

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



PRESENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADUACIÓN:

"MANUAL PARA LA PLANEACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE VOLADURAS A PEQUEÑA ESCALA EN OBRAS CIVILES."

DOCENTE DIRECTOR:

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS

PRESENTA:

DENIS MANRIQUE CASTRO RAMOS

PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL.

LUGAR Y FECHA:

MARTES 2 DE JULIO DE 2013, HORA: 10 am

EDIFICIO DE BIBLIOTECA, SALA DE CONFERENCIA N°2.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

AUTORIDADES:

RECTOR:

Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

VICERRECTOR ACADÉMICO:

Maestra. Ana María Glower de Alvarado

SECRETARIO GENERAL:

Dra. Ana Leticia de Amaya

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

AUTORIDADES:

DECANO:

Lic. Cristóbal Hernán Ríos Benítez

VICEDECANO:

Lic. Carlos Alexander Díaz

SECRETARIO:

Lic. Jorge Alberto Ortez Hernández

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA:

Ing. Luis Clayton Martínez

COORDINADORA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN:

Ing. Milagro de María Romero de García

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

COORDINADORA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN.

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA

f. _____

DOCENTE DIRECTOR

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS

f. _____

AGRADECIMIENTOS.

A Dios todopoderoso quien me dio el entendimiento para desarrollarme según la situación académica.

A toda mi familia que siempre me apoyo para alcanzar mi objetivo que es la finalización de mis estudios superiores.

A todos los docentes que impartieron todas las materias para mi formación académica.

A las autoridades que promueven el estudio en todo el país, además de todas las amistades formadas dentro y fuera de la universidad, quienes de alguna manera contribuyeron hacia mi superación.

ÍNDICE

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y METODOLOGÍA.

	pagina
1.0 Introducción.....	1
2.0 Planteamiento del problema.....	2
➤ 2.1 Situación problemática.....	2
➤ 2.2 Enunciado del problema.....	2
3.0 Justificación.....	3
➤ 3.1 Ámbito Ingenieril.....	3
➤ 3.2 Ámbito ambiental.....	3
➤ 3.3 Ámbito académico.....	3
4.0 Objetivos de la investigación.....	4
➤ 4.1 Objetivo general.....	4
➤ 4.2 Objetivos específicos.....	4
5.0 Alcances.....	5
6.0 Limitaciones.....	6
7.0 Antecedentes históricos.....	7
8.0 Metodología de la investigación.....	9
➤ 8.1 Recopilación y revisión de la información.....	9
➤ 8.2 Planteamiento del marco teórico relacionado con la investigación	9
➤ 8.3 Desarrollo de diferentes temas propuestos en la investigación.....	9
➤ 8.4 Obtención y análisis de los resultados de la investigación para desarrollar conclusiones.....	9
➤ 8.5 Recursos humanos.....	10
➤ 8.6 Recurso bibliográfico.....	10
➤ 8.7 Recurso económico.....	10

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Explosivos industriales.....	11
➤ 2.1.1 Agentes explosivos.....	12
➤ 2.1.2 Explosivos convencionales.....	12
➤ 2.1.3 Agentes explosivos secos.....	12

2.2 Nitrato de amonio.....	14
2.3 ANFO.....	16
2.4 ALANFO.....	22
2.5 HIDROGELES.....	23
2.6 EMULSIONES.....	28
2.7 ANFO pesado.....	33
2.8 Explosivos gelatinosos.....	39
2.9 Explosivos pulverulentos.....	40
2.10 Explosivos de seguridad.....	41
2.11 Pólvara.....	42
2.12 Explosivos de dos componentes.....	42

**CAPITULO III:
MANUAL PARA LA PLANEACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL
DE CALIDAD DE VOLADURAS A PEQUEÑA ESCALA EN
OBRAS CIVILES.**

3.0 Contenido del manual.....	44
➤ 3.1 Propiedades de los explosivos.....	45
3.2 Selección de un explosivo según características ambientales.....	46
➤ 3.2.1 Sensibilidad.....	46
➤ 3.2.2 Resistencia de la temperatura.....	47
➤ 3.2.3 Ciclado del nitrato de amonio.....	47
➤ 3.2.4 Almacenamiento del nitrato de amonio.....	48
➤ 3.2.5 Resistencia al agua.....	49
3.3 Selección de un explosivos según característica de desempeño.....	52
➤ 3.3.1 Flamabilidad.....	52
➤ 3.3.2 Sensitividad.....	52
➤ 3.3.3 Velocidad de detonación.....	53
➤ 3.3.4 Presión de detonación.....	53
➤ 3.3.5 Densidad.....	53
➤ 3.3.6 Potencia.....	54
➤ 3.3.7 Cohesividad.....	54

3.4 Equipo, herramientas y materiales.....	54
➤ 3.4.1 Equipos.....	55
➤ 3.4.2 Herramientas.....	55
➤ 3.4.3 Materiales.....	57
✓ 3.4.3.1 Cartucho de dinamita.....	59
✓ 3.4.3.2 Nitrato de amonio.....	59
✓ 3.4.3.3 Armadas.....	59
➤ 3.4.2 Pedido de explosivos.....	65
➤ 3.4.3 Manejo de explosivos.....	65
➤ 3.4.4 Proceso de carga y disparo.....	65
✓ 3.4.4.1 Limpieza del taladro.....	65
➤ 3.4.5 Conexión armada diagonal dinamita.....	66
➤ 3.4.6 Proceso de carga a los taladros.....	66
➤ 3.4.7 Conexión con alambre conector.....	69
➤ 3.4.8 Disparo.....	70
3.5 Condiciones generales e instrucciones de los explosivos.....	71
➤ 3.5.1 Diseño de voladura.....	71
➤ 3.5.2 Estudio previo a la voladura.....	71
➤ 3.5.3 Programación y notificación.....	73
➤ 3.5.4 Letreros, advertencias de voladura y control del acceso.....	73
3.6 Control de efectos adversos.	74
➤ 3.6.1 Aire producido por la voladura.....	75
➤ 3.6.2 Lanzamiento de rocas.....	82
➤ 3.6.3 Vibraciones del macizo rocoso.....	86
➤ 3.6.4 Ruido.....	91
➤ 3.6.5 Polvo.....	92
➤ 3.6.6 Gases.....	95
3.7 Riesgo vinculados a la detonación de explosivos.....	100
3.8 Accidentes con explosivos.....	102
3.9 Riesgo predominantes en el disparo.....	103
➤ 3.9.1 proyección de fragmentos a distancia.....	103

➤ 3.9.2 Riesgos usuales.....	104
3.10 Tiros fallados.....	105
➤ 3.10.1 Medidas a tomar con los tiros fallados.....	105
➤ 3.10.2 Eliminación de tiros fallados.....	105
➤ 3.10.3 Recomendaciones para tiros fallados.....	106
➤ 3.1.4 Esquema de zonificación de peligrosidad en excavación con explosivos.....	107
3.11 Ejemplo del uso de explosivo (ANFO), proyecto que se realizó en San Francisco Gotera, Departamento de Morazán, El Salvador, Centro América.....	108
3.12 Recomendaciones propuesta para este ejemplo de voladura.....	117

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.....	118
4.2 Recomendaciones.....	119
4.3 Referencias bibliográficas.....	120
4.4 Anexo.....	121
➤ 4.4.1 Norma de los explosivos.....	121
➤ 4.4.2 Especificaciones técnicas de los explosivos.....	122
➤ 4.4.3 Criterios técnicos.....	126
➤ 4.4.4 Ley de armas y explosivos en El Salvador.....	128

ÍNDICE DE FIGURAS.

CAPITULO II

Figura/Contenido.....	Pagina
2.1 Agentes explosivos secos con base de Nitrato Amónico.....	13
2.2 Gránulos de Nitrato Amónico.....	16
2.3 Variación de la energía termodinámica y velocidad de detonación del anfo con el contenido de gas – oil.....	17
2.4 Procedimiento de laboratorio para medir el porcentaje de gas - oil.....	18
2.5 Sensibilidad del anfo a la iniciación.....	19
2.6 Influencia del contenido de agua sobre la velocidad de detonación.....	20
2.7 Influencia del diámetro de la carga sobre la velocidad de detonación....	21
2.8 Efecto del aluminio sobre la energía desarrollada con respecto a una misma cantidad de anfo.....	22
2.9 Diagrama de principales tipos de explosivos acuosos obtenidos apartir del Nitrato Amónico.....	24
2.10 Influencia de la densidad de los hidrogeles sobre la velocidad de detonación y sensibilidad.....	27
2.11Resumen en el orden cronológico de aparición de los explosivos.....	28
2.12 Dimensiones de los oxidantes en los explosivos (bampfield y Morrey, 1984).....	29
2.13 Estructuras de emulsiones.....	30
2.14 Composición básica de una emulsión (Bampfield y morrey 1984).....	31
2.15 Esquema de producción de emulsiones.(Bampfield y morrey 1984).....	32
2.16 Estructura del ANFO pesado.....	33
2. 17 Características de carga y resistencia al agua de diferentes tipos de ANFO pesado. (Du Pont, 1985).....	34
2.18 Variación de la potencia y densidad de un ANFO pesado según su porcentaje de emulsiona.....	35

2.19 Variación de la sensibilidad del ANFO pesado con el porcentaje de emulsión de la mezcla.....	36
2.20 Efecto de la adicción a un ANFO pesado 70;30 (ANFO/emulsion) sobre las diferentes propiedades características.....	36
2.21 Tabla que muestra las potencias del ANFO.....	37
2.22 Potencias relativas obtenidas con diversos porcentajes de aluminio contenido en ANFOS pesados.....	38
2.23 Preparación de un cartucho de explosivo binario.....	43

CAPITULO III

Figura/contenido.....	Pagina
3.1 selección de explosivos.....	45
3.2 ciclado de nitrato de amonio.....	47
3.3 Resistencia al agua.....	50
3.4 Problemas de vapores (humos rojos) que indican posible deterioro del explosivo.....	51
3.5 Manguera antiestática.....	55
3.6 cucharilla.....	55
3.7 taqueador.....	56
Figura3.8 chuchillo.....	56
3.9 Punzo de madera.....	56
3.10 Cartucho de dinamita.....	57
3.11 ANFO.....	57
3.12 Alambre conector.....	57
3.13 Fósforos.....	57
3.14 Armadas, mechas de seguridad con fulminante.....	58
3.15. Nitrato de Amonio más diesel.....	60
3.16 Nitrato de amonio y diesel.....	61
3.17 Vaciado de diesel al nitrato de amonio.....	61
3.18 Mezcla de nitrato de amonio y diesel.....	62

3.19	Iniciador (Fulminante).....	63
3.20	Conectores.....	64
3.21	Alambre conector.....	64
3.22	Limpiar las irregularidades en el taladro con taqueador de madera.....	66
3.23	Perforación de dinamita con distinto tipo de punzón.....	67
3.24	Conexión de fulminante a dinamita.....	67
3.25	Cargado de dinamita al taladro.....	68
3.26	Cargado de anfo al taladro.....	68
3.27	Conexión del cordón de ignición al conector.....	69
3.28	Cuadro de variables de chorro de aire.....	80
3.29	Ejemplos de malla para voladura.....	85
3.30	Vibraciones máximas.....	88
3.31	Velocidad de partícula pico.....	89
3.32	Golpe o impacto.....	101
3.33	Compresión.....	101
3.36	Fricción.....	101
3.37	Contacto.....	101
3.38	Simpatía.....	101
3.39	Inducción eléctrica.....	101
3.40	presencia de gases.....	104
3.41	Piedras inestables.....	104
3.42	Tiros fallados.....	104
3.43	Explosivos no detonados.....	104
3.44	Lugar donde se utilizara los explosivos para fragmentar estratos de lecho recoso.....	113
3.45	Obstáculo a detonar.....	114
3.46	Proceso de taladro.....	115
3.47	Perforación culminada y lista para cargar con ANFO.....	116
3.48	ANFO a utilizar.....	117
3.49	ANFO “tiros marca COBRA”.....	118

3.50 Colocación de ANFO más armada.....	119
3.51 Armada completa.....	120
3.52 Fragmentos de roca en el sitio deseado.....	121



CAPITULO I
PLANTEAMIENTO DEL
PROBLEMA Y METODOLOGÍA

1.0 Introducción.

El presente trabajo se muestra un manual para la planeación, ejecución y control de calidad de voladuras a pequeña escala en obras civiles, principalmente tenemos que saber los materiales explosivos más comunes usados en los diferentes tipos de voladuras, hay que tener en cuenta que los explosivos están presentes en los trabajos de minería, la construcción y la industria, tanto es así, que su uso lo hace muy peligroso si no se manipulan de acuerdo a las normas establecidas. Su mal uso ha causado muchos accidentes graves y muy peligrosos, es por esto que el conocerlo y estudiarlos nos dan una ventaja a la hora de relacionarnos con ellos. Los explosivos se usan para romper, destruir o debilitar materiales de gran dureza, normalmente rocas o en demoliciones en obras civiles. El uso de los explosivos industriales en determinadas fases de la construcción de las obras públicas, o en edificación, constituye una herramienta irremplazable para su economía y eficacia.

Los explosivos convencionales y los agentes explosivos poseen propiedades diferenciadoras que los caracterizan y que se aprovechan para la correcta selección, atendiendo al tipo de voladura que se desea realizar y las condiciones en que se debe llevar a cabo. Las características más importantes son: potencia y energía desarrollada, velocidad de detonación, densidad, presión de detonación, resistencia al agua y sensibilidad. Otras propiedades que afectan al empleo de los explosivos y que es preciso tener en cuenta son: los humos, la resistencia a bajas y altas temperaturas, la de sensibilización por acciones externas, etc.

En algunos casos, como por ejemplo excavaciones y demoliciones, las voladuras son de ámbito urbano, estas técnicas modernas han alcanzado altos niveles de definición que garantizan la eficacia del uso de explosivos en aplicaciones muy diversas.

Como el empleo de explosivos requiere técnicas especializadas para cada condición de trabajo y tipo de roca, es necesario contar con personal idóneo, responsable y bien preparado para utilizarlos.

2.0 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

2.1 Situación problemática.

En la actualidad existen proyectos donde la maquinaria (retro excavadora, pala mecánica, roto martillo, etc.) no cumple con la demanda o los rendimientos ni la necesaria para cumplir con tiempos contractuales, o ir conforme a un cronograma de trabajo, es por esta situación los constructores han estudiado la eficacia que brinda la detonación de voladuras de una manera o metodológicamente lógica y a la vez ordenada. La diversidad de tecnologías constructivas, hoy en día, ha abierto nuevas investigaciones para la solución de problemas que se enfrentan en las diversas formas constructivas, en este caso en obras civiles como lo son excavación de rocas, túneles, poli-educto, obras de paso, perforaciones, etc.

Con esta información vamos formando una idea o muchas hipótesis cómo será el método o qué tipo de herramientas a utilizar dado que cualquier manera siempre hay necesidad de nuevas tecnologías aplicables en la gran rama de la ingeniería civil.

Nuevas especificaciones técnicas, comprobadas y valoradas en tiempo contractual, economía, hace que tengamos la necesidad de estar a la vanguardia de los nuevos avances, siempre cumpliendo con normas nacionales e internacionales o requerimientos mínimos de seguridad, e ahí la necesidad de los conocimientos de los explosivos como nueva herramienta para el desarrollo nuestro país.

2.2 Enunciado del problema.

La ausencia de un documento que recopile o consolide la manera de un buen uso de lo que son los explosivos como una herramienta alternativa para aplicar en diferentes proyectos ingenieriles.

3.0 JUSTIFICACIÓN.

Vigentemente en nuestro país (El Salvador) utilizamos una diversidad de equipos, manuales, mecánicos y hoy computarizados, que simplemente los utilizamos para mayor productividad o mayor eficiencia, la cual demuestra que siempre tenemos necesidades que debemos solventar con forme al tiempo transcurrido.

Este manual de usos de explosivos será practico y fácil de entender para abrir soluciones a problemas de grandes dificultades en excavaciones o diversas obras civiles donde surge la necesidad de demoler, excavar, perforar, nivelar etc. Por tanto lo podemos ver desde diferentes puntos:

3.1 Ámbito Ingenieril.

Desde un punto de vista ingenieril nuestra facultad tendría entre sus archivos un documento investigativo vanguardista como el que realizan todos el estudiantado para de dicha manera ir completando o aumentar el grado de información que esta universidad a través de las ideas de estudiantes pueda servirle a tanto como a comunidades como a profesionales. El estudio de utilizar voladuras (explosivos) justifica mejoras en la productividad en relación con el tiempo.

3.2 Ámbito Ambiental.

En este ámbito el uso de explosivos no es muy impactante con respecto al ambiente dado que los explosivos utilizados solo son para la extracción de mantos rocosos dado que la composición química de estos es de cierta manera pasajera o por decirlo así no contaminan a ni una vio diversidad.

3.3 Ámbito académico.

Con la siguiente información recopilada en este manual tendríamos una herramienta teórica, para la comprensión de cómo se pueden usar los explosivos más comunes en las voladuras de montañas, rocas, etc.

4.0 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

4.1 OBJETIVO GENERAL.

- Se elaboró un manual para la planeación, ejecución y control de calidad de voladuras a pequeña escala en obras civiles.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Se caracterizó los tipos de explosivos más aplicados en obra civiles como puede ser excavaciones, perforaciones y nivelaciones de terreno, etc.
- Se describieron los aspectos de seguridad en el uso de explosivos para voladuras.
- Se presentó el manejo del control de calidad de voladuras en obras civiles de pequeña escala.

5.0 ALCANCES.

- Se presento un manual para la planeación, ejecución y control de calidad de voladuras a pequeñas escalas en obras civiles.

- Se presentaron los procedimientos legales para poder utilizar dichos explosivos.

- Se demostraron los tipos de explosivos que son los más utilizados especialmente para la voladuras en pequeñas obras civiles

- Se dieron a conocer los principales reglamentos de seguridad al momento de aplicar una voladura.

- Se comprobó la calidad de materiales y eficacia en las voladuras en pequeñas obras civiles.

- Se cumplieron todos los alcances que fueron propuestos en el tema.

6.0 LIMITACIONES.

- En esta investigación se estudió el uso de explosivos más comunes en nuestro medio, siempre y cuando sean legales.

- En este tipo de tipo de investigación una de las limitan de mayor caracter es que las instituciones que regulan o distribuyen los explosivos nos les dan los seguimientos necesarios para un buen uso

- No se incluirá un diseño completo de voladura.

- Se demostró el proceso de colocación y ejecución de los explosivos para la voladura, teniendo en cuenta todas las medidas de seguridad que se requieren para realizar este tipo de trabajo.

- Incluye parámetros para realizar un diseño de voladura ya que las fórmulas para obtenerlos no son ajenos a nuestros conocimientos.

7.0 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

El origen de los explosivos se pierde en la historia. El crédito a su existencia fue otorgado a los chinos y árabes, quienes utilizaban los explosivos esencialmente para cohetes y fuegos pirotécnicos. El uso de los explosivos se registra en la historia alrededor del año 660 A.C. La primera mención documentada del salitre o nitro, ingrediente básico de la pólvora negra se encuentra en escritos del siglo XIII D.C. En la mitad del siglo XII Roger Bacon, monje inglés, escribió una protección contra un hechizo, en el cual bosqueja los ingredientes de una mezcla que consistía de salitre, azufre y madera de avellano a la que llamo pólvora negra.

Más tarde en ese mismo siglo, la pólvora del monje. Berthold Schwartz fue creada usando la pólvora negra para impulsar piedras de un arma que el invento. La pólvora negra rápidamente se convertía en un promotor e impulsor de las armas y se empezó a usar también para las operaciones mineras comerciales. El primer trabajo de voladura de roca, se tiene conocimiento que fue efectuado en las minas reales de Hungría en el año de 1627.

La pólvora negra fue el principal explosivo militar durante mucho tiempo, posteriormente fue reemplazada por la pólvora sin humo, también llamada pólvora de algodón o nitrocelulosa, la cual fue descubierta en 1838 y se produce por la acción del ácido nítrico fuerte sobre el algodón ordinario. En 1846, Ascanio Sobrero, profesor de la Universidad de Turín, descubrió la nitroglicerina al mismo tiempo que Christian Frederich Shoenbein, un profesor de la Universidad de Basle en Suiza, produjo un nitro algodón llamado algodón pólvora. En 1886 Alfredo Nobel, químico e industrial sueco y creador de los premios Nobel que llevan su nombre, fabrico por primera vez la dinamita. A raíz de una explosión de nitroglicerina que mato a su hermano y 4

personas más, se concentro en la tarea de crear un procedimiento para manipular con seguridad la nitroglicerina. Esto lo logro al mezclar el explosivo liquido (nitroglicerina) con un material absorbente. La combinación resultante solo explotaba cuando se utilizaban detonadores eléctricos o químicos.

El descubrimiento y uso de la dinamita, desplazo a la antigua pólvora negra y logro que muchas actividades inherentes al mundo de la construcción y la minería, progresaran a una velocidad sin precedentes en la historia. Asimismo, fue de gran utilidad en la industria militar lo cual, paradójicamente, hizo que el Sr.Nobel se hiciera acreedor al epíteto mercader de la muerte. A partir del siglo XX y los impresionantes avances científicos y tecnológicos realizados hasta nuestros días, el mundo de los explosivos también se vio involucrado.

Las dinamitas han cedido terreno a los modernos explosivos como lo son los hidrogeles, slorries y emulsiones. En la actualidad, el control y la precisión que se ha obtenido de los mismos, permite que sean aplicados con mayor seguridad y que se aumente su eficiencia y productividad gracias a todo este pequeño relato tenemos un arma más para realizar obras civiles.

8.0 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

8.1 Recopilación y revisión de la información:

Lo primero que se hará será recolectar la mayor información posible del tema en estudio, luego se analizará y revisará dicha información para tener una mejor idea y tener una mayor comprensión de lo que se está estudiando y así lograr los objetivos que me e propuesto.

8.2 Planteamiento de marco teórico relacionado con la investigación:

Una vez recolectada la información, se procederá a plantear los conceptos básicos que regirán mi investigación, así como la terminología empleada en el proceso, lo cual servirá como base para sustentar los diferentes criterios y procesos que se plantearan y desarrollaran.

8.3 Desarrollo de los diferentes temas Propuesto en la Investigación:

Se recolectará la mayor información posible sobre los temas planteados, dicha información será la obtenida por medio de las entidades relacionadas con nuestro tema así como la investigada a través de los libros y demás recurso bibliográficos, toda la información será estudiada y analizada la cual servirá para desarrollar los capítulos planteados y así poder cumplir los objetivos propuestos.

8.4 Obtención y análisis de los resultados de la investigación para desarrollar conclusiones:

Con la culminación de los temas de la investigación se podrá desarrollar las diferentes conclusiones, así como las posibles recomendaciones que daremos a la investigación.

8.5 Recurso humano.

Para la investigación, la mayor parte de las actividades serán realizadas por investigaciones por parte del alumno así como el aporte del conocimiento del Docente Director y consulta a profesionales conocedores del tema.

Todas las actividades serán revisadas y evaluadas por un Docente Director antes de pasar a la siguiente fase.

8.6 Recurso material bibliográfico.

También el recurso bibliográfico será consultado en las diferentes bibliotecas de las Universidades que proporcionen la información relacionada con el tema de investigación.

El internet y uso de portátiles también es fuente bibliográfica y de referencia con los temas que se pretenden investigar, y la económica de llegar al conocimiento de otros países.

La fuente de información proporcionada por instituciones nacionales como internacionales sumara a la investigación y aporte para los lograr los objetivos propuestos.

8.7 Recurso económico.

Los gastos que se incurran para el desarrollo de este estudio sean en su totalidad costeados por el estudiante, tales como libros, papelería, computadores, transporte, copias, consultas, etc., etc. A no ser que alguna institución en el desarrollo de este decida participar en el desarrollo de esta investigación.



***CAPITULO II:
FUNDAMENTO TEÓRICO***

2.0 FUNDAMENTO TEÓRICO.

2.1 EXPLOSIVOS INDUSTRIALES:

Los explosivos químicos industriales se clasifican en dos grandes grupos según la velocidad de su onda de choque:

a) Explosivos Rápidos y Detonantes. Con velocidades entre 2.000 y 7.000 m/s.

b) Explosivos Lentos y Deflagrantes. Con menos de 2.000 m/s.

Los deflagrantes comprenden a las pólvoras, compuestos pirotécnicos y compuestos propulsores para artillería y cohetería, casi sin ninguna aplicación en la minería o ingeniería civil, salvo en el caso de rocas ornamentales.

Los explosivos detonantes se dividen en *Primarios* y *Secundarios* según su aplicación. Los Primarios por su alta energía y sensibilidad se emplean como iniciadores para detonar a los Secundarios, entre ellos podemos mencionar a los compuestos usados en los detonadores y multiplicadores (fulminato de mercurio, pentrita, hexolita, etc.).

Los Secundarios son los que se aplican al arranque de rocas y aunque son menos sensibles que los Primarios desarrollan mayor trabajo útil.

Estos compuestos son mezclas de sustancias explosivas o no, cuya razón de ser estriba en el menor precio de fabricación, en el mejor balance de oxígeno obtenido, y en las características y propiedades que confieren los ingredientes a las mezclas en lo relativo a sensibilidad, densidad, potencia, resistencia al agua, etc.

Los explosivos industriales de uso civil se dividen a su vez en dos grandes grupos, que en orden de importancia por nivel de consumo y no de aparición en el mercado son:

2.1.1 Agentes Explosivos:

Estas mezclas no llevan, salvo algún caso, ingredientes intrínsecamente explosivos. Los principales son:

- Anfo
- Alanfo
- Hidrogeles
- Emulsiones
- AnfoPesado

2.1.2 Explosivos Convencionales:

Precisan para su fabricación de sustancias intrínsecamente explosivas que actúan como sensibilizadores de las mezclas. Los más conocidos son:

- Gelatinosos
- Pulverulentos
- De Seguridad

En este trabajo se exponen las características básicas de cada explosivo, las sustancias constituyentes y la influencia de diferentes parámetros sobre la eficiencia alcanzada en las voladuras de rocas.

2.1.3 Agentes explosivos secos

Este grupo engloba, como ya se ha indicado, todos aquellos explosivos que no son sensibles al detonador y en cuya composición no entra el agua. El factor común es en todos ellos el Nitrato Amónico, por lo que seguidamente se analizarán algunas de sus propiedades.

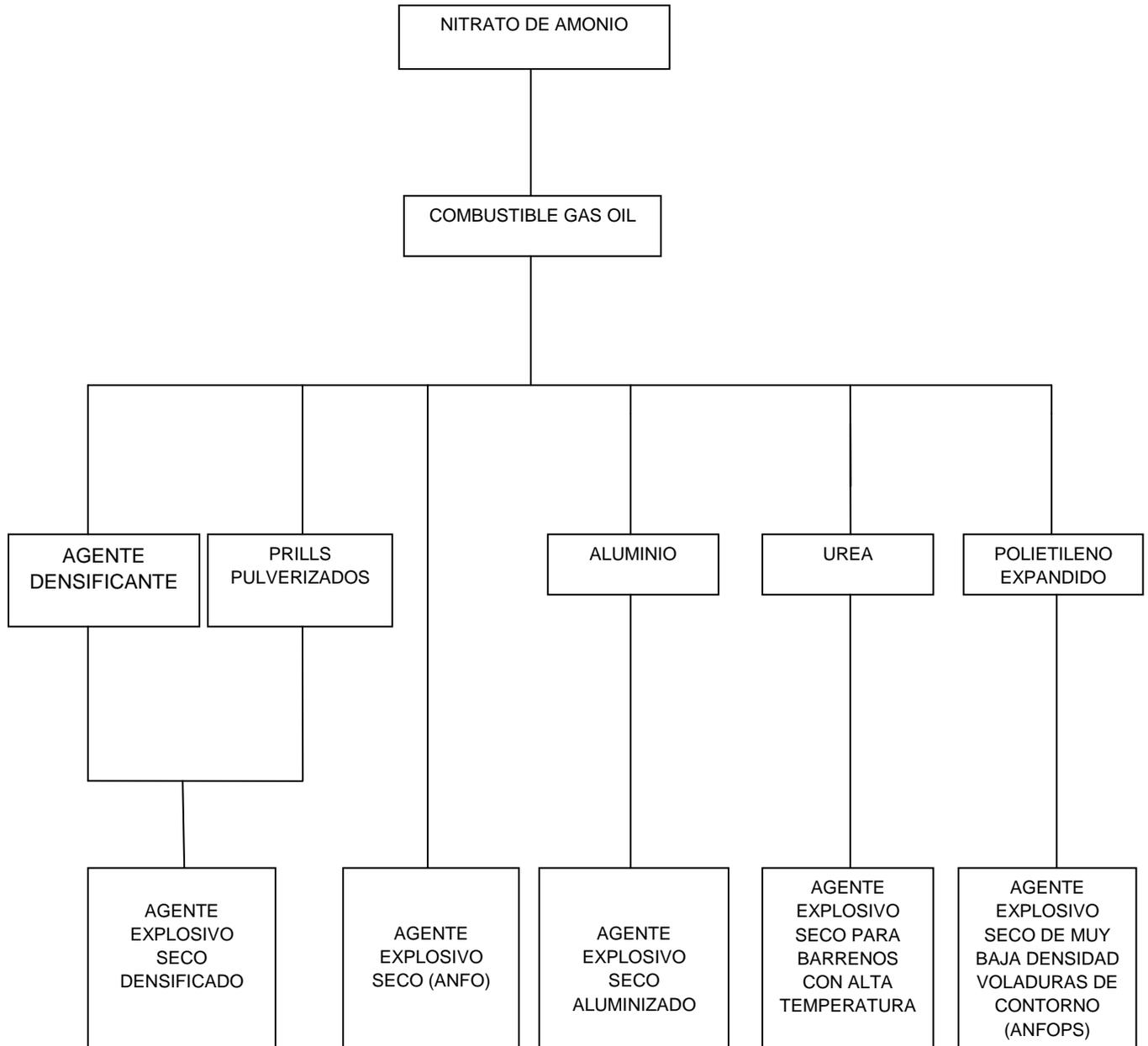


Figura2.1 Agentes explosivos secos con base de Nitrato Amónico.(Bampffield y morrey 1984)

2.2 NITRATO AMÓNICO.

El Nitrato Amónico (NH_4NO_3) es una sal inorgánica de color blanco cuya temperatura de fusión es $160,6^\circ\text{C}$. Aisladamente, no es un explosivo, pues sólo adquiere tal propiedad cuando se mezcla con una pequeña cantidad de un combustible y reacciona violentamente con él aportando oxígeno. Frente al aire que contiene el 21% de oxígeno, el NA posee el 60%.

Aunque el NA puede encontrarse en diversas formas, en la fabricación de explosivos se emplea aquel que se obtiene como partículas esféricas o porosas, ya que es el que posee mejores características para absorber y retener a los combustibles líquidos y es fácilmente manipulable sin que se produzcan apelmazamientos y adherencias.

La densidad del NA poroso o a granel es aproximadamente $0,8 \text{ g/cm}^3$, mientras que las densidades de las partículas del NA no poroso se acercan a la de los cristales ($1,72 \text{ g/cm}^3$), pero con valores algo inferiores ($1,40 - 1,45 \text{ g/cm}^3$) debido a la microporosidad.

El NA de mayor densidad no se emplea debido a que absorbe peor al combustible y por lo tanto reacciona más lentamente con él en el proceso de detonación.

Normalmente, el NA utilizado tiene una microporosidad del 15%, que sumada a la macroporosidad se eleva al 54%. En cuanto al tamaño de las partículas suele variar entre 1 y 3 mm. El NA en estado sólido cuando se calienta por encima de $32,1^\circ\text{C}$, cambia de forma cristalina:

(β) Ortorrómbico: Densidad del Cristal = $1,72 \text{ g/cm}^3$. Si se le adiciona $32,1^\circ\text{C}$.

(?) Ortorrómbico: Densidad del Cristal = $1,66 \text{ g/cm}^3$.

Esta transición es acompañada de un aumento de volumen del 3,6%, produciéndose seguidamente la rotura de los cristales en otros más pequeños. Cuando los cristales y se enfrían y existe algo de humedad tienden a aglomerarse formando grandes terrones.

La solubilidad del NA en el agua es grande y varía ampliamente con la temperatura: De ahí que el ANFO no se utilice en barrenos húmedos.

- A 10°C el 60,0% solubilidad.
- A 20°C e1 65,4% solubilidad.
- A 30°C el 70,0% solubilidad.
- A 40°C el 73,9% solubilidad.

La higroscopicidad es también muy elevada, pudiendo convertirse en líquido en presencia de aire con una humedad superior al 60%. La adición de sustancias inertes hidrofílicas como el caolín o las arcillas en polvo evitan que el NA absorba humedad, aunque también disminuyen su sensibilidad.

La temperatura ambiente juega un papel importante en el proceso de absorción de la humedad. En ocasiones, los granos de NA se protegen con sustancias hidrófugas que impiden su humedecimiento superficial.

El NA es completamente estable a temperatura ambiente, pero si se calienta por encima de 200°C en un recipiente cerrado puede llegar a detonar. La presencia de compuestos orgánicos acelera la descomposición y baja la temperatura a la cual ésta se produce. Así con un 0,1% de algodón el NA empieza a descomponerse a los 160°C.

2.3 ANFO.

En 1947 tuvo lugar una desastrosa explosión de Nitrato Amónico en Texas City (Estados Unidos), ya que esa sustancia se había intentado proteger con parafinas, y sólo un 1% de ésta ya constituía un buen combustible sensibilizante del NA.

Aparte de la propia catástrofe, este hecho hizo centrar la atención de los fabricantes de explosivos en el potencial energético del NA y de sus posibilidades como explosivo dado su bajo precio.

Cualquier sustancia combustible puede usarse con el NA para producir un agente explosivo. En Estados Unidos a finales de los años 50 se empleaba polvo de carbón pero, posteriormente, fue sustituido por combustibles líquidos ya que se conseguían mezclas más íntimas y homogéneas con el NA.

El producto que más se utiliza es el gasoil, que frente a otros líquidos como la gasolina, el keroseno, etc., presenta la ventaja de no tener un punto de volatilidad tan bajo y, por consiguiente, menor riesgo de explosiones de vapor.

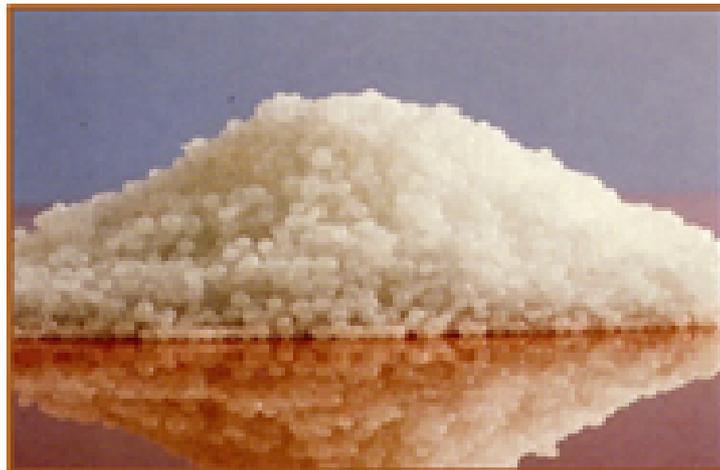


Figura 2.2 Gránulos de Nitrato Amónico.

Los aceites usados se han aprovechado también como combustible, pero tienen los inconvenientes de reducir la sensibilidad a la iniciación y propagación, la velocidad de detonación y el rendimiento energético. Debido a sus altas viscosidades tienden a permanecer en la superficie de los gránulos de NA ocupando los macroporos. Actualmente, no está justificada desde un punto de vista económico la sustitución total o parcial del gas - oil, por aceites usados debido a los inconvenientes que entrañan estos productos.

El contenido de combustible juega un papel importantísimo sobre las diferentes propiedades del anfo. La **reacción de descomposición del sistema equilibrado en oxígeno es:**



Produciendo unas 920 Kcal/kg, que puede ser inferior en los productos comerciales según el contenido en materias inertes, y un volumen de gases de 970 l. La mezcla estequiométrica corresponde a un 95,3% de NA y un 5,7% de gas - oil, que equivalen a 3,7 litros de éste último por cada 50 kg de NA. La influencia que tiene el porcentaje de combustible sobre la energía desprendida y velocidad de detonación quedan indicadas en la siguiente figura:

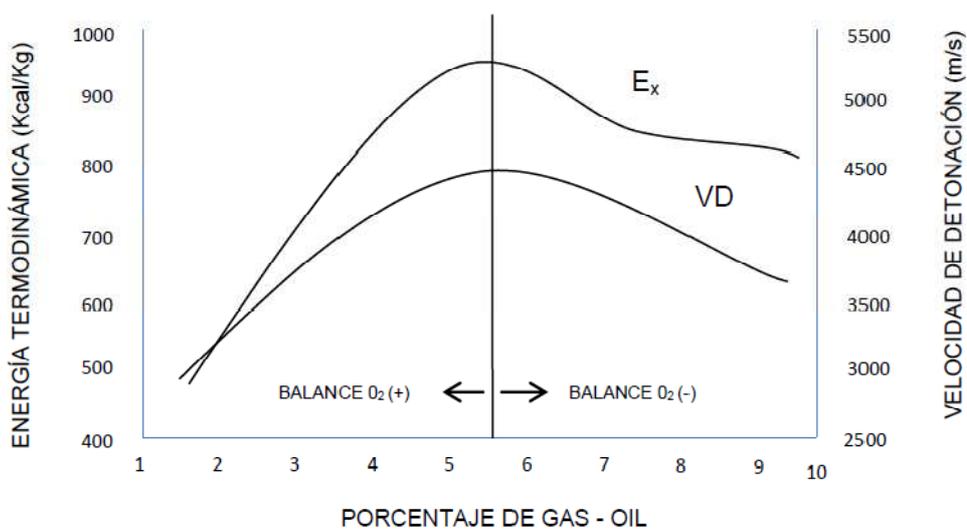


Figura 2.3 Variación de la energía termodinámica y velocidad de detonación del anfo con el contenido de gas - oil. (Bampfield y morrey 1984)

Se ve pues que no interesan ni porcentajes inferiores ni superiores al indicado si se pretende obtener el máximo rendimiento en las voladuras. En ocasiones, como por ejemplo épocas de verano, se suele añadir más gas - oil al anfo, pues puede llegar a perderse por el calor hasta e150% del combustible, con una merma importante en la eficiencia. El control de calidad del anfo es sencillo, pues consiste en la extracción del gas-oil de una muestra por medio de éter, y medida del peso de la misma antes y después del proceso.

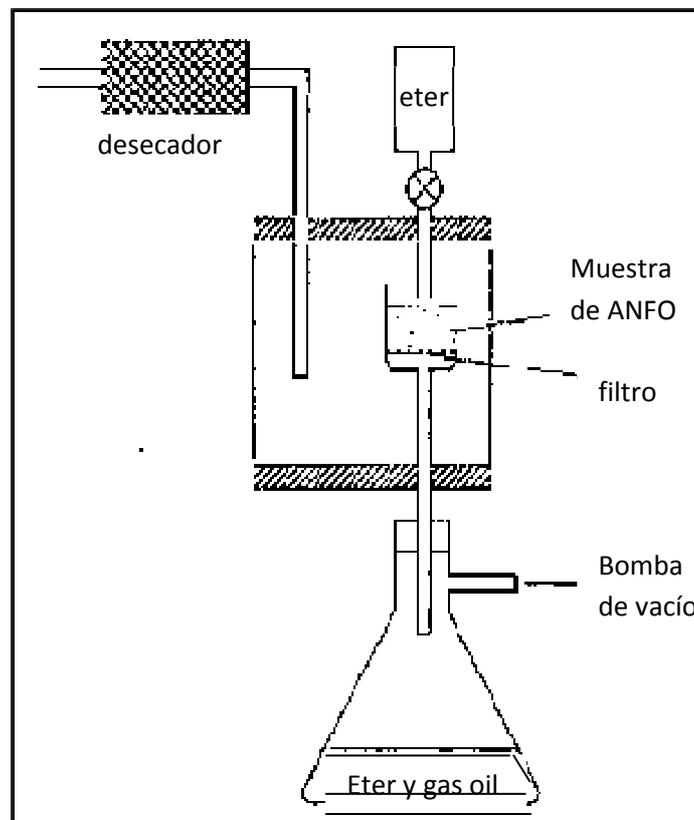


Figura 2.4

Procedimiento

de laboratorio para medir el porcentaje de gas - oil. (Bampfild y morrey 1984)

También el contenido de combustible afecta a la cantidad de gases nocivos desprendidos en la explosión (CO + NO). Cuando en las voladuras los humos producidos tienen color naranja, ello es un indicativo de un porcentaje insuficiente de gas-oil, o bien que el anfo ha absorbido agua de los barrenos o no se ha iniciado correctamente.

La variación de sensibilidad con la cantidad de combustible también es acusada, pues con un 2% de gasolina iniciación puede conseguirse con un detonador, aunque la energía disponible es muy baja, y con una cantidad superior al 7% la sensibilidad inicial Decece notablemente.

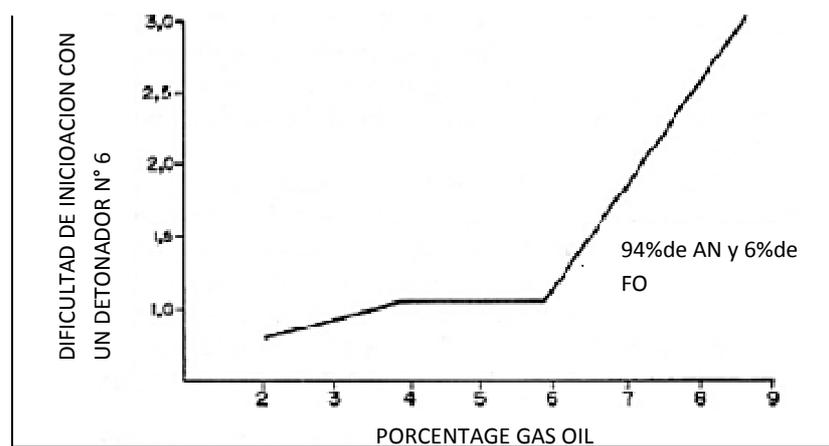


Figura 2.5 Sensibilidad del anfo a la iniciación. (bampfild y Morrey, 1984)

Tal como se ha indicado anteriormente con el NA, el agua es el principal enemigo del anfo, pues absorbe una gran cantidad de calor para su vaporización y rebaja considerablemente la potencia del explosivo. En cargas de 76 mm de diámetro una humedad superior al 10% produce la insensibilización del agente explosivo. En tales casos el único recurso de empleo consiste en envolver al ANFO en recipientes o vainas impermeables al agua.

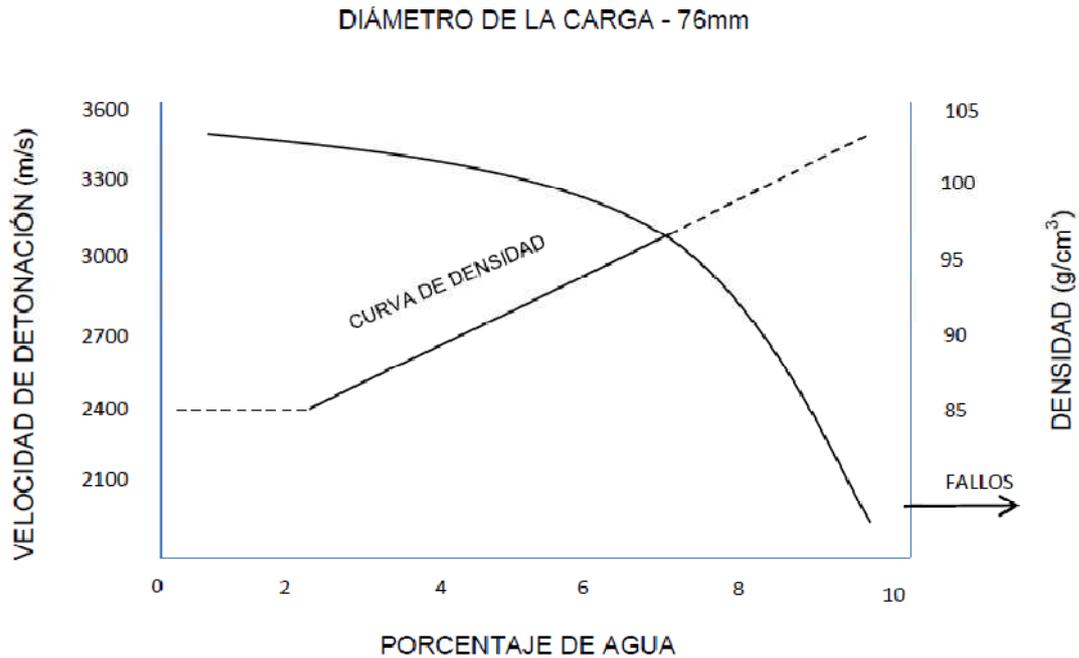


Figura 2.6 Influencia del contenido de agua sobre la velocidad de detonación. (Bampffield y Morrey, 1984)

Las características explosivas del ANFO varían también con la densidad. Conforme ésta aumenta la velocidad de detonación se eleva, pero también es más difícil conseguir la iniciación.

Por encima de una densidad de 1,2 g/cm³ el ANFO se vuelve inerte no pudiendo ser detonado o haciéndolo sólo en el área inmediata al iniciador. El tamaño de los gránulos de ANFO influye a su vez en la densidad del explosivo.

Así, cuando el ANFO se reduce a menos de 100 mallas su densidad a granel pasa a ser 0,6 g/cm³, lo que significa que si se quiere conseguir una densidad normal entre 0,8 y 0,85 g/cm³ para alcanzar unas buenas características de detonación será preciso vibrarlo o compactarlo.

Por otro lado, el diámetro de la carga es un parámetro de diseño que incide de forma decisiva en la velocidad de detonación del ANFO.

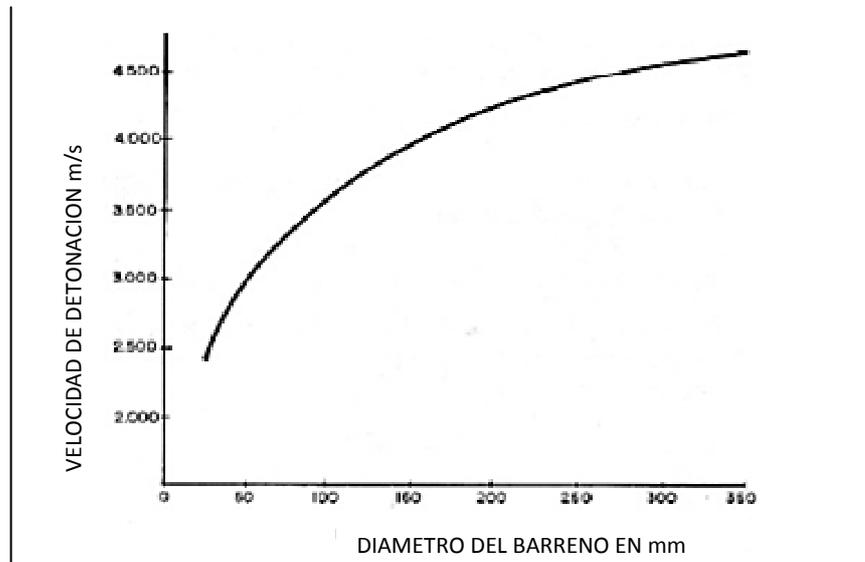


Figura 2.7 Influencia del diámetro de la carga sobre la velocidad de detonación. (bampfield y Morrey, 1984)

El diámetro crítico de este explosivo está influenciado por el confinamiento y la densidad de carga. Usado dentro de barrenos en roca con una densidad a granel de 0,8 g/cm³ el diámetro crítico es de unos 25 mm, mientras que con 1,15 g/cm³ se eleva a 75 mm.

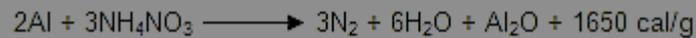
La sensibilidad de iniciación del ANFO disminuye conforme aumenta el diámetro de los barrenos. En la práctica los multiplicadores de 150 g son efectivos en diámetros de carga inferiores a los 150 mm, y por encima de ese calibre se recomiendan multiplicadores de 400 a 500 g.

Aunque el anfo se emplea predominantemente como carga a granel, es importante saber que la energía por metro lineal de columna disminuye con el desacoplamiento. Cuando el confinamiento de la carga no es grande la "VD" y la presión máxima sobre las paredes de los barrenos disminuyen.

2.4 ALANFO.

Como la densidad del ANFO es baja, la energía que resulta por unidad de longitud de columna es pequeña.

Para elevar esa energía, desde 1968 se viene añadiendo a ese agente explosivo productos como el Aluminio con unos buenos resultados técnicos y económicos, sobre todo cuando las rocas son masivas y los costes de perforación altos. Cuando el aluminio se mezcla con el nitrato amónico y la cantidad es pequeña la reacción que tiene lugar es:



Pero cuando el porcentaje de aluminio (Al) es mayor, la reacción que se produce es la siguiente:

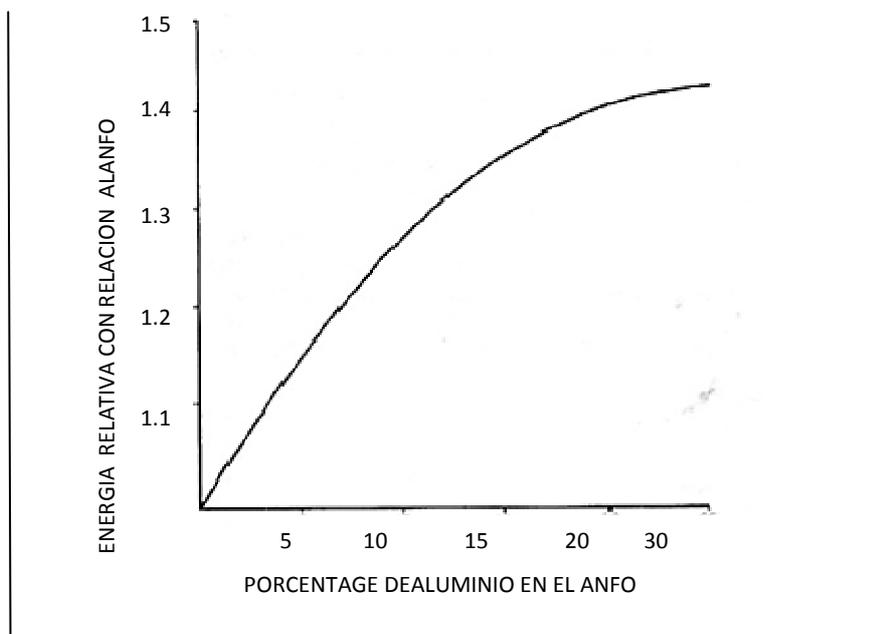


Figura 2.8 Efecto del aluminio sobre la energía desarrollada con respecto a una misma cantidad de anfo. (bampfield y Morrey, 1984)

El límite práctico, por cuestiones de rendimiento y economía se encuentra entre el 13 y el 15 %. Porcentajes superiores al 25% hacen disminuir la eficiencia energética. Las especificaciones que debe cumplir el aluminio son: en cuanto al tamaño que se encuentre casi el 100% entre las 20 y las 150 mallas y en cuanto a la pureza que sea superior al 94%.

En estos agentes explosivos, la pureza no es tan crítica como en los hidrogeles, ya que no es de temer la acción galvánica producida por los cambios de pH. Esto significa que restos o desechos de aluminio de otros procesos pueden emplearse en la fabricación del ALANFO.

El límite inferior de tamaño es debido a que si el Al está en forma de polvo pueden producirse explosiones incontroladas.

2.5. HIDROGELES

Los hidrogeles son agentes explosivos constituidos por soluciones acuosas saturadas de NA, a menudo con otros oxidantes como el nitrato de sodio y/o el de calcio, en las que se encuentran dispersos los combustibles, sensibilizantes, agentes espesantes y gelatinizantes que evitan la segregación de los productos sólidos.

El desarrollo de estos explosivos tuvo lugar a finales de la década de los 50 cuando Cook y Farnam consiguieron los primeros ensayos positivos con una mezcla del 65% de NA, 20% de Al y 15% de agua. Tras esos primeros resultados, Cook empezó a utilizar como sensibilizante el TNT, y así comenzó en Canadá la fabricación comercial bajo patente, extendiéndose después a Estados Unidos.

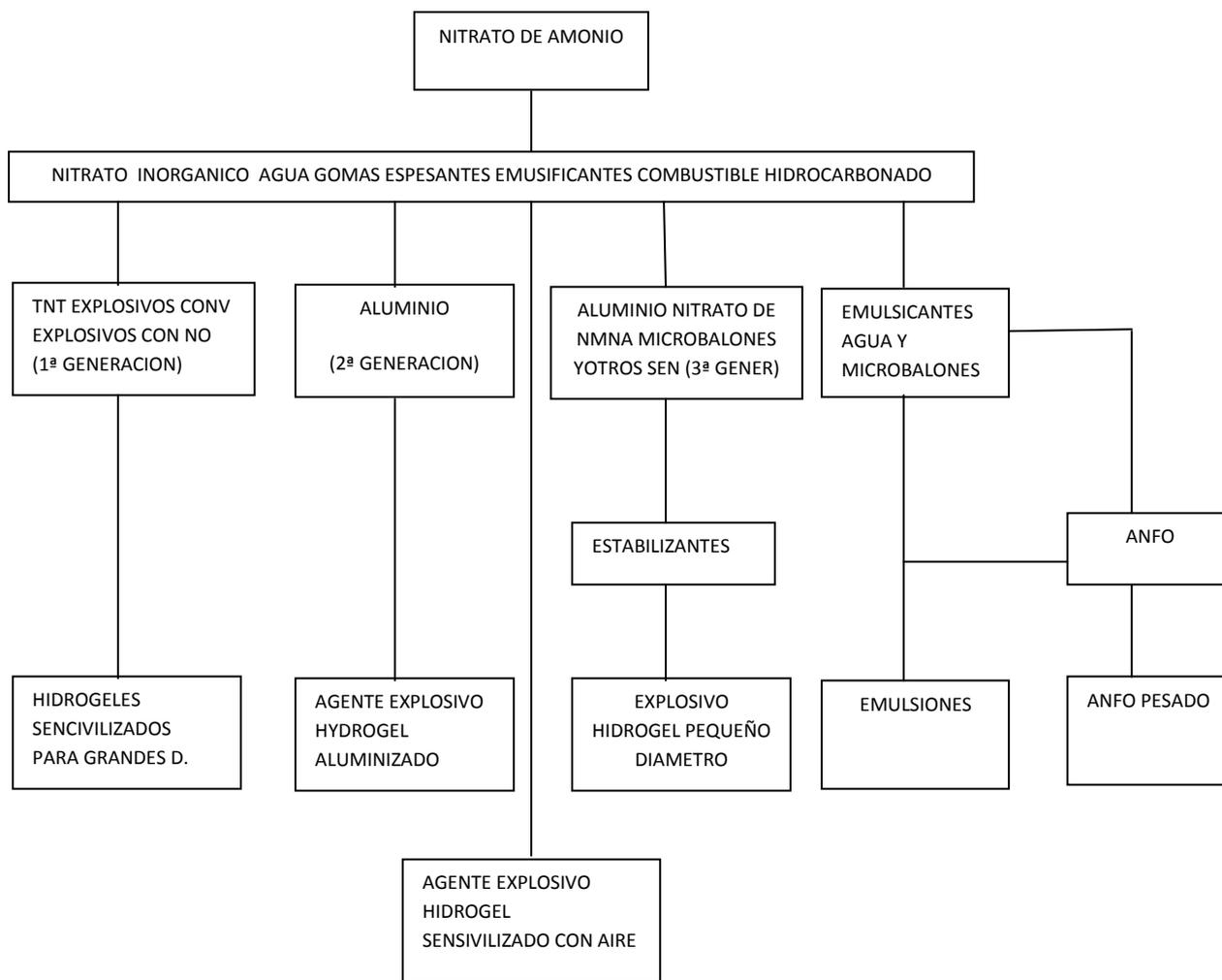


Figura 2.9 Diagrama de principales tipos de explosivos acuosos obtenidos a partir del Nitrato Amónico. (bampfield y Morrey, 1984)

Posteriormente, se realizaron las primeras experiencias con hidrogeles sensibilizados con aluminio. Este metal planteaba serios problemas de empleo, pues reaccionaba con el agua a temperatura ambiente desprendiendo hidrógeno. Para evitar ese fenómeno se pasó a proteger las partículas de aluminio con productos hidrófugos. Ya en 1969 la Dupont desarrolló unos nuevos hidrogeles que se caracterizaban por no contener los compuestos explosivos tradicionales, ni metales articulados como sensibilizantes fundamentales, sino que incorporaban como combustible sustancias orgánicas como las derivadas de las aminas, parafinas, azúcares, etc.

En la Fig. 2.5 se indican los principales tipos de explosivos acuosos obtenidos a partir del Nitrato Amónico, en dos grandes grupos que son los hidrogeles y las emulsiones con sus mezclas.

Centrándonos en los hidrogeles que se emplean actualmente, el proceso de fabricación se basa en el mezclado de una solución de oxidantes con otra de nitrato de monometilamina (NMMA) y la adición de diversos productos sólidos y líquidos, tales como oxidantes, espesantes, gelatinizantes, etc. La solución de oxidantes está constituida por agua, nitrato amónico y nitrato sódico, a la que se aporta tio-urea y parte de las gomas que permiten conseguir una viscosidad alta para retener las burbujas de gas. El nitrato sódico tiene las ventajas de disponer de una gran cantidad de oxígeno y de disminuir el punto de cristalización de las soluciones salinas.

La solución de NMMA se prepara calentando los bidones en los cuales se transporta, ya que ésta se encuentra solidificada al tener un punto de cristalización entre los 33 y 39°C. Este producto tiene unas características como sensibilizante excelentes, pues es muy buen combustible con un balance de oxígeno muy negativo y alta densidad, y además es poco sensible a efectos dinámicos subsónicos de choques y roces. Las proporciones de NMMA en los hidrogeles oscilan entre el 10 y el 35%.

La mezcla de aditivos sólidos está formada por aluminio, almidón, gomas y otras sustancias en menor proporción. El aluminio aumenta proporcionalmente la sensibilidad de los hidrogeles y las gomas, y el almidón sirve para espesar las mezclas. En ocasiones se añaden compuestos capaces de formar enlaces cruzados que producen la gelatinización de los hidrogeles.

Por otro lado, como el porcentaje de agua utilizado no es suficiente para disolver todos los nitratos, cierta cantidad de éstos se añaden en estado sólido formando parte de la fase dispersa. Para modificar la densidad se puede proceder a la gasificación química, generalmente con nitrito de sodio, o a la adición de productos de baja densidad, micro esferas de vidrio, etc.

La mezcla de todos esos componentes se realiza de forma continua o discontinua con mezcladoras dotadas de agitación y que pueden estar instaladas en plantas fijas o sobre camiones.

En cuanto a las características de los hidrogeles, ya que en su composición no se utilizan sensibilizantes intrínsecamente explosivos, poseen una seguridad muy alta tanto en su fabricación como en su manipulación. A pesar de esto, presentan una aptitud a la detonación muy buena que hacen que algunos hidrogeles puedan emplearse en calibres muy pequeños e iniciarse con detonadores convencionales.

La resistencia al agua es excelente y la potencia, que es una característica fundamental de aplicación, es equivalente o superior a la de los explosivos convencionales, pudiendo ajustarse en función de la formulación del hidrogel.

Las energías desarrolladas oscilan en el rango de las 700 a las 1500 cal/g. La densidad puede también modificarse, desde 0,8 hasta 1,6 g/cm³, partiendo de un valor básico comprendido entre 1,4 y 1,5. Mediante la adición de gasificantes químicos, como ya se ha indicado, o de aditivos de baja densidad puede reducirse tal parámetro. Esas disminuciones influyen sobre los explosivos haciendo que la velocidad de detonación aumente en muchos casos, así como su sensibilidad.

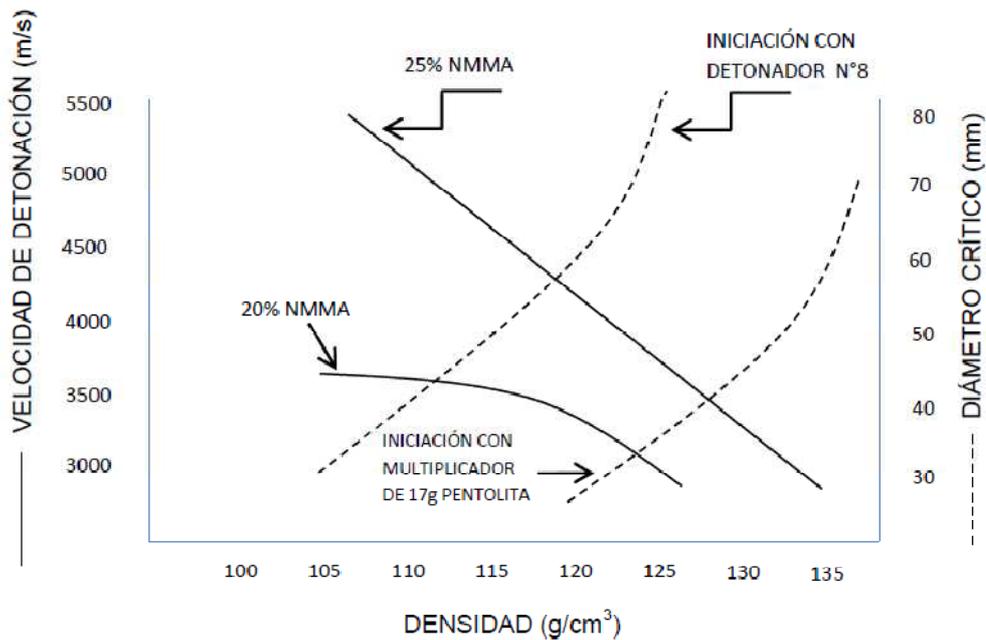


Figura 2.10 Influencia de la densidad de los hidrogeles sobre la velocidad de detonación y sensibilidad. (Bampfield y Morrey, 1984)

Como es obvio, la variedad de productos que pueden obtenerse con distintas composiciones es muy grande. Desde los hidrogeles encartuchados, semejantes a los explosivos gelatinosos convencionales, hasta los verticales que tienen unas características reológicas que hacen que puedan tratarse como fluidos. En este último caso se pueden aprovechar beneficiosamente las ventajas derivadas de una carga mecanizada así como del hecho de rellenar totalmente el hueco de los barrenos perforados.

En lo referente a los humos de voladura, los hidrogeles sensibilizados con aluminio presentan unas calidades de humo mejores que las obtenidas con explosivos convencionales.

2.6 EMULSIONES

Este grupo de explosivos, que es el de más reciente aparición en el mercado, mantiene las propiedades de los hidrogeles ya citados, pero a su vez mejora dos características fundamentales como son la potencia y la resistencia al agua.

El interés de estos productos surgió a comienzos de la década de los 60, cuando se investigaban las necesidades básicas de un explosivo para que se produjera el proceso de detonación combinando una sustancia oxidante con un aceite mineral.

Estos constituyentes han permanecido químicamente invariables durante muchos años (nitrato amónico + gas-oil), pero, sin embargo, la forma física ha cambiado drásticamente. En la figura 2.11 se resumen, en el *orden* cronológico de aparición de los explosivos, los oxidantes, combustibles y sensibilizadores empleados en la fabricación de cada uno de ellos.

EXPLOSIVO	OXIDANTE	COMBUSTIBLE	SENSIBILIZANTE
DINAMITAS	SOLIDO Nitratos	SOLIDO Materias absorbentes (sensibilizantes)	LIQUIDO Nitroglicerina Gasificantes
ANFOS	SOLIDO Nitratos	LIQUIDO Aceites	Poros
HIDROGELIES	SOLIDO/LIQUIDO Nitratos Soluciones salinas	SOLIDO/LIQUIDO Aluminio Sensibilizante	SOLIDO/LIQUIDO TNT NMMA, MAN Aluminio en polvo. Gasificantes
EMULSIONES	LIQUIDO Soluciones salinas	LIQUIDO Aceites Parafinas	Gasificantes

Figura.2.11. resumen en el orden cronológico de aparición de los explosivos.(bampfild y Morrey, 1984)

Desde un punto de vista químico, una emulsión es un sistema bifásico en forma de una dispersión estable de un líquido inmiscible en otro. Las emulsiones explosivas son del tipo denominado "agua en aceite" en las que la fase acuosa está compuesta por sales inorgánicas oxidantes disueltas en agua y la fase aceitosa por un combustible líquido inmiscible con el agua del tipo hidrocarbonado.

El desarrollo de los explosivos ha llevado aparejado una reducción progresiva del tamaño de las partículas, pasando desde los sólidos a las soluciones salinas con sólidos y, por último, a las microgotas de una emulsión explosiva.

Figura 2.12

Se comprende así, que la dificultad de fabricación de las emulsiones se encuentra en la fase aceitosa pues, por imperativo del balance final de oxígeno, el 6% en peso de la emulsión, que es el aceite, debe englobar al 94% restante que se encuentra en forma de microgotas.

EXPLOSIVO	TAMAÑO (mm)	ESTADO	VELOCIDAD DE DETONACION (km/s)
ANFO	2	Sólido	3,2
DINAMITA	0,2	Sólido	4,0
HIDROGEL	0,2	Sólido/Líquido	3,3
EMULSION	0,001	Líquido	5,0-6,0

Figura 2.12 Dimensiones de los oxidantes en los explosivos (bampfield y Morrey, 1984)

En la Tabla anterior las velocidades de detonación de cada uno de los explosivos, que corresponden a un diámetro dado, reflejan la fuerte dependencia de la eficiencia de la reacción con el tamaño de las partículas.

La estructura de las emulsiones se observa en las fotografías siguientes, donde las micro gotas de solución saturada (oxidante) adoptan una forma poliédrica y no de esferas, con una fase continua de aceite que las envuelve. En la Foto 11.2.c el tamaño del micro gotas comparado con el de un prill de nitrato amónico es 100 veces más pequeño.

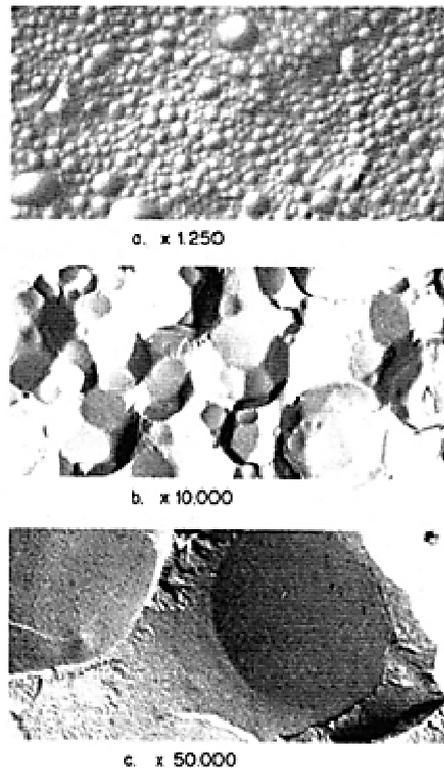


Figura. 2.13 Estructuras de emulsiones

Para conseguir una sensibilización adecuada de los explosivos cuando éstos no contienen sensibilizantes químicos, sólidos o líquidos, se precisa un mecanismo físico como el de las burbujas de gas, que al ser comprimidas adiabáticamente producen el fenómeno de "Puntos Calientes" que favorecen tanto la iniciación como la propagación de la detonación.

Los agentes gasificantes que se utilizan están constituidos por poliestireno expandido o microesferas de vidrio. En lo referente a los tipos de emulsión, bajo ese término quedan englobados productos de diferentes propiedades relacionadas con las características de la fase continua y su efecto sobre la viscosidad y consistencia

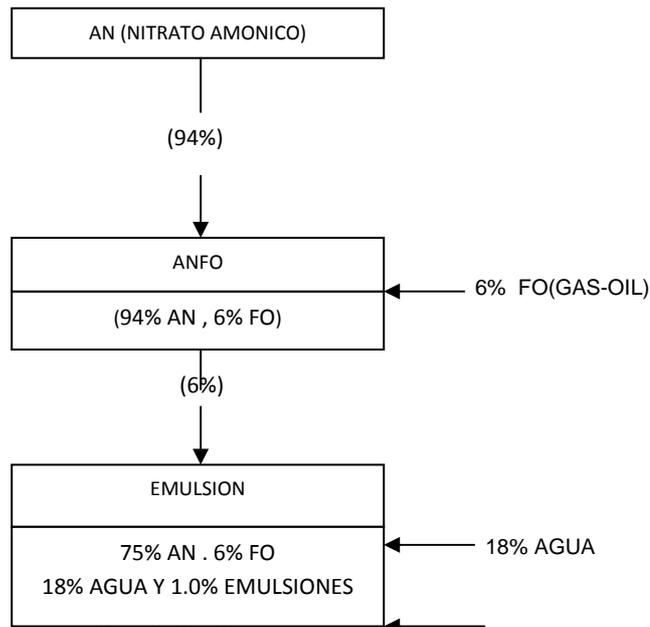


Figura. 2.14 Composición básica de una emulsión (Bampffield y morrey 1984)

Según el tipo de combustible, gas-oil, parafinas, gomas, etc., las características reológicas de las emulsiones son distintas, así como sus aplicaciones y métodos de empleo. También el tipo de agente emulsificante que se utilice para reducir la tensión superficial entre los dos líquidos inmiscibles y permitir la formación de la emulsión, puede ayudar a evitar los problemas de coagulación en grandes gotas de la solución de nitrato amónico, así como el fenómeno de cristalización de las sales.

Otro aspecto a tener en cuenta es el enfriamiento del producto desde el momento de su fabricación, que se realiza a unas temperaturas próximas a los 80°C, hasta el instante de empleo. El esquema de preparación de las emulsiones, tanto encartuchadas como a granel, se representa en la Fig.2.6.3 A partir de los diferentes componentes: fase acuosa oxidante, fase combustible y agente emulsificante-estabilizante, y previo calentamiento de éstos, se procede a una intensa agitación dinámica obteniendo una emulsión básica que posteriormente se refina para homogeneizarla y estabilizarla en el tiempo.

A continuación, se mezcla con los productos secos que se adicionan para ajustar la densidad o la potencia del explosivo. Esos productos sólidos pueden

ser: aluminio en polvo, agentes gasificantes reductores de densidad, gránulos de nitrato amónico, etc. El polvo de aluminio aunque aumenta la energía desarrollada por el explosivo tiene un efecto reductor de la velocidad de detonación.

Por otro lado, la sensibilidad de la emulsión disminuye conforme aumenta la densidad, siendo necesario trabajar por encima del diámetro crítico y utilizar iniciadores potentes.

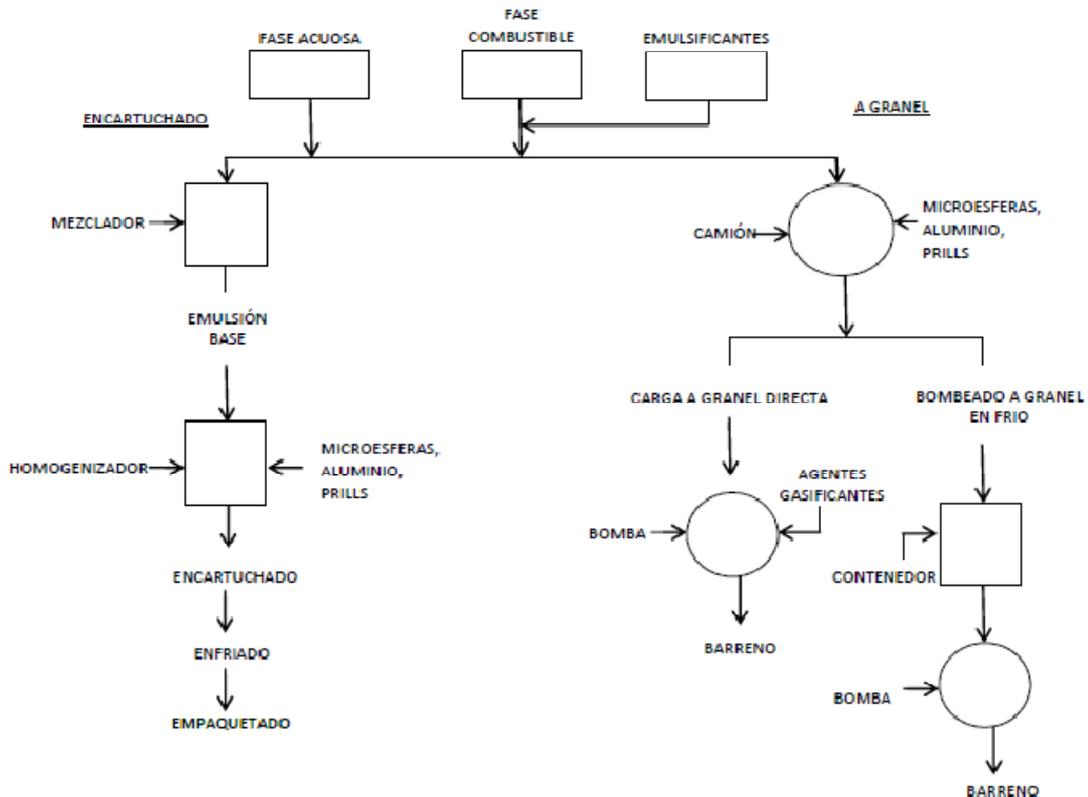


Figura2.15 Esquema de producción de emulsiones.(Bampfield y morrey 1984)

La tendencia actual hacia el empleo de las emulsiones en las operaciones de arranque con explosivos se fundamenta en las numerosas ventajas que presentan:

- Menor precio, ya que en su fabricación no se precisa el uso de gomas y féculas de alto coste.
- Excelenteresistencia al agua.
- Posibilidad de conseguir productos con densidades entre 1 y 1,45 g/cm3

- Elevadas velocidades de detonación, 4000 a 5000 m/s, con poco efecto del diámetro de encartuchado.
- Gran seguridad de fabricación y manipulación.
- Posibilidad de mecanizar la carga y preparar mezclas con ANFO.

Por el contrario, los inconvenientes que plantean son los derivados de unas condiciones de preparación muy estrictas, la alterabilidad por las bajas temperaturas, la contaminación durante la carga si se utiliza a granel, el tiempo de almacenamiento y los períodos prolongados de transporte.

2.7. ANFO PESADO

En la tecnología actual de voladuras es incuestionable que el ANFO constituye el explosivo básico. Diversos intentos se han dirigido hacia la obtención de una mayor energía de este explosivo, desde la trituración de los prills de nitrato amónico de alta densidad hasta el empleo de combustibles líquidos de alta energía, como las nitroparafinas, el metanol y el nitropropano, pero comercialmente no han prosperado.

El ANFO Pesado, que es una mezcla de emulsión base con ANFO, abre una nueva perspectiva en el campo de los explosivos.

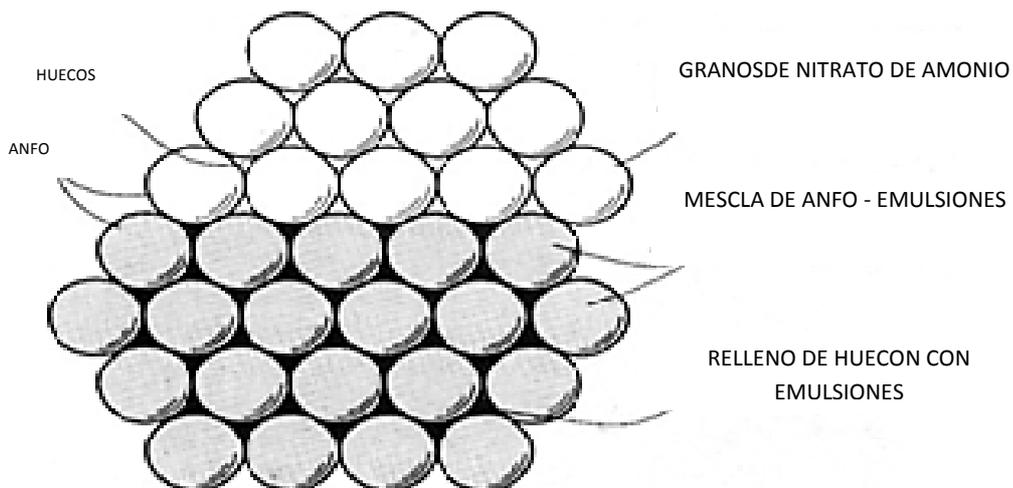


Figura. 2.16 Estructura del ANFO pesado, (bampfild y Morrey, 1984)

El ANFO presenta unos huecos intersticiales que pueden ser ocupados por un explosivo líquido como la emulsión que actúa como una matriz energética.

Aunque las propiedades de este explosivo dependen de los porcentajes de mezcla, las ventajas principales que presenta son:

- Mayor energía.
- Mejores características de sensibilidad.
- Gran resistencia al agua.
- Posibilidad de efectuar cargas con variación de energía a lo largo del barreno.

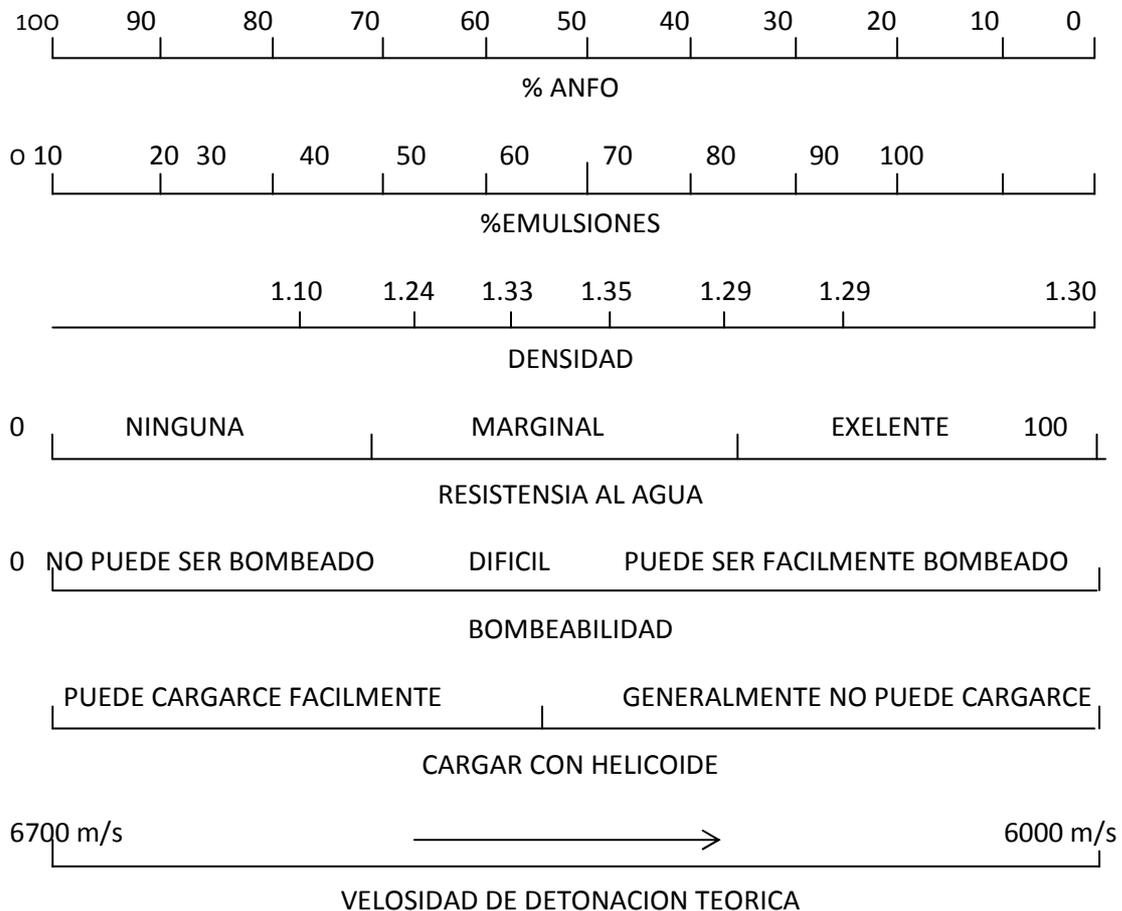


Figura. 2. 17 Características de carga y resistencia al agua de diferentes tipos de ANFO pesado. (Du Pont, 1985).

La fabricación es relativamente fácil, pues la matriz emulsión puede ser preparada en una planta fija y transportada en un camión cisterna hasta un depósito de almacenamiento o ser bombeada a un camión mezclador. Con

estos camiones pueden prepararse in-situ las mezclas de emulsión con nitrato amónico y gas-oil en las proporciones adecuadas a las condiciones de trabajo.

Fig. 2.18

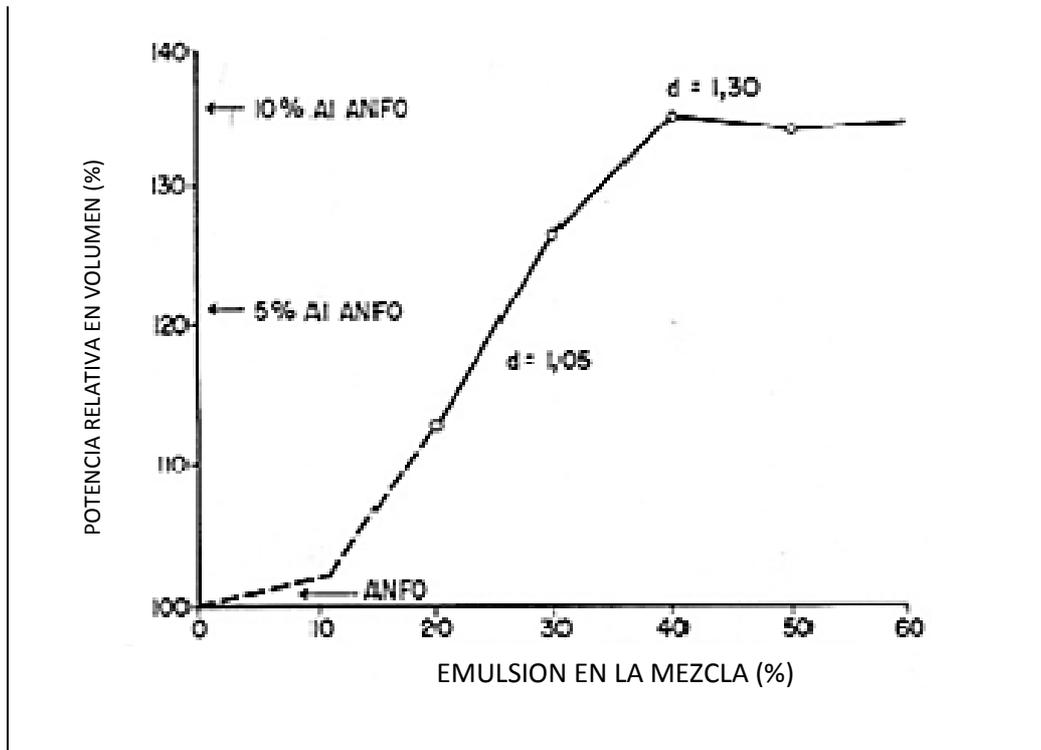


Figura.2.18 Variación de la potencia y densidad de un ANFO pesado según su porcentaje de emulsión.(bampfield y Morrey, 1984)

En la Fig. 2.7.2 se muestra la variación de la Potencia Relativa en Volumen (ANFO = 100) en un ANFO Pesado en función del porcentaje de emulsión. Puede verse cómo un ANFO Pesado 70/30 es superior en potencia a un ALANFO del 5% y una mezcla 60/40 es casi comparable a un ALANFO del 10%. Curiosamente, cuando la matriz de emulsión aumenta por encima del 40% la potencia disminuye debido a que la separación de las partículas de ANFO resulta elevada para que éstas actúen eficientemente como puntos calientes y propagadores de la onda de choque.

La densidad de la mezcla aumenta con el porcentaje de emulsión. Alcanzándose la energía máxima para un valor de ésta de 1,3 g/cm³ aproximadamente. En la Fig. 2.19 se indica la variación de la sensibilidad del ANFO Pesado conforme aumenta el porcentaje de emulsión. La sensibilidad

disminuye al incrementarse la densidad, siendo necesario cada vez un iniciador de mayor peso. Para una densidad de 1,33 se necesita un multiplicador de Pentolita de 450 g como mínimo.

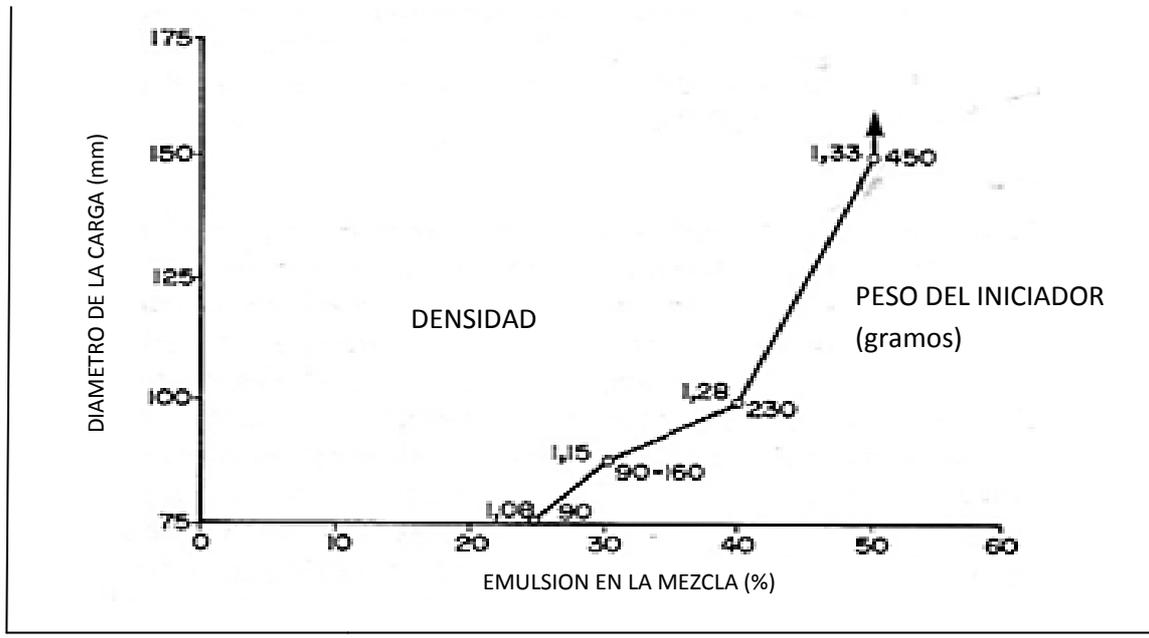


Figura.2.19 Variación de la sensibilidad del ANFO pesado con el porcentaje de emulsión de la mezcla. (bampfield y Morrey, 1984)

Con la reciente aceptación del ANFO Pesado en la industria, esos mismos explosivos pero aluminizados hacen posible pensar en una mejora de la eficiencia de las operaciones y ahorro de costes, al tratarse de productos de una alta potencia volumétrica y con un precio relativamente bajo.

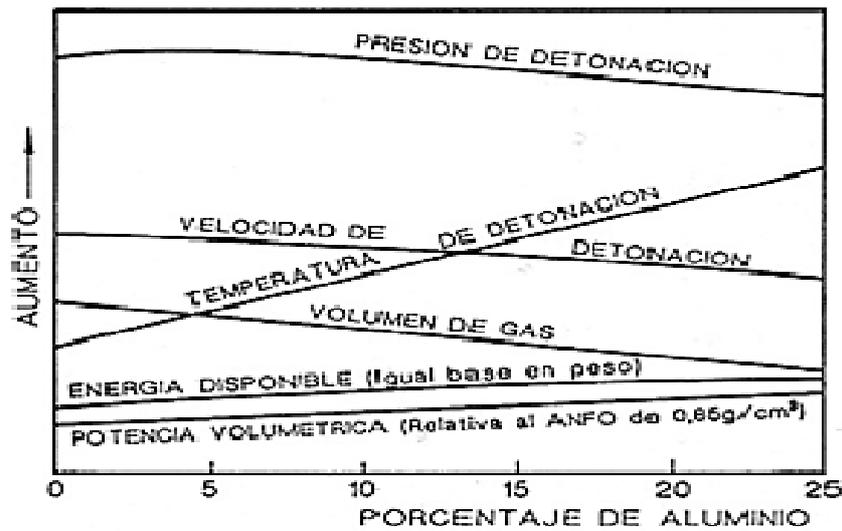


Figura. 2.20 Efecto de la adición a un ANFO pesado 70;30 (ANFO/emulsion) sobre las diferentes propiedades características. (bampfild y Morrey, 1984)

El aluminio incrementa la energía total producida, la potencia relativa en volumen, la temperatura y la presión de detonación. El efecto de la adición de aluminio a un ANFO Pesado 70/30 (ANFO/emulsión) se muestra en la Fig. 2.20

La figura 2.21 recoge las potencias del ANFO, las emulsiones y diversos ANFOS Pesados preparados a partir de nitrato amónico poroso de baja densidad, y distintos porcentajes de aluminio. La reacción del aluminio durante la detonación da lugar a la formación de óxidos sólidos y no productos gaseosos. El volumen de gas que se genera por el explosivo es, por esto, reducido. El calor de formación de los óxidos de aluminio es muy alto, 16260 kJ/kg, resultando una ganancia considerable del calor de explosión que aumenta la temperatura de los gases.

EXPLOSIVO	DENSIDAD (g/cm ³)	POTENCIA RELATIVA EN EN PESO (ANFO = 100)	POTENCIA RELATIVA EN VOLUMEN RESPECTO AL ANFO de 0,85 g/m ³ (ANFO = 1,00)
ANFO	0,85	100	1,00
Al/ANFO (5% Al)	0,88	112	1,16
Al/ANFO (10% Al)	0,91	123	1,32
Al/ANFO (15% Al)	0,94	134	1,48
NCN EMULSION (0% Al)	1,15	78	1,06
NCN EMULSION (5% Al)	1,21	91	1,30
NCN EMULSION (10% Al)	1,27	103	1,54
NCN EMULSION (15% Al)	1,30	117	1,79
ANFO + 10% EMULSION (0% Al)	0,93	98	1,07
ANFO + 20% EMULSION (0% Al)	1,01	96	1,14
ANFO + 30% EMULSION (0% Al)	1,11	93	1,21
ANFO + 40% EMULSION (0% Al)	1,20	91	1,28
ANFO + 50% EMULSION (0% Al)	1,29	89	1,35
ANFO + 30% EMULSION (5% Al)	1,14	105	1,41
ANFO + 30% EMULSION (10% Al)	1,16	116	1,58
ANFO + 30% EMULSION (15% Al)	1,19	127	1,78

Figura. 2.21 Tabla que muestra las potencias del ANFO, (Du Pont, 1985).

Este aumento de la temperatura ayuda a reducir el volumen de los gases, desarrollando éstos un mayor trabajo al estar más calientes. La adición de aluminio facilita el desarrollo de una mayor cantidad de trabajo para una misma cantidad de explosivo, pudiéndose entonces aumentar la piedra y el espaciamiento de los esquemas, mientras que se mejora la fragmentación resultante de las voladuras. La Fig. 2.22 Permite definir la composición óptima de un explosivo para obtener una potencia dada. Las potencias relativas en volumen con respecto al ANFO varían entre 1,0 Y 1,9.

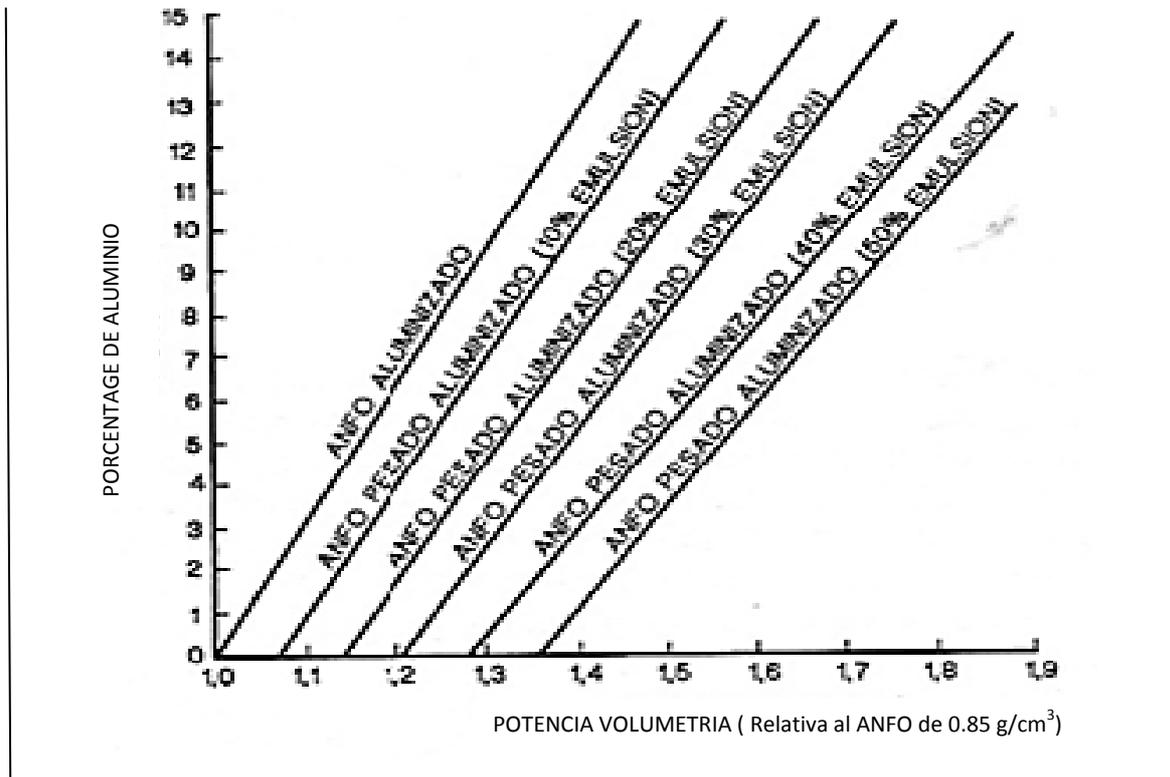


Figura. 2.22 Potencias relativas obtenidas con diversos porcentajes de aluminio contenido en ANFOS pesados. (bampfield y Morrey, 1984)

2.8 EXPLOSIVOS GELATINOSOS

Alfred Nobel en 1875 descubrió que una gran cantidad de nitroglicerina (NG) podía disolverse y quedar retenida en nitrocelulosa (NC), obteniéndose un producto con consistencia plástica de fácil uso y manipulación en aquella época. Esa gelatina explosiva formada por e192% de NG y e18% de NC tenía un balance de oxígeno nulo y desarrollaba una energía incluso superior que la NG pura."Posteriormente, con intención de reducir la potencia de esa mezcla explosiva se añadieron sustancias oxidantes y combustibles, en las proporciones adecuadas para mantener el balance de oxígeno, de manera que además de reducir considerablemente el coste de fabricación se conservaba la consistencia gelatinosa.

Así, el porcentaje de NC-NG de las gelatinas explosivas actuales oscila entre el 30 y el 35%, y el resto corresponde a los oxidantes como el nitrato amónico, a los combustibles y a otros productos especiales que sirven para corregir la higroscopicidad de los nitratos. A pesar de la pequeña cantidad de NG, las

potencias resultantes no son tan bajas como parecerían a simple vista, pues se alcanzan niveles próximos al 80% de la goma pura. Las ventajas principales de estos explosivos que se han utilizado con mucha profusión hasta épocas recientes son:

- ✓ Potencias elevadas.
- ✓ Altas densidades, desde 1,2 hasta 1,5 g/cm³.
- ✓ Elevadas velocidades de detonación, entre 5.000 y 6.000 m/s.
- ✓ Gran resistencia al agua y estabilidad química. Los inconvenientes más importantes que presentan son:
 - ✓ Riesgo de accidentes en la fabricación y transporte.
 - ✓ Sensibles a estímulos subsónicos y por consiguiente elevado peligro si la maquinaria golpea o impacta con restos de explosivo.
 - ✓ Produce dolores de cabeza, pues la NG dilata los vasos sanguíneos.
 - ✓ Reducida flexibilidad para la utilización en condiciones ambientales extremas.
 - ✓ Elevados costes de fabricación.

Las principales aplicaciones de estos explosivos se centran en el arranque de rocas duras y muy duras, como cargas de fondo, y en voladuras bajo presión de agua y en barrenos húmedos.

2.9 EXPLOSIVOS PULVERULENTOS

Aquellas mezclas explosivas sensibilizadas con NG pero con un porcentaje inferior al 15%, tienen una consistencia granular o pulverulenta.

Dentro de este grupo de explosivos cabe distinguir aquellos que poseen una base inerte y los de base activa. Los primeros, actualmente en desuso, fueron desarrollados por Nobel en 1867 y se componían de NG y kieselghur otierra de infusorios calcinada. Los de base activa, se fabrican en su mayoría sustituyendo las sustancias inertes por una mezcla de oxidantes y combustibles que aportan una potencia adicional.

El primer oxidante utilizado fue preferentemente el nitrato sódico, que se sustituyó después por el nitrato amónico de mayor eficiencia energética.

También este caso se emplea aditivos especiales para reducir la higroscopicidad del NA.

En otros explosivos pulverulentos parte de la NG es sustituida, total o parcialmente, por TNT.

Las características que poseen estas mezclas explosivas son:

- ✓ Potencias inferiores a las de los gelatinosos.
- ✓ Velocidades de detonación y densidades inferiores, de 3.000 a 4.500 m/s y de 0,9 a 1,2g/cm³ respectivamente.
- ✓ Muy poca resistencia al agua.
- ✓ Adecuados para rocas blandas y semiduras como carga de columna.

2.10 EXPLOSIVOS DE SEGURIDAD

Se denominan Explosivos de Seguridad, en otros países Permisibles, a aquellos especialmente preparados para su uso en minas de carbón con ambientes inflamables de polvo y grisú. Su característica principal es la baja temperatura de explosión. .

Actualmente, los Explosivos de Seguridad se clasifican en dos grupos. El primero, es el que en su composición se encuentra un aditivo que juega el papel de inhibidor de la explosión, generalmente cloruro sódico, que según su granulometría, porcentaje, etc., aumenta con mayor o menor intensidad el grado de seguridad frente a una atmósfera inflamable. biomanual, mientras que las de sección redonda se utilizan cuando las perforadoras disponen de cambiadores .El segundo grupo, de más reciente aparición y de nominados de Seguridad Reforzada o de Intercambio Iónico, consiguen rebajar la temperatura de explosión mediante diversos ingredientes que al reaccionar en el momento de la detonación forman al inhibidor en ese mismo instante. Estos explosivos suelen estar constituidos por un pequeño porcentaje de Ng, un combustible, y el par salino nitrato sódico-cloruro amónico. La reacción que tiene lugar es: $\text{NaNO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaCl} + \text{NH}_4\text{NO}_3$ el nitrato amónico actúa después como oxidante y el cloruro sódico en estado naciente es el que tiene un gran poder refrigerante, mucho mayor que en los explosivos de seguridad clásicos.

Si, por un fallo, un cartucho de explosivo de intercambio iónico detona al aire o bajo unas condiciones de confinamiento débiles, los fenómenos que tienen lugar son la descomposición explosiva de la nitroglicerina y la acción inhibidora del cloruro amónico ya que no se produce la reacción del par salino. En cualquier caso, se evita la deflagración que sería muy peligrosa en una atmósfera inflamable.

Las características prácticas de los explosivos de seguridad son: una potencia media o baja, velocidades de detonación entre 2.000 y 4.500 mis, densidades entre 1 y 1,5 g/cm³ y mala resistencia al agua, salvo en algún compuesto.

2.11 PÓLVORAS

Actualmente, la pólvora para uso minero tiene la siguiente composición: Nitrato Potásico (75%), Azufre (10%) y Carbón (15%). Presentándose siempre granulada y grafitada, con dimensiones que oscilan entre 0,1 mm y 4 mm y envasada generalmente en bolsas de 1, 2,5 Y5 kg. La velocidad de combustión depende de la densidad de la pólvora y condiciones de confinamiento, y es siempre inferior a los 2.000 m/s, por lo que obviamente es un explosivo deflagrante. La potencia que desarrolla con respecto a la goma pura es del orden del 28%, y la energía específica de 23.800 kgm/kg, con una temperatura máxima de unos 200°C. La resistencia al agua es muy mala. Hoy en día, la utilización de la pólvora se ha reducido a la extracción de bloques de roca ornamental y al arranque de materiales muy elastoplásticos como los yesos, que rompen mejor bajo el efecto continuado de los gases que por una tensión puntual instantánea. Se trata pues de aprovechar el gran empuje de los gases más que el efecto rompedor que es bajo.

2.12 EXPLOSIVOS DE DOS COMPONENTES

Los explosivos de dos componentes, también llamados explosivos binarios, están constituidos por dos sustancias que individualmente pueden clasificarse como no explosivas. Cuando se transportan o almacenan separadamente, normalmente, no están reguladas como si fueran explosivos, aunque sí deben ser protegidas de los robos. El explosivo binario más común es una mezcla de nitrato amónico pulverizado y nitrometano, aunque también se han utilizado otros combustibles de, cohetes. Los dos componentes se suelen transportar al área de trabajo en recipientes separados, y a continuación el combustible líquido es vertido en el recipiente de nitrato amónico. Después de un tiempo de espera predeterminado la mezcla se vuelve sensible al detonador y ya está lista para su uso.

Los explosivos binarios se utilizan cuando se requieren pequeñas cantidades de explosivos, como sucede en obras especiales de cimentaciones, nivelaciones, zanjas de cables, etc. Cuando los consumos son elevados, el mayor precio y el inconveniente de tener que preparar las mezclas en el lugar de trabajo les hacen poco atractivos frente a los explosivos convencionales.

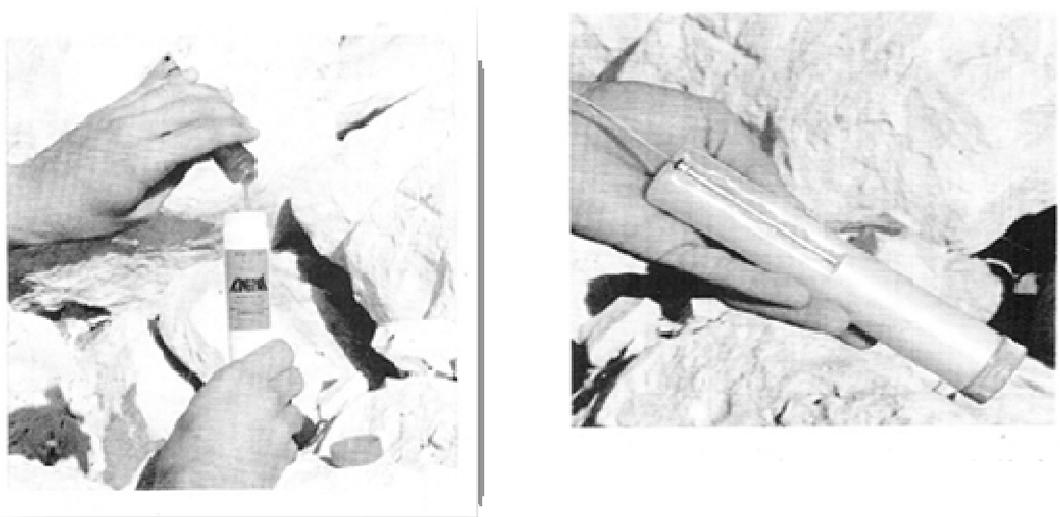


Figura. 2.23 Preparación de un cartucho de explosivo binario.(bampfield y Morrey, 1984)

***CAPITULO III:
MANUAL PARA LA PLANEACIÓN,
EJECUCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD
DE VOLADURAS A PEQUEÑA ESCALA
EN OBRAS CIVILES.***



3.0 CONTENIDO DEL MANUAL

Cada tipo de explosivo tiene características propias definidas por sus propiedades, para el mismo tipo de explosivo las características pueden variar dependiendo del fabricante; el conocimiento de tales propiedades es un factor importante en el diseño de voladuras. Las propiedades más importantes de los explosivos son: fuerza, densidad de empaque, velocidad de detonación, sensibilidad, resistencia al agua, emanaciones de inflamabilidad.

Las voladuras se realizan con varios propósitos, entre ellos: mover y remover roca, controlar superficies de las rocas en excavaciones y triturar la roca hasta un tamaño deseado; para alcanzar cada uno de estos propósitos se utilizan técnicas diferentes. En esta sección se muestran técnicas comúnmente empleadas en voladuras de minería superficial y excavaciones superficiales en obras civiles.

Se mostraran los criterios más importantes para el uso de explosivos así como lo son equipos y herramientas a utilizar al momento de realizar una voladura, además se presentara las medidas de seguridad que son de gran consideración como son en aspectos de salud, ambientales y sociales, hay que recordar que el primer error con explosivos podría ser el último.

CRITERIO DE SELECCIÓN DE EXPLOSIVOS, CONTROL Y MANIPULACIÓN DE HERRAMIENTA Y EQUIPO.

3.1 PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS.

Es importante conocer las características físicas y químicas de los explosivos, porque sólo así es posible seleccionarlos para las operaciones mineras.

Actualmente, existe una amplia gama de explosivos disponible para diferentes usos. La selección de un explosivo para una tarea en particular se basa en dos criterios principales: las características del ambiente donde se desarrollará la tronadura y las características que permiten que el procedimiento se lleve a cabo en la forma esperada.



Figura3.1 selección de explosivos

3.2 SELECCIÓN DE UN EXPLOSIVO SEGÚN CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES

En la selección de un explosivo es importante considerar las características del ambiente, ya que lo fundamental es que éste funcione segura y confiablemente bajo las condiciones ambientales donde se va a usar. Los factores por considerar para seleccionar el explosivo adecuado son:

3.2.1 La sensibilidad.

Es la característica de un explosivo de propagar la reacción a todo lo largo de la carga. Conforme a la sensibilidad del explosivo se puede definir y controlar el diámetro mínimo para usos prácticos.

Una forma de determinar la sensibilidad es definiendo el "diámetro crítico" de un explosivo. Éste corresponde al diámetro mínimo en que un compuesto explosivo detona confiablemente. Puede variar bastante de un compuesto a otro y depende del diámetro de perforación.

La sensibilidad mide también la capacidad del explosivo para propagar la reacción de cartucho a cartucho, asumiendo que el diámetro es superior al diámetro crítico. Se puede expresar como la distancia máxima de separación (en centímetros) entre un cartucho cebado y uno sin cebar donde la transferencia de la detonación ocurrirá.

El diámetro de perforación definido para un proyecto específico determina el diámetro máximo de la carga de columna, el que debe ser mayor al diámetro crítico del explosivo por usar en ese pozo." Por lo tanto, seleccionar con anticipación ciertos diámetros de perforación permite eliminar desde un comienzo algunos productos explosivos.

3.2.2 Resistencia a la temperatura.

Las temperaturas extremas de almacenamiento pueden afectar el desempeño de los productos explosivos. A altas temperaturas de almacenamiento, es decir, a más de 32,2 °C, muchos compuestos se descomponen lentamente o cambian sus propiedades.

3.2.3 Ciclado del nitrato de amonio.

La fórmula química del nitrato de amonio es NH_4NO_3 . En relación con su peso, aporta más volumen de gas en la detonación que cualquier otro explosivo. En estado puro, el nitrato de amonio (NA) es casi inerte y su composición por peso es de 60% de oxígeno, 33% de nitrógeno y 7% de hidrógeno. Al agregar el diesel, la reacción con balance de oxígeno ideal para el NA es: $3\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CH}_2 \rightarrow 3\text{N}_2 + 7\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ Dos características hacen a este compuesto impredecible y peligroso. El nitrato de amonio es soluble en agua y si no tiene un recubrimiento repelente a ella, puede absorberla de la humedad ambiente y disolverse lentamente. Por esta razón, las pequeñas esferas o perlas tienen un recubrimiento protector de arena silíceo pulverizada, que ofrece alguna protección contra el agua. La segunda y más importante característica es un fenómeno llamado ciclado, que es la habilidad de un material para cambiar la forma de sus cristales con las variaciones de la temperatura

El nitrato de amonio tendrá una de las siguientes cinco formas de cristales, dependiendo de la temperatura:

RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TIPO DE CRISTALES
SOBRE 125	ISOMETRICOS
84.4 a 125	TETRAGONALES
32.2 a 84.4	ORTOGONALES
-18 a 32.2	PSEUDOTETRAGONALES
MENOR a -18	TETRAGONALES

Figura3.2 ciclado de nitrato de amonio

El fenómeno del ciclado puede afectar seriamente tanto el almacenamiento como el desempeño de cualquier explosivo que contenga nitrato de amonio. La mayoría de las dinamitas, tanto las a base de nitroglicerina como las permisibles, contienen algún porcentaje de nitrato de amonio, mientras que los agentes explosivos se componen casi en su totalidad de este compuesto.

Las temperaturas a las cuales ocurre el ciclado en condiciones normales son -18 °C y 32,2 °C. Esto significa que los productos que se almacenan durante el invierno y por períodos largos durante el verano, sobre todo en áreas de clima extremo, sufrirán diferentes grados de ciclado. En el verano, en un polvorín con poca ventilación o en un silo de almacenamiento con exposición directa al sol, la temperatura de ciclado puede alcanzarse con facilidad. El efecto del ciclado en el nitrato de amonio cuando éste se encuentra aislado de la humedad ambiente es que las perlas se rompen en partículas cada vez más finas.

Las consecuencias por efecto del ciclado pueden ser mayores, ya que la calidad del producto (nitrato de amonio) se pierde por aglomeración de prills o poca capacidad de absorber el petróleo, lo que implica que la reacción química no libera la cantidad de energía necesaria para el fraguramiento. Además, en estos casos lo más probable es que se generen gases no deseados, dado que la reacción química no es la correcta.

3.2.4 Almacenamiento del nitrato de amonio.

Las perlas (prill) están formadas por cristales pseudotetraedrales. Cuando la temperatura sobrepasa 32,2 °C cada cristal se rompe en cristales ortorrómbicos más pequeños. Al bajar nuevamente la temperatura, los pequeños cristales se rompen en cristales más finos aún, manteniendo una forma pseudotetraedrales. Este proceso puede continuar hasta que la densidad aumente más allá de 0,8 g/cm³, alcanzando valores cercanos a 1,2 g/cm³. Este incremento en la densidad puede hacer que el producto contenga más energía por unidad de volumen.

3.2.5 Resistencia al agua.

Es fundamental conocer la resistencia al agua de un explosivo. Esta es la habilidad que éste tiene para soportar el contacto con el agua sin sufrir deterioro en su desempeño. Los productos explosivos tienen dos tipos de resistencia al agua:

- Resistencia interna, que es dada por la composición misma del explosivo. Por ejemplo, algunas emulsiones pueden ser bombeadas directamente al pozo lleno de agua, desplazándola hacia arriba pero sin mezclarse con ella ni mostrar deterioro si se disparan en un tiempo razonable.
- Resistencia externa, que es dada por el envoltorio o cartucho dentro del que se coloca el material. Por ejemplo, el ANFO no tiene resistencia al agua interna, pero al colocarlo dentro de una manga plástica, puede mantenerse seco y se desempeña satisfactoriamente. En este caso, es la manga la que le provee la resistencia al agua que viene del exterior.

Los fabricantes de explosivos pueden describir la resistencia al agua de los explosivos de dos formas: usando términos cualitativos como excelente, buena, regular o mala, y en casos en que las condiciones de agua son severas, de acuerdo con el tiempo de exposición a ella, usando números del 1 al 4.

De acuerdo con las descripciones cualitativas, si hay agua en las operaciones de tronadura, específicamente en las perforaciones, se puede seleccionar un explosivo catalogado como "regular", el que se debe disparar lo más pronto posible después de cargado.

Si el explosivo va a estar en contacto con el agua un tiempo considerable, por ejemplo 8 horas, se seleccionan explosivos catalogados como "bueno".

Si las condiciones de agua son severas y el tiempo de exposición es significativo (tiempos mayores a 8 horas), un responsable de tronaduras

prudente debe seleccionar un explosivo con una excelente resistencia al agua. Los explosivos con mala resistencia al agua no deben usarse en pozos húmedos.

Este es el método más comúnmente utilizado en las hojas técnicas de los fabricantes.

Utilizando los rangos numéricos de la resistencia al agua se tienen las siguientes clases que indican la tolerancia del explosivo al agua:

CLASE	RESISTENCIA AL DETERIODO (HORAS)	EJEMPLO
1	72	AMONGELATINA
2	48	EMULSIONE ENVASADA SENSIBILIZADA
3	24	EMULSIONES DE PEQUEÑO DIAMETRO
4	12	DINAMITA SEMI GELATINOSA

Figura 3.3 Resistencia al agua

En general, el precio de un explosivo está directamente relacionado con la resistencia al agua.

La habilidad para permanecer sin cambios ante presiones estáticas altas se conoce como tolerancia a la presión de agua. Algunos compuestos explosivos se densifican y desensibilizan con las presiones hidrostáticas que se dan en pozos muy profundos. Una combinación de otros factores como clima frío y cebos pequeños también contribuye al fracaso de una tronadura.

Vapores, los vapores de explosivos corresponden a gases liberados a la atmósfera como producto de la detonación.

Las clases de vapores de un explosivo se miden de acuerdo con la cantidad de gases tóxicos producidos en el proceso de detonación, dentro de los cuales los principales son el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno.

El color de estos vapores entrega información acerca de la tronadura. Por ejemplo, si el color de los vapores luego de una tronadura es café rojizo o amarillo, puede indicar que la detonación ha sido poco eficiente, posiblemente a causa del deterioro del explosivo por el agua. Esta situación se puede remediar si se utiliza un explosivo con mayor resistencia al agua o si se usa un empaque externo de mejores características.

Aunque la mayoría de los agentes explosivos están cercanos al balance de oxígeno, reduciendo al mínimo los vapores y optimizando la liberación de energía, siempre se generan vapores.

En las operaciones de superficie, especialmente en cortes muy profundos o zanjas, la producción de vapores y su retención pueden ser peligrosas para el personal asignado a este trabajo.



figura3.4 Problemas de vapores (humos rojos) que indican posible deterioro del explosivo.

Algunas condiciones de tronadura pueden producir vapores tóxicos incluso cuando el explosivo esté balanceado de oxígeno. Estas pueden ser un insuficiente diámetro de la carga, inadecuada resistencia al agua, deficiente cebado (primado) y pérdida prematura del confinamiento.

El dióxido de carbono no es estrictamente un gas venenoso, pero su producción en grandes cantidades ha causado muchas muertes en tronaduras en áreas confinadas. El CO₂ detiene el funcionamiento de los músculos con movimiento involuntario del cuerpo, por ejemplo, el corazón y pulmones. Una concentración del 158% o más en volumen, puede provocar muerte por asfixia.

Como el dióxido de carbono tiene densidad de 1,53 g/cc, tiende a estancarse en los sitios más bajos de la excavación o donde haya poco movimiento. Una solución práctica al problema es usar aire comprimido para diluir cualquier alta concentración posible.

3.3 SELECCIÓN DE UN EXPLOSIVO SEGÚN CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO

Para seleccionar un explosivo, éste debe ser el que resulte más eficiente y económico para producir los resultados finales deseados. Para ello se deben considerar los siguientes factores:

3.3.1 Flamabilidad.

La flamabilidad es un aspecto importante desde el punto de vista del almacenamiento, transporte y uso, ya que hay materiales que explotan debido sólo a una chispa, mientras otros pueden ser quemados sin llegar a explotar. Por esta razón, hay explosivos que siendo muy económicos, han perdido mercado.

Durante las dos últimas dos décadas, los productos explosivos, en general, se han vuelto menos flamables. Sin embargo, hay que evitar la sensación de falsa seguridad, y tratar a todos los compuestos explosivos como altamente flamables.

3.3.2 Sensitividad.

Los explosivos requieren muy poca energía para detonar. Se dice que son de alta sensitividad y viceversa. Por ejemplo, el fulminante estándar número 8 hará detonar la dinamita que requieren algunas emulsiones encartuchadas, pero es importante destacar que un fulminante por sí solo no inicia la reacción del ANFO u otros agentes de tronadura. Para detonar confiablemente se utilizan cebos con un fulminante.

3.3.3 Velocidad de detonación.

La velocidad de detonación (VOD) es la velocidad a la que ocurre la reacción química entre el combustible y el oxidante, y se genera a lo largo de la columna del explosivo. Tiene un rango de 1.500 a 7.500 m/s para los explosivos de uso industrial. La VOD puede utilizarse como una herramienta que determina la eficiencia de una reacción explosiva.

3.3.4 Presión de detonación.

Esta es resultado casi instantáneo del movimiento de la onda de choque a través del explosivo. La presión de detonación está relacionada con la densidad del explosivo y la velocidad de detonación, siendo esta última un factor relevante en la presión de detonación liberada por el explosivo.

3.3.5 Densidad.

Este parámetro es muy importante, ya que los explosivos se compran, almacenan y utilizan en base al peso. La densidad se expresa normalmente como gravedad específica, que relaciona la densidad del explosivo con la densidad del agua, y determina el peso de explosivo que puede cargarse dentro de una perforación.

La densidad de un explosivo se usa comúnmente como herramienta para calcular la presión de detonación y los parámetros de diseño de las tronaduras (burden, espaciamento). Por ejemplo, se utiliza la llamada densidad de carga, que corresponde al peso de explosivo, para una longitud de carga y un diámetro determinados. En términos generales, se puede decir que a mayor densidad, mayor es la energía liberada que tiene el producto.

3.3.6 Potencia.

El término potencia se refiere al contenido de energía de un explosivo, que, a su vez, es la medida de la fuerza que puede desarrollar y su habilidad para hacer trabajo de fragmentación de la roca. La potencia ha sido clasificada por varios fabricantes sobre la base de un peso o volumen, y comúnmente se le llama potencia en peso y potencia en volumen.

3.3.6 Cohesividad.

La cohesividad se define como la habilidad de un explosivo para mantener su forma original. Hay ocasiones en que el explosivo debe mantener su forma original y otras en que debe fluir libremente. Por ejemplo, cuando se hacen tronaduras en rocas muy fragmentadas y agrietadas, definitivamente se debe utilizar un explosivo que no fluya hacia las grietas, sobrecargando el pozo. Por el contrario, en otras aplicaciones, tales como el cargado a granel, los explosivos deben fluir fácilmente y no atascarse en la perforación ni formar huecos en la columna explosiva.

3.4 EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES

3.4.1 EQUIPOS

Los equipos para preparar los frentes de trabajo para la realización de una voladura se reducen, en la minería chica y corporativizada a un cargador de ANFO. Sin embargo, en la minería mediana y en la minería grande existen equipos especiales para el carguío de ANFO.

3.4.2 HERRAMIENTAS

Las herramientas necesarias para el carguío de los taladros con material explosivo son las siguientes:

- ✓ Manguera antiestática de $\frac{3}{4}$ " f de un largo mayor a la profundidad de los taladros.(fig. 3.5)
- ✓ Manguera antiestática de 1" f de 50 cm de largo
- ✓ Cucharilla.(fig.3.6)
- ✓ Taqueador.(fig.3.7)
- ✓ Punzón de cobre o madera.(fig3.9)
- ✓ Cuchillo.(fig3.8)



Figura3.5 manguera antiestática.



Figura3.6 cucharilla



*Figura3.7 taqueador**Figura3.8 chuchillo*



Figura3.9 Punzo de madera

3.4.3 MATERIALES

Los materiales requeridos para realizar una voladura son los siguientes:

- ✓ Cartuchos de dinamita de 1/8" f y 4" (8") de largo.(fig3.10)
- ✓ Nitrato de Amonio mezcla con diesel (ANFO).(fig3.11)
- ✓ Alambre conector(Fig 3.12)
- ✓ Fósforos(fig3.13)
- ✓ Armadas, mecha de seguridad con fulminante y conector. (Fig3.14)



Figura3.10 Cartucho de dinamita



Figura3.11 ANFO



Figura3.12 Alambre conector

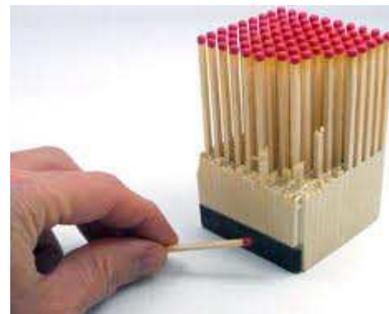


Figura3.13 Fósforos

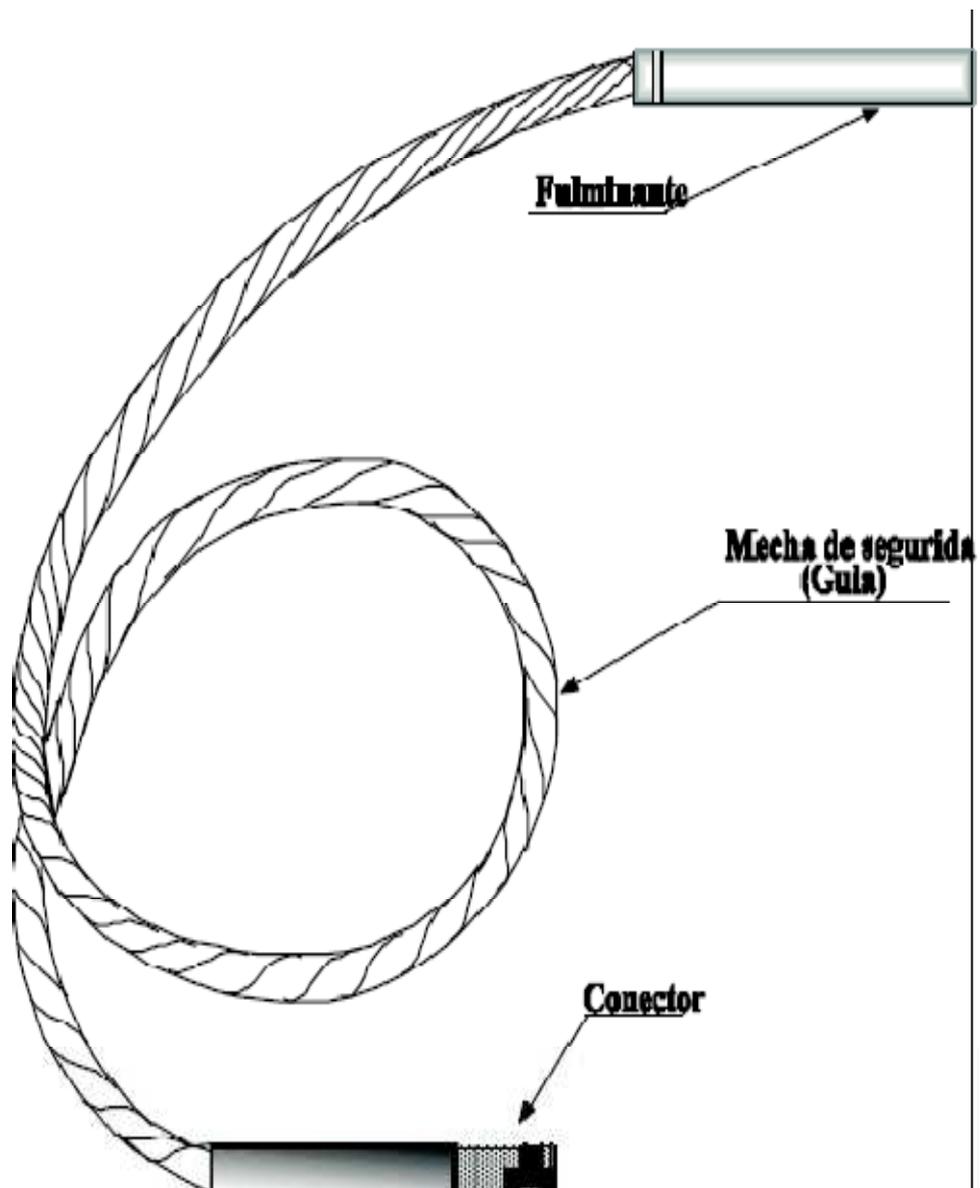


Figura 3.14 Armadas, mechas de seguridad con fulminante

3.4.3.1 CARTUCHOS DE DINAMITA

La dinamita es fabricada en cilindros de 4" o 8" de largo y 7/8" de f y son envueltos en un papel encerado amarillo. Vienen en cajas y son almacenadas adecuadamente en los Polvorines de cada operación minera.

Las dinamitas son mezclas que contienen nitroglicerina como sensibilizador y como principal agente de producción de energía. Oxidantes como el Nitrato de Amonio y los combustibles como el aserrín, harina de trigo o almidón. También tienen otros productos que sirven para corregir la higroscopicidad de los nitratos.

3.4.3.2 NITRATO DE AMONIO

El Nitrato de Amonio viene en granos, en bolsas de plástico para proteger de la humedad y estas a su vez dentro de bolsas de yute. Las bolsas tienen un peso de 50 Kg. El uso del Nitrato de Amonio mezclado con diesel data desde principios de 1960. La mezcla se la realiza en una relación, en peso, de 94% de Nitrato de Amonio y 6 % de diesel y se obtiene el ANFO (fig.3.15). Normalmente esta mezcla se la realiza en el polvorín en condiciones adecuadas. Sin embargo, cuando no se tiene la infraestructura adecuada se la puede realizar en el lugar de trabajo, como se muestra en las figuras 3.16, 3.17 y 3.18.

3.4.3.3 ARMADAS

Las armadas son la unión de la mecha de seguridad con un fulminante, en un extremo, y con un conector en el otro. El largo de la armada depende de la profundidad de los taladros y debe dejarse un margen de unos 20 cm, para facilitar su identificación y su conexión. Este material se recoge ya preparado del polvorín, donde se lo prepara en condiciones adecuadas.

A) MECHA DE SEGURIDAD

La mecha de seguridad es el medio con el cual la llama es transportada en forma relativamente uniforme para iniciar al fulminante. 1 El centro de la mecha de seguridad está compuesto por pólvora negra recubierta herméticamente con textil y con materiales a prueba de agua como asfalto o plástico. Las funciones de la cubierta son:

- 1 Proteger a la pólvora negra del agua, aceite u otras sustancias, que pueden afectar la velocidad de combustión o desensibilizarlo.
- 2 Proteger el centro contra la abrasión y mantener la flexibilidad.
- 3 Minimizar la posibilidad de iniciar otras cargas explosivas por las chispas provenientes de los lados de la mecha antes de que el fuego haya alcanzado al fulminante.
- 4 Evitar comunicación entre mechas contiguas.

Existen muchos productores y marcas de mechas de seguridad. Antes de usar las mechas es importante que el minero sepa la velocidad de combustión de la misma. Una velocidad de combustión de 120 segundos por yarda al nivel del mar, es considerado estándar.



Figura3.15. Nitrato de Amonio más diesel.



Fig. 3.16 Nitrato de amonio y diesel



Fig.3.17 Vaciado de diesel al nitrato de amonio



Fig. 3.18 Mezcla de nitrato de amonio y diesel

B) FULMINANTE

Es importante que la llama corra por el centro y no por la cubierta b) fulminante (fig. 3.19) El fulminante es una cápsula de aluminio con tres tipos de carga:

- 1 Un explosivo base de alta velocidad en la base de la cápsula
- 2 Un explosivo primario en el medio
- 3 Una carga de polvo de ignición al final.

La carga de polvo de ignición se inicia con la llama de la mecha de seguridad, la carga primaria convierte el calor en detonación e inicia el explosivo de alta densidad. Ya que el polvo de ignición está expuesto al final de la cápsula en la parte abierta, no se debe forzar el fulminante de ninguna manera, caso contrario, se puede producir una prematura detonación, ocasionando serios daños.

Fulminantes y mechas deben ser manejadas por personal entrenados, con experiencia y supervisados.

C) CONECTOR (Fig3.20)

El conector es un elemento muy importante en el proceso de la voladura y se encarga de encender la mecha de seguridad de todos los taladros cargados. Los conectores a su vez, son encendidos por medio del alambre conector.

El conector es una pequeña cápsula de metal, aluminio o cobre, el cual es engrapado a un extremo de la armada. El alambre conector pasa por la ranura, que tiene el conector en la parte opuesta a la conexión con la mecha lenta. Esta ranura se la aprieta con el pulgar de la mano y conector y alambre quedan firmemente unidos.

Este sistema permite al trabajador iniciar la voladura en un solo punto y no como se lo hace actualmente, encendiendo las mechas uno a uno, con el riesgo de que algunas de las mechas inicien el fulminante antes de que el minero termine de encender todas las mechas y se produzca un grave accidente.

Es importante mencionar también, que los conectores protegen de la humedad a las mechas.

Los conectores contienen una pequeña carga comprimida de un componente de ignición que ilumina cuando pasa la llama por él.

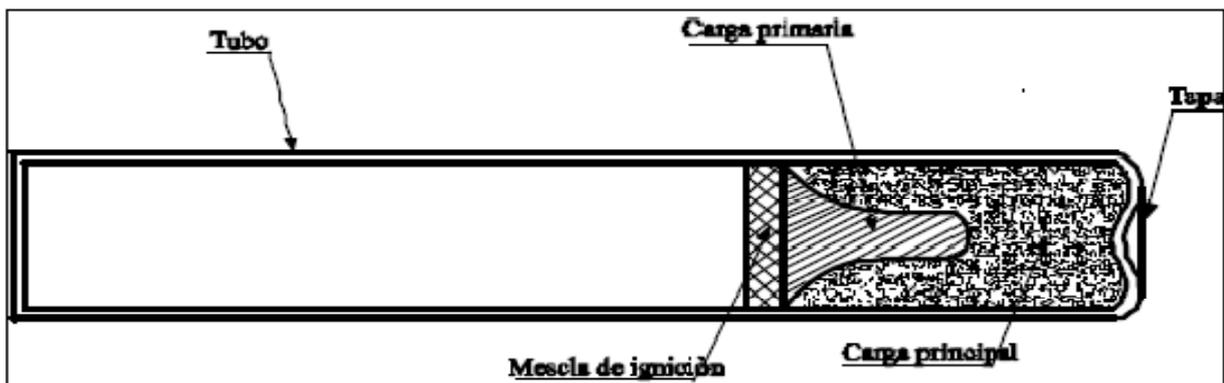


Fig. 3.19 Iniciador (Fulminante)

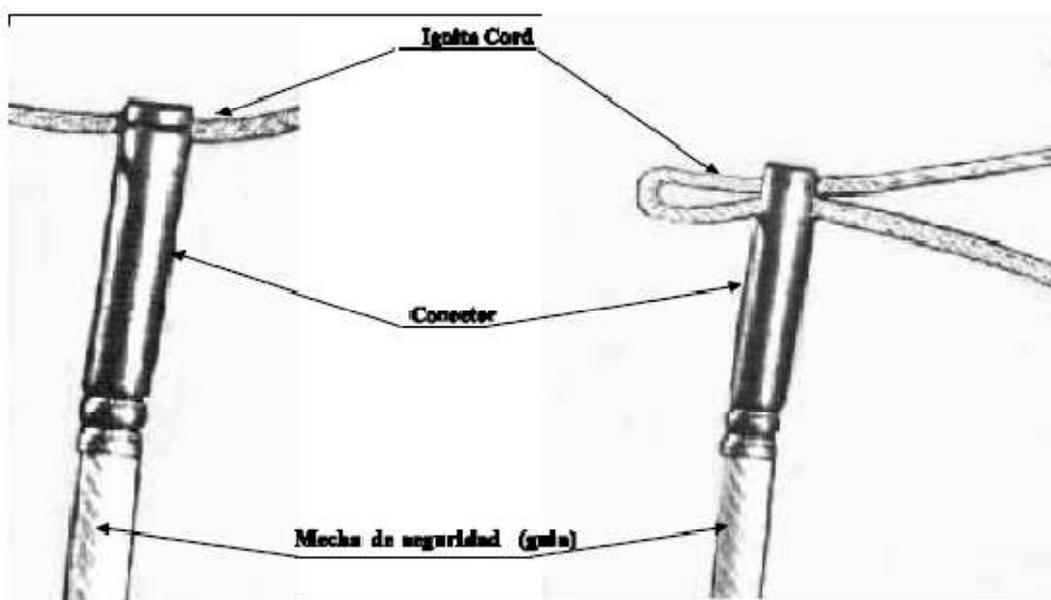


Fig. 3.20 Conectores

D) ALAMBRE CONECTOR

Este elemento de la voladura es muy sencillo de usar y se trata de un alambre delgado que arde progresivamente a lo largo de su longitud con una llama corta externa y caliente. Este alambre se lo comercializa en tres diferentes clases. Uno de rápido de 3 a 5 segundos por pie, otro medio de 5 a 10 segundos por pie, el cual es usado donde se tienen muchos taladros o los taladros están muy separados entre sí y finalmente uno lento, con una velocidad de combustión de 16 a 20 segundos por pie, que se usan donde los taladros están muy cerca uno de otro. Todos estos alambres están marcados claramente en espacios de un pie. 2

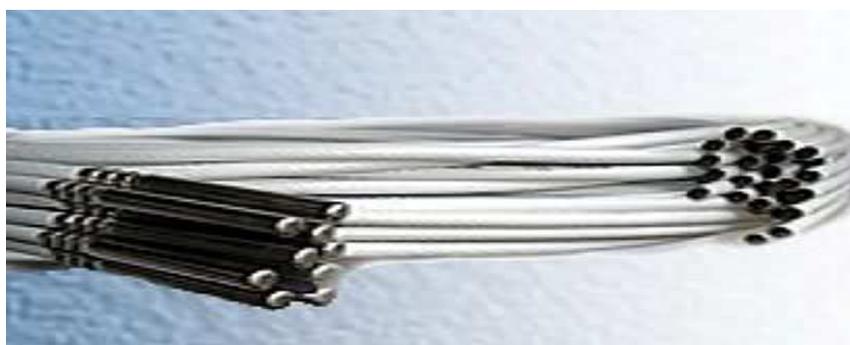


Figura3.21 Alambre conector

3.4.2 PEDIDO DE EXPLOSIVOS

Una vez que el supervisor conoce los requerimientos de material explosivo de los contratistas, éste prepara la orden de explosivos y entrega al contratista. Este recoge el material de la bodega y transporta a su paraje en forma separada, es decir, el maestro lleva las armadas y el ayudante los explosivos. Al llegar al paraje el contratista almacena sus armadas y los explosivos en un lugar seguro y a una distancia, entre ellos, de por lo menos 8 m.

2.4.3 MANEJO DE EXPLOSIVOS

Para el manejo y almacenaje de los explosivos, tome siempre en cuenta las siguientes precauciones:

- ✓ No fume ni encienda fósforos
- ✓ Guarde fulminantes y explosivos separados
- ✓ No golpee los fulminantes
- ✓ Guarde los explosivos en lugares secos

Un golpe sobre un fulminante podría iniciarlo y si los explosivos están cerca se iniciaría una explosión con serias consecuencias. Es importante almacenar los explosivos en un lugar seguro en el área de trabajo. Las armadas (fulminante, mecha de seguridad y conector) deben estar separados de los explosivos (dinamita y ANFO) a una distancia mínima de 8 m.

3.4.4 PROCESO DE CARGA Y DISPARO

3.4.4.1 LIMPIEZA DEL TALADRO (Fig 3.22)

- ✓ Introducir el taqueador hasta el fondo del taladro, esto permitirá eliminar irregularidades del taladro.
- ✓ Sacar las partículas sólidas de los taladros con ayuda de la cucharilla.
- ✓ Finalmente hacer soplar, el taladro, con la manguera o un tubo especialmente construido, para este fin.

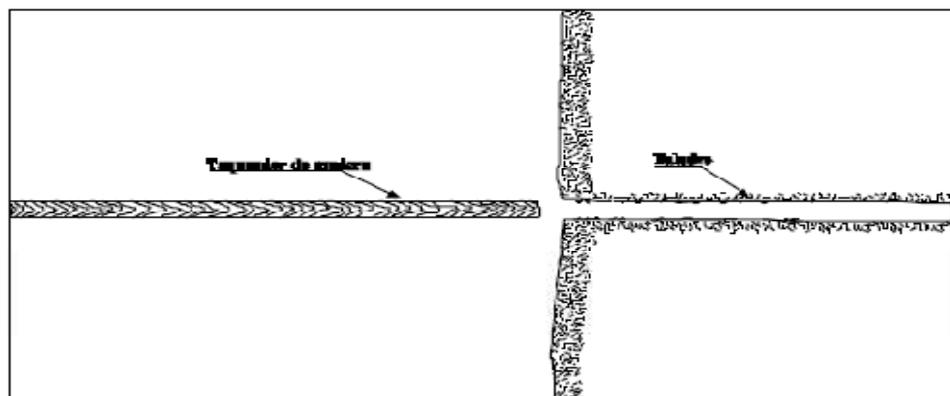


Fig. 3.22 Limpiar las irregularidades en el taladro con taqueador de madera

3.4.5 CONEXIÓN ARMADA / DINAMITA

- ✓ Perfore con el punzón de madera o cobre, en el centro de uno de los extremos del cartucho, hasta aproximadamente la mitad del mismo. (Fig. 3.23)
- ✓ Introduzca el fulminante cuidadosamente en la perforación hecha, hasta que choque con el final de la perforación. (Fig. 3.24)

No saque el papel protector de los cartuchos

3.4.6 PROCESO DE CARGA A LOS TALADROS

- ✓ Colocar el cartucho con la armada en la boca del taladro y en posición tal que el fulminante este dirigido hacia la boca del taladro. (Fig. 3.25)
- ✓ Empuje la dinamita, con la armada, hasta el fondo del taladro con ayuda del taqueador, (Fig. 3.26)
- ✓ Conecte el cargador de ANFO con la manguera para aire por un lado y por el otro con las mangueras anti-estáticas de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ ".
- ✓ Coloque la manguera anti-estática de $\frac{3}{4}$ " dentro el taladro hasta cerca al tope del mismo, la manguera anti-estática de 1" a la bolsa de ANFO. (Fig. 3.23)
- ✓ Abra la válvula de aire del sistema de distribución y luego lentamente abra la válvula del cargador de ANFO y se iniciará el carguío del taladro.

Proceder de esta forma hasta llegar aproximadamente a unos 30 cm de la ceja del taladro.

- ✓ Cierre la válvula del cargador y pase al siguiente taladro.

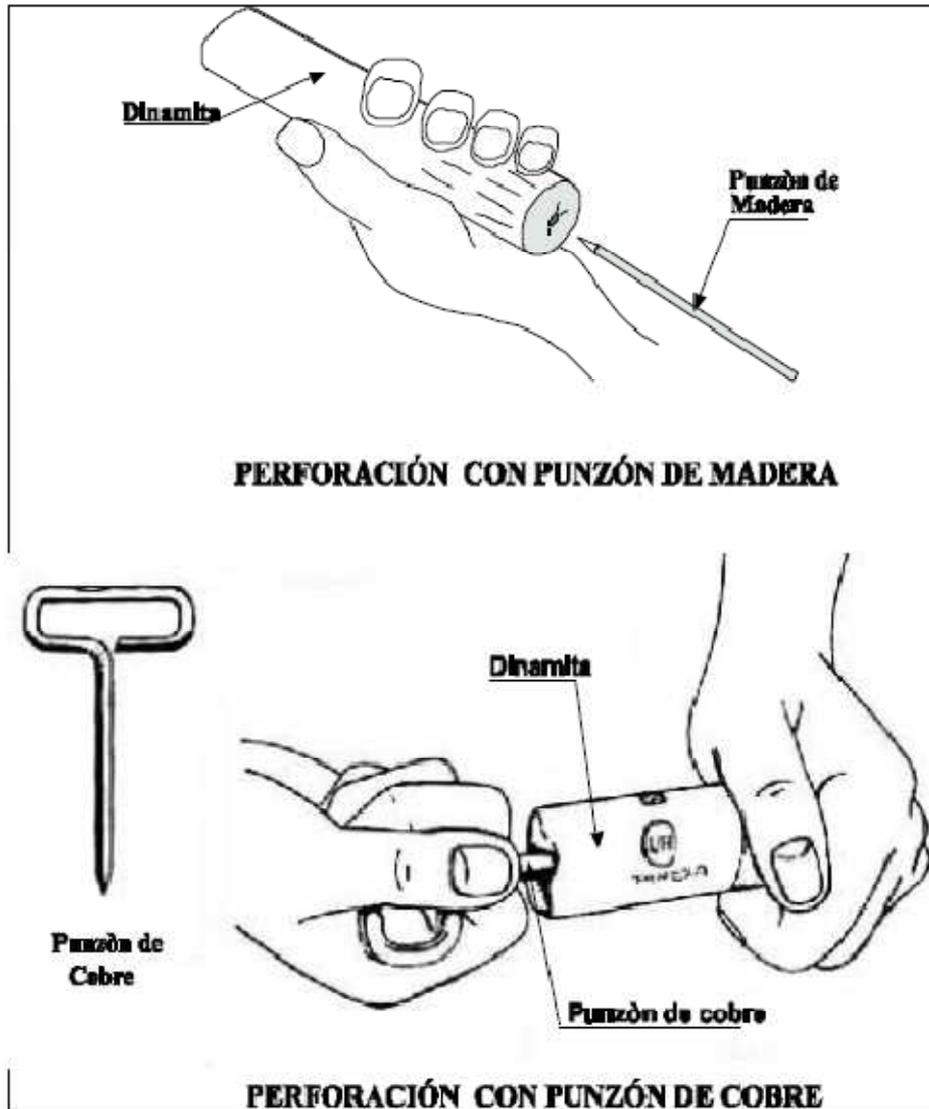


Fig. 3.23 Perforación de dinamita con distinto tipo de punzón

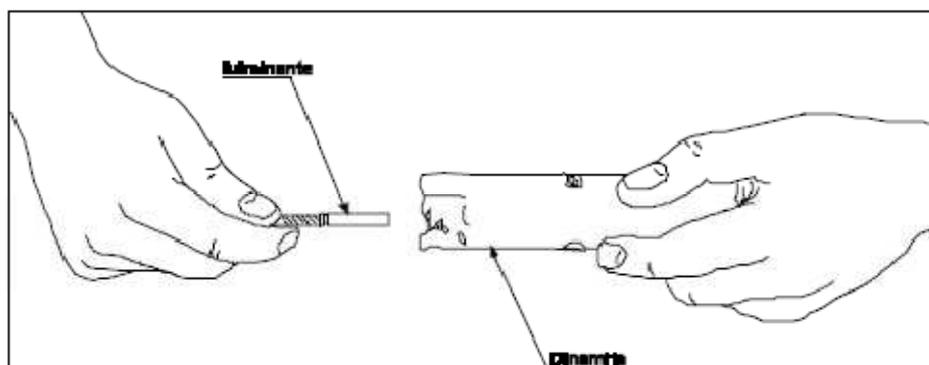


Fig. 3.24 Conexión de fulminante a dinamita

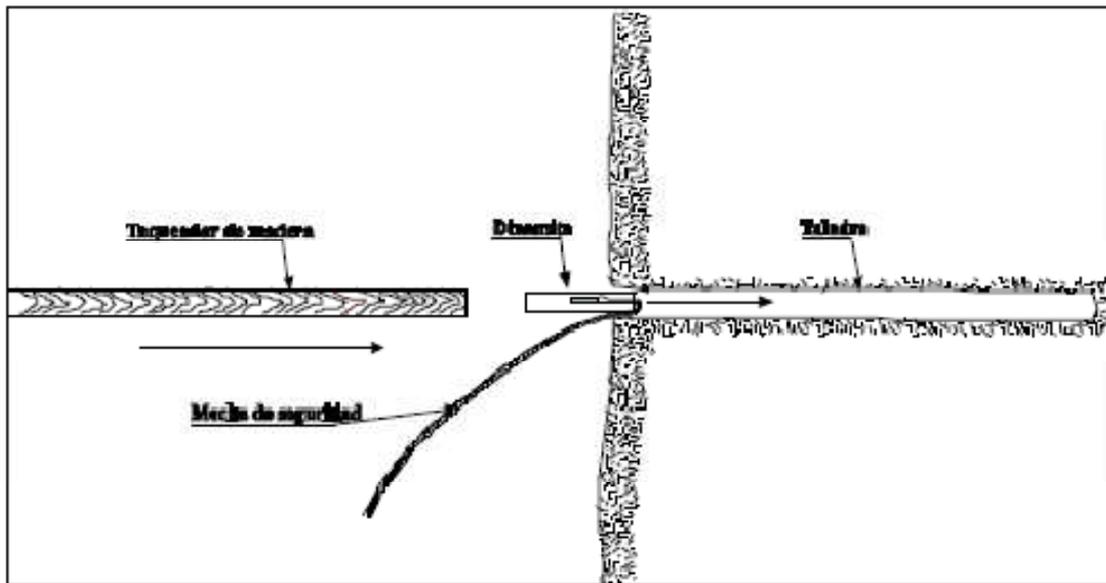


Fig. 3.25 Cargado de dinamita al taladro

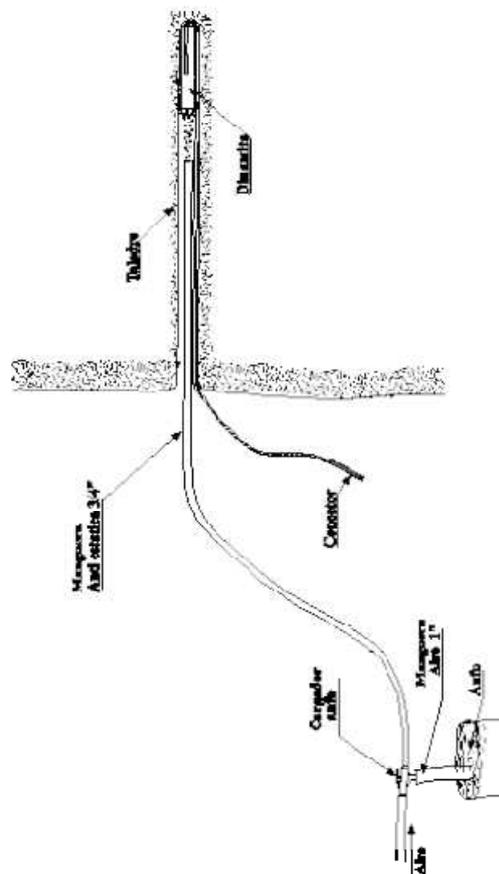


Fig. 3.26 Cargado de anfo al taladro

3.4.7 CONEXIÓN CON ALAMBRE CONECTOR

Cuando se concluyó la carga de todas las armadas en sus respectivos taladros, en el frente de trabajo se verán los conectores colgando con una parte de la mecha lenta fuera (20 cm), en este momento, se procede a la conexión.

Introduzca el alambre conector en la ranura del conector y apriete con el pulgar hasta que el alambre quede firmemente sujeto al conector. (Fig. 3.27).

De la manera, anotada anteriormente, conecte todos los conectores de las armadas con el alambre de conexión.

Deje una distancia mínima de 20 cm entre cada conexión

No usa más de 15 pies de alambre conector en un circuito

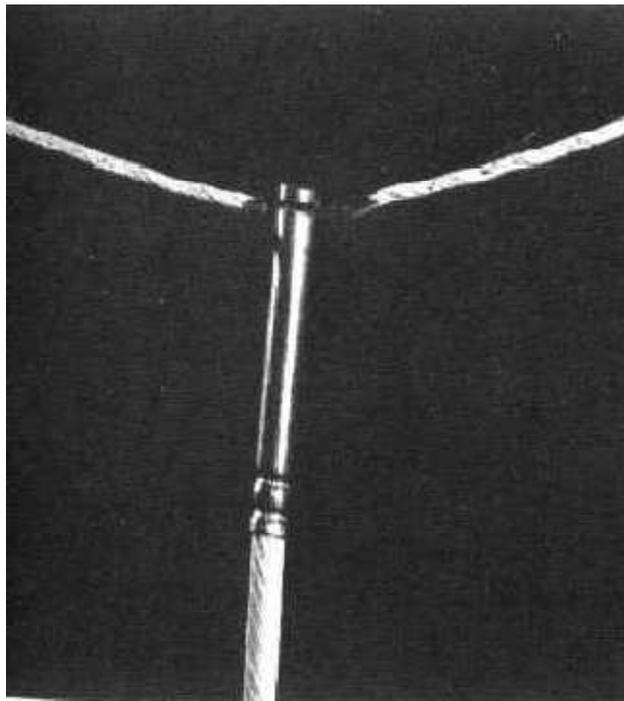


Fig. 3.27 Conexión del cordón de ignición al conector

Ejemplo:

Supongamos que tenemos 20 taladros cargados y el largo de la armada es de 8pies. Esto quiere decir que para conectarlos necesitamos:

$20 \text{ cm} \times 20 = 400 \text{ cm} = 13 \text{ pies} + 2 \text{ pies para el encendido} = 15 \text{ pies}$

Estos 15 pies se consumirán en: $15' \times 7.5 \text{ seg/pie} = 112 \text{ seg.}$

Una vez encendida la mecha de seguridad tardará $8' \times 40 \text{ seg/pie} = 320 \text{ seg.}$

Lo cual quiere decir que el momento que detone el primer taladro ya fueron iniciados todos los otros taladros y no hay el peligro de que se corte el circuito.

Si por el contrario usamos mucho alambre conector, puede darse el caso de que antes de que se inicie el último conector detone el primero, cortando consiguientemente el circuito.

3.4.8 DISPARO

Al inicio de la conexión se deja aproximadamente unos dos pies antes de conectar al primer taladro y es allí donde se realiza el encendido y de inmediato se deben alejar a una distancia prudente del lugar donde se está disparando.

Vigile todos los posibles accesos al lugar del disparo

Si son muchos los accesos, al lugar de disparo, se deben colocar letreros indicando claramente que no se debe ingresar por el peligro de disparo.

No dispare nunca fuera de horarios establecidos

Después del disparo espere un mínimo de 15 minutos antes de entrar al área de disparo, o más tiempo si la ventilación es deficiente.

3.5 CONSIDERACIONES GENERALES E INSTRUCCIONES DE EXPLOSIVOS.

3.5.1 DISEÑO DE VOLADURA

- ❖ Bajo ciertas condiciones, los diseños de voladura individuales deberán desarrollarse, registrarse en el área de la mina y aprobarse por un supervisor de voladuras. Las condiciones específicas en las cuales se requiere dichas acciones son cuando las operaciones de voladura se conducirán dentro de las siguientes distancias:

1) A 1000 pies (305m) de cualquier edificio usado como vivienda, edificio, público, colegio, iglesia o edificio con fines comunitarios o institucionales.

2) A 500 pies (150m) de minas subterráneas en actividad o abandonadas.

- ❖ El diseño de voladura deberá contener diagramas de las mallas de perforación y voladura, períodos de retardo y separación de las mezclas explosivas; deberá asimismo indicar el tipo y cantidad de explosivos que se usarán, las dimensiones críticas y la ubicación y descripción general de las estructuras que se van a proteger, así como una discusión de los factores de diseño por emplearse, con los cuales se protegerá al público y se cumplirá con los estándares aplicables respecto producido por la voladura, rocas lanzadas por la explosión y vibración del macizo rocoso; todo lo cual es tratado en los subcapítulos b, c y d.

3.5.2 ESTUDIO PREVIO A LA VOLADURA

- ❖ Por lo menos 30 días antes del inicio de la voladura, el operador deberá notificar, por escrito, a todos los residentes o propietarios de viviendas u otras estructuras localizadas dentro de ½ milla (800m) del área de voladura, sobre la manera de solicitar un estudio previo.
- ❖ Un residente o propietario de una vivienda o estructura en el rango de ½ milla (800) de cualquier parte del área de voladura podrá solicitar un estudio previo a la realización de la misma. Esta solicitud deberá dirigirse, por escrito, al mismo operador. a la brevedad, éste deberá

contratar los servicios de un auditor ambiental registrado, el cual conducirá un estudio previo a la voladura de la vivienda o estructura y preparará rápidamente un informe escrito del estudio. Si el propietario o residente lo requiriesen, el auditor también realizará un estudio de actualización de toda adición, modificación o renovación hecha a la vivienda o estructura.

- ❖ El auditor registrado deberá determinar la condición de la vivienda o estructura y deberá documentar cualquier daño previo a la voladura y cualquier factor físico que podría razonablemente verse afectado por la misma. Estructuras tales como tuberías, cables, líneas de transmisión, así como cisternas, pozos y otros sistemas de agua requieren particular atención; sin embargo, la evaluación de estas estructuras podría limitarse a las condiciones superficiales y a otros datos a los que se pueda acceder con facilidad.
- ❖ El informe escrito del auditor deberá ser firmado por el auditor que condujo el estudio. Copias de dicho reporte deberán remitir a la brevedad a la Dirección General de Minería, a la compañía operadora y a la persona que solicitó el estudio. Si la persona que solicitó el estudio no está conforme con el contenido y/o las recomendaciones que contiene el informe, podrá remitir tanto al operador como a la Dirección General de Minería una descripción detallada de las áreas específicas de desacuerdo.
- ❖ Todos los estudios que se soliciten con más de 10 días de anticipación a la fecha planificada para la iniciación de la voladura deberán ser realizados por el operador, a través de un auditor ambiental registrado, antes del inicio efectivo de las operaciones de voladura.

3.5.3 PROGRAMACIÓN Y NOTIFICACIÓN

- ❖ El operador deberá notificar por escrito a los residentes que se encuentren en el rango de ½ millas (800m) del lugar de voladura, así como

a los gobiernos locales, sobre las horas y lugares propuestos para las operaciones de voladura. Las notificaciones que anuncien las horas en que se realizarán operaciones de voladura deberán tener una periodicidad semanal; en todo caso, nunca con menos de 24 horas de antelación a la voladura misma.

- ❖ La operaciones de no programadas podrán efectuarse solo cuando así lo requieran la salud y la seguridad del público o del operador y para acciones de voladura de emergencia. Cuando un operador conduce una voladura superficial no programada, dicho operador, mediante señales audibles, deberá notificar a los residentes que se encuentran a ½ millas del área de voladura.
- ❖ Toda voladura en superficie deberá conducirse entre la salida y la puesta del sol.

3.5.4 LETREROS, ADVERTENCIAS DE OPERACIONES DE VOLADURA Y CONTROL DEL ACCESO.

Letreros sobre operaciones de voladura, control de voladura. El operador deberá efectuar las siguientes acciones:

1) Colocar visiblemente letreros en los que se lean “Área de voladura” a todo lo largo del borde de cualquier área de voladura que se encuentre dentro de 100 pies (30,5m) de toda carretera pública, servidumbre de vía y en los puntos en los que otras carreteras proporcionan acceso al área de voladura .

2) En todas las entradas al área involucrada desde carreteras o caminos públicos, colocar visiblemente letreros en los que se lean “!Advertencia!, Explosivos en uso”, y donde se enumere y describa con claridad el significado de la señal auditiva de advertencia de voladura y de todas las señales para despeje total que se usan; que expliquen, además, la marcación de las áreas de voladura.

- ❖ **Advertencia.** Se deberán dar las señales de advertencia y de despeje total de diferente carácter o patrón que sean audibles en el rango de ½

millas (800m) desde el punto de voladura . Toda persona dentro del área de voladura y toda persona que resida o trabaje regularmente en el rango de ½ milla del área de voladura deberá ser notificada sobre el significado de dichas señales.

❖ **Control de acceso.** Se deberá controlar el acceso a las áreas de voladura con el objeto de evitar la presencia de ganado o de personas no autorizadas durante la voladura y hasta que un representante autorizado del operador haya determinado razonablemente lo siguiente:

- 1) Que no existen peligros inusuales, tales como deslizamientos inminentes o cargas sin detonar;
- 2) Que se puede reanudar, con condiciones de seguridad , el acceso y el tránsito por el área de voladura.

3.6 CONTROL DE EFECTOS ADVERSOS

Los impactos ambientales principales asociados con las operaciones de voladura en minas de superficie y subterráneas tienen que ver con los siguientes parámetros: chorro de aire producido por la voladura, roca lanzada por la explosión, vibraciones de tierra, ruido, polvo y emanaciones.

En los siguientes subcapítulos se trataran todos estos parámetros.

Las rocas lanzadas por la explosión son una causa potencial de muerte, heridas serias u daños ala propiedad. Las vibraciones de tierra, el ruido y el chorro de aire producido por la voladura sonlas causas potenciales de daños a la propiedad y molestias para las personas, pero es poco probable que ocasionen daños personales. Las rocas lanzadas por la explosión, las vibracionesde tierra y el chorro de aire representan, todos ellos, energía desperdiciada del explosivo.

Cuando se presentan cantidades excesivas de estos efectos laterales indeseables, éstas sonocasionadas por un diseño inadecuado de la voladura o por carencia de atención al aspectogeológico. Cuando ocurren excesivos

efectos colaterales, se pierde parte de la energía explosiva que estaba destinada a proporcionar la cantidad apropiada de fragmentación y remoción de rocas, la cual, en cambio, se dirige a las rocas circundantes y a la atmósfera. Rara vez ocurren problemas serios de polvo o gases debido a las operaciones de voladura. Puede producirse una cantidad mayor que lo normal de polvo debido a un tiro violento. Los gases nocivos, normalmente óxidos de nitrógeno o monóxido de carbono, son el resultado de una reacción explosiva ineficiente. Debido a su naturaleza esporádica, la voladura no constituye una fuente considerable de contaminación ambiental.

3.6.1 AIRE PRODUCIDO POR LA VOLADURA.

Definición:

Las ondas de sonido ocurren en un medio que tiene propiedades de masa y elasticidad. El mecanismo de propagación de las ondas de sonido es la transferencia de impulso, a través del desplazamiento molecular, de una molécula a otra. Esta alteración o flujo de aire se propaga a través de una onda de compresión que viaja por la atmósfera, de manera semejante a como lo hace una onda superficial de tipo P que viaja a través de la tierra. Bajo ciertas condiciones climáticas y por un deficiente diseño de la voladura, puede ocurrir que el chorro de aire producido por la voladura viaje a través de grandes distancias. Cada vez que algo se mueve más rápido que la velocidad del sonido en el aire, ello puede contribuir a la producción de chorro de aire.

El flujo de aire es un impulso transitorio que viaja a través de la atmósfera. Gran parte del chorro de aire producido por la voladura tiene una frecuencia por debajo de los 20 Hz y es inaudible para el oído humano. El chorro de aire audible se denomina "ruido", mientras que aquellos con frecuencias por debajo de 20 Hz e inaudibles para el oído humano se denominan "concusiones" (sobrepresión). Sin embargo, todo chorro de aire producido por la voladura, tanto audible como inaudible, puede hacer que una estructura vibre de la misma manera que lo haría una vibración de tierra. No obstante, el chorro de

aire de una voladura típica tiene menor potencial que las vibraciones de tierra para ocasionar daños a las estructuras.

Causas:

El flujo de aire es comúnmente ocasionado por uno o más de tres mecanismos. El primero es la energía liberada de explosivos no confinados, tales como líneas troncales o capas de lodo de cordón detonante no cubierto, usados para la voladura secundaria. La segunda causa es la liberación de energía explosiva a partir de cargas inadecuadamente confinadas en los taladros.

Algunos ejemplos son el taco inadecuado, carga inadecuada o vetas de lodo. La tercera causa se asocia con la transmisión de una porción de la onda de compresión en el aire, luego de la reflexión, en la cara libre, proveniente del disparo de la primera hilera de taladros. Cuando la cara libre se mueve hacia fuera, actúa a manera de pistón para formar una onda de compresión de aire (chorro de aire). Por esta razón, las localidades que se encuentran frente a la cara libre reciben niveles más elevados del chorro de aire producido por la voladura que aquellas localidades que se encuentran detrás de la cara libre.

· Los cuatro principales tipos de “sobrepresiones” por chorro de aire son:

APP-. Impulso de presión de aire; producido por un desplazamiento directo de roca en la cara o amontonamiento en el collar del taladro.

RPP- Impulso de presión de roca; producido a partir de la tierra vibrante.

GRP Impulso de liberación de gas; gas que escapa del explosivo detonante a través de fractura de roca.

SRP- Impulso de liberación de taco; gas que escapa del taco volado.

El primer impulso de presión en llegar a la estación de registro es el RPP, que es generado por los componentes verticales del movimiento de tierra, sumados por toda el área. Normalmente, presenta la menor amplitud de los

componentes del chorro de aire; a pesar de que, acerca, podría ser la sobre presión más elevada.

El APP es el segundo impulso en llegar, a través del aire, al lugar de medición. La porción superior de cada taladro cargador y/o taladro superficial actuará como una fuente de APP.

El GRP y/o SRP son los impulsos que más contribuyen a daños por chorro de aire producido por la voladura y también a generar molestias para las personas. Sin embargo son los más fáciles de medir y los que mejor se pueden controlar en el diseño de voladura.

Los elementos y condiciones que pueden mejorar las cuatro principales causas del chorro de aire son:

- ✓ Líneas troncales y líneas descendentes de cordón detonante.
- ✓ Falta de materiales apropiados para tacos.
- ✓ Altura inadecuada de taco.
- ✓ Hilera frontal de taladros muy excavada o sobrecargada, en movimiento de carga prematuro
- ✓ Secuencia de retardo
- ✓ Condiciones atmosféricas (viento, temperatura, etc.)
- ✓ Voladura secundaria
- ✓ Escape de gas a través de fracturas
- ✓ Vetas de lodos que proporcionen una vía fácil para que los gases escapen al aire en la superficie libre

Límites:

Los flujos de aire como resultado de operaciones de voladura no deberán exceder los límites máximos que se consigna más adelante en lugares donde haya viviendas, edificios públicos, colegios, iglesias o edificios comunales o institucionales fuera del área de voladura.

Límite inferior de frecuencia del sistema de edición, en Hz (± 3 dB) Nivel máximo en dB

0.1 Hz o respuesta baja - plana..... pico de 134

2 Hz o respuesta baja - plana..... pico de 133

6 Hz o respuesta baja - plana....pico de 129

Respuesta ponderada tipo C..... pico de 105

.

Monitoreo:

1) El chorro de aire producido por la voladura se mide con medidores especiales, trasconductores de presión o micrófonos de amplia respuesta. Estos instrumentos por lo general, forman parte de los sismógrafos de voladuras. Al igual que con las vibraciones de tierra se miden tanto la frecuencia como la amplitud. Esta última por lo general, se mide en decibelios, algunas veces en libras por pulgada cuadrada, mientras que la frecuencia se mide en hertz.

2) Los diferentes instrumentos tienen límites de frecuencia inferior. Dado que gran parte del chorro de aire de voladura se encuentran en estos niveles de frecuencia baja, algunos instrumentos miden más del chorro de aire que otros.

3) Los sistemas de medición usados deberán tener una respuesta de frecuencia plana en el extremo superior de por lo menos 200Hz.

4) Se encuentran disponibles instrumentos que registran tanto la lectura pico como la historia entera del tiempo del chorro de aire producido por la voladura. El último de los tipos mencionados es el recomendado para propósitos de reparación de averías.

5) Cuando se tome la lectura de un único chorro de aire en un lugar, el medidor deberá estar a 3-5 pies por encima del suelo y a por lo menos 5 pies de distancia de cualquier estructura, con el fin de evitar distorsiones del registro debido a las reflexiones del chorro de aire.

6) Todos los equipos de control de los chorros de aire deberán estar equipados con pantallas contra viento para minimizar el nivel de ruido de fondo y proteger el micrófono.

7) El operador deberá conducir un monitoreo periódico para garantizar el cumplimiento de los límites de chorro de aire anteriormente señalados en cada una de voladuras; además podrá especificar las localizadas en las cuales se harán las respectivas mediciones.

Mitigación:

- ❖ Las voladuras adecuadamente ejecutadas, donde los explosivos de superficie están adecuadamente cubiertos y las cargas en los taladros adecuadamente confinadas, presentan pocas probabilidades de producir niveles nocivos de chorro de aire. Sin embargo, debe prestarse particular atención a la geología local.

- ❖ El cuadro siguiente resume muchas de las variables y el grado en el cual cada contribuye a la generación del chorro de aire.

	Variables Insignificantes	Variables Significativas	Moderadamente Significativas
En control de los operadores mineros:			
Peso de carga por Retardo	X		
Longitud de retardo	X		
Carga y espaciamiento	X		
Taco (cantidad)	X		
Taco (tipo)		X	
Longitud y diámetro De carga			X
Angulo de taladro			X
Dirección de iniciación	X		
Peso de carga por Voladura			X
Profundidad de carga	X		
Cordón detonante			
Desnudo vs. Cubierto	X		
Sistema de iniciación			
Detonadores eléctricos			
Detonadores eléctricos Vs. No electricos			X
Fuera del control de los operadores mineros:			
Superficie general			X
Tipo y profundidad			
De sobrecarga	X		
Viento	X		
Condiciones atmosféricas			

Figura 3.28 Cuadro de variables de chorro de aire

- ❖ Pueden emplearse las siguientes técnicas para reducir el flujo de aire producido por la voladura
- ❖ No deberán usarse explosivos no confinados. Cuando se use cordón detonante en superficie, éste deberá estar cubierto o enterrado. Los cordones con cargas de núcleo más ligeras requieren menor profundidad de entierro.
- ❖ La suficiente cantidad de carga y taco en los taladros es esencial. Cuando la longitud del taco sea marginal (altura de taco equivalente a la

carga), un material de taco más grueso proporciona mejor confinamiento de la carga de los materiales finos, especialmente cuando existe agua en la zona del taco. Una dimensión del taco deberá usarse cuando se ha robado parte de la carga en la cresta de la hilera frontal de taladros.

- ❖ Las condiciones geológicas que causan estallidos (es decir, las vetas de lodo, vacíos o estratificación abierta) y las cavidades de solución deberán compensarse colocando un taco a través de ellas o mediante colocación de cargas subnormales.
- ❖ Los taladros deberán perforarse con precisión para mantener la carga diseñada. Esto es particularmente importante en los taladros inclinados.
- ❖ Si existe una cara libre alta en la dirección de instalaciones físicas cercanas, dicha cara deberá reorientarse si fuera posible o bien se reduciría su altura.
- ❖ Se deberá evitar el primer en collar en los casos en que el chorro de aire constituya un problema.
- ❖ Se deberán evitar los disparos a primeras horas de la mañana, al finalizar la tarde o en la noche, cuando hayan grandes probabilidades de que ocurra inversión de temperatura. La voladura cuando hay viento considerable que sopla hacia áreas construidas cercanas incrementará el chorro de aire.
- ❖ El uso de retardos más prolongados entre las hileras que entre los taladros de una hilera promoverá el movimiento hacia delante de la carga, en vez de promover el movimiento hacia arriba. Un buen método práctico es cinco segundos por pie de carga entre las hileras; pero este tiempo deberá incrementarse en las últimas hileras para disparos con muchas hileras.
- ❖ Deberán evitarse los retardos excesivamente prolongados que podrían causar que un taladro pierda su carga antes de ser disparado.

- ❖ Reducir el peso de carga por retardo a través de:
 - ✓ bajar la altura de banco
 - ✓ disminuir los diámetros de los taladros
 - ✓ separar las mezclas explosivas

- ❖ Evitar los períodos de retardo muy breves.
- ❖ La progresión de agujeros que se disparan a los largo de una cara libre deberá ser menor que la velocidad del sonido en el aire.
- ❖
- ❖ Para evitar el reforzamiento del chorro de aire por la llegada simultánea de chorros de aire provenientes de diferentes taladros, el tiempo para las detonaciones sucesivas deberá ser:

$$T > 2(s/v)$$

Dónde: **T**= tiempo entre detonaciones taladros (seg.)

S= espaciamiento entre taladros (pies)

V= velocidad del sonido en el aire respecto de la temperatura(pie/seg.)

3.6.2 LANZAMIENTO DE ROCAS.

Definición:

La roca lanzada por la explosión se refiere a la roca impulsada vertical y/o lateralmente al aire como resultado de la detonación de un explosivo. Esta roca lanzada constituye un desperdicio indeseable de material.

Aspectos Generales:

La roca lanzada por la explosión, principalmente asociada con el minado de superficie, es el efecto más peligroso de la voladura. Es la causa más frecuente de muertes en el lugar y de daños a los equipos como resultado de la voladura. Ocasionalmente, la roca lanzada sale del área de la mina y ocasiona daños

graves a las personas y la propiedad que se encuentran más allá de los límites de la mina. Las distancias que viaja la roca lanzada pueden fluctuar de cero - para una voladura bien controlada- a casi 1,5 kilómetros para una voladura bien controlada a casi 1,5 kilómetros para una voladura minera amplia deficientemente confinada.

Límites:

La roca lanzada que viaja en el aire o a lo largo del terreno no deberá salir del área de voladura.

- ✓ Más de una vez y media la distancia a la vivienda o estructura ocupada más cercana; o
- ✓ más allá del lindero de la propiedad.

Causas:

- ✓ La excesiva roca lanzada por la explosión es caso siempre ocasionada por una voladura inadecuadamente diseñada o inadecuadamente cargada. Una dimensión de carga menor que 25 veces el diámetro de la carga por lo general proporciona un factor de polvo demasiado elevado para la roca por volar. La energía explosiva en exceso da por resultado largas distancias de roca lanzada.
- ✓ Una carga excesivamente grande podría causar violencia en la zona de collar, especialmente cuando se usa una cantidad inadecuada o un tipo inefectivo de taco. Esta situación se compone cuando se usa primero en la parte superior, en oposición a primer en el fondo.
- ✓ Las zonas de debilidad o vacíos son, por lo general, causas de roca lanzada. Cualquier explosivo cargado en estas zonas seguirá las líneas de menor resistencia y “estallará” ocasionando el lanzamiento de la roca.

Mitigación/Paliación:

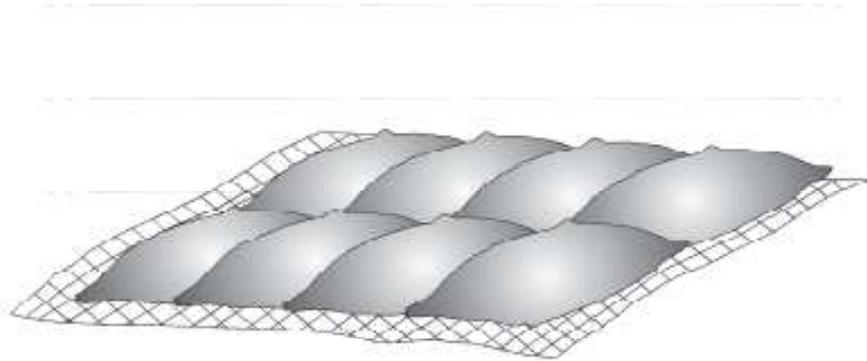
- ✓ Para evitar o corregir problemas de roca lanzada, el operador de voladura deberá asegurar que la carga sea adecuada y que se éste usando la suficiente distancia de collar. Un material con dimensiones de $\frac{1}{4}$ de pulgada funciona mejor para los tacos que los materiales más finos, particularmente cuando hay presencia de agua en los taladros.
- ✓ En algunos casos, podría ser necesario alargar la zona del taco por encima de la carga principal y usar una pequeña carga de separación de mezclas explosivas para reducir la roca lanzada y aún así asegurar que se quiebre la roca de superficie.
- ✓ Evitar la iniciación en la parte superior.
- ✓ En los disparos de hilera múltiple, los retardos más prolongados entre las hileras tardías, en el orden de 10 cm por pie de carga, podrían reducir la roca lanzada. Se deberán tomar precauciones contra cortes cuando se empleen demoras de esta longitud.
- ✓ Los operadores de perforación deberán registrar la presencia de velocidades anormales de penetración de perforación deberán registrar la presencia de velocidades anormales de penetración de perforación que puedan indicar la presencia de vetas de lodo, una zona de roca incompetente o, incluso un vacío. La colocación de algunos pies de taco, en vez de explosivos, en estas áreas deberá reducir la probabilidad de roca lanzada.
- ✓ La medición cuidadosa de la acumulación en la columna, a medida que se procede con la carga de explosivos, evitará la carga excesiva en zonas de debilidad (vacíos, etc.) y asegurará un espacio adecuado para el taco.

Medidas de Protección:

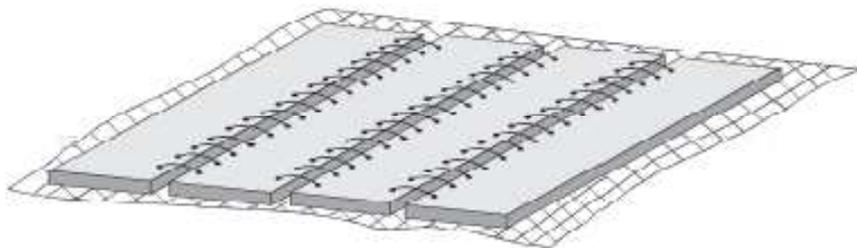
A pesar de una planificación esmerada y de un buen diseño de voladura, ocasionalmente podría presentar la roca lanzada, contra la cual siempre se debe contar con protección. Siempre se debe mantener cierto margen de error.

Las distancias de roca lanzada anormalmente larga deberán medirse y registrarse para referencia futura. El tamaño del perímetro protegido deberá tener en cuenta estas consideraciones. Toda persona dentro de este perímetro debe llevar un cobertor seguro y ser adecuadamente advertida.

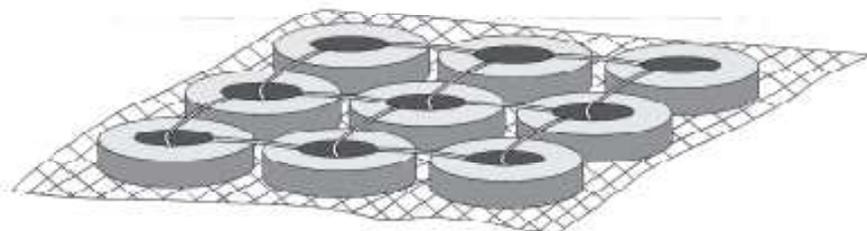
EJEMPLOS DE MALLA DE VOLADURA (BLASTING MATS) RÚSTICAS QUE PUEDEN PREPARARSE EN EL LUGAR DE LA VOLADURA



1.- Sacos de arena o tierra sobre malla de alambre para cerco



2.- Trozos de faja transportadora de jete usados, amarrados con cable y colocados sobre malla de acero



3.- Llantas viejas amarradas con cable resistente colocadas sobre malla de acero

Figura 3.29 Ejemplos de malla para voladura

3.6.3 VIBRACIONES DEL MACIZO ROCOSO

Definición:

Uno de los aspectos más problemáticos y controversiales que encara la industria minera es el de las vibraciones de tierra y los chorros de aire producidos por la voladura. Todas las voladuras generan vibraciones de tierra. Cuando se detona un explosivo en un taladro, se crea una onda de explosión que chanca el material alrededor del taladro y genera muchas de las rajaduras iniciales, necesarias para la fragmentación. A medida que esta onda viaja hacia fuera, se convierte en onda sísmica o de vibración. A medida que la onda pasa por una porción dada de tierra, hace que dicha tierra vibre. Los niveles de vibración de tierra excesivamente altos pueden dañar las estructuras físicas.

La mayoría de minas subterráneas realizan voladuras relativamente pequeñas y no tienen problemas de vibración. En los casos en que las vibraciones se convierten en un problema, los temas tratados en este capítulo se aplican tanto a la voladura bajo tierra como a aquella efectuada en superficie.}

Causas:

v Las excesivas vibraciones de tierra son ocasionadas por colocar demasiada energía explosiva en la tierra o bien por no diseñar adecuadamente el disparo. Parte de la energía que no se utiliza para fragmentar y desplazar la roca, se transformará en vibraciones de tierra. El nivel de vibración en un lugar específico se determina principalmente por el peso máximo de explosivos que se usa en cualquier período individual de retardo en la voladura y por la distancia a dicho lugar desde el área de voladura.

v Los retardos de una voladura hacen que ésta se rompa en una serie de explosivos individuales más pequeñas, con muy poco espacio entre una y otra. Mientras más prolongados sean los intervalos entre los retardos, mejor será la separación entre las explosiones individuales. Con grandes explosiones a grandes distancias de las estructuras, se requieren retardos más prolongados

para obtener una verdadera separación de las vibraciones, dado que la vibración proveniente de cada carga individual dura por un período más prolongado.

v En general, las amplitudes de vibración en las estructuras que se sitúan en la formación de roca que se está volando serán mayores que en estructuras que se encuentran en otras formaciones. sin embargo, podrían tener frecuencias más elevadas, lo que reduce la respuesta de las estructuras y la probabilidad de daños.

v Además del peso de carga por retardo, la distancia y el intervalo de retardo, dos factores pueden afectar el nivel de vibraciones de tierra en un lugar dado; sobre confinamiento: un tiro con carga adecuadamente diseñada producirá menos vibración por libra de explosivo que uno con demasiada carga. Una cantidad excesiva de sub perforación, que da por resultado un confinamiento extremadamente pesado de la carga explosiva, también ocasionará niveles más altos de vibración de tierra, particularmente si el primer es colocado en la subperforación. - Retardos :si los retardos proceden en secuencia en una hilera, las vibraciones en la dirección en que procede la secuencia serán las más altas debido a un efecto de avalancha.

Límites:

Los límites de vibración son importantes; el nivel por encima del cual es probable la ocurrencia de daños y el nivel por encima del cual es probable que se quejen los residentes vecinos. No hay un nivel preciso en el cual empiecen a ocurrir daños. El nivel de daños depende del tipo, condición y edad de la estructura, el tipo del terreno sobre el cual se ha construido la estructura y la frecuencia de la vibración en hertz.

v En general, todos los edificios públicos y privados, viviendas y otras instalaciones (por ejemplo torres de agua, tuberías y otros servicios públicos, túneles, minas subterráneas, represas, pozas, etc.) deberán protegerse de daños inducidos por voladuras, que sean el resultado de vibraciones de tierra.

Velocidad Máxima Partícula Pico:

La vibración máxima de tierra no deberá exceder los siguientes límites en donde se encuentre cualquier vivienda, edificio público, colegio, iglesia, o edificios comunal o institucional fuera del área de coladura:

Distancia (D) desde el área de voladura en pies	Velocidad de partícula pico máxima permitida (v_{max}) para vibración de tierra en pulgadas/segundo ¹	Factor de distancia a escala por aplicación sin monitoreo sísmico ² D
0 a 300	1,25	50
301 a 5000	1,00	55
5001 a más	0,75	65

Figura 3.30 Vibraciones máximas

1 La vibración de tierra se medirá como velocidad de partícula. La velocidad de partícula deberá registrarse en tres direcciones recíprocamente perpendiculares. La velocidad de partícula pico máxima permitida se deberá aplicar a cada una de las tres mediciones.

2 Aplicable a la ecuación de distancia a escala.

Ecuación de distancia a escala:

Un operador podrá usar la ecuación de distancia a escala $W=(D/D_s)^2$, para determinar el peso de carga permitido de los explosivos por detonarse en cualquier período de 8 milésimas de segundo, sin monitoreo sísmico, donde:

W = el peso máximo de explosivos, en libras;

D = la distancia, en pies, desde el área de voladura hasta la estructura protegida más cercana; y

D_s = el factor de distancia a escala (ver cuadro que antecede)

El desarrollo de un factor de distancia a escala modificado puede ser utilizado por el operador, si se justifica en base a registros sismográficos de las operaciones de voladura en el área de la mina. El factor de distancia a escala modificado deberá ser determinado de manera tal que la velocidad de partícula de la vibración de tierra pronosticada no exceda los valores establecidos en el cuadro anterior.

En general, las vibraciones de tierra de menos de 2 pulgadas por segundo (5,1cm/seg) rara vez ocasionan daños a la propiedad o a estructuras construidas.

- ✓ En general, las siguientes relaciones empíricas deberán mantenerse en los lugares donde pueda originarse deterioro de la masa de rocas subterráneas debido a vibraciones por voladuras:

Velocidad de Partícula Pico (pulg/seg)	Efectos en Masa de roca
Menos de 10	No hay fractura de rocas intactas
De 10 a 15	Puede ocurrir rebanado tensional menor; pueden ocurrir algunas caídas de rocas
De 25 a 100	Rajaduras tensionales fuertes y cierta rajadura radial; fracturas de roca
Más de 100	Rotura completa de masas de rocas

Monitoreo

Figura 3.31 Velocidad de partícula pico

Las vibraciones de tierra se miden con sismógrafos. La medición se efectúa en términos de amplitud (tamaño de las vibraciones en pulgadas /segundo) y frecuencia (número de veces que la tierra se mueva hacia delante y hacia atrás en un periodo de tiempo dado, en hertz o revoluciones por segundo).

- ✓ Pueden usarse ya sea sismógrafo de lectura de picos, o sismógrafos que registran el evento de vibración completo en un registro permanente.

- ✓ Los sismógrafos que registran la historia temporal completa son más útiles para comprender e identificar y reparar problemas producidos por las vibraciones de tierra.
- ✓ Se recomiendan los instrumentos que miden los tres componentes recíprocamente perpendiculares (radial, transversal y vertical).
- ✓ Cuando se esperen aceleraciones de más de 0,3g el sismógrafo deberá fijarse a la superficie del terreno mediante estacas o por pernos y/o soldadura epóxica sobre superficies duras.

Mitigación / Reducción:

Las siguientes técnicas pueden usarse para reducir las vibraciones de tierra:

- ❖ Reducir el peso de explosivo por retardo. esta técnica tal vez sea el factor más significativo que afecta la amplitud de la velocidad de partícula. Cualquier disminución en la cantidad de explosivo a través de diámetros menores del taladro, alturas reducidas de banco y/o separación de las cargas explosivos reducirá la probabilidad de daños.
- ❖ Reducir el confinamiento de explosivos a través de:
 - ✓ La reducción de la carga y espaciamiento;
 - ✓ El retiro de amortiguadores frente a los taladros frontales;
 - ✓ La reducción del taco, pero no hasta el grado de mejorar el chorro de aire y/o la roca lanzada por la explosión;
 - ✓ La reducción de la subperforación ;
 - ✓ U la reducción del a profundidad en los taladros;
 - ✓ El uso de un diseño de voladura que produzca la máxima mitigación; es decir, retardos más prolongados entre taladros o hileras de taladros.
- ❖ Siempre que sea posible, la progresión de los taladros detonantes o de una hilera de taladros a través intervalos de retardo de milésimas de segundo deberá progresar alejándose de la estructura más cercana.

- ❖ Usar retardos más prolongados, donde las condiciones geológicas -en conjunción con el sistema de iniciación- lo permitan.
- ❖ Limitar el confinamiento de explosivos a la roca de lecho, si se puede remover la sobrecarga por otros medios.
- ❖ Reducir el número de voladuras mediante el uso de tiros más grandes.
- ❖ Programar las voladuras para que coincidan con los niveles más altos de ruido ambiental en el área.
- ❖ En donde sea posible, mantener el tiempo transcurrido total de toda la voladura por debajo de un segundo de duración.
- ❖ Usar detonadores eléctricos de milésimas de segundo con una máquina de voladura secuencial o con un sistema de iniciación con un número adecuado de intervalos de retardo.

3.6.4 RUIDO

El ruido es un resultado necesario de la detonación de explosivos con base química.

Causas:

Las causas asociadas con los niveles excesivos de ruido, como resultado de la voladura, son los mismos que aquellos asociados con los chorros de aire, roca lanzada por la explosión y vibraciones de tierra. Para información al respecto remítase al Capítulo II.

Mitigación/Paliación:

Además de las acciones recomendadas para la mitigación/paliación/reducción, las cuales se presentan en los subcapítulos anteriormente indicados, se sugieren las siguientes medidas, en un esfuerzo por reducir el ruido que se origina en las operaciones de voladura.

- ✓ reducir la cantidad de explosivos detonados en un periodo de 8 milésimas de segundo

- ✓ usar sistemas de retardo apropiados cuando se inicia una explosión; y
- ✓ se deberá exigir que todos los empleados de la mina dentro del área de voladura empleen protección auditiva durante las operaciones afectivas de voladura.

3.6.5 POLVO

Aspectos Generales:

Cada voladura genera cierta cantidad de polvo y gases. Una cantidad mayor que lo normal de polvo puede ser causada por una voladura violenta, inadecuadamente diseñada, que genera considerable chorro de aire y/o vibración de tierra.

Dada su naturaleza esporádica, la voladura no constituye una fuente importante de polución del aire. Otras fases de la operación minera, tales como la carga, transporte chancado y procesamiento, producen considerablemente más polvo que la voladura. Aun cuando una voladura violenta pueda producir una cantidad de polvo mayor que lo normal, la cantidad total de polvo generada en un día es insignificante si se la compara con la generada por otras fuentes.

Causas:

La causa principal de la excesiva generación de polvo de una explosión es una voladura inadecuadamente diseñada o incontrolada.

Límites:

El polvo y las emanaciones generados por operaciones de voladura bajo tierra son los de mayor preocupación, debido a su confinamiento en labores subterráneas. Para las minas tanto en superficie como subterráneas de metales y de otros minerales.

El límite de explosivos recomendado de Valor Límite de Umbral Ponderado de Tiempo (TLV-TWA) para los trabajadores es de:

10mg/m³ de total de polvo que contenga menos de 1% de SiO₂; y 30/(% de SiO₂ +3) mg/m³ de total de polvo que contenga más del 1% de SiO₂ mg= miligramos

El TWA es la concentración del promedio ponderado de tiempo para un día laboral normal de 8 horas o una semana laboral de 40 horas, a los cuales todos los trabajadores podrían estar expuestos en forma repetida.

Mitigación /Paliación:

Las siguientes recomendaciones se ofrecen en un intento para minimizar la generación de polvo provenientes de las operaciones de voladura.

- ✓ Las voladuras bien controladas generan muy poco o nada de polvo. Todas las voladuras deberán diseñarse de conformidad con las prácticas estándar de voladura.
- ✓ Se deberán motivar a todos los trabajadores mineros a usar respiradores contra polvo durante e inmediatamente después de la operación efectiva de voladura.
- ✓ Debido a que el polvo en una pila de basura puede constituir un problema para el personal de la mina, es práctica común humedecer completamente el montón de roca volada antes y durante las operaciones de excavación.
- ✓ En relación a las operaciones subterráneas:
 - La voladura deberá conducirse al finalizar los turnos, con el objeto de maximizar el tiempo disponible para ventilar apropiadamente el lugar de trabajo. El mejor sistema de control para el polvo y emanaciones generados por voladura es un amplio sistema de ventilación capaz de diluir y convertir en inocuos todos estos peligros.

- Deberán transcurrir un mínimo de ½ a 1 hora antes de reingresar al lugar de trabajo después de una voladura, dependiendo de la suficiencia del sistema de ventilación.
- Se recomiendan las siguientes velocidades de aire de ventilación:

Socavones de nivel principal (rampas)

Encuentro entre socavones y aperturas mayores

Escalones (piques)

Labores de desarrollo

1,0- 3,0 m/s

0,25 m/s

2,0 m/s promedio tuberías a un máximo de 4,6 m detrás de la cara

NOTA:

Las cantidades mínimas de aire dependen de los requerimientos de dimensiones de la sección transversal y de velocidad.

- No se deberá permitir el reingreso de los trabajadores al lugar de trabajo después de una voladura, hasta que se haya recibido la autorización de un supervisor.

3.6.6 GASES

Definición General:

- ❖ En las operaciones de voladura, el término “gases” se refiere a productos tóxicos, generados por una detonación de explosivos. Los gases tóxicos más comunes producidos por la voladura son el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. Mientras que estos gases se consideran tóxicos a niveles de 50ppm y 5ppm, respectivamente, los gases de voladura se diluyen rápidamente por debajo de estos niveles por acción de los sistemas de ventilación en las minas subterráneas y por el movimiento natural del aire en las minas de superficie. Es extremadamente raro que concentraciones considerables de gases tóxicos salgan de los confines de la voladura.

- ❖ En la voladura de superficie, los gases posteriores a la operación rara vez ocasionan problemas dado que se dispersan velozmente en la atmósfera después de la detonación. Sin embargo se deberá dejar transcurrir el tiempo suficiente, después de una voladura, para que se dispersen los gases, antes de que se permita al personal el retorno al área de voladura.

- ❖ En las voladuras, se debe asumir que todos los explosivos generan ciertos gases tóxicos; los más comunes son el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. En consecuencia, es necesario disponer de la adecuada ventilación y del tiempo suficiente para despejar los gases. El ANFO y las emulsiones carecen del olor característico de la dinamita luego de la explosión y, por eso, podría darle al minero un falso sentido de seguridad, al creer que todos los gases se han disipado. Algunos de los gases ingresan directamente en la atmósfera de la mina, se mezclan con el aire que en ella existe y puedan reaccionar con él; otros gases son absorbidos por la roca fragmentada a causa de la voladura y se descartan durante el minado; bajo la presión de la voladura, algunos

gases llenan las rajaduras y poros del techo, paredes y suelo de la mina. Por lo general, el CO se retiene en el aire y tiene que ser eliminado por ventilación; los óxidos de nitrógeno, de otro lado; se oxidan espontáneamente en NO₂, que permanece en el aire como tal o es lavado por la humedad para formar ácido nítrico o ácido nitroso que se asienta en el suelo, paredes y en la superficie de la roca.

Balance de Oxígeno:

- ❖ Los productos principales que se generan en una voladura bajo condiciones ideales son el nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua. Un exceso de oxígeno en un explosivo puede originar la formación de óxidos de nitrógeno (NO y NO₂); mientras que un déficit de oxígeno puede ocasionar la formación de monóxido de carbono (CO); ambos gases son extremadamente tóxicos.
- ❖ No existe ningún explosivo que no produzca gases. Los explosivos comerciales generalmente son mezclas de combustibles sólidos (combustibles) y proveedores de oxígeno (nitratos) activadas con un sensibilizador. Para asegurar la combustión completa, que producirá simultáneamente potencia (energía) máxima, y minimizar la producción de gases nocivos, es necesario que se controle la relación de proveedores de oxígeno a combustibles. Para el ANFO, la mezcla apropiada es de 94% de AN a 6% de FO (fueloil No 2) **por peso**.

Las mezclas inapropiadas de ANFO pueden producir emanaciones de gas muy inócuas. Las variaciones en la reactividad, así como la pérdida de combustible a través de la evaporación o migración puede dar por resultado composiciones desequilibradas. Si en una mezcla simple de nitrato de amonio y petróleo diesel, parte del aceite se pierde o se deposita en el fondo del depósito, el producto en la parte superior del recipiente será deficiente en combustible y se generará altos óxidos de nitrógeno. Al mismo tiempo, la mezcla en el fondo del depósito contendrá exceso de combustible y producirá altas cantidades de

monóxido de carbono. En general, el NO₂ es el componente gaseoso más serio del ANFO.

- ❖ La Dirección de Minería de los Estados Unidos y el Instituto de Fabricantes de explosivos han adoptado la siguiente clasificación de gases explosivos:

Clase I: 0,00 a 9,16 pies³ de gas nocivo por 200 g de explosivo

Clase II : 0,16 a 0,33 pies³ de gas nocivo por 200 g de explosivo

Clase III: 0,33 a 0,67 pies³ de gas nocivo por 200 g de explosivo

Se recomienda sólo el uso de explosivos de clase I para operaciones bajo tierra, a menos que exista una adecuada ventilación. Aun cuando los gases tóxicos sean mínimos, las cantidades de monóxidos de carbono, nitrógeno y vapor de agua podrían ser suficientes para reducir el contenido de oxígeno del aire hasta niveles peligrosos.

Límites:

- ❖ La Ley de Minería del Perú ha establecido los siguientes límites permisibles para las concentraciones de gases nocivos:

- ✓ Oxidos nitrosos (NxOx 5 ppm
- ✓ Monóxido de carbono (CO) 50ppm
- ✓ Dióxido de carbono CO₂ 5000ppm

En operaciones subterráneas metalíferas y no metalíferas, se recomiendan los siguientes **por volumen**

Oxígeno más de 19,5%

Monóxido de carbono menos de 0,04%

Dióxido de carbono menos de 1,5%

Oxidos de nitrógeno menos de 0,0005%

Dióxido de azufre menos de 0,0002%

Causas:

Muchos factores pueden causar la emisión de gases o emanaciones tóxicos en las operaciones de voladura. En general, la cantidad y los tipos de emanaciones generadas depende de la eficiencia de la detonación (por ejemplo, la presencia de reacción explosiva, ineficiente).

Comúnmente, las detonaciones que no han logrado temperaturas de equilibrio óptimas producen emanaciones nocivas. Esta condición puede originarse en detonaciones parciales, detonaciones de bajo orden, deflagraciones, formulaciones deficientes de ingredientes materiales extraños inyectados en las mezclas durante la manufactura, procedimientos de campo negligentes, agua, diseño deficiente de la voladura, etc. En consecuencia, las condiciones bajo las cuales se usa un explosivo tienen una decidida influencia sobre la clase y la cantidad de gases nocivos producidos.

Las causas principales de excesivos óxidos de nitrógeno son:

- ✓ Mezclas deficientes de agentes de voladura
- ✓ Degradación de los agentes de voladura durante el almacenamiento
- ✓ Uso de productos no resistentes al agua en taladros húmedos y detonación ineficiente del agente de voladura debido a pérdida de confinamiento.

Otros factores que ocasionan la generación de emanaciones tóxicas son:

- ✓ Primer inadecuado
- ✓ Falta de confinamiento; o
- ✓ Resistencia insuficiente al agua.

Mitigación / Paliación:

Las siguientes sugerencias se ofrecen en un intento por minimizar los problemas de gases como resultado de la voladura en las operaciones de minado en superficie y bajo tierra.

- ❖ Evitar las condiciones que podrían ocasionar el quemado antes que la detonación del explosivo (por ejemplo, roturas en la columna de explosivos, separación del primer del resto de la carga, confinamiento deficiente, o uso de explosivos que puedan deteriorarse durante el almacenamiento).
- ❖ Existe una especial probabilidad de que ocurran los óxidos de nitrógeno en taladros húmedos.
- ❖ Los explosivos seleccionados para su uso deberán tener la adecuada resistencia al agua y la explosión deberá dispararse lo antes posible, luego de efectuada la carga.
- ❖ La formación de óxidos de nitrógeno es más una cuestión de uso de campo que de formulación del polvo. Probablemente, el tiempo es el factor más importante que solo genera dificultades con los óxidos de nitrógeno. Estos gases se desvanecen rápidamente y rara vez constituyen un problema, cuando existe la adecuada ventilación. Por lo general, es suficiente que transcurra entre media y una hora para que se reinicien las operaciones subterráneas seguras, después de una voladura.
- ❖ Debido a que los óxidos de nitrógeno se absorben en el agua (así como grandes cantidades de dióxido de carbono), los montones de rocas volada bajo tierra deberán mojarse completamente antes de que se inicie la excavación. Además, este procedimiento desplazará el monóxido de carbono, de modo que el sistema de ventilación lo puede diluir, volver inocuo y eliminar del lugar de trabajo.
- ❖ Todo lo que tienda a enfriar rápidamente los gases producidos por las voladuras aumenta la formación de óxido de nitrógeno. En taladros húmedos, las emanaciones oscuras por lo general, son visibles, lo que sugiere un rápido enfriamiento y la formación de gases peligrosos.

- ❖ Un adecuado sistema de ventilación y la dirección apropiada del flujo del aire hacia las caras en el trabajo es el mejor método para reducir las emanaciones en las minas subterráneas.
- ❖ Efectuar monitoreo de compuestos nitrosos.

3.7 RIESGOS VINCULADOS A LA DETONACIÓN DE LOS EXPLOSIVOS

- EXPLOSIÓN FORTUITA (Detonación sorpresiva fuera del taladro).
- TIRO PREMATURO (Detonación adelantada de uno o más taladros).
- TIRO RETARDADO (No salió total o parcialmente por falla del iniciador, guía o explosivo, deja restos que deben eliminarse posteriormente).
- TIRO SOPLADO (Salió sin romper la roca ni dejar restos).

Los explosivos se inician o activan con los detonadores, pero pueden reaccionar y explotar por otros motivos como:

Detonación fortuita por:

- Golpe o impacto. (fig. 3.32)
- Compresión(fig. 3.33)
- Fuego o llama abierta(fig. 3.34)
- Calor(fig. 3.35)
- Chispa(fig. 3.36)
- Fricción(fig. 3.37)
- Contacto (fig. 3.38)
- Simpatía (fig. 3.39)
- Inducción eléctrica (fig. 3.40)

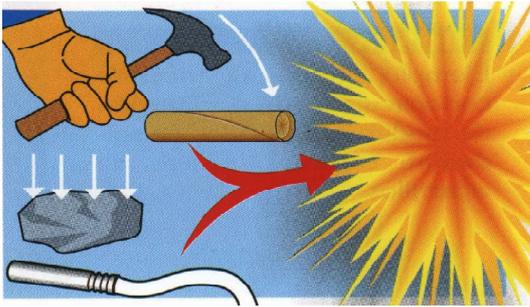


Figura3.32 Golpe o impacto

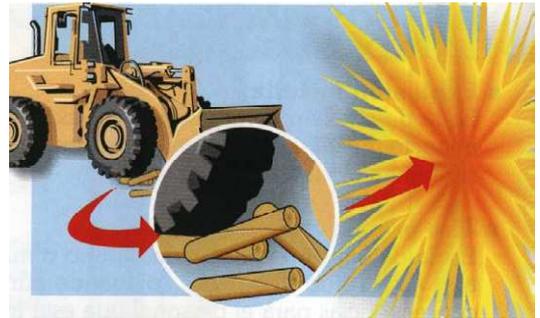


figura3.33 Compresión



Figura3.34 Fuego o llama abierta



Figura3.35 Calor



Figura 3.36 Fricción



Figura3.37 Contacto

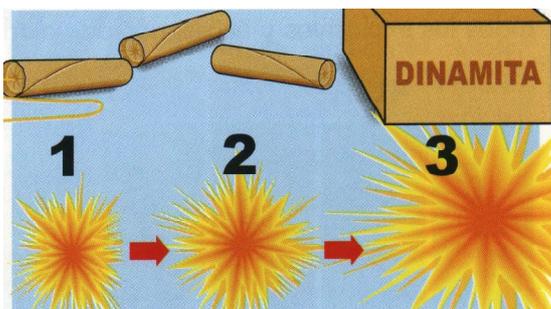


Figura3.38 Simpatía Figura3.39 Inducción eléctrica

3.8 ACCIDENTES CON EXPLOSIVOS.

- Los accidentes con explosivos son muy graves o fatales
- Las estadísticas indican que el 80 a 90% ocurren por factores personales
- Los accidentes pueden ser directos (por explosión) o indirectos (caída de piedras y gaseamiento).
- El mejor modo de evitar estos accidentes es tomar precauciones, lo que se logra con una política de prevención, con capacitación y entrenamiento adecuados.

DIRECTOS: Por explosiones fortuitas o tiros fallados.

Motivos:

- ✓ Negligencia,
- ✓ Fallas de encendido
- ✓ Productos defectuosos.

INDIRECTOS: Por gaseamientos.

Motivos:

- ✓ Ingreso antes de despejar los humos.
- ✓ Exposición a ambiente mal ventilado.
- ✓ Iniciación defectuosa del explosivo.

INDIRECTOS: Por desplome de rocas (vibración excesiva)

Motivos:

- ✓ Condiciones geológicas, roca muy fisurada o incompetente.
- ✓ Sobrecarga de explosivo.
- ✓ Iniciación instantánea del disparo o con retardos muy cortos.

3.9 RIESGOS PREDOMINANTES EN EL DISPARO

- Falla del encendido (tener que volver a hacerlo).
- Tiro prematuro, ejemplo por usar mecha de encendido muy corta.
- Protección inadecuada (en cobertura o en distancia).
- Excesivo nivel de vibraciones (sobrecarga).
- Proyección de fragmentos a distancia.
- Impacto a personas o equipos cercanos a la voladura.
- No abandonar a tiempo la zona de disparo (falla de vehículo, etc).

3.9.1 Proyección de fragmentos a distancia

La proyección es y ha sido causa de muertes y destrucción de equipos o instalaciones, tanto en minas, obras civiles y trabajos secundarios de plasteo de bolones.

Las causas son: sobrecarga de explosivo, encendido instantáneo o con tiempos muy cortos entre taladros, fallas en el diseño y perforación de la malla, problemas geológicos (tipos de roca, fisuramientos, fallas no definidas con anterioridad, piedras grandes en el material)

3.9.2 Riesgos Usuales

- ✓ Volver al lugar de la voladura demasiado pronto.(fig.3.40)
- ✓ Presencia de gases remanentes en los detritus.(fig.3.40)
- ✓ Piedras inestables o sueltas en la pila de escombros y en el contorno de la galería.(fig 3.41)



Figura 3.40 presencia de gases



Figura3.41 Piedras inestables

- ✓ Tiros retardados.
- ✓ Tiros cortados o fallados.(fig.3.42)
- ✓ Explosivos o accesorios que no han detonado.(fig.3.43)



Figura3.42 Tiros fallados



Figura3.43 Explosivos no detonados

3.10 TIROS FALLADOS

Representan uno de los mayores problemas en voladura, pues deben ser eliminados antes de poder retirar el material volado

3.10.1 MEDIDAS A TOMAR CON LOS TIROS FALLADOS:

- ✓ Señalar el lugar donde se encuentren.
- ✓ Retirar al personal no vinculado a este trabajo.
- ✓ Eliminar los restos de explosivo no detonado con chorro de agua o colocarle un nuevo cebo y volverlo a disparar.
- ✓ Buscar restos de explosivos y recogerlos para eliminarlos posteriormente (los muy peligrosos se plastearán in situ).
- ✓ Cuando se sospeche la presencia de un tiro fallado, recomendar a los operadores de equipo observar el sector para evitar impactar los restos.

3.10.2 ELIMINACIÓN DE TIROS FALLADOS

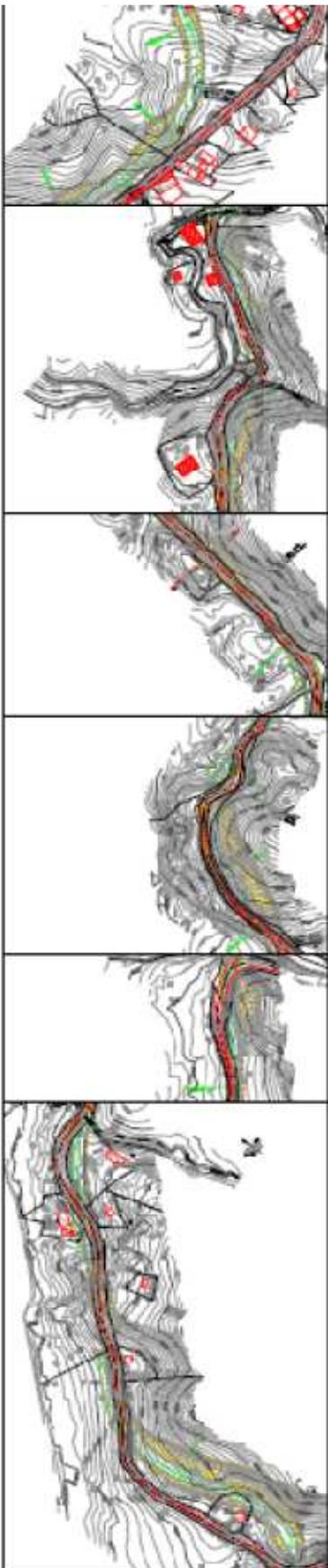
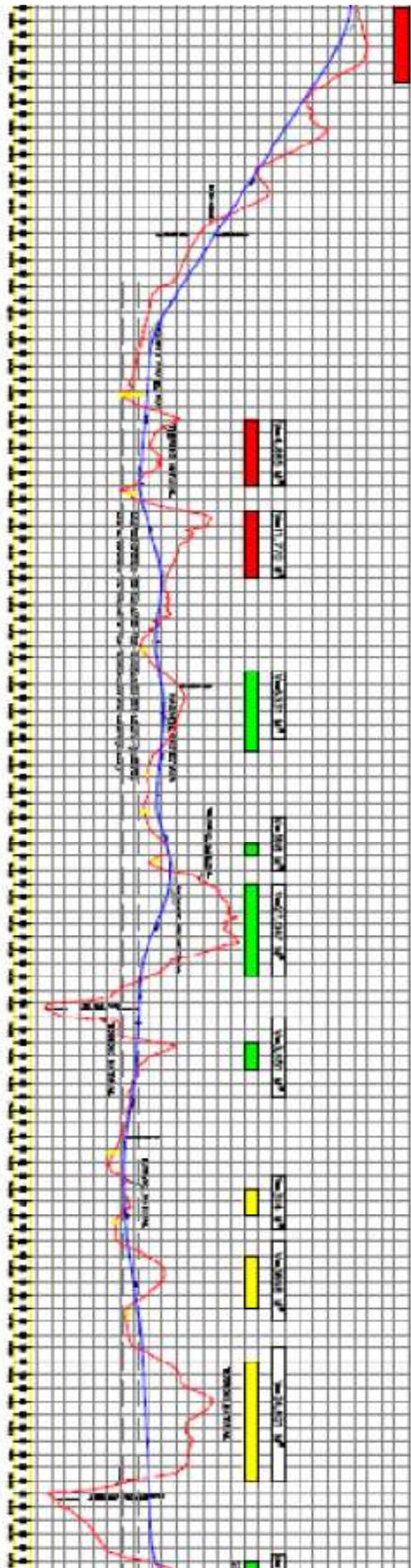
Procedimiento:

1. Retirar al personal innecesario.
2. Eliminar los restos de explosivo con chorro de agua.
 - Si después de lavarlos aún queda explosivo, recargarel taladro con medio cartucho de dinamita con guíaarmada de 6 pies o con plasta superpuesta y disparara distancia
4. No reingresar a comprobar hasta treinta minutosdespués de escuchar el tiro.

3.10.3 Recomendaciones para tiros fallados

1. Nunca usar herramientas metálicas para extraer.
2. Nunca tratar de encender nuevamente la guía.
3. Nunca jalar los restos de guía, cordón o mangueras.
4. Nunca perforar otro taladro al lado para eliminarlo.
5. Recoger cuidadosamente los restos hallados entre los escombros (si es necesario, plastearlos en el lugar).

Esquema de zonificación de peligrosidad en excavación con explosivos



- NIVEL DE PELIGROSIDAD MUY ALTO
(ZONAS CON VIVIENDAS HABITADAS, EXISTENCIA DE TENDIDO ELECTRICO)
- NIVEL DE PELIGROSIDAD ALTO
(ZONAS CON VIVIENDAS NO HABITADAS)

Revisión	Fecha

ARTALAN & P.A. INGENIEROS
SUCURSAL
EL SALVADOR
INDICE DE PELIGROSIDAD

TITULO: EXC
INDICE DE PELIGROSIDAD

3.11 EJEMPLO DEL USO DE EXPLOSIVO (ANFO) PROYECTO QUE SE REALIZO EN LA CIUDAD DE SAN FRANCISCO GOTERA, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN, EL SALVADOR CENTRO AMÉRICA.

La descripción del proyecto se necesitó hacer una zanja para inducir agua de un pozo a ciertas regiones del dicho lugar los metro lineales de dicha zanja tiene una extensión de 300ml donde se encontraron una serie de obstáculos (manto rocoso con un aproximado aproximado $10m^3$) que el equipo de excavación no pudo solventar o por decirlo de otra manera no quiso exponerse a molestar su equipo y por consiguiente se echó mano del uso de explosivos para lograr terminar el objetivo de dicho proyecto siempre tomando en cuenta los riesgos .



Figura3.44 Lugar donde se utilizara los explosivos para fragmentar estratos de lecho rocoso

- Primer obstáculo de lecho rocoso con a próximamente 1m^3 , donde se necesitaron 2 cargas de explosivo con una profundidad de taladro de 0.8m y con un diámetro de 2.54cm, con una cantidad de explosivo 3_{oz} por carga para fragmentar dicha roca vista.



Figura3.45 Obstaculo a detonar

- Observamos el método de perforación que es simplemente con un taladro industrial, se perfora con una broca de media pulgada para obtener dicha dimensión de carga.



Figura3.46 Proceso de taladro

- Se muestra el taladro ya terminado para realizar la carga del explosivo.



Figura3.47 Perforación culminada y lista para cargar con ANFO.

- Aquí se observa el explosivo que es ANFO, lo vemos en su forma granular en la bolsa en la cual lo distribuyen en el país.



Figura3.48 ANFO a utilizar

- Marca de explosivos (ANFO) se observa que es marca cobra pero eso no quiere decir que solo esa marca se puede utilizar, existe una variedad de marcas que depende de su distribuidor.



Figura 3.49 ANFO “tiros marca COBRA”

- En esta imagen se ve la carga ya colocada , observamos que tiene el taqueadorde madera ya que este no es conductor de carga estática para evitar un posible percance o accidente.



Figura3.50 Colocación de ANFO más armada.

- En esta imagen ya se unieron las cargas de explosivos por medio de cordón detonante lista realizar la voladura por medio de un cordón detonante y un fulminante.



Figura3.51 Armada completa

- En esta imagen se muestra que todo el material donde se aplicó la voladura o la explosión fue de una manera muy aceptable como lo antes mencionado para que una voladura sea segura.



Figura3.52 Fragmentos de roca en el sitio deseado

3.12 RECOMENDACIONES PROPUESTA PARA ESTE EJEMPLO DE VOLADURA.

- ❖ En primer lugar recomendaría al ministerio de la defensa que fueran de una manera más rigurosos para otorgar este tipo de permisos de explosivos.
- ❖ Que al momento de vender los explosivos, por lo menos que pidan algún diseño de voladuras para así ver la cantidad en verdad se necesita.
- ❖ Que el día de la aplicación de los explosivos que por lo menos hagan presencia algún cuerpo ya sea fuerza armada, policía, o cuerpo de bomberos que estén en el proyecto.
- ❖ Que las medidas de seguridad sean cumplidas por lo menos las más necesarias.
- ❖ Que regulen de mejor manera las sustancias para la hecha artesanal de explosivos.
- ❖ Y que se enfatizen más en la prevención y educación de las personas, porque los explosivos no son un juego

CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



4.1 CONCLUSIONES

Se ha observado que dentro de lo que se conoce como uso de explosivos en obras civiles es importante conocer los tipos de explosivos y sus propiedades físico químicas para su aplicación que encontramos en nuestro país , ya que de esta mano de la ingeniería civil se denota que podemos aprovechar en el mejor sentido, ya que los explosivos brindan muchas ventajas con respecto a resultados en tiempo y costos de aplicación que de alguna manera es beneficioso como para su comprensión como para su rendimiento industrial o por considerarlo de otra manera es irnos globalizando con nuevas tecnología en la construcción.

Esperando que se mejore esta herramienta porque estamos en países que necesitamos crecer en aspecto de globalización tecnológica, ya recientemente se llevo un proyecto en el norte del país,el cual la mayoría de los terrenos ocupaban ser nivelados y teniendo en cuenta la geología del lugar y su topografía, era de manera dificultosa de excavar para emparejar una rasante con maquinaria de presión hidráulica.

En la investigación visite varios tramos donde se necesito utilizar lo que son los explosivos para facilitar el trabajo y poder cumplir con los tiempos contractuales, aunque la mayoría siempre solo tenía conocimientos empíricos, con esto no quisiera criticar la manera de su aplicación y obtención de explosivos, y sus medidas de seguridad, tanto como salubridad y ambientales que en un aspecto general son las más importes en este tipo de trabajos, no dejando a aparte el transporte y el almacenaje, la vigilancia que en dichos documentos que de alguna manera cite para realizar esta investigasion.

4.2 RECOMENDACIONES.

- ❖ Es recomendable conocer con antelación los futuros niveles de vibración resultante en trabajos donde este implicadas voladuras con explosivos. Para ello, con miras a una situación futura, se podría servir de modelos que representen las condiciones de propagación de ondas sísmicas en un macizo rocoso. Para ello es necesario una investigación amplia de las vibraciones en diferentes condiciones geológicas.

- ❖ Antes de emplear cualquier tipo de explosivo, se debe realizar las pruebas necesarias del mismo para determinar si el explosivo es el correcto en el proceso de voladura a aplicar.

- ❖ Si se desea perforar y volar un yacimiento ya sea a Cielo Abierto o en Subterráneo dependiendo de las condiciones de rentabilidad que se dispongan; se recomienda usar explosivos de conveniencia ya que existen diversidadesde explosivos con mayor potencia relativa, mayor velocidad de detonación y mayor calor de explosión.

- ❖ Tomar la información plasmada en este manual para una mayor comprensión del uso de los explosivos y sus efectos adversos antes mencionados, para la realización de una voladura satisfactoria.

4.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ❖ Explosives for North American Engineers C.E.Gregory
- ❖ Manual para uso de Explosivos (BlastersHandbook) Du Pont - 175 Aniversary – ISEE
- ❖ Técnicas suecas de VoladuraRune Gustavson
- ❖ Explosives, An Engineering ToolG. Berta
- ❖ Rock BlastigU. Langefors & B. Kihlstrom
- ❖ Surface Blast Design Calvin J. Konya - Edwar J. Walter
- ❖ Blasting Operations Gary B. Hemphill
- ❖ Explosives - Third Edition Rudolf Meyer
- ❖ Explosives and Rock Blasting Atlas Powder Company
- ❖ Applied Explosives Technology Stig O. Olofsson
- ❖ Rock Blasting and Explosives Engineering Per-Anders Persson - Roger Holmberg - Jaimin Lee
- ❖ Manual de Perforación y Voladura de Rocas Carlos López Jimeno – Emilio López Jimeno – José María Pernia LLera - Fernando Pla Ortiz de Urbina Instituto Geológico y Minero de España
- ❖ ModerN Trends in Tunelling and Blast Design Jhon Johansen
- ❖ Gli Explosivi G. Antonioli - G. Masera
- ❖ Blasting Practice I.C.I.- Factors in Selecting and Applying Commercial
- ❖ Explosives and Blasting Agent U.S. Bureau of Mines - Circular 8405
- ❖ Der Sprengberechtigte Ing. Horst Roschlau
- ❖ Spreng Technisches Handbuch Dynamit Nobel

4.4 ANEXOS

4.4.1 NORMAS DE LOS EXPLOSIVOS

- ❖ UNE 31.001 Prueba Trauzl. Ensayo de los explosivos en bloque de plomo. Aplicación: A.1.3.1, B.3.2 y B.4.10.
- ❖ UNE 31.002 Cálculo de las principales características de las pólvoras y explosivos. Aplicación: A.1.2.
- ❖ UNE 31.003 Prueba Abel. Ensayo de la estabilidad de las pólvoras y de los explosivos. Aplicación: A.1.3.5.
- ❖ UNE 31.016 Ensayo para la medida de la sensibilidad al choque de los explosivos. Aplicación: A.1.3.3 y C.1.2.
- ❖ UNE 31.017 Ensayo para la medida de la sensibilidad al calor de los explosivos. Aplicación; A.1.3.4.
- ❖ UNE 31.018 Ensayo para la medida de la sensibilidad al frotamiento, o fricción, de los explosivos. Aplicación:A.1.3.2 y C.13
- ❖ UNE 31.401 Mechas de seguridad. Aplicación: B.1.2.1, B.1.2.2, B.1.2.3 y B.1.3.4.
- ❖ UNE 31.402 Mechas detonante Aplicación.

4.4.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EXPLOSIVOS.

- ❖ 0301-1-85 Especificaciones técnicas sobre tablas de constantes físico-químicas. Aplicación: A.1.2.
- ❖ 0302-1-85 Especificación técnica. Péndulo balístico: Para determinar la potencia de los explosivos. Aplicación: A.1.3.1.
- ❖ 0303-1-85 Especificación técnica. Ensayos de exudación de las dinamitas. Aplicación: A.1.3.6.
- ❖ 0304-1-85 Especificación técnica. Medida del coeficiente de autoexcitación de los explosivos. Aplicación: A.1.3.1.
- ❖ 0305-1-85 Especificación técnica. Determinación de la velocidad de detonación de los explosivos, por el método Dautriche. Aplicación: A.1.3.8.
- ❖ 0306-1-85 Especificación técnica. Determinación de la velocidad de detonación de los explosivos mediante el contador de microsegundos. Aplicación: A.1.3.8.
- ❖ 0307-1-85 Especificación técnica. Determinación del poder rompedor de los explosivos por el método Kastmodificado. Aplicación: A.1.3.9.
- ❖ 0308-1-85 Especificación técnica. Determinación del poder rompedor de los explosivos por el método Hess. Aplicación: A.1.3.9.
- ❖ 0309-1-85 Especificación técnica. Para la determinación de los humos residuales de explosivos. Aplicación: A.1.3.10.
- ❖ 0310-1-85 Especificación técnica. Clasificación de los explosivos de seguridad. Aplicación: A.1.2.1, A.2.1.2 y A.2.1.3.

- ❖ 0311-1-85 Especificación técnica. Para determinar la detonabilidad de los explosivos de baja sensibilidad. Aplicación: A.2.2.1.
- ❖ 0312-1-85 Especificación técnica. Para determinar la impermeabilidad de las mechas lentas. Aplicación: B.1.3.1 y B.1.3.2.
- ❖ 0313-1-85 Especificación técnica. Para determinar la impermeabilidad del engarce del detonador a la mecha lenta. Aplicación: B.1.3.3.
- ❖ 0314-1-85 Especificación técnica. Determinación de la velocidad de detonación del cordón detonante mediante un contador de microsegundos. Aplicación: B.2.2.2.
- ❖ 0315-1-85 Especificación técnica. Homologación del cordón detonante antigrisú. Aplicación: B.2.3.1, B.2.3.2, B.2.3.3, B.2.3.4 y B.2.3.5.
- ❖ 0316-1-85 Especificación técnica. Determinación de la potencia de los detonadores según la placa de plomo. Aplicación: B.3.2.
- ❖ 0317-1-85 Especificación técnica. Para determinar la sensibilidad al choque de los detonadores. Aplicación: B.3.5 y B.4.8.
- ❖ 0318-1-85 Especificación técnica. Para determinación de la resistencia al traqueteo de los detonadores. Aplicación: B.3.6.
- ❖ 0319-1-85 Especificación técnica. Para la determinación de la resistencia eléctrica de los detonadores eléctricos. Aplicación: B.4.2.
- ❖ 0320-1-85 Especificación técnica. Para la determinación de las corrientes de seguridad y encendido de los detonadores eléctricos. Aplicación: B.4.3 y B.4.4.
- ❖ 0321-1-85 Especificación técnica. Para la determinación del impulso de encendido de los detonadores eléctricos. Aplicación: B.4.5.

- ❖ 0322-1-85 Especificación técnica. Para determinación de la antiestaticidad de los detonadores eléctricos. Aplicación: B.4.6.
- ❖ 0323-1-85 Especificación técnica. Para determinar la resistencia a la tracción de los hilos de los detonadores eléctricos. Aplicación: B.4.7.
- ❖ 0324-1-85 Especificación técnica. Para determinar la hermeticidad de los detonadores eléctricos. Aplicación: B.4.9.
- ❖ 0325-1-85 Especificación técnica. Para la medida del tiempo de retardo y dispersión de los detonadores eléctricos. Aplicación: B.4.11.
- ❖ 0326-1-85 Especificación técnica. Para determinación del tiempo de retardo de los relés para cordón detonante. Aplicación: B.5.2.
- ❖ 0327-1-85 Especificación técnica. Para determinar la sensibilidad de los pistones. Aplicación: B.6.2.
- ❖ 0328-1-85 Especificación técnica. Para determinar la seguridad de los pistones. Aplicación: B.6.3.
- ❖ 0329-1-85 Especificación técnica. Para determinar la resistencia al transporte de los pistones. Aplicación: B.6.4.
- ❖ 0330-1-85 Especificación técnica. Para determinar la resistencia a la vibración de los pistones. Aplicación: B.6.5.
- ❖ 0331-1-85 Especificación técnica. Para la determinación de la velocidad de combustión de la pólvora negra. Aplicación: B.1.4.
- ❖ 0332-1-85 Especificación técnica. Para la determinación de las densidades gravimétrica y real de la pólvora negra. Aplicación: C.1.5 y C.2.6.
- ❖ 0333-1-85 Especificación técnica. Para determinar la granulación de la pólvora negra. Aplicación: C.1.6.

- ❖ 0334-1-85 Especificación técnica. Para la determinación de la temperatura de inflamación de la pólvora sinhumo. Aplicación: C.2.2.
- ❖ 0335-1-85 Especificación técnica. Para la determinación de la estabilidad de la pólvora mediante la prueba delvioleta de metilo. Aplicación: C.2.3.1.
- ❖ 0336-1-85 Especificación técnica. Para la determinación de la estabilidad de la pólvora mediante la prueba deBergman-Junk. Aplicación: C.2.3.2.
- ❖ 0337-1-85 Especificación técnica. Para determinar la estabilidad de la pólvora según la pérdida de peso.Aplicación: C.2.3.3.
- ❖ 0338-1-85 Especificación técnica. Estabilidad de la pólvora SH por el método de vapores rojos a 132 o C.Aplicación: C.2.3.4.
- ❖ 0339-1-85 Especificación técnica. Para determinar la humedad de la pólvora sin humo. Aplicación: C.2.4.
- ❖ 0340-1-85 Especificación técnica. Para determinar las cenizas de la pólvora sin humo. Aplicación: C.2.5.

4.4.3 CRITERIOS TÉCNICOS

- ❖ 015 Productos explosivos para la demolición o fragmentación de roca, hormigón en masa y hormigón armado.
- ❖ 026 Cargas diédricas, para corte de tuberías de sondeos.
- ❖ 033 Aceptación provisional como especificación técnica de los proyectos de Norma aprobados por el grupo de trabajo.
- ❖ 037 Aplicación de las Normas CEN 29.000.
- ❖ 042 Ensayos de Control de Calidad. Establecimiento de nivel de inspección, por productos.

FORMULARIO

PARAMETRO	KONYA		KONYA		TECNICA SUECA
BORDO	$B = 0,012 \left(\left(\frac{2dx}{dro} \right) + 1,5 \right) De$		$B = 8 \times 10^{-3} De \left[\frac{Prv}{Dro} \right]^{1/3}$ <p>Prv = Potencia relativa en volumen Dro = Densidad de la roca g/ cm³</p>		B= 45 x De
ESPACIAMIENTO	1,4 x B Iniciación retardada y bancos altos	$\frac{L + 2 B}{3}$ Iniciación instantánea y bancos bajos	2B Iniciación instantánea y bancos altos	$\frac{L + 7 B}{8}$ Iniciación retardada y bancos bajos	1,25 x B
SOBRE BARRENACION	0,3 x B		Los barrenos por lo general no rompen la profundidad total, por lo que es necesario perforar mas allá del nivel del piso o cota a la cual se quiere llegar.		0,3 x B

4.3.4 LEY DE ARMAS Y EXPLOSIVOS EN EL SALVADOR.

EXPLOSIVOS Y ARTÍCULOS SIMILARES

CAPITULO I

EXPLOSIVOS

Art. 47.- Las personas que se dediquen a la importación, fabricación y comercio de explosivos deberán cumplir con lo prescrito en el Título IV, Capítulo I de la presente Ley.

Entiéndase por explosivo la combinación de varias sustancias y mezclas que producen una reacción exotérmica cuando son iniciados.

Art. 48.- Para comprar explosivos en un establecimiento autorizado para comercialización, el interesado deberá presentar requerimiento de compra al Ministerio de la Defensa Nacional, el cual comunicará al interesado, dentro de un plazo de siete días hábiles, la autorización o denegatoria de la solicitud presentada.

Art. 49.- SÓLO PODRÁ VENDERSE MATERIAL EXPLOSIVO A PERSONAS NATURALES O JURÍDICAS QUE ESTÉN PREVIAMENTE AUTORIZADAS POR EL MINISTERIO DE LA DEFENSA NACIONAL. LAS QUE DEBERÁN LLEVAR UN LIBRO DE REGISTRO DE ENTRADA Y SALIDA DE LOS EXPLOSIVOS.

Art. 50.- TODA PERSONA NATURAL O JURÍDICA QUE ESTÉ AUTORIZADA PARA IMPORTAR, COMERCIALIZAR O FABRICAR EXPLOSIVOS, DEBERÁ TENER DEPÓSITOS ADECUADOS PARA SU RESGUARDO, EL CUAL SERÁ CERTIFICADO Y AUTORIZADO POR EL MINISTERIO DE LA DEFENSA NACIONAL, PREVIO EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS Y MEDIDAS DE SEGURIDAD CITADOS EN EL PRESENTE ARTÍCULO.

LOS CENTROS DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS PIROTÉCNICOS DEBERÁN DE ESTAR ALEJADOS DE CENTROS DE CONCENTRACIÓN HUMANA, TALES COMO: ESCUELAS, COLEGIOS, TEMPLOS, HOSPITALES, CLÍNICAS DE SALUD, TERMINALES DE BUSES, PUERTOS, PARQUES U OTROS SITIOS RECREATIVOS Y ZONAS RESIDENCIALES O VIVIENDAS, DE ACUERDO AL TIPO DE PRODUCCIÓN Y APLICANDO LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD SIGUIENTES:

1. PARA LA FABRICACIÓN DE EXPLOSIVOS TALES COMO:

a. COHETILLOS, AMETRALLADORAS, MORTEROS, COHETES DE VARA CON TRES LIBRAS DE COMPOSICIÓN PIROTÉCNICA; DEBERÁN GUARDAR UNA DISTANCIA NO MENOR DE 30 METROS, LOS CUALES SE CONTARÁN A PARTIR DEL LUGAR DE TRABAJO; Y,

b. PRODUCTOS PIROTÉCNICOS DE LUCES AÉREAS, BOMBAS Y ESPECTÁCULOS PÚBLICOS HASTA UN MÁXIMO DE 15 LIBRAS DE MEZCLA A UNA DISTANCIA DE 30 METROS, LOS CUALES SE CONTARÁN A PARTIR DEL LUGAR DE TRABAJO.

2. ARTÍCULOS LUMINOSOS TALES COMO: VOLCANES, MOSAICOS, FUENTES LUMINOSAS, PISTOLITAS, CANDELAS ROMANAS CON 10 LIBRAS DE COMPOSICIÓN PIROTÉCNICA; SE DEBERÁ GUARDAR UNA DISTANCIA NO MENOR DE 15 METROS, LOS CUALES SE CONTARÁN A PARTIR DEL LUGAR DE TRABAJO.

3. LUCES DE BENGALA TALES COMO: ESTRELLITAS, ALEGRÍAS, CANDELITAS LUMINOSAS PARA CASCADAS, CASTILLOS, PARA CARTELES CON 15 LIBRAS DE COMPOSICIÓN PIROTÉCNICA; SE DEBERÁ GUARDAR UNA DISTANCIA NO MENOR DE 10 METROS, LOS CUALES SE CONTARÁN A PARTIR DEL LUGAR DE TRABAJO.

4. LA DISTANCIA MÍNIMA ENTRE CUBÍCULO DONDE SE REALIZAN LAS FASES, SERÁ DE 4 METROS, CUANDO SE HAGAN DE FORMA SIMULTÁNEA.

5. EL CUBÍCULO EN DONDE SE REALICE LA FASE DE PREPARACIÓN DE MEZCLA Y PROCESO DE LLENADO DEBERÁ ESTAR A 15 METROS DE DISTANCIA DE LOS OTROS CUBÍCULOS.

6. LOS LUGARES PARA ALMACENAR PRODUCTO PIROTÉCNICO DEBERÁN UBICARSE A UNA DISTANCIA DE 15 METROS COMO MÍNIMO, CON RELACIÓN A:

- a. EL PROCESO DE FABRICACIÓN Y EN UN LUGAR ESPECIALMENTE DESTINADO PARA ELLO; Y,
- b. ALEJADOS DE CENTROS DE CONCENTRACIÓN HUMANA TALES COMO ESCUELAS, COLEGIOS, TEMPLOS, HOSPITALES, CLÍNICAS DE SALUD, TERMINALES DE BUSES, PUERTOS, PARQUES U OTROS SITIOS RECREATIVOS Y ZONAS RESIDENCIALES O VIVIENDAS.

7. LAS SALAS DE VENTA DEBERÁN SER UBICADAS CON RESPECTO A LOS CENTROS DE CONCENTRACIÓN HUMANA, TALES COMO ESCUELAS, COLEGIOS, TEMPLOS, HOSPITALES, CLÍNICAS DE SALUD, TERMINALES DE BUSES, PUERTOS, PARQUES U OTROS SITIOS RECREATIVOS, DE ACUERDO A LA FORMA SIGUIENTE:

- a) MINORISTAS, A 5 METROS DE DISTANCIA COMO MÍNIMO;
- b) MEDIANOS, A 10 METROS DE DISTANCIA COMO MÍNIMO; Y,
- c) MAYORISTAS, A 15 METROS DE DISTANCIA COMO MÍNIMO.

LAS SALAS DE VENTA SIN ALMACENAJE, ÚNICAMENTE CON EXHIBICIÓN Y FACTURACIÓN DE PRODUCTO PIROTÉCNICO, PODRÁN AUTORIZARSE SIN CUMPLIR LAS DISTANCIAS SEÑALADAS EN LAS LETRAS ANTERIORES. LO NO REGULADO SERÁ ESTABLECIDO EN EL RESPECTIVO REGLAMENTO. (9)

Art. 51.- Toda persona natural o jurídica que esté autorizada para importar o comercializar explosivos, deberá llevar un libro de registro de ingreso y egreso de dicho producto, debidamente autorizado por el Ministerio de la Defensa Nacional.

La Policía Nacional Civil inspeccionará periódicamente los establecimientos destinados a tales actividades informando de cualquier anomalía al Ministerio de la Defensa Nacional, para las sanciones correspondientes, sin perjuicio de la responsabilidad penal a que hubiere lugar.

Art. 52.- TODO EXPLOSIVO Y SUS SIMILARES QUE INGRESE AL TERRITORIO NACIONAL, DEBERÁ SER CUSTODIADO POR LA UNIDAD RESPECTIVA DE LA POLICÍA NACIONAL CIVIL, DESDE EL PUESTO FRONTERIZO HASTA EL RESGUARDO QUE ESTÉ PREVIAMENTE AUTORIZADO POR EL MINISTERIO DE LA DEFENSA NACIONAL.

Art. 53.- LOS EXPLOSIVOS IMPORTADOS PARA SU COMERCIALIZACIÓN O USO DIRECTO POR PERSONAS NATURALES O JURÍDICAS AUTORIZADAS PARA ELLO, SERÁN DEPOSITADOS EN ALMACENES HABILITADOS POR LA FUERZA ARMADA, DE DONDE SERÁN RETIRADOS ÚNICAMENTE CON AUTORIZACIÓN DEL MINISTERIO DE LA DEFENSA NACIONAL Y LA DEBIDA CUSTODIA DE LA POLICÍA NACIONAL CIVIL.

Art. 54. – El Reglamento de la presente Ley establecerá las diferentes clases de explosivos cuya importación, fabricación y comercialización, podrá ser autorizada para uso civil, así como las restricciones que deban establecerse para cada clase.

CAPITULO II

ARTÍCULOS SIMILARES A EXPLOSIVOS

Art. 55.- SE CONSIDERA ARTÍCULO SIMILAR A EXPLOSIVO TODO ELEMENTO, SUSTANCIA QUE POR SUS PROPIEDADES O EN COMBINACIÓN CON OTRO ELEMENTO O SUSTANCIA; MEDIANTE ACCIÓN INICIADORA, PIROTÉCNICA, ELÉCTRICA, QUÍMICA O MECÁNICA, PUEDA PRODUCIR UNA EXPLOSIÓN, DEFLAGRACIÓN, PROPULSIÓN O EFECTO PIROTÉCNICO.

Art. 56.- CRÉASE LA COMISIÓN TÉCNICA DE EVALUACIÓN Y CONTROL DE ARTÍCULOS SIMILARES A EXPLOSIVOS, QUE EN LO SUCESIVO SE DENOMINARÁ COMISIÓN TÉCNICA, LA QUE ESTARÁ CONFORMADA POR UN MIEMBRO DE LAS INSTANCIAS CORRESPONDIENTES DE LAS INSTITUCIONES SIGUIENTES: MINISTERIO DE LA DEFENSA NACIONAL,

MINISTERIO DE JUSTICIA Y SEGURIDAD PÚBLICA, MINISTERIO DE GOBERNACIÓN, MINISTERIO DE SALUD, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, CORPORACIÓN DE MUNICIPALIDADES DE LA REPÚBLICA DE EL SALVADOR. SU SEDE SERÁ EL MINISTERIO DE LA DEFENSA NACIONAL, Y SU COORDINACIÓN CORRESPONDERÁ AL DIRECTOR DE LOGÍSTICA DE DICHO MINISTERIO. SU ORGANIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO, ASÍ COMO LOS REQUISITOS DE SUS INTEGRANTES, SERÁN DESARROLLADOS EN EL REGLAMENTO ESPECIAL. NINGUNA PERSONA NATURAL O JURÍDICA PODRÁ FABRICAR, COMERCIALIZAR, ALMACENAR, IMPORTAR Y EXPORTAR PRODUCTOS DE COMBINACIÓN QUÍMICA O ARTESANAL SIMILARES, SIN ANTES HABER TRAMITADO Y OBTENIDO EL PERMISO ESPECIAL DEL MINISTERIO DE LA DEFENSA NACIONAL PREVIO EL VISTO BUENO DE LA COMISIÓN TÉCNICA. PARA LOS EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE ESTE ARTÍCULO, QUEDA PROHIBIDA LA FABRICACIÓN, COMERCIALIZACIÓN, IMPORTACIÓN, EXPORTACIÓN Y USO DE PRODUCTOS PIROTÉCNICOS TALES COMO: SILBADORES, MORTEROS QUE EXCEDAN LOS 3.5 GRAMOS DE MEZCLA EXPLOSIVA O DE MEDIDAS SUPERIORES CONOCIDAS COMO NÚMERO CINCO Y BOMBAS DE MEZCAL, FULMINANTES, BUSCANIGUAS, CHISPAS DEL DIABLO, ROQUET CHINO Y MISIL CHINO Y CUALQUIER OTRO PRODUCTO CON CARACTERÍSTICAS Y EFECTOS SIMILARES A ÉSTOS.

LA COMISIÓN TÉCNICA SERÁ LA AUTORIDAD COMPETENTE PARA DETERMINAR MEDIANTE RESOLUCIÓN LOS PRODUCTOS PIROTÉCNICOS CON CARACTERÍSTICAS SIMILARES A LOS ENUNCIADOS EN EL INCISO ANTERIOR.

QUEDAN EXENTOS DEL INCISO TERCERO, LAS LUCES DE COLORES UTILIZADAS PARA DEMOSTRACIONES ARTÍSTICAS Y LOS COHETES DE VARA.

Art. 57.- PARA EXPORTAR E IMPORTAR ARTÍCULOS SIMILARES, SE DEBE TENER EL CORRESPONDIENTE PERMISO ESPECIAL Y LA AUTORIZACIÓN DEL MINISTERIO DE LA DEFENSA NACIONAL, PREVIO DICTAMEN FAVORABLE DEL CONSEJO SUPERIOR DE SALUD PÚBLICA POR CADA ARTÍCULO ESTABLECIDO EN EL REGLAMENTO ESPECIAL.

EL LISTADO DE ARTÍCULOS SIMILARES Y EXPLOSIVOS SERÁ DETERMINADO POR LA COMISIÓN TÉCNICA, LA QUE PODRÁ MODIFICARLO.

PARA LA COMERCIALIZACIÓN Y USO DE PRODUCTOS PIROTÉCNICOS, LAS MUNICIPALIDADES CORRESPONDIENTES EN COORDINACIÓN CON EL CUERPO DE BOMBEROS DE EL SALVADOR Y LA DIVISIÓN DE ARMAS Y EXPLOSIVOS DE LA POLICÍA NACIONAL CIVIL, DETERMINARÁN LOS LUGARES ADECUADOS PARA ESTOS FINES.

LAS PERSONAS NATURALES O JURÍDICAS QUE SE DEDIQUEN A LAS ACTIVIDADES SEÑALADAS EN ESTE ARTÍCULO DEBERÁN CUMPLIR LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS EN EL REGLAMENTO ESPECIAL.

TITULO VIII

PROHIBICIONES Y SANCIONES

CAPITULO I

PROHIBICIONES

Art. 58.- ADEMÁS DE TODAS LAS PROHIBICIONES SEÑALADAS EN LA LEY, SE PROHÍBE A LAS PERSONAS NATURALES O JURÍDICAS, LA FABRICACIÓN, IMPORTACIÓN, EXPORTACIÓN, COMERCIO, TENENCIA O PORTACIÓN DE:

- a) Armas químicas, biológicas, radioactivas o sustancias y materiales destinados a la elaboración de éstas;
- b) Miras de visión nocturna, miras telescópicas que no sean de cacería o deportivas, miras láser de uso militar, silenciadores y en general cualquier artefacto, dispositivo o accesorio que reduzca la detonación del disparo de armas de fuego, así como de los que lancen granadas de cualquier tipo como la munición empleada para su propulsión;

- c) Mecanismos de conversión de armas de fuego a funcionamiento automático;
- d) ARTIFICIOS PARA DISPARAR EL ARMA EN FORMA OCULTA, COMO MALETINES, ESTUCHES, LAPICEROS, LIBROS, Y OTROS SUBTERFUGIOS;
- e) Municiones envenenadas con productos químicos o naturales;
- f) Armas de fuego de fabricación artesanal de cualquier tipo o calibre;
- g) Armas de guerra; y,
- h) SE PROHÍBE EL USO DE GRANADAS DE GASES LACRIMÓGENOS, A EXCEPCIÓN DE LA FUERZA ARMADA Y LA POLICÍA NACIONAL CIVIL.
- i) FUSILES Y CARABINAS QUE SEGÚN LA TABLA DE ORGANIZACIÓN Y EQUIPO, (TOE) POSEA LA FUERZA ARMADA O LA POLICÍA NACIONAL CIVIL. SE EXCEPTÚAN DE ESTA PROHIBICIÓN AQUELLAS ARMAS QUE HUBIESEN SIDO REGISTRADAS EN EL MINISTERIO DE LA DEFENSA NACIONAL CON ANTERIORIDAD A LA VIGENCIA DE ESTA LEY Y LOS CASOS ESTABLECIDOS EN EL ARTÍCULO 72. (1)

Art.58-A.- NO PODRÁN SER PROPIETARIOS, ACCIONISTAS O CONTRATISTAS DE EMPRESAS PRIVADAS DEDICADAS AL COMERCIO, FABRICACIÓN, IMPORTACIÓN O EXPORTACIÓN DE ARMAS, MUNICIONES, EXPLOSIVOS U OTROS SIMILARES, LOS SIGUIENTES:

1. EL MINISTRO DE DEFENSA NACIONAL, EL DIRECTOR DE LOGÍSTICA Y EL ENCARGADO DE LAS OFICINAS DE CONTROL DE ARMAS, AMBOS DE DICHO MINISTERIO; Y,
2. EL MINISTRO DE GOBERNACIÓN; EL DIRECTOR GENERAL DE LA POLICÍA NACIONAL CIVIL, EL JEFE DE LA DIVISIÓN DE ARMAS Y EXPLOSIVOS; TODOS ELLOS Y LOS DEMÁS FUNCIONARIOS QUE DE ACUERDO A ESTA LEY SE ENCUENTREN DIRECTAMENTE VINCULADOS A LAS ACTIVIDADES SEÑALADAS EN EL INCISO PRIMERO DEL PRESENTE ARTÍCULO, ESTARÁN INHABILITADOS PARA SER PROPIETARIOS, ACCIONISTAS O CONTRATISTAS DE DICHAS EMPRESAS DURANTE EL DESEMPEÑO DE SUS FUNCIONES ASÍ COMO DURANTE LOS TRES AÑOS POSTERIORES DE HABER CESADO EN EL CARGO.

Art. 59.- SE PROHÍBE LA ALTERACIÓN, ELIMINACIÓN, MODIFICACIÓN DE SISTEMA DE MECANISMOS, MARCA DE FABRICACIÓN, NÚMERO DE SERIE, MODELO, TIPO, CAMBIO DE CAÑÓN, CALIBRE, EMPAVONADO O

NIQUELADO DE ARMAS DE FUEGO SIN LA AUTORIZACIÓN DEL MINISTERIO DE LA DEFENSA NACIONAL, PARA LO CUAL EL INTERESADO LO SOLICITARÁ POR ESCRITO.

SE PODRÁ MODIFICAR EL SISTEMA DE MECANISMOS, EFECTUAR CAMBIO DE CAÑÓN, CALIBRE, EMPAVONADO O NIQUELADO DE ARMAS DE FUEGO PREVIA AUTORIZACIÓN DEL MINISTERIO DE LA DEFENSA NACIONAL, PARA LO CUAL EL INTERESADO LO SOLICITARÁ POR ESCRITO. EN EL CASO DEL CAMBIO DE CAÑÓN DEBERÁ PRESENTAR EL ARMA PARA EFECTUAR LA PRUEBA BALÍSTICA.

Art. 60.- Se prohíbe a los dueños de montepíos prestar dinero sobre armas de fuego, municiones y accesorios, así como comercializar con las mismas.

Art. 61.- En los polígonos de tiro se prohíbe lo siguiente:

- a) Utilizar armas de fuego que no estén matriculadas en el Ministerio de la Defensa Nacional;
- b) Utilizar armas de fuego que no estén permitidas para el uso de particulares por la presente Ley; y,
- c) Utilizar municiones no permitidas por la presente Ley.

Art. 62.- SE PROHÍBE LA PORTACIÓN DE ARMAS DE FUEGO, EN INSTITUCIONES PÚBLICAS, CENTROS SOCIALES, CULTURALES Y EDUCATIVOS, RESTAURANTES, HOTELES, PENSIONES, BARES, BARRAS SHOW, EXPENDIOS DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS, CERVECERÍAS, BILLARES, PLAZAS, GASOLINERAS, ARCOS DE ESPARCIMIENTO O DIVERSIÓN Y ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS, ASÍ COMO CUANDO PARTICIPARE DURANTE LA REALIZACIÓN DE ESPECTÁCULOS PÚBLICOS, DESFILES, MANIFESTACIONES, PROTESTAS PÚBLICAS, REUNIONES CÍVICAS, RELIGIOSAS Y DEPORTIVAS.

EL PROPIETARIO O REPRESENTANTE LEGAL DE CUALQUIERA DE LAS INSTITUCIONES, NEGOCIOS, ESTABLECIMIENTOS SEÑALADOS EN EL INCISO ANTERIOR PODRÁ COLOCAR EN LUGARES VISIBLES, RÓTULOS

QUE SEÑALEN DICHAS PROHIBICIONES Y CONTAR CON LUGARES SEGUROS PARA SU DEPÓSITO.

DE IGUAL FORMA SE PROHÍBE ACEPTAR EN DEPÓSITO ARMAS DE FUEGO EN BARES, BARRASSHOW, EXPENDIOS DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS, CERVECERÍAS O CUALQUIER OTRO SITIO DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS.

ASIMISMO SE PROHÍBE LA PORTACIÓN DE ARMAS AUTOMÁTICAS Y SEMIAUTOMÁTICAS, REVÓLVVERES Y PISTOLAS SEMIAUTOMÁTICAS, FUSILES Y CARABINAS DE ACCIÓN MECÁNICA O SEMIAUTOMÁTICAS Y ESCOPETAS, DENTRO DE VEHÍCULOS DEL TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS EN SERVICIO, LIMITÁNDOSE A LA CONDUCCIÓN DE ÉSTAS DEBIDAMENTE DESCARGADAS.

LAS ANTERIORES PROHIBICIONES NO SERÁN APLICABLES A LOS FUNCIONARIOS Y PERSONAL DE SEGURIDAD MENCIONADOS EN EL ARTÍCULO 72 DE LA LEY, LOS MIEMBROS DE LA FUERZA ARMADA O DE LA POLICÍA NACIONAL CIVIL EN SERVICIO; ASÍ COMO LOS MIEMBROS DE LOS SERVICIOS DE SEGURIDAD PRIVADOS, ESTATALES, MUNICIPALES Y AUTÓNOMAS, DEBIDAMENTE AUTORIZADOS, SIEMPRE QUE SE ENCONTRAREN EN EL EJERCICIO LEGÍTIMO DE SUS FUNCIONES.

LA VIOLACIÓN A ESTAS PROHIBICIONES, SERÁ SANCIONADA DE CONFORMIDAD A ESTA LEY, SIN PERJUICIO DE LA RESPONSABILIDAD PENAL A QUE HUBIERE LUGAR.

Art. 62-A.- EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA A SOLICITUD DEL MINISTRO ENCARGADO DE LA SEGURIDAD PÚBLICA, EN COORDINACIÓN CON EL MINISTRO DE DEFENSA NACIONAL, PODRÁ DEFINIR LUGARES Y PERÍODOS EN LOS QUE NO SE PERMITIRÁ LA PORTACIÓN DE ARMAS

DE FUEGO, A TRAVÉS DEL CORRESPONDIENTE DECRETO EJECUTIVO QUE DEBERÁ PUBLICARSE EN EL DIARIO OFICIAL, PREVIA OPINIÓN DEL CONCEJO MUNICIPAL DEL MUNICIPIO A EFECTUARSE. LOS CRITERIOS SOBRE LOS CUALES SE TOMARÁ LA DECISIÓN DEL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DEBERÁN BASARSE EN LOS DATOS ESTADÍSTICOS DE LA POLICÍA NACIONAL CIVIL, LOS CUALES DEBERÁN SEÑALAR, AL MENOS, UNA DE LAS CIRCUNSTANCIAS SIGUIENTES:

- a) AUMENTO DE LOS INDICES DE CRIMINALIDAD;
- b) MAYOR INCIDENCIA EN LA UTILIZACIÓN DE ARMAS DE FUEGO PARA LA COMISIÓN DE DELITOS;
- c) AUMENTO EN LAS DETENCIONES POR TENENCIA, PORTACIÓN O CONDUCCIÓN ILEGAL DE ARMAS DE FUEGO O DE ARMAS DE GUERRA;
- d) PRESENCIA DE GRUPOS DELINCUENCIALES EN LA ZONA O LUGAR;
- e) DATOS SOBRE VENTA O TRÁFICO ILEGAL DE ARMAS EN LA ZONA O LUGAR; Y,
- f) AFLUENCIA DE PERSONAS EN EL LUGAR DEBIDO A ACTIVIDADES LABORALES, SOCIALES, CULTURALES, DEPORTIVAS, RELIGIOSAS O RECREACIONALES.

EL PERÍODO DURANTE EL CUAL SE RESTRINGIRÁ LA PORTACIÓN DE ARMAS DE FUEGO NO PODRÁ EXCEDER DE SESENTA DÍAS, SEAN DÍAS ALTERNAS O CONSECUTIVOS O POR HORAS; LOS CUALES PODRÁN SER PRORROGADOS POR IGUAL PERÍODO POR EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA A TRAVÉS DEL DECRETO EJECUTIVO CORRESPONDIENTE. TAL PROHIBICIÓN NO SERÁ APLICABLE A LOS SUJETOS MENCIONADOS EN EL INCISO QUINTO DEL ART. 62 DE LA LEY DE CONTROL Y REGULACIÓN DE ARMAS, MUNICIONES, EXPLOSIVOS Y ARTÍCULOS SIMILARES.

Art. 63.- No podrán concederse licencias para uso de armas de fuego, matrículas de tenencia, portación de armas de fuego, a las personas siguientes:

- a) A LOS MENORES DE VEINTIÚN AÑOS, LICENCIA PARA USO DE ARMAS DE FUEGO, MATRÍCULAS DE COLECCIÓN, TENENCIA Y CONDUCCIÓN; A LOS MENORES DE VEINTICUATRO AÑOS, MATRÍCULAS DE PORTACIÓN. SE EXCEPTÚA DE LO ANTERIOR, A LOS MIEMBROS DE LA FUERZA

ARMADA DE EL SALVADOR, POLICÍA NACIONAL CIVIL, ACADEMIA DE SEGURIDAD PÚBLICA, Y A LAS PERSONAS QUE HUBIEREN PRESTADO SUSERVICIO MILITAR, QUE PODRÁN OBTENERLAS A LOS DIECIOCHO AÑOS. DE IGUALFORMA, PODRÁN OBTENERLAS LAS PERSONAS A QUE SE REFIERE LA LEY DE LOSSERVICIOS PRIVADOS DE SEGURIDAD; LAS QUE OBTUVIERON LÍCITAMENTE LA LICENCIAO MATRÍCULA, PARA EFECTOS DE REFRENDA; Y LOS TIRADORES DEPORTIVOSFEDERADOS O DEBIDAMENTE ACREDITADOS, EN ESTE ÚLTIMO CASO, SOLO PODRÁNOTORGÁRSELES LICENCIA PARA USOS DE ARMAS DE FUEGO Y MATRICULA DE TENENCIA Y CONDUCCIÓN, RESPECTO DE LAS ARMAS ESPECIFICAS PARA LAS PRACTICASDEPORTIVAS;

- b) Personas declaradas judicialmente en estado de interdicción;
- c) Personas con antecedentes penales o policiales, excepto por delitos culposos; y,
- d) Personas que sufran de limitaciones físicas o mentales que razonablemente anulen o disminuyan su capacidad para el uso eficiente y seguro de un arma de fuego, de acuerdo a dictamen médico.

Art. 63-A.- SE PROHÍBE LA PUBLICIDAD Y OFERTAS DE ARMAS DE FUEGO Y MUNICIONES, EXCEPTO EN PUBLICACIONES ESPECIALIZADAS EN MATERIA DEPORTIVA O DE SEGURIDAD.

Art. 64.- Se prohíbe a toda persona natural o jurídica la comercialización, fabricación, exportación, importación, tenencia o portación de explosivos de uso militar.

Art. 65.- LAS PERSONAS NATURALES Y JURÍDICAS AUTORIZADAS PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE DETONADORES, EXPLOSIVOS, INICIADORES O ALTOS EXPLOSIVOS DE USO CIVIL, SEAN O NO NITROGLICERINADOS, DEBERÁN DE INFORMAR POR ESCRITO AL MINISTERIO DE LA DEFENSA NACIONAL, CUALQUIER TRANSACCIÓN DE ESTE MATERIAL ESPECIFICANDO A QUIÉN, QUE CANTIDAD Y PARA QUE FIN SE UTILIZARÁN Y EL LUGAR DONDE SERÁN EMPLEADOS.

Art. 66.- Toda persona natural o jurídica para hacer uso de cualquier tipo de explosivos deberá solicitar al Ministerio de la Defensa Nacional, la presencia de dos expertos en dicho campo para que puedan verificar el uso adecuado y seguro de los mismos y comprobar la cantidad y el lugar donde serán detonados. Tanto la empresa como los peritos enviarán informe por escrito al Ministerio de la Defensa Nacional y copia a la Policía Nacional Civil.

CAPITULO II

SANCIONES

Art. 67.- LAS INFRACCIONES A LO DISPUESTO EN LA PRESENTE LEY Y SU REGLAMENTO, SIN PERJUICIO DE LA RESPONSABILIDAD CIVIL O PENAL A QUE HUBIERE LUGAR, SE SANCIONARÁN ASÍ:

a) FALTAS MENOS GRAVES: LAS CUALES SE SANCIONARÁN CON SUSPENSIÓN TEMPORAL DE LA LICENCIA, PERMISO, MATRÍCULA O AUTORIZACIÓN HASTA TRES MESES; Y MULTA EQUIVALENTE DE HASTA UN SALARIO MÍNIMO URBANO MENSUAL VIGENTE, AL MOMENTO DE IMPONER LA SANCIÓN.

b) FALTAS GRAVES: LAS CUALES SE SANCIONARÁN CON SUSPENSIÓN TEMPORAL DE LA LICENCIA, PERMISO, MATRÍCULA O AUTORIZACIÓN DESDE TRES MESES HASTA DOS AÑOS; Y MULTA HASTA DIEZ SALARIOS MÍNIMOS URBANOS MENSUALES, VIGENTES AL MOMENTO DE IMPONER LA SANCIÓN.

c) FALTAS MUY GRAVES: QUE SE SANCIONARÁN CON LA SUSPENSIÓN DE LA LICENCIA, PERMISO, MATRÍCULA O AUTORIZACIÓN; Y MULTA HASTA CINCUENTA SALARIOS MÍNIMOS URBANOS VIGENTES.

LO QUE CORRESPONDE A LA SUSPENSIÓN DE LA LICENCIA, PERMISO, MATRÍCULA O AUTORIZACIÓN, SERÁ REGULADO POR EL REGLAMENTO RESPECTIVO.

Art. 68.- LAS FALTAS Y LAS SANCIONES O MULTAS CORRESPONDIENTES POR LA INFRACCIÓN A LAS DISPOSICIONES DE LA PRESENTE LEY, SERÁN LAS QUE A CONTINUACIÓN SE DETALLAN EN LA TABLA RESPECTIVA, Y LAS CUALES SE APLICARÁN AL USUARIO DE LA LICENCIA O MATRÍCULA, SEGÚN SEA EL CASO.