

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCION – REY BALDUINO DE BÉLGICA

ELABORACION DE UN PLAN DE ANALISIS DE RIESGOS PARA USO Y
MANEJO DE EXPLOSIVOS EN EL RUBRO DE LA CONSTRUCCION DE OBRAS
VIALES EN LA REGION DEL BIO-BIO

Trabajo de titulación para optar al
título Profesional de INGENIERO EN
PREVENCIÓN DE RIESGOS
LABORALES Y AMBIENTALES

Alumno:
José Antonio Corredor Gómez

Profesor guía:
Victor Lizama Molina

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme dado sabiduría y entendimiento sin su misericordia no podría haber realizado este gran sueño.

A mi familia

Que siempre ha estado ahí para ayudarme y sostenerme, especialmente a mis padres, quienes con amor y sacrificio han logrado que cumpla mis sueños y me han enseñado a ser la persona que soy.

A mi esposa Regina

Por estimular mis estudios y trabajo y brindarme el tiempo que deberíamos pasar juntos y permitirme realizar esta carrera.

A mis hijos Pablo y Nathan

Porque sin su apoyo y amor incondicional no podría haber llegado a lo que hoy día soy.

A mis compañeros de carrera por ser tan especiales y comprometidos conmigo en este proceso de formación en mi vida.

Al país de Chile por esta gran hospitalidad y amistad de todos los chilenos a los cuales les estoy muy agradecido y les tengo un gran cariño y afecto haciéndome sentir orgulloso de haber compartido con ellos esta nueva experiencia en mi vida.

Al Distinguido Profesor Victor Lizama

Por los aportes técnicos y apoyo motivacional que permitieron la realización de este trabajo y quien tuvo la laboriosa tarea de la revisión final de este.

RESUMEN

El presente trabajo se enfoca principalmente en la elaboración de un plan de análisis de riesgos del uso y manejo de explosivos en el rubro de la construcción de obras viales y a la vez crear las medidas más apropiadas y necesarias para lograr un uso correcto y seguro de estas sustancias explosivas y altamente peligrosas.

Para el desarrollo de este plan se realizó un análisis sobre estas sustancias peligrosas su composición, almacenamiento, transporte como el uso, manejo y disposición final del producto, es decir un completo estudio para reforzar en temas de prevención las necesidades de la empresa cumpliendo con todos los requerimientos y protocolos necesarios para comenzar a desarrollar esta actividad con plena seguridad y respetando siempre el medio ambiente.

ABSTRACT

This work focuses mainly on the elaboration of a risk analysis plan for the use and handling of explosives in the field of construction of road works and at the same time create the most appropriate and necessary measures to achieve a correct and safe use of these explosive and highly dangerous substances. For the development of this plan, an analysis was carried out on these dangerous substances, their composition, storage, transport, as well as the use, handling and final disposal of the product, that is, a complete study to reinforce the company's needs in terms of prevention, complying with all the requirements and protocols necessary to start developing this activity in complete safety and always respecting the environment.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN.....	II
ABSTRACT.....	III
SIGLA Y SIMBOLOGIA.....	IV
DEFINICIONES Y TERMINOLOGIA.....	V
DESCRIPCION DEL PROBLEMA	VI
ALCANCE.....	VII
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS.....	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos.....	2
ANTECEDENTES GENERALES	3
1. ANTECEDENTES DE LOS EXPLOSIVOS.....	3
1.1 Antecedentes de los explosivos	3
1.1.1 La pólvora negra	3
1.1.2 La dinamita	5
1.1.3 Los agentes de voladura	6
2. MARCO TEORICO	9
2.1 Marco jurídico sustentación	9
3. FUNDAMENTOS SOBRE EXPLOSIVOS Y LA TEORÍA DE LA DETONACIÓN	10
3.1 Tipos de reacción en función de la cinética química	10
3.1.1 Combustión	11
3.1.2 Deflagración.....	11
3.1.3 Detonación	11
3.1.4 Mecanismo de la detonación.....	11
4. PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LOS EXPOSIVOS.....	14
4.1 Potencia explosiva.....	14
4.2 Poder Rompedor	15
4.3 Velocidad de detonación	16
4.3.1 Ensayos de laboratorio	17
4.3.2 Ensayos de campo	17
4.4 Densidad.....	19
4.5 Resistencia al agua	19
4.6 Calidad de los humos	20
4.7 Toxicidad.....	20
4.8 Sensibilidad.....	20

4.8.1	Sensibilidad al detonador	20
4.8.2	Sensibilidad a la onda explosiva	21
4.8.3	Sensibilidad al choque y al rozamiento.....	22
4.9	Estabilidad química.....	22
4.10	Calor de Explosión.....	23
4.11	Balance de Oxígeno	23
4.12	Clasificación de los explosivos de seguridad.....	28
5.	SUSTANCIAS EXPLOSIVAS.....	29
5.1	Sustancias explosivas utilizadas como iniciadores	29
5.2	Sustancias explosivas secundarias	30
6.	SUSTANCIAS NO EXPLOSIVAS SUCEPTIBLES DE DETONAR.....	33
7.	EXPLOSIVOS INDUSTRIALES.....	34
7.1	Dinamita.....	34
7.1.1	Dinamita pulverulenta.....	35
7.1.2	Dinamita gelatinosa.....	35
7.2	ANFO.....	36
7.3	Hidrogeles	37
7.4	Emulsiones	38
8.	ACCESORIOS DE VOLADURA.....	40
8.1	Sistemas de iniciación	41
8.1.1	Detonadores ordinarios	41
8.1.2	Detonadores eléctricos	42
8.1.3	Detonadores no eléctricos	45
8.1.4	Cordón detonante	46
8.1.5	Relé microrretardo	47
8.1.6	Multiplicadores	48
8.1.7	Mecha lenta	49
8.2	Otros accesorios no explosivos	49
8.2.1	Explosores eléctricos.....	50
8.2.2	Ohmetros.....	50
8.2.3	Sistemas de iniciación no eléctrica	52
9.	ALMACENAJE DE EXPLOSIVOS EN INSTALACIONES	54
10.	PROCESO DEL PLAN DE SEGURIDAD EN VOLADURAS.....	58
10.1	Condiciones requeridas para desempeñar la función de artillero.....	58
10.2	Manipulación de explosivos y detonadores	58
10.3	Transporte interno de explosivos	60
10.4	Perforación de barrenos	61
10.5	Carga de barrenos.....	62
10.6	Preparación del cartucho cebo	63
10.7	Cebado y conexión de las voladuras	64
10.8	Uso y manejo de detonadores eléctricos	65

10.9 Línea de tiro	66
10.10 Disparo de las pegas.....	66
10.11 Explosores y otros iniciadores	68
10.12 Barrenos fallidos	68
10.13 Comprobaciones.....	69
10.14 Saneo del frente.....	69
11. SEGURIDAD EN EL USO Y MANEJO DE EXPLOSIVOS	70
11.1 Destrucción	70
11.2 Métodos de destrucción de explosivos.....	71
11.2.1 Combustión	72
11.2.2 Detonación	73
11.2.2.1 Detonación a cielo abierto o al aire.....	74
11.2.2.2 Detonación en un barreno	74
11.2.2.3 Disolución (procedimiento químico)	75
11.3 Volumen de productos	76
11.3.1 Combustión	76
11.3.2 Detonación	76
11.3.3 Por procedimientos químicos.....	77
11.4 Métodos de trabajo.....	77
11.4.1 Por combustión	78
11.4.2 Por detonación.....	79
11.5 Distancias de seguridad.....	79
11.6 Medidas preventivas.....	80
11.6.1 Almacenamiento	80
11.6.2 Equipos de protección personal	80
11.7 Formación	81
12. EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL (EPI)	82
13. RESULTADOS OBTENIDOS	83
14. ANÁLISIS DE LOS RIESGOS DEL TRABAJO	84
15. PLAN DE EMERGENCIA	89
16. CONCLUSIONES.....	102
17. ANEXOS	103
18. BIBLIOGRAFIA.....	106

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Pólvara negra. Fuente (Maxam)	4
Figura 2: Tipo de reacción en función de la cinética química	11
Figura 3: Zonas del proceso de detonación.....	12
Figura 4: Presión de detonación y Presión de burbuja de dos tipos explosivo ...	13
Figura 5: Péndulo balístico. Fuente (OZM Research)	15
Figura 6: Determinación del poder rompedor por el método Hess.....	16
Figura 7: Voladura en campo. Fuente (EPC-Groupe).....	18
Figura 8: Equipo de medida continua de velocidad de detonación. Fuente (MREL)	18
Figura 9: Ejemplo de medida continua de velocidad de detonación. Fuente (MREL)	18
Figura 10: Detonador. Fuente (Maxam)	21
Figura 11: Ensayos de sensibilidad a la onda explosiva	21
Figura 12: Polvorín desplazable.....	23
Figura 13: Reacción ideal del carbón-oxígeno	25
Figura 14: Reacción ideal del hidrógeno-oxígeno	25
Figura 15: Reacción ideal del Nitrógeno-Nitrógeno.....	26
Figura 16: Reacción no ideal del carbón-Oxígeno.....	27
Figura 17: Reacción no ideal del Nitrógeno-Oxígeno	27
Figura 18: Voladura. Fuente (http://.lomupm.es).....	29
Figura 19: Fórmulas químicas desarrolladas de explosivos iniciadores	30
Figura 20: Fórmulas desarrollada de la nitroglicerina	30
Figura 21: Fórmulas desarrolladas del nitroglicol	31
Figura 22: Fórmula desarrollada del Trinitrolueno.....	31
Figura 23: Fórmula desarrollada de la pentrita y presentación	32
Figura 24: Nitrocelulosa.....	32
Figura 25: Prills de nitrato de amonio.....	33
Figura 26: Sistema de conexión de voladura	34
Figura 27: Cartuchos de dinamita de diferentes calibres. Fuente (Maxam)	35
Figura 28: Explosivo tipo ANFO. Fuente (Maxam)	36
Figura 29: Explosivo tipo Hidrogel. Fuente (Maxam).....	37
Figura 30: Diferentes tipos de emulsión en función de la proporción Emulsión/ ANFO.....	39
Figura 31: Emulsión explosiva y equipo de carga a granel. Fuente (Orica).....	39
Figura 32: Voladura. Fuente (Elaboración propia)	40

Figura 33: Detonador no eléctrico. Fuente (explosivos wikidot.com).....	42
Figura 34: Detonador eléctrico. Fuente (edot.site)	43
Figura 35: Detonador no eléctrico. Fuente (edot.site).....	45
Figura 36: Tubo de transmisión. Fuente (Maxam)	45
Figura 37: Cordón detonante. Fuente (Indumil.gov.co).....	46
Figura 38: Relé de microrretardo. Fuente (docplayer.es)	48
Figura 39: Multiplicadores (boosters). Fuente (Maxam.net)	48
Figura 40: Mecha lenta y engarce con detonador ordinario.....	49
Figura 41: Diferentes tipos de explosores eléctricos.....	50
Figura 42: Óhmetro digital y analógico. Fuente (docplayer.es).....	51
Figura 43: Óhmetro digital. Fuente (EPC-Groupe)	51
Figura 44: Iniciador de chispa de detonadores no eléctricos. Fuente (Dyno Nobel)	52
Figura 45: Iniciador de pistón. Fuente (Ideal Blasting Supply)	53
Figura 46: Imagen externa de polvorín. Fuente (elaboración propia).....	55
Figura 47: Container detonadores. Fuente (elaboración propia).....	56
Figura 48: Licencia Manipulador de Explosivos. Fuente (elaboración propia)..	59
Figura 49: Control de entrada y salida de detonadores. Fuente (elaboración propia)	59
Figura 50: Almacenamiento de detonadores. Fuente (elaboración propia)	61
Figura 51: Almacenamiento Alto Explosivo, Fuente (elaboración propia)	61
Figura 52: Destrucción de explosivos por combustión. Fuente (polminera.com)	72
Figura 53: Equipos Protección Obligatorios. Fuente (elaboración propia).....	82
Figura 54: Lista de verificación	103
Figura 55: Procedimientos recomendables de destrucción	104
Figura 56: Formato actividad preventiva operacional	105

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ingredientes de los explosivos	24
Tabla 2: Características de la dinamita. Fuente (Konya & Albarrán N.,1998)...	34
Tabla 3: Propiedades de las perlas de nitrato de amonio (Konya & Albarrán N.,1998)	39
Tabla 4: Detonador eléctrico. Características eléctricas	43
Tabla 5: Cantidades de producto y distancias entre pilas para destrucción	76
Tabla 6: Distancias mínimas recomendables a viviendas aisladas	79
Tabla 7: Distancias mínimas protección del personal encargado de la destrucción	80
Tabla 8: Equipos protección personal. Fuente (Elaboración propia).....	82

SIGLAS Y SIMBOLOGIA

A.S.T: Análisis de Seguridad del Trabajo

A.P.D: (Pentolita)

PETN: Pentrita

TNT: Trinitrotolueno

N.C.N: Nitrocarbonitratos

m/seg: metros/segundo.

EPP: Elemento Protección Personal

XIX: Siglo diecinueve

XX: Siglo veinte.

VII: Siglo siete

XVII: Siglo diecisiete.

XI: Once

Cm: Centímetros

%: Porcentaje

n°: Número

mm: Milímetros

ANFO: Nitrato Amónico Fuel Combustible.

ms: Milisegundos.

DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA

A continuación, se dan a conocer los términos utilizados con mayor frecuencia en la minería, adaptados a la terminología utilizada en el proyecto.

Accesorios de Tronadura

Todos aquellos elementos que intervienen en el tren de encendido, de una carga explosiva.

Agente Explosivo

Explosivo que cumple con los criterios descritos para medir la sensibilidad a la iniciación para almacenamiento, cualquier material o mezcla consistente en combustible y oxidante destinado a la detonación, pero no definido como explosivo, siempre que el producto terminado y mezclado no pueda ser detonado por medio de un detonador N°8 de prueba, cuando no está confinado. Se considera tan insensible que existen muy pocas posibilidades de iniciación accidental a la explosión o transición desde la deflagración a la detonación.

Área de Carguío de Explosivos

Zona de trabajo restringida y demarcada por loros vivos, conos, letreros donde se realizan operaciones de carguío de explosivos.

A.S.T

Análisis de Seguridad del Trabajo

A.P.D (Pentolita)

Producto en base a la mezcla de Pentrita (PETN) y Trinitrotolueno (TNT) y que, debido a sus altas propiedades de desempeño, se usan como iniciadores de explosivos de baja sensibilidad a la iniciación, tales como los Nitrocarbonitratos (N.C.N). Anfos, Sanfos, Anfos pesados y emulsiones.

ANFO

Agente explosivo basado en la mezcla de Nitrato de Amonio y combustible diésel, en proporciones que generen un balance de oxígeno próximo a cero.

Asesor Técnico

Trabajadores de nivel técnico o profesional que, por lo general, provienen de los antiguos grupos de supervisores. Son especialistas que apoyaran y capacitaran a los equipos de trabajo con respecto a aspectos técnicos.

Balance de Oxígeno

Es exceso o deficiencia fraccional de oxígeno contenido en una mezcla explosiva, que se requiere para que sea oxidado en H₂O y todo el nitrógeno para formar N₂. Cuando otros

elementos están contenidos en el explosivo y se puedan oxidar, los óxidos que se forman se deben calcular en el balance de oxígeno.

Barreno o perforación

Son los agujeros cilíndricos que se perforan en un banco de piedra, en los cuales se deposita el material explosivo.

Bordo

Se define como la distancia más corta al punto de alivio al momento que un barreno detona.

Cámara de aire

Espacio o volumen de aire que se deja dentro de una perforación, con el objetivo de:

- Aumentar el volumen de perforación expuesto a la detonación del explosivo, bajando la cantidad de explosivo.
- Distribuir la energía del explosivo más allá de columna de carga.
- Reducir el daño que se transmite al macizo rocoso y/o estructuras cercanas.
- Reducir el explosivo en la zona de la pasadura de los tiros.

Carga explosiva

Comprende los diversos explosivos y/o elementos de tronadura. También se utiliza para referirse a los explosivos en general.

Carta de loros

Diagrama en que se ubican y numeran los distintos elementos, para delimitar el y/o los accesos a las zonas amagadas, accesos que pueden ser vehiculares o peatonales. La carta de loros debe ser realizada por el Ingeniero Programador Calculista.

Cebo o Prima

Se denomina cebo o prima, al conjunto compuesto por una o más cápsulas detonadoras de retardo no eléctrico, electrónico u otro similar insertadas dentro de un iniciador, unidas a sus respectivas líneas descendentes, conjunto que actúa como iniciador de la carga explosiva principal, que produce la tronadura o quemada.

Cierre

Bloqueo de un acceso al área de seguridad de una tronadura de acuerdo con la “carta de loros”.

Conector de retardo

Dispositivo utilizado para establecer una demora de tiempo en un circuito de encendido conectando una perforación con otra o una fila de pozos con otra fila de ellos.

Cordón detonante

Un cordón flexible, resistente, que contiene un núcleo de explosivo de alta velocidad de detonación (generalmente Pentrita), utilizado primordialmente para iniciar una serie de cargas. Su velocidad de detonación es de 7000 m/seg, aproximadamente y se inicia por medio de un detonador.

Cuadrilla

Equipo de personas que efectúan labores afines a un proceso o con un objetivo común.

Densidad

Gravedad específica de una sustancia en su volumen de masa, generalmente expresada en terminología de explosivos o minería como gramos por centímetro cúbico, kilogramos por litro o toneladas por metro cúbico.

Detonación

Una reacción química exotérmica muy rápida asociada con alta temperatura y presión. El fenómeno se propaga como una onda llamada detonación, con velocidades que varían desde unos pocos metros/segundo hasta 8000 metros/segundo, dependiendo de las características del explosivo y de la geometría de la carga.

Detonador o Cápsula Detonante

Fulminante o cápsula que contiene material explosivo sensible, utilizando para iniciar una carga de altos explosivos. El detonador puede ser iniciado por calor, fricción o impacto.

Emulsión (matriz)

Producto en base nitrato de amonio, aceite combustible, emulsificantes y agua, que al ser mezclado con ANFO en diferentes proporciones le otorga mayor densidad y/o resistencia al agua.

Energía de choque

Es la energía que se libera durante el proceso de detonación comúnmente llamada presión de detonación.

Energía de gas

Es la energía que causa la mayor parte de la fragmentación de la roca durante la voladura con cargas confinadas en los barrenos.

Estopines

Son fulminantes eléctricos que están formados de un casquillo cilíndrico de aluminio o cobre que contiene una serie de cargas explosivas.

Explosivo

Cualquier mezcla química, que se reacciona a alta velocidad para liberar gas y calor, y causar de este modo grandes presiones, que fracturan la roca.

Explosión

Un proceso termoquímico, en donde mezcla de gases, sólidos o líquidos reaccionan con la formación casi instantánea de presiones gaseosas y casi repentina liberación de calor. Debe haber siempre una fuente de encendido y el límite de temperatura apropiada alcanzada para iniciar la reacción.

Flamabilidad

Es la característica que tiene un explosivo para iniciar la reacción con facilidad a partir de una chispa, flama o fuego.

Iniciador

Explosivo de alta presión y velocidad de detonación utilizado para iniciar cargas explosivas de baja sensibilidad.

Iniciación

El acto de detonar un alto explosivo por medio de un dispositivo mecánico, electrónico u otro medio.

Ingeniero Programador Calculista

Profesional de formación universitaria, capacitado para cumplir roles de dirección, administración e investigación en los procesos involucrados en obras civiles y en el negocio minero. Además, es el encargado de generar los protocolos de tronadura que entregarán los parámetros de diseño de la tronadura, respecto de los factores de carga, tipos de explosivos, distribución de estos en el barreno, tipos de accesorios tales como amarres, retardos y secuencia de salida de los diferentes tiros, así como la confección de la carta de loros y los aspectos necesarios para la correcta evacuación de la zona amagada, considerando además, las medidas pertinentes para el control de vibraciones y/o proyección de partículas. Como seguridad en todos los recursos humanos a su cargo. Es responsable de toda la zona amagada y las áreas de seguridad de la tronadura.

Loro Vivo

Se le denomina Loro Vivo, a la persona que es designada para realizar el cierre e impedir el acceso de personas, vehículos o equipos al área de seguridad de tronaduras, debiendo estar suficientemente instruido sobre las funciones que realizará. Será retirado del lugar asignado, por la misma persona que lo ubicó en el lugar o por el jefe de tronadura.

Línea descendente

Tubo de choque, cordón detonante o cable eléctrico u otro sistema que sea utilizado en el futuro, que transmite energía desde la línea principal, bajando por la perforación hacia el iniciador.

Mecha o Guía de Seguridad

Un cordón no detonante, con razones de quemado conocidas y uniformes, utilizando para la iniciación de detonaciones en operaciones comerciales. El núcleo es cargado con algún tipo de

material pirofórico, tal como la pólvora negra. Las razones de encendido varían desde los 130 seg/m a los 100 seg/m.

Plantilla de voladura

Consiste en colocar barrenos diseñados, adecuadamente e individuales, dentro de una relación geométrica entre ellos y la cara libre.

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 un trabajo.

Presión de detonación

Es la que se obtiene casi instantánea como resultado del movimiento de la onda de choque a través del explosivo.

P.E.T.N.

Compuesto explosivo militar, utilizado como una carga de núcleo del cordón detonante y como carga base de los detonadores.

Protocolo de tronadura

Documento para colocar los explosivos en la malla de perforación de acuerdo con el cálculo del Ingeniero Programador Calculista.

Reforzador

Es una unidad explosiva de diferente composición a la de la carga principal y no contiene un dispositivo iniciador.

Resistencia al agua

Es la habilidad de un explosivo de soportar el contacto con el agua sin sufrir deterioro en su desempeño.

Sensibilidad

Es la característica que tiene un explosivo para propagar la reacción a todo lo largo de la carga.

Sensitividad

Está definida por la cantidad d energía que un explosivo requiere para detonar confiablemente.

Supervisor de Tronadura

Entrega las instrucciones de trabajo, seguridad, coordina, asesora y apoya el correcto desarrollo de las tronaduras, así como el mejoramiento de los equipos de trabajo, con relación a los requerimientos entregados por el Ingeniero Programador Calculista.

Taco

La parte superior de la perforación que no contiene material explosivo y es relleno con material arenoso o el proveniente del detritus de la perforación con propósitos de confinamiento, expresado generalmente como distancia lineal medida desde la parte superior del barreno, hasta la columna de explosivo.

Tiro

Barreno o perforación cargada con explosivos.

Tiro Quedado

Carga o parte de una carga, que por alguna razón no se inició o no se quemó como estaba planeado. Todas estas cargas se deben considerar extremadamente peligrosas, hasta que se haya logrado descomponerlas, reiniciarlas o descargarlas, eliminando completamente lo fallido.

Tronadura Primaria

El proceso que comprende todas las operaciones necesarias para fragmentar roca mediante el uso de explosivos, de manera que tenga granulometría que pueda ser adecuadamente extraída por un equipo de carguío.

Tronadura Secundaria

El proceso que contempla las operaciones necesarias para lograr la disminución del tamaño mediante el uso de explosivos, de grandes bloques de roca cuyo tamaño limita su remoción, extracción, carguío y chancado.

Tubo de Choque

Sistema de iniciación no eléctrica que consiste fundamentalmente en un tubo de plástico especial, que en su pared interior está recubierto con una delgada capa de explosivo de baja potencia, capaz de transmitir una onda de choque a una velocidad de 2000 m/s hacia un detonador de retardo.

Velocidad de Detonación

Es la velocidad a la cual la reacción se mueve a lo largo de la columna de explosivo.

Zona Amagada

Zona que abarca un radio 500 metros como mínimo alrededor de la tronadura, medidos horizontalmente desde sus contornos, en cuyo interior no deben permanecer personas al momento de iniciar el disparo.

Zona de Seguridad

Zona restringida comprendida entre el área amagada y los cierres en la cual sólo puede permanecer Equipo y/o el personal involucrado en la detonación de la tronadura.

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La industria de la construcción es considerada como una de las actividades más riesgosas, debido a la alta incidencia de los accidentes de trabajo, afectando al personal, equipos y materiales; aun en los países más desarrollados, donde el sector de construcción tiene una importante contribución a la generación de empleo y desarrollo, las estadísticas de accidentes de trabajo que reinciden en este sector son preocupantes; de ahí que estos países cuentan con estándares y sistemas de gestión en seguridad y salud ocupacional.

La razón fundamental de la implementación de un plan integral de seguridad y salud en la construcción de obras viales es reducir la incidencia de accidentes, riesgos y enfermedades del trabajador, todos estos factores asociados al empleo de explosivos generan disminución en la productividad, perdidas por daños personales, equipos y materiales. La necesidad de implementar este sistema es crear una conciencia de prevención y fomentarla a las diferentes instituciones públicas y privadas del rubro por ello debemos tomar las previsiones y correcciones necesarias. El presente trabajo está dirigido a incentivar la implementación de un sistema integral y proponer un plan de seguridad en el trabajo. De esta manera mejorar las condiciones de los trabajadores que laboran con explosivos en obras de infraestructura vial.

Las actividades relacionadas con el uso de explosivos en el área de construcción vial sin control ni planificación producen alteraciones a los suelos, al agua y a otros recursos debido a que se debe deforestar, excavar, extraer y transportar materiales, cambiando las condiciones naturales del paisaje, alterando ecosistemas, provocando la pérdida sustancial del suelo y aumentando el riesgo de presencia de fenómenos erosivos.

Por lo tanto, siempre antes de dar ejecución a una obra se debe en primer lugar diseñar un Plan de Manejo Ambiental para la zona o área en la que se van, ejecutar los trabajos para identificar los componentes ambientales que se pueden ver afectados significativamente por la ejecución del proyecto y contribuir con la preservación del medio ambiente de tal manera que las actividades de explotación se logren desarrollar de una forma técnica y que resulte armónica con el medio ambiente convirtiéndose en una herramienta fundamental para poder dar desarrollo a las actividades propias del proyecto permitiendo la conservación de los recursos naturales.

Plantear las medidas para prevenir, mitigar, corregir, controlar y compensar los impactos socioambientales ocasionados por la ejecución del proyecto y estructurar acciones para afrontar situaciones de riesgos y accidentes durante la ejecución del proyecto.

Entre las consideraciones para tener en cuenta en la gestión de los recursos que sirven para utilizar de forma más eficiente el medio natural pueden citarse los siguientes:

- Aprovechamiento integral de las materias primas.
- Reciclado de los materiales de desecho.

- Utilización eficiente de la energía.
- Explotación racional del suelo.
- Planificación del abastecimiento de los materiales sustraídos.
- Legislación Ambiental.

Por consiguiente, la implementación de un sistema integral de seguridad en el uso y manejo de explosivos en la construcción de obras viales se considera de gran ayuda, convirtiéndose así, en la parte fundamental para una adecuada seguridad en obra.

ALCANCE

Es aplicable para el almacenamiento, transporte, uso manipulación y destrucción de explosivos.

Son parte integral del presente plan:

- a) Ley N° 17.798, del 21 de octubre de 1972 y sus modificaciones posteriores, que con su respectivo reglamento establece el Control de Armas y Explosivos por parte del Ministerio de Defensa Nacional.
- b) Decreto Supremo N° 72 de 1985, Reglamento de Seguridad Minera, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado mediante el D.S N° 132 de 2002, del Ministerio de Minería.
- c) Ley N° 16.744, Sobre Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales, sus Reglamentos Complementarios y Decretos Anexos.
- d) Ley N° 19.300, del 9 de marzo de 1994 Sobre Bases del Medio Ambiente.

INTRODUCCION

La mayoría de las materias primas que utiliza la sociedad, actualmente, son producidas con el uso de explosivos en las minas alrededor del mundo. La construcción de carreteras, canales y edificios se logra gracias a la ayuda de los explosivos. Inclusive la comida que se consume, diariamente, no existiría sin la ayuda de explosivos para producir fertilizantes y metales con los cuales se fabrican tractores y otros equipos agrícolas.

La disciplina de la Prevención de Riesgos esta, en muchas instituciones y empresas, en sus inicios dejando espacio para poder desarrollarla en varios frentes sobre todo en el uso y manejo de explosivos.

Debido a las distintas actividades que se realizan en una empresa de construcción vial existe una inmensa variedad de formas de aplicar los conocimientos adquiridos como, por ejemplo, la comunicación de las normas, el incentivo del autocuidado, las capacitaciones del uso EPP con sus registros correspondientes, la inclusión el concepto de seguridad, evaluación de los métodos de trabajo y el mejoramiento continuo de todas las medidas de seguridad aplicadas al uso y manejo de explosivos.

OBJETIVO GENERAL

- Diseño de un plan de control de riesgos en el uso y manejo de explosivos en el rubro de la construcción, Región del Bio-Bio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar el nivel de Riesgos Asociados al uso y manejo de explosivos mediante matriz de Riesgo.
- Proponer medidas de control de acuerdo con el nivel de Riesgo determinado.
- Elaboración del plan de control para el uso y manejo de explosivos en el rubro de la construcción.

1. ANTECEDENTES GENERALES

La palabra explosivo tiene emociones que se relacionan con la destrucción, catástrofe y guerras, pero la realidad es que los explosivos deberían relacionarse para el beneficio de la humanidad.

La revolución industrial del siglo XIX y el desarrollo del XX no hubieran podido realizarse sin los explosivos que dieron paso a obras gigantescas y extracción de minerales, además los explosivos eliminaron el trabajo manual que se destinaba a esclavos, prisioneros y a la clase más baja de los trabajadores.

1.1 ANTECEDENTES DE LOS EXPLOSIVOS

En la revolución histórica de los explosivos se pueden distinguir tres fases las cuales son:

- Pólvora negra
- Dinamita
- Los agentes de voladura

1.1.1 LA PÓLVORA NEGRA

La pólvora negra, está constituida por una mezcla ternaria de un comburente el nitrato potásico o sódico y de dos combustibles el carbón vegetal y el azufre, ha sido la primera sustancia explosiva que se conozca. Es probable que la pólvora existiese ya en los albores de la era cristiana, aunque su empleo se limitara a los fuegos de artificio. Testimonios de su existencia aparecen descritos por Marco Greco, al que algunos autores sitúan en el siglo VII, el cual describe los fuegos griegos, merced a los cuales los griegos destruyeron la flota árabe en dos ocasiones. Sin embargo, el uso de la pólvora negra no empieza a generalizarse hasta el descubrimiento de sus aplicaciones como propulsor en las armas de fuego, esto se atribuye al monje alemán Berthold Schawrtz en 1328, aunque en realidad existiesen precedentes anteriores de estas aplicaciones por los árabes en España, aplicada a las armas de fuego.

Aunque el origen de la pólvora negra es tan antiguo que se pierde en la noche de los tiempos, es seguro que la pólvora por los chinos, luego pasando a los árabes los cuales le emplearon para las aplicaciones bélicas en el sitio de la niebla, en 1257. Igualmente fue empleada como propulsante también en el sitio de Alicante en 1330, en defensa de la plaza de Algeciras en 1342 durante el sitio a que la sometió el Rey Alonso XI de Castilla. En España se fabricó en Murcia hacia el año 1367 y en el siglo XVI ya eran muchos los molinos de pólvora que estaban instalados en todo el territorio nacional.

Durante más de 300 años hasta el siglo XVII, las aplicaciones de uso industriales se remontan al siglo XVII y se producen en el centro de Europa, probablemente en Hungría primera y posteriormente en Austria por el minero tirolés Weind en 1627 y al mismo tiempo en Alemania por Freiborg y se generaliza su empleo en la industria civil, tanto para la minería como para los caminos y túneles.

Estas aplicaciones han perdurado hasta nuestros días, aunque el consumo de pólvora se redujo luego de la invención a mediados del siglo XIX, de los explosivos rompedores.

Las características más importantes de la pólvora negra son:

- La pólvora provoca la rotura en la roca por empuje de sus gases, en lugar del efecto rompedor de la onda de choque que producen los explosivos.
- Otra característica importante es su alta temperatura de combustión.
- Su velocidad de reacción es baja si se la compara con las velocidades de detonación de los explosivos. Confinada y en ciertos calibres puede llegar a velocidades de 500 m/s.
- La pólvora es bastante sensible al roce y a la llama, por lo que necesita guardar las pertinentes medidas de seguridad en su manejo.
- Para su iniciación no se precisa del uso de un detonador, sino que basta con la acción de una llama o chispa como la que produce la mecha lenta. De todas formas, se suele utilizar combinada con el cordón detonante, siendo este un buen iniciador.
- Los humos producidos en la combustión de la pólvora son tóxicos, por lo que debe prestarse mucha atención a la ventilación en las aplicaciones en trabajos subterráneos.



Figura 1: Pólvora negra. (Fuente: Maxam)

1.1.2 LA DINAMITA

Es el primer explosivo del que se tiene noticia es el llamado “oro Fulminante” que fue descrito en el siglo XVII y el fulminato de mercurio, preparando Howard por primera vez en el año 1970. Si bien estos descubrimientos despertaron gran interés en Europa, por tratarse de un explosivo que tenía un gran poder rompedor, cuya detonación producía efectos muy superiores a los de la pólvora negra, la peligrosidad del manejo de estos productos hizo que se le relegase al olvido por muchos años, quedando su interés limitado a lo meramente teórico.

A primeros del siglo pasado se inician muchos esfuerzos por lograr incorporar el oxígeno en las moléculas de sustancias orgánicas y fruto de ello se descubre en 1846 por Schoenbein, de la nitrocelulosa y en 1847, Ascanio Sobrero, de la nitroglicerina o piro glicerina, que haría de ser el explosivo más importante de todos y que modificaría las normas usuales de las explotaciones en las canteras y las minas. Sin embargo, al reconocer Sobrero la gran peligrosidad en su transporte y manejo, le hizo perder su interés por este producto. Fue el sueco Alfred Nobel que al enterarse del descubrimiento de la nitroglicerina llevo a cabo procedimientos para utilizar este producto a nivel industrial que un principio fue utilizado en estado líquido. En estos períodos de prueba hubo una serie de gravísimos accidentes, perdiendo la vida el hermano menor de Alfred Nobel y en consecuencia fue prohibida en Suecia durante un tiempo la fabricación de la nitroglicerina. En 1867 Alfred Nobel inventa dos productos que revolucionaria la técnica de los explosivos; uno de ellos fue los detonadores encapsulando el fulminato de mercurio en casquillos de cobre encontrando la más importante aplicación 77 años después del descubrimiento por Howard y la dinamita que se descubrió al producirse una grieta en uno de los recipientes de acero en los que era transportado la nitroglicerina. Dichos recipientes fueron colocados en carros de maderas y mantenidos en posición vertical en un lecho de kieselghur, la nitroglicerina que fue derramada fue absorbida por la tierra de infusorios y se pudo comprobar que la pasta derramada podía ser utilizada como explosivo, entonces Nobel se dio cuenta que podía inmovilizar la nitroglicerina haciéndola más segura patentando este producto en 1867 con el nombre de “Dynamite”.

Pero no quedó aquí el ingenio de Nobel. Poco después sustituyo el kieselghur por nitratos y combustibles muy finamente molidos, así creo las dinamitas de base activa con menor contenido en nitroglicerina que las anteriores. En 1875 descubrió la solubilidad de la nitrocelulosa en nitroglicerina, patentando así la gelatina explosiva (llamada “goma pura” en España), que es el más poderoso de los explosivos industriales conocidos hasta hoy día, luego se derivarían todas las gelatinas o gomas que aún subsisten en la actualidad. Finalmente, en 1888 Alfred Nobel hizo otro importante descubrimiento, la pólvora de doble base que denominó “balística”, compuesta por nitrocelulosa (45%), nitroglicerina (45%) y alcanfor.

Podemos decir que los descubrimientos de Nobel fueron de tal envergadura que los explosivos industriales han quedado prácticamente inalterados desde él hasta la década de los setenta, es decir, durante un siglo, variando exclusivamente en este intervalo la tecnología de su fabricación.

A finales de siglo aparecen las chedditas deben su nombre por ser preparadas por la fábrica francesa de Chedda, que son mezclas en la que el oxidante está formado por cloratos y percloratos, llevando en su composición materiales combustibles. Sin embargo, estos explosivos, son muy peligrosos en su elaboración y manipulación, no han gozado de mucha popularidad.

A principios de los años 50 se producen los primeros intentos de utilizar explosivos no sensibilizados con productos explosivos, apareciendo en Estados Unidos los nitrocarbonitratos insensibles al detonador n° 8 con un diámetro crítico relativamente, los cuales serían los precursores del ANFO, que caracteriza la era siguiente.

1.1.3 LOS AGENTES DE VOLADURA

Estos explosivos se caracterizan por no contener en su composición ninguna sustancia y/o explosiva y por no ser sensibles al detonador n°8. A mediados de la década de los 50 el norteamericano Acre inicia unas series de experiencias con nitrato amónico mezclado con distintos combustibles, sólidos y líquidos con resultados prácticos positivos. La razón del éxito hay que buscarla en los nuevos tipos de nitrato amónico granulado (“prilled”) poroso desarrollados a partir de los años 40 y en I gran diámetro de los barrenos.

Los combustibles más adecuados resultaron ser algunos tipos de fuel-oíl, muy fáciles de mezclar por otra parte con el nitrato amoniaco, aparecieron así las mezclas conocidas por ANFO (abreviatura de Ammonium Nítrate-Fuel Oíl). Desde entonces se han desarrollados tipos de nitrato amoníaco de gran porosidad especialmente concebidos para estas mezclas.

Su potencia, relativamente elevada, fácil preparación, bajo precio y simplicidad de manejo que permite su uso a granel hicieron que el ANFO se extendiese rápidamente, llegando a ser el explosivo más usado hoy en día.

Sin embargo, el ANFO es un explosivo de propiedades mediocres en comparación con el resto de explosivo industriales. Su baja densidad, velocidad de detonación y resistencia al agua hacen que el ANFO sea en realidad un explosivo de clase inferior para algunas aplicaciones industriales. Sin embargo, su potencia, relativamente alta, la facilidad y seguridad de su fabricación y manejo, su gran fluidez, que permite la carga mecanizada a granel de los barrenos y su bajo coste han hecho que el ANFO sea hoy en día el explosivo

más ampliamente utilizado en todo el mundo, representando más del 60% del consumo de explosivos.

Para superar las deficiencias del ANFO se realizan una multitud de investigaciones en los Estados Unidos con el fin de mejorar este explosivo. Melvin A. Cook, en el año 1956 preparó la primera “papilla explosiva” (Slurry) mezclando nitrato amoniacal, aluminio y agua. El resultado de la primera voladura con este producto fue muy bueno, pues arrancó y fracturó bien la roca, aunque este primer ensayo estuviese acompañado de la formación de un gran hongo de humo y algunos fuegos pirotécnicos, efectos que debieron estar relacionados con exceso de aluminio en la composición, y la probable reacción de este con el agua, generando hidrógeno. Así nacieron los hidrogeles (slurries), constituidos por una suspensión en la que la fase continua está formada por una solución acuosa saturada de nitratos inorgánicos (oxidantes) y la fase dispersa por combustibles sólidos y el resto de oxidantes finamente divididos.

Precisamente por temor a la reacción del aluminio con el agua provocará algún accidente, se buscaron otros sensibilizantes para estas composiciones. Pronto se descubrió que la trilita era un buen sensibilizador y de este modo surgieron las primeras composiciones acuosas empleadas industrialmente.

Los desarrollos posteriores, principalmente por IRECO (compañía creada por el Dr. Cook) y DUPONT, produjeron una auténtica revolución en el campo de los explosivos industriales. Tales descubrimientos cristalizaron en el desarrollo de composiciones sensibles al detonador, sin ningún ingrediente explosivo, sensibilizados exclusivamente con aluminio y gasificación química (IRECO) o bien con sales aminas (DUPONT). Estas composiciones, a pesar de su elevada sensibilidad al detonador, son relativamente insensibles a la fricción, impacto, calor, etc., por lo que resultan explosivos de gran seguridad en su manipulación, por bombeo, de su descarga en los barrenos.

Posteriormente, en los años 70, apareció otra familia de productos que, manteniendo las ventas anteriores, mejoraban sus características explosivas, así como su coste y resistencia al agua. Se trata de las emulsiones explosivas, en las que la fase continua está constituida por combustibles líquidos, mientras que en la fase acuosa oxidante quedó finamente dispersa en aquella, dando lugar a una emulsión inversa, cuyo aspecto es el de una grasa consistente.

A estas emulsiones se le puede añadir diversos ingredientes para mejorar sus características explosivas tales como la potencia, sensibilidad, densidad, X, consiguiéndose productos capaces de sustituir a los explosivos convencionales en todas las aplicaciones, con la enorme ventaja sobre estos de su mayor seguridad y menor coste. Otra propiedad que puede modificar en las emulsiones es su viscosidad, obteniéndose

composiciones muy consistentes cuando el producto va a ser encartuchado, o bien fluidas para que el producto pueda ser bombeado a los barrenos.

Una particularidad muy importante de las emulsiones es la posibilidad de poder mezclarlas en todas las proporciones con el ANFO, obteniéndose así el ANFO denso (heavy ANFO), cuyas características varían, sin solución de continuidad, desde las del ANFO a las emulsiones, en función del contenido en emulsión. Así las mezclas que contienen proporciones de pajas de emulsión tienen propiedades parecidas al ANFO, pero con mayor densidad, resistencia al agua y velocidad de detonación, aumentando estas características a medida que se incrementa el contenido en emulsión.

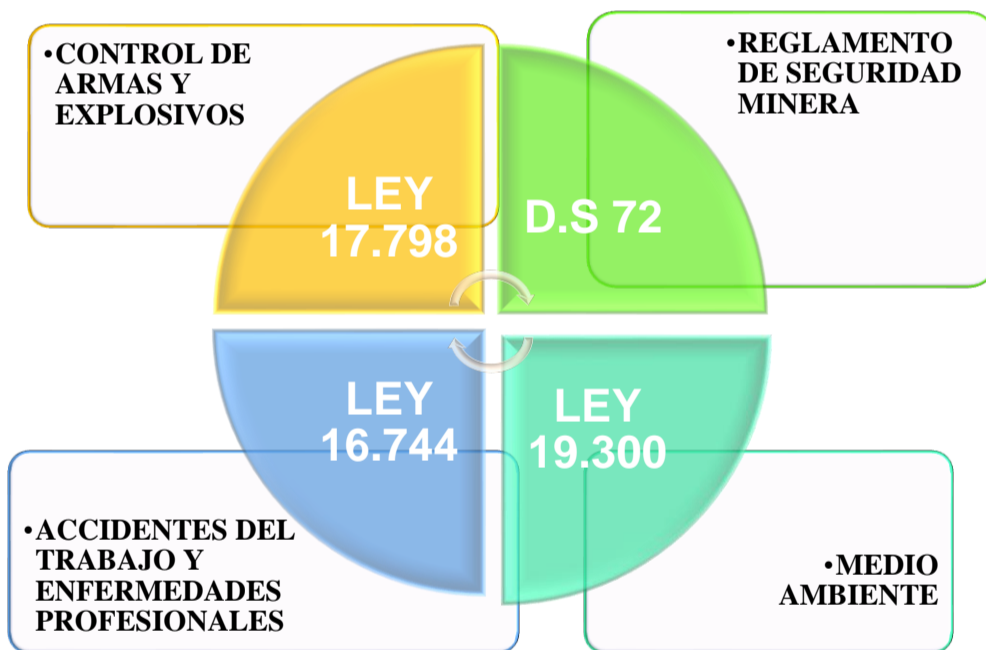
El ANFO denso también puede cargarse en los barrenos con medios mecánicos, habiéndose desarrollado camiones especiales que permiten la carga de mezclas ricas en emulsión en el fondo del barreno, con elevada densidad, velocidad de detonación y resistencia del agua, y mezclas ricas en ANFO en la carga de columna donde no se requieren prestaciones tan elevadas.

Puede decirse como resumen, así como las dinamitas de Nobel han constituido el núcleo de los explosivos utilizados durante más de un siglo, los explosivos acuosos y especialmente en las emulsiones y sus mezclas con el ANFO serán los explosivos más utilizados en el futuro, y seguramente durante muchos años.

2. MARCO TEORICO

2.1 MARCO JURIDICO DE SUSTENTACION

- Ley N°17798, del 21 de octubre de 1972 y sus modificaciones posteriores, que con su respectivo reglamento establece el Control de Armas y Explosivos por parte del Ministerio de Defensa Nacional.
- Decreto Supremo N°72 de 1985, Reglamento de Seguridad Minera, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado mediante el D.S N°132 de 2002, del ministerio de Minería.
- Ley N°16744, sobre Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales, sus Reglamentos Complementarios y Decretos Anexos.
- Ley N°19.300, del 9 de marzo de 1994 Sobre Bases del Medio Ambiente.



3.FUNDAMENTOS SOBRE EXPLOSIVOS Y LA TEORÍA DE LA DETONACIÓN

Los explosivos son sustancias químicas con un cierto grado de inestabilidad en los enlaces atómicos de sus moléculas que, ante determinadas circunstancias o impulsos externos, propicia una reacción rápida de disociación y nuevo reagrupamiento de los átomos en formas más estables. Esta reacción, de tipo oxidación-reducción, es inducida térmicamente por los llamados “puntos calientes”, se conoce con el nombre de detonación y origina gases a muy alta presión y temperatura, los cuales generan a su vez una onda de compresión que recorre el medio circundante.

De esta forma, la energía química contenida en el explosivo se transforma en la energía mecánica de esa onda de compresión. Cabe señalar que en contra de lo que pudiera imaginarse, no es cuantitativamente importante (por ejemplo, un kilogramo de explosivo contiene aproximadamente una décima parte de la energía contenida en un litro de gasolina). La clave que le proporciona su singular poder expansivo es su capacidad de liberarla en un corto espacio de tiempo.

La onda de compresión se genera por el aumento de volumen que sufren los productos de reacción en forma gaseosa, de manera que se dispone de energía mecánica suficiente y aplicable a la fragmentación de rocas, convirtiéndose en un elemento clave en minería y en todo tipo de excavaciones en roca.

3.1 TIPOS DE REACCIÓN EN FUNCIÓN DE LA CINÉTICA QUÍMICA

Los explosivos industriales están constituidos por una mezcla de sustancias, unas combustibles y otras comburentes, que debidamente iniciadas, dan lugar a una reacción química de oxidación cuya característica fundamental es su rapidez.

El impulso energético aplicado a las moléculas de un explosivo genera fuerzas que, superando las de atracción entre los átomos, hace que las moléculas se disocien y a continuación se reagrupen en formas más estables. La energía liberada en esta reacción exotérmica, en forma de onda de presión y alta temperatura, provoca la sucesiva disociación de las moléculas adyacentes, de forma que la reacción se propaga a todas las partículas. Por otro lado, la velocidad con que se efectúa esta propagación puede estabilizarse hasta alcanzar un cierto valor. De esta forma, la reacción de oxidación se puede dividir en tres tipos de reacción en función de la velocidad a la que se produce como se muestra en la (Figura 1).

- Combustión.
- Deflagración.
- Detonación.

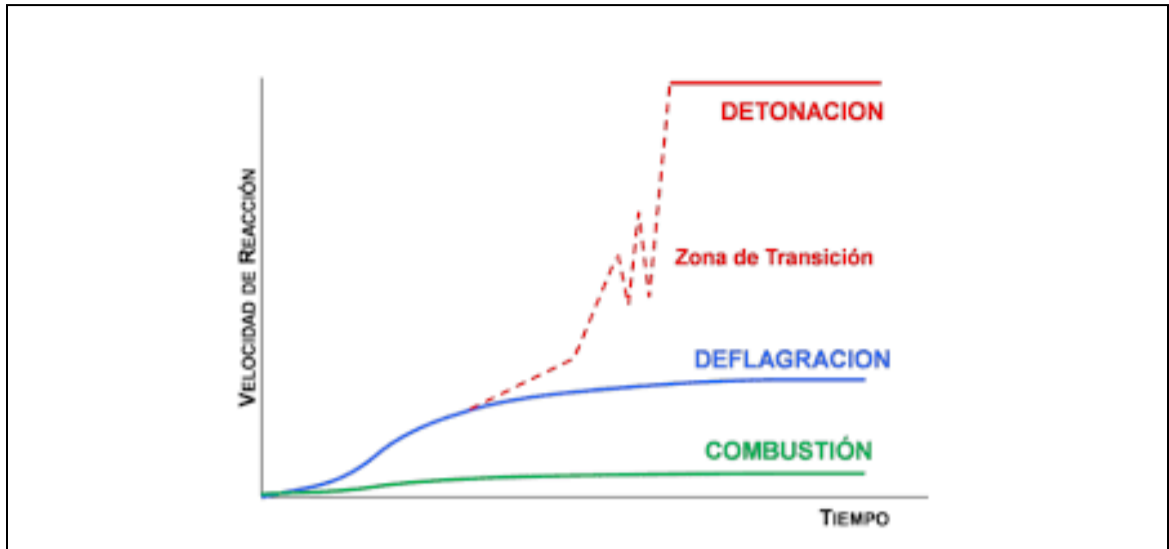


Figura 2: Tipo de reacción en función de la cinética química

3.1.1 COMBUSTIÓN

La combustión es una reacción química de oxidación en la que generalmente se desprende una gran cantidad de energía. La velocidad de reacción es menor de 1 m/s y se puede observar a simple vista la reacción en forma de llama.

3.1.2 DEFLAGRACIÓN

Una deflagración es una combustión súbita con llama a baja velocidad de propagación, sin explosión. Se suele asociar erróneamente con las explosiones, usándose a menudo como sinónimo.

La reacción que produce una deflagración es idéntica a la de la combustión, pero la cinética de la reacción se desarrolla a una velocidad mayor que la combustión, pero inferior a la velocidad con que se propagaría el sonido en el propio explosivo. Es, por tanto, una reacción subsónica.

La onda de presión generada en una deflagración es del orden de 10³ atmósferas. Este es el caso, por ejemplo, de la pólvora, que reacciona en forma de una combustión rápida de una sustancia que contiene su propio oxígeno.

3.1.3 DETONACIÓN

La detonación es una combustión supersónica que se caracteriza porque genera una onda de choque. En ese frente de onda se generan altos gradientes de presión y temperatura, ya que la reacción química se produce instantáneamente.

La velocidad de reacción suele estar comprendida entre 1.500 y 9.000 m/s, y la onda de presión producida sería del orden de 10⁵ atmósferas.

Cabe destacar que la circunstancia que parece determinar cuál de los dos procesos descritos (deflagración o detonación) tendrá lugar es el sentido del movimiento de las

moléculas gaseosas que son producto de las primeras reacciones. En el caso de la detonación, se moverían preferentemente en el mismo sentido de la propagación, potenciándola, mientras que en el caso de la deflagración lo harían en sentido contrario, atenuándola.

Cada tipo de explosivo tiene una composición específica y definida. Esto supone que sus características son diferentes y, en consecuencia, que para cada aplicación se puede seleccionar el explosivo más adecuado.

3.1.4 MECANISMO DE LA DETONACIÓN

Para entender el funcionamiento del fenómeno de la detonación, conviene conocer cómo son las diferentes zonas de reacción que se producen durante la misma. Si se considera una carga cilíndrica que se detona por unos de sus extremos, se pueden distinguir las zonas siguientes (figura 2).

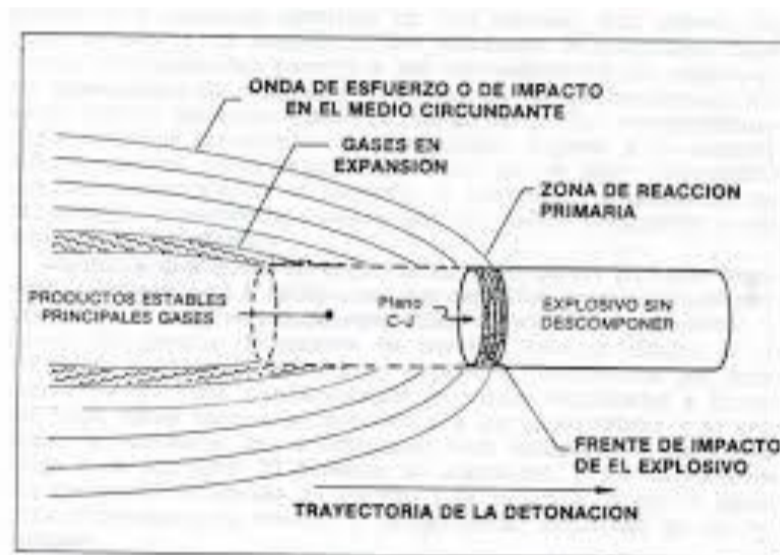


Figura 3: Zonas del proceso de detonación

- Una zona de explosivo que todavía no ha detonado.
- Una zona de reacción primaria, que se propaga a una velocidad de varios miles de metros por segundo (velocidad de detonación), en la cual tienen lugar las reacciones más rápidas y violentas, que producen un movimiento enérgico de las partículas próximas. Este movimiento se propaga en forma de onda de choque de muy alta presión a todo el medio circundante. Dicha presión se denomina presión de detonación.
- Una zona de reacción secundaria, donde se acumulan los productos de explosión, más lentos en su desplazamiento que la onda de choque, y se producen una serie de reacciones complementarias que se piensa dan lugar a gran parte de los gases producidos en la reacción. Se caracteriza por una presión inferior a la anterior, que se denomina presión de explosión o presión de burbuja, originada por la expansión de todos estos productos gaseosos.

- La superficie de separación entre las zonas primaria y secundaria, aunque no es exactamente plana, se conoce con el nombre de “Plano de Chapman-Jouget”

La composición y características del explosivo, ente otras variables, determinan la velocidad de detonación, así como las presiones de burbuja y detonación. Tal y como se indica en la figura 40, un explosivo de base nitroglicerina, por ejemplo, tendría alta velocidad de detonación, y también alta presión de detonación. En cambio, el relativamente bajo volumen de gases que produce la detonación de la nitroglicerina determina que la presión de burbuja sea también baja. Por el contrario, un explosivo de base nitrato amónico, cuya detonación es más lenta, pero produce mayor cantidad de gases, tendría una presión de detonación más baja, pero una presión de burbuja más alta.



Figura 4: Presión de detonación (Pd) y presión de burbuja (Pe) de dos tipos de explosivo

La presión de la onda de detonación viene dada por la fórmula:

$$Pd = d \cdot v \cdot u$$

Siendo:

- Pd: Presión de la onda (presión de detonación)
- d: densidad del medio (explosivo)
- v: velocidad de propagación (velocidad de detonación)
- u: velocidad de partícula

4. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS EXPLOSIVOS

La selección del explosivo más idóneo para un fin determinado supone conocer las características de cada explosivo y, a partir de ellas, elegir el más adecuado al tipo de aplicación que se precise.

Las características de carácter práctico que son básicas de un explosivo son las que se señalan a continuación:

- Potencia explosiva.
- Poder rompedor.
- Velocidad de detonación.
- Densidad de encartuchado.
- Resistencia al agua.
- Calidad de humos
- Sensibilidad.
- Estabilidad química.

4.1 POTENCIA EXPLOSIVA

Se puede definir la potencia explosiva como la capacidad que posee el explosivo para quebrantar y proyectar la roca. En realidad, se trata de la energía del mismo aprovechado en la voladura. Esta característica depende fundamentalmente de la composición de explosivo, pudiendo optimizarse con la adecuada técnica de voladura. Existen diferentes métodos para valorar la potencia de un explosivo, siendo los más empleados los siguientes:

- Péndulo Balístico.
- Energía Relativa por unidad de peso y de volumen.

El Péndulo Balístico (también conocido como mortero balístico por su nombre en inglés, “ballistic mortar”) es un método que permite medir la potencia de un explosivo por comparación en forma de tanto por ciento en relación con la “goma pura” (que es una mezcla de NG y NC en determinada proporción) y que se utiliza como patrón y a la que se asigna el valor 100%. Este ensayo es solo práctico para explosivos sensibles al detonador y que sean de pequeño diámetro crítico.

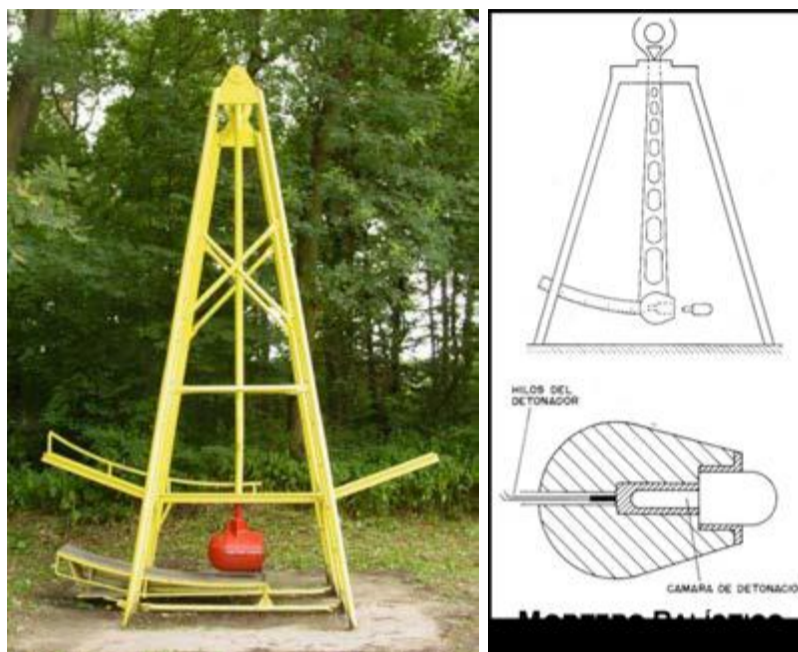


Figura 5: Péndulo balístico. Fuente (ozm Research)

La Energía Relativa por unidad de peso y de volumen es un procedimiento teórico, basado en el valor energético químico del explosivo y especialmente indicado para aquellos que son insensibles al detonador. En este caso la potencia se puede expresar con los siguientes parámetros:

- AWS: Energía absoluta por unidad de peso (cal/g)
- ABS: Energía absoluta por unidad de volumen (cal/cm³)

4.2 PODER ROMPEDOR

El poder rompedor es una característica del explosivo que indica la capacidad de quebrantar la roca debida exclusivamente a la onda de detonación y no al conjunto de la onda de detonación más la presión de los gases (que es medida de potencia). El poder rompedor es un parámetro muy importante para los explosivos de uso no confinado o desacoplado, cuyos gases no pueden ejercer grandes presiones. Es el caso de las cargas huecas y de las cargas para taqueo. Su caracterización se realiza mediante el método de Hess (figura 45), en el que se determina la reducción de altura que provoca la detonación de una cantidad de explosivo definida en un cilindro de plomo. También es un método más adecuado para explosivos sensibles al detonador y de diámetro crítico pequeño. Si bien es un ensayo desarrollado hace mucho tiempo y que los explosivos han evolucionado en gran medida desde su desarrollo, sigue ofreciendo resultados satisfactorios a pesar de que hay corrientes de pensamiento que desaconsejan su uso.

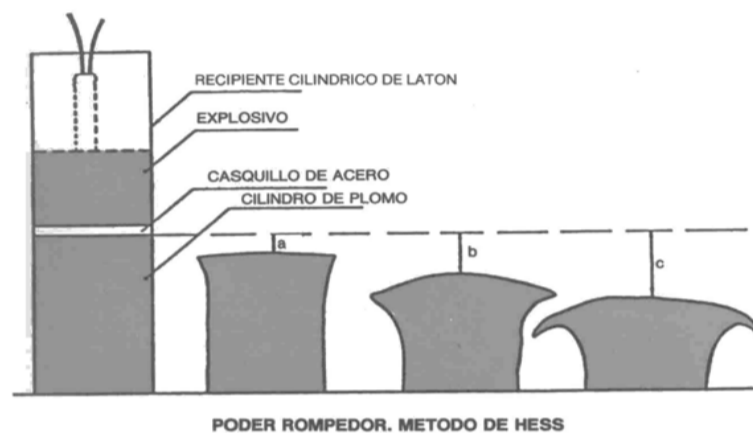
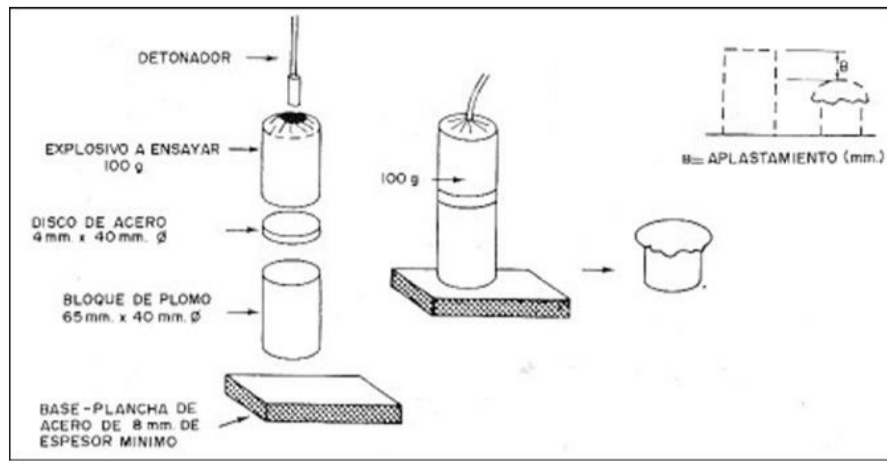


Figura 6: Determinación del poder rompedor por el Método Hess

4.3 VELOCIDAD DE DETONACIÓN

La detonación de una columna continua de explosivo provocará la transformación del explosivo en un gran volumen de gases a elevada temperatura y presión. La velocidad a la que se produce esta transformación se denomina velocidad de detonación, siendo su unidad de medida metros por segundo (m/s). Es importante distinguir entre la velocidad de detonación (de la reacción química) y de la onda de choque (transmisión física).

La velocidad de detonación es una característica para tener en cuenta en la elección del explosivo. Se optará por explosivos que detonan lentamente, dando lugar a que su energía se desarrolle de forma progresiva, cuando se vuelen rocas blandas o se requiera una fragmentación gruesa, mientras que se debe escoger explosivos dotados de elevada velocidad de detonación cuando se pretendan fragmentaciones más intensas en rocas duras.

Existen multitud de métodos de medida de la velocidad de detonación, pudiendo diferenciarse principalmente por el objeto de cada uno de ellos. Así, se pueden tener mediciones realizadas en laboratorio y medidas realizadas en campo. Si bien, los resultados deberían ser análogos, las mediciones realizadas en campo permiten comprobar

la evolución de la velocidad de detonación a lo largo del barreno, permitiendo ver la relación entre el comportamiento del explosivo en condiciones reales de aplicación.

4.3.1 ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio se basan en la toma de una muestra cilíndrica de explosivo, colocada en un cilindro de acero para ejercer cierto efecto de confinamiento, sobre la cual se colocan dos sensores de fibra óptica separados una distancia conocida que se conectan a un receptor de modo que cuando se detona el explosivo es posible apreciar el tiempo que tarda en recorrer la detonación entre los dos captadores. Conociendo la distancia exacta entre ellos, puede conocerse la velocidad de detonación.

Este tipo de ensayos tiene la ventaja de que se realiza de manera rápida y sencilla y, sobre todo, es fácilmente reproducible, por lo que se ha tomado como un método normalizado y estándar de medición de la velocidad de detonación. Los detalles de este método se recogen en la Norma UNE-EN 13631-14:2003 vigente.

4.3.2 ENSAYOS DE CAMPO

La gran desventaja de los ensayos de laboratorio es que no pueden llevarse a cabo con una cantidad semejante a la que se emplea en un barreno de voladura y tampoco pueden apreciar cómo una columna de explosivo ha alcanzado el régimen de detonación.

Por este motivo se han desarrollado métodos de medida continua de la velocidad de detonación en campo por medio de sondas que se colocan en el interior del barreno, que recogen las variaciones de velocidad de detonación a lo largo del mismo.

Este método se basa en la colocación de un cable coaxial de resistencia calibrada a lo largo del barreno cortocircuitando su extremo inferior. El otro extremo de la sonda se conecta a un generador de corriente continua logrando así tener un circuito eléctrico sobre el cual es posible conocer su resistencia (figura 46).

Durante el ensayo, el equipo de registro está grabando los valores de resistencia medidos a gran velocidad, incluso hasta 2000 Hz (2000 medidas por segundo) de modo que, cuando se detona el barreno, la resistencia del circuito va variando porque se quema la sonda junto con el explosivo, disminuyendo así la resistencia del circuito. Gracias a la resistencia calibrada de la sonda, puede obtenerse la variación de resistencia del circuito en función del tiempo, y expresarla en metros de sonda destruidos por unidad de tiempo, o lo que es lo mismo, la velocidad de detonación del barreno.



Figura 7: Voladura en campo. Fuente (EPC-Groupe)



Figura 8: Equipo de medida continua de velocidad de detonación. Fuente (MREL)

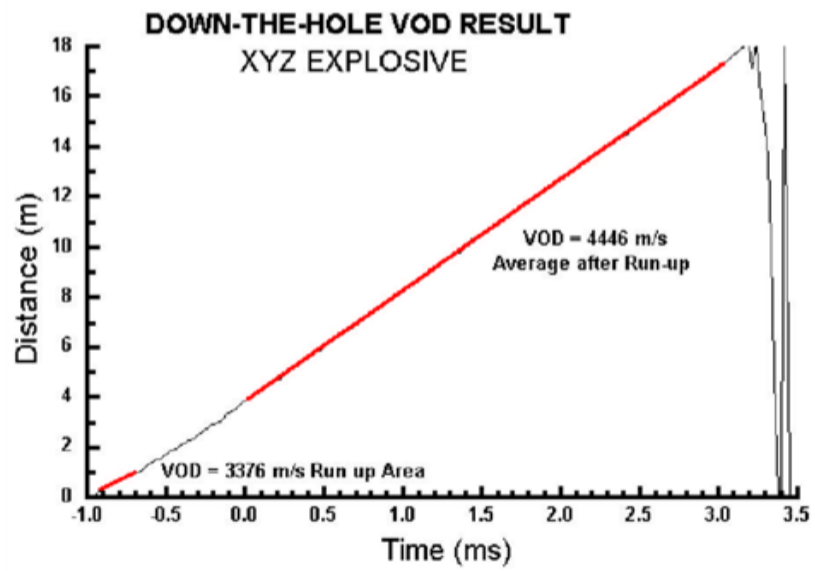


Figura 9: Ejemplo de medida continua de velocidad de detonación. Fuente (MREL)

4.4 DENSIDAD

La densidad es una característica muy importante de los explosivos industriales. Depende del tipo de componentes empleados en su fabricación, ya que cuanto mayor es la densidad del explosivo, mayor es la concentración de carga para un diámetro de barreno determinado.

La densidad relativa de los explosivos está comprendida normalmente entre 0,8 y 1,5. Existen algunos explosivos de menor densidad con aplicaciones muy determinadas y cuyo uso implica una baja energía por unidad de volumen con aplicación en voladuras de recorte o bien en algunas aplicaciones muy concretas en voladuras de escollera.

La densidad es también un parámetro para tener en cuenta en la carga de barrenos con agua en su interior. La carga de explosivos de densidad inferior a 1,1 g/cm³ en barrenos con agua resulta muy laboriosa, ya que se hace muy difícil llenar completamente los barrenos dado que los cartuchos tienden a flotar.

4.5 RESISTENCIA AL AGUA

Se entiende por resistencia al agua a la característica por la cual un explosivo, sin necesidad de cubierta especial, mantiene sus propiedades inalterables durante un periodo de tiempo en contacto con el agua. Las dinamitas gelatinosas, hidrogeles y emulsiones resisten perfectamente cuando son cargados en barrenos con agua y por ello permiten su utilización en barrenos con agua en su interior. Sin embargo, los productos pulverulentos y Anfos no resisten al agua por el carácter soluble del nitrato amónico.

La resistencia al agua depende del estado de agregación de cada elemento de los explosivos. A modo de ejemplo, el nitrato amónico es muy poco resistente al agua ya que se disuelve en ella con facilidad; sin embargo y, en determinadas condiciones y en forma de emulsión o disolución saturada, es el componente principal de ciertos explosivos caracterizados por su buena resistencia al agua.

En el caso de que la aplicación del explosivo deba realizarse en voladuras bajo agua, se ha de tener en cuenta que el explosivo a utilizar no solo debe ser capaz de soportar la presencia del agua sin disolverse, sino que debe mantener su sensibilidad de iniciación y propagación en estas circunstancias. En estos casos, se deben utilizar explosivos diseñados especialmente para esta finalidad.

Por último, cuando los barrenos presentan simplemente humedad, se pueden emplear prácticamente todos los tipos de explosivos siempre que el tiempo de permanencia de explosivo en el barreno sea breve o bien se realice el enfundado de los mismos si se trata de explosivos a granel como el Anfo. Para mitigar este efecto, se han desarrollado productos específicos, como, por ejemplo, el Anfo resistente al agua, que incorpora aditivos que recubren el prill de nitrato amónico de modo que no se disuelva en agua durante un cierto periodo de tiempo.

4.6 CALIDAD DE LOS HUMOS

Los humos residuales son el conjunto de productos gaseosos resultantes de la reacción de detonación del explosivo entre los que se hallan vapores nitrosos (NO_x), vapor de agua, monóxido de carbono (CO) y anhídrido carbónico (CO₂).

Los explosivos industriales poseen una composición tal que las reacciones químicas que se producen generan humos de voladura de limitado contenido en gases nocivos (CO y NO_x), lo que indica que se produce una reacción química completa.

No obstante, dado que, en general, las condiciones de aplicación se apartan de las condiciones teóricas, el nivel de gases tóxicos (CO, NO_x, etc.) generados en las voladuras es elevado, pudiendo ocasionar molestias e incluso graves intoxicaciones a las personas. Por ello nunca se debe acceder a las inmediaciones de un frente después de una voladura, sin tener la seguridad de que se han ventilado los gases producidos en la misma, bien por medición directa o cálculo.

4.7 TOXICIDAD

Los glicoles nitrados, como la nitroglicerina, son vasodilatadores y causan dolor de cabeza por inhalación o absorción cutánea. En contacto con la piel, pueden causar diversas alteraciones como dermatitis, decoloración, etc. Es por ello por lo que la manipulación de los explosivos debe realizarse tomando las debidas precauciones.

4.8 SENSIBILIDAD

Se puede definir la sensibilidad de un explosivo como el mayor o menor grado de energía de iniciación que hay que trasmitirle para que se produzca su iniciación y, a continuación, su detonación.

Se pueden considerar diferentes aspectos relativos a la sensibilidad de los explosivos; unas afectan a la seguridad en la manipulación (fabricación, transporte y utilización) y otras a su iniciación en la voladura:

- Sensibilidad al detonador.
- Sensibilidad a la onda explosiva.
- Sensibilidad al choque y al rozamiento.

4.8.1 SENSIBILIDAD AL DETONADOR

Los explosivos industriales se inician generalmente mediante la detonación de una pequeña carga de explosivo de alta potencia. Este explosivo puede estar ubicado en un detonador, en un cordón detonante, o en un multiplicador, según el procedimiento que se utilice para la iniciación.

Existen explosivos que no son sensibles al detonador. En este caso es habitual provocar su iniciación mediante un multiplicador, consistente en pastilla de explosivo de elevada potencia que es de forma cilíndrica y que si es sensible al detonador.



Figura 10: Detonador. Fuente (Maxam)

4.8.2 SENSIBILIDAD A LA ONDA EXPLOSIVA

Esta característica consiste en la capacidad de transmisión de la detonación entre los cartuchos de explosivo, bien sea colocados en línea y uno a continuación del otro o bien separados entre sí una determinada distancia. Este hecho se denomina “detonación por simpatía”.

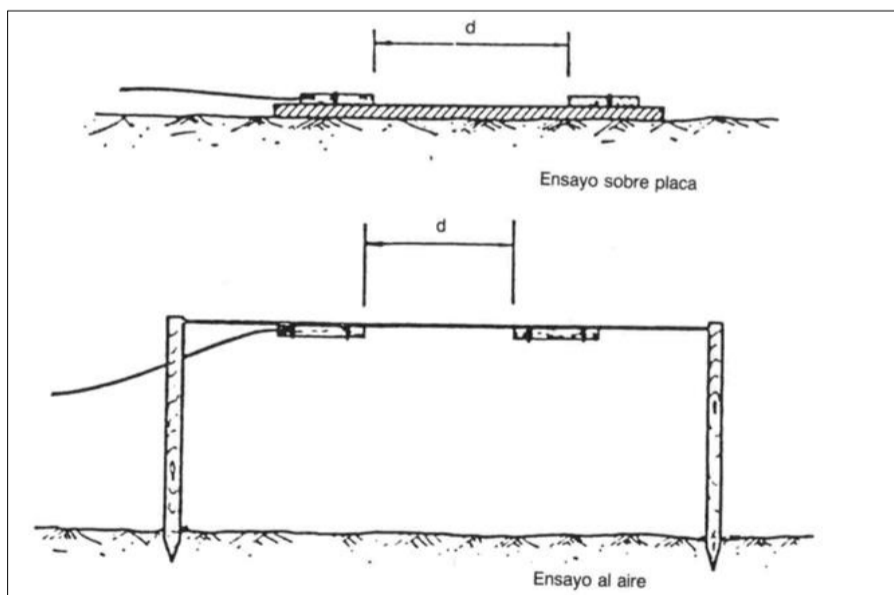


Figura 11: Ensayos de sensibilidad a la onda explosiva

Los ensayos empleados para determinar esta característica se realizan con cartuchos colocados, bien sobre placa de hierro o al aire; se trata de un ensayo normalizado que sirve para comparar unos productos con otros. Los resultados positivos obtenidos mediante estos ensayos garantizan buenos resultados en las voladuras, ya que la sensibilidad

obtenida en estos casos es notablemente menor que la que se da cuando la detonación tiene lugar en el interior de un barreno. Además, éste ensayo asegura que la posibilidad de la interrupción de la detonación dentro del barreno en una eventual discontinuidad de la carga de este es menor cuanto más sensible sea el producto.

A pesar de esta característica de los explosivos, en la práctica se debe asegurar siempre la detonación de toda la carga en el caso de carga discontinua, es decir, cuando existen intervalos vacíos o inertes entre cartuchos. Para ello es preciso emplear cordón detonante o un sistema de iniciación adecuado a lo largo de toda la carga. Si se emplean espaciadores, estos serán de material antiestático y que en ningún caso propague la llama (sobre todo en labores clasificadas de las minas de carbón de interior).

4.8.3 SENSIBILIDAD AL CHOQUE Y AL ROZAMIENTO

Algunos explosivos industriales se inician cuando son sometidos a acciones de impacto o fricción. Esta característica viene delimitada mediante ensayos, de manera que todos los explosivos soportan sensibilidades mínimas determinadas.

Para establecer la sensibilidad al choque de un explosivo se realizan ensayos normalizados, que consisten en dejar caer un martillo sobre la muestra del explosivo a ensayar para determinar la altura de caída mínima que produce la detonación de esta.

Asimismo, para determinar la sensibilidad al rozamiento, existe otro ensayo normalizado para valorar la fuerza mínima de rozamiento que es capaz de soportar el explosivo sin que se produzca su detonación.

Estos ensayos tienen relación directa con la mejora de la seguridad en la manipulación industrial de los productos explosivos y con la prevención y reducción de accidentes.

4.9 ESTABILIDAD QUÍMICA

La estabilidad química de un explosivo es su aptitud para mantenerse químicamente inalterado con el paso del tiempo. La estabilidad está garantizada si las condiciones de almacenamiento y el periodo de almacenamiento son los adecuados y correctos, permitiendo al usuario tener un producto totalmente seguro y fiable para los trabajos de voladura.



Figura 12: Polvorín desplazable

Los almacenamientos prolongados y/o en malas condiciones de humedad, temperatura y ventilación, pueden originar la desestabilización del explosivo y, en consecuencia, facilitar su descomposición. En este caso se deben extremar las precauciones para la manipulación de este y proceder a su destrucción.

El comportamiento del explosivo ante las altas o bajas temperaturas, por ejemplo, determina las condiciones y tiempo máximo de almacenamiento. Un explosivo muy higroscópico podría absorber y retener humedad hasta el punto de ver afectada su estabilidad química. La nitroglicerina, puede, por esta razón, descomponerse en ácidos nítrico y nitroso, con peligro de detonación espontánea.

4.10 CALOR DE EXPLOSIÓN

La adición de ciertos elementos a la formulación de algunos explosivos, como por ejemplo el polvo de aluminio, proporciona un incremento notable del calor de reacción.

4.11 BALANCE DE OXIGENO

Los explosivos químicos son materiales que pasan por reacciones químicas muy rápidas para liberar productos gaseosos y energía. Estos gases bajo altas presiones liberan fuerza sobre las paredes del barreno, lo que provoca que la roca se fracture. Los elementos que forman los explosivos, generalmente se consideran ya sea elementos combustibles o elementos oxidantes (Tabla I). Los explosivos usan el oxígeno como elemento oxidante. El Nitrógeno es un elemento común en los explosivos y se encuentra en forma líquida o sólida, pero una vez que reacciona forma Nitrógeno gaseoso. Algunas veces podemos encontrar explosivos que contengan otros elementos además de los combustibles y los oxidantes. Los metales en polvo, tales como el Aluminio, se utilizan en algunas fórmulas. La razón para utilizarlos es que, durante la reacción, los metales en polvo generan calor. Este calor eleva la temperatura de los gases, resultado de la reacción de otros ingredientes, provocando con esto una presión de explosión mayor.

Ingrediente	Fórmula Química	Función
Nitroglicerina	$C_3H_5O_9N_3$	Base Explosiva
Nitrocelulosa	$C_6H_7O_{11}N_3$	Base Explosiva
Trinitotolueno (TNT)	$C_7H_5O_6N_3$	Base Explosiva
Nitrato de Amonio	$H_4O_3N_2$	Portador de Oxígeno
Nitrato de Sodio	$NaNO_3$	Portador de Oxígeno
Diesel	CH_2	Combustible
Pulpa de Madera	$C_6H_{10}O_5$	Combustible
Carbón	C	Combustible
Polvo de Aluminio	Al	Sensibilizador, Combustible
Carbonato de Calcio	$CaCO_3$	Antiácido
Óxido de Zinc	ZnO	Antiácido
Cloruro de Sodio	$NaCl$	Supresor de Flama

Tabla 1: Ingredientes de los explosivos

Los explosivos pueden contener otros ingredientes que en realidad no aportan nada a la energía de los explosivos en sí. Estos ingredientes se les añaden a los explosivos para bajar la sensibilidad o incrementar el área de contacto. Ciertos ingredientes tales como el carbonato de calcio o el óxido de zinc funcionan como antiácidos para incrementar la vida en almacén del explosivo. La sal de mesa común, de hecho, hace que un explosivo sea menos eficiente ya que actúa como un supresor de flama y esto enfría la reacción. Por otro lado, el añadir la sal permite usar el explosivo en ambientes saturados de metano, ya que una flama menos caliente y de corta duración, hace menos probable que se provoque una explosión del metano. Esta es la razón por lo que los explosivos permisibles se usan en minas de carbón o en túneles en roca sedimentaria donde se pueda encontrar metano.

Los elementos básicos o ingredientes que producen trabajo directo en las voladuras son aquellos que generan gases cuando reaccionan, tales como: el carbón, el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno. Cuando el carbón reacciona con el oxígeno, puede formar ya sea, monóxido o bióxido de carbono. Para poder obtener la máxima temperatura de una reacción, deseamos que los elementos se oxiden completamente, en otras palabras, que se forme bióxido de carbono en vez de monóxido de carbono. Para poder liberar el máximo de energía de la reacción explosiva, los elementos deben reaccionar y formar los siguientes productos:

1. El carbono para formar bióxido de carbono.
2. El hidrógeno para formar agua.
3. El nitrógeno, sólido o líquido, reacciona para formar nitrógeno gaseoso.

Si sólo ocurren las reacciones ideales del carbón, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, no queda ningún átomo de oxígeno libre ni tampoco hace falta ninguno. El explosivo tiene balance de oxígeno y produce la misma cantidad de energía.

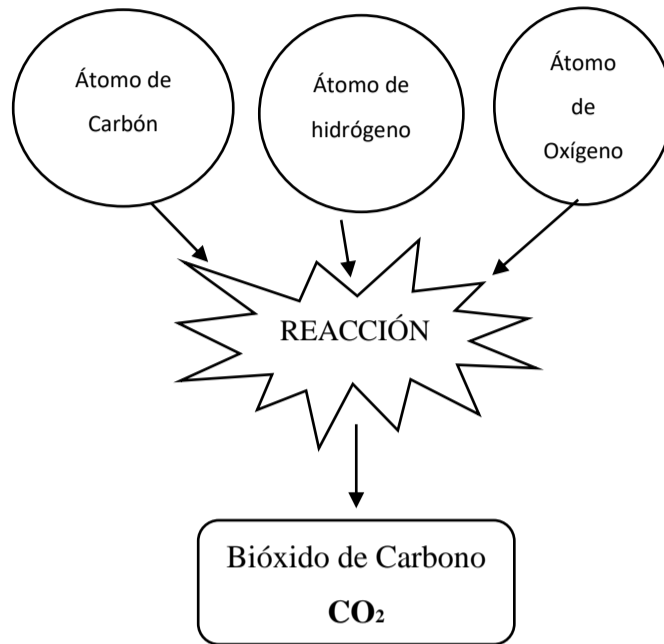


Figura 13: Reacción ideal del carbón -oxígeno

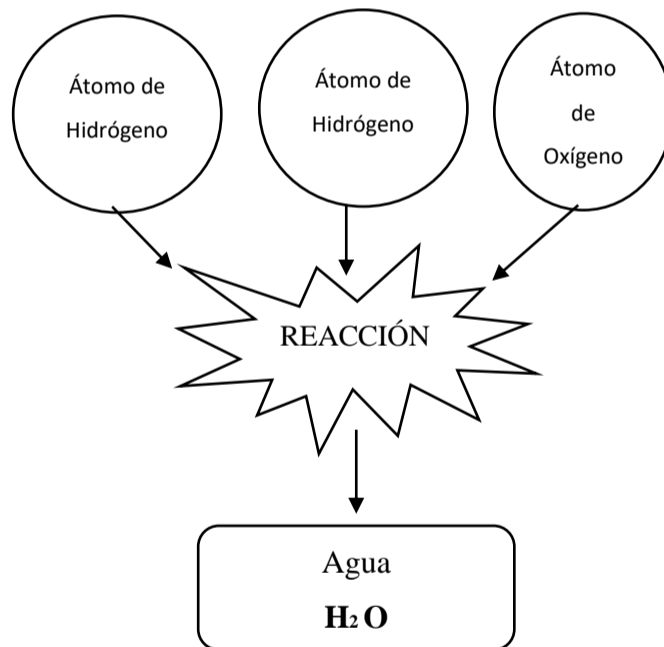


Figura 14: Reacción ideal del hidrógeno -oxígeno

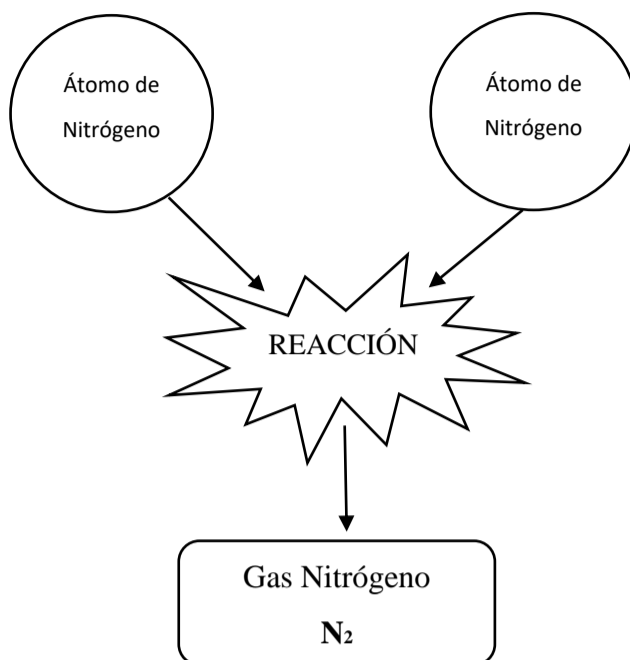


Figura 15: Reacción ideal del Nitrógeno -Nitrógeno

Si se mezclan dos ingredientes, tales como el nitrato de amonio y el Diesel, y se agrega Diesel en exceso a la mezcla, se dice que la reacción explosiva tiene balance de oxígeno negativo. Esto significa que no hay suficiente oxígeno para combinarse totalmente con el carbón y el hidrógeno y formar los productos finales deseados. En cambio, lo que ocurre es que queda carbón libre, así que se liberará monóxido de carbono (Figura 29). Si se le agrega poco combustible a la mezcla de nitrato de amonio y Diesel, entonces ésta tiene oxígeno en exceso, el cual no puede reaccionar con el carbón y el hidrógeno. A esto se le llama reacción con balance de oxígeno positivo. Lo que ocurre es que el nitrógeno, que generalmente es un gas inerte, reaccionará formando óxidos de nitrógeno (Figura 30). Si éstos se forman, aparecerán gases de color ocre y se reducirá la energía de la reacción. La energía se reduce ya que los productos de la reacción ideal liberan calor a formarse, los óxidos de nitrógeno, en cambio, absorben calor cuando se forman.

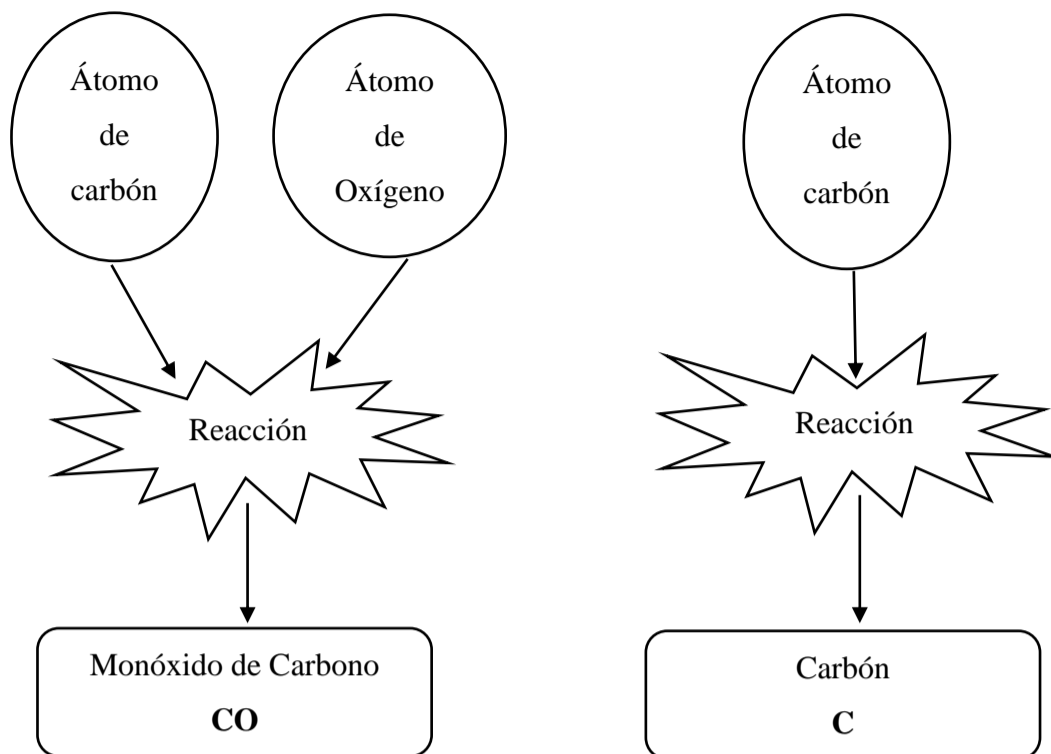


Figura 16: Reacción no ideal del Carbón -Oxígeno

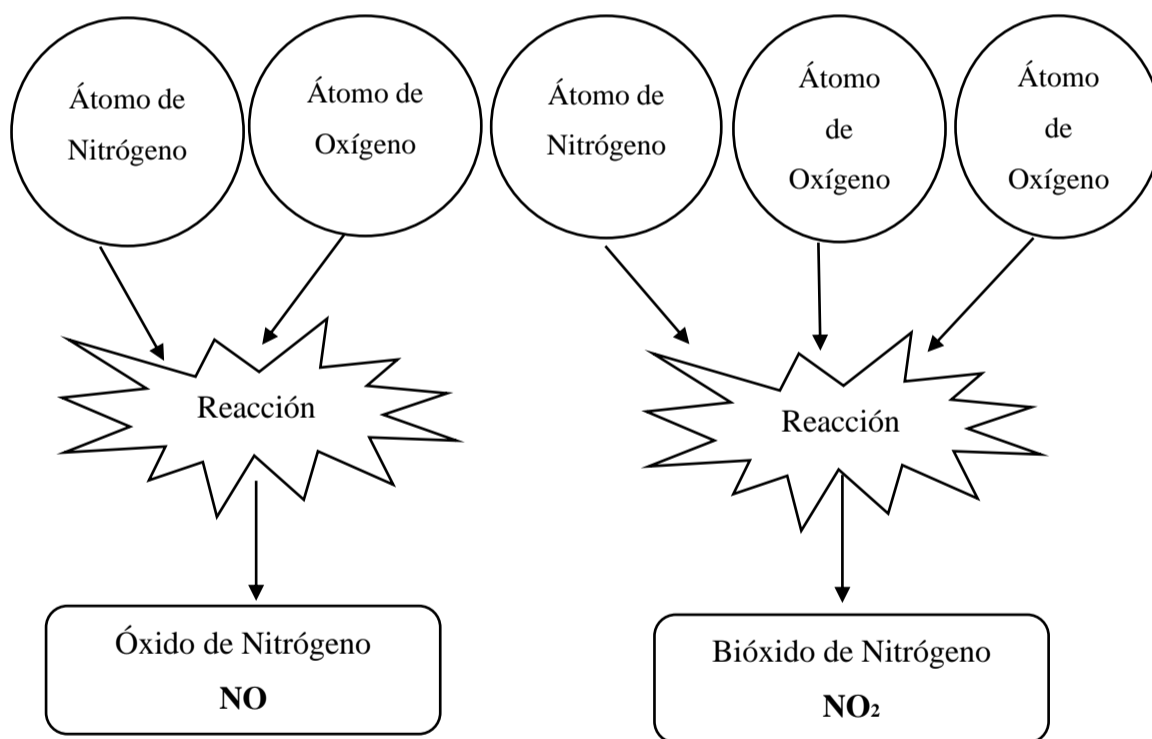


Figura 17: Reacción no ideal del Nitrógeno -Oxígeno

Los productos que se utiliza como carga principal de los barrenos pueden dividirse en tres categorías genéricas: las dinamitas, las suspensiones y los agentes explosivos (Figura 30). Una cuarta categoría, de menor importancia, es la de los explosivos binarios o de dos componentes.

4.12 CLASIFICACIÓN DE LOS EXPLOSIVOS DE SEGURIDAD

La normativa española clasifica a los explosivos de seguridad para su uso en atmósferas potencialmente inflamables en los siguientes tipos:

- Primer grupo: Explosivos de uso limitado. Tipo I.
- Segundo grupo: Explosivos de seguridad. Tipo II.
- Tercer grupo: Explosivos de seguridad. Tipo III.
- Cuarto grupo: Explosivos de seguridad. Tipo IV.

5. SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

En general, son sustancias químicas susceptibles de reaccionar violentamente al disociarse sus moléculas y reagruparse posteriormente en formas más estables. Se pueden establecer tres categorías, según la magnitud del impulso energético necesario para iniciar su detonación:

- Sustancias explosivas primarias o iniciadores.
- Sustancias explosivas secundarias
- Sustancias no explosivas susceptibles de detonar.

5.1 SUSTANCIAS EXPLOSIVAS UTILIZADAS COMO INICIADORES

Son aquellas que, debido a la debilidad de sus enlaces, resultan altamente sensibles e inestables. Una pequeña cantidad de estas sustancias es ya sensible a la ignición (pequeña masa crítica).

Se utilizan en la fabricación de elementos iniciadores (detonadores). Entre este tipo de sustancias cabe mencionar el **fulminato de mercurio** y el **azida de plomo**. Ambos se caracterizan por la debilidad de sus enlaces químicos O-N, O-Hg-O y N-Pb.

Otro elemento para reseñar es el **trinitrorresorcinato de plomo**. Este producto se utiliza en combinación de los anteriores para aumentar su sensibilidad. Reduce la higroscopicidad del fulminato, que, por absorción de agua, pierde sensibilidad a la llama.



Figura 18: Fuente (<http://www.lomupm.es>)

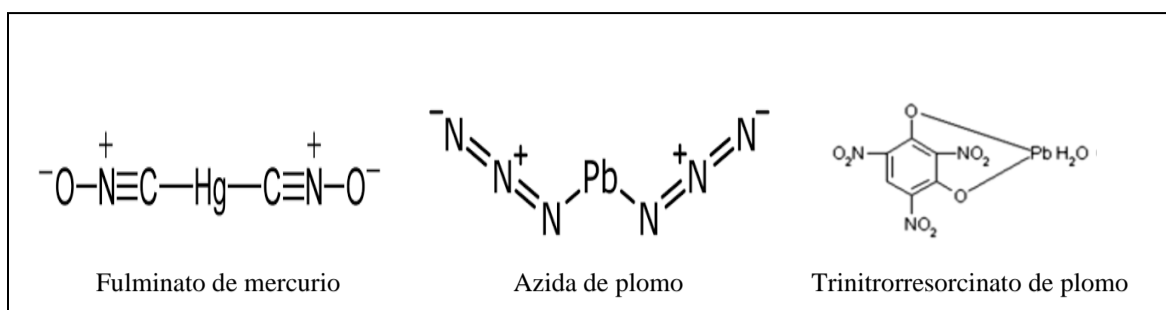


Figura 19: Formulas químicas desarrolladas de explosivos iniciadores

5.2 SUSTANCIAS EXPLOSIVAS SECUNDARIAS

Son sustancias explosivas para cuya detonación se requiere, en comparación con las anteriores, una mayor cantidad de explosivo y un mayor impulso energético. Se utilizan como carga base de los detonadores, como cebos para iniciar explosivos de baja sensibilidad y también, en mayor o menor proporción, forman parte de la composición de muchos explosivos comerciales.

Entre este tipo de sustancias cabe mencionar la nitroglicerina, el nitroglicol, el trinitrotolueno, la pentrita y la nitrocelulosa.

La **nitroglicerina** es altamente sensible al choque o a la fricción debido a la debilidad del enlace N-O y a la reactividad de los grupos NO₂ que coexisten próximos entre sí. Expuesta al aire, puede descomponerse por hidrólisis liberando HNO₃ en una reacción exotérmica que puede producir su inflamación y detonación espontánea, lo que le da su carácter de inestable. Su congelación origina dos formas cristalinas distintas: una rómbica (estable) a 13,2 °C y otra triclínica (inestable) a 2,2 °C, por lo que su descongelación puede ser peligrosa. Tiene una densidad relativa 1,6, un balance de oxígeno positivo y detona según la reacción siguiente:

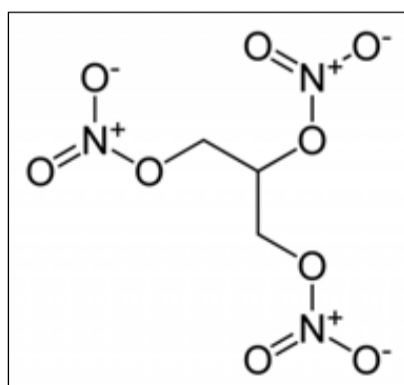
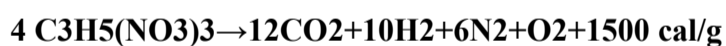


Figura 20: Formulas desarrollada de la nitroglicerina

Tiene una presión de detonación de casi 250.000 atm y una velocidad de detonación teórica de 7.926 m/s.

El **nitroglicol** es un elemento que, por su bajo punto de congelación (-20°C), se añade a la nitroglicerina para bajar el punto de congelación de esta.

El **trinitrotolueno** (TNT, trilita) es menos sensible que la nitroglicerina por la menor debilidad del enlace N-C y la mayor separación de los grupos NO₂. También es más estable por no sufrir hidrólisis. El balance de oxígeno que presenta es negativo.

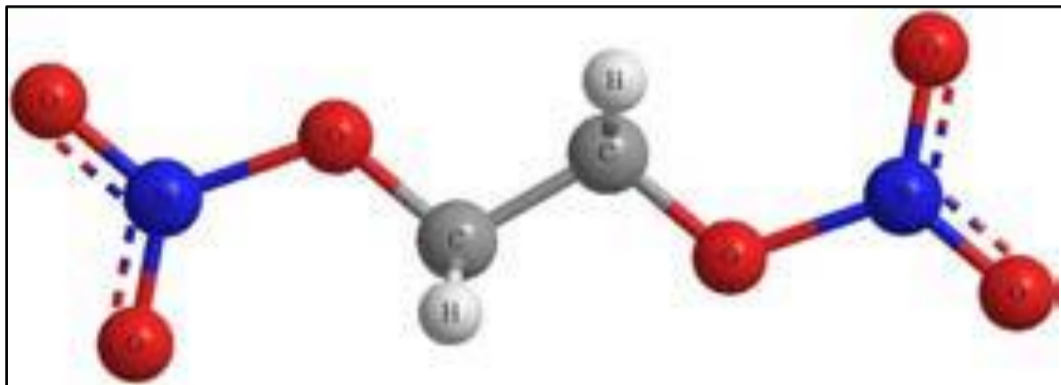


Figura 21: Formulas desarrollada del nitroglicol

La **pentrita** (tetranitrato de pentaeritritol) es un producto explosivo bastante estable por la estructura simétrica de su fórmula química. Presenta un aspecto pulverulento y de carácter higroscópico.

La velocidad de detonación de la pentrita, con una densidad de 1,7 g/cm³ es del orden de 8.400 metros por segundo.

Su fórmula química es **C(CH₂ONO₂)₄**.

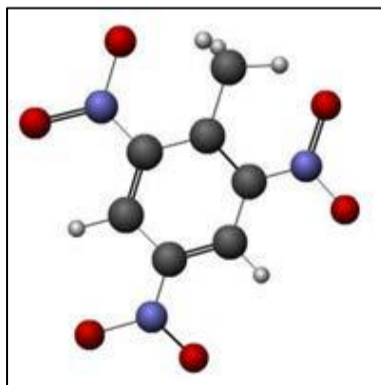


Figura 22: Formula desarrollada del Trinitrotolueno

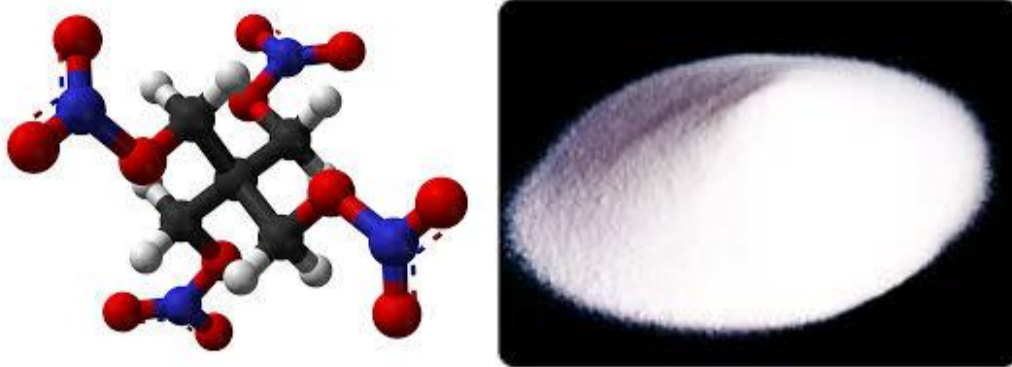


Figura 23: Formula desarrollada de la pentrita y presentación

La **nitrocelulosa** es una mezcla de ésteres nítricos, normalmente con un 11-15% de nitrógeno, que insensibiliza algo la nitroglicerina y gelatiniza al mezclarse con esta o con el nitroglicol. Se usa para estabilizar la nitroglicerina de modo que pueda emplearse de modo seguro. Una variedad de bajo punto de congelación es el nitroalmidón



Figura 24: Nitrocelulosa

6. SUSTANCIAS NO EXPLOSIVAS SUCEPTIBLES DE DETONAR

Dentro de aquellas sustancias no explosivas, pero que en determinadas circunstancias y ante un impulso energético suficientemente alto (por ejemplo, la detonación de otro explosivo) son susceptibles de detonar, se encuentra principalmente el **nitrato amónico**, de amplio uso en la industria, ya que se usa generalmente como fertilizante. Sin embargo, añadiéndole un elemento combustible que corrija su balance de oxígeno positivo, forma parte de la mayoría de los explosivos comerciales actuales.

Se trata de un producto prácticamente inerte y, por lo tanto, muy seguro de manejar, ya que se sensibiliza añadiendo en torno a un 5 – 6 % en peso de gasoil. Otra característica importante es que es un producto barato, pero cuyo principal inconveniente radica en su alta higroscopicidad y solubilidad en agua, la cual lo insensibiliza llegando a imposibilitar su detonación.

El calor de explosión del nitrato amónico puro es de solo 380 cal/g, que es aproximadamente una cuarta parte del correspondiente a la nitroglicerina. Sin embargo, si se le añade un combustible que compense el exceso de oxígeno, el calor de explosión se puede incrementar hasta superar las 900 cal/g. Su sensibilidad, velocidad de detonación y diámetro crítico varían con la densidad de carga y el tamaño de partícula.

El nitrato amónico es de color blanco y se presenta en forma granular. Los granos son conocidos como prills (figura 55) y son de un tamaño de en torno a 1 mm de diámetro aproximadamente.

Como se ha indicado, el nitrato amónico suele emplearse como fertilizante, pero existen diferencias importantes entre el nitrato amónico usado como fertilizante y el usado como materia prima para la fabricación de explosivos:

- Una primera diferencia es la **absorción**. El nitrato amónico usado en la fabricación de explosivos tiene mayor absorción para que la mezcla con gasoil se produzca de manera más íntima y el gasoil penetre en la partícula de nitrato amónico en mayor porcentaje, quedando menor gasoil libre en la mezcla.
- Otro aspecto diferenciador es en la **granulometría**. El nitrato amónico empleado en explosivos tiene un menor tamaño de prill y además es más redondeado y regular, de modo que el producto sea más homogéneo y la reacción que se produzca sea completa, por no haber zonas de mayor (o menor) concentración de gasoil o nitrato.



Figura 25: Prills de nitrato de amonio

Estas características, entre otras, son las que diferencian un nitrato amónico **grado técnico** (empleado en explosivos) de uno de **grado fertilizante**

7. EXPLOSIVOS INDUSTRIALES

Los explosivos industriales están constituidos por una mezcla de sustancias, combustibles y comburentes, que, debidamente iniciadas, dan lugar a una reacción química cuya característica fundamental es su rapidez. Esta velocidad define el régimen de la reacción, que debe ser de régimen de detonación. Si no se inicia adecuadamente, el mismo producto puede desencadenar un régimen de deflagración, o incluso, de combustión, lo que implica que el comportamiento del producto no sea el deseado.

La reacción generada produce gases a alta presión y temperatura, que serán las propiedades encargadas de la fragmentación y del movimiento de la roca.

Cada tipo de explosivo tiene una composición específica y definida. Esto supone que sus características son diferentes, y, en consecuencia, cada explosivo tiene una aplicación diferente en función de las necesidades de la voladura.



Figura 26: Sistema de conexión de voladura

7.1 DINAMITA

Este tipo de explosivos, reciben su nombre por su consistencia gelatinosa y se obtiene al mezclar nitroglicerina/nitroglicol (NG) con nitrocelulosa. Esta mezcla es aún más energética que el propio NG. Lleva en su composición, como elemento predominante, el nitrato amónico, además de combustibles y otros aditivos minoritarios.

Dentro de la familia de las dinamitas se pueden distinguir dos tipos diferentes, gelatinosas y pulverulentas, en función de su composición.

Dentro de las dinamitas granuladas así hay tres clasificaciones que son: dinamita pura, dinamita extra de densidad y dinamita extra de baja densidad (Tabla 2).

INGREDIENTES	DINAMITA GRANULADA	DINAMITA GELATINA	CARACTERISTICAS
MAYOR CANTIDAD DE NITRATO DE AMONIO	DINAMITA PURA	GELATINA PURA	MENOR RESITENCIA AL AGUA, PRESION DE DETONACION, VELOCIDAD DE DETONACION, DENSIDAD Y POTENCIA
MENOR CONTENIDO DE NITROGLICERINA	DINAMITA AMONIACAL DE ALTA DENSIDAD	GELATINA AMONIACAL	
	DINAMITA AMONIACAL DE BAJA DENSIDAD	SEMIGELATINA	

Tabla 2: características de la dinamita. Fuente (Konya & Albarrán N., 1998)

7.1.1 DINAMITA PULVERULENTA

La dinamita pulverulenta está compuesta básicamente por nitrato amónico, un combustible que corrige su exceso de oxígeno y una pequeña cantidad (generalmente próxima a un 10%) de un sensibilizador, que puede ser nitroglicerina, trinitrotolueno o una mezcla de ambos. Todas ellas, debido a su contenido en nitrato amónico presentan las características siguientes:

- Baja potencia
- Densidad media/baja (de 1,0 a 1,2)
- Regular o mala resistencia al agua
- Velocidad de detonación de 2.000 a 4.000 m/s
- Poca sensibilidad al choque o a la fricción.

Por todo ello son explosivos recomendables en rocas de dureza media-baja sin presencia de agua.

7.1.2 DINAMITA GELATINOSA

Una forma de corregir la mala resistencia al agua de las dinamitas pulverulentas y, al mismo tiempo, aumentar su potencia, es incrementar su contenido de Nitroglicerina (o Nitroglicol) y añadir una cierta cantidad de nitrocelulosa, que actúa como gelificante, formando una pasta gelatinosa.

Existen diversas modalidades en función de su contenido de Nitroglicerina (o Nitroglicol), pero todas ellas se caracterizan por:

- Elevada potencia
- Alta densidad (de 1,4 a 1,5)
- Buena o excelente resistencia al agua.
- Alta velocidad de detonación (de 4.000 a 7.000 m/s)
- Cierta sensibilidad al choque o a la fricción

Por todo ello son explosivos recomendables en rocas de dureza alta incluso con presencia de agua.



Figura 27: Cartuchos de Dinamita de diferentes calibres (Fuente: Maxam)

7.2 ANFO

En la línea de reducir el contenido en nitroglicerina (o nitroglicol) del explosivo para incrementar su seguridad, surgieron los explosivos tipo ANFO (Ammonium Nitrate + Fuel Oil), explosivos compuestos por un 94 % aproximadamente de nitrato amónico que actúa como oxidante y en torno a un 6 % de gasoil que actúa como combustible. Las características de este explosivo son las siguientes:

- Baja / media potencia.
- Muy baja densidad (0,8).
- Nula resistencia al agua, ya que el nitrato amónico es soluble en agua y pierde su capacidad de detonar.
- Baja velocidad de detonación (2.000 - 3.000 m/s).
- No son sensibles al detonador, por lo que necesitan de otro explosivo para iniciarse correctamente, lo que puede conseguirse con cordones detonantes, cebos de dinamita gelatinosa, cartuchos de hidrogel o multiplicadores.

Debido a su consistencia granular y a la solubilidad del nitrato amónico, no resisten al agua, por lo que su aplicación en barrenos que contengan este elemento está totalmente desaconsejada. Por el contrario, esta consistencia granular hace que el explosivo ofrezca una importante ventaja, y es la de que resulta muy fácil la carga mecanizada del mismo. Generalmente este producto se comercializa a granel, tanto ensacado como expedido en camión tolva para su utilización directa, si bien también se suministra encartuchado.

En ocasiones se introduce cierta cantidad de polvo de aluminio metal, cuya oxidación durante la detonación es la de incrementar el calor de explosión y, por tanto, la potencia del explosivo. Se obtiene así el producto denominado ALANFO (ALuminium + Ammonium Nítrate + Fuel Oíl).

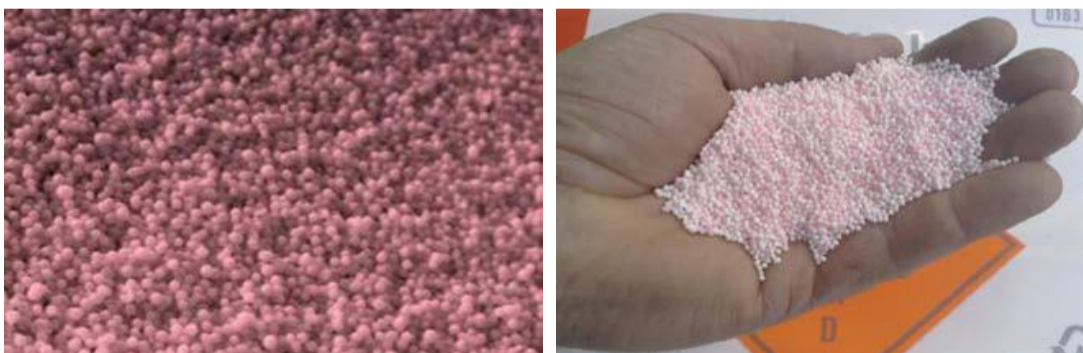


Figura 28: Explosivo tipo ANFO (Fuente: Maxam)

7.3 HIDROGELES

Al objeto de mejorar la resistencia al agua de los explosivos de base nitrato amónico, se desarrollaron los slurries o papillas explosivas. Son productos que, paradójicamente, incorporan una cierta cantidad de agua en su composición, pero fundamentalmente se trata de explosivos compuestos por un elemento oxidante (NH_4NO_3 o bien NaNO_3) y otro que actúa a la vez como sensibilizador y combustible, y que puede ser un explosivo (TNT), un metal (Al) o una sal orgánica (Nitrato de Monometilamina o Nitrato de Hexamina). Ambos componentes están dispersos en una solución saturada de NH_4NO_3 o de NaNO_3 (12 - 15% agua). A esta mezcla se le suele añadir también un conjunto de sustancias espesantes, gelificantes y estabilizantes.

Se conocen con el nombre de hidrogeles y se pueden presentar en forma encartuchada o incluso puede ser bombeado, a granel. Se caracterizan por:

- Elevada potencia.
- Densidad media/alta (1,2-1,3)
- Excelente resistencia al agua
- Velocidad de detonación de 3.500 a 4.500 m/s.
- Menor sensibilidad a la fricción o al impacto.

Son productos que pueden no llevar en su composición ningún producto que sea de por sí explosivo; únicamente, estos productos, reaccionan de forma explosiva en el momento que se inician con el detonador, cordón detonante o cualquier multiplicador. Las características más notables son su elevada potencia, excelente resistencia al agua y gran seguridad en el manejo y el transporte.

Por todo lo anterior este explosivo se aplica en rocas de dureza media-alta, incluso con presencia de agua.



Figura 29: Explosivo tipo Hidrogel (Fuente: Maxam)

7.4 EMULSIONES

En la misma línea de buscar un explosivo de la máxima seguridad y potencia que pueda ser utilizado en barrenos con agua, el último desarrollo en explosivos industriales lo constituyen las conocidas como emulsiones. Consisten en una fase dispersa formada por pequeñas gotas de disolución de NH_4NO_3 o de NaNO_3 en agua, que están rodeadas de una fina película de 10-4 mm de aceite mineral (fase continua). Se trata, por tanto, de explosivos compuestos básicamente por nitrato amónico o nitrato sódico con un contenido en agua entre el 14 y el 20 %, un 4 % aproximadamente de gasoil y menores cantidades (1 – 2 %) de otros productos, entre los que se encuentran:

- Agentes emulsificantes (oleato o estearato de sodio)
- Ceras para aumentar la consistencia y el tiempo de almacenamiento.

Algunos fabricantes incorporan también en la composición burbujas de aire o esferas huecas de vidrio (llamadas microesferas) que incrementan la onda de detonación, aumentando la sensibilidad, y partículas de aluminio que aumentan igualmente su potencia y sensibilidad.

El área de contacto entre oxidante y combustible que proporciona la emulsión, favorece una amplia y completa reacción. Por otra parte, la película de aceite constituye una protección del nitrato frente al agua. De todo aquello se deriva un explosivo en forma de pasta, capaz de ser bombeado o de ser encartuchado y que tiene las siguientes características:

- Alta velocidad de detonación (4.500-5.500 m/s)
- Excelente resistencia al agua.
- Mucha menor sensibilidad al choque o a la fricción.

La mezcla de ANFO con emulsión en proporción variable, en un rango que puede abarcar desde una proporción 90/10 hasta 50/50. Dependiendo de la proporción de sus componentes, las características varían, obteniendo desde mezclas con excelente resistencia al agua a mezclas con mala resistencia. Las composiciones ricas en emulsión (hidrogel) se pueden bombear desde camión y tienen alta velocidad de detonación. Las densidades decrecen con el contenido de Anfo, resultando valores comprendidos entre 1,25 y 1,10 g/cm³, a estas mezclas se las llama emulsión o hidrogel dopado.



Figura 30: Diferentes tipos de emulsión en función de la proporción Emulsión/Anfo

Sin embargo, las mezclas ricas en Anfo son los llamados **ANFOS pesados** (o Heavy ANFO, en inglés) y se cargan con sistema de tornillo desde camión. Debido a su carácter pegajoso, la carga debe hacerse de forma inmediata. Al igual que los hidrogeles, este explosivo puede presentarse encartuchado, o a granel, cuyo empleo se realiza por medio de unidades cargadoras de explosivo.

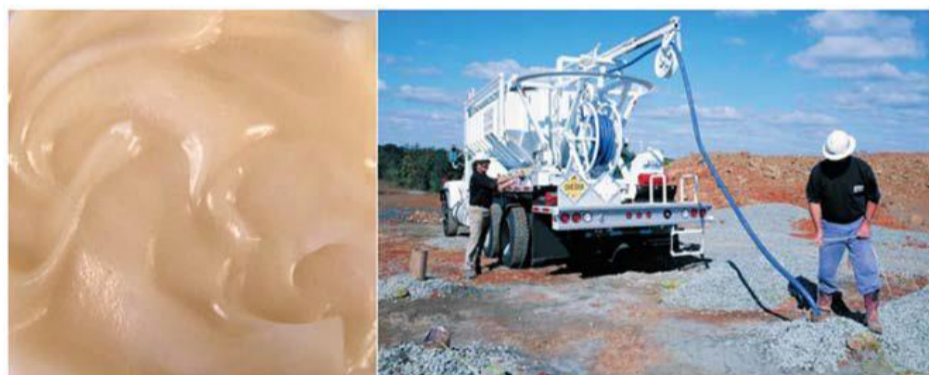


Figura 31: Emulsión explosiva y equipo de carga a granel (Fuente: Orica)

	Grado Fertilizante	Grado Explosivo
Recubrimiento inerte	3% -5 %	0,5% - 1%
Dureza	Muy dura	Suave
Forma Física	Cristal sólido	Porosa
Distribución de Aceite	Superficial	Integral
Diámetro mínimo para detonación sin confinar	228 mm	64 mm
Velocidad confinada en 100 mm de diámetro	1829 m/s	3353 m/s

Tabla 3: Propiedades de perlas de nitrato de amonio. Fuente: (Konya & Albarrán ,1998)

8. ACCESORIOS DE VOLADURA

En todos aquellos trabajos en los que se emplean explosivos, tanto en minería como en obra civil, es necesario que la detonación se inicie correctamente. Para ello, es necesario conocer aquellos medios y técnicas que permiten iniciar la reacción en régimen de detonación, la iniciación de explosivos y, de forma subsiguiente, la iniciación de voladuras de manera que se produzca la detonación de un conjunto de barrenos con un orden determinado.



Figura 32: Voladura (Fuente Elaboración propia)

Esta iniciación del explosivo debe ser aquella que asegure que la detonación alcanza un régimen que se mantenga durante toda la reacción en el interior del barreno. En este aspecto, un explosivo que no se inicie correctamente provoca que alcance una velocidad de detonación inferior a la nominal, llegando a reaccionar en régimen de deflagración, o incluso llegar a detenerse la reacción. En todos estos casos en los que no se alcanza el régimen de detonación nominal, el trabajo realizado por el explosivo será muy inferior al diseñado.

En cuanto a la iniciación de una voladura, pueden presentarse diseños muy diferentes que vayan desde la detonación de varios detonadores hasta diseños tales que impliquen cientos de detonadores en grandes voladuras, siendo imprescindible una secuenciación adecuada para lograr unos resultados adecuados de fragmentación, el movimiento de la pila de material volado y el ser compatible con las afecciones al entorno.

Bajo estas premisas de iniciación y secuenciación, se hace necesario considerar un conjunto de elementos que hagan que la detonación de los explosivos comerciales se efectúe de modo correcto y adecuado al objetivo de lograr un rendimiento óptimo en la excavación con utilización de explosivos.

Para explosivos que sean sensibles a la acción de un detonador, la iniciación puede realizarse introduciendo un detonador en el interior de un cartucho, al que se denominará cartucho cebo, y que estará en contacto con el resto de la carga. También puede hacerse adosando un cordón detonante a la carga explosiva, el cual a su vez se iniciará con un detonador, transmitiéndose la detonación a la citada carga.

En el caso de explosivos que precisen una energía de iniciación superior a la proporcionada por un detonador, se emplearán elementos que aseguren la detonación, como es el caso de multiplicadores de pentolita (PETN+TNT) o cartuchos de otro explosivo.

8.1 SISTEMAS DE INICIACION

Los diferentes sistemas de iniciación, conocidos como detonadores, pueden emplearse tanto en voladuras a cielo abierto como en interior y la finalidad es la de iniciar los explosivos dentro del barreno, o bien el cartucho cebo o multiplicador que desencadene la detonación en el interior de este.

Como se verá más adelante, algunos tipos de detonadores tienen un uso mucho más restringido y en aplicaciones específicas, como es el caso de los detonadores ordinarios.

La elección de cada uno de los tipos de detonadores vendrá determinada por las necesidades de secuenciación, características del entorno y facilidad en la realización de la conexión, entre otros factores.

Todos los detonadores de uso civil empleados habitualmente tienen en común que contienen aproximadamente la misma carga explosiva, siendo el elemento diferenciador el modo de iniciación de la carga. En términos generales, constan de una cápsula metálica de aluminio, o cobre, donde se aloja un explosivo iniciador, formando la llamada carga base (compuesta por trinitrorresorcinato de plomo y azida de plomo), y una carga base (compuesta por pentrita). Esta carga explosiva se inicia por medio de una píldora inflamable (en detonadores eléctricos, no eléctricos o electrónicos) o bien directamente por efecto de una llama (detonadores ordinarios).

8.1.1 DETONADORES ORDINARIOS

Son aquellos que se inician mediante mecha lenta. La mecha lenta se introduce en el extremo abierto de una cápsula de aluminio que aloja la carga explosiva del detonador y se engarza mediante unas tenazas especiales, de modo que se evite que la mecha se salga durante su manipulación. Se usa, por tanto, únicamente en voladuras de roca ornamental.

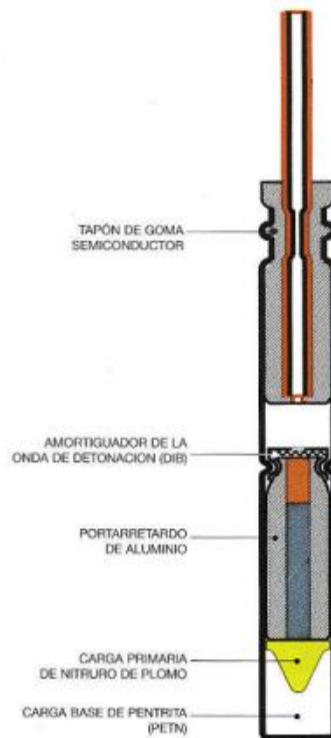


Figura 33: Detonador no Eléctrico. (Fuente explosivos.wikidot.com)

Debido a su configuración, no es posible establecer ningún tipo de retardo en el detonador, por lo que una vez que llegue la llama propagada por la pólvora que lleva alojada la mecha en su interior, el detonador se inicia instantáneamente.

8.1.2 DETONADORES ELÉCTRICOS

El detonador eléctrico emplea la energía eléctrica para su iniciación. El detonador eléctrico posee un inflamador pirotécnico (denominado comúnmente “cerilla”), a través del cual circula la corriente eléctrica, que provoca la iniciación de la carga explosiva.

El inflamador o cerilla es una pequeña resistencia recubierta de pasta explosiva. Esta resistencia llamada también *punte de incandescencia*, va conectada a los hilos de conexión y, a través de ellos, recibe la corriente eléctrica. Si la intensidad es lo suficientemente grande el puente se calienta, hasta alcanzar una temperatura, que produce la inflamación de la pasta explosiva de la cerilla

Existen dos grandes grupos de detonadores eléctricos: los detonadores instantáneos y los temporizados.

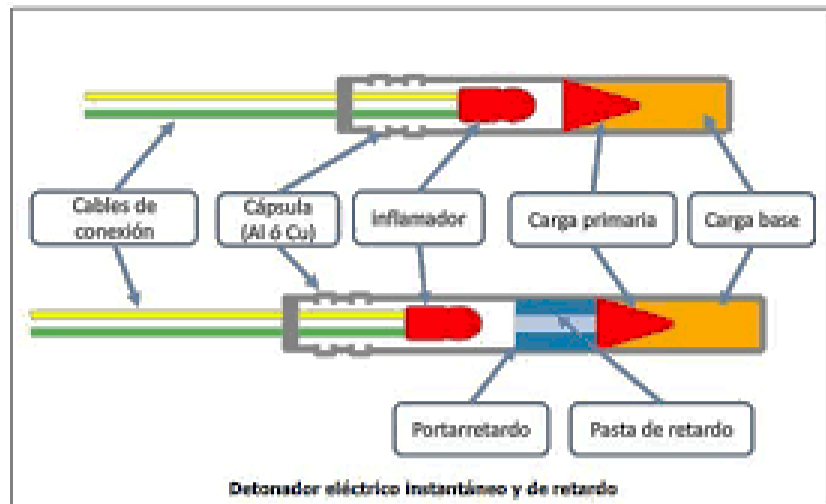


Figura 34: Detonador Eléctrico. (Fuente edot.site)

La diferencia entre ambos es que los detonadores eléctricos temporizados poseen un casquillo entre el inflamador que posee una pasta pirotécnica que quema a una velocidad determinada. Este casquillo se denomina portarretardo, siendo el compuesto que lleva en su interior la carga de retardo. De este modo, con la combinación de diferentes longitudes y composiciones de la carga de retardo, es posible obtener detonadores que se inician a diferentes tiempos de detonación, proporcionando así las combinaciones necesarias para la secuenciación de barrenos de una voladura.

En función de la intensidad necesaria para iniciar el inflamador pirotécnico, se pueden distinguir, de menor a mayor intensidad necesaria de iniciación, los detonadores *Sensibles*, *Insensibles* o *Altamente Insensibles*. Los detonadores sensibles tienen actualmente un uso muy restringido, y se usan exclusivamente en labores de arranque de carbón. Las características eléctricas de los diferentes tipos de detonadores pueden verse en la (Tabla 4).

	Resistencia de puente	Impulso de encendido	Corriente de seguridad	Corriente de seguridad recomendada
Tipo	Ohm	mW.s/ Ω	A	A
SENSIBLE	1,2-1,6	0,8-3	0,18	1,2
INSENSIBLE	0,3-0,5	8-16	0,45	2,5
ALTAMENTE INSENSIBLE	0,03-0,05	1100-0,05	4	25

Tabla 4: Detonador eléctrico. Características eléctricas

Entre las características eléctricas de los detonadores eléctricos se pueden destacar:

- **Resistencia del puente:** Es la resistencia del puente de incandescencia o resistencia de la cerilla. Se mide en ohmios.
- **Resistencia de los hilos de conexión:** Es la resistencia de los dos hilos de conexión del detonador. Se mide en ohmios.
- **Resistencia total del detonador:** Es la suma de las dos anteriores. Se mide en ohmios.
- **Intensidad de corriente recomendada:** Es la intensidad mínima de corriente eléctrica necesaria para asegurar que todos los detonadores conectados en serie en una voladura reciben energía suficiente, para su iniciación. Es la que el fabricante recomienda y, por tanto, debe ser la mínima a utilizar. Se mide en amperios.
- **Corriente de seguridad:** Impulso de encendido o sensibilidad eléctrica de los detonadores. Es la energía eléctrica, por cada unidad de resistencia, necesaria para provocar la inflamación de la cerilla.

Una clasificación de los detonadores eléctricos con tiempo de retardo es aquella que diferencia los detonadores en función del tiempo de temporización que tienen, lo que permite hablar de dos series de temporización diferente:

- **Serie de Micorretardo:** entre cada uno de los detonadores de las series hay una diferencia de 25 ms de retardo.
- **Serie de Retardo:** hay 500 ms de tiempo de retardo entre cada uno de los detonadores de la serie.

En función de la aplicación para la que está diseñado cada detonador se pueden distinguir los siguientes tipos:

- **Detonador de cápsula de aluminio:** son los de uso general para aplicaciones en voladuras a cielo abierto sin ambientes grisusos.
- **Detonador de cápsula de cobre:** tienen las mismas características que los detonadores de aluminio, pero pueden emplearse en aplicaciones donde exista riesgo de presencia de atmósferas explosivas. En este caso, la cápsula y los hilos de alimentación son siempre de cobre.
- **Detonadores sísmicos:** son detonadores que se fabrican con un tiempo de reacción inferior a un milisegundo y son aptos para resistir altas presiones hidrostáticas durante largos períodos de tiempo.

8.1.3 DETONADORES NO ELÉCTRICOS

Los detonadores no eléctricos se caracterizan porque no interviene ningún tipo de corriente eléctrica en su iniciación. La parte explosiva es común a los detonadores eléctricos, pero en lugar de un inflamador pirotécnico la carga portarretardo se inicia por medio de una onda de choque de baja energía que se transmite a través de un tubo de transmisión.

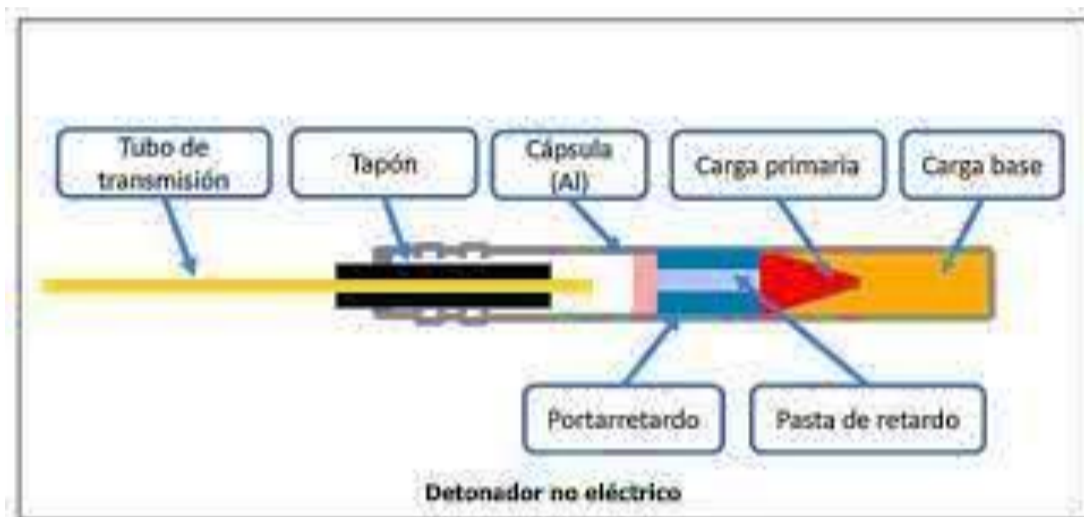


Figura 35: Detonador no Eléctrico. (Fuente edot.site)

El tubo de transmisión es un tubo de plástico que contiene en su interior una pequeña cantidad de material reactivo (en torno a 14 mg por metro lineal de tubo), compuesto de Hexógeno (HMX) y Aluminio.

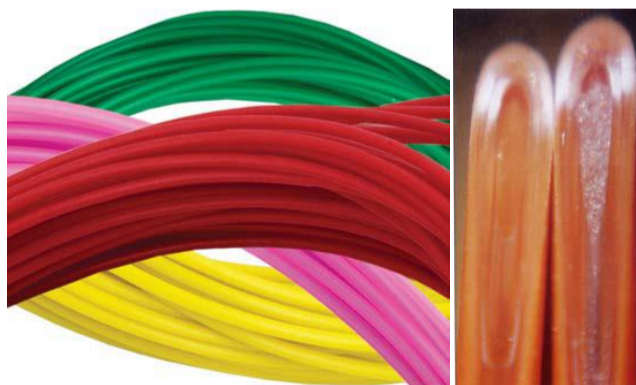


Figura 36: Tubo de transmisión. (Fuente Maxam)

Este tubo está engarzado en el detonador haciendo que la onda de baja energía transmitida por su interior incida como un “dardo” sobre la carga primaria o la carga de retardo. La velocidad de transmisión de esta onda es del orden de 2.000 m/s. Esta onda de choque, se propaga con toda fiabilidad a través del tubo de transmisión, aunque en existan dobleces pronunciados o nudos.

Esta onda de detonación no tiene influencia sobre la columna de explosivo contenida en el barreno, permitiendo la iniciación en el fondo de este, ya que la cantidad de materia reactiva contenida en él es tan pequeña que la superficie exterior del tubo queda intacta durante el paso de la mencionada onda de detonación.

Cabe destacar que la cantidad de material reactivo contenido en su interior es tan pequeña, y además no es posible manipularla para extraerla del mismo, que el tubo de transmisión por sí solo no está catalogado como material explosivo.

El tubo de transmisión se presenta en diversidad de colores, para identificarlo con cada una de las diferentes aplicaciones.

8.1.4 CORDÓN DETONANTE

Un cordón detonante es un cordón flexible e impermeable que contiene en su interior un explosivo denominado pentrita, cuya velocidad de detonación es de 7.000 metros por segundo; el cordón detonante se emplea fundamentalmente para transmitir a los explosivos colocados en los barrenos la detonación iniciada por un detonador. Algunos tipos de cordón detonante (los de mayor gramaje) pueden utilizarse como explosivo principal para la carga de barrenos de voladura.



Figura 37: Cordón detonante. (Fuente Indumil.gov.co)

El núcleo de pentrita, en cantidad variable según el tipo de cordón, va rodeado de varias capas de recubrimiento de hilados y fibras textiles, y de un recubrimiento exterior de cloruro de polivinilo, que es el que le proporciona las propiedades de elevadas resistencias a la tracción, abrasión y humedad, etc.

El cordón detonante también se caracteriza por su potencia, que está en relación directa con el contenido de pentrita por metro lineal de cordón y ésta potencia es la que determina el tipo de aplicación concreta. Actualmente, los cordones detonantes de aplicación más extendida tienen contenidos de explosivo por metro desde 3 a 100 gramos.

Los cordones detonantes tienen dos tipos de aplicaciones: servir para la iniciación de explosivos dentro de una voladura y/o servir como explosivo para la ejecución de la propia voladura.

La primera de las aplicaciones es la más frecuente (iniciación de explosivos dentro de una voladura), y para ello se emplean cordones detonantes en un rango que va desde 3 g/m (gramos de pentrita por metro lineal de cordón detonante) hasta 40 g/m. Estos últimos suelen ser muy habitualmente utilizados en prospecciones sísmicas. Los cordones detonantes de gramaje superior a los 40 g/m son más frecuentemente utilizados como carga en barreno de voladura para la realización de voladuras de recorte y precorte, en las que se utilizan habitualmente cordones de 100 g/m.

Para la iniciación de explosivos mediante el cordón detonante, únicamente se precisa colocar el cordón en contacto con el explosivo para que produzca su detonación. A su vez, la iniciación del cordón se puede realizar mediante un detonador o mediante otro cordón que inicie los diferentes cordones que existan en la voladura a modo de línea maestra. La conexión del detonador al cordón se debe realizar de tal manera que el culote del detonador apunte hacia la zona de cordón en que debe propagarse la onda de detonación pues, de lo contrario, no se producirá la iniciación del cordón en la dirección deseada.

La conexión entre cordones deberá hacerse correctamente mediante nudos, cinta adhesiva o conectores especiales diseñados para estas labores, de manera que se asegure la propagación de la detonación de uno a otro. Es importante reseñar que los cordones no deben cruzarse y hay que tener en cuenta el sentido de propagación de la detonación.

Los llamados cordones detonantes reforzados están fabricados con fibras textiles especiales, que les confieren una gran resistencia a la tracción y a la abrasión. Sus propiedades explosivas, tienen las mismas que los cordones detonantes estándar.

8.1.5 RELÉ MICRORRETARDO

Con el empleo del cordón detonante, únicamente es posible realizar voladuras instantáneas, lo que en ciertas ocasiones puede resultar un problema importante por el nivel de vibraciones que se producen, etc.

Para evitar este inconveniente fue por lo surgieron los relés de microrretardo, que consisten en unos artificios que, intercalados entre dos tramos de cordón detonante, interrumpen la detonación de este durante 15 ó 25 milisegundos según el tipo de relé, creando un efecto de retardo, en las voladuras conexas con cordón detonante, similar al proporcionado por los detonadores eléctricos de microrretardo.

Los relés de microrretardo constan de una funda de plástico moldeado que mantiene en su parte central el elemento metálico de retardo. Los extremos de la funda están adaptados para asegurar un acoplamiento fácil y sencillo del cordón detonante, asegurando su sujeción mediante cuñas de plástico.

Dentro del relé, el elemento retardador se aloja en un cilindro metálico y en sus extremos se sitúan unas pequeñas cargas de nitrato de plomo que facilitan la transformación de la detonación del cordón en una combustión de la pasta de retardo, que permitirá obtener el tiempo de retardo requerido. Finalizada esta combustión, la llama incidirá sobre la

segunda carga explosiva iniciando de nuevo la detonación y propagándola al cordón detonante.



Figura 38: Relé de microrretardo. Fuente (docplayer.es)

8.1.6 MULTIPLICADORES

Los multiplicadores (también conocidos como boosters) son iniciadores de voladura que se utilizan para iniciar explosivos de baja sensibilidad, como pueden ser anfo, hidrogeles o emulsiones, tanto si se emplean en modalidad de encartuchados o a granel.

Están compuestos por un cilindro de pentolita que va envuelto con una cubierta de cartón. La pentolita es un explosivo de alta potencia formado a partir de una mezcla de petrita y de TNT, que tiene una velocidad de detonación también alta, situada en torno a los 7.500 m/s

El multiplicador lleva unos orificios axiales que van rodeados de pentrita. Es por estos orificios por donde pasan los accesorios que los iniciarán: cordón detonante, detonadores, etc.



Figura 39: Multiplicadores (boosters). Fuente (Maxam. net)

Los multiplicadores se comercializan en una gama que abarca desde los 150 g para aplicaciones en barrenos de pequeño diámetro y voladuras en interior, hasta los de 500 g utilizados para iniciación de explosivos en barrenos de mayor diámetro. Existen multiplicadores de mayor tamaño que pueden llegar hasta 1 o 2 kg, pero que solamente son empleados en campañas de prospección sísmica.

8.1.7 MECHA LENTA

La mecha lenta está formada por un núcleo de pólvora negra recubierto con varias capas de hilados y materiales impermeabilizantes que la hacen resistente a la humedad, abrasión y los esfuerzos mecánicos. Habitualmente se utiliza para la iniciación de detonadores ordinarios y de la pólvora de mina.

La combustión de la mecha transmite el fuego a una velocidad uniforme de dos minutos por metro lineal. Esta velocidad es la determinada por el fabricante, pero un mal uso o conservación puede provocar que bien sea más elevada o lenta. La combustión de la mecha lenta se ve influenciada en gran medida por la humedad. Si la mecha lenta está mojada, la velocidad de combustión disminuye, y si está extremadamente seca, puede arder a mucha mayor velocidad de la diseñada.

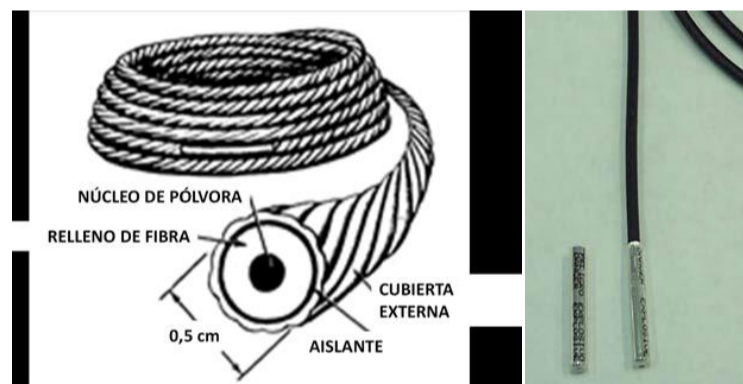


Figura 40: Mecha lenta y engarce con detonador ordinario

Es interesante destacar que si se producen dobleces acusadas (coqueras), es posible que la sección del núcleo de pólvora del interior de la mecha lenta varíe sin que se produzca un daño en el recubrimiento exterior, pero que puede dar lugar a posibles fallos o a situaciones de peligro por no poderse o saber identificar si se ha parado la combustión o no de la pólvora interior.

8.2 OTROS ACCESORIOS NO EXPLOSIVOS

Para hacer posible la iniciación de los explosivos, es necesario proveer de la energía necesaria al sistema de iniciación correspondiente. Esta energía se obtiene por medio de los denominados explosores. En este aspecto son destacables los explosores de

condensador eléctricos, y los explosores, o iniciadores, de detonadores no eléctricos. Además, en las voladuras con detonadores eléctricos es necesario resaltar el uso imprescindible de óhmetros de comprobación del circuito de voladura.

8.2.1 EXPLOSORES ELÉCTRICOS

Se denominan explosores a las máquinas generadoras de corriente eléctrica que se utilizan para iniciar las voladuras con detonadores eléctricos. Los explosores constituyen el método más racional de energizar una voladura, pues tienen la ventaja, sobre otras fuentes de energía, de que en cada disparo sólo suministran una cantidad de energía limitada, con lo que se evitan los riesgos de accidentes que pueden provocar otros sistemas de encendido. Además, los explosores entregan la energía del modo más apropiado para el correcto encendido de los detonadores.

Los explosores habitualmente utilizados para la pega eléctrica son de dos tipos: explosores dinamoeléctricos y explosores de condensador.



Figura 41: Diferentes tipos de explosores eléctricos

8.2.2 OHMETROS

Un óhmetro es un aparato destinado a medir resistencias. Es imprescindible en voladuras eléctricas, pues permite al artillero comprobar y medir el circuito de voladura, investigar defectos de continuidad en detonadores, medir aislamientos, derivaciones, etc.

Es importante destacar que los óhmetros empleados en voladuras deben ser equipos especialmente diseñados para este uso y que deben estar certificados por el fabricante para asegurar que introducen al circuito una corriente muy pequeña, tal que se asegure que no afecta al sistema de iniciación de los detonadores. Por tanto, no es posible emplear óhmetros eléctricos de fabricación estándar para su uso en comprobación de voladuras.

Los óhmetros diseñados para utilizar en voladuras son robustos e impermeables, fabricados para soportar sin alteración el duro trabajo a que están sometidos. En el mercado se encuentran diferentes modelos de este tipo de óhmetros. Los de menos precisión, pero de uso más sencillo, se suelen denominar comprobadores, porque con ellos no se pretende medir una resistencia, sino solamente comprobar que el circuito está cerrado y que el valor de la resistencia es más o menos el esperado; sirve también para detectar faltas de aislamiento en la línea o la continuidad o no de un detonador.



Figura 42: Óhmetro digital y analógico. Fuente (docplayer.es)



Figura 43: Fuente (EPC-Groupe)

Los de mayor precisión son aparatos diseñados para medir con cierta exactitud la resistencia de un circuito o la de un solo detonador. Generalmente poseen un sistema de regulación que permite contrastarlo y ponerlo a punto según el estado de sus baterías internas.

En ambos casos, suelen poseer selectores de escala, lo que permite efectuar la lectura en la zona de mayor precisión de la escala.

8.2.3 SISTEMAS DE INICIACIÓN NO ELÉCTRICA

Las voladuras con detonadores no eléctricos es necesario iniciarlas con sistemas de iniciación diferente a los explosores eléctricos. En estos casos, se necesita proporcionar la energía al extremo de un tubo de transmisión de modo que se asegure que se inicia correctamente. Esta energía puede obtenerse por diferentes medios: una chispa eléctrica o una pequeña energía que proporciona un pistón de caza.

Entre los denominados “iniciadores de chispa” se encuentran unos equipos eléctricos que, por medio de una pequeña pila y mediante un sistema electrónicos de acumuladores y condensadores, generan una chispa de alrededor de 2.000 voltios. Esta chispa se genera en un electrodo que, puesta en contacto con el extremo del tubo de transmisión, asegura la iniciación que se propaga en toda su extensión.

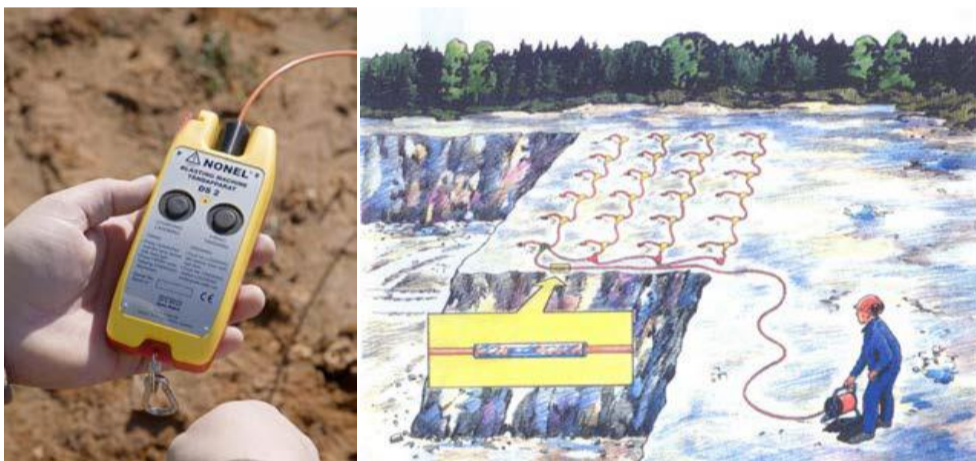


Figura 44: Iniciador “de chispa” de detonadores no eléctricos. (Fuente: Dyno Nobel)

Los “iniciadores de pistón” son equipos mucho más sencillos que constan de un cuerpo metálico en el que se engarza el tubo de transmisión y se coloca un pistón de iniciación de los cartuchos de caza. Este cuerpo está provisto de un percutor que incide en el pistón, provocando su disparo.

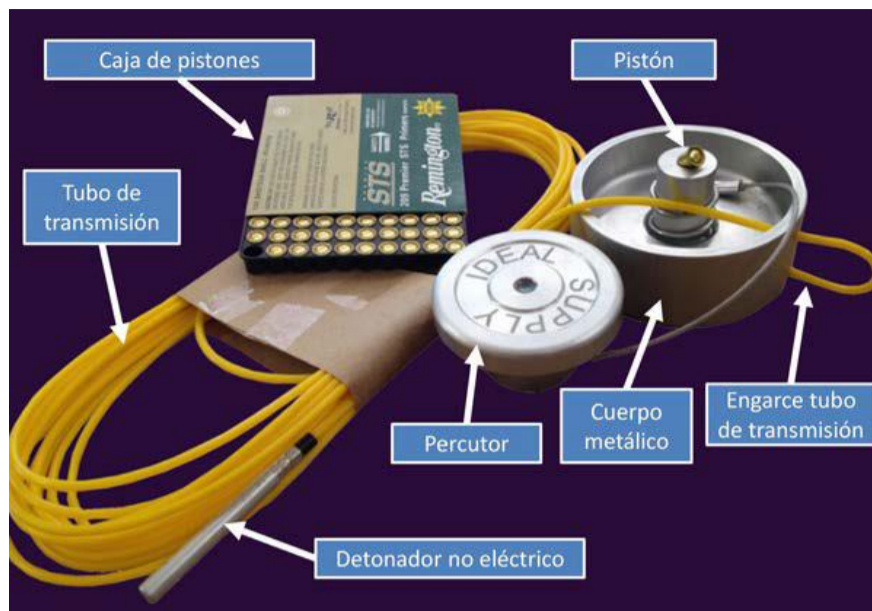


Figura 45: Iniciador “de pistón”. (Fuente: Ideal Blasting Supply)

La ventaja que tienen los iniciadores “de pistón” es que son más robustos y requieren menos mantenimiento que los “de chispa”, pero es necesario el uso de un pistón de caza cada vez que se requiere un disparo. En cambio, los iniciadores de chispa no necesitan ningún elemento adicional, pero por el contrario dependen de una batería y, sobre todo, del buen estado del electrodo para provocar la chispa de iniciación.

9. ALMACENAJE DE EXPLOSIVOS EN INSTALACIONES TIPO CONTAINER, TANTO PARA POLVORINES MÓVILES COMO FIJOS.

a) Definición

- **Almacén móvil:** aquellos que pueden ser trasladados de un lugar a otro sobre vehículos de transporte y cuando no se requiere almacenaje por un tiempo prolongado de explosivos y elementos similares (hasta 120 días), ante solicitud del interesado que requiera mantener el almacén de explosivos por mayor tiempo deberá solicitar una renovación del plazo, pudiéndose otorgar éste por única vez hasta 90 días más.

Cuando se trate de traslado de artificios pirotécnicos que serán utilizados en el montaje de un espectáculo, será válido mientras dura esta actividad el almacenamiento con el embalaje y bodegaje ocupados en su transporte, lo anterior no superando los tres días.

- **Almacén fijo:** instalaciones de carácter permanente pudiendo ser de superficie, subterráneos y enterrados, que deben cumplir con lo dispuesto en el reglamento para su inscripción.

b) Aspectos constructivos

- Estructuras metálicas similares a contenedores cuyas dimensiones pueden variar entre las siguientes:

Largo: 3 a 10 metros.

Ancho: 2 a 3 metros.

Alto: 2 a 2,6 metros.

- Deberán llevar perfiles metálicos en todas sus aristas de resistencia de acuerdo con el tamaño del almacén.
- Las paredes deben ser de plancha de acero acanalada de 1,2 milímetros de espesor y el techo de 1 milímetro de espesor.
- Las paredes deben estar forradas interiormente con madera de 10 milímetros (masisa o similar), sobre un listonado que deje una separación de por lo menos 30 milímetros entre forro y la pared metálica.
- El piso debe llevar tabla machihembrada de 1 pulgada adecuadamente sellada para evitar acumulación de explosivo en juntas. Se considerará un envigado suficiente para resistir el peso del explosivo.
- El techo debe contar con aislación térmica de poliestireno expandido de 2,5 milímetros o equivalente en otro material. Se considerará un techo de una a

dos aguas, lo que permitirá aislar del calor (Z. Norte) y para escurrir la lluvia (Z. Sur).

- Cada 2 metros en las paredes largas de la estructura deben ir respiradores de 0,1 m² protegidos con malla y corta goteras. Se ubicarán a distinto nivel respecto a los de la pared opuesta para permitir una ventilación uniforme, a una distancia de 0,20 a 0,30 metros del piso del techo.
- La puerta y la chapa deben ser de seguridad contra robos.
- Toda la estructura debe ser protegida de la oxidación con pintura anticorrosiva.



Figura 46: Imagen externa de polvorín. Fuente (Elaboración propia)

c) Condiciones de instalación y uso

- Estos almacenes de explosivos deben cumplir con todas las exigencias del Reglamento Complementario de la Ley 17.798 referente a almacenes de superficie y las de carácter general, especialmente en cuanto a distancias de seguridad.
- Deben tener siempre parapetos de tierra de su misma altura en todo su contorno.
- Al instalarlos, deben quedar separados del suelo para permitir su ventilación. De preferencia deber ser instalados sobre soportes de concreto para que se produzca ventilación y aislación del suelo. El terreno de sustentación debe tener la resistencia suficiente (Figura 43).



Figura 47: Container detonadores. Fuente (Elaboración propia)

- El transporte debe efectuarse con el almacén de explosivos vacío.
- El llenado o vaciado del almacén de explosivos debe hacerse exclusivamente en forma manual, evitándose el uso de quipos motorizados,
- El explosivo y elementos similares debe almacenarse manteniendo las siguientes separaciones internas.
- Al techo: 0,60 metros.
- A dos paredes adyacentes incluyendo la de la puerta: 0,80 metros.
- A las dos paredes adyacentes: 0,20 metros (para ventilación).
- La distancia de 0,20 metros debe considerarse entre el explosivo y la pared que tenga la entrada de aire, es decir, la que lleva las ventanillas de ventilación inferiores.

d) Aspectos de seguridad

- Para la seguridad en la manipulación, almacenamiento y transporte de sustancias peligrosas, tanto cuando ingresan al almacén como para su traslado a una faena o lugar de operación, se deberán regir por lo dispuesto en el capítulo IX “Transporte” del Reglamento Complementario de la Ley 17.798 y además, dar cumplimiento a las siguientes normas chilenas:
 - NCh. 382 Of. 2004 “sustancias peligrosas – terminología y clasificación”.
 - NCh 2120/1 Of. 2004 “sustancias peligrosas – parte 1 clase 1-explosivos”.

e) Aspectos generales

- Para la solicitud de inscripción de estos almacenes de explosivos se deberá dar cumplimiento a los requisitos establecidos según sea el tipo que se desea instalar (fijos o móviles).

- Una vez vigente la resolución de aprobación y cuando se trate de un almacén de explosivos móvil, éste podrá ser trasladado cuando termine la faena. Para estos efectos, el propietario deberá informar a la Autoridad Fiscalizadora, la que, previo el control de la existencia de explosivo, podrá autorizar su transporte a otra ubicación verificando que se cumplan en ella las condiciones de instalación.
- En caso de que dicho traslado sea a la jurisdicción de otra Autoridad Fiscalizadora será ésta la que debe verificar lo anterior y autorizar su funcionamiento. Para este fin, la Autoridad Fiscalizadora de origen debe remitirle los antecedentes correspondientes informando al mismo tiempo a la dirección general.

10. PROCESO DEL PLAN EN SEGURIDAD DE VOLADURAS

Este capítulo describe los aspectos relativos a la seguridad en los trabajos de voladura en cantera. Contempla las normas de seguridad que han de cumplir el personal que trabaja en voladura por lo que las personas que visitan dichos trabajos deben respetarlas igualmente.

Con fines de capacitación todo personal de trabajo o visitante que estará vinculado al proceso que lleva una voladura debe estudiar, aprender y llevar a cabo estos conocimientos requeridos para su capacitación.

10.1 CONDICIONES REQUERIDAS PARA DESEMPEÑAR LA FUNCIÓN DE ARTILLERO

1. Los operarios responsables del manejo de explosivos estarán en posesión de la licencia de manipulador de explosivos vigente (Figura 48).
2. Estarán obligados a conocer, cumplir y hacer cumplir las normas específicas sobre manipulación y manejo de explosivos y disparo de voladuras y “pegas”.
3. Antes de comenzar a cargar los barrenos, se informará al resto de personal presente en la voladura de las diferentes señales acústicas que se efectuarán durante la voladura, de su significado y de cómo deben oírlas.
4. Se asegurará que los refugios naturales sean suficientemente seguros; se asignarán estos refugios al personal presente en la voladura.

10.2 MANIPULACIÓN DE EXPLOSIVOS Y DETONADORES

1. Los explosivos solo serán manipulados por aquellas personas en posesión de la licencia de manipulador de explosivos vigente, debidamente autorizados y convenientemente instruidos en el conocimiento de las características de los explosivos, detonadores y accesorios que se van a utilizar, así como de las normas que regulan su uso.



Figura 48: Licencia Manipulador de Explosivos. Fuente (Elaboración propia)

2. Se evitarán choques y caídas.
3. Antes de comenzar el trabajo se contará el explosivo y detonadores disponibles, una vez terminados los trabajos se contará de nuevo (Figura 45), debiendo faltar únicamente el explosivo utilizado.



Figura 49: Control entrada y salida de detonadores. Fuente (Elaboración propia)

4. El explosivo y detonadores estarán separados y en perfecto orden.
5. Para la manipulación de explosivos se utilizarán botas y guantes de protección antiestáticos (no acumuladores de electricidad estática).
6. No manipular los explosivos cuando haya o sobrevengan tormentas eléctricas dentro de un radio de acción de 15 km (unos 45 segundos entre rayo y trueno),

debiendo alejarse de los explosivos y de las zonas ya cargadas a un lugar seguro y desde el que se pueda vigilar.

7. El personal involucrado en la manipulación, transporte, carga, cebado y disparo de explosivos:
 - a. No portará materiales explosivos en los bolsillos ropa personal.
 - b. No fumará ni dispondrá de elementos productores de llama o chispas en el entorno de trabajo.

10.3 TRANSPORTE INTERNO DE EXPLOSIVOS

1. Las operaciones de carga y descarga de explosivos y accesorios se realizarán:
 - a. De forma cuidadosa y sin golpes.
 - b. Siempre con luz del día.
 - c. Nunca en presencia de tormentas eléctricas, de arena o de nieve.
 - d. Los detonadores y accesorios se transportarán en sus envases de origen o en cartucheras apropiadas, con cierre eficaz y en las que no pueda producirse el choque de los detonadores o queden fuera los hilos de los detonadores.
2. Queda prohibido el transporte o almacenamiento de los detonadores (o cualquier otro tipo de iniciadores de explosivos) juntamente con los explosivos (Figuras 50 y 51).



Figura 50: Almacenamiento de detonadores. Fuente (Elaboración propia)



Figura 51: Almacenamiento Alto Explosivo. Fuente (Elaboración propia)

3. Los detonadores se depositarán a una distancia mínima de 50 m de la zona de la voladura, hasta el momento de su colocación.

10.4 PERFORACIÓN DE BARRENOS

En la perforación de barrenos, debe tenerse presente, al menos, las siguientes normas de seguridad.

- No se emboquillará nunca en fondos de barrenos
- No se realizará al mismo tiempo operaciones de perforación y carga de barrenos.
- Únicamente en algunos países está regulado de manera estricta este aspecto, debiendo seguir fehacientemente la normativa local al respecto.
- Si durante la perforación de barrenos se detecta presencia de coqueas, huecos o hundimientos, se tomará nota de esta incidencia y se comunicará al artillero.

10.5 CARGA DE BARRENOS

Toda maquinaria, material auxiliar y personal no necesario para la voladura deberán estar fuera de la zona de influencia de la voladura.

Se deberá impedir el acceso a toda persona ajena a la voladura no autorizada por la dirección facultativa.

1. Se cortarán todos los accesos a la cantera.
2. Se señalarán los peligros existentes en la zona: explosiones, proyección de partículas, peligro indefinido.
3. El personal destinado a cubrir los accesos a la explotación deberá ir provisto de teléfono móvil que se utilizará exclusivamente para verificar la seguridad de la zona en el instante anterior a la voladura.
4. No se utilizará ni el teléfono móvil ni otros elementos de transmisión radiofónica cuando se utilicen detonadores eléctricos.

No se permitirá nuevamente el acceso a la cantera o lugar de tronadura hasta que la voladura haya finalizado, entendiéndose como tal una vez que los posibles barrenos fallidos hayan sido eliminados, los frentes saneados y el explosivo y detonadores sobrantes retirados o destruidos.

Para la carga de barrenos se utilizarán guantes de protección antiestáticos (no acumuladores de electricidad estática).

La distribución de explosivos y detonadores en el tajo se realizará:

1. Evitando su concentración en una sola pila
2. Manteniendo separados en todo momento los detonadores de cualquier alto explosivo (mínimo 50 metros de distancia).
3. Se mantendrá custodiada el área de voladura hasta su disparo.
4. Cuando se cargue un barreno, se asegurará la cantidad máxima de explosivo por barreno.

5. Si durante la carga del barreno, la cantidad de explosivo introducido excede la cantidad máxima teórica calculada para el barreno, se interrumpirá la operación de carga y se considerará a tal barreno como fallido, salvo que haya garantía razonable de la inexistencia de riesgo por las posibles proyecciones.
6. Cuando la carga se realice a base de explosivos encartuchados, la carga estará constituida a base de una fila de cartuchos en perfecto contacto.
7. En caso de atascarse un cartucho en la caña del barreno, no se lo forzará ni empujará violentamente; si utilizando el atacador de madera, suavemente, no se consigue desatascar, se abandonará el barreno y se lo tratará como barreno fallido.
8. Está prohibido introducir y aplastar los cartuchos con violencia para colocar el detonador o para otros motivos, así como quitarles la envoltura, excepto cuando sea preciso colocarles el detonador.
9. Del mismo modo queda prohibido cortar cartuchos, salvo que la dirección facultativa lo autorice.
10. No se acercarán los detonadores al frente hasta no haber cortado todas las fuentes de energía en sus proximidades.
11. La inserción del detonador o cordón detonante con herramientas de latón o madera.
12. El cartucho cebo será preparado inmediatamente a su carga.
13. Solamente se utilizarán atacadores de madera u otros materiales que sean capaces de producir chispas.
14. Será obligatorio el retacado de todos los barrenos que componen la voladura.

10.6 PREPARACION DEL CARTUCHO CEBO

Se denomina cartucho cebo al que se utilizar para alojar en su interior el detonador. La preparación del cartucho cebo seguirá al menos las siguientes normas de seguridad:

- Durante la preparación del cartucho cebo los hilos de detonador eléctrico permanecerán cortocircuitados.

- Solo deberá emplearse un cartucho cebo por barreno, salvo en aquellos casos en los que se empleen cargas espaciadas (donde habrá un cartucho cebo por cada una de las cargas espaciadas) o en caso de emplear un segundo cartucho cebo en casos que se prevea un posible fallo de iniciación.
- El detonador se colocará en un extremo del cartucho y paralelamente al eje longitudinal del mismo. Preferentemente, el detonador se colocará en el mismo eje del cartucho.
- El detonador se colocará inmediatamente antes de la carga de los barrenos, nunca con antelación a la misma.
- Es aconsejable utilizar un punzón, de madera o latón, para abrir un agujero en el cartucho y posteriormente introducir el detonador. Nunca se debe forzar el detonador para introducirlo en el cartucho.
- En caso de tener que desactivar un cartucho cebo, la operación debe ser realizada por la misma persona que lo preparó.

10.7 CEBADO Y CONEXIÓN DE LAS VOLADURAS

1. La longitud del retacado será la necesaria y suficiente para anular los bocazos de barrenos.
2. Una vez se coloquen la totalidad de los barrenos, se procederá a la distribución de detonadores, ya cortocircuitados.
3. Cuando se coloquen los detonadores se prestará especial cuidado en que no haya ningún contacto entre el cobre desnudo de los detonadores y el terreno, tuberías aislando los empalmes con cinta aislante.
4. Cuando se utilice el cartucho cebo:
 - a. El cartucho cebo debe prepararse inmediatamente antes de la carga.
 - b. Se prepararán fuera del polvorín y alejados del explosivo.
5. Cuando se utilice el cartucho cebo:
 - a. El fondo del detonador quedará en el sentido de la propagación de la detonación.

6. Antes colocar el detonador, éste debe cortocircuitarse (uniendo sus hilos), hasta su conexión final a la línea.
7. Al desenrollar las madejas de cables, no deben lanzarse nunca los hilos al aire. Los extremos desnudos de los hilos del detonador han de cortocircuitarse antes de deshacer la madeja.
8. Hasta el momento de la voladura, la línea de tiro estará desconectada del explosor y en cortocircuito, conservándose en poder del artillero la llave de dicho explosor.
9. Se evitará que haya cualquier contacto de la línea de tiro con otras líneas, el terreno, tuberías y demás elementos conductores aislando los empalmes con cinta aislante.
10. Los conductores de la línea de tiro deben ser individuales y estar dotados de un aislamiento adecuado; no obstante, se permitirá el empleo de aquellos tipos bipolares que, por sus condiciones de aislamiento, hayan sido previamente autorizados por la autoridad minera para la línea fija, que no deberán ser alcanzadas por las proyecciones de la pega.
11. Se comprobarán las conexiones, así como la línea de tiro antes de conectarla a la voladura.

10.8 USO Y MANEJO DE DETONADORES ELECTRICOS

El uso y manejo de detonadores eléctricos debe regirse, al menos, por las siguientes normas de seguridad:

- Cuando se manejen detonadores eléctricos se dispondrá en la zona de voladura de una pica de cobre anclada al terreno, de forma que los artilleros y cualquier otra persona en contacto con los mismos puedan tocarla para evitar la descarga de electricidad estática sobre el detonador.
- Los cables de los detonadores permanecerán cortocircuitados hasta el momento de su conexión.
- Nunca se deben mezclar detonadores eléctricos de distinta sensibilidad. En caso contrario pueden existir fallos por corte de corriente porque no se inflaman las cerillas de todos los detonadores al mismo tiempo con la intensidad de corriente recomendada por el fabricante.
- Cuando se manejen detonadores eléctricos se debe utilizar calzado semiconductor y ropa antiestática, evitando materiales sintéticos.

- Los vehículos autorizados para el transporte de detonadores deben tener conexión a tierra. Cuando un operario baje del vehículo, portando detonadores eléctricos en sus manos, no se tocará el vehículo bajo ningún concepto.
- Si hubiera presencia de líneas de eléctricas que pudieran afectar a la voladura, se deberá asegurar que no hay corrientes erráticas o inducidas que puedan afectar a la voladura. Para ello, se puede realizar un estudio de corrientes erráticas.
- Con independencia de este estudio, en proximidades de líneas eléctricas de alta tensión, se recomienda la utilización de detonadores de Alta Insensibilidad.
- En las proximidades de las voladuras no se utilizarán teléfonos móviles o emisoras, evitando cualquier tipo de radiofrecuencia.
- Para eliminar el riesgo de la afección por corrientes antiestáticas de los detonadores eléctricos de la voladura se recomienda evaluar el uso de detonadores no eléctricos o electrónicos.

10.9 LINEA DE TIRO

Cuando se emplean detonadores eléctricos para el inicio de la voladura, empleando explosores de condensador, se tendrán en cuenta las recomendaciones siguientes:

- Los extremos de la línea de tiro permanecerán cortocircuitados hasta el momento de su conexión a los detonadores de la voladura y al explosor.
- Cuando las voladuras se realicen a una distancia inferior a 200m de centros de producción y transformación de energía eléctrica, o líneas de alta y baja tensión, la línea de tiro se dispondrá perpendicular a la línea eléctrica y se anclará en el suelo. Los empalmes se deberán cubrir con conectores antiestáticos, sin enrollar los cables de estos.

10.10 DISPARO DE LAS PEGAS

1. En caso de tormenta se interrumpirán las operaciones, cortocircuitando los extremos de los hilos que existan y evacuando inmediatamente la zona cargada, según lo indicado anteriormente.
2. Debe evitarse el uso de radiotransmisiones en la zona cargada, tales como teléfonos móviles y emisoras de radio, que deberán permanecer apagados.

3. Antes de efectuar el disparo se debe asegurar que todos los frentes están libres de personal y máquinas, así como que todos los accesos se encuentren cortados y controlados.
4. Si la voladura se realiza mediante cordón detonante, los detonadores se distribuirán y colocarán, una vez los tiros estén debidamente colocados y retacados.
5. Antes de comprobar la línea con el óhmetro.
 - a. Avisar mediante la señal acústica establecida que la voladura es inminente y todo el personal presente en la voladura estará en sus puestos y a resguardo.
6. Adoptar las mismas medidas de seguridad y control que si fuera a disparar la pega.
7. Si se detecta algún problema en la continuidad de la línea, se pondrán en cortocircuito los extremos de la línea se avisará por el medio de la señal acústica establecida de la suspensión del disparo y se procederá a la inspección visual de la línea.
8. Antes de disparar la voladura:
 - a. Todo el personal, propio y ajeno a la instalación (transportistas, contratas, visitas...) deberá abandonar el frente en el que se ha de efectuar la voladura.
 - b. Todo el personal presente en la voladura se encontrará al abrigo en los refugios naturales dispuestos a tal fin.
 - c. Estos refugios naturales protegerán adecuadamente a las personas que en ellos se alojan de las posibles proyecciones de material; nunca se situarán frente al talud donde se vaya a efectuar la voladura.
9. Cuando se vaya a realizar la voladura, se avisará por medio de la señal acústica establecida (tres toques largos de sirena) para avisar y alertar del disparo inminente, y una vez dicha señal acústica finalice, se procederá a disparar la pega.

10. Una vez realizados los disparos de todas las pegas, se inspeccionará la zona para verificar la inexistencia de barrenos fallidos en caso afirmativo señalarlos y comunicarlo al director facultativo.
11. Una vez verificada la inexistencia de barrenos fallidos, restos de explosivos sin detonar y bloques de piedra con peligro de desprendimiento, se avisará, por medio de señal acústica establecida, que la voladura ha finalizado, no debiendo abandonar ninguna persona presente en la voladura su refugio hasta no oír esta señal.
12. Después de disparar, se comprobará que no queda ningún barreno sin explotar; en caso afirmativo, avisar al director facultativo de la cantera, quien tomará las medidas oportunas.

10.11 ESPLOSORES Y OTROS INICIADORES

1. En el caso de emplear explosores de condensador para la iniciación de voladuras eléctricas, será necesario comprobar siempre que la capacidad del explosor es suficiente para la iniciación del número y tipo de sensibilidad de los detonadores existentes.
2. No se deberá nunca accionar un explosor de condensador en vacío
3. El explosor (o iniciador de pegas no eléctricas) siempre debe estar homologado y haber pasado las revisiones oportunas para asegurar su correcto funcionamiento.
4. Se recomienda tener en la voladura los recambios oportunos para resolver problemas de funcionamiento, como pueden ser baterías adicionales en explosores eléctricos (no de condensador), tener un electrodo de repuesto para los iniciadores no eléctricos, así como pilas adicionales para este último iniciador.

10.12 BARRENOS FALLIDOS

Se denomina barreno fallido aquel que no se ha iniciado en su debido momento de acuerdo con el plan de tiro y, por lo tanto, conserva explosiva en su interior después del disparo.

- Se deben señalar los barrenos fallidos de manera adecuada y visible, prohibiendo el acceso a la voladura.
- Se debe desactivar el barreno fallido a la mayor brevedad posible, debiendo hacerlo personal especializado.

- Para la desactivación se debe proceder a la comprobación de las condiciones del detonador, para proceder al disparo de nuevo de este.
- En caso de existir restos de explosivo en el barreno, aun habiendo sido iniciado el detonador, se deberá proceder a la señalización de este y a informar a los equipos de carga para que actúen con precaución en caso de aparecer explosivo en la pila de material volado.
- En caso de que aparezca explosivo, se deberá notificar al responsable de la voladura para que proceda a la retirada de este de manera adecuada.

10.13 COMPROBACIONES

- En pegas eléctricas y electrónicas, las comprobaciones que se realicen de la línea de tiro y de los detonadores se efectuarán siempre desde el refugio de disparo.
- Cuando se tenga duda sobre el correcto funcionamiento de un detonador determinado, es aconsejable realizar la comprobación de este, junto con otros que estén dentro del circuito de voladura.
- La línea de tiro no debe estar en contacto directo con elementos metálicos ni eléctricos.
- En pegas no eléctricas, siempre se procederá a una comprobación visual de modo que se detecten posibles fallos de conexión.
- En caso de existir diferencias entre los datos comprobados y los estimados, se procederá a una revisión del circuito de voladura hasta que se detecte el posible error.
- En el caso de voladuras con detonadores electrónicos se deberán realizar todas las comprobaciones establecidas en el protocolo de disparo establecido por el fabricante, y no deshabilitar ninguna de estas funciones en el lugar de disparo.

10.14 SANEAMIENTO DEL FRENTE

- Al objeto de prevenir accidentes, el artillero, después de la pega y antes que el resto de personal y equipos mecánicos abandonen los refugios, debe inspeccionar el frente y avisar al director facultativo de cualquier anomalía observada.
- Las ordenes necesarias para evitar cualquier riesgo de derrumbamiento.

11. SEGURIDAD EN EL USO Y MANEJO DE EXPLOSIVOS

El objeto de este capítulo es orientar al personal profesional dedicado a las funciones de destrucción de explosivos y sus residuos, sobre los métodos más seguros para realizar esa labor, mediante la recopilación de una serie de medidas básicas a partir de la normativa española y europea, así como de la experiencia. La información aquí recopilada está basada en las “Recomendaciones de Seguridad para la Destrucción de Explosivos”, editadas por la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Economía del Gobierno de España.

En ningún caso este documento pretende sustituir ni suplir a la normativa existente, que siempre debe cumplirse, si no, en su caso, complementarla.

Los tipos de productos para los que aplican estas recomendaciones son los explosivos rompedores, los explosivos iniciadores y los objetos explosivos propiamente dichos (detonadores eléctricos, no eléctricos, electrónicos, todo tipo de mechas, cordones detonantes, etc.).

11.1 DESTRUCCION

La destrucción de los explosivos, los accesorios explosivos y los residuos de ambos, entendiéndose por tal su descomposición de forma que no pueda producirse su regeneración, es una operación particularmente delicada, independientemente de la cantidad de explosivo de la que se trate, que requiere un conocimiento profundo de la materia o el asesoramiento de un técnico, especialista en explosivos, que dirija los trabajos y establezca las medidas de seguridad necesarias en cada caso.

El riesgo asociado a la destrucción de los explosivos y/o de sus residuos, la problemática implícita a la operación y el, cada vez mayor, interés en relación con la seguridad y el medio ambiente de las empresas y de la sociedad en general, exigen, la adopción de una serie de medidas preventivas que garanticen el buen fin de estos y la falta de alteración del entorno.

Es conveniente recordar siempre que:

- Los explosivos y sus accesorios están diseñados para ofrecer seguridad en su almacenamiento, transporte y uso, siempre y cuando se manejen de conformidad con el consejo experto que el fabricante y la industria de explosivos proporcionan al usuario.
- La destrucción de explosivos es una operación poco habitual en la que deben extremarse las precauciones rutinarias aplicadas en la utilización normal de los explosivos.
- Exceptuando casos aislados en los que se destruyen explosivos útiles, en la mayoría de los casos, las destrucciones son de explosivos o accesorios inservibles

cuyas características pueden estar modificadas y, por tanto, pueden presentar riesgos mayores a los habituales.

- Una de las causas más frecuentes de accidentes cuando se procede a la destrucción de explosivos se produce en parte por una actitud despreocupada en relación con estas operaciones.
- Si los explosivos que se desea destruir se encuentran en condiciones defectuosas, deberá acudir al asesoramiento de un experto.

Por todo lo anterior, es fundamental que toda persona a la que se le confíe la tarea de la eliminación de explosivos esté convenientemente cualificada y debidamente instruida sobre los métodos de destrucción seguros, y sea conocedora de los productos que van a ser eliminados.

Una práctica común durante muchos años para destruir explosivos consiste en la quema de pequeñas cantidades de este a cielo abierto. Este método es seguro a condición de que se respeten las instrucciones de seguridad y medioambientales. Con todo, en ocasiones, se plantean objeciones a esta forma de eliminación, en cuyo caso deberán buscarse métodos de destrucción alternativos respetando siempre la necesidad primordial de que tales métodos sean seguros.

En estas ocasiones, el método más seguro de eliminación consiste en la incorporación de cantidades limitadas de los explosivos que se quiere destruir a una voladura en serie, aunque, nuevamente, a condición de que se respeten estrictamente tanto la limitación de cantidades como las medidas de seguridad.

En cualquier caso, hay que tener siempre en cuenta que el enterramiento de explosivos y accesorios o el vertido al mar por mucha profundidad que tenga no se debe emplear en ninguna circunstancia como método de eliminación.

11.2 METODOS DE DESTRUCCION DE EXPLOSIVOS

En este apartado se contemplan las siguientes formas de destrucción:

- Combustión.
- Detonación.
- Disolución (por procedimientos químicos)

Para la elección del método más apropiado en cada caso, se deben tener en cuenta una serie de factores condicionales tales como: características topográficas de la zona, tipo de explosivo, cantidad de explosivo, etc.

11.2.1 COMBUSTION

Este método, también conocido como quema o incineración, aunque es el habitual para la destrucción de explosivos, tiene un inconveniente debido al peligro que puede suponer la transformación involuntaria del proceso de combustión en una detonación y de acuerdo con ello se deberán tomar determinadas precauciones de seguridad, tales como:

- Limitar la cantidad de explosivos que se destruirán por combustión.
- Mantener las distancias adecuadas a los lugares habitados y a las vías de comunicación, así como a los operarios que realizan la operación.
- Iniciar la combustión con medios apropiados.

El área de la combustión antes de la operación deberá estar seca, fría y exenta de objetos que pudieran actuar como proyectiles. Además, la combustión no debe comenzar con condiciones meteorológicas adversas como viento fuerte, lluvia o excesivo calor.

La combustión exige preparar una cama o lecho de material combustible (papeles, cartones, madera, etc.), para después extender una capa del explosivo de unos 4 cm de espesor sobre dicha cama. A continuación, colocar la mecha (que puede ser de diverso material como algodón, impregnado con gasóleo, o mecha lenta), darle fuego y abandonar la zona.

Una vez finalizada la quema, y transcurrido un tiempo prudencial se inspecciona el lugar de esta y se retiran los residuos recogiendo las cenizas.



Figura 52: Destrucción de explosivos por combustión. Fuente (polminera.com)

La combustión se puede aplicar a la destrucción de materiales explosivos y accesorios tales como:

- Pólvora negra en pequeñas cantidades y con una atención especial ya que se enciende fácilmente y arde muy rápido.

- Explosivos rompedores (explosivos gelatinosos, TNT, etc.) en pequeñas cantidades y a cielo abierto.
- Mecha lenta, con la precaución de sacarla del carrete antes de quemar.
- Cordón detonante, con la precaución de no quemar nunca en los carretes y siempre tiene que extenderse.

11.2.2 DETONACION

En algunos casos, la detonación o explosión puede resultar el método más aconsejable para la destrucción de explosivos y residuos de explosivos, por su rapidez y su técnica conocida, segura y relativamente simple de aplicar. No obstante, es preciso considerar que con la utilización de este método se pueden ocasionar problemas en el entorno que deberán ser valorados antes de su ejecución, principalmente onda aérea, pudiendo ser apreciable en forma de ruido y vibraciones en cristales y estructuras.

Cuando se emplea la detonación para destruir explosivos, es conveniente secuenciar el disparo lo más posible.

El campo de aplicación de este método de destrucción abarca todos los explosivos y accesorios, aunque no sea el más idóneo para todos ellos. Sin embargo, cuando los explosivos se encuentren en mal estado de conservación, o haya sospecha de ello, especialmente si se trata de explosivos de nitroglicerina/nitroglicol, el método de detonación es siempre el más aconsejable, pues requiere una manipulación mínima de las sustancias explosivas, pudiéndose a veces proceder a la destrucción sin necesidad de abrir las cajas de explosivo.

Por otro lado, algunos accesorios, como los detonadores, pueden destruirse insertándolos dentro de una carga explosiva con base de nitroglicerina, de forma que cada detonador esté sumergido en el explosivo. De este modo, pueden destruirse hasta un máximo de 10 detonadores. La carga se iniciará por medio de un detonador apropiado y se cubrirá con una capa de material fino con una profundidad mínima de 0,5 m.

La detonación puede aplicarse a la destrucción de materiales explosivos y accesorios tales como:

- Explosivos rompedores con nitroglicerina, hidrogeles y pulverulentos.
- Detonadores.
- Cordón detonante: destruido junto con otros explosivos detonándolos, aunque también puede destruirse por combustión.
- Artefactos y conjuntos detonantes que deben destruirse bajo supervisión del fabricante.

11.2.2.1 DETONACIÓN A CIELO ABIERTO O AL AIRE

La detonación de pequeñas cantidades de explosivos a cielo abierto es el procedimiento más simple. Este método se realiza sobre una zona especialmente destinada para ello pudiendo emplearse siempre que el lugar esté aislado y tenga las dimensiones suficientes. En este procedimiento el explosivo se manipula de la misma manera que en una voladura normal: colocación de un cebo e iniciación de este por cualquier sistema de encendido.

Cuando los explosivos que se destruirán estén en buen estado, el cartucho cebo de la carga se puede formar con uno de los que se pretende destruir. En cambio, si el explosivo se encontrarse en mal estado, el cartucho cebo se preparará con explosivo "fresco" adosándolo a la carga, o bien se puede sustituir por un ramal de cordón detonante enrollado alrededor del explosivo que se quiere destruir con un detonador en uno de sus extremos. Si se pretende destruir explosivos muy insensibles, o muy descompuestos, es necesario utilizar un cebo suficientemente energético para asegurar su destrucción total.

La iniciación de la explosión se hará preferentemente por medio de un detonador eléctrico ya que además de proporcionar una mayor seguridad al artillero, permite destruir en un mismo tiempo varias partidas de explosivos, espaciando la iniciación mediante detonadores de tiempo. No obstante, también se puede utilizar un detonador de mecha lenta.

Las consideraciones más importantes que se deben tener en cuenta en la destrucción por detonación a cielo abierto son:

- Los factores medioambientales como el ruido y la sobrepresión. El responsable deberá evaluar el riesgo y las consecuencias teniendo en consideración las condiciones locales.
- El peso de explosivo "fresco" de la carga iniciadora deberá ser al menos de un 20% de la cantidad de explosivo que se quiere destruir; el cual se situará en el centro de la carga.
- La carga total deberá cubrirse (coronarse) con una capa apropiada de un material fino (tal que arena), que sea suficiente para confinar la carga y que en ningún caso deberá tener un grosor inferior a 0,5 m.
- Las piedras u otros materiales que pudieran originar un efecto misil deberán vigilarse especialmente para su desaparición.

11.2.2.2 DETONACIÓN EN UN BARRENO

La incorporación de cantidades limitadas de los explosivos que se quiere eliminar a un barreno en una voladura en serie es un método seguro de destrucción, siempre que se respeten estrictamente, tanto la limitación de cantidades, como las medidas de seguridad.

Para ello, los explosivos se cargarán en la parte superior de la carga estándar del barreno y se volarán con el resto de la serie.

La cantidad en cada barreno deberá limitarse al 5% de la carga proyectada por barreno, pues de lo contrario podría interferir con el resultado de la voladura. Además, es preciso asegurar que la detonación se transmita a todo lo largo de la carga, para lo que se empleará por ejemplo un cebo múltiple o una mecha detonante a lo largo del barreno.

La carga de las materias explosivas en los barrenos sólo deberá llevarse a cabo con la supervisión de un Artillero cualificado y con la aprobación de la persona responsable.

Los explosivos pulverulentos pueden destruirse como parte de una carga explosiva del barreno.

11.2.2.3 DISOLUCION (PROCEDIMIENTO QUIMICO)

Se entiende por procedimiento químico aquel que consigue, mediante una reacción química controlada, unos compuestos resultantes finales que no sean explosivos.

La destrucción por este método exclusivamente debe hacerse con un gran conocimiento de los productos implicados y en cantidades limitadas, siendo realizado por los fabricantes de los productos que son los que mejor conocen las ventajas e inconvenientes en cada caso.

La destrucción con procedimientos químicos se ha utilizado para explosivos iniciadores, tipo fulminato de mercurio, nitruro de plomo, etc., pero realizada por los propios fabricantes que son los expertos conocedores de los mismos.

Los productos resultantes de este método de destrucción también deben ser considerados como residuos, tendrán que ser caracterizados y tratados en consecuencia de acuerdo con lo establecido en la legislación medioambiental.

En este método se podría incluir la inmersión en agua (disolución) u otro tipo de líquido, siempre que el resultado final sea la obtención de compuestos no explosivos recibiendo un tratamiento medioambiental correcto.

No obstante, la disolución o dilución no se considera un procedimiento químico ya que no hay una reacción química propiamente dicha.

La disolución se puede usar en explosivos como anfos y pólvora negra, aunque siempre con las limitaciones y condicionantes medioambientales.

Cabe destacar que el Anfo, se disuelve muy fácilmente en agua, en la que sobrenada el aceite combustible que contiene. Si no se dispone en las proximidades de una cantidad de agua corriente adecuada, regándolo abundantemente con una manguera puede resolverse fácilmente el problema. Siempre que se utilice este método de destrucción, debe garantizarse la no-contaminación del entorno.

Por todo lo expuesto anteriormente, este método resulta en la práctica muy poco utilizado.

11.3 VOLUMEN DE PRODUCTOS

El volumen del material que se puede destruir de una vez está condicionado por varios factores que deberán analizarse en cada caso y entre los que se encuentran los siguientes:

- Tipo de explosivo.
- Distancias entre lechos.
- Orografía del terreno.
- Distancias a viviendas, carreteras, etc.
- Distancia a la defensa para el personal.

No obstante, el método de destrucción condiciona el volumen o cantidad de producto que se puede destruir de una vez como se indica en se especifica en los siguientes apartados.

11.3.1 COMBUSTION

Con este método se destruirán como máximo 2,5 kg netos de explosivo en cada pila, estando estos separados un mínimo de 6 metros. Si las cantidades son distintas, la distancia entre pilas será calculada según la fórmula siguiente:

$$d = 4,4\sqrt[3]{Q}$$

Donde:

d: distancia de separación en metros

Q: cantidad de explosivo expresado en kilogramos

La tabla siguiente muestra algunas cantidades y distancias entre pilas.

TABLA 5: CANTIDADES DE PRODUCTO Y DISTANCIAS ENTRE PILAS PARA DESTRUCCIÓN DE EXPLOSIVOS POR COMBUSTIÓN.	
CANTIDAD POR APILAMIENTO (KG)	DISTANCIA ENTRE APILAMIENTOS (M)
0.10	2.00
0.25	2.70
0.50	3.50
De 0.50 A 2.00	5.50
2.50	6.00

Tabla 5: Cantidades de producto y distancias entre pilas para destrucción

11.3.2 DETONACION

La cantidad de este explosivo que se desea destruir por este método condiciona las distancias de seguridad recomendables, aunque dichas cantidades podrán ser mayores bajo condiciones particulares que amortigüen la onda, etc.

11.3.3 POR PROCEDIMIENTOS QUIMICOS

Las cantidades que se destruirán por este método requieren el pertinente estudio previo.

11.4 MÉTODOS DE TRABAJO

La totalidad de las operaciones de destrucción deberán atenerse a los mismos cuidadosos procedimientos de contabilidad y de registro que se siguen para el almacenaje y para la entrega de los explosivos de uso normal. Las cantidades y los tipos de material que se destruyen deberán estar debidamente registrados. Por tanto, el equipo de destrucción llevará un control del material destruido haciendo constar el tipo de explosivo y la cantidad. Cualquier duda que exista sobre el método correcto de destrucción deberá comunicarse sin demora al fabricante, para recibir su ayuda y asesoramiento.

En la tabla siguiente de procedimientos o métodos recomendables de destrucción se muestran los procedimientos o métodos recomendables de destrucción en función de los tipos de productos que se desean eliminar. Los principales métodos de trabajo para la destrucción de explosivos deben cumplir una serie de recomendaciones generales de seguridad como son las siguientes:

- El personal encargado de la destrucción no puede fumar.
- La destrucción sólo debe ser llevada a cabo por personal preparado para ello.
- La destrucción requiere la presencia de al menos dos personas para que en caso de problemas se puedan socorrer mutuamente.
- La manipulación de los productos requiere identificar el explosivo, su estado de conservación y debe evitar golpes, roces, fricciones o caídas, etc.
- Al elegir el lugar donde se realizará la destrucción al aire, hay que tener en cuenta que se deben guardar unas distancias mínimas de seguridad a los lugares habitados y a las vías de comunicación con tránsito, en función de la cantidad de explosivo que se quiere destruir. A modo de recomendación, las tablas 3 y 4 incluyen las distancias mínimas de seguridad recomendables.
- La zona de destrucción debe estar vigilada, cerrada o señalizada, para evitar la entrada de personal no autorizado.
- Los elementos de lucha contra el fuego deben estar próximos y accesibles.
- La zona donde se realice la destrucción deberá ser inspeccionada después de terminar cada operación para asegurarse de que no queden restos explosivos.

Además, cada método de destrucción tiene una serie de consideraciones de seguridad particulares que se analizan para cada uno de ellos.

11.4.1 POR COMBUSTIÓN

Los métodos de trabajo para una operación segura de destrucción por combustión recogen las siguientes recomendaciones:

- La combustión sólo deberá ser llevada a cabo por personal entrenado y experimentado.
- La zona de combustión deberá estar localizada de forma que una posible detonación no cause problemas. Podrá estar rodeada de defensas naturales o artificiales, si el caso lo requiere y las distancias de seguridad lo aconsejan. No deberá haber piedras sueltas, objetos metálicos (que no pertenezcan a las instalaciones del quemadero) o hierba alta.
- A la zona de combustión deberá realizársele una limpieza de una forma regular.
- Las herramientas utilizadas no deben ser de material férreo. Deben de evitarse los rozamientos y fricciones en los suelos refractarios.
- En un mismo fuego no deben ser quemados distintos grupos de explosivos. (Esto no es aplicable a quemaderos en rampa).
- Los explosivos rompedores e iniciadores no se pueden destruir conjuntamente. Se tendrá un especial cuidado en que no haya ningún detonador, pistones y restos de explosivos iniciadores presentes con o dentro del explosivo que se destruirá, cuando éste sea distinto a los citados.
- Las quemas deben efectuarse en una cama o cuna de elementos combustibles tales como papel, cartón, etc.
- La capa de explosivo debe tener un espesor menor de 4 cm.
- Los lotes de material que se quiere destruir deberán ser iniciados por material combustible.
- Para asegurar la combustión, en cubículo o sobre el suelo, es conveniente rociar el explosivo y el material con gasóleo antes de la ignición. (No deberá utilizarse petróleo o gasolina).
- Cada lecho de material deberá estar separado por la distancia indicada en la (tabla 6).
- La superficie donde se realiza la combustión estará libre de zonas calientes por actividades previas.
- La combustión no se debe realizar con viento o condiciones climatológicas adversas.
- La ignición debe efectuarse después de que todo el personal se haya retirado de la zona de combustión.
- El encendido debe efectuarse en contra del viento para evitar que las chispas, provocadas por el mismo causen una ignición prematura.
- La destrucción de explosivos que contengan metales pesados requerirá un estudio previo para tratar las soluciones apropiadas de los residuos.

11.4.2 POR DETONACIÓN

Las recomendaciones de seguridad para este método de destrucción de explosivos incluyen lo siguiente:

- Antes de la detonación se deberá tener en cuenta las posibles proyecciones de los fragmentos de las partes metálicas del detonador.
- El terreno donde se efectúe la destrucción por detonación deberá estar lo más limpio posible (exento de piedras, maleza, etc.) de modo que se eviten los posibles peligros de proyecciones peligrosas e incendios.
- En el caso de que este tipo de destrucción se utilice habitualmente, será preciso un estudio detallado del entorno y de la repercusión sobre el mismo de las detonaciones.

11.5 DISTANCIAS DE SEGURIDAD

Con independencia del sistema de destrucción que se adopte, por detonación o por combustión, deben considerarse unas distancias de seguridad tanto respecto a zonas habitadas y vías de comunicación como en lo relativo al lugar de refugio del personal que realiza la destrucción.

En la tabla siguiente se indican las distancias mínimas que deben existir entre el lugar de destrucción y las casas o lugares habitados y vías de comunicación (salvo que se haya impedido el acceso a ellas) más próximas.

DISTANCIAS MINIMAS RECOMENDABLES A VIVIENDAS AISLADAS	
Cantidad de material (kg)	Distancia mínima recomendable (m)
< 1	150
De 1 a 2	200
De 2 a 5	250
De 5 a 10	325
De 10 a 25	450

Tabla 6: Distancias mínimas recomendables a viviendas aisladas

La tabla siguiente (Tabla 7) indica las distancias mínimas que deben guardarse entre el lugar donde se deposite el explosivo para su destrucción y el escogido para el refugio del personal encargado de la operación.

El lugar de refugio deberá elegirse de modo que presente una adecuada protección contra eventuales proyecciones.

DISTANCIAS MÍNIMAS DE PROTECCIÓN DEL PERSONAL ENCARGADO DE LA DESTRUCCIÓN	
Cantidad de material (kg)	Distancia mínima recomendable (m)
< 1	50
De 1 a 2	60
De 2 a 5	75
De 5 a 10	100
De 10 a 25	125

Tabla 7: Distancias mínimas protección del personal encargado de la destrucción

11.6 MEDIDAS PREVENTIVAS

La operación de destrucción siempre deberá considerarse como una operación de riesgo sobre la que hay que renovar la formación, permanentemente, a los operarios encargados de su realización. Nunca debe olvidarse que la destrucción es, en muchas ocasiones, más peligrosa que la fabricación del artículo en sí, y ha sido origen de múltiples accidentes, llegando en algunos casos a ser mortales.

Cada uno de los productos manipulados en la destrucción de explosivos tienen unas “fichas de datos de seguridad” donde se indican los riesgos de cada una de las sustancias y las medidas de prevención que deberán tenerse en cuenta durante la manipulación de estas, así como consideraciones para su eliminación.

11.6.1 ALMACENAMIENTO

Antes de la destrucción de los productos explosivos, éstos deben estar guardados en una zona reguladora debidamente autorizada.

La ubicación y capacidad de esta zona guardará las normas sobre distancias de seguridad y además respetará las incompatibilidades de almacenamiento entre explosivos iniciadores y rompedores.

11.6.2 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Los operarios estarán equipados con las prendas de protección siguientes:

- Ropa ignífuga.
- Calzado de seguridad antiestático (botas en caso de lluvia) con suela protegida contra perforaciones.
- Gafas de seguridad.
- Ropa de abrigo o impermeable (según condiciones climáticas).

- Guantes de cuero.

En ocasiones también puede ser recomendable utilizar:

- Cinturón anti-lumbalgia.
- Pantalla de protección para proyecciones.
- Protector auditivo.

11.7 FORMACIÓN

Los operarios que realicen tareas de destrucción de explosivos estarán debidamente instruidos e informados sobre los productos que se eliminarán y cuando sea pertinente, con la cualificación exigible sobre los métodos de destrucción. De este modo podrán llevar a cabo sus tareas de forma segura y estarán preparados en caso de que se presenten circunstancias extraordinarias.

Como mínimo la formación deberá incluir:

- Las directrices generales en cuanto a prevención de riesgos de los trabajadores que trabajan con explosivos y sus accesorios.
- Los procedimientos específicos relacionados con la eliminación de explosivos. Esta parte debe incluir formación in situ para garantizar que los operadores estén plenamente familiarizados con todas las disposiciones y equipos de seguridad, procedimientos de emergencia y su efecto en el entorno.

Los programas de formación deben estar estructurados formalmente y se debe guardar registros individualizados de los mismos ya que los cursos deben ser auditados.

Además, con cierta regularidad se deberán realizar programas de reciclaje, especialmente si se ha producido un cese temporal del trabajo.

La destrucción por detonación será efectuada siempre por personal en posesión de la cartilla de artillero.

En aquellos casos que se realicen traslados de materiales para su destrucción la formación requerida deberá incluir a los conductores de los vehículos según la legislación de transporte vigente.

12. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL EN LA VOLADURA (EPI)

Equipos de Protección Individual (obligatorios)		
Parte del cuerpo	Protección	Aplicación
Cabeza	Casco de seguridad	Permanente
Tronco	Chaleco reflectante	Mandos
	Ropa de trabajo reglamentaria	Personal de cantera
Miembros superiores	Guantes de protección antiestáticos	(personal cantera) Permanente
Miembros inferiores	Ropa de trabajo reglamentaria	Manipulación de explosivos y detonadores
	Botas de seguridad reglamentarias antiestáticas	(personal cantera) Permanente
		En manipulaciones de explosivos y detonadores

Tabla 8: Equipos protección personal. Fuente: (Elaboración propia)



Figura 53: Equipos Protección Obligatorios. Fuente (Elaboración propia)

13. RESULTADOS OBTENIDOS

Se debe tener especial cuidado con el proceder durante el proceso de tronadura, de tal manera que se pueda minimizar el impacto del ruido y vibraciones causadas por las explosiones y observar si se realizaron correctamente los pasos de manera de no generarse datos erróneos, en post de conseguir mejores resultados, más correctos y confiables.

Hacer recorrido y verificar de no haber personal dentro de la zona de riesgo antes de cada tronadura ni equipos.

Antes de la destrucción de los productos explosivos, éstos deben estar guardados en una zona reguladora debidamente autorizada.

La ubicación y capacidad de esta zona guardará las normas sobre distancias de seguridad y además respetará las incompatibilidades de almacenamiento entre explosivos iniciadores y rompedores.

La operación de destrucción siempre deberá considerarse como una operación de riesgo sobre la que hay que renovar la formación, permanentemente, a los operarios encargados de su realización.

Nunca debe olvidarse que la destrucción es, en muchas ocasiones, más peligrosa que la fabricación del artículo en sí, y ha sido origen de múltiples accidentes, llegando en algunos casos a ser mortales.

A continuación, se detallan algunas medidas de control las cuales hay que tener muy presente dentro del plan:

- ✓ Contar con procedimientos para la disposición final de los artefactos explosivos en desuso.
- ✓ Obtención de hojas de seguridad de los artefactos explosivos.
- ✓ Implementar una estadística del material que ha sido dado de baja por perder su vida útil.
- ✓ Conocer los impactos ambientales generados por la disposición final de los explosivos.
- ✓ Capacitar al personal en el manejo de los residuos provenientes de los artefactos explosivos.
- ✓ La elaboración y aplicación de los procedimientos, permitirá mejorar los procesos y optimizar el control que se lleva a cabo.
- ✓ Elaboración del Plan de Gestión Integral para el manejo adecuado de los artefactos explosivos dados de baja.
- ✓ La definición de alternativas de disposición final tendrá como razón de ser minimizar los impactos ambientales comparados con la situación actual.
- ✓ La posibilidad de ser certificada en ISO 14001.
- ✓ Contar con un documento de plan de emergencias que sea de utilidad para el personal que labora en el área.

<p>6.- Traslado de explosivos al frente del carguío.</p>	<p>aceite hidráulico por rotura de mangueras.</p> <p>5.2.- Inhalación de material particulado.</p> <p>5.3.- Proyección de partículas a la vista por evacuación de detritus.</p> <p>5.4.- Ruido.</p> <p>5.5.- Atrapamiento de extremidades.</p> <p>5.6.- Caída desde un mismo nivel.</p> <p>6.1.- Choque/Volcamiento.</p>	<p>deberá tener a la vista a su ayudante antes de comenzar a perforar. Deberá haber contacto visual y coordinación entre ellos.</p> <p>Si no hay contacto visual y coordinación entre operador y ayudante No se deberá perforar.</p> <p>5.1.2.- Realizar diariamente el Chek list de los componentes de la perforadora, incluyendo estado de las mangueras hidráulicas y neumáticas.</p> <p>5.2.1.- Uso obligatorio de EPP, respirador de 2 vías contra partículas de polvo.</p> <p>5.3.1.- Uso obligatorio de EPP, lentes de seguridad y/o herméticos en caso de fuertes vientos.</p> <p>5.4.1.- Uso obligatorio de EPP, protectores auditivos tipo copa.</p> <p>5.5.1.- El ayudante de perforación, no deberá andar con elementos o ropas sueltas y pelo largo que pueda generar riesgo de atrapamiento, con la rotación de la barra.</p> <p>5.6.1.- El ayudante de la perforación deberá, estar concentrado en el movimiento que efectuará en el área de perforación, visualizando las condiciones de la superficie del área de trabajo.</p> <p>5.6.2.- Mantener el orden u aseo del área de trabajo.</p> <p>6.1.1.- Chofer certificado con licencia interna y municipal vigente.</p> <p>6.1.2.- Camioneta de transporte de explosivos, deberá contar con todas las autorizaciones legales vigentes.</p> <p>6.1.3.- Estar atento a las condiciones del tránsito.</p> <p>6.1.4.- Realizar Chek list diario de la camioneta de transporte de explosivos.</p> <p>6.1.5.- El chófer de la camioneta de transporte de explosivos deberá contar con los siguientes cursos</p>
--	--	--

<p>7.- Distribución de los accesorios de tronadura y explosivos.</p>	<p>7.1.- Caídas al mismo nivel.</p> <p>7.2.- Caídas desde un distinto nivel.</p> <p>7.3.- Lumbago.</p> <p>7.4.- Iniciación prematura de los accesorios de tronadura y explosivos.</p> <p>7.5.- Caída de iniciadores y accesorios a los pozos.</p> <p>7.6.- Distribución errónea de los accesorios de tronadura.</p>	<p>- Inducción del proyecto. - Licencia Manipulador de Explosivos. - Manejo Defensivo. 6.1.6.- Observar el entorno antes de realizar una maniobra, especialmente cuando se traslade explosivo en ruta. 6.1.7.- Respetar señalizaciones de tránsito existentes e internas de proyecto. 7.1.1.- Verificar y estar atento a las condiciones del terreno. 7.1.2.- Mantener áreas despejadas y ordenadas. 7.2.1.- no acercarse al borde del banco sin protección anticaída. 7.3.1.- Posturas adecuadas, rodillas flectadas, espalda recta. 7.3.2.- No levantar más de la capacidad física, pedir ayuda si es necesario (Max 25 kg). 7.4.1.- Los manipuladores de explosivos deben realizar la distribución de accesorios y explosivos con precaución, teniendo cuidado de no maltratarlos, pisarlos o golpearlos. 7.4.2.- El área de carguío de explosivos y accesorios, deberá estar debidamente señalizada y demarcada con conos amarillo negro, banderolas y carteles alusivos a explosivos. 7.5.1.- Los accesorios a usar deben quedar a una distancia razonable del collar de los pozos, a fin de evitar su caída accidental. Si esto ocurriese se debe dar aviso inmediato al supervisor de quienes adoptaran las medidas correspondientes de recuperación de los accesorios caídos dentro del pozo. 7.6.1.- El supervisor de tronadura deberá revisar plano de carguío.</p>
--	---	--

<p>8.- Primados de pozos de tronadura.</p>	<p>8.1.- Mala detonación por cartucho en mal estado.</p> <p>8.2.- Destrucción de cartucho por golpe o caída violenta.</p> <p>8.3.- Detonación por impacto en la caída.</p> <p>8.4.- Caída del tubo con la prima al interior del pozo.</p>	<p>8.1.1.- En el caso de los cartuchos de dinamita, estos deben ser primados acorde a las instrucciones del fabricante.</p> <p>8.2.1.- Los manipuladores de explosivos, deben hacer descender con seguridad las primas hasta su ubicación final.</p> <p>8.3.1.- Los manipuladores de explosivos, deben hacer descender con seguridad las primas hasta su ubicación final.</p> <p>8.3.2.- Evitar el roce del tubo nonel o cordón detonante con las aristas del collar del tiro, estirando los brazos. Chequear el estado de las paredes de los pozos. En aquellos que se detecten agrietamiento y posibilidades de desprendimiento de rocas en su interior, se deberá primar doble.</p> <p>8.4.1.- El manipulador de explosivo deberá manipular con cuidado el tubo nonel, de tal forma que este no caiga al interior del pozo. Para esto se debe enrollar parte del tubo o cordón detonante en su mano y afirmarlo hasta que se encuentre amarrado al coligue u otro punto de sujeción.</p>
<p>9.- Tapado de pozo tronadura.</p>	<p>9.1.- Iniciación prematura.</p> <p>9.2.- Generación de tiro quedado.</p>	<p>9.1.1.- El tapado de pozos se realizará con palas de puntas no ferrosas. Esta operación se debe realizar, con el máximo de precaución de No golpear las líneas descendentes del tubo nonel o cordón detonante.</p> <p>9.2.1.- Esta operación se debe realizar, con el máximo de precaución, de No golpear las líneas descendentes del tubo nonel o cordón detonante con el objetivo de evitar cortes en las líneas anteriormente mencionadas, además, se debe tener precaución de No tapar con material</p>

<p>10.- Amarre de retardos de superficie.</p>	<p>10.1.- Caída a un mismo nivel.</p> <p>10.2.- Tiro quedado (Amarre erróneo de los accesorios).</p>	<p>grueso como rocas las cuales de igual forma pueden cortar las líneas descendentes.</p> <p>10.1.1.- Verificar y estar atento a las condiciones del terreno.</p> <p>10.2.1.- El supervisor de tronadura deberá revisar contra plano de carguío o amarre los accesorios de tronadura (detonadores noneles, conectores de superficie).</p>
<p>11.- Iniciación de Tronadura con línea de tubo nonel.</p>	<p>11.1.- Iniciación prematura.</p> <p>11.2.- No detonación del disparo.</p>	<p>11.1.1.- Ubicar la conexión en un lugar seguro, lejos de las paredes del banco (posible caída de rocas).</p> <p>11.2.1.- Asegurar la unión del detonador del tubo nonel al cordón detonante o tubo nonel con huincha aisladora.</p>
<p>12.- Extensión del tubo nonel.</p>	<p>12.1.- Iniciación prematura por estiramiento y corte violento del tubo no eléctrico.</p>	<p>12.1.1.- Extender en forma manual el carrete con el tubo eléctrico.</p>
<p>13.- Conexión del tubo No eléctrico al percutor manual.</p>	<p>13.1.- Mala conexión.</p> <p>13.2.- Detonación prematura.</p>	<p>13.1.1.- Asegurar que el tubo no eléctrico, sea cortado en 90°, y este sea alojado en el orificio del disparador, lo más ajustado posible.</p> <p>13.2.1.- Mantener hasta el último momento el seguro tipo chaveta del percutor manual.</p>
<p>14.- Colocación del fulminante tipo “escopeta” en el percutor.</p>	<p>14.1.- Falla del fulminante.</p>	<p>14.1.1.- Realizar en forma periódica mantención a los disparadores manuales. Disponer de al menos de un disparador de repuesto o recambio.</p>
<p>15.- Iniciación del disparo o repetición ante fallas.</p>	<p>15.1.- Iniciación sin orden previa.</p>	<p>15.1.1.- Esperar cuenta regresiva, y orden de iniciación del líder de tronadura.</p>
<p>16.- Retiro del tubo no eléctrico.</p>	<p>16.1.- Atropellamiento.</p>	<p>16.1.1.- Avisar a líder de tronadura y jefe turno de los sectores donde se está recogiendo el tubo no eléctrico para advertir al personal y contratista que están ingresando al área.</p>

15. PLAN DE EMERGENCIA

1. Objetivo General

- Establecer el procedimiento en caso de emergencia, en las dependencias de nuestra obra e instalaciones de faena y en los frentes de trabajos, con la finalidad de proteger la integridad física de las personas, prevenir y minimizar daños a las instalaciones.

2. Objetivos específicos

- Reaccionar en forma rápida y oportuna a una emergencia. (Sismo, Incendio, y/o Terremotos, Emergencias Químicas).
- Minimizar lesiones a las personas, daños a los equipos, instalaciones y medio ambiente.
- Lograr el cumplimiento en instalaciones de Faena respecto a la normativa vigente aplicable.
- Disponer de los elementos de extinción necesarios para combatir amagos de incendio.
- Capacitar a todo el personal presente en las instalaciones de Faena para la reacción correcta y oportuna frente a situaciones de emergencia.
- Controlar los amagos de incendios con los equipos asignados.
- Establecer el flujo comunicacional necesario para la evacuación de las instalaciones.
- Maximizar la utilización de recursos disponibles para lograr una correcta reacción ante situaciones de emergencia.

3. Alcance

Este procedimiento se aplica a todas las áreas y todo el personal que componen las instalaciones de Faenas, oficinas administrativas del proyecto.

Toma en cuenta al siguiente personal y las siguientes situaciones posibles:

- Administrativos, personal en general y visitas.
- Oficinas, instalaciones de faenas, equipos, salas de reuniones, talleres, patios, plantas, bodegas etc.
- Comprende los siguientes incidentes:
 - Sismos.
 - Incendio.
 - Accidentes a personas.
 - Anegamientos.

- Emergencias producidas por sustancias peligrosas.

5. Definiciones

5.1 Plan de Emergencia:

Es un ordenamiento, de las acciones, materiales, elementos técnicos y humanos, además de las asignaciones de responsabilidades administrativas y técnica de una comunidad, con el propósito de reforzar las condiciones de seguridad frente a un evento adverso, tales como incendios, sismos, accidentes etc.

5.2 Sismos:

Movimiento convulsivo en el interior de la tierra y que genera una liberación repentina de energía que se propaga en forma de onda, provocando el movimiento del terreno.

5.3 Incendio:

Fuego descontrolado, acontecimiento no deseado, pero aun que ocurren contra nuestra voluntad, siempre hay causas que lo provocan. Para prevenirlos, es necesario determinar y eliminar las causas que puedan producirlos.

5.4 Alerta:

Estado declarado con el fin de tomar precauciones específicas entre lo probable y cercana ocurrencia de un evento adverso.

5.5 Alarma:

Mecanismo de aviso; señal sonora, visual o mixta que tiene por objetivo avisar de la proximidad de un incidente.

5.6 Evento Adverso:

Alteraciones intensas en las personas, los bienes, los servicios y el ambiente de una comunidad, causadas por un suceso natural o provocado por la actividad humana.

5.7 Accidente:

Hecho imprevisto que irrumpe en un proceso normal de trabajo y que puede causar lesiones, pérdida de tiempo y/o daños a la propiedad.

5.8 Emergencia Química:

Situación producida por el derrame o reacción de elementos químicos que se encuentran almacenados en las bodegas de la instalación.

6. Responsabilidades

6.1 Gerente de proyecto

- Deberá de revisar y aprobar el presente procedimiento, a su vez velar por su cumplimiento y apoyar todo esfuerzo que se haga para mejorarlo.

6.2 Jefe de tramo

- Será responsable de cumplir y hacer cumplir este Plan de Emergencia.
- Liderar y apoyar las evacuaciones de las instalaciones ante una emergencia.

6.3 Jefes de Prevención de Riesgos

- Conocer, respetar y velar por el cumplimiento del Plan de Emergencia.
- Asesorar en la capacitación y entrenamiento del personal.
- Proveer apoyo y asistencia en instrucciones sobre nuevas normativas legales.
- Revisar observaciones o desviaciones del plan.

6.4 Comité de Seguridad

6.5 Jefe de Emergencia (por instalación de Faena)

6.6 Equipos de Alarma y Evacuación

6.7 Líderes de Emergencia

6.8 Funciones y responsabilidades

- Efectuar labor preventiva.
- Combatir amagos de incendio con extintores portátiles (medios de primera intervención) en su zona de actuación.

7. Modo Operativo

7.1. Sistema de seguridad de las instalaciones

Las instalaciones de seguridad cuentan con extintores ubicados en zonas apropiadas.

Con respecto a las zonas de seguridad que están estipuladas:

- Existe un gabinete donde se encuentren los tableros eléctricos, en los que se puede desconectar la energía de las distintas áreas de las instalaciones.
- Para el control de evacuación se encuentran implementadas señales de vías de escape, con dirección hacia salidas de emergencia.
- Para la atención de accidentes leves, se derivará al afectado, hasta el centro de atención de urgencia más cercano.

7.2 Clasificación de las emergencias

En función de la gravedad de la emergencia, se suele clasificar en distintos niveles:

- a. **Amago de emergencia:** situación que puede ser controlada y solucionada de forma sencilla y rápida por el personal y medios de protección del local, dependencia o sector.
- b. **Emergencia parcial:** situación que para ser dominada requiere la actuación de equipos especiales del sector. No es previsible que afecte a sectores colindantes.
- c. **Emergencia general:** situación para cuyo control se precisa de todos los equipos y medios de protección propios y la ayuda de medios de socorro y salvamento externos.

Generalmente significará evacuaciones totales o parciales.

7.3 Acciones

Las distintas emergencias requerirán la intervención de personas y medios para garantizar en todo momento:

- La alerta, que de la forma más rápida posible pondrá en acción a los equipos de emergencia.
- La alarma para la evacuación de los ocupantes del establecimiento.
- La intervención para el control de las emergencias.
- El apoyo para la recepción e información a los servicios de ayuda exterior. (Bomberos, Carabineros, SAMU, Mutual, etc.)

Para logra una correcta coordinación entre todos los estamentos actuantes ante una emergencia y dar eficacia y fluidez a las órdenes que darán lugar a la activación de las distintas acciones a tomar, es aconsejable centralizar en un centro de control la información y toma de decisiones durante el desarrollo de una situación de emergencia. Para ello se definirá un centro de control que estará ubicado en un lugar accesible y seguro del edificio. En el mismo estarán centralizados los medios de comunicación y en general toda la información necesaria durante una emergencia.

7.4 Comité de seguridad

7.4.1 Objetivo

Promover y dirigir el proceso de diseño y actualización permanente del Plan de Emergencia y Evacuación para las instalaciones de faenas como herramienta sustantiva para el logro de un objetivo transversal fundamental, como lo es el desarrollo de hábitos de seguridad, permitiendo a la vez, cumplir con un mejoramiento continuo de las condiciones de seguridad en la unidad preventiva.

7.4.2 Funciones y responsabilidades

- Convocar a reunión de personal y administrativo.

- Incentivar entrega de conocimientos relacionados con distintos tipos de riesgos, relacionar el conocimiento técnico con su aplicabilidad en el Plan Específico de Seguridad en el seno del recurso humano de las oficinas e instalaciones.
- Coordinar reuniones semestrales para realizar actividades y estrategias de cómo reaccionar ante una emergencia.
- Revisar el correcto funcionamiento del plan como además realizar una retroalimentación de este que nos permita corregir errores detectados.
- Informar de los cambios al personal de la empresa.
- Incentivar la atención sobre el tema, dada su incidencia prioritaria en la calidad de vida de todos los estamentos.
- Discutir con todos los integrantes del comité, las prioridades que se establecerán, para ir mejorando la seguridad de las oficinas e instalaciones de faenas.

7.5 Equipo de alarma y Evacuación (E.A.E)

Entre sus misiones fundamentales, el E.A.E destacan prepara la evacuación, entendiendo como tal la comprobación de que las vías de evacuación están expeditas. Toma de puestos en puntos estratégicos de las vías de evacuación y dirigir el flujo de evacuación.

7.5.1 Funciones y responsabilidades

- Dar la alarma; atendiendo a la decisión del jefe de emergencia.
- Cooperar con la correcta evaluación de los recursos.
- Conducción y barrido personas hacia las vías de evacuación.
- En puertas, controlando la velocidad de evacuación e impidiendo aglomeraciones.
- Finalmente apoyar al comité con ideas que respectan con su área y lugar de trabajo, detectando acciones y condiciones inseguras.

El **E.A.E** debe también comprobar la evacuación de sus zonas y controlar las ausencias en el punto de reunión exterior una vez que se haya realizado la evacuación.

7.6 Equipo de Primeros Auxilios (E.P.A)

Integran este equipo, Líderes de Emergencia y Comité Paritario de Higiene y Seguridad. Su misión será prestar los primeros auxilios a los lesionados durante una emergencia. Esta figura de asistencia en primeros auxilios se encuentra en un contexto de atención preliminar y preparatoria ante la concurrencia de Ambulancia, SAMU, y/o Mutual de Seguridad, quienes serán los encargados de atender los afectados, para evitar que lesiones presentadas no empeoren y estos últimos procedan a estabilización de lesionados graves para ser evacuados. Para preparación a equipos de primeros auxilios se debe incorporar dentro de programa de capacitaciones de Obra, la capacitación y preparación del personal.

7.6.1 Funciones y responsabilidades

- La intervención para el control de los accidentes.
- El apoyo para la recepción e información a los servicios de ayuda exterior. (Bomberos, Carabineros, SAMU, etc.)
- Tención de primeros auxilios a lesionados durante un accidente o emergencia.

7.7 jefe de emergencia (JE)

Corresponde al Jefe de Prevención de Riesgos, que se le asigna la máxima autoridad en el establecimiento durante las emergencias. Actuará desde el punto de la emergencia y/o centro de control (lugar donde se centraliza las comunicaciones). Deberá ser una persona permanentemente localizable durante la jornada laboral, con un conocimiento sólido teórico-práctico en seguridad y prevención de riesgos.

A la llegada del servicio público (si correspondiere) de extinción les cederá el mando de las operaciones informando y colaborando con los mismos en lo que le sea solicitado.

7.7.1 Funciones y responsabilidades

- Solicitar, apoyo a las unidades del sector, de Carabineros, Bomberos y Salud, en caso de emergencias.
- Establecer y mantener una permanente coordinación con los integrantes del Comité de Seguridad.
- Inspeccionar las instalaciones periódicamente para determinar sus posibles riesgos y evaluar medidas de control a tomar.

7.8 Como actuar en caso de emergencia

7.8.1 Sismos

a) Refugio

- Quédese en su lugar de trabajo, refúgiense debajo de su escritorio o mesa de trabajo, protegiéndose de elementos que puedan caer durante el sismo, aléjese de las ventanas.
- Espere instrucciones del Jefe de Emergencia para realizar la evacuación.

b) Evacuación

- El desplazamiento debe hacerse hacia las puertas de escape. Las vías de escape estarán debidamente señalizadas y libres de obstáculos.
- Ver procedimiento de evacuación.

Nota: Existen menores posibilidades de lesionarse quedándose dentro del edificio en el lugar de trabajo que fuera del edificio en caso de sismos, por caída de árboles, cables del tendido eléctrico y otros.

7.8.2 Incendios

a) Notificación del incendio

- Notificar al Jefe de Emergencia (Unidad de Prevención de Riesgos) u/o Integrantes de Equipo de Emergencia, y comunicar hechos.
- Jefe de Emergencia, inspeccionan lugar del siniestro con extintores, emplea extintores de Polvo Químico Seco o CO2 en caso de computadoras, apuntando a la base del fuego con movimiento de abanico lateral, en varias descargas, si correspondiere.

b) Realiza llamado a Bomberos.

- El equipo de Alarma y Evacuación (E.A.E), u/o el Jefe de Emergencia dará aviso a Bomberos, cuando se declare una emergencia parcial.

c) Evacuación

- Si existe humo en el piso siniestro, el desplazamiento hacia las puertas de escape debe realizarse agachándose o caminando en cuclillas (el humo tiende a subir). Las vías de escape estarán debidamente señalizadas.

7.8.3 Atención de accidentes

1. Notificación del accidente

- Notificar el Jefe de Emergencia (Unidad de Prevención de Riesgos) y al Supervisor del accidentado, comunicar los hechos y estado de los accidentados. Esta comunicación debe realizarse inmediatamente sucedido el accidente.
- Jefe de Emergencia si procede, coordina el traslado del paciente a centro asistencial más cercano y si la gravedad lo amerita solicita traslado por ambulancia a Mutual según corresponda. Cabe señalar que para el traslado del personal se dispondrá de la ambulancia de la Unidad de Prevención de Riesgos u/o externa.

2. Atención de Primeros Auxilios

- Serán encargados de prestar primeros auxilios como medida de contención de accidentes, las personas debidamente capacitadas preparadas para este tipo de acciones.

3. Traslado a Mutual de Seguridad

- En caso de ser una lesión no menor, se dispondrá el traslado del lesionado en un vehículo de la compañía a la Mutual de Seguridad ubicadas en: Autopista Concepción - Talcahuano 8720, sector El trébol, Hualpén, fono: 41-2727300 para lo cual se comunicará previamente con el teléfono de la mesa central de la Mutual de Seguridad al N° (041) 2727300.
- El lesionado SIEMPRE debe ser trasladado acompañado por una persona, el cual será designado por el Jefe de Emergencia o bien, por su jefe directo.

7.8.4 Procedimiento de evacuación

a) Esperar instrucciones

- Jefe de Emergencia entregará las instrucciones oportunamente, permanecer en silencio para escuchar las instrucciones del supervisor.

b) Evacuar las instalaciones

- Realice la evacuación rápidamente, en forma tranquila y ordenada, siguiendo las indicaciones de la señalización implementadas en la instalación. NO regrese a buscar sus cosas.

c) Reunirse en la Zona de Seguridad

- Todo el personal deberá reunirse en un área fuera de la zona de peligro, la cual estará claramente definida en cada instalación. Esto permite notificar a Bomberos (en caso de incendio), que existan personas en las oficinas que requieren ayuda y no han logrado evacuar las mismas.
- En esta zona se entregarán nuevas indicaciones sobre los hechos.

Importante:

- **NUNCA** corra durante la evacuación.
- **NUNCA** volver a su lugar de trabajo mientras se realiza la Evacuación.
- Si es posible, ayude a personas que tengan dificultades para trasladarse durante la Evacuación.

f) Llamado de Ambulancia

- En caso de lesiones graves, en las cuales no es recomendado trasladar al lesionado, se solicitará Ambulancia a la Mutual de Seguridad al teléfono de emergencia (41) 2480067, Urgencias.
- El lesionado SIEMPRE debe ser trasladado acompañado por una persona a la faena, el cual será designado por el Jefe de Emergencia.

e) Investigación de Accidentes del trabajo

- La Unidad de Prevención de Riesgos deberá realizar una completa investigación del accidente, en cuyos reportes de hará mención de las medidas correctivas necesarias para evitar la recurrencia del accidente.

7.8.5 Simulacros

Se efectuará al menos una vez al año. Los objetivos principales de los simulacros son:

- Detectar errores u omisiones tanto en el contenido del Plan como en las actuaciones a realizar para su puesta en práctica.
- Habituarse a los ocupantes a evacuar el establecimiento.
- Prueba de idoneidad y suficiencia de equipos y medios de comunicación, alarma, señalización, alumbrados especiales y de extinción en su caso.
- Adquirir experiencia y soltura en el uso de equipos y medios.
- Estimación de tiempos de evacuación, de intervención de equipos propios y de intervención de ayudas externas.

Los simulacros deberán realizarse con el conocimiento y en lo posible con la colaboración del cuerpo de Bomberos y/o otras ayudas externas que tengan que intervenir en caso de emergencia. Asimismo, es necesario solicitar permiso de las autoridades en caso de que se prevea que puedan ocasionarse problemas de tráfico al existir un gran incendio o emergencia.

La preparación de los simulacros debe ser exhaustiva, dejando el menor resquicio posible a la improvisación, previendo, entre otros, los problemas que la interrupción de la actividad, aunque sea por un espacio corto de tiempo, pueda ocasionar. Se debe disponer de personal para el cronometraje.

La información al personal en un primer simulacro debe ser total, incluso indicando día y hora. En función de los resultados se disminuirá aquella gradualmente, hasta llegar a

realizarlos sin previo aviso, con lo que se conseguirá que las actuaciones se desarrollen casi de manera automática.

Por último, será necesario contemplar la posibilidad de emergencia real durante el simulacro y disponer de los medios necesarios para su control.

8.8 ESQUEMAS OPERACIONALES PARA EL DESARROLLO DEL PLAN

Se ha diseñado diagramas de flujo para las diferentes emergencias y planos de evacuación, estarán ubicados en cada dependencia, según corresponda.

8.1 Implementación

Por implantación del plan de emergencia entendemos el conjunto de medidas a tomar o secuencia de acciones a realizar para asegurar la eficacia operativa del mismo.

8.2 Responsabilidad

- Gerente de Proyecto.
- Jefes de Tramo.
- Prevención de Riesgos

8.3 Organización

Coordinación de acciones de acciones necesarias para la implantación y mantenimiento del Plan de emergencia, a través del COMITÉ DE SEGURIDAD en los casos en que se considere preciso.

8.4 Medios Técnicos

Programa de mantenimiento de las instalaciones y de los medios de prevención y protección exigibles según la legislación vigente.

8.5 Medios Humanos

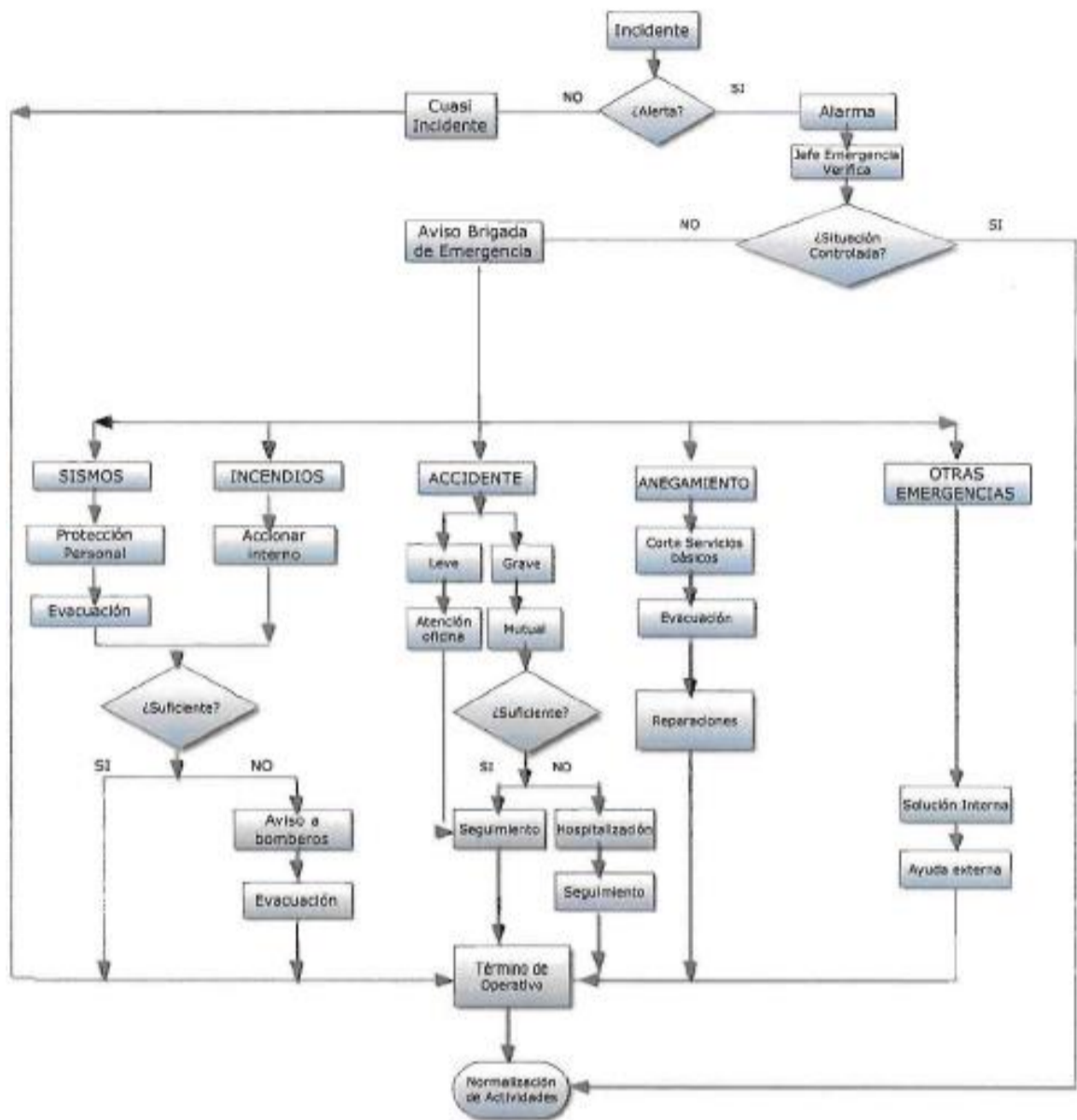
La adecuación de los medios humanos a las necesidades del plan no se limitará a la constitución de equipos. A tal fin se celebrarán reuniones informativas a las que asistirán

todos los integrantes de la comunidad, en las que se explicará el plan de emergencia, estas se referirán, al menos, a;

- Precauciones adoptar para evitar las causas que pueden originar una emergencia.
- Forma en que deben informar cuando detecten una emergencia.
- Forma en que se les transmitirá la alarma.
- Información sobre lo que se debe hacer y lo que no ante una emergencia.

Los equipos de emergencia y sus jefes recibirán formación y adiestramiento adecuado a responsabilidades que se les encomiendan en el plan. Al menos una vez al año se programarán cursos y actividades de este tipo.

ANEXO 1: FLUJOGRAMA PLAN DE EMERGENCIA



ANEXO 2: TELÉFONOS DE EMERGENCIA



	DIRECCIONES Y TELÉFONOS DE URGENCIA EN CONCEPCIÓN	DIRECCIONES Y TELÉFONOS DE URGENCIA SANTIAGO
AMBULANCIAS 	: 131	: 131
HOSPITALES 	DIRECCION: Autopista Concepción Talcahuano N°8720 : (41) 2727300 (Mesa Central) (41) 2480067 (Urgencias)	DIRECCION: Mutual de Seguridad Av. Libertador Bernardo O'Higgins N° 4848 : 677 5000 (Mesa Central) 677 5322 (Ambulancia)
CENTROS DE URGENCIA 	Hospital Clínico Regional Dr. Guillermo Grant Benavente : (41) 2722500 (Mesa Central)	DIRECCION: Hospital Salvador – Posta de Urgencia Rancagua 750 : 340 4359 (Urgencia) 340 4452 (Mesa Central)
CARABINEROS 	CONCEPCIÓN: Hipólito Salas N° 329 (041) 2141095 TRANSITO: Av. Jorge Alessandri (041) 2141180 YUMBEL: General Cruz N° 600 (41) 243142	: 133 Fono Drogas: 135 Fono Información Policial: 139
SAG (Incendios-volcamientos- derrames-animales)	Serrano N° 529, 2° Piso. Casilla 2960 (41) 2620280	6764040-6764008- 6764002
CONAF (Incendios forestales)	REGIONAL: Barros Arana 215 Piso 2 (41) 2624 000 Central Coordinadora Regional: Lincoyán 471 (41) 2624029	: 130
ONEMI	REGIONAL: Avda. Pedro de Valdivia 495, (41) 2332426	DIRECCION: Beauchef 1637 : 252 4366
SEREMI SALUD	(41) 2726100 Mesa Central	

16. CONCLUSIONES

En el siguiente plan la finalidad es mantener siempre los procedimientos y objetivos actualizados e implementar su mejora continua y efectividad conforme se va aplicando en diferentes rubros u obras para así poder llegar a una eficiencia y cumplimiento de las normas legales que se establecen y el cumplimiento íntegro de dicho plan.

Como se aprecia existen varios tipos de explosivos que pueden ser utilizados, donde la decisión final radica netamente en las circunstancias y características necesarias para el desarrollo. Si bien se entrega una pauta de los explosivos a utilizar, en la práctica esto puede variar debido a las condiciones que se puedan presentar al momento de cargar los tiros, es fundamental que los trabajadores que desarrollen esta función tengan un conocimiento acabado sobre los explosivos y cuenten con las correctas certificaciones de manipulación de explosivos.

17. ANEXOS

LISTA DE VERIFICACIÓN					
OBRA:			ENCARGADO DE LA INSPECCION:		
EMPRESA:			FECHA:		
ACTIVIDAD:			FIRMA:		
ITEM	CHECK LIST	SI	NO	N/A	FECHA CORRECCION
DETONACIONES					
1	¿Son verificadas las cualificaciones y credenciales del contratista?				
2	¿Se completa y contabiliza el inventario explosivo en todo momento?				
3	¿Son inspeccionadas las corrientes eléctricas parásitas?				
4	¿Son utilizadas colchonetas de voladura cuando es necesario?				
5	¿Están en su lugar todos los letreros, señales de advertencia y equipo de protección?				
6	¿Se elimina del área el personal que no es esencial?				
7	¿Se limitan las transmisiones de radio?				
8	¿Existen procedimientos para manejar las fallas de detonación?				
9	¿Son almacenados correctamente los explosivos?				
10	¿Está prohibida la pólvora negra?				
11	¿Existe personal con experiencia y capacitado para manejar los explosivos?				
12	¿Son probados los detonadores antes de cada detonación?				
13	¿Es inspeccionada el área después de cada detonación?				
14	¿Es apropiada la eliminación de envolturas, desperdicios y desechos después de cada detonación?				
15	¿Son suspendidas las operaciones durante tormentas eléctricas o cuando hay relámpagos dentro de 10 millas distancia?				
16	¿Son almacenados adecuadamente los explosivos y materiales relacionados?				
17	¿Son llevadas a cabo todas las operaciones de detonación en horario previsto?				

Figura 54: Lista de verificación

PROCEDIMIENTOS RECOMENDABLES DE DESTRUCCIÓN				
GRUPO	TIPO	COMBUSTIÓN/ QUEMADERO CON RAMPA	COMBUSTIÓN/ QUEMADERO DISCONTINUO	DETONACIÓN
Explosivos con Nitroglicerina y/o Nitroglicol	Gomas, Gelatinas, Amonitas, Ligamitas, Explosivos de seguridad	X	X	X (P)
	Lodos de limpieza conteniendo Nitroglicerina/Nitroglicol		X	X
Otros explosivos rompedores	TNT, Hexolita, Hexotonal, RDX, Hexoceras, Pentrita, Pentolita, Cordón detonante (*), Explosivos plásticos, Lodos de RDX/Pentrita/TNT		X (p.c.)	X (P)
Explosivos con base Nitrato Amónico/Nitrato de Monometilamina	ANFO(**)		X	
	Emulsiones a granel (G) y encartuchados (E)	X (G)	X (G-E)	X
	Hidrogeles	X	X	
	Alnafo (1)		X	
	Nitrato de Monometilamina y sus residuos, Sabulita		X	
	Lodos de emulsiones		X	X
Pólvoras y propulsantes	Nitrocelulosa/Nitrofilm, pólvora negra, pólvora simple base, pólvora doble base y demás propulsantes	X	X	
	Granos propulsantes y de cohetes (*)			
Iniciadores	Detonadores			X
	Pistones		X	
	Artificios de voladura		X	X
Varios	Envases vacíos con residuos, Serrines impregnados de sustancias explosivas	X		

Observaciones:

- (P): Preferentemente detonación.
- (p.c.): Pequeñas cantidades tomando las medidas precisas.
- (1): Su disolución es contaminante.
- (*): Destrucción en condiciones particulares.

Figura 55: Procedimientos recomendables de destrucción

SISTEMA DE GESTION DE SEGURIDAD Y SALUD		PG.10.09 Ch.-F14 Ed 01	
ACTIVIDAD PREVENTIVA OPERACIONAL		Pág.105 de 130	
Centro de Trabajo:		Empresa:	
País:	Línea de Negocio:	<input type="checkbox"/> Corporativo <input type="checkbox"/> Concesiones <input checked="" type="checkbox"/> Infraestructuras <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Servicios	
Tipo de Actividad Preventiva:			
<input type="checkbox"/> Curso Caminata <input type="checkbox"/> Taller <input type="checkbox"/> Reunión <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Charla Comité/Comisión <input type="checkbox"/> Instrucción <input type="checkbox"/> Investigación incidente <input type="checkbox"/> Otro <input type="text"/>			
Temas:		Fecha:	
		Hr. Inicio	Hr. Termino
Autor:		Firma:	
Nº	Nombres y Apellidos	Rut	Firma
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Observaciones / Comentarios:			

Figura 56: Formato actividad preventiva operacional

18. BIBLIOGRAFIA

Bernaola J., “Sistemas de Perforación. Fundamentos y campo de aplicación”. Cátedra de Laboreo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Universidad Politécnica de Madrid. 2004

Bernaola J., “Fundamentos de diseño de voladuras”. Cátedra de Laboreo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Universidad Politécnica de Madrid. 2004

Berta G., “Explosives, an Engineering Tool”. Italesplosivi, Milano, 1990

Castilla Gomez J. y Herrera Herbert J., "Environmental risk assessment in open pit blasting operations: Compliance with ISO 31010", 22nd World Mining Congress & Expo, Istanbul, Turkey, 2011.

ENAE, “Manual de Tronadura”.

EXSA. “Manual práctico de voladura”, 3º edición, Lima, 2000.

Gustafsson R., “Técnica Sueca de Voladuras”, Suecia, 1977

Hartman H., “Introductory. Mining Engineering”. J.Wiley & Sons. 1987

Hustrulid, W. “Blasting Principles for Open Pit Mining”. Balkema Publishers. ISBN 978-9054104582. 1999

ISEE - International Society of Explosives Engineers, “Blaster’s Handbook”, 18th Edition, 2010.

Langefors & Kilström, “Técnica Moderna de Voladura de Rocas”, Suecia, 1987

Marjoribanks R., “Geological Methods in Mineral Exploration and Mining”. ISBN 9783540743705, Springer, 2010

The Australian Drilling Industry. “Drilling: The Manual of Methods, Applications, and Management”. Training Committee Limited. CRC Press. ISBN 978-1566702423. 1997

Unión Española de Explosivos, “Manual de Empleo de Explosivos”, Madrid. 2002

AENOR. Asociación Española de Normalización.

“Recomendaciones de Seguridad para la Destrucción de Explosivos”, Dirección General de Política Energética y Minas, Ministerio de Economía del Gobierno de España.

Recursos web

www.atlascopco.com (Maquinaria)

www.miningandconstruction.sandvik.com (Maquinaria)

www.oricaminingservices.com (Explosivos)

www.epc-groupe.com (Explosivos)

www.austinpowder.com (Explosivos)

www.dynonobel.com (Explosivos)

www.daveybickford.com (Sistemas de iniciación)

www.maxam.net (Explosivos)

www.exsa.net (Explosivos)

www.enaex.cl (Explosivos)

www.explocen.com.ec (Explosivos)

www.idealblasting.com (Accesorios de voladura)

www.instantel.com (Accesorios de Voladura. Sismógrafos)

www.explosivos.wikidot.com (detonadores no eléctricos)

