$V = 98.94 \text{ mts}^3$$



Para una plantilla rectangular donde la relación bordo espaciamento es de 1: 1.2 tenemos:

$$V = B \times E \times H$$

$$V = B \times 1.2 B \times H$$

$$(B \times 1.2 B) \times H = 98.94 \text{ m}^3$$

$$1.2 B^2 = \frac{VOL}{H} = \frac{98.94}{7} = 14.13 \text{ M}^2$$

tenemos que:

$$B = \sqrt{\frac{VOL}{1.2}} = \sqrt{\frac{14.13}{1.2}} = \sqrt{11.77} = 3.43 \text{ mts}$$

$$E = 1.2 (b) = 1.2 (3.43) = 4.11 \text{ mts.}$$

$$\text{Bordo} = 3.43 \text{ mts.}$$

$$\text{Espaciamento} = 4.11 \text{ mts.}$$

$$\text{Volumen} = B \times E \times H = 3.43 \times 4.11 \times 7 = 98.94 \text{ m}^3$$

Para determinar No. de barrenos_

$$\text{No de barrenos} = \frac{\text{mts.}^3 \text{ a tumbar}}{\text{m}^3/\text{barreno}}$$

$$\text{m}^3 = \frac{\text{tons. a tumbar}}{\text{densidad de roca}} = \frac{200,000 \text{ tons.}}{2.65} = 75,472 \text{ m}^3$$

$$= \frac{75,472 \text{ m}^3}{98.94 \text{ m}^3/\text{barreno}} = \underline{763 \text{ barrenos}}$$

Para determinar los metros que se requieren perforar:

$$= \text{No de barrenos} \times \text{mts por barreno} =$$

$$763 \times 7.90 = \underline{6028 \text{ mts}}$$

Para determinar la cantidad total de explosivo =

No. de barreno x kg por barreno.

$$\text{Emulsión} = 763 \times 9.41 = \underline{7180} \text{ kg. (emulsión)}$$

$$\text{Anfomex} = 763 \times 37.64 = \underline{28719} \text{ kg (Anfomex)}$$

Voladuras de zanjeo:

En la actualidad las obras de zanjeo son utilizadas para la instalación de tubería de drenajes, agua, conducciones eléctricas, etc. Estas en su mayoría se localizan en áreas urbanas en las cuales se tienen construcciones; por tal motivo es de gran importancia tener una atención especial en el cálculo y diseño de las voladuras, ya que se podría provocar daños a las construcciones cercanas.

Para el diseño de una voladura para zanja se requieren los siguientes datos:

1. Tipo de roca
2. Densidad de la roca
3. Diámetro del barreno
4. Densidad del explosivo
5. Longitud de la zanja
6. Profundidad de la zanja
7. Ancho de la zanja

NOTA: Para la apertura de una zanja el método más usual es abriendo un hueco el cual vendrá a formar una segunda cara libre a la que se le conoce como cuña y se pueden aplicar distintos tipos según se requiera (Fig. No. 1).

Ejemplo 2:

Diseño de una voladura de zanja:

Se requiere hacer una zanja con las siguientes dimensiones:

Datos:

Longitud	=	1000 mts.
Ancho	=	1.0 mts.
Profundidad	=	1.5 mts.

Tipo de roca	=	Arenisca consolidada
Densidad de roca	=	2.5 gr/cc
Factor de carga	=	.475 ó .770 kg/m ³ (tabla 7.1, 7.2, 7.3)
Diámetro de barreno	=	32 mm = 1 1/4"
Emulsión	=	1.18 g/cc
Anfomex	=	.85 g/cc
Taco	=	.30 mts.
Subbarrenación	=	0.30 mts.
Relación alto exp./	=	20/80
Agente explosivo		

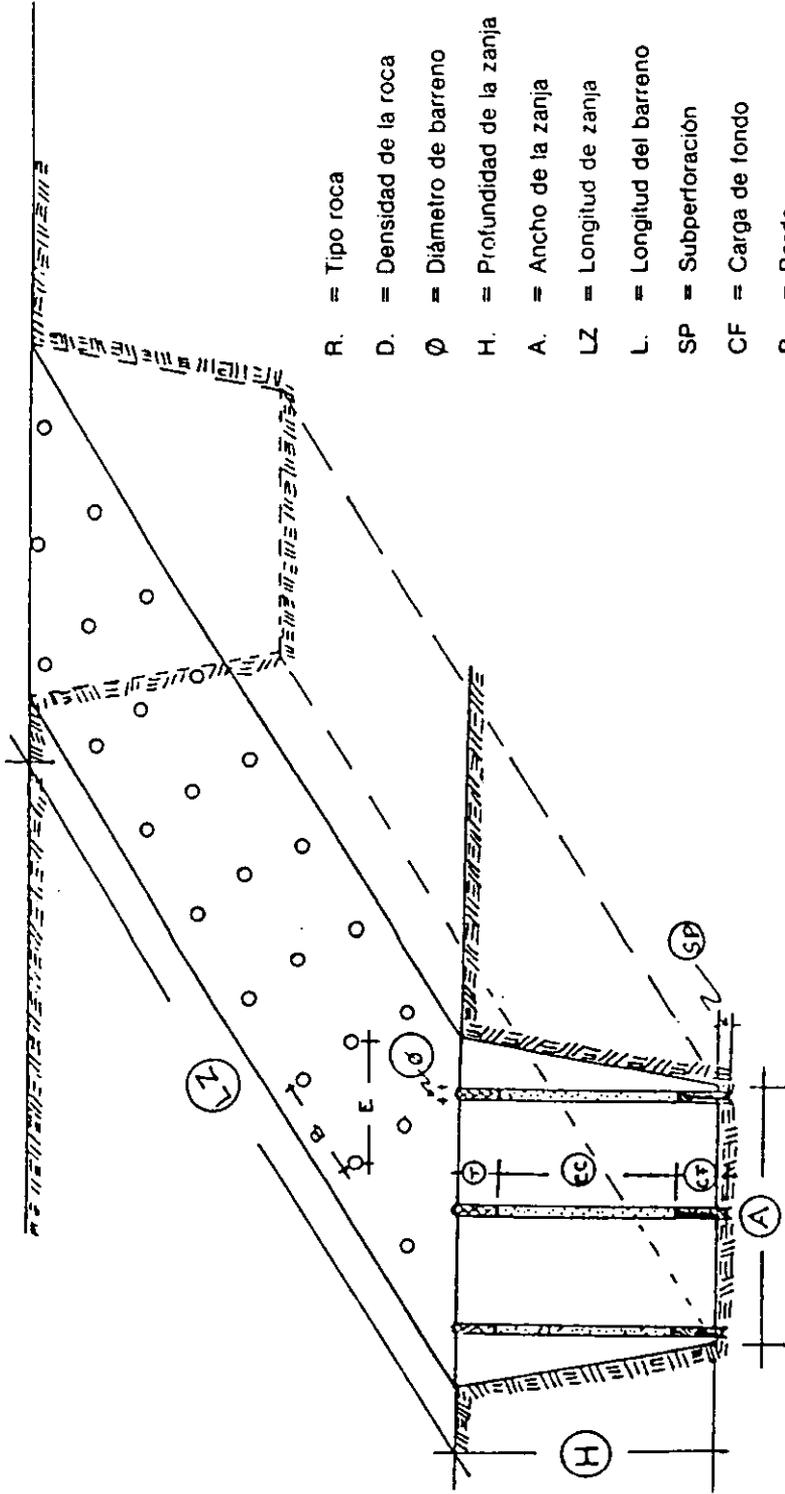
Calcular:

- a) Mts.3 a excavar
- b) Carga de fondo
- c) Carga de columna
- d) Bordo
- e) Espaciamiento
- f) No. de barrenos
- g) Mts. de perforación

Tenemos que:

$$\text{Volumen} = \text{Long} \times \text{Ancho} \times \text{Profundidad} = 1000 \times 1.5 \times 1.0 = 1500 \text{ m}^3$$

Parámetros que intervienen para una voladura de zanjeo



- R. = Tipo roca
- D. = Densidad de la roca
- Φ = Diámetro de barreno
- H. = Profundidad de la zanja
- A. = Ancho de la zanja
- LZ = Longitud de zanja
- L. = Longitud del barreno
- SP = Subperforación
- CF = Carga de fondo
- B. = Bordo
- E = Espaciamiento
- T = Taco

Figura IV.1.12

$$\text{Longitud} = \frac{.200 \text{ kgs/}}{1.18 \times 0.79 (*)} = .21 \text{ mts. emulsión}$$

$$\text{Longitud} = \frac{.800 \text{ kg}}{0.85 \times 0.79 (*)} = 1.19 \text{ mts. Anfomex}$$

* De la tabla de densidad de carga

Columna a llenar 1.5 mts.

$$\frac{1.5}{1.4} = 1.07 \text{ kg}$$

De los cuales:

$$20\% \text{ de emulsión} = .21 \text{ kgr.}$$

$$80\% \text{ de Anfomex} = .86 \text{ kgr.}$$

Para determinar el patrón de barrenación:

$$\text{Volumen/barreno} \frac{1.07 \text{ kgr.}}{0.770 \text{ kgr/m}^3} = 1.389 \text{ m}^3/\text{barreno}$$

Para una plantilla cuadrada tenemos que:

$$V = B \times E \times H \text{ como } B = E$$

$$B = \sqrt{\frac{V}{H}} = \sqrt{\frac{.926}{1}} = .962 \text{ mts.}$$

$$\text{Bordo} = .962 \text{ mts}$$

$$\text{Espaciamiento} = .962 \text{ mts}$$

Para una plantilla rectangular con una relación de 1:1.2

$$V = B \times E \times H = 1.389 \text{ m}^3$$

$$V = B^2 \times 1.2 \times H$$

$$V = 1.2 B^2 \times H$$

$$1.2 B^2 = \frac{V}{H} = \frac{1.389}{1.5} = 0.926 \text{ mts.}^2$$

$$B = \sqrt{\frac{.926}{1.2}} = \sqrt{.77} = 0.88 \text{ mts.}$$

$$E = 1.2 (B) = (1.2) (.88) = \underline{1.07}$$

$$\text{Bordo} = .88 \text{ mts}$$

$$\text{Espaciamiento} = 1.07 \text{ mts}$$

$$\text{No. de barrenos} = \text{m}^3/\text{m}^3 \text{ barreno} = 1500/1.389 = 1080$$

$$\text{Metros perforados} = 1080 \times 1.8 = \underline{1944 \text{ mts.}}$$

IV.2 Subterráneas.

En términos generales podemos decir que las voladuras subterráneas son de dos tipos:

- a) Voladuras que tienen solamente una cara libre para la salida del disparo y que se utilizan en obras tales como túneles, rampas, frentes, cruceros, lumbreras, contrapozos, tiros, etc.
- b) Voladuras que tienen 2 ó más caras libres para la salida del disparo y que se utilizan normalmente en los rebajes o áreas de producción de las minas o en voladuras de desborde o ampliación de un túnel.

Las voladuras que tienen 2 ó más caras libres para la salida del disparo pueden tratarse con criterios similares a los utilizados para voladuras superficiales o de tajos, en tanto que para las voladuras que tienen solamente una cara libre es necesario crear una segunda cara de alivio. Esto se logra mediante la formación de un hueco en la cara expuesta, que recibe el nombre de "cuña".

La "cuña" es sin duda uno de los factores que tienen mayor importancia para realizar una voladura exitosa.

"Cuñas"

Existen diferentes tipos de cuñas y de barrenaciones utilizadas en las obras subterráneas, y el conjunto de barrenos, incluyendo la cuña, es lo que se conoce normalmente como "plantilla de barrenación".

Existen 3 tipos diferentes de cuñas:

- 1) Cuña quemada
- 2) Cuña en ángulo
- 3) Cuña mecánica

Cuña quemada:

Todos los barrenos son paralelos entre sí y perpendiculares a la cara de la frente.

Cuña en ángulo:

Los barrenos tienen cierta inclinación y casi se juntan en el centro.

Cuña mecánica:

Son desarrolladas con una máquina cortadora de roca y barrenación paralela entre sí.

Es importante que los barrenos de las cuñas quemadas se perforen lo más paralelo posible entre sí, ya que la falta de paralelismo repercute seriamente en el resultado de la voladura. De lo anterior se deduce la importancia de contar con perforistas hábiles y bien capacitados.

Ocasionalmente también es conveniente cambiar la posición de la cuña, lo que dependerá de las condiciones de terreno que se esté barrenando. Terrenos demasiado fallados o intemperizados hacen que los barrenos se tapen por lo que al momento de cargarlos no es posible realizar esta operación correctamente. Por lo anterior se recomienda que se trate de dar la cuña en el terreno más sano.

Es también común que cuando se atraviesa alguna falla ó alguna abra con la barrenación, la energía del explosivo se escape a través de esas zonas, resultando una mala voladura. Lo anterior es otra razón más de peso para cambiar la posición de la cuña cuando se logra determinar a tiempo este problema.

Existen diferentes tipos de cuñas utilizadas en obras subterráneas. En la figura No. 1 se muestran algunas de las más comunes.

Plantillas de barrenación

Al conjunto total de barrenos, incluyendo a los barrenos de cuña, así como a la distribución de los mismos es lo que se conoce como plantilla de barrenación.

Existen varios factores que influyen para definir o diseñar una plantilla de barrenación. A continuación se mencionan:

- Tipo de roca
- Grado de alteración de la roca
- Dimensiones de la obra
- Capacidad de equipo de rezagado y acarreo
- Diámetro de barrenación
- Tipo de explosivo utilizado
- Tamaño de quebradora
- Producción requerida

Influencia de los intervalos de retardo

Los intervalos de retardo tienen una influencia importante en el resultado de la voladura. Un retardo demasiado corto causa problemas al iniciarse antes de que salga el material previamente detonado. Por lo anterior es recomendable que en todas las voladuras con solamente una cara libre se utilicen tiempos largos de retardo.

Diseño de plantillas de barrenación

El diseño de una plantilla de barrenación se realiza tomando como base un factor de carga conocido de algún lugar que reúna condiciones similares a las del área para la cual se va a diseñar dicha plantilla.

En general el factor de carga utilizado en obras con una sola cara libre de salida es mucho mayor que el requerido para obras con dos o más caras libres. Lo anterior se debe precisamente a que la necesidad de crear otra cara libre requiere mayor energía.

Ejemplo de diseño de una plantilla de barrenación para frentes

Datos:

Diámetro de perforación	1 7/8"
Sección de la frente (fig. 2)	4 x 4 m
Tipo de roca	Roca dura (granito)
Densidad de la roca	3.3 gr/cm ³
Profundidad del barreno	3.0 m
Taco (por antecedentes)	0.50 m
Factor de carga	1.0 kg/ton.
Carga de fondo	emulsión 1 x 8" (0.110 kg)
Carga de columna	Anfomex B.D.

A) Selección de la cuña:

Conociendo las características de la roca, se selecciona la cuña. En este caso, se considera utilizar una cuña 5 de oros con un barreno de alivio al centro de 3" de diámetro.

B) Cálculo del área:

Sección circular

$$a = \frac{\pi \times r^2}{2} = \frac{\pi \times 2^2}{2} = 6.28 \text{ m}^2$$

Sección rectangular

$$a = (b \times h) = 4.0 \times 2.0 = 8.0 \text{ m}^2$$

$$\text{Superficie total} = 14.28 \text{ m}^2$$

3. Cálculo del volumen y tonelaje de roca a tumbar con explosivo:

$$V = 14.28 \text{ m}^2 \times 3.0 \text{ m} = 42.84 \text{ m}^3$$

$$T = (42.84 \text{ m}^3) (3.3 \text{ ton/m}^3) = 141.37 \text{ ton.}$$

4. Cálculo del total de explosivos por barreno:

Consultando la tabla No. 1, observamos que para un diámetro de 1 7/8" y un explosivo de densidad 1.0 gr/cm³, se requerirían 1.79 kg para cargar un metro de columna.

Por lo tanto un cartucho de emulsión 1 x 8" con densidad de 1.10 ocupará:

$$\begin{array}{l} (1.79 \text{ kg}) (1.10) \text{ _____ } 1 \text{ m} \\ 0.110 \text{ kg} \text{ _____ } x \end{array} \quad x = 0.0559 \text{ m.}$$

Anfo BD Densidad = 0.85 gr/cc (cargado neumáticamente).

Consultando la tabla No. 1, obtenemos que:

$$\begin{array}{l} (1.79 \times 0.85) \text{ _____ } 1 \text{ m} \\ x \text{ _____ } 2.44 \text{ m} \end{array} \quad x = 3.715 \text{ kg}$$

Carga total por barreno = Anfo + emulsión

Carga total por barreno = 3.715 + 0.110 = 3.825 kgs.

5. Cálculo del explosivo total utilizado en la frente considerada en este ejemplo:

kg. Explosivo = (factor de carga) (tons tumbadas)

kg. Explosivo = (1.0 kg/ton) (141.37 ton)

kg. Explosivo = 141.37 kg

6. Cálculo del número de barrenos necesarios en la frente:

Núm. de barrenos = $\frac{\text{kg. Explosivo/Frente}}{\text{kg. Explosivo/Barreno}}$

Núm. de barrenos = $\frac{141.37 \text{ kg.}}{3.825 \text{ kg.}} = 36.96 = 37$

Núm. de barrenos cargados = 37

7. Se procede a ubicar proporcionalmente los 37 barrenos cargados (incluyendo la cuña) en la frente mencionada

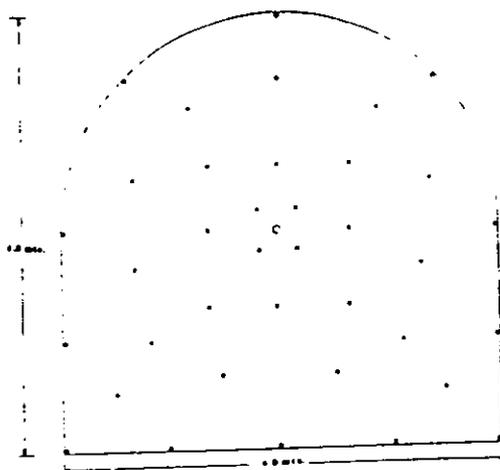


Fig. IV.2.1 Distribución de barrenos en el frente

Túneles

Las dimensiones de los túneles o socavones varían dependiendo del uso al que se destinen. Generalmente los túneles de minería son más pequeños que los grandes túneles usados para carreteras, ferrocarriles, proyectos hidroeléctricos, etc.

En los túneles pequeños los ciclos de trabajo se realizan en toda la sección del túnel, pero en los grandes túneles ocasionalmente se llegan a realizar por etapas, ya sea dando primero un túnel piloto y posteriormente desbordando y llevando a la vez por bancos la parte restante de la sección, o bien pueden llevarse desfasadas dos mitades de la sección.

Los factores de mayor peso para seleccionar entre la alternativa de atacar la sección completa o bien la alternativa de atacar la sección por etapas son los siguientes:

- Tipo de roca
- Tipo de estructura geológica
- Programa de ejecución
- Tipo de maquinaria
- Costos

En general es más conveniente atacar toda la sección completa siempre y cuando la roca, las estructuras geológicas y el tipo de maquinaria a utilizar lo permitan.

En terreno poco consistente, por razones de seguridad puede pensarse en atacar el túnel por etapas.

Merece especial atención analizar la conveniencia de utilizar solamente alto explosivo en el desarrollo de un túnel contra la alternativa de utilizar el alto explosivo únicamente como carga de fondo más un agente explosivo como carga columna.

A continuación se presenta un análisis realizado por el Departamento Técnico de Atlas de México del cual se deducen conclusiones interesantes:

**Análisis comparativo de excavación de un túnel
considerando el uso de alto explosivo emulsión
en el caso 1 y alto explosivo emulsión más
Anfo subterráneo en el caso 2**

CONCEPTO	CASO 1 ALTO EXPLOSIVO (EMULSION)	CASO 2 ALTO EXPLOSIVO (EMULSION) MAS ANFO SUBTERRANEO	DIFERENCIA	%
Area de la sección	104.76 m ²	104.76 m ²	- o -	
Volumen/secc.	356.18 m ³	356.18 m ³	- o -	
Diámetro de perfor.	1 7/8"	1 7/8"	- o -	
Prof. de barrenos	3.60 m	3.60 m	- o -	
No. de barrenos/secc.	119	136	17	12.5%
M de barrenos/secc.	428.40 m	489.60 m	61.20	12.5%
Costo m	\$ 20.000.00	\$ 20.000.00	- o -	
Costo barrenación/m ³	\$24.055.25/m ³	\$ 27.491.72/m ³	\$ 3.436.47/m ³	12.5%
Factor de carga total	1.215 kgs /m ³	1.215 kgs./m ³	- o -	
Kgs. de expl./secc.	433.05 kgs.	433.05 kgs.	- o -	
Costo alto expl./m ³	\$ 8.026.60/m ³	\$ 1.462.97/m ³	\$ 6.563.63/m ³	(81.7%)
Costo Anfo sub/m ³	- o -	\$ 1.287.11/m ³	\$ 1.287.11/m ³	100%
Costo accs./m ³	\$ 1.704.74/m ³	\$1.895.01 m ³	\$ 190.27/m ³	10%
Costo p/expl. y accs.	\$ 9.731.34/m ³	\$ 4.645.09/m ³	\$ 5.086.25/m ³	(52.2%)
Costo total/m ³	\$ 33.786.59/m ³	\$ 32.136.81/m ³	\$ 1.649.78/m ³	(4.8%)
Tiempo de ventilación	10 minutos	30 minutos	20 minutos	67%
Tiempo de barrenación	2 38 hrs.	2 72 hrs.	0 34 hrs.	12.5%

NOTA: El costo de barrenación es aproximado

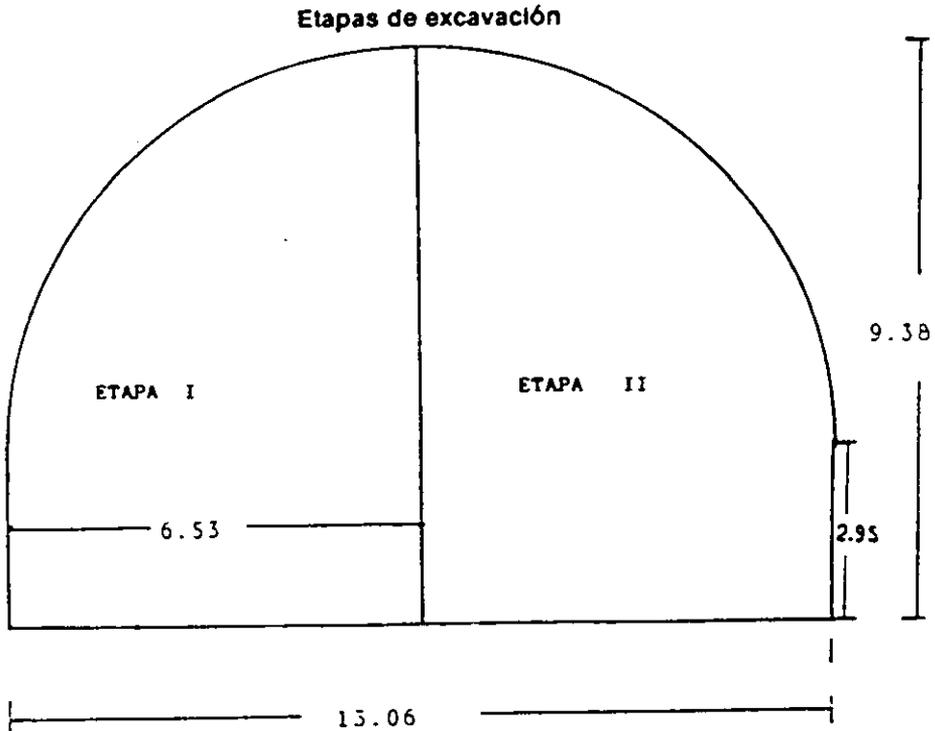
Conclusiones:

- Caso No. 1** Voladuras efectuadas solamente con alto explosivo (emulsión)
- Barrenación:** 12.5% de barrenos menos
- Cargado de barrenos:** Debido a que no se carga neumáticamente no hay desperdicio y se facilita el manejo de explosivo.
- Ventilación:** Se tiene un ahorro de 20 minutos por voladura, por lo que si consideramos un túnel de 3 kms con un avance de 3.40 m/voladura se tendría 883 voladuras lo que representaría un ahorro de 12.2 días al final del proyecto.
- Avance:** Con el uso de solamente alto explosivo, se asegura un avance de 94%.
- En caso de presencia de agua en los barrenos, la emulsión tiene resistencia total al agua.
- Debido al ahorro de 20 minutos por tiempo de barrenación para cada voladura, se tendrían 12.5 días más de ahorro, lo que llevaría a un total de 24 días menos en la ejecución del programa.
- Caso No. 2.** Voladuras efectuadas con alto explosivo (emulsión) como carga de fondo y Anfo subterráneo como carga columna
- Barrenación:** 12.5% más de barrenación.
- Cargado de barrenos:** Debido a que el Anfo se carga neumáticamente se tiene un porcentaje de desperdicio de un 6% aproximadamente.
- Ventilación:** El Anfo subterráneo contiene mayor volumen de gases, lo que ocasiona un mayor tiempo de ventilación.
- Avance:** Se puede tener un avance de aproximadamente 94% de la longitud de barrenación y el costo total en un 4.8% abajo con respecto a las voladuras sólo con alto explosivo.

Ejemplo de diseño de una plantilla de barrenación para un túnel llevado por etapas

Datos:

Etapa I	1/2 sección vertical sin banqueo
Etapa II	Desborde lateral 1/2 sección vertical
Tipo de roca	Roca metamórfica (gneiss esquisto) Alternancia de granito y diorita
Diámetro de perforación	1 7/8" (47.625 mm)
Area de la 1/2 sección	51.74 m ²
Densidad de la roca	2.4 tons/m ³
Diámetro de barrenos de desfogue	3"
Profundidad de barreno	3.60 m (avance 94% = 3.40 m)
Taco	0.50 m
Factor de carga	1.900 kgs./m ³
Alto explosivo	Emulsión 1 1/2" x 16" (0.500 kgs/cartucho)



Cálculo de etapa No. 1

1. Sección de la cuña

Conociendo las características de la roca, se considera utilizar una cuña de 7 barrenos de los cuales 2 serán de desfogue o vacíos con diámetro de 3" y los 4 restantes de 1 7/8" de diámetro. La cuña propuesta se usa normalmente en terreno duro y de dureza media.

2. Area de la 1/2 sección

$$\text{Area} = \frac{(\sim)(6.43)^2}{4} + (6.53)(2.95) = 32.47 + 19.26 = 51.74 \text{ m}^2$$

3. Volumen y tonelaje de la roca a excavar

$$V = (51.74)(3.4) = 175.92 \text{ m}^3$$

$$T = (175.92)(2.4) = 422.208 \text{ tons.}$$

4. Explosivo total por barreno considerando un taco de 0.50 m

Emulsión 1 1/2" x 16" (densidad = 1.10 grs/cm³)

Consultando tabla No. 1 vemos que se necesitan

$(1.79 \times 1.1) = 1.969 \text{ kg}$ de emulsión 1 1/2" x 16" para llevar un m. de columna en un diámetro de 1 7/8".

Si el barreno tiene una profundidad de 3.60 m menos 0.50 m del taco, la longitud a llenar del barreno será:

$$3.10 \text{ m} \times 1.969 \text{ kg/m} = 6.10 \text{ kgs/barreno.}$$

Si cada bombillo de emulsión de 1 1/2" x 16" pesa más o menos 0.500 kg, por lo tanto se tendrá:

$$\frac{6.10 \text{ kg de emulsión/barreno}}{0.500 \text{ kg/bombillo } 1 \frac{1}{2}'' \times 16''} = 12 \text{ bombillos}$$

$$\text{Bombillos de emulsión } 1 \frac{1}{2}'' \times 16'' = 12 \text{ bombillos/barreno}$$

Ajustando se tiene 6.00 kg de emulsión/barreno

5. Cálculo de explosivo utilizado por voladura

kgs. de explosivo/voladura = factor de carga x toneladas

$$= (0.791) (422.208)$$

$$\text{Explosivo/voladura} = 333.97$$

6. Número de barrenos por voladura

$$\frac{333.97 \text{ kg/voladura}}{6.0 \text{ kg/barreno}} = 55.66 = 56 \text{ barrenos}$$

7. Se procede a ubicar proporcionalmente los 56 barrenos cargados (Incluyendo la cuña)

A) Ubicar barrenos de cuña y ayudantes de cuña

B) El resto de los barrenos se distribuyen en la superficie restante en forma proporcional.

Cálculo de la etapa II

La etapa No. 2 se calcula como desborde:

La 1/2 sección que nos queda para la etapa No. 2 tiene ya 2 caras libres de salida por lo que aplicamos un criterio similar a un banco de un tajo, para reducir nuestro factor de carga.

El factor de carga utilizado es 0.715 kg/m³

Considerando una carga de 10 kg tenemos que:

La longitud que ocuparán los 10 kgs de explosivo emulsión de 1 1/2 x 16" es de acuerdo a la tabla No. 1

$$\text{Longitud} = \frac{10}{(1.10) (1.79)} = 5.08 \text{ m}$$

Si los barrenos tuvieran una profundidad de 3.60 m menos el taco de 0.50 m, la longitud de explosivo por barreno es:

$$3.60 - 0.50 = 3.10 \text{ m}$$

Por lo tanto la cantidad total de explosivo por barreno es:

$$\frac{3.10 \text{ m}}{5.08 \text{ m}} = 0.610 \text{ cargas de explosivo}$$

Por lo que:

$$(0.610) 10 = 6.10 \text{ kg/barreno}$$

Las cifras se deben cerrar para facilitar la operación.

$$\text{No de cartuchos/barreno} = \frac{6.10 \text{ kgs/barreno}}{0.500 \text{ kgs/cartucho}}$$

$$\text{No de cartuchos/barreno} = 12.2 = 12$$

$$\text{kgs/barreno} = 12 \times 0.500 = 6.00 \text{ kg/barreno}$$

Ahora, tomando en cuenta el factor de carga que se desea utilizar, tenemos que el volumen por barreno será:

$$\frac{6.00 \text{ kg/barreno}}{0.715 \text{ kg/m}^3} = 8.392 \text{ m}^3$$

$$\text{Sabemos que } V = B \times E \times H$$

$$V = \text{volumen, } B = \text{bordo, } E = \text{espaciamiento}$$

H = altura del banco y considerando una plantilla donde, $E = 1.20 B$, obtenemos que:

$$V = (B) (1.20 B) (H)$$

$$V = 1.2 B^2 H$$

Por lo tanto:

$$B = \sqrt{\frac{V}{1.2 H}} = \sqrt{\frac{8.392}{(1.2)}} = 1.43$$

$$E = (1.43) (1.2) = 1.72 \text{ m}$$

Quedando:

Diámetro = 1 7/8"

Bordo = 1.40

Espaciamiento = 1.70 m

Taco = 0.50

Explosivo/barreno = 6 kg = 12 cartuchos de emulsión 1 1/2" x 16"

Postcorte:

En las secciones de desborde lateral es necesario considerar un postcorte, el cual se detonará de la siguiente manera:

a) Diámetro del cartucho:

$$(PB)_{dc} = (PB)_c (CR)^{2.4}$$

donde:

(PB) dc = Esfuerzo a la compresión de la roca = 24,900
psi para la (El granito)

(PB) c = Presión de detonación del explosivo = (685 500
psi para la emulsión).

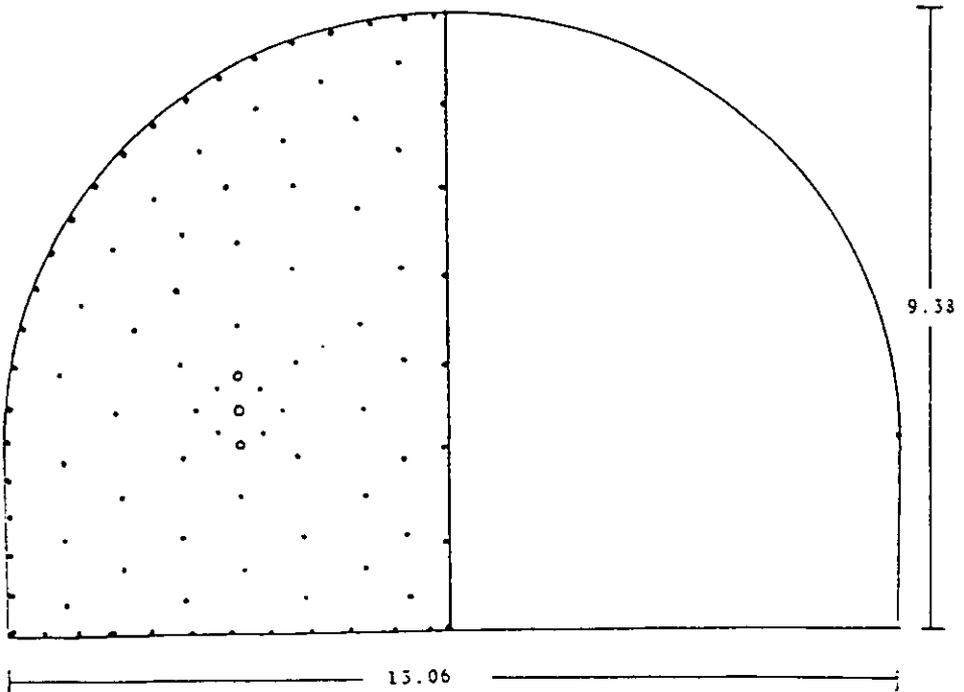
C.R. = Radio de acoplamiento

Despejando C.R.

$$CR^{2.4} = \frac{(PB)_{dc}}{(pb)_c} = \frac{24\,900 \text{ psi}}{685,500} = 0.0363$$

$$CR = (0.0363)^{1/2.4} = 0.2512$$

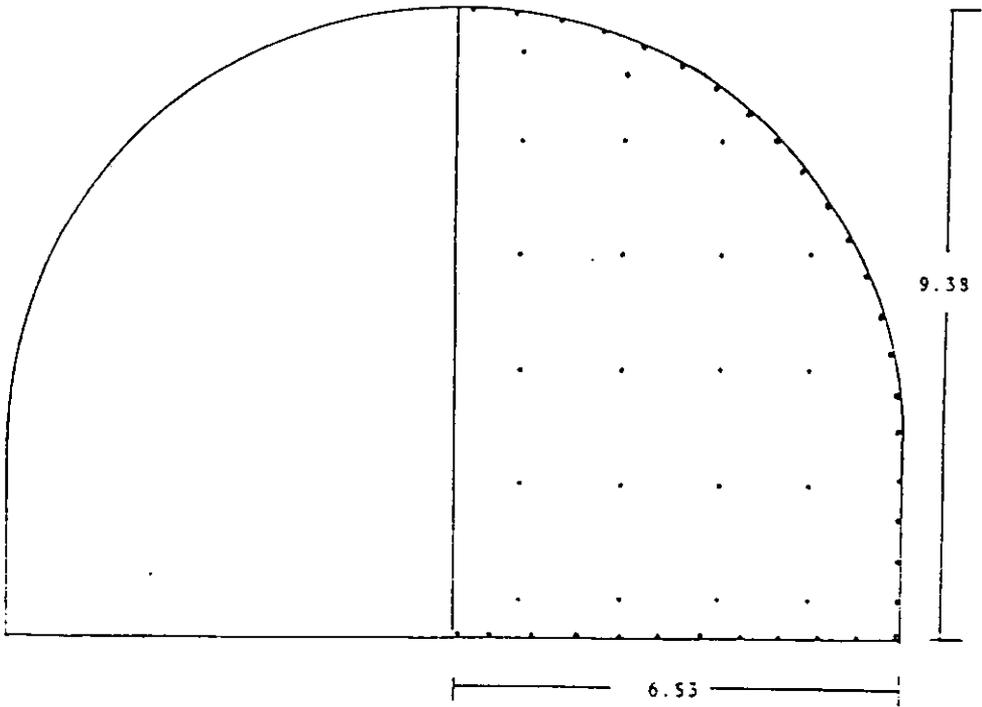
ETAPA I



Distribución de barrenos
para la etapa No. 1

Escala: 1:75
Acotación en
metros

ETAPA II



Distribución de barrenos para la etapa No. 2 Escala: 1:75
Acotación en metros

IV.3 Bajo Agua.

Las voladuras subacuáticas se aplican en diversos tipos de obras tales como: profundización y construcción de puertos y canales, excavación de trincheras para la instalación oleoductos, gasoductos y cables de comunicación, excavación para cimentaciones de obras civiles, explotación de yacimientos consolidados, etc.

Las operaciones de voladuras subacuáticas requieren de mayor cuidado y experiencia que las de superficie, debido a la capa de agua que cubre la roca. La barrenación y el cargado de explosivos suelen ser mas complicados en este tipo de voladuras, por lo cual se deben de considerar los siguientes factores para tener éxito en este tipo de voladuras:

- * Métodos de operación y equipos especiales de barrenación.
- * Diversos sistemas de cargado.
- * Factores de carga adecuados para desplazar a la roca y el agua y desempeño sobre presión hidrostática.
- * Uso de un sistema de iniciación seguro y confiable.
- * Control de vibraciones utilizando los productos adecuados y patrones de retardo para reducir los riesgos de propagación.

Métodos de Barrenación y Voladura.

Los métodos mas comunes para realizar voladuras subacuáticas son los siguientes:

- 1.- Barrenación y voladura sobre roca.
- 2.- Barrenación y voladura sobre plataforma.
- 3.- Barrenación y voladura con buzos.
- 4.- Voladuras con *Concussion Charges*.

1.- Barrenación y Voladura sobre roca.

En este caso el agua se encuentra a nivel o a escasa distancia de la parte superior del banco a volar, de tal forma que se pueden realizar sobre superficie o roca las actividades de barrenación y carga de explosivos. Fig. IV.3.1

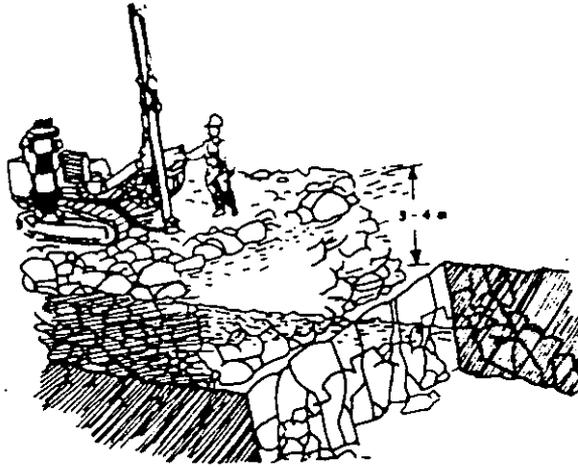


Fig. IV.3.1 Barrenación en roca.

2.- Barrenación y voladura sobre plataforma.

Este método contempla barrenar y cargar desde una plataforma flotante, debido a que el banco de roca se encuentra a varios metros por debajo del agua. Fig. IV.3.2

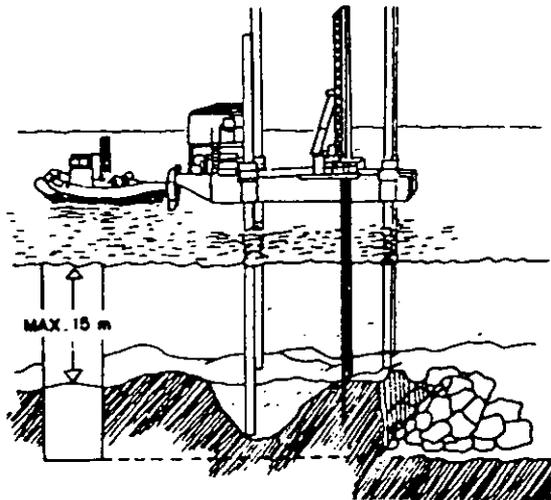


Fig. IV.3.2 Barrenación en plataforma.

Barrenación.

Existen dos alternativas para efectuar la barrenación. La primera es con un equipo tradicional de barrenación, con el cual una vez terminado el barreno se retira la broca y la tubería, y se procede a cargar el explosivo, este sistema tiene el inconveniente de que el barreno se cierre o quiebre con desprendimiento de roca de las paredes del mismo, dada la alteración del terreno debido a la saturación del agua. La segunda alternativa es usar un equipo provisto con Kelly bar, el cual consiste en un tubo ligeramente mas grande que la broca. A medida que se realiza la barrenación el tubo avanza excavando la roca.

Una vez terminado el barreno se retira la roca, se queda la tubería la cual sirve como ademe, posteriormente se coloca un tubo de PVC o de cartón encerado, para evitar que el barreno se cierre u obstruya, finalmente se retira la tubería y se procede a cargar los explosivos.

Cargado de explosivos.

El método de cargado de explosivos puede ser de dos maneras, en cartuchos cebados con cordón detonante en especie de rosario o con iniciadores no eléctricos de retardo.

A granel, bombeándolos al interior del barreno usando un camión especial. Este producto tiene la ventaja de que se puede llenar por completo el área del barreno, se obtiene mayor presión de detonación, mas energía y por consiguiente mejores resultados, la iniciación se hace colocando los respectivos iniciadores al fondo y largo del barreno.

3.- Barrenación y voladura con buzos.

Las voladuras subacuáticas con la asistencia de buzos son ocasionales y son usadas para operaciones especiales. Dada la escasa visibilidad que existe abajo del agua, se deben tomar medidas especiales para orientar al buzo en la realización de las acciones. Fig. IV.3.3

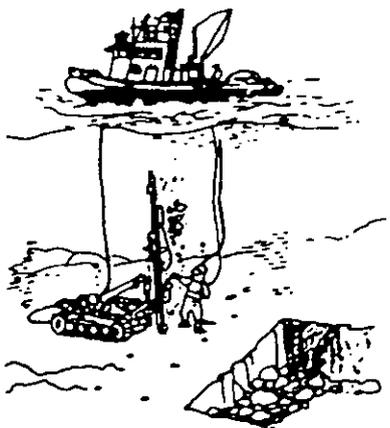


Fig. IV.3.3 Barrenación y voladura con buzos.

4.- Voladuras con *Concussion Charges*.

Este sistema ha sido desarrollado para romper roca sin usar barrenación. El efecto de las *Shape Charges* es obtenido por la concentración y dirección del explosivo y se consigue la carga tiene la forma de cono con un cierto ángulo en la parte superior. El cono se cubre internamente con un metal, el cual se comprime durante la detonación creando un proyectil de metal fundido (*Jet*) con una alta calidad de penetración. Para darle tiempo a que el proyectil forme la carga de explosivo, tiene que ser colocada a cierta distancia de la superficie (*Stand Off*). Las *Shaped Charges* se utilizan en bancos de 1 a 2 m. de altura con patrones de cargado que varían desde 1 X 1 hasta 2.5 X 2.5 mts., dependiendo del tipo de roca.

Se deberá tener especial cuidado con las áreas habitadas debido a las ondas de choque generadas, que producen una intensidad de 10 veces mayor a las producidas por cargas confinadas dentro del agua. También se deberán extremar precauciones con el lanzamiento de proyectiles cuando la altura del agua sea menor a 2.00 m. Fig. IV.3.4

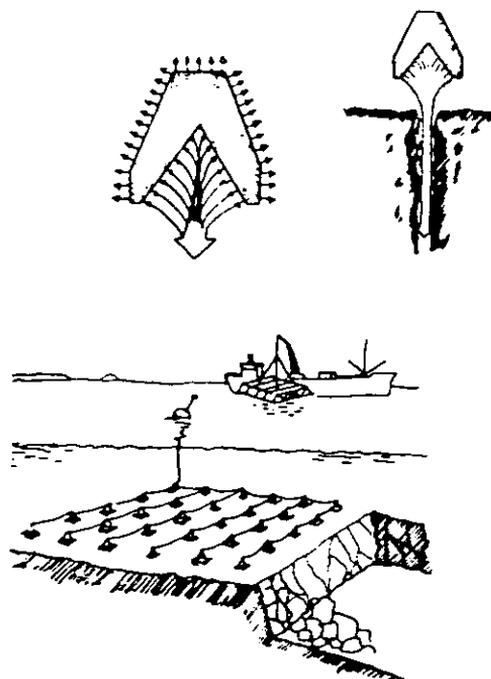


Fig. IV.3.4 Voladura con *Concussion Charges*

Explosivos.

Los requisitos que deben cumplir los explosivos utilizados en voladuras bajo el agua son principalmente: alta energía, excelente resistencia al agua, y adecuada sensibilidad y sensibilidad cuando se trabaja bajo presión hidrostática.

En el agua la energía del explosivo se transmite con gran eficacia debido a su baja compresibilidad, por lo cual la onda de choque tiene un alto poder destructivo, alcanzando presiones de hasta 10 Kpa.

La importancia de la onda de choque respecto a los explosivos consiste en la rapidez con la que se transmite, esto quiere decir, que un explosivo puede sufrir una compresión previa a la activación por parte del iniciador, nonel o cordón detonante y desensibilizarse por completo originando que el explosivo no detone. Este fenómeno ocurre mas frecuentemente con aquellos explosivos que usan como agente

sensibilizador microesferas de vidrio de baja resistencia a la precompresión.

Sistemas de iniciación.

Los sistemas de iniciación utilizados en voladuras subacuáticas son, el cordón detonante de 50 gr/ft, el cual se usa a todo lo largo del barreno con cargas de explosivo conectadas en rosario. También se usa el sistema nonel con HDP'S, recomendándose usar varios cebos a lo largo del barreno para asegurar la continuidad de la detonación.

Vibraciones y ondas de choque en el agua.

En las voladuras subacuáticas las vibraciones del terreno son mas impredecibles que en las voladuras ordinarias, debido al riesgo de propagación entre barrenos cuando se usa explosivo muy sensitivo. Por otra parte, las ondas de choque de las voladuras subacuáticas pueden causar problemas a construcciones cercanas, embarcaciones y personas dentro del agua. Las medidas para reducir la alta presión de las ondas de choque son: detonar menores cantidades de explosivos, usar cargas confinadas y usar cortinas de burbujas de aire.

IV.4 Sistemas a Granel

El diseño de la voladura a granel es el mismo que para las voladuras a cielo abierto; su aplicación se generaliza a grandes operaciones, extendiéndose cada vez mas su uso por el significativo ahorro que se tiene al sustituirlo por el cartucho.

Para lograr este objetivo, describiremos el equipo e instalaciones necesarias para su implementación con éxito.

En la actualidad el sistema de carga a granel mezclado en el sitio es el mas nuevo y moderno, con el se pueden cargar infinidad de barrenos rápidamente, ya que su cargado varía de 150 a 700 kg/min, dependiendo de la relación que se suministre a los barrenos y del equipo que se utilice, pero siempre implicando un ahorro significativo en costos y tiempos.

Sus principales características son: que se mezcla en el sitio, no es sensitiva hasta que se deposita en el barreno, se acopla completamente a la pared del barreno ocupando en su totalidad el volumen de éste, por lo cual la acción del explosivo es mas eficiente sobre el material, ya que su composición es homogénea a lo largo de todo el barreno y permite una mejor distribución de la energía. El producto tiene resistencia óptima al agua (hasta 45 días) y no existen sobrantes de mezclas ya que son elaboradas según se necesitan en el mismo lugar, controlando con toda precisión la carga de fondo adecuada a la iniciación de la columna y su taco, para obtener óptimos resultados.

Otras características de este tipo de explosivos es de poseer una consistencia apropiada para su bombeo y de ser resistente al agua, lo que nos permitirá cargar el barreno rápidamente, ya sea seco o con agua.

El cargado a granel se divide en dos por bombeo y por gravedad; en las dos dosificaciones se anota primero la proporción de la emulsión y enseguida la proporción del anfo.

Sistema a granel por bombeo.

Se utiliza este sistema cuando los barrenos por cargarse contienen agua, se usan mezclas de 70/30 hasta 50/50, en las que el mayor porcentaje es de emulsión y el menor de anfo; independientemente de cual se trate, se entrega en el fondo del barreno por medio de una manguera que se va retractando conforme va subiendo la emulsión a granel, desplazando por completa al agua, permitiendo con ello un buen confinamiento del explosivo.

Sistema a granel por gravedad.

Este sistema se usa cuando los barrenos de la plantilla a cargar estan secos y la mezcla a utilizarse lleva mayor proporción de anfo, esto es de 10/90 a 30/70, y el cargado de los barrenos se hace desde la superficie o boca del barreno, por medio del gusano equipado al camión.

Características de las mezclas.

Mezcla 70/30

Densidad	1.26 gr/cm ³
Vel. de detonación	4600 m/s
Energía	725 cal/gr
Presión de detonación	66 Kbars

Mezcla 20/80

Densidad	1.10 gr/cm ³
Vel de detonación	4100 m/s
Energía	800 cal/gr
Presión de detonación	44 Kbars

Mezcla 30/70

Densidad	1.17 gr/cm ³
Vel de detonación	4100 m/s
Energía	800 cal/gr
Presión de detonación	49 Kbars

Equipo utilizado en sistemas a granel.

-Silos elevado de nitrato de amonio prilado, descargan por gravedad del camión de mezcla en sitio, y su capacidad dependerá de los requerimientos del lugar.

-Silos elevados de emulsión a granel, también descargan por gravedad a la unidad de mezcla en el sitio.

-Equipo para transporte a granel, ya sea para nitrato de amonio o emulsión.

-Sistema neumático para la carga de los silos de nitrato de amonio granulado (compresor)

-Bomba hidráulica para descarga de pipa y carga de silo.

-Deposito para el aceite combustible (diesel).

-Camioneta de tres toneladas con bomba para desaguar los barrenos.

-Camión mezclador, sistema a granel.

<p>A: <i>Silos elevados de Nitrato de Amonio Prilado descargan por gravedad a la unidad de mezcla en sitio, capacidad según requerimiento.</i></p>	<p>C: <i>Equipos de transporte a granel ya sea para Nitrato de Amonio o Emulsión.</i></p>
<p>B: <i>Silos elevados de emulsión que descargan por gravedad.</i></p>	<p>D: <i>Sistema neumático para la carga de silos de Nitrato de Amonio Granulado.</i></p>
	<p>E: <i>Bomba hidráulica para la descarga de pipa y carga de silo.</i></p>

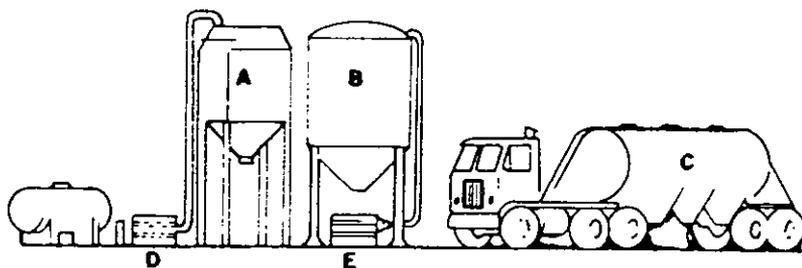


Figura IV.4.1 Equipo utilizado para el sistema a granel.

Características del camión mezclador Sistema a granel.

Panel de Control.

Puede hacer una formulación rápida de tres formulaciones, la combinación de las cargas cambia rápidamente de una a otra mientras llena cada barreno y se detiene también en las cantidades preestablecidas, el contador tabula el total diario.

Transportador de gusano.

Está fabricado de acero inoxidable y se localiza en un lado del camión, carga anfo o mezclas de emulsión con anfo, dentro del barreno, en cantidades por encima de los 700 kg/min, ya que posicionado el gusano sobre el barreno y con el panel en cabina, el cargado lo efectúa una sola persona. Se selecciona automáticamente anfo o emulsión, para cargas individuales o combinadas, un control automático permite una carga combinada interrumpida.

Tolvas de almacenamiento.

Tienen capacidad de acuerdo a las necesidades del trabajo, son resistentes porque están en contacto con ingredientes corrosivos, por lo tanto, están construidas de acero inoxidable.

Bomba de Slurry.

Bomba del tipo cavidad progresiva operada hidráulicamente, entrega mezclas de emulsión y nitrato para ser bombeados dentro del barreno.

Mangueras en carrete.

Contienen acción hidráulica de velocidad variable y controles reversibles de 33 m de longitud y 5.08 cm de diámetro junto a la bomba, se puede colocar una columna continua de explosivo resistente al agua dentro de los barrenos desplazándola.

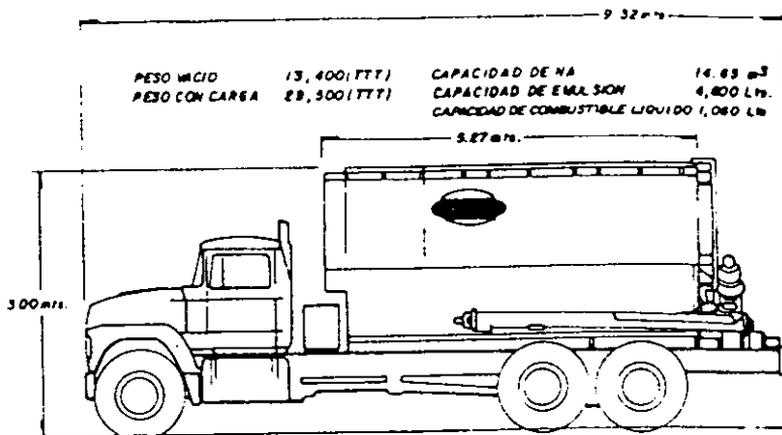


Figura IV.4.2 Camión de mezcla de anfo y/o nitratos.

V CONSIDERACIONES Y CUIDADOS AMBIENTALES.

V.1 Golpe de aire.

En la sismicidad natural, por ser las fuentes muy profundas, la energía se transfiere principalmente al subsuelo y una parte de ella a la superficie.

En la sismicidad técnica, por ser las fuentes de poca profundidad o superficiales, una parte importante de la energía se transfiere al aire como ondas de choque sónico y de presión. el aire, así energizado, transfiere energía a la superficie del terreno y a cualquier otro receptor que encuentre a su paso.

El golpe de aire puede ser influenciado por fenómenos meteorológicos, entre los que destaca la velocidad y dirección del viento, y de eventuales ráfagas, en el momento de producirse el golpe y durante su transferencia y transmisión. De ahí que la predicción de su magnitud y el control de sus efectos suelen dificultarse.

El lanzamiento de polvo, gases y partículas ocurre al transferirse alta energía a un volumen de terreno próximo a, o en superficie, es decir poco confinado. En una voladura dada, se producirán estos tipos de pulsos e impulsos.

El de la Presión del Aire (**PA**) que es el que domina. Solo es reducido en voladuras totalmente confinadas. Cada barrenado de la voladura es una fuente de PA. A grandes distancias o detrás de la fuente volada, la dispersión y las refracciones múltiples enmascaran, en las mediciones, los pulsos individuales y la secuencia de voladura se hace menos evidente. Los registros muestran picos y altas frecuencias asociadas en las mediciones hechas cercanas o frente a la cara volada.

El de la presión de roca (**PR**) resultado de las componentes verticales de la vibración del terreno integradas al área total, la cual

actúa como un gran pistón. Aunque esta es la componente del Golpe de Aire de mas baja amplitud, contiene las frecuencias mas altas en congruencia con la velocidad de vibración vertical. Su arribo a los instrumentos de registro antecede a la PA y es simultáneo al de la vibración vertical.

El de la expulsión de gas (EG) y de la expulsión del taco (ET) son los mas indeseables por su alto contenido de energía en alta frecuencia. Sin embargo, ambos se pueden controlar mejor que el PA y el PR mediante un diseño adecuado del patrón de voladura (taco, espaciamiento, bordo y velocidad de detonación).

El soplo o escopetazo de barrenos, en voladuras mal controladas o poco confinadas, producen EG y ET y en los registros instrumentales sus señales se suponen a las de PA.

En canteras el uso de anfo (baja velocidad de detonación), así como los barrenos de diámetros pequeños, barrenos mojados, columnas largas y rocas con alta velocidad de propagación de ondas, contribuyen a incrementar el pulso de ET.

El empleo de cordón detonante en voladuras de superficie es fuente de golpe de aire de alta frecuencia que, a distancias pequeñas a moderadas, pueden ser la causa principal de efectos inconvenientes. Puede controlarse fácilmente cubriendo con arena el cordón detonante y respetando una distancia mínima a los receptores (inmuebles, por ejemplo) que se desea proteger.

El parámetro de seguridad mas común, en cuanto a golpe de aire, es la sobre presión máxima, que se expresa en unidades de presión sobre la atmosférica (choque de aire) o en decibeles (db, choque sonoro), y se grafica en función de la distancia escalada a la fuente (normalizada respecto a la carga explosiva por retardo).

Se procura, en estos casos, evitar la rotura de vidrios y las vibraciones que causen fisuramiento en las estructuras.

V.2 Vibraciones.

En Norteamérica existen los programas tanto de monitoreo de cumplimiento de normas como de análisis de voladuras, siendo el cumplimiento de normas el más común. Estas referencias son referidas tanto al campo inmediato como al lejano, con estos términos se identifica a la distancia donde los datos de la vibración son recolectados. El monitoreo y análisis de voladuras es usado para evaluar la ejecución de voladuras de tamaño típico en la producción de mineral en minas y canteras donde el resultado de las vibraciones pueden ser usadas para evaluar el diseño de voladuras, desempeño de los productos y tiempos. Esto incluye colocar sensores muy cerca a la voladura. El cumplimiento de estos monitoreos es principalmente hecho con el fin de demostrar el apego a las normas gubernamentales. Aquí la operación de voladuras es situada tanto a minas como canteras colocando cajas de registro al menos a la tercera parte de la distancia entre la voladura y el vecindario más cercano. Estas regulaciones son con la finalidad de fijar límites en las voladuras con la idea de prevenir daños estructurales y/o reducir molestias a las personas. Dicho monitoreo se hace generalmente a las estructuras más cercanas a la voladura.

Estos tipos de monitoreo requieren de un diferente Kit con ciertos requisitos de desempeño en sus instrumentos de monitoreo o sismógrafos. De cualquier forma el monitoreo de actividades de voladuras en proyectos de Ingeniería Civil, requiere elementos de ambos tipos o sismógrafos.

Monitoreo en campo alejado a la voladura.

Acoplar instrumentos para distancias lejanas es la actividad más común, graba y almacena datos, además los provee mediante impresión en papel "in situ" con al menos algunos cálculos como velocidad de partícula y desplazamiento. Para la mayor parte solo los edificios públicos más cercanos son monitoreados. También es capaz de grabar velocidades arriba de 250 mm/seg, la mayoría de los monitoreos es menor a 15 mm. Ya que el monitoreo se hace a cierta distancia de la voladura, las frecuencias están atenuadas por eso es

que ellas están por debajo de los 25 a 300 Hertz. El sismógrafo, por consiguiente no requiere corridas de prueba en más de 1000 muestras por segundo. Finalmente el monitoreo que está hecho para proteger residencias privadas las cuales son sensitivas a las frecuencias menores a los 80 Hertz. La mayoría de los sismógrafos trabajan rudimentariamente en este aspecto usando el método de análisis de cruce al cero. Esta es usualmente mostrado en una gráfica que ha definido los límites de vibración como una función de la frecuencia. Cada país ha puesto sus propios estándares mientras que otros están en vías de ello.

Estos sismógrafos fueron diseñados para ser puestos a punto por personal relativamente inexperto. La interpretación de datos usualmente no es requerida ya que el tipo de resultado es impreso por el aparato en el mismo momento de su uso en el campo.

Monitoreo en campo cercano a la voladura.

El monitoreo sismográfico cercano es mucho más requerido que el lejano. Los sensores pueden ser colocados cerca de la voladura tanto como 10 metros, resultando en un incremento significativo en contenido de frecuencias y amplitudes. Es la necesidad de grabar las frecuencias más altas para medir los tiempos que determine que tan cerca se situará el sensor, así como la velocidad con que se disipan las frecuencias a la distancia. Los requisitos resultan de la necesidad por sensores de medición de más alto nivel (acelerómetros de alta frecuencia geofónica), límites masa altos que 8000 a 16000 sps, amplificadores dinámicos con rangos de medición y significativamente mayor memoria. Mientras tanto la impresión de datos es mínima, dejando el mayor de los avances para el análisis por computadoras.

En Canadá es generalmente especificado que para monitoreo en actividades de canteras el límite de vibraciones es 12.5 mm/seg y una sobrepresión del aire de 128 db siendo medidos en la estructura más cercana a la operación. En trabajos de construcción el límite es 50 mm/seg para vibración del suelo sin problemas de sobrepresión del aire. En obras de Ingeniería Civil el límite varía y puede ser visto sobre los 15 mm/seg siempre y cuando este demostrado no afecte los edificios cercanos, la sobrepresión del aire no contempla límites.

V.3 Ruido.

Se ha determinado que el número de quejas sobre voladuras esta relacionada principalmente con el ruido producido.

Las condiciones del clima afectan la intensidad del ruido producido por una voladura al escucharlo a distancia. Estas condiciones determinan la velocidad del sonido en diferentes direcciones y alturas. Las variables que influyen en la propagación del sonido son: la velocidad del viento y la temperatura como una función de la altura.

Normalmente, la temperatura del aire disminuye a medida que la altura sobre la superficie de la tierra aumenta. La disminución en la temperatura puede variar, pero tiene un promedio de 3.5° por cada 1000 Ft. Si la temperatura es constante sobre un rango de alturas, se dice que existe un isotérmico. Si el aire se hace mas caliente a medida que la altura aumenta, existe una inversión.

Un aire isotérmico y una velocidad de viento cero (una condición rara) producirán ondas sónicas rectas y un frente de onda esférico.

Si las condiciones climatológicas (temperatura y velocidad del viento) son tales que producen una mayor velocidad del sonido en cualquier dirección sobre la superficie de la tierra, entonces existe una inversión de sonido-velocidad. En este caso, los rayos de la onda sónica en la dirección en que la velocidad aumenta, pueden regresar a la tierra por refracción y producir un ruido mayor en ciertas áreas (resonancia).

Cuando existen condiciones climatológicas que evitan que la onda de sonido progrese uniformemente en todas las direcciones, entonces el frente de la onda no puede tener una forma semiesférica. Aunque el frente de la onda debe permanecer continuo, la forma cambia y algunas partes de aceleran y otras se retrasan. Puesto que la dirección de la propagación del sonido es en ángulos rectos con respecto al frente de la onda, provocará que el frente se refracte en esa dirección, semejante a un bote de remos que gira en la dirección de un remo retrasado.

Cuando la temperatura aumenta con la altura (se experimenta también un aumento en la velocidad del sonido), el frente de la onda se retrasa en la dirección de la superficie de la tierra, y las ondas de sonido se refractan hacia la tierra, quedando así los puntos de mayor ruido junto a la voladura.

También, una disminución en la velocidad del sonido con la altura reducirá el nivel del sonido cerca de la voladura, esto por que la atmósfera es menos a medida que se aumenta la altura, en otras palabras hay menos aire.

El gradiente de la velocidad del sonido se debe al gradiente del viento así como al de la temperatura. El efecto del viento es direccional como se indica y casi siempre resulta en mayores niveles de sonido a favor del viento. Los efectos termales fuertes o los cambios en la dirección del viento con la altura pueden, ocasionalmente, causar mayores niveles sónicos en contra del viento.

Algunos estudios científicos tienden a minimizar el efecto del viento en el regreso del sonido. El refuerzo del sonido a favor del viento no surge simplemente por la presencia del viento, sino mas bien por un *gradiente* de viento con la altura. En las propias áreas de prueba de Du Pont, se ha encontrado que las quejas pueden reducirse descontinuando las operaciones cuando los vientos tienen la dirección de los centros de población. Esto lo ha confirmado la Oficina de Minas de Estados Unidos en estudios que han conducido sobre el regreso del sonido en pruebas hechas en sus centros de investigación. En ambos casos, sin embargo, el explosivo generalmente no está confinado, sino que se dispara en el aire. En voladuras comerciales normalmente confinadas, el efecto tanto del viento como de la temperatura es importante.

V.4 Gases y emanaciones a la atmósfera.

En voladuras confinadas.

El lanzamiento de partículas se reduce y controla con un buen diseño de la voladura y su secuencia de explosión, lo que, además, reduce las vibraciones resultantes.

El polvo: -Se reduce rociando agua.
-Se controla con ventilación forzada.

Los gases: -Se reducen utilizando explosivos con química balaceada.
-Se controlan con ventilación forzada.

En voladuras a cielo abierto.

El lanzamiento de partículas se reduce y controla con un buen diseño de la voladura y su secuencia de explosión, lo que, además, reduce las vibraciones resultantes.

Para polvo y gases se cuenta con ventilación natural, además, en lo posible, deben programarse las voladuras, para efectuarlas bajo condiciones meteorológicas favorables. Si no se toman las debidas precauciones en cuanto a los aspectos antes señalados, estos llegan a convertirse en verdaderas agresiones al medio ambiente. En este mismo caso pueden caer, en un momento dado, varias de las operaciones auxiliares relativas al almacenamiento, transporte y manejo de explosivos.

V.5 Impacto social y ecológico de una voladura.

La regulación ambiental de las actividades altamente riesgosas en México es muy reciente. Su historia se inicia en la publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente ¹ (LGEEPA) en la que se incluyó, dentro del Título Cuarto **Protección al Ambiente**, el Capítulo IV **Actividades Consideradas como Riesgosas**, integrado por cinco artículos, dos de los cuales 146 y 147 están consagrados a la regulación de actividades altamente riesgosas.

En su artículo 146 la LGEEPA establece que las Secretarías de Desarrollo Urbano y Ecología² y de Gobernación, publicarán listados de las actividades que deben considerarse como altamente riesgosas, en tanto que el artículo 147 señala que la realización de esas actividades se hará en apego a lo dispuesto por la LGEEPA, las disposiciones reglamentarias que de ella emanen y las normas que sean expedidas.

En la fracción X del artículo 5º de la LGEEPA queda establecido que es asunto de alcance general en la nación o de interés de la federación. *La regulación de las actividades que deban considerarse altamente riesgosas, según ésta y otras leyes y sus disposiciones reglamentarias, por la magnitud o gravedad de los efectos que puedan generar en el equilibrio ecológico o el ambiente.*

De acuerdo con lo establecido en el artículo 28 de la LGEEPA, la realización de obras o actividades industriales comerciales o de servicios que puedan causar desequilibrios ecológicos³ o rebasar los límites establecidos en las normas, (esto incluye a las actividades altamente riesgosas), deberán sujetarse a la autorización previa del Gobierno Federal.

Para obtener la autorización referida en el artículo 28, el artículo 32 indica que los interesados deben presentar a la autoridad una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), y que, en su caso, dicha manifestación deberá ir acompañada de un estudio de riesgo, en el que se indiquen las medidas técnicas preventivas y correctivas para mitigar los efectos diversos al equilibrio ecológico durante la realización de la construcción de la obra, el desarrollo de la actividad y en caso de un accidente.

¹ La LGEEPA entró en vigor desde el primer día de Marzo de 1988

² A partir del 28 de Diciembre de 1994, los asuntos de carácter ambiental que estuvieron a cargo de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), y que posteriormente fueron responsabilidad de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), forman parte de las funciones asignadas a la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). En adelante, y solo con fines prácticos, todas las Secretarías de Estado mencionadas en este trabajo aparecen con su nombre actual, aún cuando en los textos originales que se citan aparecen con los nombres anteriores

Aunque no se especifica en el artículo 32 ni en ningún otro artículo en que casos se debe presentar el estudio de riesgo, en la práctica SEMARNAP ha venido solicitando, a través del Instituto Nacional de Ecología (INE), la realización de tales estudios cuando la obra o actividad se supone está relacionada con el manejo de sustancias peligrosas, como en el caso de las actividades altamente riesgosas.

Adicionalmente el artículo 147 establece como obligación para los responsables de realizar actividades altamente riesgosas, la elaboración de programas para la prevención de accidentes, mismos que se someterán a la aprobación del Comité de Análisis y Aprobación de Programas para la Prevención de Accidentes (COAAPP)⁴

³ El concepto de "Desequilibrio Ecológico", se encuentra definido en el artículo 3º de la LGEEPA de la siguiente manera. *La alteración de las relaciones de interdependencia entre elementos naturales que conforman el ambiente, que afecta negativamente la existencia, transformación y desarrollo del hombre y demás seres vivos.*

⁴ El COAAPP se encuentra integrado por las Secretarías de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, de Energía, de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, y del Trabajo y Previsión Social, además, aunque no está establecido en la LGEEPA, también participa en el COAAPP la Secretaría de Gobernación

VI CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS ACTUALES

VI.1 Ventajas.

Como se ha venido observando en el desarrollo de este trabajo, los sistemas actuales de mezcla a granel presentan ciertas ventajas sobre los sistemas convencionales de voladura con explosivo empacado.

Las proporciones de las mezclas Emulsión/Anfo pueden ser fácilmente cambiadas y ajustarse en el mismo momento de su carga en los barrenos, esto porque la mezcla se hace con un camión que puede ser regulado en el mismo lugar.

El agente explosivo de mayor popularidad en las operaciones a cielo abierto, cuando los barrenos no presentan condiciones de humedad o cuando la cantidad de agua en los barrenos puede ser bombeada, para posteriormente introducir el anfo en bolsas de polietileno.

Actualmente cuando se encuentra agua en los barrenos y no puede ser bombeada normalmente se carga con explosivo resistente al agua, hasta cubrir esta parte del barreno y posteriormente se carga con un anfo regular en el caso del abatimiento del NAF, o en su defecto se carga con un anfo mas pesado, 30/70 o 40/60, para después llenar el barreno de anfo a granel.

En general el sistema Bulk (Productos a granel) se puede adaptar a casi todas las operaciones de excavación, incluyendo las subterráneas en minería o a túneles de obras civiles, pedreras, cantera y minas a cielo abierto, cortes en la construcción de carreteras y casi cualquier tipo de obra.

Resumiendo, las ventajas de los "Sistemas a Granel" son las siguientes:

- ⇒ Mayor productividad.
- ⇒ Carga rápida.
- ⇒ Acoplamiento de los explosivos al barreno.
- ⇒ Mejor fragmentación.
- ⇒ Menor número de empleados para la carga de barrenos.
- ⇒ No se requiere de inventarios por la parte de la obra, mina o cantera.
- ⇒ Control de la cantidad de carga de explosivos.
- ⇒ Control de Taco.
- ⇒ Posibilidad de entrega de mas producto al barreno.
- ⇒ Sistemas de control de carga disponible.
- ⇒ Eliminación de manejo de cajas.
- ⇒ Condiciones especiales.
- ⇒ Menor trámite burocrático.

VI.2 Desventajas.

Ciertamente como se ha descrito en el subcapítulo anterior, las ventajas de los "Sistemas a Granel" son muchas y muy buenas todas ellas pero, carece de una característica importante para los explosivos, su baja resistencia al agua, motivo por el cual su uso se encuentra "limitado" a los trabajos secos en su mayoría.

No obstante, los resultados de los "Sistemas a Granel" dentro de bolsas de polietileno han sido satisfactorios en los barrenos donde la presencia de agua es baja, dejando de lado un poco la característica propia de amoldarse al barreno.

En el caso del anfo, por años se ha tratado de incrementar la energía y eficiencia, mezclándolo con diferentes ingredientes como aluminio y nitropropano; sin embargo los resultados que se han obtenido aún no han sido aplicables en el campo.

Desgraciadamente, esto impide se aproveche al 100 % las ventajas de utilizar "Sistemas a Granel". Particularmente el anfo pesado (Heavy Anfo) deberá mezclarse con Emulsión en proporción 70/30 aproximadamente para reducir al mínimo su característica higroscópica y obtener resultados aceptables en la operación.

Si el barreno esta totalmente saturado se cargara con Cartuchos o con emulsión bombeada.

VI.3 Costos de operación.

Como se mencionó anteriormente, el diseño de voladuras con sistemas a granel es el mismo que para voladuras a cielo abierto, la diferencia de un banco normal es el incremento en 30% de las plantillas de barrenación, aumentando así el volumen con menos barrenos, el explosivo queda bien confinado, no existen huecos o espacios entre las paredes del barreno y el explosivo.

Dentro de la reducción de costos se debe considerar todos los gastos, directos e indirectos que se tienen durante la operación de una voladura:

⇒ Reducción de costos del explosivo

⇒ Reducción de costos de barrenación.

- Brocas

- Barrenas

- Coples
- Horas máquina
- Diesel

⇒ Reducción de costos en equipo de carga y acarreo.

- Acarreo de desgaste, casquillos, y protectores
- Incremento de la velocidad de rezagado

En esta parte solo se analizará la reducción de costos que implican la barrenación y los explosivos, que son los que se reflejan de inmediato. Primeramente, en la **Tabla VI.3.1**, se analizará un ejemplo de cuando se usa cartucho y sistema a granel en condiciones secas o de poca humedad. Posteriormente, se analizará otro ejemplo donde existe agua y no se puede abatir el nivel freático, siendo necesario cargar solamente alto explosivo. **Tabla VI.3.2**

Barreno		18.00	16.00
Bordo	m	8.53	9.14
Espaciamiento	m	9.75	11.58
Área	m ²	83.17	112.90
Altura del banco	m	14.00	14.00
Prof. del barreno	m	16.25	16.25
Diámetro del barreno	pulg.	12.25	12.25
Densidad de roca	ton/m ³	2.70	2.70
Volumen	m ³	20,958.21	23,708.43
Tonelaje	ton	56,587.17	64,012.76
Taco	m	6.50	7.50
Columna explosiva	m	9.75	8.75
Relación (AE/BE)	%	10/90	20/80

	ALTO	EXPLOSIVO	
Densidad	gr/cm ³	1.18	1.10
Columna (Tabla)	kg/m	89.70	83.63
Costo	\$/kg	9.58	3.54
Peso total	kg	1,574.23	11,708.20
	kg	11,782.50	11,708.20
	\$/m	52.00	52.00
	\$/m Total	15,210.00	13,520.00
	\$/m ³ Tumbado	0.73	0.57
	\$/ton Tumbada	0.90	0.85
	\$ Total/Banco	50,912.29	41,447.03
	\$ Total/m ³	2.43	1.73
	\$ Ton/Tumb.	0.90	0.64
Costo Total	\$/m ³	3.15	2.32
	\$/Ton	1.17	0.85

Tabla VI.3.1

Análisis de costos con cartucho y sistema a granel en condiciones secas ó de poca humedad.

N° de Barreno		18.00	16.00	18.00	16.00
Bordo	m	8.53	9.14	8.53	9.14
Espaciamiento	m	9.75	11.58	9.75	11.58
Área	m ²	83.17	112.90	83.17	112.90
Altura de Banco	m	14.00	14.00	14.00	14.00
Prof. de Barreno	m	16.25	16.25	16.25	16.25
Diámetro de Barr.	pulg.	12.25	12.25	12.25	12.25
Altura Niv. del agua	m	3.18	3.18	16.25	16.25
Densidad de roca	ton/m ³	2.70	2.70	2.70	2.70
Volumen	m ³	20,958.21	23,708.43	20,958.21	23,708.43
Tonelaje	ton	56,587.17	64,012.76	56,587.17	64,012.76
Taco	m	6.50	7.50	6.50	7.50
Columna explosiva	m	9.75	8.75	9.75	8.75
Relación (AE/BE)	%	70/30	80/20	100/0	70/30
Diámetro bolsa gas	pulg.	12.50	12.50	12.50	12.50
Alto Explosivo					
Densidad (Tabla)	gr/cm ³	1.18	1.32	1.18	1.32
Columna (Tabla)	kg/m	89.70	100.36	89.70	100.36
Costo	\$/kg	9.58	5.84	9.58	5.84
Peso rev. niv. agua	kg	5,134.42	5,144.60	5,134.42	5,144.60
Peso arriba agua	kg	112.50	117.90	112.50	117.90
Agente Explosivo					
Densidad	gr/cm ³	0.85			
Columna (Tabla)	kg/m	54.63			
Costo	\$/m	3.51			
Peso		7.189.44			
Carga Total					
	kg	12.436.36	12,647.60	15,811.00	14,050.40
Perforación					
	\$/m	52.00	52.00	52.00	52.00
	\$/m Total	15,210.00	13,520.00	15,210.00	13,520.00
	\$/m ³	0.73	0.57	0.73	0.57
	\$/Ton	0.27	0.21	0.27	0.21

Explosivo	\$/Total/Barr e	75,500.43	61,524.90	150,811.71	82,054.33
	\$/Total/m ³	3.60	2.60	7.19	3.46
	\$/Ton/Tumb.	1.33	0.96	2.66	1.28
Costo Total	\$/m ³	4.33	3.17	7.92	4.08
	\$/Ton	1.60	1.17	2.93	1.48

Tabla VI.4.2

Análisis de costos con cartucho y sistema a granel cuando existe agua.

VI.4 Futuro inmediato.

El sistema **Bulk** (Explosivo a granel) se ha utilizado en países altamente industrializados desde hace más de 30 años en el caso del anfo y de más de 15 años en el caso del heavy anfo. Este sistema fue creado para ayudar a los usuarios de productos explosivos a optimizar los costos de sus operaciones de voladura mediante eficiencia y automatización.

En el manejo de grandes volúmenes como el sistema **Bulk**, permite obtener ahorros substanciales en los costos finales de una operación minera o de construcción.

La mezcla de las emulsiones con el anfo convencional en sus diferentes porcentajes, ha permitido la obtención de productos de mayor densidad, resistencia a la humedad y contenido de energía en las diferentes formulaciones explosivas, por lo que se ha podido aplicar en lugares donde la existencia de agua en los barrenos no permite el uso del anfo común y corriente, ha permitido la expansión de los patrones de perforación al tener una mayor cantidad de energía concentrada en los barrenos, lo que repercute en menor requerimiento

y mayor disponibilidad de los equipos de perforación, así como mayor tiempo de vida y menor tiempo en la carga de voladuras y ahorro considerable de tiempo en la carga de explosivos a los barrenos.

Este sistema que como se mencionó, ya se está utilizando en muchos países, pronto vendrá a revolucionar el uso de los explosivos en nuestro país. Esto es muy importante para México, sobre todo porque ahora que las operaciones deben ser competitivas a nivel internacional en una economía de libre mercado; donde la optimización de los costos de operación y la cantidad de los productos son indispensables.

VII CONCLUSIONES

En la Ingeniería Civil día con día el uso de los explosivos se incrementa, ya sea en la construcción, obtención de materiales pétreos, demoliciones etc., el uso no indiscriminado por parte de los usuarios se debe a que este es un producto regulado por la Secretaría de la Defensa Nacional, ya que la actividad relacionada a ellos es considerada como "altamente riesgoza" dentro de la LGEEPA, no obstante existe información completa y suficiente, tanto por parte de los fabricantes como por parte de los organismos reguladores, dando con ello una amalgama de conocimientos útiles que tienen como finalidad, la óptima utilización par crear beneficios a la sociedad, causando el mínimo daño al ambiente.

México a pesar de ser un país rico en recursos naturales, tiene un alto porcentaje de terreno accidentado, grandes cadenas montañosas y grupos aislados de cerros, por esta razón de carácter vertebral, es que el uso de los explosivos en obras de Ingeniería Civil se ha popularizado como la medida mas efectiva y económica para crear soluciones de infraestructura y progreso en las comunidades de nuestro país.

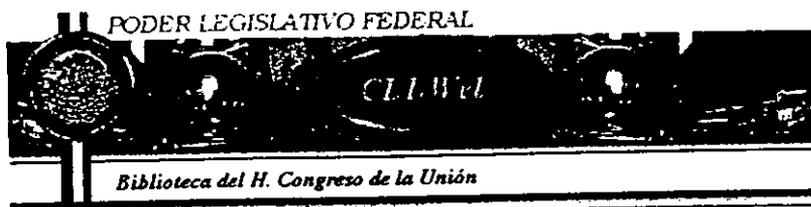
En este trabajo se hace una exposición de todos aquellos datos importantes y de relevancia que influyen para el diseño de una voladura, sin dejar de considerar los elementos adicionales a los de la Ingeniería, tales como ecológicos, y sociales.

Adecuándose a las situaciones actuales, los sistemas de detonación han demostrado ser competentes en todo aspecto, no obstante la necesidad de abaratar costos de operación ha llevado a encontrar métodos , mecanismos y productos mas económicos, de esta forma, los sistemas a granel, se han convertido en una solución práctica y muy común hoy en día. Como todo procedimiento técnico tiene su desventaja en cuanto a que su eficiencia y aplicabilidad baja en la medida con que se cuente con agua dentro del barreno. Esto no siempre es impedimento para su utilización aunque en forma considerable reduce su capacidad deflagrante.

De igual manera, los sistemas de iniciación actuales con retardadores, permiten tener un control absoluto de las cargas y su momento de explosión, y es gracias a esto que las demoliciones se pueden dar prácticamente en cualquier circunstancia geográfica, tanto urbana como rural.

Se ha manifestado pues, como el correcto uso y manejo de los explosivos, así como el conocimiento y experiencia en ellos, es una elemento que en todo momento servirá a la humanidad, y es el Ingeniero la persona que proporcionará ese conocimiento para cumplir en todo momento con una de sus tareas fundamentales, el modificar el medio para generar benefactores a la sociedad.

ANEXOS



| CDDWeb | Índice de Iniciativas |

INICIATIVA

Decreto que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones de la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos

RESUMEN

Realizado por el Departamento de Documentación Legislativa - S/D

ESTADO: Aprobada

PUBLICADA en D.O.F.: 21-12-1995

PRESENTADA POR: Ejecutivo Origen Senado

FECHA DE PRESENTACION: 05-12-1995

PERIODO: 1er. Ordinario

AÑO: II

TURNADA A LA(S) COMISION(ES): Justicia; Defensa Nacional

FECHAS DE DICTAMEN: 1a. Lectura: 13-12-1995, 2a. Lectura: 14-12-1995

OBSERVACIONES: Reforma los artículos 26; 29; 40, primer párrafo; 51; 52; 78 y 79; adiciona un segundo y un tercer párrafos al artículo 24 y un segundo párrafo al artículo 32; deroga el segundo párrafo del artículo 40.- Se dispensa la primera lectura y segunda lecturas.- Fundamenta el Dictamen el Dip. Luis Garfias Magaña del PRI.- Se aprueban en lo general los artículos no impugnados por 382 votos en pro.- En lo particular 382 votos en pro y 34 en contra.- Pasa al Ejecutivo

CONTENIDO: Esta reforma pretende regular, en forma más precisa, la expedición de licencias que autoricen el uso de armas de fuego, municiones, explosivos y demás objetos que regule la Ley; señala, puntualmente, qué autoridades están facultadas para autorizarlas o suspenderlas; el manejo que se dará a las armas requisadas; los requisitos que deberán llenar los solicitantes para la obtención de las mismas y, establece las sanciones aplicables.



SECRETARIA
DE LA
DEFENSA NACIONAL
DIR. GNAL. REG. FED.
ARMAS FGO Y EXP

DEPENDENCIA.....	DIRECCION GENERAL DEL
.....	REGISTRO FEDERAL DE ARMAS
.....	DE FUEGO Y EXPLOSIVOS
SECCION.....	TECNICA DE EXPLOSIVOS
AREA.....	TRAMITE
NUMERO DEL OFICIO.....	17221
EXPEDIENTE.....	

ASUNTO: Se le informan los requisitos para la obtención de Permisos para el uso de explosivos.

Lomas de Sotelo, D.F., a 19 de junio de 1991.

C. PRESIDENTE DE LA CAMARA NACIONAL
DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.
ALBORADA NUMERO 100.
COL. PARQUES DEL PEDREGAL.
14017 - MEXICO, D.F.

POR ACUERDO DEL C. GENERAL SECRETARIO DE LA DEFENSA NACIONAL, se le manifiesta a usted, que debido a la desinformación que los diversos organismos tienen acerca de la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos y los requisitos que deben cumplir las personas físicas y morales para el otorgamiento de los Permisos para el uso de explosivos, se le informan los requisitos que la legislación vigente solicita.

- I. PERMISO GENERAL.- Para actividades permanentes.
- II. PERMISO EXTRAORDINARIO.- Para Actividades Eventuales (Por única vez).
- III. PERMISO ORDINARIO.- Para comercialización entre empresas o particulares con Permiso General Vigente (Incluyendo importaciones y exportaciones).

Los requisitos para la obtención de ellos son:

- Solicitud, modelo anexo que se proporciona gratuitamente.
- Opinión favorable del Gobernador del Estado o del Jefe del Departamento del Distrito Federal firmada por el titular.
- Certificado del lugar de consumo expedido por la primera autoridad administrativa (Presidente Municipal o Delegado Político en el Distrito Federal).
- Referencias del lugar de consumo, anexos que también se proporcionan.
- Para Personas Físicas, copia certificada del registro civil del acta de nacimiento del solicitante.

A la Roja Número cos.



SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL DEL GRAL REG FED ARMAS FGO Y EXP

EMENDATA
DEPENDENCIA... DIRECCION GENERAL DEL REGISTRO FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS
SECCION... TECNICA DE EXPLOSIVOS
TRAMITE
NUMERO DEL OFICIO... 17221
EXPEDIENTE...

ASUNTO: HOJA NUMERO DOS.

- Para Personas Morales, Acta Constitutiva de la empresa.
- Plano de conjunto a 1000 metros alrededor del lugar de consumo y a escala de 1:4000, en que figurarán en su caso: instalaciones militares, vías de comunicación, líneas eléctricas, telefónicas, telegráficas, acueductos, gasoductos, construcciones para casa-habitación, obras de arte, zonas arqueológicas, históricas o instalaciones industriales, que pudieran ser afectadas, con los principales accidentes topográficos.
- Plano circunstanciado a escala adecuada para la localización de sus instalaciones con especificaciones.

Si la solicitud incluye almacenamiento.

- Certificado de seguridad y Referencias de los polvorines, modelos anexos que se proporcionan gratuitamente.

Entregados los documentos debidamente requisitados y que la zona militar correspondiente haya inspeccionado que reúnen las medidas de control, seguridad y vigilancia para el uso de explosivos, esta Secretaría, si están completos y correctos los documentos, normalmente entregará los Permisos a quienes los hayan solicitado, en un plazo no mayor de 10 días hábiles.

Por lo anterior, se le agradecerá hacerlo del conocimiento de sus agremiados; enfatizando que la tardanza es la obtención de los documentos que son expedidos en otras dependencias.

SUFRAGIO EFECTIVO. NO REELECCION. EL DIRECTOR.

GENERAL LOS FERRERO.

SE DESARROLLA EN EL MUNICIPIO DE...
SECRETARIA DE DEFENSA NACIONAL
CALLE DE LA PATRIOTICA 1000
C.P. 06000 MEXICO D.F.

SECRETARIA DE LA DEF. NAL.

DIR. GRAL. REG. FED. ARMAS
DE FUEGO Y EXPLOSIVOS.

REFERENCIAS DE POLVORINES

REFERENCIAS DE POLVORINES DONDE EL SOLICITANTE ALMACENARA EXPLOSIVOS, ARTIFICIOS Y/O SUBSTANCIAS QUE UTILIZARA EN OBRAS, OPERACIONES INDUSTRIALES, COMERCIALES O EN LA EXPLOTACION MINERA

POLVORINES No _____ (o ALMACEN)

NOMBRE _____

RAZON SOCIAL _____

SITUACION EXACTA DEL POLVORIN _____

Referida a puntos conocidos del terreno para facilitar su colocación.

UBICADO EN _____ ó _____
Municipio o Delegación Estado Distrito Federal

TIPO _____
Superficial Semi-enterrado Enterrado Socavón de mina Móvil

DIMENSIONES INTERIORES _____ mts. _____ mts. _____ mts. VENTILACION _____
Largo Ancho Alto

MATERIALES DE CONSTRUCCION DE _____
Cimientos Muros Piso Puertas Techo

DISTANCIAS MAS CORTAS DEL POLVORIN A: _____ mts. _____ mts. _____
Casas habitación carreteras vías

_____ mts. No _____ mts. SI O NO EXISTE BARRA DE PROTECCION A:
férreas polvorin

_____ mts. _____ mts. _____ mts. _____ mts. del polvorin
casas habitación carreteras vías férreas líneas eléctricas

ARTICULO Y CANTIDAD POR ALMACENAR _____

tratándose de explosivos, se tendrá en cuenta: capacidad y tablas de "compatibilidad" y distancia cantidad

VIGILANCIA Y SEGURIDAD _____

(describirlas)

CASA PROVEEDORA _____ PERMISO GENERAL NUMERO _____

Lugar y fecha

AUTORIZADO

NOTA: "BARRERA DE PROTECCION", SIGNIFICA CUALQUIER ELEVACION NATURAL DEL TERRENO MURALLA ARTIFICIAL DEL ESPESOR O MENOR DE UN METRO CONSTRUIDA CON TIERRA, ADOBES O SACOS TERRE- ROS O BOSQUE DE TAL DENSIDAD QUE LAS PARTES CIRCUNDANTES QUE REQUIERAN PROTECCION NO PUEDAN VERSE DESDE EL POLVORIN, AUN CUANDO LOS ARBOLES ESTEN PROVISTOS DE HOJAS,

SECRETARIA DE LA DEF. NAL.

DIR. GRAL. REG. FED. ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS.

CERTIFICADO DE SEGURIDAD

DEL

POLVORIN O ALMACEN

No. _____

EL SUSCRITO _____

PRIMERA AUTORIDAD

(Nombre y Apellido)

HACE CONSTAR Y CERTIFICA

QUE LOS POLVORINES UBICADOS EN _____

(Referidos a puntos conocidos del terreno para su fácil localización)

DESTINADOS PARA ALMACENAR. _____

(Pólvora, dinamita, explosivos al nitrato de amonio,

artificios, clorato, nitrocelulosa, nitrato de amonio, etc.)

QUE SERA UTILIZADO POR: _____

(Denominación o razón social)

CON DOMICILIO EN: _____

Localidad

Municipio

Estado

EN LA ACTIVIDAD DE _____

(Explotación de canteras, industria de la construcción, minera metalúrgica, cenillera, de

pinturas, etc)

POR SUS CONDICIONES, SITUACION Y MEDIDAS DE SEGURIDAD, SON ADECUADOS NO PRESENTAN PELIGRO PARA MANTENER EL ORDEN PUBLICO. ESTAN PROTEGIDOS CONTRA ROBOS Y GARANTIZAN LA TRANQUILIDAD DE LA POBLACION.

_____ a _____ de _____ de 19 _____

EL PRESIDENTE MUNICIPAL
(FIRMA Y SELLO)

**SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL
DIRECCION GENERAL DEL REGISTRO FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLS**

SOLICITUD DE PERMISO GENERAL PARA DEDICARSE A LA COMPRA Y CONSUMO DE EXPLOSIVOS, ARTIFICIOS Y SUBSTANCIAS QUIMICAS RELACIONADAS CON EXPLOSIVOS (ARTICULO 42 FRACCION I DE LA L.F.A.F.Y.E.)

A. DATOS DEL SOLICITANTE:

Apellido Paterno		Apellido Materno			Nombre (s)	
Fecha de Nacimiento	Sexo	Lee	Escribe	Profesion u Oficio		Nacionalidad
Calle					Número	
Ciudad, Población o Localidad					Código Postal.	
Municipio o Delegación			Estado, Distrito		Teléfono	
Referencias del Domicilio cuando se requieran.						

C. DATOS DE LA NEGOCIACION:

Denominación o Razón Social	
Calle	Número
Ciudad, Población o Localización	Código Postal
Municipio o Delegación	Estado o Distrito
Actividad a la que se dedicará	Teléfono
EXPLOSIVOS SOLICITADOS MENSUALMENTE	(CANTIDADES) Y (TIPOS)
ALTO EXPLOSIVO	_____
AGENTES EXPLOSIVOS	_____
ARTIFICIOS	_____
SUBST QUIMICAS	_____
OTROS	_____

Lugar y fecha

Firma Autorizada _____

SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL
DIRECCION GENERAL DEL REGISTRO FEDERAL DE ARMAS 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 QUIMICAS RELACIONADAS CON LOS MISMOS (ARTICULO 57 DEL REGLAMENTO DE LA LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS).

DATOS DEL SOLICITANTE

<u>PRIMER APELLIDO</u>	<u>SEGUNDO APELLIDO</u>	<u>PRIMER NOMBRE</u>	<u>SEGUNDO NOMBRE</u>
<u>FECHA DE NACIMIENTO</u>	<u>NACIONALIDAD</u>	<u>SEXO</u>	<u>LEE .ESCRIBE</u>
<u>OCUPACION</u>	<u>CALLE</u>	<u>NUMERO</u>	<u>CIUDAD, POBLACION O LOCALIDAD</u>
<u>MUNICIPIO O DELEGACION</u>	<u>ESTADO, TERRITORIO O DISTRITO</u>	<u>Z.P.</u>	<u>TELEFONO</u>

REFERENCIAS DEL DOMICILIO CUANDO LAS REQUIERA

DATOS DE LA NEGOCIACION

DENOMINACION O RAZON SOCIAL

<u>CALLE</u>	<u>NUMERO</u>	<u>CIUDAD, POBLACION O LOCALIDAD</u>
<u>MUNICIPIO O DELEGACION</u>	<u>ESTADO, TERRITORIO O DISTRITO</u>	<u>Z.P. TEL</u>

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 VERIDICOS, QUE LA FIRMA ES AUTENTICA Y LA UNICA QUE UTILIZARE EN LOS DOCUMENTOS QUE DIRIJA A LA SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL

Lugar y Fecha

Firma del solicitante

SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL
DIRECCION GENERAL DEL REGISTRO FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS
LOMAS DE SOTELO, D.F.

CERTIFICADO DE SEGURIDAD DEL LUGAR DE CONSUMO DE EXPLOSIVOS, ARTIFICIOS O SUBSTANCIAS QUIMICAS
RELACIONADAS CON LOS MISMOS. EXPEDIDO POR LA PRIMERA AUTORIDAD ADMINISTRATIVA

EL SUSCRITO _____ PRIMERA AUTORIDAD
ADMINISTRATIVA DE _____
HACE CONSTAR Y CERTIFICA

QUE _____
(Denominación o razón social)
CON DOMICILIO EN

CALLE _____ NUMERO _____ CIUDAD, POBLACION O LOCALIDAD _____

MUNICIPIO O DELEGACION _____ ESTADO, TERRITORIO O DISTRITO _____ Z P _____ TELEFONO _____

EMPLEARA LOS MATERIALES SIGUIENTES _____
(pólvora, dinamita, explosivos al nitrato de
amonio, artificios, nitrocelulosa, clorato de potasio, etc.)

TRABAJOS QUE EFECTUARA PRECISAMENTE EN EL LUGAR DE CONSUMO UBICADO EN _____
(Referido a puntos conocidos del terreno para su fácil localización)

EL CUAL POR SU SITUACION, NO REPRESENTA PELIGRO PARA LA SEGURIDAD Y TRANQUILIDAD PUBLICA

_____ a _____ de _____ de 19 _____

Setto y firma

ANEXO IX

**SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE REGISTRO Y CONTROL DE ARMAS DE
FUEGO Y EXPLOSIVOS**

Lomas de Sotelo, D.F.

Tabla de Seguridad de Distancia-Cantidad
(Materiales debidamente empacados o envasados)

Descripción del mat.	DISTANCIA EN METROS		POLVORINES CON PROTECCIÓN				
	De	A	Edificios Habitados	Vías Férreas	Caminos Carreteras	Lineas de Alta Tensión	Entre Polvorines
1. Dinamita, explosivos de amónio pólvoras negra y sin humo.	000	500	126	100	100	100	11
	500	750	146	100	100	100	13
	750	1000	160	100	100	100	14
	1000	1250	170	100	100	100	15
	1250	1500	180	100	100	100	17
	1500	2000	200	100	100	100	18
	2000	3000	230	100	100	100	20
	3000	4000	250	100	100	100	23
	4000	5000	260	110	100	100	25
	5000	6000	270	117	100	100	26
6000	7000	275	122	100	100	27	

2 Artificios . fulminantes estopines conectores cordón detonante etc.	7000	8000	285	127	100	100	28
	8000	9000	295	132	100	100	30
	9000	10000	305	137	100	100	31
	10000	12000	330	148	100	100	33
	12000	14000	350	154	105	103	35
	14000	16000	370	160	110	105	36
	16000	18000	390	168	116	112	38
	18000	20000	405	173	121	118	39
	20000	25000	445	185	135	130	43
25000	30000	480	200	145	140	46	

3. Por lo que respecta a los "artificios", únicamente se autoriza el almacenamiento en cada polverín lo equivalente a 4 tons.	30000	35000	510	208	155	150	49
	35000	40000	535	218	160	155	53
	40000	45000	550	226	166	162	56
	45000	50000	565	240	169	166	63
	50000	60000	575	250	171	168	66
	60000	70000	585	262	175	172	73
	70000	80000	605	274	182	178	80
	80000	90000	620	284	186	183	86
	90000	100000	635	294	191	188	93
100000	125000	675	378	210	208	117	

4. Nitrocelulosa 30-70 o sea 30 partes en peso de solvente por 70 partes del producto. con una nitración de 12.2% como máximo Cloratos, fósforos	000	500	115	100	100	100	10
	500	750	135	100	100	100	12
	750	1000	145	100	100	100	14
	1000	5000	235	100	100	100	23
	5000	25000	400	170	122	120	40
	25000	50000	500	215	156	150	50
	50000	75000	535	242	165	160	70
	75000	100000	570	275	170	166	85
100000	125000	607	340	190	168	110	

5 Trinitotolueno ciclonita fulminatos picratos etc.	000	500	152	125	125	125	15
	500	750	175	135	135	135	20
	750	1000	192	150	150	145	25
	1000	5000	312	165	195	160	35
	5000	25000	530	222	180	175	50
	25000	50000	675	283	200	200	75

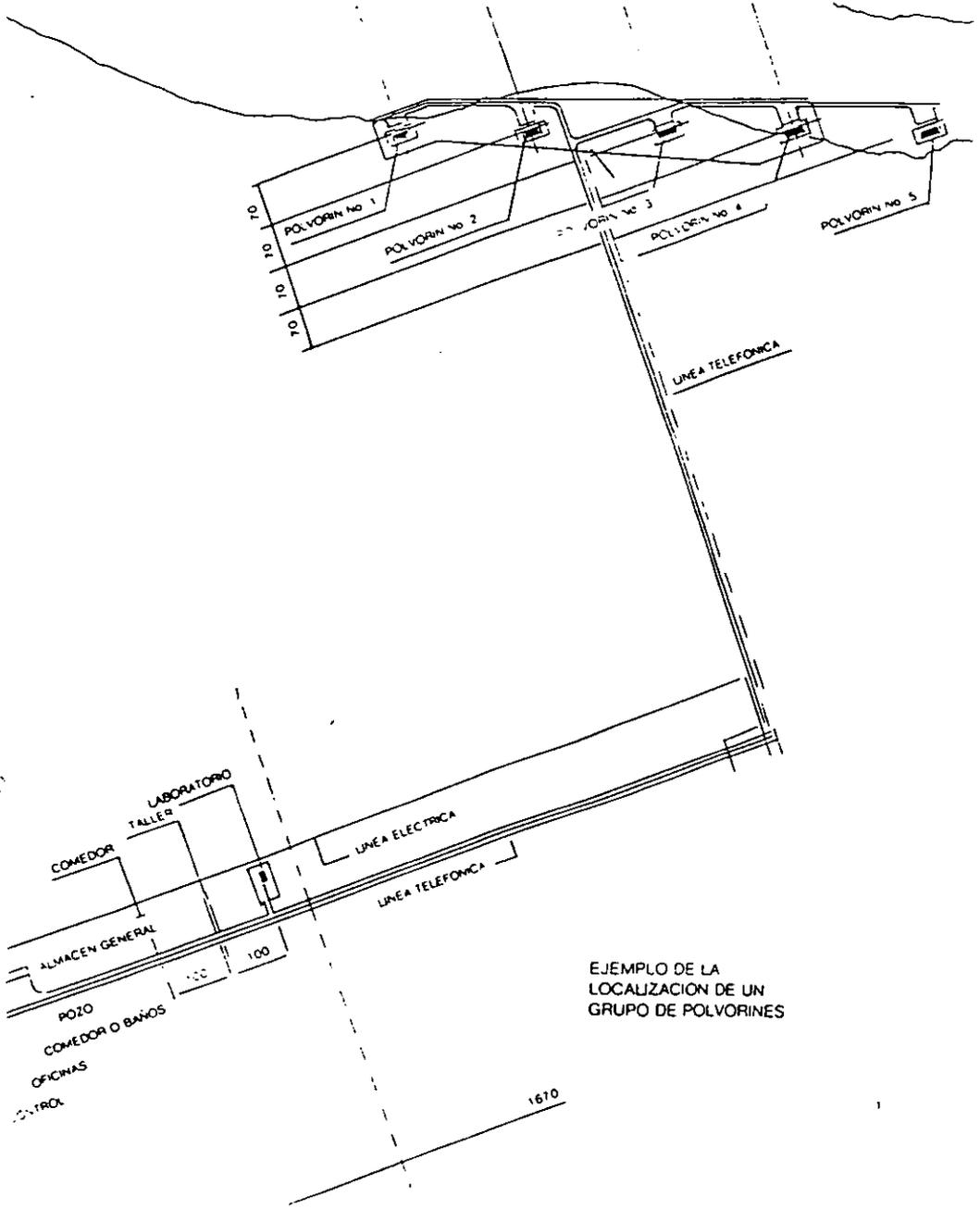
6 Artificios pirotécnicos	000	500	100	100	100	50	35
	500	1000	160	160	160	100	45
	1000	5000	200	200	200	150	55

7. Artículos A. La cantidad de artículos pirotécnicos que puedan tener en existencia es de 50 grs. por cada metro cubico de espacio libre en el depósito de pirotécnicos almacenamiento, en la inteligencia de que en los 50 grs. mencionados están incluidos la mezcla explosiva y la inerte, la capacidad total de seguridad a comercios será determinada según las ubicación de los depósitos y las dimensiones de los mismos.

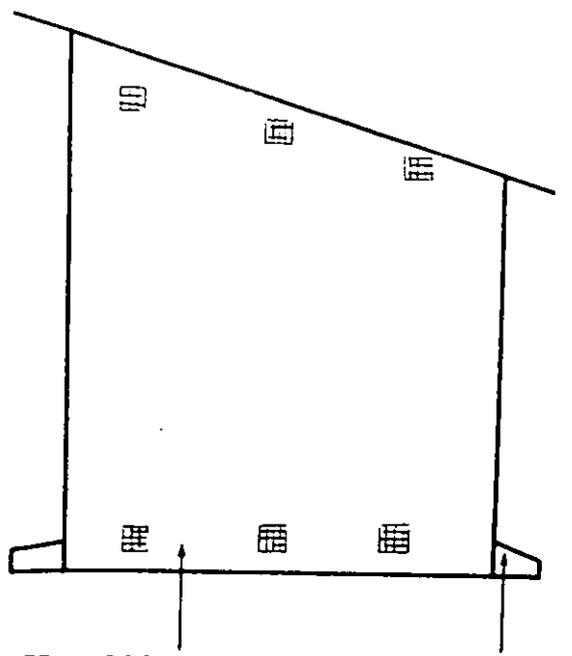
NOTA: Las distancias arriba indicadas, son para cuando los polvorines o depósitos se encuentren protegidos por obstáculos naturales o artificiales, en caso contrario las distancias aumentan en un "100%" En el interior de las fábricas únicamente se autoriza el almacenamiento de la nitrocelulosa en una cantidad máxima de 5,000 kgs. observando las distancias de la presente tabla, disminuidas en un 80%.

(continuación)

La "X" indica los materiales que pueden ser almacenados juntos sin riesgo alguno.	Nitrocarbonitratos secos	Nitrocarbonitratos ácidos	Fosgeno	Ciclonita (rdx)	Iniciadores de alta presión detonantes	Detonantes, estopines, cápsulas	Mechas de seguridad	Cordones detonantes	Cordones encendedores de mecha	Conectores detonantes	Conectores encendedores	Artificios pirotécnicos	Cargas industriales
Estopines													
Acido plúrico													
Dinitrotolueno													
Nitrosimidones													
Nitroglicerina													
Nitrocelulosa													
Nitroguanidina													
Tetral													
Pluminato de mercurio													
Nitruros de plomo, plata y cobre													
Estifanato de plomo													
Cloratos, percloratos y peróxidos													
Sodio metálico													
Magnesio en polvo													
Aluminio en polvo negro u opaco													
Fósforo													
P.E.T.N.	X			X	X			X	X				
T.N.T.													
Dinamita y amatoles	X				X			X	X				
Nitrocarbonitratos húmedos	X				X			X	X				
Nitrocarbonitratos secos	X				X			X	X				
Nitrocarbonitratos ácidos		X											
Fosgeno			X										
Ciclonita (rdx)				X	X			X	X				
Iniciadores de alta presión detonantes	X				X			X	X				
Detonantes, estopines, cápsulas						X			X	X	X		
Mechas de seguridad	X			X	X		X	X	X	X	X		
Cordones detonantes	X			X	X		X	X					
Cordones encendedores de mecha						X	X	X	X	X	X		
Conectores detonantes							X			X			
Conectores encendedores							X			X	X		
Artificios pirotécnicos												X	
Cargas industriales													

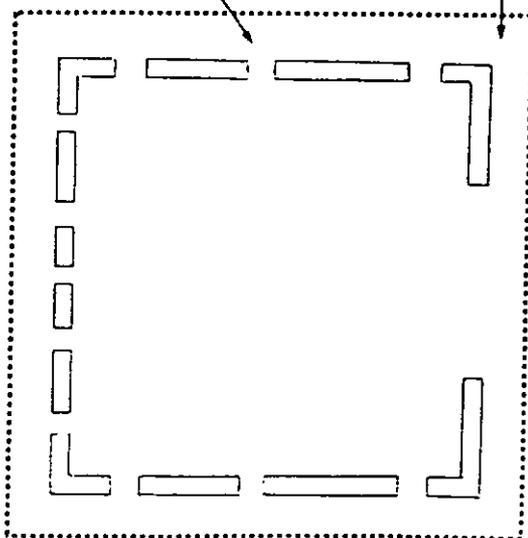


EJEMPLO DE LA LOCALIZACION DE UN GRUPO DE POLVORINES

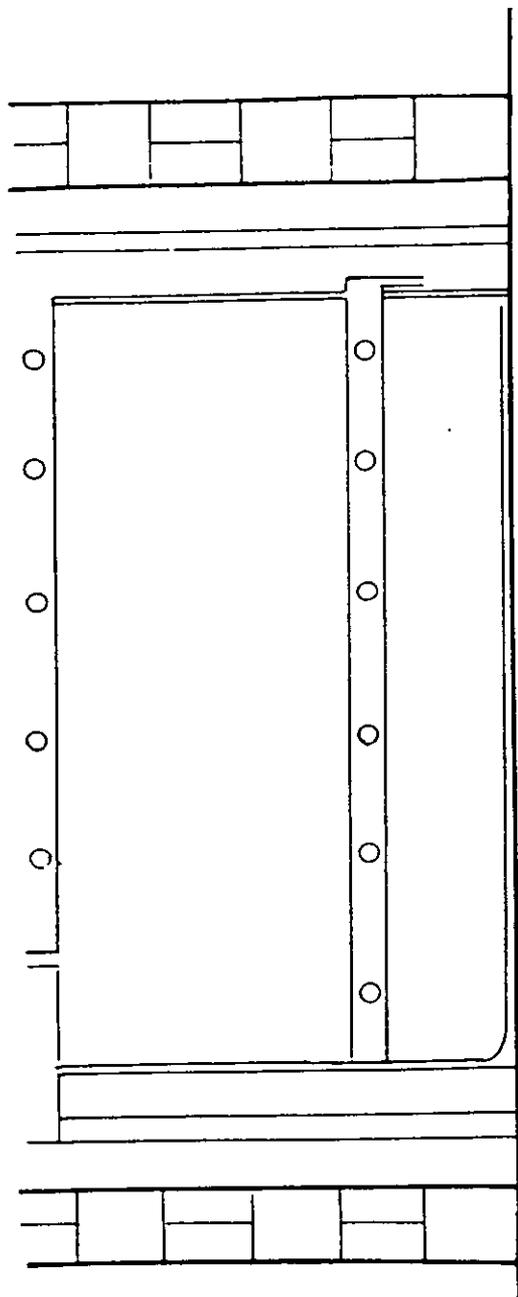


REJILLAS DE VENTILACION

BANQUETAS



CROQUIS SIN ESCALA DE LA DISPOSICION DE LAS REJILLAS DE VENTILACION

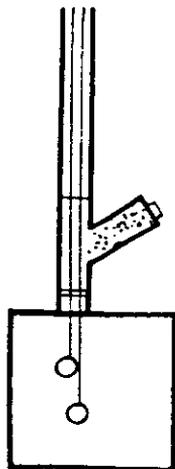


MARCO DE PUERTA
POUN DE MADERA
2 PZAS. DE 4"X8"

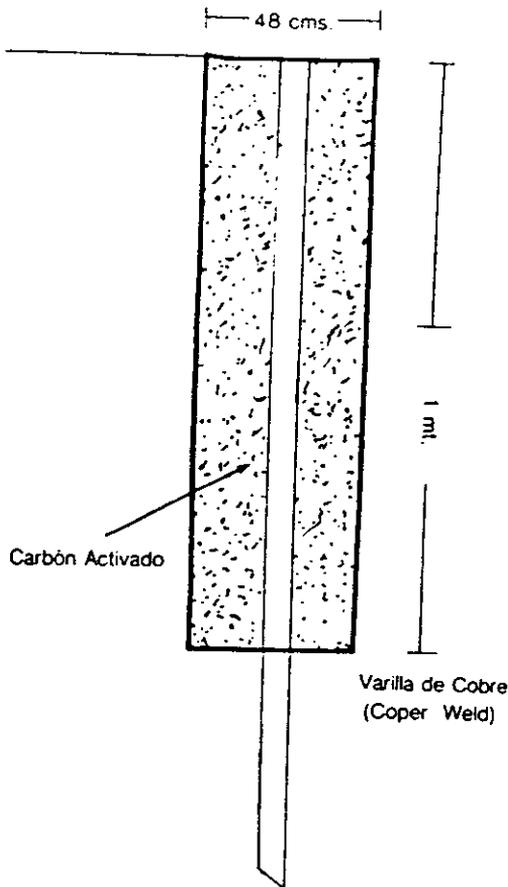


PUERTA DE ACCESO
DETALLE

- 19 — Iluminación APE Nema 9
- Controles por fuera 110 volts
- Conduit de Pared Gruesa
- Sellos EYS

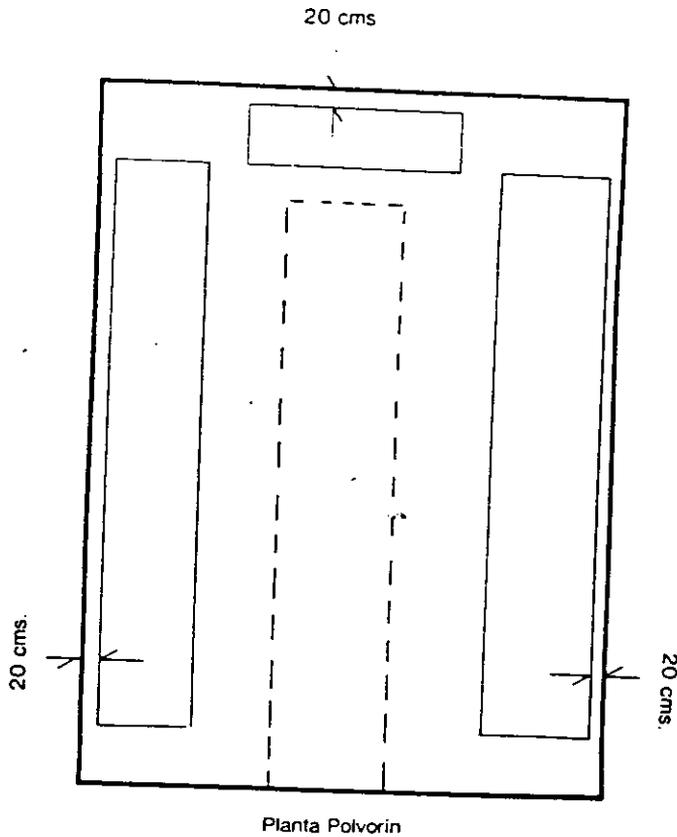


Lámparas Especiales



Detalles de tierra física

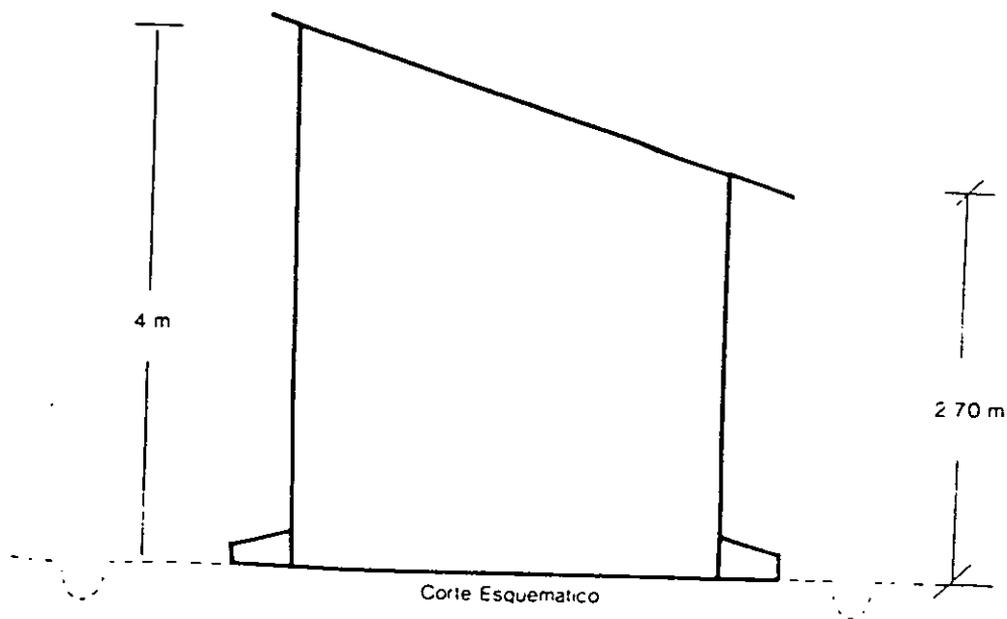
- 20.— Libro de registro de entradas y salidas
 - 21.— Copia en cuadro del permiso
 - 22.— Limite máximo de personas (letrero)
 - 23.— Anuncios:
 - 24.— Tambores de 200. con agua.
- Polvorin No. _____
- Peligro Explosivos
- Prohibido Fumar



- 11.— Separar estibas de paredes
- 12.— VIGILANCIA (24 Hrs.)
- 13.— Cercado
- 14.— Pararrayos
- 15.— Aplanado y Pintura
- 16.— Tarima de madera
- 17.— 20 mts. libre de mat. orgánica, alrededor
- 18.— Talud o protecc. natural

CARACTERISTICAS POLVORINES

- 1.— Pendiente en Banqueta
- 2.— Dren Perimetral
- 3.— Pala y Pico disponibles
- 4.— Bote de Arena
- 5.— Extinguidores (2)
- 6.— Puerta de Acero y Madera con Chapa y Candado
- 7.— Tierra Física
- 8.— Rejilla de ventilación con protección antirroedor
- 9.— Libre de Humedad
- 10.— Pisos pulidos y líneas de accesos



ANEXO XII

Factor de Carga kg/m^3

Rocas Igneas

Roca	Factor de carga kg/m^3
Riolita y Dacita	0.530 a 0.715
Granodiorita	0.590 a 0.800
Andesita	0.530 a 0.715
Diorita	0.530 a 0.770
Basalto	0.590 a 0.770
Gabro, Dolerita ó Diabasa	0.530 a 0.715

Rocas Metamórficas

Roca No Foliada	Factor de carga kg/m^3
Mármol	0.475 a 0.770
Hornfeis	0.475 a 0.715
Taconita	0.475 a 0.770
Gneiss	0.475 a 0.715
Roca Foliada	Factor de carga kg/m^3
Pizarra	0.290 a 0.475
Esquisto de Clorita	0.350 a 0.600
Micaesquisto	0.350 a 0.600

Rocas Sedimentarias

Roca	Factor de carga kg/m^3
Conglomerado	0.350 a 0.660
Brecha	0.350 a 0.600
Arenisca	0.475 a 0.770
Caliza	0.23 a 0.475
Dolomita	0.290 a 0.475

ANEXO XIII

Valores típicos de velocidad de las ondas "P" y "S"

Material	Velocidad m/s "P"	Velocidad m/s "S"	Densidad ton/m ³
Granito	3900-6100	2100-3350	2.67
Gabro	6500	3450	2.98
Basalto	5600	3050	3.00
Dunita	8000	4100	3.28
Arenisca	2400-4300	900-3050	2.45
Caliza	3000-6100	2750-3200	2.65-2.35
Lutita	1800-4000	1050-2300	---
Sal	4400-6400	---	2.30
Yeso	2100-3600	1100	2.80
Pizarra	3600-4450	2850	2.75
Mármol	5800	3500	2.085
Cuarcita	6000	---	2.80
Esquisto	4500	2900	2.065
Gneiss	4700-5600	---	1.54
Aluvión	500-2000	---	1.40
Arcilla	1100-2500	580	1.1-2.0
Suelo residual o vegetal	150-750	90-550	1.5-2.0
Material de acarreo por glaciación	400	---	1.93
Arena	1400	450	1.0
Agua	1450	0	0.9
Hielo	3350	---	---
Aire	340	0	---
Hierro	5800	3200	3.65-0
Concreto	3570	2150	2.7-3.0
Goma, Caucho, Hule	1040	27	1.15
Plástico	2350	1500	---
Celulosa	3600	1700	---

ANEXO XIV

Carga por metro (pies) de barrenación con un explosivo de densidad 1.0 g/cm³

Diámetro de barrenación		Carga		Diámetro de barrenación		Carga kg/mt.	
Pulg.	cm	lbs/pie	Kg/mt	Pulg	cm	lbs/pie	kg/mt
1	2.54	0.34	0.51	6 7/8	22.54	26.82	39.88
1 1/8	2.86	0.43	0.64	6 3/8	16.19	13.84	20.60
1 1/4	3.18	0.53	0.79	6 1/2	16.51	14.39	21.42
1 3/8	3.49	0.64	0.95	6 5/8	16.83	14.94	22.23
1 1/2	3.81	0.77	1.15	6 3/4	17.15	15.51	23.08
1 5/8	4.13	0.90	1.34	6 7/8	17.46	16.09	23.94
1 3/4	4.45	1.04	1.55	7	17.78	16.68	24.82
1 7/8	4.76	1.20	1.79	7 1/8	18.10	17.28	25.72
2	5.08	1.36	2.02	7 1/4	18.42	17.90	26.64
2 1/8	5.40	1.54	2.29	7 3/8	18.73	10.52	27.56
2 1/4	5.72	1.72	2.56	7 1/2	19.05	19.15	28.50
2 3/8	6.03	1.92	2.86	7 5/8	19.37	19.80	29.47
2 1/2	6.35	2.13	3.17	7 3/4	19.69	20.45	30.43
2 5/8	6.67	2.34	3.48	7 7/8	20.00	21.12	31.43
2 3/4	6.99	2.57	3.82	8	20.32	21.79	32.43
2 7/8	7.30	2.81	4.18	8 1/8	20.64	22.48	33.45
3	7.62	3.06	4.55	8 1/4	20.96	23.17	34.48
3 1/8	7.94	3.32	4.94	8 3/8	21.27	23.88	35.54
3 1/4	8.26	3.59	5.34	8 1/2	21.59	24.60	36.61
3 3/8	8.57	3.87	5.76	8 5/8	21.91	25.33	37.70
3 1/2	8.89	4.17	6.21	8 3/4	22.23	26.07	38.80
3 5/8	9.21	4.47	6.65	9	22.86	27.58	41.04
3 3/4	9.53	4.78	7.11	9 1/8	23.18	28.35	41.19
3 7/8	9.84	5.11	7.60	9 1/4	23.50	29.13	43.35
4	10.16	5.45	8.11	9 3/8	23.81	29.93	44.54
4 1/8	10.48	5.79	8.62	9 1/2	24.13	30.73	45.73
4 1/4	10.80	6.15	9.15	9 5/8	24.45	31.54	46.94
4 3/8	11.11	6.51	9.69	9 3/4	24.77	32.37	48.17
4 1/2	11.43	6.89	10.25	9 7/8	25.08	33.20	49.41
4 5/8	11.75	7.28	10.83	10	25.40	34.08	50.72
4 3/4	12.07	7.68	11.43	10 1/8	25.72	34.90	51.94
4 7/8	12.38	8.09	12.04	10 1/4	26.04	35.77	52.23
5	12.70	8.51	12.66	10 3/8	26.35	36.65	54.54
5 1/8	13.02	8.94	13.30	10 1/2	26.67	37.54	55.87
5 1/4	13.34	9.38	13.96	10 5/8	26.99	38.44	57.21
5 3/8	13.65	9.84	14.64	10 3/4	27.31	39.35	58.56
5 1/2	13.97	10.30	15.33	10 7/8	27.62	40.27	59.93
5 5/8	14.29	10.77	16.03	11	27.94	41.20	61.31
5 3/4	14.61	11.26	16.76	11 1/8	28.26	42.14	62.71
6	15.24	12.26	18.25	11 1/4	28.58	43.09	64.13
6 1/8	15.56	12.77	19.00	11 3/8	28.89	44.05	65.66
6 1/4	15.88	13.30	19.79	11 1/2	29.21	45.03	67.01

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Bartolomé, Francisco, Los explosivos y sus aplicaciones, Ediciones J.E.N., Madrid, España, 1972.

Du Pont S.A. de C.V., Guía para el uso de explosivos, México D.F., 1978.

Du Pont S.A. de C.V., Manual técnico de explosivos, México D.F., 1987.

ICI Explosivos México, Prontuario sobre explosivos, México D.F., 1996.

EMULGEL Explosivos, Datos técnicos, México D.F., 1996.

PRIMADET, Sistemas y tipos de aplicaciones, Gómez Palacio, Dgo, Méx., 1995.

Llorente Gómez, Emilio, Estudio de los explosivos industriales, Ediciones Interciencia, Madrid, España, 1963.

Alcaraz Lozano, Federico, Los explosivos en la construcción, Fundación Para la Enseñanza de la Construcción, México D.F., 1990.

Explosives and Rock Blasting, Atlas Powder Company, Dallas, Tx., USA, 1987.

Langetor U., Kihlström B, Técnica moderna de voladuras de roca, Ediciones URMO, Bilbao, España, 1971.

Gregory C.E., Explosives for North American Engineers, Trans Tech Publications, Clausthal, Germany, 1973.

Barsalou E., Conformado por explosivos, Editorial CEDEL, Barcelona, España, 1963.

Uso de explosivos en obras de Ingeniería Civil, SMMR, México D.F., 1997.

Tunón Suárez, Carlos, Manual de uso de explosivos en minas, canteras e Ingeniería Civil, Editorial Omega, Barcelona, España, 1988.