

---

---

REPUBLICA DEL PERU

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS

---

---

**GUIA AMBIENTAL PARA LA  
PERFORACION Y VOLADURAS EN  
OPERACIONES MINERAS**

---

---

SUB-SECTOR MINERIA

DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS  
AMBIENTALES

LIMA – PERU  
SETIEMBRE, 1995

# INDICE

<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>	
Objetivos de la guía	1	
Definiciones	2	
<b>Capítulo I OPERACIONES DE VOLADURA</b>	<b>7</b>	
Consideraciones Generales	7	
Control de Efectos Adversos	9	
<b>Capítulo II EXPLOSIVOS</b>	<b>31</b>	
Almacenamiento de Explosivos	31	
Uso de Explosivos	44	
Transporte	48	
<b>Capítulo III Operación Minera Unitaria de Voladura</b>	<b>53</b>	
Voladura Eléctrica: En Superficie y Subterránea	53	
Voladura No Eléctrica: En Superficie y Subterráneo	55	
Corrientes Eléctricas Erráticas o Extrañas en Superficie y en Labores Mineras Subterráneas	57	
<b>Capítulo Iv Operación Minera Unitaria de Perforación</b>	<b>63</b>	
Operaciones de Perforación	63	
<b>Cuadros y Figuras</b>	<b>69</b>	
Cuadro 1	Almacenaje en Superficie de Materiales Explosivos	69
Cuadro 2	Tabla de distancia de Separación	70
Cuadro 3	Mantenimiento y construcción comunes a todos los tipos de instalaciones para almacenes	71
Cuadro 4	Distancia para almacenar bajos explosivos	72
Cuadro 5	Construcción de almacén tipo I	73
Cuadro 6	Construcción de almacén tipo II	75
Cuadro 7	Construcción de almacén tipo III	76
Figura 1	Velocidad de Detonación vs. Porcentaje de Petróleo Diesel	77
Figura 2	Calor de Explosión (Q3) vgs. Porcentaje de Petróleo Diesel (FO)	78
<b>Referencias</b>	<b>79</b>	
<b>Glosario de Términos Técnicos Inglés-Castellano</b>	<b>81</b>	

## INTRODUCCIÓN

La perforación y voladura es generalmente la primera, y tal vez la más importante operación minera unitaria en el ciclo total de minado. Los diseños de voladura inadecuado o de funcionamiento defectuoso podrían tener graves consecuencias lo largo del ciclo de minado, empezando en la voladura misma y prosiguiendo a través de las operaciones minera unitaria de carguío, acarreo y chancando.

Las buenas operaciones de perforación y voladura en las minas son tanto el resultado del «arte» y cierto sentido común, así como la «ciencia». En tal sentido, todo programa exitoso de perforación y voladura deberá implementarse de acuerdo a las condiciones geológicas, de aplicación, ambientales y de seguridad presentes. Sin embargo, todas las operaciones de perforación y voladura (P&V), tanto en las minas a tajo abierto como subterránea, deberá conducirse de conformidad con practicas operativas seguras, diseñadas para minimizar los impactos ambientales nocivos, así como para garantizar un ambiente un ambiente de trabajo y seguro para los trabajadores de la mina.

### 1. Objetivos de las Guías

La presente Guía trata específicamente los temas ambientales generalmente, así como aquellos que se relacionan con la salud y la seguridad de los trabajadores, en las operaciones de minería unitaria de perforación y voladura que se efectúan en minas de tajo abierto y subterráneas ubicadas en el Perú.

Las prácticas de operación recomendadas que contiene este documento pretenden:

- a) Suplementar las regulaciones publicadas en el D.S. 023-92-EM Reglamento de Seguridad e Higiene Minera y el Unico Ordenado de la Ley General de Minería D.S. 014-92-EM Título Décimo Quinto referido al Medio Ambiente.
- b) Proporcionar pautas uniformes, de acuerdo con las realidades mineras del Perú, que puedan usarse para diseñar e implementar operaciones de perforación y voladuras ambientalmente seguras en minas de tajo abierto y subterráneas.
- c) Promover la salud y la seguridad de los trabajadores en relación a las operaciones de transporte, almacenamiento, manipulación y uso de materiales explosivos en las minas.

# Introducción

---

- d) Proporcionar protección al público riesgos producidos por operaciones inadecuadas de perforación y voladura.
- e) Promover la estandarización de la terminología y ciertas prácticas de operación que se refieren a las operaciones mineras unitarias de perforación y voladura, dado que ellos están relacionados tanto con el ambiente humano como con el natural.

## 2. Definiciones

A continuación, se presentan las definiciones que se aplicarán a todo el documento.

### **Mezcla de nitrato de amonio-petróleo diesel (ANFO)**

Agente explosivo que no contiene otros ingredientes esenciales fuera de nitrato de amonio “prilled” y el petróleo diesel N° 2.

### **Vigilado**

Presencia de un individuo o moitoreo continuo para evitar el ingreso o acceso no autorizados. Adicionalmente, las áreas que contienen material explosivo en lzonas subterráneas de un mina pueden considerarse atendidas cuando todo acceso a las áreas subterráneas de la mina esté cerrado a la entrad no autorizada. Los pozos verticales se considerrán seguros. Los pozos inclinados o socavones se consideran seguros cuando se cierrren en la superficie.

### **Pólvora negra (pólvora)**

Sustancia que consiste en una mezcla íntima de carbón vegetal u otro carbono ( C ) y potasio (K) o nitrato de sodio ( $\text{NaNO}_3$ ), más azufre (S). Puede presentarse molido, granular, comprimido o en pellets.

### **Area de voladura**

Area en la cual la concusión (onda de choque), el material lanzado o los gases producidos por una detonación podrían ocasionar daños a las personas. Al determinar el área de voladura deberán considerarse los siguiente factores:

- (1) La geología o el material que se va a volar;
- (2) Las mallas de perforación y voladura;
- (3) La mezcla explosiva burden, profundidad, diámetro y ángulo de los taladros;

# *Introducción*

---

- (4) La experiencia en voladura que se tenga de la mina;
- (5) El sistema de retardo, factor de carga y libras por retardo;
- (6) El tipo y cantidad de material explosivo; y
- (7) Tipo y cantidad de taco.

## **Sitio de voladura**

Area donde se manipula el material explosivo durante la carga, incluyendo el perímetro formado por los taladros y 50 pies (15,25m) en todas la direcciones desde los taladros cargados. El requerimiento de distancia de 50 pies también se aplica a lo largo de toda la profundidad del taladro. En las minas subterráneas, se pueden sustituir 15 pies (4,6 m) de viga o pilar sólidos por 50 pies de distancia.

## **Agente de voladura**

Cualquier compuesto o mezcla química insensible a los fulminantes que no contengan ningún ingrediente explosivo y que pueda hacerse detonar cuando se inicia con un primer (iniciador) explosivo de gran potencia (por ejemplo ANFO).

## **Boosters (iniciadores)**

Accesorios de voladura constituida por una carga explosiva detonante sin medios para iniciarse.

Se usan para iniciar a los agentes de voladuras.

## **A pruebas de balas**

Se refiere a polvorines resistentes a la penetración de un proyectil de 150 granos (9,7) M2, a 2700 pies por segundo (823m/s), disparado desde un rifle de calibre .30 (<8mm), a una distancia de 100 pies (30,5) perpendicular a la pared o la puerta.

## **Cordón detonante**

Cordón flexible que contiene un núcleo central de altos explosivos, el cual puede usarse para iniciar otros explosivos.

# *Introducción*

---

## **Dispositivos detonadores, no eléctricos para la voladura**

Detonadores no eléctricos ensamblados y activados con medios tales como una mesa de seguridad, manguera fanel, tubo de destellos o cordón detonante. Pueden ser de diseño instantáneo o incorporar elementos de retardo. Aquí se incluyen los detonadores de retardo que incorporan cordón detonante.

### **Detonador**

Cualquier dispositivo que contenga una carga detonadora usada para iniciar un explosivo. Entre estos dispositivos se incluyen los fulminantes eléctricos y no eléctricos instantáneos o los fulminantes de retardo, y también los conectores de retardo. El término “detonador” no incluye al cordón detonante. Comúnmente, los detonadores consisten en un pequeño tubo metálico o plástico que contiene explosivos, tales como azido” de plomo, PETN o combinaciones de explosivos. Están diseñados para iniciar un tren de voladura. Pueden construirse para detonar inmediatamente o pueden contener un elemento de retardo. Pueden contener no más de 10g de peso total de explosivos, sin incluir las cargas de ignición y retardo, por unidad.

### **Dinamita**

Explosivo detonante que contiene un ingrediente explosivo líquido (generalmente nitroglicerina, ésteres orgánicos similares de nitrato, o ambos), mezclado uniformemente con un material absorbente, como pulpa de madera, y que usualmente contiene materiales como nitrocelulosa, nitrato de sodio y de amonio.

### **Emulsión**

Material explosivo que contiene cantidades sustanciales de oxidantes disueltos en pequeñas gotas de agua, rodeados por un combustible inmiscible.

### **Explosivo de voladura.**

Sustancias explosivas detonantes usadas en minería, construcción y tareas similares. Los explosivos de voladura puede contener componentes inertes tales como diatomita y otros ingredientes menores, como agentes colorantes y estabilizadores.

### **Explosión deflagrante.**

Sustancia por ejemplo, de propulsión que reacciona por deflagración en vez de hacerlo por detonación cuando se enciende y es usada de manera normal.

# *Introducción*

---

## **Explosivo detonante**

Sustancia que reacciona por detonación en vez de por deflagración cuando se inicia y es usada de manera normal.

## **Altos explosivos**

Materiales explosivos que se usan para detonar por medio de un fulminante, cuando no están confinados (por ejemplo, dinamita, polvos centellantes y salvas a granel).

## **Bajos explosivos**

Materiales explosivos pueden ser usados para deflagrar cuando están confinados (por ejemplo: pólvora negra, mecha de seguridad, dispositivos de incendio, mechas rápidas y encendedores de mechas).

## **Material explosivo**

Explosivos, agentes de voladura y detonadores.

## **Punto de inflamación**

La temperatura mínima a la cual un líquido libera vapor suficiente para formar una mezcla inflamable de vapor y aire cerca de la superficie del líquido.

## **Mecha de seguridad**

Artículo que consiste en un núcleo de pólvora negra de grano fino, rodeado por tejidos flexibles con una o más cubiertas protectoras externas. Cuando se enciende, se quema a una velocidad predeterminada sin efecto explosivo.

## **Mecha rápida**

Accesorios de voladura que se quema progresivamente en su longitud con una llama externa en la zona de quemado; se usa para encender una serie de mechas de seguridad en una secuencia deseada.

# *Introducción*

---

## **Separación laminada**

Separación compuesta por el siguiente material y con dimensiones nominales mínimas de ½ pulgada (1,3cm) de madera terciada gruesa; ½ pulgada de cartón de yeso; 1/8 de pulgada (30mm) de acero de carbón; ¼ de pulgada de espesor (60mm) de madera terciada gruesa, todos ellos unidos en ese orden. Pueden usarse otras combinaciones de material, como madera terciada, madera o cartón de yeso como aislantes, y acero o madera como elementos estructurales, a condición de que la partición sea equivalente a una separación laminada para fines tanto de aislamiento como estructurales.

## **Carguio**

Colocación del material explosivo ya sea en un taladro o contra el material que se va hacer volar.

## **Tiro cortado**

Falla total o parcial del material explosivo en detonar según lo planificado. El término también se usa para describir al mismo material explosivo que no ha detonado.

## **Primer (iniciador)**

Unidad, paquete o cartucho de explosivo que contiene un detonador y se usa para iniciar otros explosivos o agentes de voladura.

## **Conmutador de seguridad**

Conmutador que proporciona protección en derivación en los circuitos de voladura entre el área de voladuras y el conmutador usado para conectar una fuente de energía al circuito de voladuras.

## **Shury**

Material explosivo que contiene porciones importantes de in líquido, oxidantes y combustible, más de un espesador.

## **Derivación**

Poner en corto circuito los extremos libres de:

# *Introducción*

---

1) los alambres laterales de un detonador eléctricos o 2) los extremos de los alambres en un circuito de voladura eléctrico o parte del mismo; también se aplica el término al nombre de un dispositivo de corto circuito eléctrico que al fabricante aplica a los extremos libres de los detonadores eléctricos.

## **Water gel**

Material explosivo que contiene porciones importantes de agua, oxidantes y combustible, más un agente de unificación.

## CAPITULO I. OPERACIONES DE VOLADURA

Los siguientes subcapítulos tratan sobre los procedimientos recomendados, asociados con las operaciones de voladura tanto en minería a tajo abierto como subterráneas en las minas. **Se remiten al lector al CAPITULO II del presente documento, el cual se refiere al uso de explosivos en las operaciones de voladura y da mayores sugerencias específicas al respecto.**

### 1.- Consideraciones Generales

#### a) Diseño de Voladura

- ◆ Bajo ciertas condiciones, los diseños de voladura individuales deberán desarrollarse, registrarse en el área de la mina y aprobarse por un supervisor de voladuras. Las condiciones específicas en las cuales se requiere dichas acciones son cuando las operaciones de voladura se conducirán dentro de las siguientes distancias:
  - 1) A 1000 pies (305m) de cualquier edificio usado como vivienda, edificio, público, colegio, iglesia o edificio con fines comunitarios o institucionales.
  - 2) A 500 pies (150m) de minas subterráneas en actividad o abandonadas.
- ◆ El diseño de voladura deberá contener diagramas de las mallas de perforación y voladura, períodos de retardo y separación de las mezclas explosivas; deberá asimismo indicar el tipo y cantidad de explosivos que se usarán, las dimensiones críticas y la ubicación y descripción general de las estructuras que se van a proteger, así como una discusión de los factores de diseño por emplearse, con los cuales se protegerá al público y se cumplirá con los estándares aplicables respecto producido por la voladura, rocas lanzadas por la explosión y vibración del macizo rocoso; todo lo cual es tratado en los subcapítulos b, c y d.

#### b) Estudio Previo a la Voladura

- ◆ Por lo menos 30 días antes del inicio de la voladura, el operador deberá notificar, por escrito, a todos los residentes o propietarios de viviendas u otras estructuras localizadas dentro de ½ milla (800m) del área de voladura, sobre la manera de solicitar un estudio previo.

- ◆ Un residente o propietario de una vivienda o estructura en el rango de ½ milla (800) de cualquier parte del área de voladura podrá solicitar un estudio previo a la realización de la misma. Esta solicitud deberá dirigirse, por escrito, al mismo operador. a la brevedad, éste deberá contratar los servicios de un auditor ambiental registrado, el cual conducirá un estudio previo a la voladura de la vivienda o estructura y preparará rápidamente un informe escrito del estudio. Si el propietario o residente lo requiriesen, el auditor también realizará un estudio de actualización de toda adición, modificación o renovación hecha ala vivienda o estructura.
- ◆ El auditor registrado deberá determinar la condición de la vivienda o estructura y deberá documentar cualquier daño previo a la voladura y cualquier factor físico que podría razonablemente verse afectado por la misma. Estructuras tales como tuberías, cables, líneas de transmisión, así como cisternas, pozos y otros sistemas de agua requieren particular atención; sin embargo, la evaluación de estas estructuras podría limitarse a las condiciones superficiales y a otros datos a los que se pueda acceder con facilidad.
- ◆ El informe escrito del auditor deberá ser firmado por el auditor que condujo el estudio. Copias de dicho reporte deberán remitir a la brevedad a la Dirección General de Minería, a la compañía operadora y a la persona que solicitó el estudio. Si la persona que solicitó el estudio no está conforme con el contenido y/o las recomendaciones que contiene el informe, podrá remitir tanto al operador como a la Dirección General de Minería una descripción detallada de las áreas específicas de desacuerdo.
- ◆ Todos los estudios que se soliciten con más de 10 días de anticipación a la fecha planificada para la iniciación de la voladura deberán ser realizados por el operador, a través de un auditor ambiental registrado, antes del inicio efectivo de las operaciones de voladura.

### **c) Programación y Notificación**

- ◆ El operador deberá notificar por escrito a los residentes que se encuentren el rango de ½ millas (800m) del lugar de voladura, así como a los gobiernos locales, sobre las horas y lugares propuestos para las operaciones de voladura. Las notificaciones que anuncien las horas en que se realizarán operaciones de voladura deberán tener una periodicidad semanal; en todo caso, nunca con menos de 24 horas de antelación a la voladura misma.
- ◆ La operaciones de no programadas podrán efectuarse solo cuando así lo requieran la salud y la seguridad del publico o del operador y para acciones de voladura de emergencia. Cuando un operador conduce una voladura superficial no programada, dicho operador, mediante señales audibles , deberá notificar a los residentes que se encuentran a ½ millas del área de voladura.

- ◆ Toda voladura en superficie deberá conducirse entre la salida y la puesta del sol.

#### d) Letreros , Advertencias de Operaciones de Voladura , Control del , Acceso

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

- 1) Colocar visiblemente letreros en los que se lean “Área de voladura” a todo lo largo del borde de cualquier área de voladura que se encuentre dentro de 100 pies (30,5m) de toda carretera pública, servidumbre de vía y en los puntos en los que otras carreteras proporcionan acceso al área de voladura .
- 2) En todas las entradas al área involucrada desde carreteras o caminos públicos, colocar visiblemente letreros en los que se lean *Advertencia*, Explosivos en uso”, y donde se enumere y describa con claridad el significado de la señal auditiva de advertencia de voladura y de todas las señales para despeje total que se usan; que expliquen, además, la marcación de las áreas de voladura.

- ◆ **Advertencia.** Se deberán dar las señales de advertencia y de despeje total de diferente carácter o patrón que sean audibles en el rango de ½ millas (800m) desde el punto de voladura . Toda persona dentro del área de voladura y toda persona que resida o trabaje regularmente en el rango de ½ milla del área de voladura deberá ser notificada sobre el significado de dichas señales.

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

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

## 2. Control de efectos adversos

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

Las rocas lanzadas por la explosión son una causa potencial de muerte, heridas serias u daños a la propiedad . Las vibraciones de tierra , el ruido y el chorro de aire producido por la voladura son las causas potenciales de daños a la propiedad y molestias para las personas , pero es poco probable que ocasionen daños personales. Las rocas lanzadas por la explosión, las vibraciones de tierra y el chorro de aire representan, todos ellos, energía desperdiciada del explosivo. Cuando se presentan cantidades excesivas de estos efectos laterales indeseables, éstas son ocasionadas por un diseño inadecuado de la voladura o por carencia de atención al aspecto geológico. Cuando ocurren excesivos efectos colaterales, se pierde parte de la energía explosiva que estaba destinada a proporcionar la cantidad apropiada de fragmentación y remoción de rocas, la cual, en cambio, se dirige a las rocas circundantes y a la atmósfera. Rara vez ocurren problemas serios de polvo o gases debido a las operaciones de voladura. Puede producirse una cantidad mayor que lo normal de polvo debido a un tiro violento. Los gases nocivos, normalmente óxidos de nitrógeno o monóxido de carbono, son el resultado de una reacción explosiva ineficiente. Debido a su naturaleza esporádica, la voladura no constituye una fuente considerable de polución ambiental.

#### **a) Aire Producido por la Voladura**

- **Definición**

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

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

- **Causas**

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

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

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

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

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

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

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

El primer impulso de presión en llegar a la estación de registro es el RPP, que es generado por los componentes verticales del movimiento de tierra, sumados por toda el área. Normalmente, presenta la menor amplitud de los componentes del chorro de aire; a pesar de que, acerca, podría ser la sobre presión más elevada.

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

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

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

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

- **Límites**

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

<b>Limite inferior de frecuencia del sistema de medición, en Hz (<math>\pm 3\text{dB}</math>)</b>	<b>Nivel máximo en dB</b>
0.1 Hz o respuesta baja - plana	.... pico de 134
2 Hz o respuesta baja - plana	.... pico de 133
6 Hz o respuesta baja - plana	.... pico de 129
Respuesta ponderada tipo C	.... pico dBC de 105

- **Monitoreo**

- 1) El chorro de aire producido por la voladura se mide con medidores especiales, trasconductores de presión o micrófonos de amplia respuesta. Estos instrumentos por lo general, forman parte de los sismógrafos de voladuras. Al igual que con las vibraciones de tierra se miden tanto la frecuencia como la amplitud. Esta última por lo general, se mide en decibeles, algunas veces en libras por pulgada cuadrada, mientras que la frecuencia se mide en hertz.
- 2) Los diferentes instrumentos tienen límites de frecuencia inferior. Dado que gran parte del chorro de aire de voladura se encuentran en estos niveles de frecuencia baja, algunos instrumentos miden más del chorro de aire que otros.
- 3) Los sistemas de medición usados deberán tener una respuesta de frecuencia plana en el extremo superior de por lo menos 200Hz.
- 4) Se encuentran disponibles instrumentos que registran tanto la lectura pico como la historia entera del tiempo del chorro de aire producido por la voladura. El último de los tipos mencionados es el recomendado para propósitos de reparación de averías.
- 5) Cuando se tome la lectura de un único chorro de aire en un lugar, el medidor deberá estar a 3-5 pies por encima del suelo y a por lo menos 5 pies de distancia de cualquier estructura, con el fin de evitar distorsiones del registro debido a las reflexiones del chorro de aire.
- 6) Todos los equipos de control de los chorros de aire deberán estar equipados con pantallas contra viento para minimizar el nivel de ruido de fondo y proteger el micrófono.
- 7) El operador deberá conducir un monitoreo periódico para garantizar el cumplimiento de los límites de chorro de aire anteriormente señalados en cada una de voladuras; además podrá especificar las localizadas en las cuales se harán las respectivas mediciones.

- **Mitigación**

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

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

Cuadro A

## VARIABLES DEL CHORRO DE AIRE

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

- Pueden emplearse las siguientes técnicas para reducir el flujo de aire producido por la voladura:
  - No deberán usarse explosivos no confinados. Cuando se use cordón detonante en superficie, éste deberá estar cubierto o enterrado. Los cordones con cargas de núcleo más ligeras requieren menor profundidad de entierro.
  - La suficiente cantidad de carga y taco en los taladros es esencial. Cuando la longitud del taco sea marginal (altura de taco equivalente a la carga), un material de taco más grueso proporciona mejor confinamiento de la carga de los materiales finos, especialmente cuando existe agua en la zona del taco. Una dimensión del taco deberá usarse cuando se ha robado parte de la carga en la cresta de la hilera frontal de taladros.
  - Las condiciones geológicas que causan estallidos (es decir, las vetas de lodo, vacíos o estratificación abierta) y las cavidades de solución deberán compensarse colocando un taco a través de ellas o mediante colocación de cargas subnormales.
  - Los taladros deberán perforarse con precisión para mantener la carga diseñada. Esto es particularmente importante en los taladros inclinados.
  - Si existe una cara libre alta en la dirección de instalaciones físicas cercanas, dicha cara deberá reorientarse si fuera posible o bien se reduciría su altura.
  - Se deberá evitar el primer en collar en los casos en que el chorro de aire constituya un problema.

Se deberán evitar los disparos a primeras horas de la mañana, al finalizar la tarde o en la noche, cuando hayan grandes probabilidades de que ocurra inversión de temperatura. La voladura cuando hay viento considerable que sopla hacia áreas construidas cercanas incrementará el chorro de aire.

- El uso de retardos más prolongados entre las hileras que entre los taladros de una hilera promoverá el movimiento hacia delante de la carga, en vez de promover el movimiento hacia arriba. Un buen método práctico es cinco segundos por pie de carga entre las hileras; pero este tiempo deberá incrementarse en las últimas hileras para disparos con muchas hileras.
- Deberán evitarse los retardos excesivamente prolongados que podrían causar que un taladro pierda su carga antes de ser disparado.
- Reducir el peso de carga por retardo a través de :

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

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

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

**S=** espaciamiento entre taladros (pies)

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

## 2.- Lanzamiento de Rocas

### Definición

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

### Aspectos Generales

La roca lanzada por la explosión, principalmente asociada con el minado de superficie, es el efecto más peligroso de la voladura. Es la causa más frecuente de muertes en el lugar y de daños a los equipos como resultado de la voladura. Ocasionalmente, la roca lanzada sale del área de la mina y ocasiona daños graves a las personas y la propiedad que se encuentran más allá de los límites de la mina. Las distancias que viaja la roca lanzada pueden fluctuar de cero -para una voladura bien controlada- a casi 1,5 kilómetros para una voladura bien controlada a casi 1,5 kilómetros para una voladura minera amplia deficientemente confinada.

## □ Límites

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

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

## Causas

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

## Mitigación/Paliación

- Para evitar o corregir problemas de roca lanzada, el operador de voladura deberá asegurar que la carga sea adecuada y que se éste usando la suficiente distancia de collar. Un material con dimensiones de ¼ de pulgada funciona mejor para los tacos que los materiales más finos, particularmente cuando hay presencia de agua en los taladros.
- En algunos casos, podría ser necesario alargar la zona del taco por encima de la carga principal y usar una pequeña carga de separación de mezclas explosivas para reducir la roca lanzada y aún así asegurar que se quiebre la roca de superficie.
- Evitar la iniciación en la parte superior.
- En los disparos de hilera múltiple, los retardos más prolongados entre las hileras tardías, en el orden de 10 cm por pie de carga, podrían reducir la roca lanzada. Se deberán tomar precauciones contra cortes cuando se empleen demoras de esta longitud.

- Los operadores de perforación deberán registrar la presencia de velocidades anormales de penetración de perforación que puedan indicar la presencia de vetas de lodo, una zona de roca incompetente o, incluso un vacío. La colocación de algunos pies de taco, en vez de explosivos, en estas áreas deberá reducir la probabilidad de roca lanzada.
- La medición cuidadosa de la acumulación en la columna, a medida que se procede con la carga de explosivos, evitará la carga excesiva en zonas de debilidad (vacíos, etc.) y asegurará un espacio adecuado para el taco.

#### □ **Medidas de Protección**

A pesar de una planificación esmerada y de un buen diseño de voladura, ocasionalmente podría presentar la roca lanzada, contra la cual siempre se debe contar con protección. Siempre se debe mantener cierto margen de error. Las distancias de roca lanzada anormalmente larga deberán medirse y registrarse para referencia futura. El tamaño del perímetro protegido deberá tener en cuenta estas consideraciones. Toda persona dentro de este perímetro deben llevar un cobertor seguro y ser adecuadamente advertida.

### **C) Vibraciones del Macizo Rocoso**

#### ◆ Definición

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

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

#### ◆ Causas

- ❖ Las excesivas vibraciones de tierra son ocasionadas por colocar demasiada energía explosiva en la tierra o bien por no diseñar adecuadamente el disparo. Parte de la energía que no se

utiliza para fragmentar y desplazar la roca, se transformará en vibraciones de tierra. El nivel de vibración en un lugar específico se determina principalmente por el peso máximo de explosivos que se usa en cualquier período individual de retardo en la voladura y por la distancia a dicho lugar desde el área de voladura.

- ❖ Los retardos de una voladura hacen que ésta se rompa en una serie de explosivos individuales más pequeñas, con muy poco espacio entre una y otra. Mientras más prolongados sean los intervalos entre los retardos, mejor será la separación entre las explosiones individuales. Con grandes explosiones a grandes distancias de las estructuras, se requieren retardos más prolongados para obtener una verdadera separación de la vibraciones, dado que la vibración proveniente de cada carga individual dura por un período más prolongado.
- ❖ En general, las amplitudes de vibración en las estructuras que se sitúan en la formación de roca que se está volando serán mayores que en estructuras que se encuentran en otras formaciones. sin embargo, podrían tener frecuencias más elevadas, lo que reduce la respuesta de las estructuras y la probabilidad de daños.
- ❖ Además del peso de carga por retardo, la distancia y el intervalo de retardo, dos factores pueden afectar el nivel de vibraciones de tierra en un lugar dado;
  - sobre confinamiento: un tiro con carga adecuadamente diseñada producirá menos vibración por libra de explosivo que uno con demasiada carga. Una cantidad excesiva de sub perforación, que da por resultado un confinamiento extremadamente pesado de la carga explosiva, también ocasionará niveles más altos de vibración de tierra, particularmente si el primer es colocado en la subperforación.
  - retardos: si los retardos proceden en secuencia en una hilera, las vibraciones en la dirección en que procede la secuencia serán las más altas debido a un efecto de avalancha.

#### □ Límites

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

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

#### ◆ Velocidad Máxima Partícula Pico

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

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

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

<sup>2</sup>Aplicable a la ecuación de distancia a escala.

#### v Ecuación de distancia a escala:

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

**W** = el peso máximo de explosivos, en libras;

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

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

- ◆ El desarrollo de un factor de distancia a escala modificado puede ser utilizado por el operador, si se justifica en base a registros sismográficos de las operaciones de voladura

en el área de la mina. El factor de distancia a escala modificado deberá ser determinado de manera tal que la velocidad de partícula de la vibración de tierra pronosticada no exceda los valores establecidos en el cuadro anterior.

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

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

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

#### Monitoreo

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

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

#### □ Mitigación / Reducción

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

- ◆ Reducir el peso de explosivo por retardo. esta técnica tal vez sea el factor más significativo que afecta la amplitud de la velocidad de partícula. Cualquier disminución en la cantidad de explosivo a través de diámetros menores del taladro, alturas reducidas de banco y/o separación de las cargas explosivos reducirá la probabilidad de daños.
- ◆ Reducir el confinamiento de explosivos a través de:
  - la reducción de la carga y espaciamiento;
  - el retiro de amortiguadores frente a los taladros frontales;
  - la reducción del taco, pero no hasta el grado de mejorar el chorro de aire y/o la roca lanzada por la explosión;
  - la reducción de la subperforación ;
  - la reducción del a profundidad en los taladros;
  - el uso de un diseño de voladura que produzca la máxima mitigación; es decir, retardos más prolongados entre taladros o hileras de taladros;
  - el dejar por lo una cara libre donde efectuar la voladura;
- ◆ Siempre que sea posible, la progresión de los taladros detonantes o de una hilera de taladros a través intervalos de retardo de milésimas de segundo deberá progresar alejándose de la estructura más cercana.
- ◆ Usar retardos más prolongados, donde las condiciones geológicas -en conjunción con el sistema de iniciación- lo permitan.
- ◆ Limitar el confinamiento de explosivos a la roca de lecho, si se puede remover la sobrecarga por otros medios.
- ◆ Reducir el número de voladuras mediante el uso de tiros más grandes.
- ◆ Programar las voladuras para que coincidan con los niveles más altos de ruido ambiental en el área.
- ◆ En donde sea posible, mantener el tiempo transcurrido total de toda la voladura por debajo de un segundo de duración.
- ◆ Usar detonadores eléctricos de milésimas de segundo con una máquina de voladura secuencial o con un sistema de iniciación con un número adecuado de intervalos de retardo.

#### **d) RUIDO**

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

##### **□ Causas**

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

##### **Mitigación/Paliación**

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

- reducir la cantidad de explosivos detonados en un periodo de 8 milésimas de segundo
- usar sistemas de retardo apropiados cuando se inicia una explosión; y
- se deberá exigir que todos los empleados de la mina dentro del área de voladura empleen protección auditiva durante las operaciones afectivas de voladura.

#### **e) Polvo: En superficie y en Labores Mineras Subterráneas**

##### **Aspectos Generales**

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

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

##### **Causas**

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

### Limites

El polvo y las emanaciones generados por operaciones de voladura bajo tierra son los de mayor preocupación, debido a su confinamiento en labores subterráneas. Para las minas tanto en superficie como subterráneas de metales y de otros minerales, el límite de explosivos recomendado de Valor Limite de Umbral Ponderado de Tiempo (TLV-TWA) para los trabajadores es de:

10mg/m<sup>3</sup> de total de polvo que contenga menos de 1% de SiO<sub>2</sub>; y 30/(% de SiO<sub>2</sub> +3)  
mg/m<sup>3</sup> de total de polvo que contenga más del 1% de SiO<sub>2</sub> mg= miligramos

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

### Mitigación /Paliación

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

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

- ❖ Deberán transcurrir un mínimo de  $\frac{1}{2}$  a 1 hora antes de reingresar al lugar de trabajo después de una voladura, dependiendo de la suficiencia del sistema de ventilación.
- ❖ Se recomiendan las siguientes velocidades de aire de ventilación:

Socavones de nivel principal (rampas)	1,0- 3,0 m/s
Encuentro entre socavones y aperturas mayores	0,25 m/s
Escalones (piques)	2,0 m/s promedio
Labores de desarrollo	tuberías a un máximo de 4,6 m detrás de la cara

**NOTA:**

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

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

**f) Gases**

**Definición General**

- υ En las operaciones de voladura, el término “gases” se refiere a productos tóxicos, generados por una detonación de explosivos. Los gases tóxicos más comunes producidos por la voladura son el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. Mientras que estos gases se consideran tóxicos a niveles de 50ppm y 5ppm, respectivamente, los gases de voladura se diluyen rápidamente por debajo de estos niveles por acción de los sistemas de ventilación en las minas subterráneas y por el movimiento natural del aire en las minas de superficie. Es extremadamente raro que concentraciones considerables de gases tóxicos salgan de los confines de la mina.
- υ En la voladura de superficie, los gases posteriores a la operación rara vez ocasionan problemas dado que se dispersan velozmente en la atmósfera después de la detonación. sin embargo se deberá dejar transcurrir el tiempo suficiente, después de una voladura, para que se dispersen los gases, antes de que se permita al personal el retorno al área de voladura.
- υ En las minas subterráneas, se debe asumir que todos los explosivos generan ciertos gases tóxicos; los más comunes son el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. en consecuencia, es necesario disponer de la adecuada ventilación y del tiempo suficiente para despejar los gases. El ANFO y las emulsiones carecen del olor característico de la dinamita

luego de la explosión y, por eso, podría darle al minero un falso sentido de seguridad, al creer que todos los gases se han disipado. Algunos de los gases ingresan directamente en la atmósfera de la mina, se mezclan con el aire que en ella existe y puedan reaccionar con él; otros gases son absorbidos por la roca fragmentada a causa de la voladura y se descartan durante el minado; bajo la presión de la voladura, algunos gases llenan las rajaduras y poros del techo, paredes y suelo de la mina. Por lo general, el CO se retiene en el aire y tiene que ser eliminado por ventilación; los óxidos de nitrógeno, de otro lado; se oxidan espontáneamente en  $\text{NO}_2$ , que permanece en el aire como tal o es lavado por la humedad para formar ácido nítrico o ácido nitroso que se asienta en el suelo, paredes y en la superficie de la roca.

### Balance de Oxígeno

- υ Los productos principales que se generan en una voladura bajo condiciones ideales son el nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua. Un exceso de oxígeno en un explosivo puede originar la formación de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ); mientras que un déficit de oxígeno puede ocasionar la formación de monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ); ambos gases son extremadamente tóxicos.
- υ No existe ningún explosivo que no produzca gases. Los explosivos comerciales generalmente son mezclas de combustibles sólidos (combustibles) y proveedores de oxígeno (nitratos) activadas con un sensibilizador. Para asegurar la combustión completa, que producirá simultáneamente potencia (energía) máxima, y minimizar la producción de gases nocivos, es necesario que se controle la relación de proveedores de oxígeno a combustibles. Para el ANFO, la mezcla apropiada es de 94% de AN a 6% de FO (fueloil No 2) **por peso**.

Las mezclas inapropiadas de ANFO pueden producir emanaciones de gas muy inócuas. Las variaciones en la reactividad, así como la pérdida de combustible a través de la evaporación o migración puede dar por resultado composiciones desequilibradas. Si en una mezcla simple de nitrato de amonio y petróleo diesel, parte del aceite se pierde o se deposita en el fondo del depósito, el producto en la parte superior del recipiente será deficiente en combustible y se generará altos óxidos de nitrógeno. Al mismo tiempo, la mezcla en el fondo del depósito contendrá exceso de combustible y producirá altas cantidades de monóxido de carbono. En general, el  $\text{NO}_2$  es el componente gaseoso más serio del ANFO.

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

Clase I: 0,00 a 9,16 pies<sup>3</sup> de gas nocivo por 200 g de explosivo

Clase II : 0,16 a 0,33 pies<sup>3</sup> de gas nocivo por 200 g de explosivo

Clase III: 0,33 a 0,67 pies<sup>3</sup> de gas nocivo por 200 g de explosivo

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

### Limites

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

Oxidos nitrosos (N<sub>x</sub> O<sub>x</sub>) 5 ppm

Monóxido de carbono (CO) 50ppm

Dióxido de carbono CO<sub>2</sub> 5000ppm

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

Oxígeno más de 19,5%

Monóxido de carbono menos de 0,04%

Dióxido de carbono menos de 1,5%

Oxidos de nitrógeno menos de 0,0005%

Dióxido de azufre menos de 0,0002%

### Causas

Muchos factores pueden causar la emisión de gases o emanaciones tóxicos en las operaciones de voladura. En general, la cantidad y los tipos de emanaciones generadas depende de la eficiencia de la detonación (por ejemplo, la presencia de reacción explosiva, ineficiente). Comúnmente, las detonaciones que no han logrado temperaturas de equilibrio óptimas producen

emanaciones nocivas. Esta condición puede originarse en detonaciones parciales, detonaciones de bajo orden, deflagraciones, formulaciones deficientes de ingredientes materiales extraños inyectados en las mezclas durante la manufactura, procedimientos de campo negligentes, agua, diseño deficiente de la voladura, etc. En consecuencia, las condiciones bajo las cuales se usa un explosivo tienen una decidida influencia sobre la clase y la cantidad de gases nocivos producidos.

Las causas principales de excesivos óxidos de nitrógeno son:

- mezclas deficientes de agentes de voladura
- degradación de los agentes de voladura durante el almacenamiento
- uso de productos no resistentes al agua en taladros húmedos y
- detonación ineficiente del agente de voladura debido a pérdida de confinamiento.

Otros factores que ocasionan la generación de emanaciones tóxicas son:

- primer inadecuado
- falta de confinamiento; o
- resistencia insuficiente al agua.

### **Mitigación / Paliación**

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

- ◆ Evitar las condiciones que podrían ocasionar el quemado antes que la detonación del explosivo (por ejemplo, roturas en la columna de explosivos, separación del primer del resto de la carga, confinamiento deficiente, o uso de explosivos que puedan deteriorarse durante el almacenamiento).

- ◆ Existe una especial probabilidad de que ocurran los óxidos de nitrógeno en taladros húmedos. Los explosivos seleccionados para su uso deberán tener la adecuada resistencia al agua y la explosión deberá dispararse lo antes posible, luego de efectuada la carga.
- ◆ La formación de óxidos de nitrógeno es más una cuestión de uso de campo que de formulación del polvo. Probablemente, el tiempo es el factor más importante que solo genera dificultades con los óxidos de nitrógeno. Estos gases se desvanecen rápidamente y rara vez constituyen un problema, cuando existe la adecuada ventilación. Por lo general, es suficiente que transcurra entre media y una hora para que se reinicien las operaciones subterráneas seguras, después de una voladura.
- ◆ Debido a que los óxidos de nitrógeno se absorben en el agua (así como grandes cantidades de dióxido de carbono), los montones de rocas volada bajo tierra deberán mojarse completamente antes de que se inicie la excavación. Además, este procedimiento desplazará el monóxido de carbono, de modo que el sistema de ventilación lo puede diluir, volver inocuo y eliminar del lugar de trabajo.
- ◆ Todo lo que tienda a enfriar rápidamente los gases producidos por las voladuras aumenta la formación de óxido de nitrógeno. En taladros húmedos, las emanaciones oscuras por lo general, son visibles, lo que sugiere un rápido enfriamiento y la formación de gases peligrosos.
- ◆ Un adecuado sistema de ventilación y la dirección apropiada del flujo del aire hacia las caras en el trabajo es el mejor método para reducir las emanaciones en las minas subterráneas.
- ◆ Efectuar monitoreo de compuestos nitrosos.

Las figuras 1 y 2 muestran lo que se acaba de explicar.

---

**CAPÍTULO II. EXPLOSIVOS**

Los siguientes subcapítulos tratan de los procedimientos recomendados para el almacenamiento, uso transporte, manipulación y aspectos de seguridad de los materiales para operaciones de minado en superficie y bajo tierra.

**1. Almacenamiento de Explosivos****a) Almacenamiento: En Superficie y Subterráneo****Separación del material explosivo almacenado**

- ◆ Los detonadores no deberán almacenarse en el mismo polvorín junto con otro material explosivo.
- ◆ Cuando se almacena en el mismo polvorín, los agentes voladura deberán separarse de los explosivos, del fusible de seguridad y del cordón detonante para evitar la contaminación.

**Áreas alrededor de las instalaciones de almacenamiento de material explosivo**

- ◆ Las áreas que rodean las instalaciones de almacenamiento de material explosivo deberán despejarse de desperdicios, malezas, césped seco y árboles, en distancias de 25 pies (7,5m) en todas las direcciones.
- ◆ No se deberán almacenar o permitir la acumulación de otros combustibles a una distancia de 50 pies (15,25m) del material explosivo. Los líquidos combustibles deberán almacenarse de tal forma que se asegure que se produzca el drenaje hacia fuera de la instalación de almacenamiento de material explosivo, en caso de producirse rotura de tanques.

### **Prácticas de almacenamiento del material explosivo**

- ◆ El material explosivo deberá: 1) almacenarse de tal forma que se facilite el uso de las existencias más antiguas en el primer lugar; 2) almacenamiento de acuerdo a la marca y grado de manera tal que sea fácil identificarlo; 3) aplicarse en forma estable, pero a una altura no mayor de los 8 pies (2,5m).
- ◆ Los explosivos y detonadores deberán almacenarse en contenedores cerrados no conductivos con excepción de los dispositivos detonantes no eléctricos, los cuales podrán almacenarse en soportes no conductivo , a condición de que se conserven con el producto de instrucciones que vienen en el envase y el código de fecha-planta-turno.

#### **b) Almacenes: Sólo en Superficie**

##### ***Instalaciones de almacenes de material explosivos***

- ◆ Los detonadores y explosivos deberán almacenarse en polvorines.
- ◆ Los agentes de voladura empaquetados deberán almacenarse en un polvorín u otra cosa instalación que sea ventilada, con el fin de evitar la humedad y el calor excesivo, que sea además resistentes a las condiciones del clima y cuente con seguridad o esté atendida. Fuera de los polvorines, las demás instalaciones deberán contener únicamente agentes de voladura.
- ◆ Los agentes de voladura en granel deberán almacenarse en depósitos o tanques resistentes a las inclemencias del clima y cuente con seguros, estén atendidos o, caso contrario, sean inaccesible a ingresos no autorizados.
- ◆ Las instalaciones, depósitos o tanques deberán llevar fijadas placas apropiadas u otros letreros de advertencia, en los cuales se indique el contenido y que sean visibles desde cualquier perspectiva.

---

**Ubicación de las instalaciones de los almacenes de material explosivo**

- ◆ Las instalaciones de almacenamiento para cualquier material explosivo deberán: 1) ubicarse de acuerdo con las distancias específicas en los cuadros I y II. Sin embargo, cuando no hay el área suficiente en el emplazamiento minero para permitir el cumplimiento de los requisitos especificados en los cuadros mencionados, las instalaciones de almacenamiento deberán ubicarse de manera tal que las fuerzas generadas por una explosión de la instalación no creen un peligro para los ocupantes de los edificios de mina y no dañen las aberturas de la mina, sus ventiladores, así como represas y subestaciones eléctricas; y
- ◆ separar las estructuras localizadas fuera de voladuras a una distancia suficiente de las líneas de poder, de manera tal que, si estas líneas fueran dañadas, no entren en contacto con los polvorines.

**c) Almacenes: Sólo subterráneos****Instalaciones principales**

- ◆ Las instalaciones principales usadas para almacenar material explosivo bajo tierra deberán ubicarse:
  - ⊖ En suelo estable o reforzado;
  - ⊖ De manera tal que un incendio o explosión en las instalaciones de almacenamiento no interrumpa el escape de la mina; u ocasione la detonación del contenido de otra instalación de almacenamiento;
  - ⊖ Fuera de la línea de voladura, protegida del tráfico vehicular excepto de las vías de acceso a la instalación;
  - ⊖ Por lo menos a 200 pies (61m) de distancias de los lugares o pozos de trabajo;
  - ⊖ Por lo menos a 50 pies (15,25m) de las subestaciones eléctricas;
  - ⊖ A una distancia segura de los hilos de tranvía; y 7) por lo menos a 25 pies (7,5m) de las instalaciones de almacenamiento de detonadores.
- ⊖ Las instalaciones principales usadas para almacenar material explosivo bajo tierra deberán:

- ⊖ Tener fijados letreros de advertencia que indique el contenido y que sean visibles desde cualquier perspectiva;
- ⊖ Ser usadas exclusivamente para almacenar material explosivo y el equipo necesario para el almacenamiento y entrega de material explosivo:
  - ◆ Las porciones de la instalación usadas para el almacenamiento de los explosivos sólo deberán contener material o equipos que no produzcan chispas;
  - ◆ La porción de la instalación destinada a los agentes de voladura podrá usarse para almacenar otros equipos necesarios;
- ⊖ Mantenerse limpias, adecuadamente secas y en orden;
- ⊖ Estar provistas de aberturas de ventilación no obstruidas;
- ⊖ Mantenerse bien cerradas, a menos que todo acceso a la mina esté vigilado.
- ⊖ Iluminarse y apagar las luces sólo con dispositivos que no creen un peligro de incendio o explosión y que estén específicamente diseñados para su uso en polvorines.
- ◆ Los conmutadores y salidas eléctricas deberán ubicarse fuera de la instalación.

### ***Instalación Auxiliares***

- ◆ Las instalaciones auxiliares usadas para almacenar material explosivo cerca de los lugares de trabajo deberán ser cajas de manera, equipadas con tapas o puertas, o instalaciones construidas o excavadas para proporcionar el equivalente en resistencia a impactos y confinamientos adecuado.
- ◆ La instalación auxiliar deberá:
  - ⊖ Estar construidas, en su interior, con material que no produzca chispas, cuando se usa para almacenamiento de explosivos;
  - ⊖ Mantenerse limpia, adecuadamente seca y en orden;
  - ⊖ Mantenerse reparada;
  - ⊖ Ubicarse fuera de la línea de voladuras para que no se va sometida a explosiones dañinas o roca lanzada por la explosión;

- ⊖ Identificarse con letreros de advertencia o códigos que indiquen el contenido, con marcas visibles desde cualquier ángulo;
- ⊖ Localizarse por lo menos a 15 pies (4,5m) de las rutas de transporte y equipos eléctricos, o colocarse enteramente dentro de un recodo excavado en la viga usada exclusivamente para el material explosivo;
- ⊖ Llenarse con un suministro de material explosivo para no más de una semana;
- ⊖ Estar separada por 25 pies (7,5m) de distancia de otras instalaciones usada para almacenar detonadores; y
- ⊖ Mantenerse bien cerrada, a menos que todo el acceso a la mina esté vigilado.

#### **d) Polvorines**

##### **Requerimientos generales**

- ◆ Los polvorines deberán:
  - ⊖ Encontrarse estructuralmente intactos;
  - ⊖ Construirse con material no combustible o el exterior deberá estar cubierto con material resistente al fuego;
  - ⊖ Ser resistentes a las balas;
  - ⊖ Estar hechos, en su inferior, de material que no produzca chispas;
  - ⊖ Estar ventilados para controlar la humedad y el calor excesivo dentro del polvorín.
  - ⊖ Llevar fijadas placas apropiadas u otros letreros de advertencia que indiquen el contenido y que sean visibles desde cualquier ángulo y colocados de tal modo que un proyectil que pase a través de cualquiera de los letreros no dé contra el polvorín;
  - ⊖ Mantenerse limpios y secos en el interior;
  - ⊖ Iluminarse y apagar las luces mediante dispositivos que sean específicamente diseñados para su uso en polvorines y que no generen riesgo de incendio o explosión,
  - ⊖ Enfriarse o calentarse sólo con dispositivos que no generen riesgo de incendio o explosión

- ⊖ Cerrarse cuando estén siendo usados,
- ⊖ Usarse exclusivamente para el almacenamiento de material explosivo, con excepción de los equipos esenciales, hechos con material que no produzcan chispas, usados para la operación del polvorín.
- ◆ Los polvorines de metal deberán ser equipadas con conexiones eléctricas entre todo las porciones conductivas para lograr que la estructura completa esté al mismo potencial eléctrico . Entre los métodos adecuados de unión eléctrica se incluyen la soldadura, el remache o el uso de pernos bien ajustados donde se unen las porciones individual de metal. Las porciones conductivas de los polvorines no metálicos deberán ser colocados a tierra.
- ◆ Los conmutadores y entradas eléctricas deberán localizarse en el exterior de los polvorines.

### ð **Cajas de Pólvora**

- ⊖ Las cajas de pólvora (cajas de día) deberán
- ⊖ Encontrarse estructuralmente intactas, resistentes a las inclemencias del clima, equipadas con una tapa o cubierta y su interior hecho sólo con material que no produzca chispa ,
- ⊖ Llevar fijadas placas apropiadas u otros letreros de advertencia que indiquen el contenido y que sean visibles desde cualquier ángulo,
- ⊖ Ubicarse fuera del área de voladuras una vez que se haya completado la carga;
- ⊖ Estar cerrada o vigiladas cuando contengan material explosivos;
- ⊖ Vacarse al final de cada turno, devolviendo el contenido el polvorín u otra instalación de almacenamiento, o bien mantenerse atendidas.
- ◆ Los detonadores deberán mantenerse en cajas separadas de los explosivos o agentes de voladura, excepto cuando están separados por 4 pulgadas (10cm) de madera dura, separación laminada o equivalente

□ **Ubicación de polvorines**

- ⊗ Los polvorines deberán ubicarse de conformidad con las distancias estipuladas en las cuadros 1, 2 y 3.

□ **Construcción de polvorines altos explosivos (tipo I)**

Los polvorines permanentes para el almacenamiento de altos explosivos deberán ser un edificio, iglú o" estructura de tipo militar', un túnel o defensa subterránea. Deberán ser resistentes a las balas, a incendios, a las inclemencias del clima, a los robos y contar una buena ventilación

- ⊗ **Edificios.-** Todos los polvorines de tipo edificación deberán construirse con material noble, madera metal, o una combinación de estos materiales; no deberá tener aberturas, excepto por las entradas y la ventilación. El suelo alrededor de los polvorines deberá ser inclinado hacia abajo para permitir el drenaje , en caso contrario, deberá proveerse un drenaje adecuado.

**Construcción de paredes con material noble.-** Esta deberá consistir en ladrillo, concreto, tejas, bloque de cemento o bloque de carbón y tener un espesor no menor de 6 pulgadas (15.25cm). Las unidades de albañilería huecas usadas en construcción deberán tener espacios huecos llenos de arena seca, gruesa, bien apisonada o con concreto débil (una mezcla de por lo menos de una parte de cemento y ocho partes de arena, con agua suficiente para humedecer la mezcla mientras se apisona en lugar). Las paredes interiores deberán construirse o recubrirse con material que no produzca chispas.

**Construcción de paredes de metal prefabricadas.-** La construcción de paredes de metal deberán consistir en hojas seccionales de acero o aluminio de calibre no menos número 14, ajustadas firmemente a un armazón de metal. La construcción de paredes de metal deberá llevar un revestimiento interior de ladrillo, bloques sólidos de cemento, madera dura de no menos de 4 pulgadas (10,2cm) de espesor; o llevará un relleno de por lo menos 6 pulgadas (15, 25cm) de arena entre las paredes interna y externa . Las paredes internas deberán construirse o recubrirse con un material que no produzca chispas.

**Construcción de paredes con estructura de madera.-** Las paredes de madera exteriores y externas deberán recubrirse con hierro o aluminio de calibre no menor que el número 26. Se deberá construir o recubrir una pared interna con material que no produzca chispas, como una

forma de proporcionar un espacio de no menos de seis pulgadas (15,25cm) entre las paredes interna y externas. El espacio deberá rellenarse con arena gruesa, seca o con concreto débil.

**Pisos.-** Los pisos deberán construirse o recubriese con un material que no produzca chispas y que sea lo suficientemente fuerte como para soportar el peso de la máxima cantidad por ser almacenada. El uso de pellets recubiertos con material que no produzca chispas se considera equivalente a un poco construido o recubierto de material que no produzca chispas .

**Cimientos.-** Los cimientos se construirán de ladrillo, concreto bloque de cemento, piedra o postes de madera. Si se usan vigas postes en vez de un cimiento continuo, el espacio por debajo del edificio deberá protegerse con metal.

**Techo.-** Con excepción de los edificios de los techos de metal prefabricados, el techo exterior deberá cubrirse con un forro fijo de hierro o aluminio de calibre no menor de 26, con un espesor de por lo menos 7/8 de pulgadas (2,2cm).

**Techos y cielos rasos a prueba de balas.-** Donde sea posible disparar un bala directamente a través a del techo y centro de polvorín aun ángulo tal que la bala golpee los explosivos en el interior, el polvorín deberá protegerse mediante uno de los siguientes métodos : 1) Una bandeja de arena recubierta con una capa de papel, plástico u otro material de construcción no poroso rellena con no menos de 4 pulgadas (10,2cm) de arena gruesa seca, ubicada en la parte superior de la paredes internas , que cubra todo el arrea del cielo raso, excepto aquella porción necesaria para la ventilación; 2) Un techo prefabricado de metal, con una plancha de acero de 3/16 pulgadas (5 mm ) revestido con 4 pulgadas de madera dura. (Por cada 1/16 adicional de pulgadas de plancha de acero, el revestimiento de madera puede disminuirse en pulgada).

**Puertas.-** Todas las puertas deberán contrariarse con una plancha de acero de no menos de ¼ de pulgadas (64 mm) y recubrirse con por lo menos dos pulgadas (5,1 cm) de madera dura. Las bisagras y cerrojos deberán colocarse en las puertas mediante soldaduras, remaches o empernado ( las tuercas en la parte interna de la puerta ). Deberán instalarse de manera tal que las bisagras y cerrojos no puedan retirarse cuando las puertas estén cerradas y aseguradas.

**Cerraduras.-** Cada puerta deberá estar equipada con: 1) Dos cerraduras mortise; 2) Dos candados en cerrojos y argollas separadas; 3) Una combinación de cerradura mortise y candado; 4) Una cerradura mortise que requiera de dos llaves para abrirse; 5) Una cerradura de tres golpes.

**Ventilación.-** La ventilación deberá ser suministrada para evitar la humedad y el calentamiento de los materiales explosivos almacenados. Las aberturas de ventilación deberán estar protegidas para evitar la entrada de chispas. Las aberturas de ventilación en las paredes laterales y cimientos deberán estar descentradas o protegidas para fines de resistencia a las balas. Los polvorines que tengan ventiladores en cimientos y techo, con aire que circula entre las paredes laterales y los pisos y entre las paredes laterales y el cielo raso, deberá tener un revestimiento de celosía de madera o equivalente para evitar que los paquetes de materiales explosivos se amontonen contra las paredes laterales y bloqueen la circulación de aire.

**Metal expuesto.-** El material que no produce chispas no deberá estar expuesto al contacto con los materiales explosivos almacenados. Todos los clavos de metal ferroso que se encuentran en el piso y paredes laterales, los cuales podrían estar expuesto al contacto con los materiales explosivos, deberán clavarse para no ser visibles, avellanarse o cubrirse con trabajo de celosía u otro material que no produzca chispas.

- v **Iglúes, “Estructura de tipo militar”, Túneles y Defensas Subterráneas.-** Los polvorines en forma de iglú, “estructuras de tipo militar, túneles y defensas subterráneas deberán construirse de concreto reforzado, material noble, metal o una combinación de estos materiales. Estos deberán tener una cubierta de tierra de no menos de 24 pulgadas (61cm) en la parte superior, lados y parte posterior, a menos que los polvorines cumplan con los requerimientos descritos en el párrafo A prueba de balas. Las paredes y pisos interiores se construirán o serán cubiertos con material que no produzca chispas. Los polvorines de este tipo también deberán construirse de conformidad con los requerimientos descritos en los párrafos titulados Pisos, Puertas, Cerraduras, Ventilación y Metal expuesto. Se remite al lector al cuadro IV para un resumen de las sugerencias de construcción que se acaban de describir.

### **Construcción de polvorines: bajos explosivos (Tipo II)**

Los polvorines para almacenamiento de bajos explosivos, agentes de voladura y detonadores que no detonarán en masa, pueden ser un edificio, iglú, “estructura de tipo militar”, túnel, defensa subterránea, caja, remolque, semiremolque u otro polvorín móvil.

- v **Polvorines en Campo Abierto**

**Aspectos generales.-** Los polvorines en campo abierto deberán ser a prueba de incendios, de las inclemencias del clima y de robos. El suelo alrededor de los polvorines en campo

abierto deberá tener una pendiente para drenaje, o bien se deberá proporcionar otro tipo adecuado de drenaje. Cuando no se encuentren en uso, los polvorines vehiculares deberán permanecer sin ruedas o se les inmovilizará de otro modo mediante dispositivos de trabado de la dirección u otros métodos.

**Construcción.-** Los polvorines en campo abierto deberán construirse con material noble, madera recubierta de metal, metal prefabricado o una combinación de estos materiales. Los cimientos deberán construirse de ladrillo, concreto, bloque de cemento, piedra o postes de metal o madera. Si se emplea postes o vigas en lugar de cimientos continuos, el espacio debajo del edificio deberá encerrarse con material resistente al fuego. Los pisos y paredes deberán construirse o cubrirse con material o trabajo de celosía que no produzca chispas. Las puertas serán de metal o madera sólida recubierta con metal.

**Bisagras y cerrojos.-** Las bisagras y cerrojos se colocarán en las puertas mediante soldaduras, remache o empernado (con las tuercas en el interior de la puerta). Las bisagras y cerrojos deberán instalarse de manera que no se puedan retirar cuando las puertas están cerradas y aseguradas.

**Cerraduras.-** Cada puerta deberá estar equipada con: 1) Dos cerraduras mortise; 2) Dos candados con cerrojos y argollas separadas; 3) una combinación de cerradura mortise y candado; 4) Una cerradura mortise que requiera de dos llaves para abrirse; o 5) una cerradura de tres golpes.

#### u **Polvorines Bajo Techo**

**Aspectos Generales.-** Los polvorines bajo techo deberán ser a prueba de incendios y de robos. No necesitan ser a prueba de las inclemencias del clima, si los edificios en los que se encuentra proporcionan protección contra el tiempo.

Ningún polvorín bajo techo deberá localizarse en una residencia o vivienda. El almacenamiento bajo techo de bajos explosivos no deberá exceder la cantidad de 50 libras (22,5kg). Puede haber más de un polvorín bajo techo en un mismo edificio, a condición de que la cantidad total de materiales explosivos almacenados no exceda las 50 libras.

Los detonadores no detonarán en masa deberán almacenarse en un polvorín separado y el número total de detonadores eléctricos no excederá los 5 000.

**Construcción.-** Los polvorines bajo techo deberán construirse con material noble, madera recubierta de metal, metal prefabricado o una combinación de estos materiales. Los pisos y paredes deberán construirse o recubrirse con un material que no produzca chispas. Las puertas deberán ser de metal o de madera sólida recubierta con metal.

**Bisagra y cerrojos.-** las bisagras y cerrojos se colocarán en las puertas mediante soldadura, remache, o empernado (con las tuercas en el interior de la puerta). Las bisagras y cerrojos deberán instalarse de manera que no se puedan retirar cuando las puertas están cerradas y aseguradas.

**Cerraduras.-** Cada puerta deberá estar equipada con: 1) Dos cerraduras mortise; 2) Dos candados con cerrojos y argollas separada; 3) una combinación de cerradura mortise y candado; 4) Una cerradura mortise que requiera de dos llaves para abrirse; o 5) una cerradura de tres golpes.

Se remite al lector al cuadro V, donde se resume las sugerencias de construcción que se acaban de describir.

### **Construcción de polvorines: agentes de voladura (Tipo III)**

Los polvorines para almacenamiento de agentes de voladura pueden ser un edificio, iglú “estructura de tipo militar”, túnel, defensa subterránea, caja, remolque, semi-remolque u otra instalación móvil.

#### **v Polvorines en Campo Abierto**

**Aspectos Generales.-** Los polvorines en campo abierto deberán ser a prueba de incendios, de las inclemencias del clima y de robos. El suelo alrededor de los polvorines en campo abierto deberá tener una pendiente para drenaje, o bien se deberá proporcionar otro tipo adecuado de drenaje. Cuando no se encuentre en uso, los polvorines vehiculares deberán permanecer sin ruedas o se les inmovilizará de otro modo mediante dispositivos de trabado de la dirección u otros métodos.

**Construcción.-** Las puertas deberán construirse con madera sólida o metal.

**Bisagras y cerrojos.-** Las bisagras y cerrojos se colocarán en las puertas mediante soldadura, remache o empernado (con las tuercas en el interior de la puerta). Las bisagras y cerrojos deberán instalarse de manera que no se puedan retirar cuando las puertas están cerradas y aseguradas.

**Cerraduras.-** Cada puerta deberá estar equipada con: 1) Dos cerraduras mortise; 2) Dos candados con cerrojos y argollas separadas; 3) una combinación de cerradura mortise y candado;

4) Una cerradura mortise que requiera de dos llaves para abrirse; o 5) una cerradura de tres golpes.

**Placas.-** Se deberá colocar en todos los polvorines placas que indiquen la presencia de agentes de voladura.

#### u **Polvorines Bajo Techo**

**Aspectos Generales.-** Los polvorines bajo techo deberán ser a prueba de incendios y de robos. No necesitan ser a prueba de rigores de clima, si los edificios en los que se encuentran proporcionan protección contra el tiempo.

**Construcción.-** Las puertas deberán construirse con madera o metal.

**Bisagras y cerrojos.-** Las bisagras y cerrojos se colocarán en las puertas mediante soldadura, remache o empernado (con las tuercas en el interior de la puerta). Las bisagras y cerrojos deberán instalarse de manera que no se puedan retirar cuando las puertas están cerradas y aseguradas.

**Cerraduras.-** Cada puerta deberá estar equipada con: 1) Dos cerraduras mortise; 2) Dos candados con cerrojos y argollas separadas; 3) una combinación de cerradura mortise y candado; 4) Una cerradura mortise que requiera de dos llaves para abrirse; o 5) una cerradura de tres golpes.

Se remite al lector al cuadro 4 donde se resumen las sugerencias de construcción que se acaban de describir.

#### **Cigarrillos y llama abierta**

No se permite fumar, ni el uso de fósforos, llama abierta o dispositivos que produzca chispas:

❖ En ningún polvorín:

- ❖ A una distancia de 50 pies (15,25m) de cualquier polvorín en campo abierto; o
- ❖ Dentro de cualquier habitación que contenga un polvorín bajo techo.

### **Almacenamiento dentro de polvorines de tipos I y II**

- υ Los materiales explosivos dentro de un polvorín no deberán colocarse directamente contra las paredes internas, debiendo almacenarse de manera tal de no interferir con la ventilación. Para evitar el contacto de los materiales explosivos almacenados con las paredes, se puede usar un trabajo de celosía que no produzca chispas u otro material con la misma característica.
- υ Los recipientes de materiales explosivos deberán almacenarse de manera que sus marcas sean visibles. Las existencias de materiales explosivos deberán almacenarse en una forma que haga fácil su cuenta y verificación en momentos de inspección.
- υ Excepto en relación a las planchas de fibra u otros recipientes no metálicos, los contenedores de materiales explosivos no deberán desempacarse ni volverse a empacar dentro de un polvorín o a una distancia de 50 pies (1,25m) de un polvorín; tampoco se deberá desempacar o volver a empacar cerca de otros materiales explosivos. Los contenedores de materiales explosivos deberán mantenerse cerrados mientras estén almacenados.
- υ Las herramientas usadas para abrir los contenedores de materiales explosivos cerrados deberán ser de materiales que no produzcan chispas, con excepción de los cortadores de metal, que pueden emplearse para abrir los contenedores de planchas de fibra. Se deberá usar una cuña de madera y un mazo de fibra, goma o madera para abrir o cerrar contenedores de madera de materiales explosivos.

### **Mantenimiento**

Los polvorines deberán mantenerse limpios, secos y libres de arena, papel, paquetes y envases vacíos y desperdicios. Se deberán barrer los pisos con regularidad. Las escobas y demás utensilios usados en la limpieza y mantenimiento de polvorines no tendrán partes metálicas que produzcan chispas y deberán conservarse en los polvorines. Los pisos manchados por fugas de materiales explosivos deberán limpiarse de acuerdo a las instrucciones del fabricante de los explosivos. Cuando algún material explosivo se haya deteriorado, deberá destruirse de conformidad con la recomendación o las instrucciones del fabricante. El área que circunda a los polvorines deberá mantenerse libre de basura, malezas, césped seco o árboles por

lo menos en un rango de 25 pies (7,6m) en todas las direcciones. Los materiales volátiles deberán mantenerse a una distancia de no menos de 50 pies (12,25m) de los polvorines en campo abierto. El follaje vivo que se usa para estabilizar la capa de tierra de un polvorín no requiere ser retirado.

### **Reparación de polvorines**

Antes de reparar el interior de los polvorines, deberán retirarse los materiales explosivos y limpiarse el interior. Antes de reparar el exterior de los polvorines, todos los explosivos deben retirarse, si existe alguna posibilidad de que las reparaciones produzcan chispas o llamas. Los materiales explosivos retirados del polvorín durante la reparación deberá:

- ❖ Colocarse en otro polvorines apropiados para el almacenamiento de dichos materiales explosivos;
- ❖ Colocarse a una distancia segura del polvorín en reparación, donde serán adecuadamente conservados y protegidos hasta que se hayan completado las reparaciones.

## **2 Uso de Explosivos**

### **a) Uso: En superficie y en Operaciones Mineras Subterráneas**

#### **Control de operaciones de voladura**

- υ Sólo personas capacitadas y con experiencia en la manipulación y uso de material explosivo dirigirán las operaciones de voladura y las actividades relacionadas con ella.
- υ Los aprendices y personas sin experiencia sólo trabajarán en presencia de personas capacitadas y experimentadas en la manipulación y uso de material explosivo.

#### **Protección del material explosivo**

- υ Los explosivos y agentes de voladura deberán mantenerse separados de los detonadores hasta el momento de iniciarse la carga.

- υ El material explosivo deberá protegerse de impactos y temperaturas que excedan los 150°F (66°C) al ser llevado al área de voladuras.

### **Preparación de la iniciación**

- υ Los primeros (iniciadores) sólo deberán confeccionarse al momento del uso y en un lugar lo más próximo posible al área de voladuras, conforme las condiciones lo permitan.
- υ Los primeros deberán prepararse con el detonador contenido segura y completamente dentro del explosivo, o contenido segura y adecuadamente, conforme a diseño, en el túnel o cavidad del fulminante.
- υ Cuando se usa cordón detonante para iniciar otro explosivo, se deberá preparar otra conexión con el cordón detonante en contacto con el explosivo, a través de enhebrado de dicho cordón a través del explosivo, o mediante una unión firme de los mismo, o por algún otro método.

### **Protección del primer (iniciador)**

- υ No deberá taconear directamente sobre el primer.
- υ Si los cartuchos de explosivos o agentes de voladura exceden las 4 pulgadas (10,2cm) de diámetro, no deberán dejarse caer sobre el primer, excepto cuando el taladro esté lleno, de agua, o bajo agua.

### **Material explosivo no usado**

El material explosivo no usado deberá trasladarse a un lugar protegido tan pronto como sea posible después de que se hayan completado las operaciones de carga.

### **Carguio y voladura**

- υ No deberán conducir vehículos y equipos sobre material explosivo o sistemas de iniciación en forma tal que se pueda hacer contacto con el material o sistemas o crear, de alguna otra manera, un peligro.

- υ Una vez que se inicia la carga, la única actividad permitida dentro del área de voladura será la actividad directamente relacionada con la operación de voladura y una ocasional actividad de transporte cerca de la base de la pared que está siendo cargada, cuando no exista ningún otro acceso para el transporte.
- υ La carga deberá ser continua, excepto en los casos de emergencia, cambios de turnos y hasta dos turnos de inactividad consecutivos.
- υ En la voladura eléctrica, antes del enganche a la fuente de poder y, en la voladura no eléctrica, antes de la unión con un dispositivo de iniciación, deberán retirarse todas las personas del área de voladura, con excepción de aquellas que se encuentran en un refugio anti-voladuras o algún otro lugar que proteja del choque de concusión (onda de explosión) del material por lanzarse o de los gases.
- υ Luego de complementar la carga y la conexión de los circuitos, el disparo de las voladuras deberá realizarse sin retardos indebidos.
- υ Antes de disparar una voladura:
  - ❖ Se deberá dar una advertencia amplia para permitir la evacuación de todas las personas.
  - ❖ Se deberá despejar todas las rutas de salida para las personas que dispararán la serie de taladros.
  - ❖ Se deberá proteger las rutas de acceso al área de voladura o colocarse barricadas para evitar el paso de personas o vehículos.
- υ No deberá reanudarse ningún trabajo en área de voladuras hasta que se haya efectuado un examen posterior a la voladura que se refiera a los potenciales peligros relacionados con dicha operación; dicho estudio deberá ser conducido por una persona que cuente con capacidad y experiencia que la califiquen completamente para realizar la tarea asignada.

### **Carguio con barrenos**

El material explosivo no deberá cargarse en los taladros con el equipo de barrenos u otros dispositivos que podrían extraerse mientras contienen material explosivo. Está permitido el uso de manguera de carga, mangueras de anillo o tuberías de anillo.

### **Requerimientos de petróleo diesel para el ANFO**

- υ Los combustibles de hidrocarburos líquidos con puntos de inflamación menores que el del aceite diesel N° 2 (125°F/52°C) no deberán utilizarse para prepararse el nitrato de amonio - petróleo diesel; pero sí se podrán usar combustibles diesel con punto de inflamación no menores de 100°F (38°C) a temperaturas ambientales por debajo de 45°F (7°C).
- υ El aceite residual, incluyendo el aceite de cárter, no deberá usarse para preparar ANFO.
- υ Con el objeto de maximizar el calor óptimo de explosión y la energía producida por el explosivo, y para minimizar los gases venenosos producidos, el ANFO deberá mezclarse en cantidades de 94% de AN a 6% de FO por peso.

### **Periodo de espera para un tiro cortado**

Cuando se sospecha de un tiro cortado, las personas no deberán ingresar en el área de voladura por un lapso de 30 minutos, cuando se usa fusible de seguridad y fulminantes; o por un lapso de 15 minutos, cuando se usa cualquier otro tipo de detonadores.

### **Manejo de tiros cortados**

- υ Se deberán examinar las caras y los montones de roca volada para detectar tiros cortados después de cada operación de voladura.
- υ En el área afectada, sólo se deberá permitir el trabajo necesario para retirar un tiro cortado y proteger la seguridad de los mineros involucrados en la remoción, hasta que se haya dispuesto del tiro cortado de una manera segura.
- υ Cuando no se pueda disponer de manera segura de un tiro cortado, todo acceso al área afectada por este evento deberá llevar fijado un letrero de advertencia en un lugar visible, en el cual se indique que el ingreso está prohibido; se deberá informar de la situación inmediatamente a la gerencia de la mina.

### **Voladura secundaria**

Las voladuras secundarias disparadas al mismo tiempo en la misma área de trabajo deberán iniciarse desde una fuente.

---

### **Seguridad del área de voladura**

Las áreas en las que se sospecha estén siendo cargadas o donde hayan taladros cargados que estén en espera de ser disparados deberán mantenerse atendidas, con barricadas y con letreros fijados o bandera que prohíban el ingreso no autorizado.

### **Carguio de los taladros**

Los taladros que se han de volar deberán ser cargados en el momento más próximo posible a la hora de la voladura; igualmente, dichos taladros deberán volarse lo más pronto posible, después de haberse terminado con la carga. En ningún caso deberán transcurrir más de 72 horas entre la culminación de la operación de carga y el momento de la voladura.

### **Protección del personal en el área de voladura**

Se deberá dar una advertencia amplia antes de disparar los dinamitazos. Se deberá despejar y retirar a todas las personas del área de voladura, a menos que se proporcionen refugios antivoladuras para proteger a las personas que se encuentre en peligro ante la concusión o roca lanzada por la explosión producida por una operación de voladura.

### **Cargas quemadas**

Si se sospecha que los explosivos se están quemando en un taladro, todas las personas que se encuentre en el área en peligro deberán trasladarse a un lugar seguro y nadie deberá regresar al taladro hasta que el peligro haya pasado; en ningún caso deberá transcurrir menos de una hora.

## **b) Uso: Sólo en Operaciones Mineras Subterráneas**

### **Restricción del carguio y del área de voladura**

Se deberá dar una amplia advertencia antes de que se disparen las voladuras. Se deberá despejar y retirar a todas las personas de las áreas en peligro a causa de la voladura. Se deberá proporcionar acceso libre a las salidas para el personal que disparará la serie de taladros.

---

### **Voladura en pozos o accionadores de rodillos**

La voladura en pozos o accionadores de rodillos deberá iniciarse en un lugar seguro fuera del pozo o accionador de rodillos.

### **3. Transporte de Explosivos**

#### **a) Transporte: En superficie y Subterráneo**

##### **Entrega al área de almacenamiento o de voladura**

El material explosivo deberá transportarse sin retardo indebidos hacia el área de almacenamiento o de voladura.

##### **Separación del material explosivo transportado**

Los detonadores no deberán transportarse en el mismo vehículo o transporte, junto con otros explosivos, excepto en los siguientes casos:

- ∪ Los detonadores en cantidad de más de 1 000 podrán ser transportados en un vehículo o transporte con explosivos o agentes de voladura, a condición de que los detonadores:
  - ❖ Se mantengan en el paquete original en el que fueron despachados por el fabricante;
  - ❖ Estén separados de los explosivos o agentes de voladura por cuatro pulgadas (10,2cm) de madera dura, separación laminada o equivalente. Dicha madera, separación o su equivalente deberán estar sujetas al vehículo o transporte.
- ∪ Los detonadores en cantidades de 1 000 o menos podrán ser transportados con explosivos o agentes de voladura a condición de que los detonadores:
  - ❖ Se mantengan en contenedores cerrados; y
  - ❖ Estén separados de los explosivos o agentes de voladura por cuatro pulgadas (10,2cm) de madera dura, separación laminada o su equivalente. Dicha madera, separación o equivalente deberá estar sujeta al vehículo o transporte.

---

## Vehículos

- o Los vehículos que contengan material explosivo deberán:
  - ❖ Encontrarse estructuralmente intactos y estar bien mantenidos:
  - ❖ Estar equipados con lados y recintos que estén a mayor altura que el material explosivo que está siendo transportado, o deberán poder asegurar el material a una tarima no conductiva.
  - ❖ Estar equipados con un espacio de carga donde se coloque el material explosivo (el área de pasajeros no se considerará espacio de carga);
  - ❖ Estar equipados con por lo menos extintores de incendio multi-propósitos, de sustancia química seca, o uno de estos extintores más un sistema automático de supresión de incendios;
  - ❖ Llevar fijados letreros de advertencia que indique el contenido y que sean visibles desde cualquier ángulo.
  - ❖ Ser ocupados sólo por las personas que sean necesarias para manipular el material explosivo;
  - ❖ Estar atendidos o el compartimiento de carga cerrado en las áreas superficiales de las minas subterráneas, excepto cuando se están realizando operaciones de estacionamiento y carga en el área de voladuras;
  - ❖ Estar asegurados mientras se encuentren estacionados, mediante:
    - ♦ Tener los frenos puestos,
    - ♦ Tener las ruedas trabadas, por si se produjera movimiento
    - ♦ Tener el motor apagado a menos que se esté dando potencia a algún dispositivo que se está usando en la operación de carga.
    - ♦ Los vehículo que contienen explosivos deberán:
  - ❖ No tener material productor de chispas expuesto en el espacio de carga; y 2) Tener sólo equipo no hecho con material que produzca chispas, bien asegurado, en el espacio de carga cargado de explosivos.
    - ♦ Los vehículo usados para distribuir material explosivos a granel:
  - ❖ No deberán tener zinc o cobre expuesto en el espacio de carga;

- ❖ Deberán contar con fajas transportadoras cerradas, de tornillos, con protección contra presión interna y calor de fricción.

### **Locomotoras**

El material explosivo no deberá ser transportado en locomotora. Cuando el material explosivo es transportado en tranvía, se deberá usar carros cubiertos y eléctricamente aislado.

### **Grúas**

- ∪ Antes de transportar material explosivo en vehículos de elevación:
- ❖ Se deberá notificar al operador al operador de grúa;
- ❖ Se deberá detener el trabajo de grúas en compartimientos de pozos adyacentes, con excepción de transportes vacíos o contrapesos, hasta completar el transporte del material explosivo.
- ∪ El material explosivo transportado en grúas deberá ser colocado en un recipiente que evite el desplazamiento de carga, el cual podría ocasionar la detonación del recipiente por impactos o por chispas. Se podrá usar el recipiente del fabricante, si éste se encuentra asegurado a una tarima o conductiva. Cuando se transporten explosivos, estos deberán asegurarse para no entrar en contacto con material que produzca chispas.
- ∪ No se deberá transportar material explosivo en un viaje que transporte personas.

### **Transporte manual de explosivos**

Se deberán usar contenedores cerrados, no conductivos, para llevar explosivos y detonadores desde y hacia las áreas de voladura. Se deberán usar contenedores separados para explosivos y detonadores.

### **Mantenimiento y operación de vehículos de transporte**

Los vehículos que contienen explosivos o detonadores, deberán mantenerse en buenas condiciones y operarse a una velocidad segura, conforme con todas las prácticas de operación seguras.

## CAPITULO III OPERACIÓN MINERA UNITARIA DE VOLADURA

### Sistema de Iniciación de la Voladura

#### 1. Voladura Eléctrica: En Superficie y Subterráneas

##### Compatibilidad de los detonadores eléctricos

Todos de detonadores eléctricos que se dispararán en una serie de taladros deberán provenir del mismo fabricante y contar con similares características eléctricas de disparo.

##### Derivación

Excepto durante de prueba:

- υ Los detonadores eléctricos se mantendrán en derivación hasta que sean conectados a la línea de voladura o cableados a una serie de taladros;
- υ Las series de taladros cableados deberán mantenerse aislados hasta que se conecten a la línea de voladura;
- υ Las líneas de voladura deberán mantenerse aislado justo antes de la voladura.

##### Circuitos sin energía cerca de los detonadores

Los circuitos de distribución eléctrica a una distancia de 50 pies (15,25m) de los detonadores eléctricos en el área de voladura deberán mantenerse sin energía. Dichos circuitos no necesitan mantenerse sin energía entre 25 y 50 pies de los detonadores eléctricos, si las pruebas de corrientes extrañas, realizadas con la frecuencia que sea necesaria, indican una corriente extraña máxima de no menor de 0,05 amperios a través de una resistencia de 1 ohmio, conforme a la medición efectuada en el área de voladura.

### **Separación de los circuitos de voladuras de la fuente de poder**

- υ Los conmutadores usados para conectar la fuente de poder a un circuito de voladura deberán asegurarse en la posición abierta, excepto cuando se cierran para disparar la voladura.
- υ Los alambres de plomo no deberán conectarse al conmutador de voladura hasta que el tiro esté listo para ser disparado.

### **Dispositivos de disparo**

- υ Las fuentes de poder ser capaces de brindar la suficiente corriente para dar energía a todos los detonadores eléctricos que serán disparados con el tipo de circuito usado. NO se recomiendan las baterías de almacenamiento o las baterías secas como fuentes de poder.
- υ Las máquinas de voladura deberán probarse, repararse y mantenerse de conformidad con las instrucciones del fabricantes.
- υ Únicamente el supervisor de voladura deberá tener la llave u otro tipo de control del dispositivo de disparo eléctrico.

### **Prueba de circuitos**

Se deberá usar un galvanómetro de voladura u otro instrumento diseñado para probar circuitos de voladura, con el objeto de realizar pruebas correspondientes de lo siguiente:

- υ En operación en superficie:
  - ❖ La continuidad de cada detonador eléctrico en el taladro antes de la colocación del taco y la conexión a la línea de voladura;
  - ❖ La resistencia de series individuales o la resistencia de series múltiples balanceadas que se han de conectar en paralelo antes de conectarlas a la línea de voladura;
  - ❖ La continuidad de las líneas de voladura antes de la conexión de las series de detonadores eléctricos;
  - ❖ La resistencia del circuito de voladura total antes de su conexión a la fuente de poder.

- ❖ En operaciones bajo tierra:
- ❖ La continuidad de cada serie de detonadores eléctricos.
- ❖ La continuidad de las líneas de voladura de conectar los detonadores eléctricos.

## 2. Voladura No Eléctrica: En Superficie y Subterráneas

### Material de iniciación dañado

Se deberá realizar una inspección visual del circuito completo para garantizar que los componentes estén apropiadamente alineado y conectados. No se deberá usar fusible de seguridad, mecha rápida, cordón detonante, manguera fanel o de gas y material similar que esté retorcido, muy doblado o dañado.

### Sistema de iniciación no eléctricos

- ⋮ Cuando se proceda a la voladura con un sistema de iniciación no eléctrico, cuya continuidad no se pueda probar, deberán usarse líneas troncales dobles o sistemas de lazos, a excepción de:
    - ❖ Cuando la voladura se realice con fusible de seguridad o fulminantes;
    - ❖ Cuando se efectúa voladura secundaria; o
    - ❖ Cuando se realiza voladura de una o dos hileras, usando manguera fanel.
  - ⋮ Cuando el sistema de iniciación no eléctrica usa manguera fanel:
    - ❖ Se deberá asegurar las conexiones con otros dispositivos de iniciación de manera que se asegure una propagación ininterrumpida;
    - ❖ Las unidades hechas en fábrica deberán usarse de manera en que fueron ensambladas y no se cortarán; excepto porque se permite una sola rebanada en la línea troncal de acometida durante condiciones secas;
    - ❖ No se deberán realizar conexiones entre los taladros hasta antes de despejar el área de voladura, cuando se usan detonadores de retardo de superficie.

- o Cuando el sistema de iniciación no eléctrica usa cordón detonante:
  - ❖ La línea del cordón detonante que se extiende fuera de un taladro deberá cortarse de la bobina de suministro inmediatamente después de que el explosivo unido a ella esté correctamente colocado en el taladro;
  - ❖ En voladuras de hileras múltiples, el tendido de la línea de troncal deberá diseñarse de manera que la detonación pueda alcanzar a cada taladro desde por lo menos dos direcciones;
  - ❖ Las conexiones deberán estar ajustadas y mantenerse en ángulo recto a la línea troncal;
  - ❖ Los detonadores deberán unirse seguramente al lado del cordón detonante y apuntando en la dirección en la que proseguirá la detonación;
  - ❖ No se deberán realizar conexiones entre los taladros hasta inmediatamente antes de despejar el área de voladura, cuando se usan detonadores de retardo superficie;
  - ❖ Las líneas de acometida deberán desenrollarse manualmente si están conectadas a las líneas troncales en el área de voladura.
- o Cuando el sistema de iniciación no eléctrica usa tubería de gas, se deberá probar la continuidad de circuito antes de proceder a la voladura.

### **Mecha de seguridad**

- o La velocidad de quemado de cada bobina del fusible de seguridad que se usará, deberá medirse e indicarse en lugares visibles para sus usuarios, haciéndola notoria a todas las personas involucradas en la operación de voladura.
- o Cuando se efectúa el disparo con un fusible de seguridad encendido individualmente mediante el uso de encendedores manuales, el fusible de seguridad deberá ser de longitudes que proporcionen por lo menos un mínimo tiempo de quemado para una serie de taladros de dimensiones particulares, conforme a lo que se especifica en el siguiente cuadro:

MECHA DE SEGURIDAD – TIEMPO MINIMO DE QUEMADO	
No de taladros en la serie	Tiempo mínimo de quemado
1	2 minutos
2 – 5	2 minutos 40 segundos
6 –10	3 minutos 20 segundos
11 a 15	5 minutos

- Cuando el fusible de seguridad pueda ser dañado por la lanzada, deberá programarse la voladura de manera tal que todos los fusibles de seguridad estén encendidos dentro de los taladros antes que cualquier detonador de taladro.
- El fusible deberá cortarse y taparse en lugares secos.
- Los fulminantes deberán engarzarse al fusible sólo con implementos diseñados al propósito.
- El fusible de seguridad deberá encenderse sólo después de que el primer y el material explosivo se encuentre seguros en su lugar.
- El fusible de seguridad deberá encenderse sólo con dispositivos diseñados al propósito. No deberán usarse luces de carburo, antorchas de gas de petróleo licuado o encendedores de cigarrillos para encender el fusible de seguridad.
- Al menos dos personas deberán estar presentes al encender el fusible de seguridad, ninguna de estas personas deberá encender más de 15 fusibles individuales. Si se van a encender más de 15 taladros por persona, deberán usarse sistemas de iniciación eléctrica, mecha y conectores rápidos u otros sistemas de iniciación no eléctrica.

**3.- Corrientes eléctricas Erráticas o Extrañas en Superficie y en Labores Mineras Subterráneas**

### a) Prácticas de Carguío

Si se sospecha la presencia de electricidad extraña en un área donde se usan detonadores eléctricos, se deberá suspender el carguío hasta que las pruebas determinen que la corriente extraña no excede los 0,05 amperios a través de una resistencia de 1 ohmio, medida en el sitio de los detonadores eléctricos. Si se descubren niveles mayores de electricidad extraña, se deberá determinar la fuente y no se realizarán operaciones de carga hasta que se haya corregido esa condición.

### b) Disipación de la electricidad durante el Carguío

Cuando el material explosivo se carga neumáticamente o se deja caer en un taladro de una forma que podría generar electricidad estática.

- ❖ Se deberá realizar una evaluación del peligro potencial de electricidad estática, cualquier peligro deberá eliminarse antes de que se inicie la carga.
- ❖ La manguera de carga deberá ser de tipo semiconductor, atendrá un total de no más de 2 megaohmios de resistencia en toda su longitud y no más de 1000 ohmios de resistencia por pie.
- ❖ No se deberá usar mangueras provistas de hilos.
- ❖ Las partes conductoras del equipo de carga deberán de estar unidas y puestas a tierra; sin embargo, no se deberá poner a tierra otras fuentes potenciales de electricidad extraña, y
- ❖ No se deberá usar tubos de plástico como revestimiento para el taladro si este último contiene un detonador eléctrico.

### c) Separación de Aire

Se deberá de proporcionar una separación de aire de por lo menos 15 pies (4,6 m) entre el circuito de voladura y la fuente de poder eléctrico.

#### **d) Precauciones durante Tormentas**

Durante la aproximación y progreso de una tormenta eléctrica:

- ❖ Se deberá suspender las operaciones de voladura en superficie, retirándose las personas del área de voladura o a un lugar seguro.
- ❖ Se deberán suspender las operaciones de voladura eléctrica bajo tierra que pueden ser iniciadas por los rayos retirándose todas las personas del área de voladura o a un lugar seguro.

#### **e) Aislamiento de Circuitos de voladura**

Los alambres de plomo y líneas de voladura deberán aislarse de los conductores de poder, tuberías y vías férreas, recibiendo protección de las fuentes de electricidad extraña o estática. Los circuitos de voladura deberán protegerse de cualquier contacto entre las líneas de disparo y las líneas de poder aéreas, el cual podría producir como resultado de la fuerza de la voladura.

### **4. Consideraciones Relacionadas con las Operaciones en Superficie y Bajo Tierra**

#### **a) Equipos /Herramientas**

Sólo deberán usarse herramientas hechas con material que no produzca chispas para abrir los contenedores de material explosivo o para perforar los cartuchos de explosivos.

##### **Requerimientos de postes de ataque y de carga**

Los postes de ataque y de carga deberán ser de madera o de otro material no conductor, no productor de chispas. Los acoplamientos de los postes no deberán producir chispas.

#### **b) Mantenimiento**

##### **Instalaciones de almacenamiento**

Cuando en una instalación de almacenamiento de deban realizar trabajos de reparación que podrían producir chispas o llama:

- ❖ El material explosivo deberá trasladarse a otra instalación, o deberá trasladarse por lo menos a una distancia de 50 pies (15,25m) de la actividad de reparación y recibir vigilancia.
- ❖ La instalación deberá ser limpiada para evitar detonaciones accidentales.

**Reparación de vehículos**

Los vehículos que contengan material explosivo y oxidantes no deberán ser llevados a un garaje o taller de reparaciones.

**Vehículos de distribución a granel**

No se deberá realizar soldadura o cortes en un vehículo de distribución a granel hasta que se haya lavado completamente el vehículo y se le haya extraído todo el material explosivo.

Antes de soldar o cortar un eje hueco, se deberá limpiar completamente su interior y exterior y aerearse con una abertura con un diámetro de 1/2 pulgada (1,3mm) como mínimo para permitir una adecuada ventilación.

**Líneas de voladura**

Las líneas permanentes de voladura deberá contar con un soporte apropiado. Todas las líneas de voladura deberán aislarse y mantenerse en buenas condiciones.

**a) Material Explosivo Dañado o Deteriorado**

El material explosivo dañado o deteriorado deberá desecharse de una manera segura, de conformidad con las instrucciones del fabricante.

## b) Pólvora Negra

- La pólvora negra deberá usarse para voladuras sólo cuando no se pueda obtener el resultado deseado con otro tipo de explosivo, por ejemplo para cantear ciertos tipos y dimensiones de piedra.
- Los contenedores de la pólvora negra deberán:
  - ❖ Ser de material que no produzca chispas.
  - ❖ Mantenerse en un espacio de carga completamente cerrado mientras están siendo transportados en un vehículo.
- Estar seguramente cerrados en todo momento cuando:
  - ❖ Estén a una distancia de 50 pies (15,25m) de cualquier polvorín o llama abierta.
  - ❖ Estén adentro de un edificio donde esté funcionando calefacción por combustible o eléctrica de elementos expuestos.
  - ❖ Se encuentren en un área donde se podrían generar chispas eléctricas o partículas incandescentes en el encendido del polvo, y
- Abrirse sólo cuando se transfiera el polvo al taladro o a otro contenedor.
- La pólvora negra se deberá transferir de los contenedores sólo mediante vaciado.
- Los derrames deberán limpiarse rápidamente con equipo que no produzca chispas. El polvo contaminado deberá colocarse en un contenedor de agua y se desechará rápidamente, apenas se hayan desintegrado los gránulos, o bien se deberá lavar rápidamente el área de derrame, con abundante agua, hasta que los gránulos se hayan desintegrado completamente.
- Los tiros cortados deberán desecharse mediante el lavado de los tacos y la carga de polvo que se encuentra en el taladro, se deberá, además, retirar y desechar el iniciador de conformidad con el procedimiento seguido con los explosivos dañados.

- Los taladros no deberán recargarse por lo menos durante 12 horas, cuando no hayan volado conforme a lo planeado.

**c) Temperatura Excesiva**

- Cuando el calor pueda producir detonación prematura, el material explosivo no deberá ser cargado en áreas calientes, tales como hornos o taladros volados.
- Se deberán tomar precauciones especiales al proceder con la voladura de minerales sulfuros, que reaccionan con el material explosivo o los tacos en los taladros.

**d) Procedimiento específico de la Mina**

Se debe alentar a cada mina en operación a que desarrolle un conjunto de procedimientos específicos de la mina, que describan claramente el proceso, paso a paso, que se seguirá con cada tipo de operación de voladura en la mina. Estos procedimientos deberán comprender:

- ❖ Los pasos del procedimiento por seguir,
- ❖ La exposición y/o posibles accidentes que podrían ocurrir en cada paso ,
- ❖ Las acciones recomendadas que se tomarán para evitar daños o accidentes .

**Capacitación en el lugar**

Todo empleado comprometido en operaciones de voladura deberá recibir capacitación en los procedimientos específicos que se describen en el presente subcapítulo.

## CAPITULO IV OPERACIÓN MINERA UNITARIA DE PERFORACION

### 1.- OPERACIONES DE PERFORACION

Los siguientes subcapítulos ofrecen sugerencias para las operaciones de perforación en superficie y bajo tierra en las minas. Desde un punto de vista ambiental, los principales temas están vinculados con el ruido y el polvo, a pesar que son de naturaleza relativamente menor. Las prácticas de operación que tienen que ver con la salud y la seguridad de los trabajadores. Es decir, el ambiente humano son de preocupación más mas inmediata.

#### a) Protección del Personal de la Mina: En Superficie y Subterránea

- υ Todo personal de la mina que trabaje dentro de un rango de 50 metros de una perforadora deberá llevar puestos protectores o tapones para los oídos, un respirador antipolvo, anteojos de seguridad y calzado con punta de seguridad.
- υ Todo el personal de mina subterránea que trabaje cerca de perforadoras y otros equipos de movimiento deberá usar protectores o tapones de oídos, anteojos de seguridad y calzado con puntas de seguridad.

#### b) Perforación Sólo en Superficie

##### Equipos Defectuosos

Los defectos de los equipos que afecten la seguridad deberán corregirse antes que dicho equipo sea usado.

##### Inspección del Area de Perforación

El área de perforación deberá inspeccionarse para detectar peligros antes del inicio de las operaciones de perforación.

- ❖ Se encuentran en un área donde se podrían generar chispas eléctricas o partículas incandescentes en el incendio del polvo.
- ❖ Abrirse sólo cuando se transfiera el polvo al taladro o a otro contenedor.
- ∪ La pólvora negra se deberá transferir de los contenedores sólo mediante vaciado.
- ∪ Los derrames deberán limpiarse rápidamente con equipo que no produzca chispas. El polvo contaminado deberá colocarse en un contenedor de agua y se desechará rápidamente, apenas se hayan desintegrado los gránulos, o bien se deberá lavar rápidamente el área de derrame, con abundante agua, hasta que los gránulos se hayan desintegrado completamente.
- ∪ Los tiros cortados deberán desecharse mediante el lavado de los tacos y la carga de polvo que se encuentra en el taladro; se deberán además retirar y desechar el iniciador de conformidad con el procedimiento seguido con los explosivos dañados.
- ∪ Los taladros no deberán recargarse por lo menos durante 12 horas, cuando no hayan volado conforme a lo planeado.

### c) Temperaturas Excesivas

- ∪ Cuando el calor pueda producir detonación prematura, el material explosivo no deberá ser cargado en áreas calientes, tales como hornos o taladros volados.
- ∪ Se deberán tomar precauciones especiales al proceder con la voladura de minerales sulfurosos, que reaccionan con el material explosivo o los tacos en los taladros.

### d) Procedimientos Específicos de la Mina

Se debe alentar a cada mina en operación a que desarrolle un conjunto de procedimientos específicos de la mina, que describan claramente el proceso, paso a paso, que se seguirá con cada tipo de operación de voladura en la mina. Estos procedimientos deberán comprender:

- ❖ Los pasos del procedimiento por seguir
- ❖ La exposición y/o posibles accidentes que podrían ocurrir en cada paso
- ❖ Las acciones recomendadas que se tomarán para evitar daños o accidentes.

---

Mientras estén en operación, los taladros permanecerán atendidos en todo momento.

**Columna de Perforación**

No deberá haber personas en una columna mientras la broca esté en operación, a menos que se les proporcione una plataforma desde la cual trabajar: se requiere además que estas personas usen cinturones de seguridad para evitar caídas.

**Taladros y Barrenos**

Las cuadrillas de perforación y otro personal deberán permanecer lejos de los taladros y barrenos que estén en movimiento. Las personas no pasarán por debajo o por encima de un barreo o taladro en movimiento.

**Movimiento del Taladro**

Cuando se está moviendo un taladro de un área de perforación a otra, se deberán asegurar taladros, barrenos, herramientas y otros equipos y la columna se colocará en una posición segura.

**Asistentes de Perforación**

Si un asistente de perforación ayuda al operador de perforación durante el movimiento de un taladro a una nueva ubicación, dicho asistente deberá estar en el rango de visión o en comunicación con el operador.

**Fallas de Energía**

En caso de fallas de energía, los controles del taladro deberán colocarse en posición neutra hasta que se restablezca el suministro.

**Enderezamiento de Cables Cruzados**

El barreno deberá descansar sobre el fondo del taladro o en la plataforma con el barreno asegurado a la columna, antes de que se intente enderezar un cable cruzado en una bobina.

**Vigilancia de Taladros en Operación**

Mientras estén en operación, los taladros permanecerán atendidos en todo momento.

**Cubrimiento o Resguardo de Taladros**

Los taladros que sean lo suficientemente grandes para constituir un peligro deberán ser cubiertos o resguardados.

**Despeje de Manos**

El personal de deberá tener en mano el barreno al hacer el reborde de los taladros, ni apoyar las manos en el mango o centralizador mientras se perfora.

**c) Perforación : Sólo Subterránea**

**Despeje de Manos**

El personal no deberá apoyar las manos en el mango o centralizador mientras se perfora.

**Anclaje**

Las columnas y barrenos montados sobre ellas deberán anclarse firmemente ante y durante la perforación.

**d) Perforación: En Superficie y Subterránea**

**Soportes de Herramientas y Barrenos**

Se deberán proveer receptáculos o soportes para los barrenos y herramientas almacenadas o montadas en las perforaciones.

**Objetos Suelos en la Columna o Plataforma de Perforación**

Para evitar daños al personal, las herramientas y otros objetos no deberán dejarse sueltos en la columna o plataforma de perforación.

**Posiciones de Perforación**

El personal no deberá perforar desde:

- ❖ Posiciones que les obstaculicen el acceso a las palancas de control:

Los operadores de perforación no deberán encender o mover el equipo de perforación a menos que todos los mineros hayan despejado el lugar.

**Taladros que se Intersecan**

No deberán perforarse taladros donde haya peligro de intersecar un taladro con tiro cortado o un taladro que contenga explosivos, agentes de voladura o detonadores.

**Rebordes en Bootlegs**

No se deberán hacer rebordes en bootlegs en los taladros.

Cuadro 1. Almacenaje en superficie de Materiales explosivos

## CUADROS Y FIGURAS

Para fines de este cuadro, “en barricada” significa la instalación de almacenamiento que contiene material explosivo protegido efectivamente por una barricada natural o por una barricada artificial que consiste en un montículo o pared revestida de tierra, con un espesor mínimo de tres pies.

Cantidad de Material Explosivo (libras)	Distancia de separación mínima (pies)			
	Desde edificios de la mina, represa, subestaciones eléctricas, vías férreas		Entre polvorines	
	En barricada	Sin barricada	En barricada	Sin barricada
No				
20	110	220	10	20
50	150	300	14	28
75	170	340	15	30
100	190	380	16	32
150	215	430	19	38
300	270	540	24	48
500	320	640	29	58
700	355	710	32	64
900	390	780	35	70
1200	425	850	39	78
1600	470	940	43	86
2000	505	1010	45	90
2500	545	1090	49	98
5000	685	1370	61	122
7000	770	1540	68	136
9000	835	1670	75	150
12000	875	1750	82	164
16000	900	1800	90	180
20000	975	1950	98	196
25000	1055	2000	105	210
35000	1205	2000	119	238
45000	1340	2000	129	258
55000	1460	2000	140	280
65000	1565	2000	150	300
75000	1655	2000	160	320
85000	1730	2000	170	340
95000	1790	2000	180	360
110000	1835	2000	195	390
130000	1875	2000	215	430
150000	1900	2000	235	470
170000	1965	2000	255	510
190000	2010	2010	275	550
210000	2055	2055	295	590
230000	2100	2100	315	630
250000	2155	2155	335	670
275000	2215	2215	360	720
30000	2275	2275	385	770

**Cuadro 2. Tabla de distancias de Separación**

Cuando el nitrato de amonio o los agentes de voladura no se encuentran en barrida, las distancias que se muestran en la tabla deberán multiplicarse por seis.

Para fines de este cuadro, “en barricada” significa que la instalación de almacenamiento está eficazmente protegida por una barricada natural o por una barricada artificial que consiste en un montículo o pared revestida en tierra, con el espesor mínimo que se prescribe.

Cantidad de nitrato de amonio o agente de voladura (libra)	Distancias de separación del nitrato de amonio en barricada (pies)	Distancia de separación para agentes de voladura de barricada (pies)	Espesor mínimo de barricadas artificiales (pulgadas)
100	3	11	12
300	4	14	12
600	5	18	12
1000	6	22	12
10000	13	27	20
20 000	16	58	25
30000	19	68	30
40000	21	76	30
50000	23	83	35
60000	25	90	35
70000	26	94	40
80000	28	101	40
90000	30	108	40
100000	32	115	40
200 000	48	173	50
300000	64	230	60

**Cuadro 3.**

**Mantenimiento y Construcción Comunes a todos los Tipos de Instalaciones para Almacenes**

Ítem	Requerimientos
Bisagras y Cerrojos	Deberán colocarse en las puertas mediante soldaduras o remache o con pernos (las tuercas en el interior de la puerta)
Cerraduras	<p>Cada puerta deberá estar equipada con: dos cerraduras mortise o con dos candados asegurados con cerrojos y argollas separadas o con una combinación de una cerradura mortise y un candado: o una cerradura mortise que requiera de dos llaves para abrirla o una cerradura de tres golpes.</p> <p>Las cerraduras deberán tener cinco vueltas o cinco hojas. Los candados estarán protegidos dentro de cubiertas de acero ¼ pulgada (0,64), construidas para evitar acción de sierra o palanca en las cerraduras/cerrojos.</p> <p><b>Nota:</b> también son idóneas las instalaciones móviles con un candado de acero, con una cubiertas endurecida de cinco vueltas que tenga una argolla de por lo menos 3/8 (1cm) de diámetro.</p>
Iluminación	La iluminación eléctrica usada en cualquier polvorín debe cumplir con los reglamentos nacionales para las condiciones dadas. Todos los commutadores eléctricos deberán localizarse fuera del polvorín y cumplir con los reglamentos nacionales. La iluminación de seguridad activada por baterías puede emplearse en todos los polvorines de explosivos.
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las instalaciones de almacenamiento se mantendrán limpias, secas, libres de arena, papel, paquete y envases vacíos y basura.</li> <li>- Los materiales explosivos no deberán colocarse directamente contra las paredes internas de una instalación de almacenamiento.</li> <li>- Las escobas y demás utensilios de limpieza no deberán tener partes metálicas que produzcan chispas.</li> <li>- Sólo se deberán usar materiales que no produzcan chispas en los polvorines. (Se puede usar cortadores de metal para abrir los contenedores de plancha de fibra. Aparte de las fajas transportadoras de material que no produce chispas, no se deberán almacenar otras herramientas metálicas en los polvorines que contengan explosivos).</li> <li>- El área que rodea las instalaciones de almacenamiento, deberán mantenerse libres de desperdicios, malezas, césped seco o árboles de menos de 10' (3m) por lo menos de 25' (7,5m) en todas las direcciones.</li> <li>- Todos otro material combustible deberá mantenerse a una distancia de no menos de 50' (15m) del almacenamiento en campo abierto</li> </ul>

**Cuadro 4. Distancias para Almacenar Bajos Explosivos**

Cuando dos o más polvorines de almacenamiento se localizan en la misma propiedad, cada polvorín debe cumplir con las distancias mínimas específicas desde los edificios habitados, vías férreas y carreteras y, además, deberán estar separados entre día por lo menos por las distancias mostradas en “Separación de Polvorines”; con excepción de que la cantidad de explosivos contenidos en polvorines respecto de aquellos que contienen otros explosivos.

Si cualquiera de dos o más polvorines están separados entre sí por lo menos de la distancia especifica en “Separación de polvorines”, entonces dichos dos o más polvorines, como grupo, deberán considerarse como uno sólo, debiendo tratarse la cantidad total de explosivos almacenada en dicho grupo como si estuviese almacenada en un único polvorín localizado en el

área de cualquier polvorín de grupo; deberá además cumplir con el mínimo de las distancias especificadas respecto de otros polvorines, de edificios habitados, vías férreas y carreteras.

- Todos los tipos fulminantes, con optencia hasta el N° 8, deberán clasificarse a ½ libras (0,7kg) de explosivos por cada 1000 fulminantes. Para potencias más altas que el fulminante N° 8, consultar al fabricante.
- Para fines de cantidad y distancia, se deberá calcular un cordón detonante de 50 a 60 gramos por pie como el equivalente a 9 libras (4,1kg) de altos explosivos por 1000 pies (305). Cargas de núcleo más pesadas o más livianas deberán clasificarse de manera proporcional.

Por encima (Kg)	Nº por encima (Kg)	De edificio habitado (m)	De vía férrea o carretera pública (m)	De polvorín por encima del suelo (m)
0	450	23	23	15
450	2250	35	35	23
2250	4500	46	46	30
4500	9000	58	58	38
9000	13600	66	66	44
13600	18100	72	72	47
18100	22700	76	76	50
22700	27200	79	79	53
27200	31700	82	82	56
31700	36300	85	85	58
36300	40800	90	90	60
40800	45400	91	91	60
45400	90700	114	114	76
90700	136000	137	137	91

Cuadro 5. Construcción del Almacén Tipo I

Una instalación de almacenamiento tipo I deberá ser una estructura permanente: un edificio, un iglú o una estructura tipo militar, un túnel o una defensa subterránea; deberá ser a prueba de balas, de las inclemencias del clima, anti-robos y bien ventilados.

Item	Requerimientos
Pared de Material noble	<p>Deberá construirse de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ladrillo de no menos de 6" (15,25cm) de espesor; o</li> <li>• Concreto de no menos de 6" de espesor; o"</li> <li>• Bloque de cemento de no menos de 6" de espesor.</li> </ul> <p>* (Las unidades huecas de material noble tendrán todos sus espacios huecos rellenos con arena seca gruesa bien apisonada o concreto débil)</p>
Pared de Metal	<p>Hojas seccionales de uno de los siguientes materiales se ajustará seguramente a una estructura de metal;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acero de calibre no menor de 14, o</li> <li>• Aluminio de calibre no menor que 14.</li> </ul> <p>Deberá estar revestido de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ladrillos o bloque de cemento sólido o madera dura de no menos de 4" (10,2 cm) de espesor o deberá tener un relleno de arena de por lo menos 6" entre las paredes internas y externas.</li> </ul>
Pared de Madera	<p>La parte externa deberá recubrirse con:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acero de calibre no menor que 26; o</li> <li>• Aluminio de calibre no menor que 26; o</li> <li>• Aluminio de calibre no menor que 14.</li> </ul> <p>Deberá estar revestido de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ladrillo o bloques de cemento sólido o madera dura de no menos de 4" (10,2cm) de espesor o deberá tener un relleno de arena de por lo menos 6" entre las paredes internas y externas.</li> </ul>
Pared de Metal	<p>La parte externa deberá recubrirse con:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acero de calibre no menor que 26; o</li> <li>• Aluminio de calibre no menor que 26.</li> </ul> <p>La pared interior deberá construirse para proporcionar un espacio de no menos de 6" entre las paredes internas y externa, relleno de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arena seca gruesa o</li> <li>• Concreto débil</li> </ul>
Pared de Metal	<p>Deberán construirse de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ladrillo concreto o bloque de cemento o piedra de madera. (Si se usan postes o vigas, el espacio debajo del edificio deberá estar cubierto de metal)</li> </ul>
Pisos	<p>Deberán construirse de material que no produzca chispas y deberá ser lo suficientemente fuerte para soportar el peso de la máxima cantidad que será almacenada.</p>
Pared de Metal	<p>Deberá construirse de acero de 1/4" (5,1cm) y deberán estar revestidas con madera dura de 2" (5,1cm).</p>

**Continuación 5. Continuación**

Item	Requerimientos
Iluminación	Ver requerimientos de construcción comunes a todos los tipos de instalaciones
Mantenimiento	Ver requerimientos de construcción comunes a todos los tipos de instalaciones
Techo	<p>El techo exterior (excepto techos de metal prefabricados) deberá estar recubierto con:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hierro de calibre 26, sujeto a un forro de 7/8 de pulgadas o</li> <li>• Aluminio de calibre 26, sujeto a forro de 7/8</li> </ul> <p>Cuando sea posible dispara una bala directamente a través del techo dentro de la instalación de almacenamiento, el polvorín deberá estar protegido por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Una bandeja de arena, llena con no menos de 4" (10,2cm) de arenas seca que cubra toda el área del cielo raso *excepto el espacio necesario para la ventilación).</li> <li>• Construcción de techo de plancha de acero prefabricado de 3/16"(5mm) revestido con 4" de madera dura.</li> </ul>
Interior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deberá construirse o recubrirse con un material que no produzca chispas.</li> <li>• Deberá tener expuesto metal que no produzca chispas, por debajo de la punta de las paredes interiores.</li> <li>• Todos los clavos deberán clavarse para no ser visibles o avellanarse.</li> </ul>

Ventilación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se deberá dejar un espacio de 2" (5cm) de aire alrededor del cielo raso y el perímetro de los pisos, excepto en los umbrales.</li> <li>Los respiraderos en los cimientos no deberán ser de dimensiones menores de 4" x 6" (10,2 x 15,25cm)</li> <li>Los respiraderos en los cimientos y techos a dos aguas deberán llevar protección y estar descentrados o contar con una defensa.</li> </ul>
Tierra	La tierra alrededor de la instalación de almacenamiento deberá estar en declive para permitir el drenaje.
Iglúes, estructuras tipo militar, túneles y defensas	<p>La tierra alrededor de la instalación de almacenamiento deberá estar en declive para permitir el drenaje.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Deberán construirse de concreto reforzado, material noble o una combinación de estos materiales.</li> <li>Deberán tener una cubierta de montículo de tierra de no menos de 24" (61cm) en la parte superior, lados y fondo.</li> <li>Las paredes internas y los pisos deberán recubrirse con material que no produzca chispas.</li> <li>Los requerimientos de pisos, puertas, cerraduras, ventilación, metal expuesto e iluminación, son los establecidos anteriormente.</li> </ul>
Bisagras, cerrojos y cerraduras	Ver requerimientos de construcción comunes a todos los tipos de instalaciones

Cuadro 6

**Construcción del Almacén Tipo II**

La instalación de almacenaje de tipo II puede ser un edificio, iglú o estructura de tipo militar, un túnel defensa subterránea, caja, remolque, semi-remolque u otra instalación móvil. Deberá ser a prueba de incendios, de los rigores del clima y anti-robos.

Item	Requerimientos
Construcción	<p>Deberá ser de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Material noble; o</li> <li>Material recubierta de metal; o</li> <li>Combinaciones de estos materiales</li> </ul>
Puertas y cubiertas	<p>Deberá construirse de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Metal; o</li> <li>Madera sólida recubierta de metal</li> </ul>
Cimientos	<p>Deberá construirse de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ladrillo</li> <li>Bloque de cemento</li> <li>Concreto</li> <li>Piedra</li> <li>Postes de madera</li> </ul> <p>(Si se usa vigas y postes, el espacio bajo el edificio deberá recubrirse de metal)</p>
Interior	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deberá recubrirse con material que no produzca chispas.</li> <li>Ninguna construcción con material no productor de chispas deberá estar expuesta por debajo de la punta de las paredes en el interior.</li> <li>Todos los clavos deberán clavarse para ser invisibles o avellanarse.</li> </ul>
Bisagras, cerrojos y cerraduras	Ver requerimientos comunes.
Iluminación	Ver requerimientos comunes.
Mantenimiento	Ver requerimientos comunes.
<b>Restricciones en Campo Abierto</b>	

Tierra	La tierra alrededor de la instalación de almacenamiento deberá estar en declive para permitir el drenaje.
Almacenamiento no vigilado	A las instalaciones vehiculares de almacenamiento no vigilada se les deberá retirar las ruedas o serán inmobilizadas mediante dispositivos de trabado de la dirección.
<b>Requerimiento de Instalaciones bajo Techo</b>	
Ubicación	Ninguna instalación de almacenamiento bajo techo deberá ubicarse dentro de una residencia o vivienda.
Restricciones de cantidad	Ninguna instalación de almacenamiento bajo techo deberá contener una cantidad de explosivos de bajo poder que exceda las 50 libras.

**Cuadro 7**

**Construcción del Almacén Tipo III**

La instalación de almacenaje de tipo III puede ser un edificio, un túnel defensa subterránea, caja, remolque, semi-remolque u otra instalación móvil. Deberá ser a prueba de incendios, de los rigores del clima.

Item	Requerimientos
Puertas y cubiertas	Deberá construirse de madera sólida o de metal.
Bisagras, cerrojos y cerraduras	Una cerradura por puerta o cubierta. No se requieren capuchas para las unidades móviles.
Mantenimiento	Ver requerimientos comunes
<b>Restricciones en Campo Abierto</b>	
Iluminación	La tierra alrededor de la instalación de almacenamiento deberá estar en pendientes para facilitar el drenaje.
Mantenimiento	La tierra alrededor de la instalación de almacenamiento deberá estar en pendientes para facilitar el drenaje.
<b>Requerimiento de Instalaciones bajo Techo</b>	
Ubicación	Ninguna instalación de almacenamiento bajo techo para agentes de voladura deberá ubicarse en una resistencia o habitación.

Figura 1

Velocidad de Detonación vs. Porcentaje de Petróleo Diesel

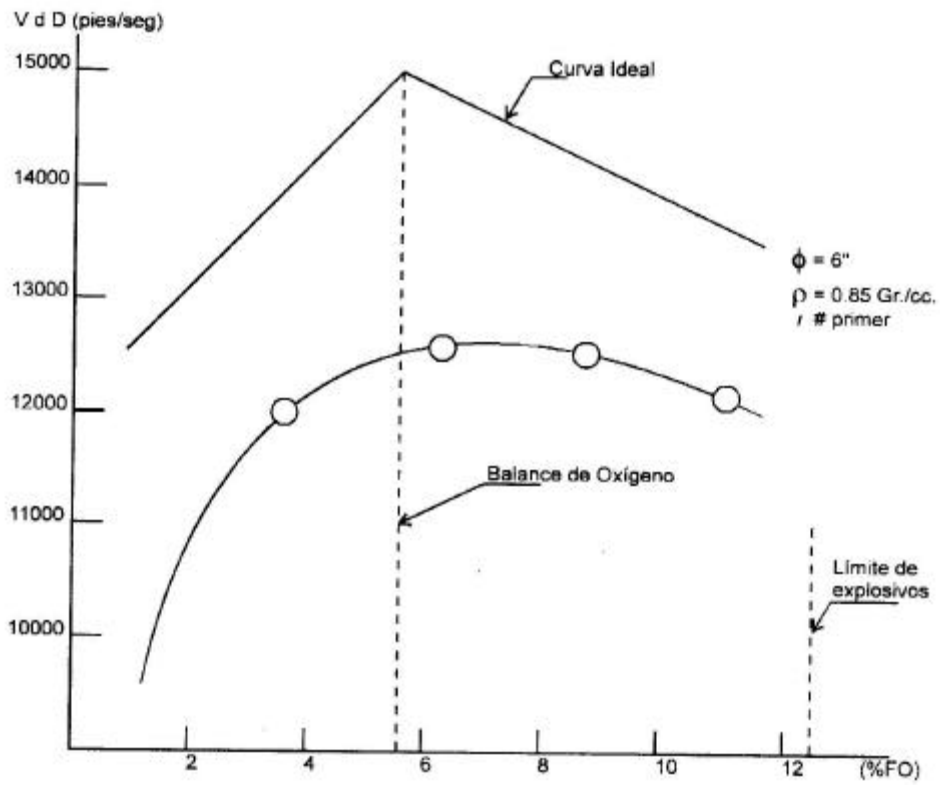
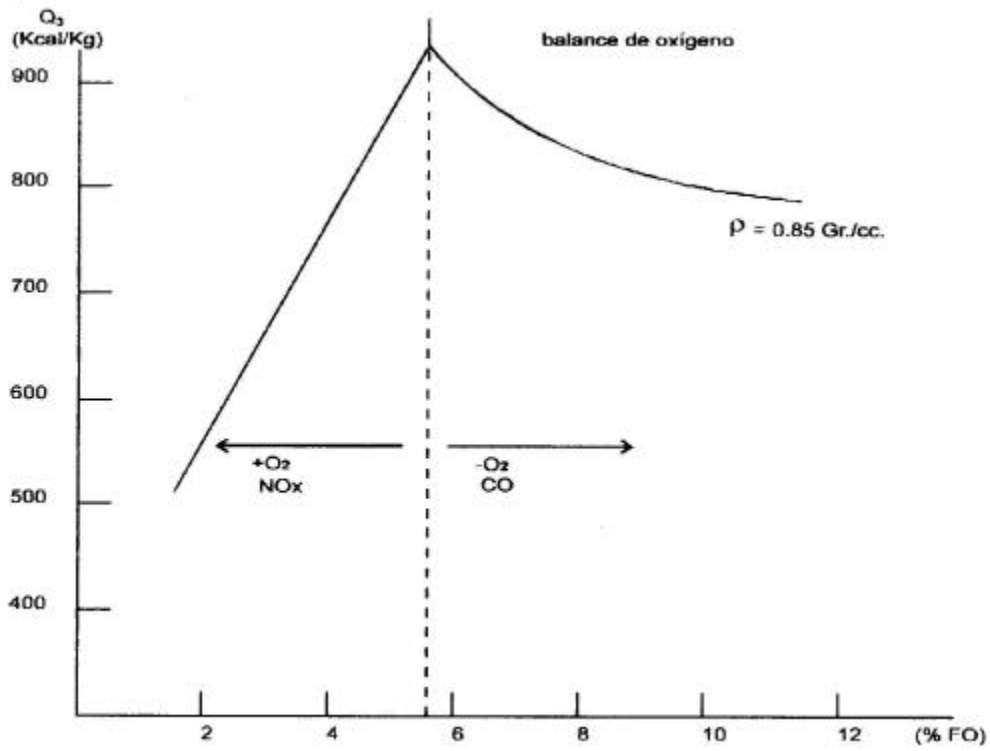


Figura 2

Calor de Explosivos (Q3) vs. Porcentaje de Petróleo Diesel (FO)



---

**REFERENCIAS**

- Code of Federal Regulations, Title 27, Part 55, U.S. Government Printing Office, Office of Federal Register, Washington, D.C., 1993.
- Code of Federal Regulations, Title 30, Part 56 y 57, U.S. Government Printing Office, Office of Federal Register, Washington, D.C., 1993.
- Code of Federal Regulations, Title 49, Part 173, U.S. Government Printing Office, Office of Federal Register, Washington, D.C., 1993.
- Cook Melvin A., The Science of Industrial Explosives, Ireco Chemicals, Salt Lake City, UT, USA, 1974.
- Dick Richard A., Fletcher Larry R. Y D'Andrea Dennis V., "Explosives and Blasting Procedures Manual", I.C. 8925, U.S. Bureau of Mines, Washington D.C., 1983.
- Explosives an Rock Blasting, Atlas Powder Company, Dallas, TX, USA, 1987.
- Hartman Howard L. Y otros, Mine Ventilation and Air Conditioning, John Wiley & Sons, Nueva York, NY, 1982.
- Langefors U. Kihlstrom B., Rock Blasting, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, NY, 1963.
- Persson Per-Anders, Holmberg Roger y Lee Jaimin, rock Blasting and Explosives Engineering, CRC Press, Inc, Boca Raton, FL, USA, 1993.
- "Surface Blasting Seminar", E.I., du Pont de nemours % Co, Wilmington, DE, USA, 1975.
- U.S. Department of the Treasury; Bureau of Alcohol, Tobacco and Firearms, "ATF Explosives Law and Regulations", ATFP 5400.7, Junio, 1990.

**GLOSARIO**

Airblast	Aire producido por la voladura
Air gap	Separación de aire
Augers	Taladros
Bedding	Estratificación
Bench height	Altura de banco
Black powder	Pólvora negra
Blast area	Area de voladura
Blastholes	Taladros
Blasting CAPITULO	Fulminante
Bulk salutes	Salvas a granel
Blowouts	Estallidos
Caprock	Roca de superficie
Crankcase	Cárter
Deenergized circuits	Circuitos de energía
Drill stem equipment	Equipo de barrenos
Dry cell batteries	Baterías secas
Drill mast	Columna de perforación
Drill-bit	Broca
Drill stem	Barreno
Dowlines	Líneas descendentes
Drill patterns	Mallas de perforación y voladura

---

Dugout	Protección subterránea
Delay sistema	Sistema de retardo
Decking	Separación de mezclas explosivas
Detonating cord	Cordón detonante
Electric detonator legwires	Alambres laterales de detonación eléctrica
Flash tube	Tubo de destellos
Flash powders	Polvos explosivos
Flash point	Punto de inflamación
High explosives	Altos explosivos
Igniter cord	Mecha rápida
Kieselguhr	Diatomita
Low explosives	Bajos explosivos
Lead azide	“Azida” de plomo
Laminated partition	Separación laminada
Loadng polen	Postes de carga
Misfire	Tiro cortado
Mudcaps	Capas de lodo
Mud seams	Vetas de lodo
Mounding	Amontonamiento
Muckpile	Montón de roca volada
Main level drift	Socavón del nivel principal
Mortise locks	Cerradura “mortise”
Overdug	Sobre excavación

---

Prilled amonium	Nitrato de amonio en forma de prills
Primer	Primer (iniciador)
P – type body wave	Onda superficial de tipo P
Rib	Viga
Stemming	Taco
Senzitizer	Sensibilador
Stray current tests	Prueba corrientes extrañas
Shock tube	Cordón fanel
Stress wave	Onda de compresión
Snowballing effect	Efecto de avalancha
Tamping poles	Postes de ataque
Tenseible slabbing	Rebanado tensional
To shoot	Disparar, volar
To priming	Primer en la parte superior
Toe priming	Primer en el fondo
Water gel	Water gel
Wires	Detonación eléctrica
Winze	Acondicionador de rodillos
Wire-counterred hoses	Mangueras provistas de hilos