

## **CONTENIDO**

### **CAPITULO I**

#### **GENERALIDADES**

1.	Historia de los explosivos.	5
1.2	Generalidades.	11
1.2.1	Definición de explosivo.	11
1.2.2	Definición de explosión.	12
1.2.3	Definición de detonación.	13
1.2.4	Definición de deflagración.	13
1.2.5	Definición de combustión.	14
1.3	Clases de explosiones.	15
1.4	Efectos en la explosión.	15
1.5	Naturaleza de las explosiones.	23
1.6	Energía liberada durante la reacción de un explosivo.	26
1.7	Importancia de los explosivos.	28

### **CAPITULO II**

#### **CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE EXPLOSIVOS**

2.	Clasificación.	34
2.1.1	De acuerdo a su velocidad de detonación.	34
2.1.2	De acuerdo a su composición química.	35
2.1.3	Según su uso.	37
2.2	Tipos de explosivos.	39
2.3	Agentes de voladura.	71
2.4	Agentes expansivos no explosivos.	77
2.5	Accesorios de voladura.	82
2.5.1	Cordón detonante.	82
2.5.2	Mecha de seguridad.	85
2.5.3	Mecha de combustión externa.	87
2.5.4	Mecha rápida.	88
2.5.5	Micro retardos.	89
2.5.6	Conector de superficie.	90
2.5.7	Iniciadores de mecha m-60.	90
2.5.8	Encendedor de espoleta de tiempo.	91
2.5.9	Multiplicadores (booster o primer).	92
2.5.10	Pentofex.	93
2.5.11	Conector para mecha de combustión externa.	94
2.5.12	Detonadores.	95

## **CAPITULO III**

### **MEDIDAS DE SEGURIDAD**

3.	Consideraciones generales para el oficial de seguridad.	114
3.1	Medidas de seguridad para empleo de explosivos.	115
3.1.1	Medidas de seguridad con cebado ineléctrico.	115
3.1.2	Medidas de seguridad con cebado eléctrico.	117
3.1.3	Medidas de seguridad con cordón detonante.	118
3.1.4	Medidas de seguridad con mecha de seguridad.	119
3.1.5	Medidas de seguridad en el manejo.	120
3.1.6	Medidas de seguridad en el transporte.	121
3.1.7	Medidas de seguridad de almacenamiento.	124
3.1.8	Medidas de seguridad en la instrucción.	126
3.1.9	Medidas de seguridad al hacer voladuras.	129
3.2	Procedimiento a seguir en fallas en la detonación.	133
3.3	Como minimizar los riesgos por gases.	135

## **CAPITULO IV**

### **CARGAS DE DEMOLICIÓN**

4.1	Cargas de demolición.	137
4.1.1	Bloque de carga de demolición de TNT.	137
4.1.2	Bloque de carga de demolición M-112.	138
4.1.3	Bloque de carga de demolición M-118.	139
4.1.4	Rollo de carga de demolición M-186.	140
4.1.5	Carga de demolición de pentolita.	141
4.1.6	Detasheet.	142
4.2	Cargas explosivas especiales.	143
4.2.1	Carga de demolición en bloque de 40 lbs de nitrato de amonio.	143
4.2.2	Carga de 40 libras de composición H-6.	144
4.2.3	Carga direccional de demolición de 15 libras M2A4.	145
4.2.4	Carga direccional de demolición de 40 libras M3A1.	145
4.2.5	Conjunto de la carga de demolición M-183.	146
4.2.6	Conjunto de demolición torpedo bangalore M-1A1 M-1A2.	147
4.2.7	Torpedo bangalore Indumil.	148
4.2.8	Cargas cráter.	149
4.2.9	Carga dirigida.	151
4.2.10	Carga jumbo Jet.	152
4.2.11	Carga hueca dirigida	153
4.2.12	Carga de defensa dirigida.	156

## **CAPITULO V**

### **CEBADOS**

5.	Concepto.	158
5.1.	Clases de cebados.	158
5.1.1	Cebado inelectrico.	159
5.1.1.1	Elementos para realizar el cebado.	159
5.1.1.2	Pasos para realizar un cebado inelectrico.	162
5.1.2	Cebado eléctrico.	165
5.1.2.1	Elementos para el cebado eléctrico.	166
5.1.2.2	Voladura eléctrica.	170
5.1.2.3	Conexiones de los detonadores.	172
5.1.2.4	Como se presenta la estática dentro del detonador eléctrico.	172
5.1.2.5.	Posibles causas de activación involuntaria en detonadores.	173
5.1.2.6	Causas que pueden generar la activación de un detonador.	173
5.1.2.7	Procedimiento para la conexión de un detonador eléctrico.	174
5.1.2.8	Recomendaciones en instalación de detonadores.	174
5.1.2.9	Tipos de circuitos eléctricos.	176
5.1.2.10	Formula para calcular la capacidad de la fuente de alimentación para la voladura.	17
	8	
5.1.2.11	Pasos para realizar un cebado eléctrico.	179
5.1.3	Cebado combinado con cordón detonante.	181
5.1.4	Cebado con sistema Nonel.	184

## **CAPITULO VI**

### **PROPIEDADES GENERALES DE LOS EXPLOSIVOS**

6.	Concepto.	185
6.1	Potencia relativa.	185
6.2	Brisancia o poder rompedor.	186
6.3	Densidad.	187
6.3.1	Masa crítica.	188
6.4	Velocidad de detonación.	189
6.5	Simpatía o transmisión de la detonación.	191
6.6	Sensitividad.	192
6.6.1	Sensibilidad al detonador.	193
6.6.2	Sensibilidad a la onda explosiva.	193
6.6.3	Sensibilidad al choque.	193
6.7	Estabilidad.	194
6.8	Sensibilidad.	195

6.9	Resistencia a la humedad.	197
6.10	Categoría de humos (vapores).	199

## **CAPITULO VII**

### **DEMOLICIONES**

7.	Concepto.	202
7.1	Principios que aplican a la demolición.	202
7.2	Efectos de la detonación.	203
7.3	Importancia de la carga explosiva-dimensión.	203
7.4	Importancia de la carga explosiva-colocación.	204
7.5	Tipos de cargas explosivas.	205
7.5.1	Cargas explosivas internas.	205
7.5.2	Cargas explosivas externas.	205
7.6	Determinación del cálculo de cargas explosivas.	205
7.7	Selección y cálculo de cargas explosivas.	207
7.8	Carga de corte de madera.	208
7.9	Cargas para corte de acero.	215
7.10	Cargas de rompimiento.	231
7.10.1	Cargas de contrafuerza.	237
7.11	Cargas para abrir cráteres.	238
7.11.1	Rompimiento de pavimentos de superficie dura.	239
7.11.2	Abertura improvisada de cráteres.	239
7.11.3	Cráteres planificados.	241
7.11.4	Cráter de costados desiguales.	242
7.12	Remoción de tocones.	244

## **CAPITULO VIII**

<b>ANEXOS</b>	246
<b>GLOSARIO</b>	249
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	253

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1. HISTORIA DE LOS EXPLOSIVOS

El primer explosivo conocido fue la pólvora, también llamada "pólvora negra". Está en uso desde el siglo XIII, cuando, según la historia, Marco Polo la conoció en su viaje a China. La Nitrocelulosa y la Nitroglicerina, ambas descubiertas en 1846, fueron los primeros explosivos modernos. Desde entonces, los nitratos, nitrocompuestos, fulminatos y ácidos (compuestos que contienen nitrógeno del grupo N3, derivados del ácido hidrazoico (NH3) han sido los principales compuestos explosivos utilizados individualmente o mezclados con comburentes y otros agentes. El trióxido de xenón, fue el primer óxido explosivo desarrollado en 1962.



Figura 1-1 historia de los explosivos  
Fuente Miarma.com

Si bien no hay datos contundentes del descubrimiento de la pólvora negra, se le acredita este importante descubrimiento a los chinos en el siglo IX. Los primeros en emplearla fueron los emperadores de la dinastía Song, los cuales la utilizaron en las celebraciones como fuegos pirotécnicos.

La pólvora fue el primer explosivo conocido en Europa; su fórmula aparece ya en el siglo XII, en los escritos del monje inglés Roger Bacón quien fue el que realizara los primeros experimentos de que se tenga noticia, mezcla compuesta aproximadamente por un 73 a 77% de salitre; un 10 a 15% de carbón vegetal y un 8 a 15% de azufre.

En 1313, algunos inventores atribuyen el descubrimiento de la Pólvora negra al señor Berthold Schwartz monje Alemán; quien le dio un uso militar, cuyo descubrimiento le costó la vida y quien fue el primero que se sirvió de la pólvora

negra como elemento propulsor, los ingleses la utilizaron para lanzar piedras contra los franceses en la guerra de Crecy<sup>1</sup> en 1346.



Figura 1-2 ROGER BACÓN  
Fuente Redescolar.ilce.edu.mx

En 1340, los árabes utilizaron la pólvora negra, en las cruzadas de Algeciras, cuando querían el control de España (ciudad de Algeciras), dominio de los moros sobre los católicos.

En 1525, los franceses desarrollaron un nuevo procedimiento que consistía en mezclar los tres componentes (reducidos a polvo) mojados (método muy seguro que aun se utiliza hoy en día), formando obleas y dejando que se secaran posteriormente, luego se desmenuzaban y se pasaban por un tamiz, obteniendo la pólvora en distintos tipos de gránulos, que se destinaban a diferentes usos, pistolas, mosquetes, cañones y la mas fina, denominada polvorín, para el cebado de cazoletas de todas ellas, este polvorín tenia que estar formado por los granos mas finos y no por el polvo que se desprendiera, ya que éste solo era polvo de carbón y no de los tres componentes que forman la pólvora.

Esta pólvora era más eficaz y potente porque todos y cada uno de los granos tenían la composición adecuada, además al no quedar apelmazada en la recamara la combustión era más rápida, limpia y potente.

Durante más de tres siglos la pólvora negra se utilizó con fines militares. En 1627 se la comenzó a utilizar con fines mineros, generalizándose rápidamente en el trabajo con barrenos en la construcción de caminos y túneles.

En 1628, Johann Thölde descubre el fulminato de oro (explosivo sensible), el cual fue utilizado como carga base para los detonadores, compuesto capaz de detonar por impacto.

---

<sup>1</sup> Guerra de crecy: confrontación bélica entre feudales franceses e ingleses en el año 1346.



Figura 1-3 Glauber  
Fuente Encarta

En 1659, J.R. Glauber experimentó con salitre y preparó por primera vez el nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). Con respecto al salitre y la elaboración de la pólvora, se dice que el caliche (tipo de sal), probablemente, se empleó antes de 1650 para la fabricación de fuegos artificiales y cohetería.

En 1788, el químico francés Berthollet concibió la idea de reemplazar el salitre por el recién descubierto clorato de potasio, pero la idea terminó en un rotundo fracaso por la imposibilidad de controlar la reacción. Una nueva investigación le permitió descubrir la plata negra o plata fulminante sustancia revolucionaria por su alto poder explosivo; compuesto de asombrosa inestabilidad y potencia, no tuvo aplicación práctica como explosivo.

En 1779, el ingeniero inglés Howard Echoward, prepara fulminato de mercurio como verdadero Detonador.

En 1802, Brugnatelli descubrió el fulminato de plata el cual muy rápidamente reemplazó el fulminato de mercurio.

En 1807 el reverendo escocés Alexander John Forsyth pensó en la aplicación de los fulminatos como medio de ignición para las armas de fuego, patentó su famoso sistema, conocido como de "frasquito de perfume" debido a la forma del ingenio.

Todos estos descubrimientos despertaron gran interés en Europa, ya que se trataba de explosivos de la más alta potencia, en comparación con la pólvora negra, pero a su vez no encontraron aplicación práctica debido a la peligrosidad al ser manipulados por ser altamente venenosos y poseer un elevado valor económico.

Hacia 1830 comienzan los ensayos de fijación directa del ácido nítrico en la molécula de algunos cuerpos, facilitando al explosivo el oxígeno necesario para la combustión, a diferencia de la pólvora negra en que el salitre es mezclado en forma mecánica, éste se hace en forma química.

En 1838, Braconnot desarrolla la nitrocelulosa mezclando ácido nítrico y ácido sulfúrico (al mezclar estos dos ácidos se obtienen los grupos nitros  $\text{NO}_2$  los cuales se adhieren al papel (celulosa), daba como resultado la nitrocelulosa.

En 1846, se considera el año de oro de los explosivos, ya que en este año se descubren las propiedades de la nitrocelulosa y por otra parte el químico Italiano Ascansio Sobrero descubrió la nitroglicerina de fórmula  $\text{C}_3\text{H}_5(\text{NO}_3)_3$ , derivado de la glicerina mediante el tratamiento con una mezcla de ácidos sulfúrico y nítrico, explosivo potente pero sensible. Tuvieron que pasar algunas décadas para lograr que estos altos explosivos lograsen ser manejables y pudiesen almacenarse con relativa confiabilidad.



Figura 1-4 Alfred Nóbel.  
Fuente Uh.edu

En 1864, se descubre la pólvora sin humo, la cual estaba formada a partir de la nitrocelulosa.

Alfred Nóbel, ingeniero químico sueco, se interesó por el uso la nitroglicerina como herramienta para la construcción. Así fue como, luego de sus estudios, comenzó a trabajar junto a su padre en el desarrollo de esa sustancia. Primero, en Rusia y después en Suecia. Los experimentos terminaron con la vida de varias personas, entre ellas, la del hijo menor de los Nóbel.

La culpa que Alfred Nóbel sentía por lo sucedido lo impulsó a seguir trabajando para encontrar una manera segura de manipular la nitroglicerina. Así fue como en 1866 descubrió que mezclando la nitroglicerina con un material estabilizante llamado *kieselguhr* (Diatomita, Tierra de diatomeas<sup>2</sup>) se transforma en una pasta moldeable mucho más segura y fácil de transportar. Así fue como, con algunos retoques más, nació la dinamita.

---

<sup>2</sup> Kieselguhr (Diatomita, Tierra de Diatomeas): es una roca silícica, sedimentaria de origen biogénico, compuesta por esqueletos fosilizados de las crústulas de las diatomeas. Se forma por la acumulación sedimentaria de los esqueletos microscópicos de algas unicelulares y acuáticas. Está compuesta de esqueletos opalinos fosilizados de la diatomea; los esqueletos se componen de la sílice amorfa.



El uso de la dinamita hizo que muchas tareas pertenecientes al mundo de la construcción y la minería progresaran a una velocidad sin precedentes en la historia, permitió la explotación de minas y la construcción de túneles, carreteras, canales, puertos y presas. Pero también sirvió para aumentar el poder destructivo de las armas. Aplicación que se generalizó hasta el punto de hacerle acreedor, aún a pesar de sus actividades humanitarias, del epíteto "mercader de la muerte".

Nóbel patentó 355 inventos, las patentes más importantes de Nóbel fueron en 1875, la dinamita goma, una dinamita moldeable, semejante a los explosivos plásticos actuales, luego en 1884, un método para la destilación continua de petróleo.

En 1867, inventó una cápsula detonante a base de fulminato de mercurio para provocar con seguridad la explosión de la dinamita, del algodón pólvora y de otros explosivos.

En 1875, continuó con la creación de la gelatina explosiva, masa viscosa, elástica, en la cual la nitroglicerina está retenida por un 7-8% de algodón pólvora soluble, el algodón colodión. Con esta asociación de dos explosivos en un tercero todavía más potente, la dinamita de base activa o dinamita 100%, llegó Nóbel a la composición ideal.

En 1882, los Suecos Johnson y Norvin obtuvieron la dinamita gelatina, amasando nitrato de amonio con 60 a 70% de nitroglicerina los que se llamaron explosivos de seguridad.

En 1884 se presentó otro hecho igualmente importante para la artillería, Duttonhofer gelatinizó la nitrocelulosa para su conversión en una pólvora de impulsión, transformando el peligroso algodón pólvora, por medios físicos con agregado de solventes (mezcla de alcohol-eter), en una pólvora progresiva.

Los trabajos del francés Vieille, hacia 1885, fueron en este sentido para lograr una pólvora laminar de nitrocelulosa, que posteriormente se hizo famosa con el nombre de pólvora B.

En 1887 nuevamente Alfred Nóbel desarrolló un nuevo tipo de pólvora denominada balística, una mezcla de nitroglicerina y nitrocelulosa, consiguiendo un gran explosivo sin humo. Nóbel aprovechó la capacidad de la nitroglicerina para disolver nitrocelulosa y reemplazó en la formulación los solventes volátiles y no explosivos (alcohol-eter) por un solvente explosivo y no volátil como es la nitroglicerina.

Al año siguiente obtuvieron en Londres los químicos Abel y Dewar la más potente de todas las pólvoras de cañón, la cordita, formada por nitroglicerina y algodón pólvora (nitrocelulosa) de alta nitración. Una tercera pólvora de nitroglicerina de múltiples aplicaciones, exenta de disolvente o pólvora gelatinizada en seco fue desarrollada por los alemanes antes de la primera Guerra Mundial. Otro avance de

importancia fue realizado también por los alemanes para la 2ª. Guerra Mundial con el uso de la pólvora a base de dinitrato diglicólico.

En el campo de los explosivos rompedores también se lograron avances significativos. El ácido pícrico (pólvora melinita) no tuvo rivales durante mucho tiempo, pero algunos accidentes ocurridos llevaron al desarrollo de un nitrocompuesto neutro, objetivo que desarrollaron los alemanes hacia 1900 con el trinitrotoluol.

En 1890 el doctor Julios Wilhelm Theodor Curtius desarrolló el ácido nitrhídrico, cuyas sales ácidas de sodio y de plomo fueron utilizadas hacia 1892. En ese mismo año Friedrich Kart Johannes Thiele aisló un compuesto de la guanidina, que con el nombre de tetraceno hizo su aparición en 1928 como carga antierosiva de los detonadores.

En 1891, consiguieron Tollens y Wigand sintetizar el alcohol pentaeritrita para posteriormente ser preparado el altamente rompedor tetranitrato de pentaeritrita (pentrinita).

En 1897 hizo su aparición en Francia el primer explosivo con base de clorato, la cheddita<sup>3</sup> y para la misma época se hicieron los primeros ensayos con aire líquido como explosivo (oxiquilita) aunque no tuvo éxito.

En 1900, se descubre en Alemania el primer explosivo sólido llamado 2,4,6-trinitrotolueno o TNT, el cual fue obtenido del aceite de carbón.

En 1912, se descubre en Alemania la ácida de plomo, utilizada en los detonadores.

En 1945, segunda guerra mundial, empleo de los explosivos nucleares.

En 1955, se descubre el ANFO (nitrato de amonio mas aceite combustible).

A partir del siglo XX con los impresionantes avances científicos y tecnológicos realizados hasta nuestros días, el mundo de los explosivos también se vio involucrado. Las dinamitas han cedido terreno a los modernos explosivos como lo son los hidrogeles, slurries y emulsiones.

En la actualidad, el control y la precisión que se ha obtenido de los mismos, permite que sean aplicados con mayor seguridad y que se aumente su eficiencia y productividad.

### **1.3 GENERALIDADES**

---

<sup>3</sup> CHEDDITA: Mezcla explosiva a base de clorato de potasio y di nitrotolueno.

### 1.2.1 DEFINICIÓN DE EXPLOSIVO



Figura 1-5 Sustancia explosiva ANFO  
Fuente: Grupo MARTE ESING

Se denomina explosivo a todo compuesto o mezcla de sustancias químicas con capacidades para transformarse por medio de estímulos de presión o calor, en productos gaseosos y condensados. El volumen inicial ocupado por el explosivo, se convierte en una masa gaseosa que alcanza altas temperaturas y como consecuencia muy altas presiones.

Estos fenómenos son aprovechados para realizar trabajos mecánicos aplicados en el rompimiento de materiales pétreos, lo que constituye la “técnica de voladura de roca”.

Casi todos los materiales explosivos contienen oxígeno (cloratos y nitratos), solo excepcionalmente no lo contienen (yoduro de nitrógeno, fulminato de mercurio). Otros son mezclas de sustancias oxidantes con materiales fácilmente combustibles (azufre, carbón, etc.).

Los elementos se encuentran mucho más próximos ya que forman parte de la misma molécula explosiva. Por ejemplo el algodón fulminante, la nitroglicerina, el fulminato de mercurio, el ácido pícrico.

### 1.2.2 DEFINICIÓN DE EXPLOSIÓN



Es el escape súbito y repentino de gases, acompañado de altas temperaturas, violentas sacudidas y ruidos estrepitosos. Los productos gaseosos originados se dilatan rápidamente, comprimiendo el aire circundante y formando una onda explosiva. La presión del gas se mueve hacia fuera como un fuerte viento detrás del frente de la onda explosiva llamado “frente de choque”.

Cuando se produce una explosión, se forman gases altamente comprimidos que alcanzan altas temperaturas y crean presiones de alrededor de 700 toneladas por pulgada cuadrada ( $635.040 \text{ Kg/cm}^2$ ) en la atmósfera que rodea el punto de la explosión. Estos gases en expansión se propagan hacia el exterior con velocidades que llegan a alcanzar hasta 13.000 millas por hora (20.920,9 Km/h), comprimiendo el aire circundante que forma la onda de presión explosiva.

La onda de presión explosiva se propaga hacia fuera en una formación esférica como la ola de un maremoto gigante, golpeando y destrozando todo objeto que encuentra a su paso. Cuanto mayor es la distancia que recorre la onda de presión desde el punto de detonación, tanto mayor es su desaceleración hasta que llega a convertirse en una onda sonora y luego a disiparse completamente.

Esta onda se llama “onda de presión explosiva” y forma lo que se conoce como “frente de choque<sup>4</sup>”. La tasa de disipación de los efectos explosivos es proporcional a la raíz cúbica de la distancia entre la explosión y el objetivo.

La presión de la detonación se decae o se disipa rápidamente y la segunda fase es prácticamente inmediata o casi conjunta con la fase de la detonación, esta es la fase de la propagación de la onda de choque y de tensión. Cuando el frente de onda se mueve encontrará discontinuidades e interfaces y en estos puntos, una cierta energía se transfiere a través y algo se refleja detrás.

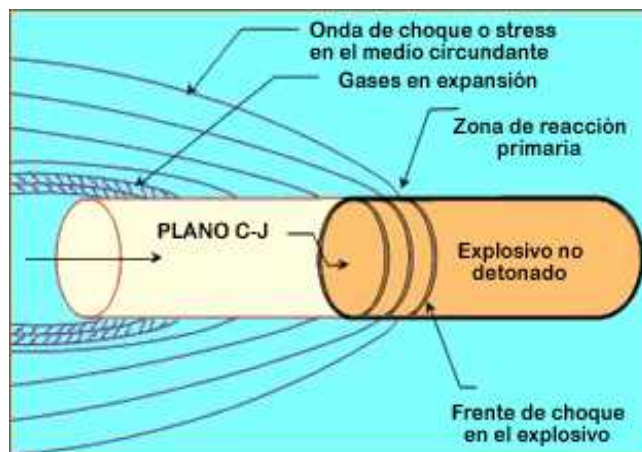


Figura 1-7 Funcionamiento de los explosivos  
Fuente: Codelco.

<sup>4</sup> Frente de choque: dirección er

Durante y después de la detonación, la onda de tensión se propaga y la alta temperatura y presión de los gases se extienden por las grietas radiales y por cualquier fractura o empalme de la discontinuidad, la energía del explosivo tomará siempre la trayectoria de menos resistencia.

### **1.2.6 DEFINICIÓN DE DETONACIÓN**

Es el proceso fisicoquímico caracterizado por su gran velocidad de reacción y formación de gran cantidad de productos gaseosos, a elevadas temperaturas que adquieren una gran fuerza expansiva.

En la detonación la velocidad de las primeras moléculas gasificadas es tan grande que no ceden su calor por conductividad a la zona inalterada de la carga, sino que la transmiten por choque deformándola y produciendo su calentamiento y explosión adiabática con generación de nuevos gases.

El proceso se repite con un movimiento ondulatorio que afecta a toda la masa explosiva (onda de choque).

### **1.2.7 DEFINICIÓN DE DEFLAGRACIÓN**

Es el proceso exotérmico en que la transmisión de la reacción de descomposición se logra en la conductividad térmica

La deflagración es el cambio que se origina por la acción y presencia del fuego sobre determinadas sustancias las cuales se “queman”.

Este cambio físico químico originado se da con una velocidad en un periodo no mayor a los 2000 m/seg. Ejemplo el quemado de sustancias explosivas como las pólvoras.

### **1.2.8 DEFINICIÓN DE COMBUSTIÓN**

Es el proceso de oxidación rápida de una sustancia, acompañado de un aumento de calor y frecuentemente de luz. En el caso de los combustibles comunes, el proceso consiste en una reacción química con el oxígeno de la atmósfera que lleva a la formación de dióxido de carbono, monóxido de carbono y agua, junto con otros productos como dióxido de azufre, que proceden de los componentes menores del combustible. El término combustión, también engloba el concepto de oxidación en sentido amplio. El agente oxidante puede ser ácido nítrico, ciertos percloratos e incluso cloro o flúor.

La mayoría de los procesos de combustión liberan energía (casi siempre en forma de calor), que se aprovecha en los procesos industriales para obtener fuerza

motriz o para la iluminación y calefacción domésticas. La combustión también resulta útil para obtener determinados productos oxidados, como en el caso de la combustión de azufre para formar dióxido de azufre y ácido sulfúrico como producto final. Otro uso corriente de la combustión es la eliminación de residuos.

La energía liberada durante la combustión provoca una subida de temperatura en los productos. La temperatura alcanzada dependerá de la velocidad de liberación y disipación de energía, así como de la cantidad de productos de combustión. El aire es la fuente de oxígeno más barata, pero el nitrógeno, al constituir tres cuartos del aire en volumen, es el principal componente de los productos de combustión, con un aumento de temperatura considerablemente inferior que en el caso de la combustión con oxígeno puro. Teóricamente, en toda combustión sólo se precisa añadir una mínima porción de aire al combustible para completar el proceso. Sin embargo, con una mayor cantidad de aire, la combustión se efectúa con mayor eficacia y aprovechamiento de la energía liberada. Por otra parte, un exceso de aire reducirá la temperatura final y la cantidad de energía liberada. En consecuencia habrá de establecerse la relación aire-combustible en función de la temperatura y del grado de combustión deseada.

Para lograr altas temperaturas se puede utilizar aire rico en oxígeno, o incluso oxígeno puro, como en el caso de la soldadura oxiacetilénica. El grado de combustión se puede aumentar partiendo el material combustible para aumentar su superficie y de este modo incrementar su velocidad de reacción. También se consigue dicho aumento añadiendo más aire para proporcionar más oxígeno al combustible. Cuando se necesita liberar energía de modo instantáneo, como en el caso de los cohetes, se puede incorporar el oxidante directamente al combustible durante su elaboración.

## **1.3 CLASES DE EXPLOSIONES**

### **1.3.1 MECÁNICA**

Una explosión mecánica consiste en la conversión gradual de una sustancia, como el agua, en gas o vapor. La presión creciente del vapor dentro de un recipiente sobrepasara la resistencia estructural del recipiente como, por ejemplo, cuando explota una caldera de vapor.

### **1.3.2 QUÍMICA**

Una explosión química es la conversión casi instantánea de una sustancia sólida, líquida o gaseosa en un gas de mucho mayor volumen. Todos los explosivos fabricados, salvo los nucleares, son explosivos químicos.

### **1.3.3 NUCLEAR**

Una explosión nuclear puede ser provocada por fisión<sup>5</sup>, o división del núcleo de un átomo, o por fusión, o sea, la unión mediante considerable presión de los núcleos de los átomos.

La explosión subsiguiente a la detonación de una bomba atómica tiene efectos catastróficos para la zona circundante. Los edificios son arrasados por la intensidad de la onda expansiva y por la gran cantidad de calor liberada. La característica nube con forma de hongo que genera, despide restos y material radiactivo hasta la atmósfera, por lo que origina daños biológicos a miles de kilómetros del lugar de la explosión.

## 1.4 EFECTOS EN LA EXPLOSIÓN

El cambio de una sustancia explosiva a un estado gaseoso se considera como una explosión, la cual en el momento en que se desarrolla en su máxima expresión hace que se originen cambios físicos que alteran el estado original de los cuerpos en el medio.

Debemos de tener en cuenta que el efecto de las explosiones depende básicamente de la cantidad y tipo de sustancia explosiva que haya reaccionado, del mayor efecto de la explosión depende que se den ciertos efectos físicos que trataremos a continuación.

### 1.4.1 SOBREPRESIÓN



Figura 1-8 Efecto de sobrepresión.  
Fuente: Nuclearpowered-9.tripod

Una sustancia en el momento en que se transforma y produce una explosión, esta a su vez origina un aumento de presión con respecto a la presión atmosférica normal.

---

<sup>5</sup> Fisión del átomo: se da en el momento en que se bombardea el núcleo del átomo con neutrones lo cual hace que se divida el átomo liberando gran cantidad de neutrones.

Se puede afirmar que un efecto de sobrepresión no es más que la acumulación concentrada de la presión normal existente en el medio ambiente que por medio de una explosión, hace que por milésimas de segundos esta presión se concentre en determinados lugares, comprimiendo los elementos y materias existentes en dichos sitios, causándoles daños físicos.

#### 1.4.2 TÉRMICO (Calor de explosión)

El efecto térmico es la producción de calor causado por la explosión. El efecto térmico varía en función del explosivo detonado, por lo general un explosivo lento tendrá un efecto incendiario de mayor duración que un alto explosivo. Sin embargo, un alto explosivo producirá una temperatura mucho mayor. A menos que los materiales en cuestión sean muy combustibles, el efecto térmico será normalmente insignificante.

Los efectos térmicos generalmente causan menos daño que los efectos explosivos, salvo cuando se emplean mezclas de combustibles hidrocarbúricos, aire y los explosivos lentos son de 4 a 28 veces mayor que el calor producido por la detonación de TNT.



Figura 1-9 Efecto térmico.  
Fuente: Grupo MARTE ESING

Como los calores de formación se determinan a 20°C y a la presión atmosférica, este calor de explosión es a presión constante, pero en las condiciones de explosión el fenómeno ocurre a volumen constante, por lo tanto, es necesario hacer una corrección para obtener el calor desarrollado a volumen constante; si entre los productos de la explosión hay algún sólido, habrá otra corrección procedente del calor que absorbe para la fusión correspondiente.

Una explosión puede ocurrir tanto al aire libre a presión atmosférica constante, como en una cámara confinada donde el volumen es constante. En ambos casos, la reacción libera la misma cantidad de energía, pero un explosivo no confinado



gasta una parte determinada de energía al empujar el aire circundante. En una explosión confinada, se dispone de todo el calor liberado como energía útil.

### 1.4.3 FRAGMENTACIÓN



Figura 1-10 Efecto de fragmentación.  
Fuente: Grupo MARTE ESING

Una bomba de fragmentación ordinaria se construye colocando un explosivo dentro de un recipiente frágil como, por ejemplo, un tubo de metal. El explosivo detonado rompe entonces el recipiente y produce fragmentos que son lanzados a gran velocidad dependiendo del tipo de explosivo utilizado. Estos fragmentos se propagaran volando en línea recta y pueden causar daños o la muerte a grandes distancias.

*No se utilizaran explosivos como arma cuyo efecto principal sea lesionar mediante fragmentos no localizables por rayos x en el cuerpo humano. G. CW. P.I.*

### 1.4.4 EFECTO DE CONCENTRACIÓN

Las ondas de presión pueden torcerse, deformarse y concentrarse rebotando en superficies reflectoras (por ejemplo, barreras o capas térmicas atmosféricas) para causar un refuerzo de la presión explosiva. Tales reacciones pueden hacer que las ondas de presión explosivas se propaguen a distancias extraordinarias. Las inversiones de la temperatura atmosférica de baja altura pueden ocasionar un efecto de concentración importante y una desviación de los vientos fuertes pueden provocar una concentración a favor del viento.

### 1.4.5 ONDA DE CHOQUE



La rápida expansión de los materiales expulsados por la explosión produce un impulso de altas presiones, también llamado onda de choque, que se mueve desde el lugar de la detonación hacia fuera con mucha rapidez.

La rápida expansión de la bola de fuego genera una onda de choque como cualquier explosión, pero de una potencia muy superior, ya que puede aplastar o barrer elementos dañándolos muy seriamente o destruyéndolos por completo, ya que más que "empujar" por su duración lo que hace es estrujar.

#### **1.4.6 ONDA SONORA**

La onda sonora es un pequeño exceso de presión que transmite con una velocidad solo dependiente de la naturaleza del medio en que se propaga. En una mezcla de gas oxhídrico dicha velocidad de la onda sonora es de 514 m/seg, a cero grados centígrados.

Las ondas de sonido disminuyen su intensidad con la distancia de acuerdo con ciertas leyes de atenuación. Las variables de interés en este caso son la sobrepresión del aire, que es equivalente al ruido generado por las voladuras, la distancia al punto de detonación y la carga máxima de explosivo por unidad de retardo. La ley de atenuación de la onda de sonido puede ser calculada para cada caso en particular si se dispone de mediciones del ruido generado por un cierto número de voladuras, a diferentes distancias.

#### **1.4.7 PRESIÓN IMPELENTE**

La onda de presión impelente se forma en el instante de la detonación y comprime la atmósfera que la rodea. Este aire comprimido se conoce como el frente de choque y es el frente de la onda de presión impelente. Esta onda es más potente y destructivo de los efectos producidos por la detonación de los altos explosivos.

Este efecto generado por la onda explosiva desplaza todo elemento que se encuentre ubicado cerca de la detonación del explosivo, dependiendo del poder del explosivo podrá romperlo o simplemente cumplirá con la función de desplazarlo del sitio.



Figura 1-12 Presión impelente.  
Fuente: Grupo MARTE ESING

#### 1.4.8 PRESIÓN DEPRESIVA

La onda de presión depresiva sigue a la onda impelente y forma un vacío parcial, lo que hace que el aire comprimido y desplazado invierta su marcha y se precipite hacia llenar el vacío creado por la onda de presión impelente. Esta precipitación dentro del aire desplazado moverá también los objetos que encuentre en su camino hacia el punto de detonación. Aunque la onda depresiva o de presión es menos potente, dura mucho más que la onda impelente.

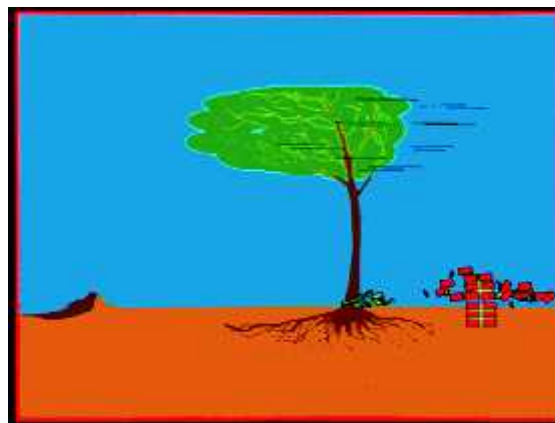


Figura 1-13 Presión depresiva.  
Fuente: Grupo MARTE ESING

#### 1.4.9 PRESIÓN INCIDENTE

La presión incidente es la presión que viaja en ángulos rectos (90 grados) en dirección de la trayectoria del frente de choque. Una persona que se encuentre de pie detrás de una barrera en la línea de la trayectoria del frente de choque de la explosión experimentaría una presión incidente.

#### **1.4.10 PRESIÓN DINÁMICA**

Una presión dinámica es el resultado de la velocidad de fuertes vientos y la mayor densidad del aire detrás del frente de choque. Aunque esto suele ser insignificante en relación con las fuertes sobrepresiones producidas por la onda de presión explosiva, las personas expuestas al frente de choque experimentarían también la presión dinámica además de la presión incidente.

#### **1.4.11 PRESIÓN REFLEJADA**

Cuando la onda de presión explosiva golpea cualquier superficie en su trayectoria, se produce una amplificación rápida de la presión como resultado de la acumulación y la reflexión de la onda al rebotar en la superficie. Esta reflexión se produce, aunque la superficie expuesta fallara o se derrumbara. La onda reflejada se aleja de la superficie objetivo y se disipa a la misma velocidad proporcional a la raíz cuadrada de la distancia recorrida desde la superficie reflejada. Cualquiera que sea el ángulo de las presiones incidentes, la presión se refleja siempre en ángulos rectos con la superficie expuesta.

La superficie reflejada no determina la amplificación de la onda reflejada. Una pared de concreto reforzado y una ventana de cristal producirán la misma reflexión de la misma onda incidente. Esto se debe a que la onda de choque explosiva viaja a una velocidad más rápida que el tiempo de respuesta de la superficie reflectora. Por consiguiente, la onda se ha reflejado y se ha disipado antes de que la estructura expuesta pueda responder al incidente experimentado.

#### **1.4.12 EFECTOS ATMOSFÉRICOS Y TERRESTRES**

Cuando se detona un explosivo en la superficie del suelo, parte de la energía explosiva penetra la tierra como una onda de choque terrestre y parte se refleja volviendo a pasar a la atmósfera. La onda reflejada se combina y refuerza la onda incidente en la atmósfera.

En situaciones reales, el suelo disipará parte de la energía en forma de craterización y sacudida terrestre. El grado de disipación variará en función del tipo de superficie de que se trate. Si se produce una craterización importante, la energía explosiva de aire equivalente será 1,8 veces la cantidad explotada en la superficie.

La pendiente de la superficie terrestre puede influir en el efecto de una onda explosiva. Las pendientes que se inclinan gradualmente pueden ocasionar un aumento de la onda explosiva formando una onda Mach<sup>6</sup>, a medida que la pendiente refleja las ondas de vuelta a la onda incidente. Las pendientes inclinadas producen una expansión y por lo tanto, debilitan la onda explosiva.

Otros factores que influyen en los efectos de las ondas explosivas son las inversiones de temperatura, los cambios de la temperatura ambiente y de la presión, las estaciones, la altitud, la humedad relativa, la niebla, la lluvia y la irregularidad de las superficies del suelo.



Figura 1-14 Destrucción por efectos de la explosión.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

#### 1.4.13 EFECTOS BIOLÓGICOS



Figura 1-15 Órganos afectados por la explosión.  
Fuente: Encarta.

---

<sup>6</sup> ONDA MACH: Es la velocidad con que viaja la onda explosiva respecto a la atmósfera dividida entre la velocidad del sonido en el mismo medio y con las mismas condiciones.

La capacidad del cuerpo humano para soportar los efectos de la presión explosiva varía en función de la duración, la cantidad de presión y la orientación del cuerpo respecto a la dirección de la onda explosiva (de pie o en posición boca abajo). El siguiente cuadro indica los efectos explosivos de corta duración sobre personas no protegidas, donde LPC<sup>7</sup> es libras de presión por pulgadas cuadradas:

En el cuadro se puede evidenciar el efecto ocasionado por una determinada cantidad de sustancia explosiva la cual dependiendo del tipo de explosivo detonado y la distancia entre la carga y una persona puede causar daños biológicos que van desde ruptura de tímpano hasta la muerte.

PRESIÓN (Kg. / distancia)	EFFECTOS
5/34	Ligera posibilidad de ruptura del tímpano
15/103	50% de posibilidad de ruptura del tímpano
30 - 40/207 - 275	Ligera posibilidad de daños a los pulmones
80/550	Daños graves a los pulmones
100 -120/687 - 824	Ligera posibilidad de muerte
130 -180/893 - 1237	50% de posibilidad de muerte
200-250/1374-1717	100% de muerte probable

El efecto que causa la sustancia explosiva en el instante de hacer explosión se encuentra establecida por el poder explosivo que genera el TNT.

## 1.5 NATURALEZA DE LAS EXPLOSIONES



Figura 1-16 Naturaleza de las explosiones.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

Las vibraciones que generan las voladuras se transmiten desde el lugar de la detonación por el terreno generando dos tipos de onda: "Ondas Internas" y "Ondas superficiales." Igualmente se transmiten en el aire, generando las ondas aéreas.

<sup>7</sup> IPC: Libras de explosivo por pulgadas cuadradas. es la medida que hace relación al poder efectivo de la explosión de una cantidad de sustancia explosiva, y el efecto causado a determinadas distancias en pulgadas cuadradas.

### **1.5.1 ONDAS INTERNAS O DE CUERPO**

Las ondas Internas transmiten la deformación elásticamente en el interior del medio y se dividen en ondas compresionales o primarias (P) y ondas de corte o secundarias (S).

Las ondas compresionales o longitudinales producen compresión o expansión del medio sin deformación angular y la partícula material vibra en la dirección de propagación de la onda. Son más rápidas que las ondas S y producen cambios de volumen, pero no deforma el material por el que se propagan.

Las ondas de corte o transversales generan un movimiento de partículas perpendicular a la dirección de propagación de la onda. La velocidad de las ondas transversales es mayor que la de las ondas superficiales. El material por el cual se propagan experimenta cambios de forma pero no de volumen.

### **1.5.2 ONDAS SUPERFICIALES**

Las ondas superficiales son aquellas que se generan y propagan a lo largo de interfases producidas por fuertes variaciones en las propiedades elásticas del medio. Es en la superficie terrestre donde dichas ondas se transmiten con mayor energía, debido al brusco cambio que constituye la interfase tierra-aire. La amplitud de la oscilación de las partículas decrece en éste caso de modo exponencial con la profundidad.

Los dos tipos fundamentales de onda superficial son las ondas Rayleigh y las ondas Love.

La onda Love produce vibración de las partículas sólo horizontalmente, en forma transversal a la dirección de la propagación; para su transmisión se requiere la existencia de un medio estratificado con una capa de baja velocidad en la superficie.

La onda Rayleigh, en cambio, produce un movimiento elíptico retrógrado de las partículas en el plano vertical, siendo el eje vertical de la elipse, siempre mayor que el horizontal. Su propagación puede darse en medios con o sin estratificación. En cuanto a la distribución de la energía transportada por los diferentes tipos de ondas, numerosos investigadores han determinado que las ondas Rayleigh transportan entre el 70 y 80% de la energía total.

En el manual de voladuras de Du Pont se dice que este tipo de ondas domina el movimiento de la superficie del terreno a distancias de las voladuras de varios cientos de metros, son las ondas Rayleigh las que constituyen un mayor riesgo potencial de daños en las estructuras que se encuentran a distancias superiores a los 500 m.

### **1.5.3 ONDA AÉREA**

La onda aérea es la onda de presión que va asociada a la detonación de una carga explosiva, mientras que el ruido es la parte audible e infrasónica del espectro, desde 20 Hz a 20 kHz. Las ondas aéreas son vibraciones en el aire de baja frecuencia, con valores generalmente por debajo de los 20 Hz.

De acuerdo a lo anterior podemos decir que las fuentes de estas perturbaciones son las siguientes:

- Movimiento del terreno provocado por la explosión.
- Escape de los gases por el barrenado al proyectarse el retacado.
- Escape de los gases a través de las grietas creadas en el frente del macizo rocoso.
- Detonación del cordón iniciador al aire libre.
- Desplazamiento del frente del banco al progresar la voladura.
- Colisión entre los fragmentos proyectados.

Las características de la onda aérea son difíciles de predecir pues se ven afectados por factores climatológicos y topográficos.

La onda aérea, contiene una gran cantidad de energía de baja frecuencia que puede, llegar a producir daños directamente sobre las estructuras, pero generalmente son más comunes las vibraciones de alta frecuencia que se manifiestan como ruido de ventanas, puertas etc.

### **1.5.4 PROCESO DE DETONACIÓN DE UN EXPLOSIVO.**

Una vez que se ha iniciado el explosivo, el primer efecto que se produce es la generación de una onda de choque o presión que se propaga a través de su propia masa. Esta onda es portadora de la energía necesaria para activar las moléculas de la masa del explosivo alrededor del foco inicial energizado, provocando una reacción en cadena.

A la vez que se produce esta onda la masa del explosivo que ha reaccionado produce una gran cantidad de gases a una elevada temperatura. Si esta presión secundaria actúa sobre el resto de la masa sin detonar, su efecto se suma a la onda de presión primaria, pasando de un proceso de deflagración a otro de detonación.

En el caso en que la onda de presión de los gases actúe en sentido contrario a la masa de explosivo sin detonar, se produce un régimen de deflagración lenta, de tal forma que al ir perdiendo energía la onda de detonación primaria llega a ser incapaz de energizar al resto de la masa de explosivo, produciéndose la detención de la detonación.



La detonación consiste en la propagación de una reacción química que se mueve a través de un explosivo a una velocidad superior a la del sonido en dicho material, transformando a éste en nuevas especies químicas.

En la figura, se aprecia que en la cabeza de la reacción viaja un choque puro que inicia la transformación química del explosivo, que tiene lugar a través de la zona de reacción para terminar en el plano llamado de Chapman- Jouget ( C-J ), donde se admite el equilibrio químico, por lo menos en las detonaciones ideales.

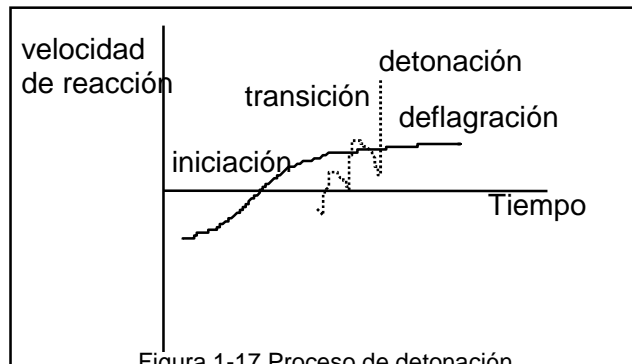


Figura 1-17 Proceso de detonación.  
Fuente: Codelco.

En los explosivos comerciales se producen reacciones químicas importantes por detrás del plano C-J, pudiendo afectar el rendimiento del explosivo no así a la velocidad de detonación.

El ancho de la zona de reacción primaria es inversamente proporcional a la potencia del explosivo, siendo este de milímetros en los explosivos potentes hasta varios centímetros en el caso del anfo.

Por detrás del plano C-J se encuentran los productos de reacción y en algunos casos las partículas inertes. La mayoría de los productos son gases que alcanzan temperaturas entre los 1500 - 4000°C, y presiones que oscilan alrededor de los 500 - 1400 MPa (es una unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades (SI), definida como la que ejerce una fuerza de 1 N (newton) sobre una superficie de 1 m<sup>2</sup>). Los gases en estas condiciones de presión y temperatura se expanden rápidamente y producen un choque u onda de tensión alrededor del medio que les rodea.

## 1.6 ENERGÍA LIBERADA DURANTE LA REACCIÓN DE UN EXPLOSIVO



Los tipos de energía que son posibles que se generen en este tipo de reacción son calor, luz, sonido, presión gaseosa y energía de choque. Las 4 primeras son comunes para todos los explosivos deflagrantes y detonantes, mientras que la última sólo la liberan los explosivos rápidos, debido a que la genera una onda de choque.

De todas ellas, sólo las dos últimas son capaces de efectuar trabajo útil e indirectamente el calor al calentar los gases e incrementar su presión, pero como son diversas las proporciones con que se liberan en los diferentes explosivos, el usuario tiene la posibilidad de seleccionar el más adecuado a una determinada aplicación.

### **1.6.1 ENERGÍA DE CHOQUE.**

Es una forma de energía cinética generada por la onda de choque, cuya magnitud es función del producto de la velocidad de detonación al cuadrado por la densidad del explosivo, o lo que es lo mismo, de la presión ejercida por la onda detonante que se propaga a través de la columna, denominada presión de detonación.

Es importante hacer hincapié en que la presión detonante generada por un cartucho de explosivo rápido no es igual en todas direcciones, siendo máxima en la dirección que se va desplazando la onda de choque, y por lo tanto en el extremo opuesto al de su iniciación y cerca de cero en sus paredes laterales. Por estas razones, para obtener el máximo efecto fracturador de la presión detonante de una carga explosiva no confinada, es necesario asegurar la máxima área de contacto con el material que se desea quebrar, e iniciarla desde el extremo opuesto a la superficie de contacto explosivo- material. Si por el contrario se optara por colocar el cartucho de explosivo apoyado sobre su cara lateral y se iniciara desde uno de sus extremos, de modo que la detonación se desplazara paralelamente a la superficie del material, los efectos de la presión detonante se reducirán seriamente, quedando sujeto principalmente al impacto de la expansión final de los gases.

### **1.6.2 ENERGÍA GASEOSA.**

Generada por el gran incremento de volumen que experimenta un explosivo sólido, líquido o una mezcla de ambos confinado en un pequeño espacio denominado tiro, al reaccionar y transformarse en un gran número de moléculas livianas, en un breve lapso. La presión gaseosa denominada también presión de explosión, depende del número de moléculas livianas liberadas por unidad de peso del explosivo, de la temperatura que alcanzan los gases por la acción del

calor desprendido en el proceso, y de la relación de los diámetros del explosivo y del tiro.

## **1.7 IMPORTANCIA DE LOS EXPLOSIVOS**

La utilización de los explosivos en actos rebeldes es una de las facetas más grises de esta mezcla reactiva de productos combustibles y oxidantes. Su utilidad se extiende a áreas tales como la ingeniería civil, la minería, el entretenimiento (fuegos artificiales) y la defensa militar. Esta última es una de las más polémicas ya que uno de los debates más animados se ha generado en torno al comercio y fabricación de las minas terrestres, especialmente las antipersonales.

Variadas organizaciones han puesto en relieve las terribles consecuencias de estas armas que, una vez sembradas, permanecen activas durante décadas, convirtiéndose en un peligro para la población civil y obstaculizando la recuperación económica de la zona afectada. Sus defensores alegan su gran utilidad táctica y sugieren establecer un marco jurídico internacional que regule adecuadamente su uso.

Por otra parte, los atentados con bombas y otros tipos de artefactos se han convertido en un *modus operandi* común del enemigo para manifestar una situación de inconformismo. El propósito claro de grupos tales como la ETA y los grupos al margen de la ley en Colombia son ejercer presión sobre las instituciones establecidas. Los resultados son normalmente, la pérdida de vidas o daños en importantes obras de infraestructura. Bien conocidos son los ataques contra oleoductos tales como el Caño Limón Coveñas, el segundo más importante de Colombia.

*Se prohíbe el uso de toda arma trampa que tenga forma de objeto portátil aparentemente inofensivo, especialmente concebido y construido para contener material explosivo y para detonar por la presencia, la proximidad o el contacto de alguien. G.CW.P.II,6.*

### **1.7.1 APLICACIONES COMERCIALES**

Desde la aparición de la pólvora negra como primer explosivo, se dio un gran adelanto en la industria de la minería por el uso de explosivos para la explotación de minerales y otros tipos de materiales pétreos, los cuales se hicieron de más fácil extracción por la utilización de materiales explosivos que minimizaron y redujeron el tiempo y esfuerzo que se tenía que hacer antes de la aparición de este tipo de sustancias.

Con el paso de los años los explosivos evolucionaron creando nuevas sustancias que superaban el poder explosivo de la pólvora negra y aumentaban la producción

en el trabajo en las diferentes aplicaciones comerciales en que eran empleados, desde entonces el uso de explosivos en el ámbito comercial se a convertido en pieza fundamental para el desarrollo de todo tipo de trabajos de minería.

### **1.7.1.1 MINERÍA**



Figura 1-19 uso de explosivos en minería.  
Fuente: Editec.ic.

La industria de la minería ha sido la mas beneficiada con el uso de los explosivos para realizar trabajos que serian de difícil ejecución sin poner en uso este tipo de sustancias, es importante señalar que el uso de los explosivos en la minería a reducido de forma consecutiva el tiempo para realizar trabajos de voladura que anteriormente llevaban largos periodos de tiempo para realizarlos.

La minería encontró en el uso de los explosivos el elemento fundamental para la explotación de materiales y minerales, gracias al uso de explosivos de características sísmicas, evoluciono el trabajo en canteras y en la localización de hidrocarburos por parte de las ondas generadas por las sustancias explosivas las cuales tienen la capacidad de transmitir señales que son captadas por medio de un receptor electrónico.

### **INGENIERÍA**



La aplicación de los explosivos en las voladuras para construcción de obras de ingeniería constituyen una de las más importantes aplicaciones y ha permitido ejecutar la fragmentación de la roca, ya sea mineral o estéril, para facilitar el movimiento de tierras en proyectos de construcción de carreteras, presas, túneles, ect.

## DEMOLICIONES



Figura 1-21 uso de explosivos en demoliciones.  
Fuente: Voladuras y Demoliciones

El uso de los explosivos de alto poder en trabajos de demoliciones ha sido de gran importancia debido a la gran variedad de cargas para demoler que se pueden encontrar para realizar diferentes trabajos como la ruptura de estructuras en hormigón o demoliciones controladas de edificaciones las cuales por el uso de los explosivos se puede desarrollar en forma rápida y controlada.

Si analizamos detalladamente el efecto producido por los explosivos podemos evidenciar que entre mayor efecto tenga la sustancia explosiva mayor será el efecto que cause en un blanco. En los trabajos de corte de estructuras en acero o metálicas.

El uso de explosivos plásticos ha marcado la pauta debido a la concentración térmica que alcanza en el momento de la explosión, aprovechando este poder para fundir las estructuras y facilitando la labor del ingeniero en los trabajos de corte de materiales metálicos.

### 1.7.1.4 INDUSTRIA

En el campo de la industria el uso de los explosivos ha sido de gran importancia debido al incremento y desarrollo que ha alcanzado por el uso de este tipo de sustancias, materiales de alta densidad como el acero de alto molibdeno requiere para su fundición y corte temperaturas que solo la explosión de algunas sustancias explosivas pueden llegar a alcanzar.

Para el buen desempeño de la industria, los explosivos han enmarcado cambios importantes que la han fortalecido en el campo de la producción de nuevos proyectiles de guerra los cuales centran su poder de reacción basándose en las sustancias explosivas que las componen.

#### **1.7.1.5 MEDICINA**

El uso de algunas sustancias explosivas es de gran importancia en el campo de la medicina ya que gracias a sus características químicas han sido utilizadas para el tratamiento de enfermedades crónicas, que mediante el uso de fármacos convencionales no es posible su tratamiento o sus componentes químicos no son lo suficientemente fuertes para tratar las enfermedades.

En enfermedades como el ataque al miocardio o la angina de pecho son tratadas por medio de sustancias explosivas como la nitroglicerina la cual genera en el momento de su inhalación una regulación en el sistema circulatorio de la sangre, evitando taponamientos en arterias y venas.

#### **1.7.1.6 AVANCE DE LA CIENCIA**



Figura 1-22 Lanzamiento trasbordador espacial.  
Fuente: Astrosurf.

Con la aparición de la pólvora negra se dio un gran adelanto en cargas propulsoras que a medida que fue transcurriendo los años se convirtieron en cargas de mayor concentración propulsora capaces de desplazar cuerpos que poseen un peso excesivo.

Por medio de la utilización de los explosivos se da un hecho de gran importancia para la humanidad como lo es la conquista del universo, gracias al poder de propulsión que generan determinadas sustancias explosivas se pueden impulsar los transbordadores espaciales que en nuestros días hacen presencia en el espacio exterior.

Hechos como los enunciados anteriormente convierten a los explosivos en elementos de gran importancia para el desarrollo del hombre y acompañan el diario vivir del ingeniero civil que los emplea para los diferentes trabajos en los cuales tienen aplicabilidad.

## 1.7.2 APLICACIONES BÉLICAS

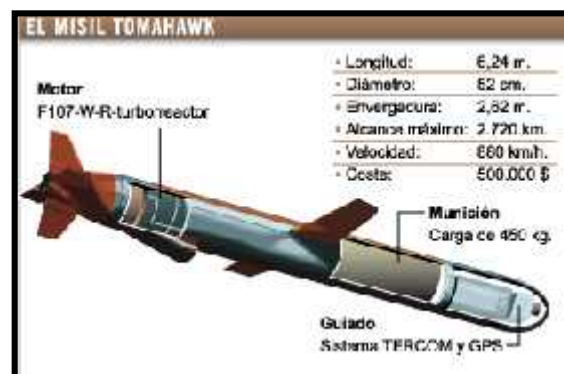


Figura 1-23 Misil Tomahawk.  
Fuente: El-Mundo-Es

En paginas anteriores habíamos visto la importancia de los explosivos en el desarrollo de la industria, pero hay usos menos beneficiosos para la humanidad en la aplicación de los explosivos, hay situaciones negativas que son importantes nombrar como el uso de los explosivos en la elaboración de armas de destrucción las cuales han sido cruciales en el desarrollo de las guerras que han enmarcado la vida cotidiana de nuestra humanidad.

Con la aparición de la pólvora negra en el siglo IX y su utilización como sustancia explosiva en el siglo XIII, se da un gran adelanto en el uso de los explosivos en las confrontaciones bélicas entre pueblos y países, sustancias como la pólvora negra utilizada como carga propulsora para el lanzamiento de piedras y el surgimiento de nuevos explosivos que superan el poder de la pólvora aumentaron la capacidad destructora de las nuevas armas de guerra como granadas, misiles tierra aire y los poderosos y contundentes misiles continentales, son algunos de los adelantos de notable importancia en el uso de los explosivos como armas destructivas de guerra.

## CAPITULO II

### CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE EXPLOSIVOS

#### 2. CLASIFICACIÓN

En forma general y teniendo en cuenta las diferentes características que presentan los explosivos en su composición química y los cambios físicos que originan en el momento de producir explosión, podemos identificar la clasificación general de los explosivos teniendo como parámetros generales potencia del explosivo, empleo en determinados trabajos y efectos mecánicos que cumplen como sustancia explosiva.

Teniendo en cuenta lo anteriormente enunciado se ha dado la siguiente clasificación a los explosivos, de acuerdo a su velocidad de detonación, de acuerdo a su composición química y según su uso.

##### 2.1.1 DE ACUERDO A SU VELOCIDAD DE DETONACIÓN

Si tenemos en cuenta la velocidad de detonación<sup>8</sup> de los explosivos podemos identificar que algunos tienen mayor capacidad para transformarse que otros, esta condición depende básicamente de los compuestos químicos que lo conforman y el medio en que se desplaza.

Los explosivos de acuerdo a la velocidad de detonación se clasifican en:

##### a. EXPLOSIVOS DEFLAGRANTES, LENTOS O PROGRESIVOS



Figura 2-1 Pólvora negra explosivo deflagrante.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

---

<sup>8</sup> VELOCIDAD DE DETONACIÓN: Es la velocidad con que el explosivo se transforma de su estado natural a un estado gaseoso.



Estos explosivos tales como la pólvora negra, y pólvora sin humo, son los que cambian lentamente de su estado natural al estado gaseoso a una velocidad menor de 2000 metros por segundo. La reacción que causa el cambio se denomina deflagración.

#### b. **EXPLOSIVOS DETONANTES O ROMPIENTES**



Figura 2-2 PENT explosivo rompiente.  
Fuente: ATF..

Estos explosivos son los que cambian rápidamente de su estado natural a su estado gaseoso a una velocidad mayor de 2000 metros por segundo. La reacción que causa el cambio de este tipo se denomina detonación.

Cuando se produce el estallido de un explosivo detonante la onda llamada “ONDA DETONADORA EXPLOSIVA”, se transmite por el total de la masa del explosivo convirtiéndolo casi instantáneamente en gases. Estos gases ocupan durante un instante un espacio ligeramente mayor que el ocupado por el explosivo.

#### **2.1.2 DE ACUERDO A SU COMPOSICIÓN QUÍMICA**

De acuerdo a las diferentes sustancias y compuestos químicos con los que son elaborados los explosivos hacen que estas sustancias sean de mayor poder o de menor, el efecto destructor y la acción mecánica que cumplen pueden variar dependiendo de su configuración química.

Estos explosivos están sujetos a reaccionar por medio de diferentes acciones iniciadoras y teniendo en cuenta la formulación química van a determinar parámetros para su uso y la acción explosiva que producirán en su trabajo mecánico.

La composición química de estas sustancias varía en mezclas y compuestos químicos, como en sustancias de tipo radioactivo que superan el poder de los explosivos químicos.

De acuerdo a la composición química tenemos que los explosivos se clasifican en:

a. **EXPLOSIVOS QUÍMICOS**



Figura 2-3 Sustancia química explosiva.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

Son todos los explosivos que se encuentran elaborados a base de mezclas de sustancias químicas, todo tipo de elemento que se inicia con un detonador y da un rendimiento de trabajo y producción con base a la detonación y los que podemos manipular.

b. **EXPLOSIVOS NUCLEARES**

Son aquellos cuyo rendimiento de producción se fundamenta o se basa en la radiación, se puede obtener producción a largo plazo o después de su activación merecen manipulación, almacenamiento, y transporte totalmente especial, en estos tenemos los que se elaboran basándose en materiales radioactivos tales como el uranio, plutonio, ect.

c. **AGENTES EXPANSIVOS**

Son emulsiones acuosas de características no explosivas las cuales al mezclarse entre sí producen un aumento en su composición física la cual permite fracturar los blancos en los cuales son utilizados.

Básicamente su uso es implementado en el sector minero en la fracturación de rocas ya que minimizan la proyección de fragmentos y su uso lo hace seguro para ser utilizado.

**2.1.3 SEGÚN SU USO**

### 2.1.3.1 EXPLOSIVOS MILITARES

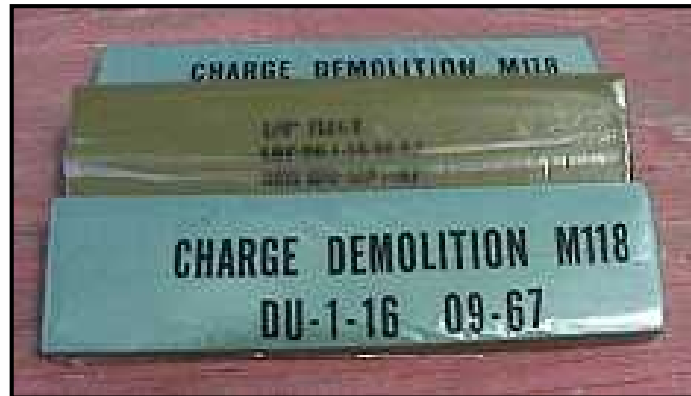


Figura 2-4 explosivo militar Carga de demolición M 118.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

Los explosivos militares presentan características especiales para ser empleados en trabajos de uso militar, sus características generales como la alta velocidad de detonación facilita trabajos mecánicos de demolición y corte de estructuras.

Los explosivos militares fueron elaborados para suplir las necesidades en la vida militar como cargas explosivas de proyectiles de guerra y básicamente cargas de demolición y corte.

### 2.1.3.2 EXPLOSIVOS INDUSTRIALES

Los explosivos industriales son elaborados para ser utilizados en el ámbito comercial en la explotación de canteras, voladura a cielo abierto, en túneles, ect. Estos explosivos presentan una elevada estabilidad teniendo en cuenta que la mayoría de estos productos no reaccionan ante agentes externos como la fricción, choque o el exceso de altas temperaturas.

Esta clase de sustancias a diferencia del explosivo de uso militar no es utilizada como carga de demolición y corte, debido a su baja velocidad de detonación y a su configuración.

**La composición química de estos productos se basa en el uso de los nitratos y emulsiones que le brindan seguridad para su manejo en el campo de la minería y trabajos de ingeniería en general.**

**Estos explosivos se clasifican en sensibles al detonador común No.8, insensibles y accesorios de voladura.**



Figura 2-5 Explosivo de Uso comercial PENTOFEX.  
Fuente: INDUMIL.

**a. SENSIBLES AL DETONADOR No. 08**

Para determinar la sensibilidad de un explosivo al detonador común No.8, se realizan pruebas en la cual se somete al explosivo a la acción del detonador, si este reacciona a esta acción se le denomina explosivo sensible al detonador, al no reaccionar se le denomina no sensible al detonador.

En este grupo encontramos todos los explosivos que inician su proceso de ignición con el detonador No. 08, ejemplo, dinamita, Indugel Plus, etc.

**b. INSENSIBLES AL DETONADOR No. 08**

**Se caracterizan por su baja sensibilidad al detonador y su elevada estabilidad, para la iniciación de estos explosivos se requiere adicionar una carga reforzadora o booster.**

**Son empleados como carga principal en las voladuras a cielo abierto, debido a sus bajas velocidades de detonación las cuales facilitan la acumulación de gases que permiten un mayor efecto de fracturación en rocas y en trabajos generales de ingeniería.**

**Los explosivos insensibles al detonador son llamados agentes de voladura, entre ellos tenemos los slurries, hidrogeles, emulsiones, Indugel AV. 800, ect, estas sustancias necesitan de un booster, para iniciar su proceso de explosión ya que el detonador No. 08 no es lo suficientemente potente para la ignición.**

**c. ACCESORIOS DE VOLADURA**

Como su nombre lo indica en este grupo clasificamos todos aquellos accesorios que son necesarios para complementar el proceso de detonación e una sustancia explosiva.

Cordón detonante.

Detonadores.

Mecha de seguridad.

**Multiplicadores (booster o primer).**

Micro retardos.

Conectores para el cordón detonante.

Tira flector, para iniciar la mecha lenta.

Encendedores de meca.

## 2.2 TIPOS DE EXPLOSIVOS

A continuación haremos referencia a las principales características de los explosivos en su composición química, poder rompedor y capacidades para ser utilizados en diferentes medios y usos industriales.

### 2.2.1 RDX (CICLONITA)



Figura 2-6 Explosivo RDX.  
Fuente: ATF.

También se conoce como ciclonita. El nombre químico del RDX es 1,3,5-trinitro-1,3,5- triazina. Es un polvo blanco y es sumamente explosivo. Es usado en explosivos y también en combinación con otros ingredientes no explosivos. No se conocen ni el sabor u olor del RDX. Es un producto sintético que no ocurre naturalmente en el medio ambiente. Cuando se quema con otras sustancias produce humo.

Las siglas RDX (por sus siglas en inglés) significan “Explosivo de investigación y desarrollo”. RDX es uno de los más ampliamente usados en los explosivos compuestos y plásticos. Es extremadamente estable y tiene una vida de anaquel comparable a la del TNT. Es altamente sensitivo y tiene un efecto destructor, es uno de los explosivos militares más poderosos. El RDX se usa por sí solo como la carga base en los detonadores eléctricos M-6.

El principal uso del RDX, es para la elaboración de explosivos mixtos de gran poder explosivo como las composiciones A, B y C, a los cuales les aumenta su poder, alcanza una velocidad de detonación de 8.350 m/seg.

El RDX se encuentra en explosivos compuestos y de plástico como C-4 y Semtex. RDX también se puede encontrar como una carga base en detonadores, en el núcleo explosivo de algunos cordones detonantes, como componente en las mezclas explosivas de carga principal y como explosivo de carga iniciadora.

El RDX usado en el ejército es un cristalino blanco sólido. Es extremadamente estable y no es tóxico a menos que se ingiera.

Para el uso del RDX como carga de demolición, carga rompedora, de corte y la elaboración de explosivo mixto se debe desensibilizar para lograr convertirlo en una sustancia estable y fácil de manipular.

Entre las características principales que posee este explosivo es el alto grado térmico que alcanza en su momento de detonar, las temperaturas pueden oscilar entre los 4000 a 5000 grados centígrados.

## 2.2.2 TRINITROTOLUENO (TNT)



Figura 2-7 Explosivo TNT.  
Fuente: ATF.

El trinitrotolueno tiene como fórmula química  $C_6H_2-CH_3-(NO_2)_3$ . Es un explosivo muy estable, que no sería posible utilizar como tal si no se dispusiera de un iniciador que desencadenara su energía explosiva.

El 2,4,6-trinitrotolueno es un sólido amarillo, sin olor, que no ocurre naturalmente en el ambiente. Es el explosivo militar más común y por sí solo o como parte de un explosivo mixto<sup>9</sup>, es ampliamente usado como carga multiplicadora, rompedora o de demolición.

El TNT se usa más comúnmente en cargas multiplicadoras y cargas de demolición. Es un compuesto cristalino amarillento que viene fundido o en forma de hojuela. Se encuentra principalmente en forma fundida. Cuando se expone a la luz solar durante períodos prolongados de tiempo, se vuelve café. Es un explosivo moderadamente tóxico que es relativamente insensible, estable y compatible con otros explosivos cuando se almacena de forma adecuada tiene una vida de anaquel de por lo menos 40 años.

El TNT se utiliza como carga de demolición, como parte de una composición y como carga principal en el relleno para granadas de mano, minas, bombas, proyectiles, cohetes y cargas de profundidad.

Se usa como un explosivo estándar para la evaluación de otros altos explosivos militares, viene en presentaciones de 1 libra,  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{1}{4}$  de libra. Posee una velocidad de detonación de 6.900 m/seg.

- Sólido color amarillo claro a café oscuro.
- Soluble en acetona, alcohol y aceite caliente.
- Prácticamente insoluble en agua.
- Punto de fusión 80° C.
- Sustancia química muy estable.
- Explosivo militar utilizado internacionalmente.
- Muy seguro y no higroscópico.

### **2.2.3 PENT**

El Pentranitrato de Pentaeritrita Sólido cristalino color blanco, es altamente sensitivo y es uno de los explosivos militares más poderosos, comparable a la ciclonita (RDX) y a la nitroglicerina. El PENT se usa en algunas cargas multiplicadoras, los cordones detonantes y en algunos detonadores. Es casi insoluble en agua, y puede usarse en demoliciones subacuáticas, alcanza una velocidad de detonación de 8.300 m/seg.

- Soluble en acetona.
- Punto de fusión 140° C.
- Relleno cordón detonante.
- Explota por percusión

---

<sup>9</sup> EXPLOSIVO MIXTO: son aquellos explosivos que están elaborados a base de varias sustancias explosivas que aumentan su poder y en determinadas mezclas desensibilizan las sustancias explosivas para hacerlas seguras para su empleo.



Figura 2-8 Explosivo PENT.  
Fuente: ATF.

#### 2.2.4 HMX

El HMX viene de la sigla en inglés High Melting Explosive. También se conoce como octágono y tetramina de ciclotetrametileno, y también por otros nombres. Es un sólido incoloro, poco soluble en agua. Solamente una pequeña cantidad de HMX se evaporará al aire; sin embargo, puede encontrarse en el aire adherido a partículas suspendidas o a polvo. No se conocen ni el sabor u olor del HMX, velocidad de detonación 9124 m/s.

#### 2.2.5 TETRIL



EL Tetril se usa por sí solo como una carga multiplicadora y también se usa en algunos explosivos como carga de ruptura o demolición. El Tetril es más sensitivo y más poderoso que en TNT; No obstante, el Tetril se encuentra fabricado a partir de PENT y RDX. , Velocidad de detonación 7.100 m/seg.

El nombre químico de TETRIL es 2,4,6-trinitrofenil-Nmetilnitramina. Algunos nombres usados comúnmente son metámina, RFA, BANG y tetril. Es un sólido sintético



crystalino, sin olor, que no ocurre naturalmente en el ambiente. Bajo ciertas condiciones, el tetritol puede existir como polvo en el aire. Se disuelve levemente en agua y en otros líquidos.

El tetritol fue usado para fabricar explosivos, principalmente durante la Primera y Segunda Guerra Mundial. Ya no se manufactura ni se usa más en los EE.UU. Los abastecimientos de tetritol se encuentran almacenados en instalaciones militares y están siendo destruidos por el Departamento de Defensa.

### **2.2.6 TETRITOL**

Explosivo mixto contiene un 75% de tetritol y un 25 % de TNT, se usa como carga de demolición, el tetritol es más poderoso y tiene mayor potencia rompedora que el TNT y es menos sensitivo que el Tetritol, alcanza una velocidad de detonación de 7.000 m/seg.

### **2.2.7 NITROGLICERINA**

Potente explosivo de fórmula  $C_3H_5(NO_3)_3$ , derivado de la glicerina mediante el tratamiento con una mezcla de ácidos sulfúrico y nítrico. Es un líquido pesado, aceitoso, incoloro o ligeramente amarillo, con una densidad de  $1,60 \text{ g/cm}^3$  y un olor suave a quemado. Produce dos formas cristalinas: Una con un punto de fusión de  $2,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , y otra de  $13,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Se solidifica a  $12 \text{ }^\circ\text{C}$ .

La nitroglicerina arde lentamente si se calienta al aire libre, pero explota al calentarla en un recipiente cerrado o si alcanza una temperatura de  $218 \text{ }^\circ\text{C}$ . Es muy sensible a los golpes por lo que resulta peligroso de transportar. Aunque fue descubierta en 1846, la nitroglicerina no se utilizó como explosivo hasta que el ingeniero e inventor sueco Alfred Nobel la empleó para fabricar dinamita en 1866.

La nitroglicerina es hoy en día un explosivo común y generalmente se mezcla con materiales inertes y porosos como el aserrín. Al detonar produce alrededor de 10.000 veces su propio volumen de gas. Es ocho veces más potente que la pólvora. Se emplea en el campo de la medicina como agente dilatador en venas y arterias en dosis de 0,2 a 0,6 mg.

La Nitroglicerina es uno de los explosivos más rápidos y poderosos, comparable con el RDX y PENT, y se usa con base explosiva de las dinamitas comerciales.

- Líquido aceitoso color amarillo claro.
- Sabor dulce.
- Prácticamente insoluble en agua.
- Su inhalación produce dolor de cabeza.
- Muy sensible al golpe, fricción o choque.
- Más denso que el agua, soluble en alcohol, acetona y cloroformo.
- Aumenta su sensibilidad por acción del calor o frío excesivo.
- Velocidad de detonación de 7.700 m/seg.

## 2.2.8 NITRATO DE AMONIO



Figura 2-10 Gránulos Nitrato de Amonio.  
Fuente: ATF.

El nitrato de amonio es un explosivo de baja sensibilidad, estable e insensible al calor y a las descargas eléctricas. Es una sal higroscópica, debido a esto presenta dificultades para ser utilizado en voladuras con presencia de humedad.

Es el componente principal en la elaboración de los explosivos sísmicos y en la mayoría de los agentes de voladura, para su iniciación requiere la presencia de una carga reforzadora que aumente la capacidad del detonador.

Es utilizado para la elaboración de explosivos mixtos y para cargas direccionales y de brecha.

El nitrato de amonio es uno de los principales explosivos instantáneos de carga principal menos sensibles y más fácilmente disponibles. Se usa ampliamente como agente explosivo, un ingrediente en ciertas dinamitas, y como fertilizante.



Dependiendo de su pureza, su color varía de blanco a beige-café y tiene un sabor salado. Para facilitar la identificación, también se pueden añadir tintes al producto. El nitrato de amonio se encuentra generalmente en forma de pastillas pequeñas comprimidas, comúnmente conocidas como glóbulos. Cuando se añade aceite combustible a los glóbulos, la mezcla se convierte en ANFO (nitrato de amonio y aceite combustible).

Para detonar el nitrato de amonio se requiere el uso de una carga iniciadora. Comercialmente, Pentolita y RDX se usan como carga multiplicadora, mientras que

el ejército usará con frecuencia TNT como carga iniciadora.

Se debe tener cuidado cuando se manipule el nitrato de amonio. Es un agente oxidante fuerte y tiene la capacidad de aumentar la posibilidad de combustión de otros materiales inflamables con los que entra en contacto. Por ejemplo, no se deberá usar herramientas que no desprenden chispas de latón o bronce debido a la reacción con el nitrato de amonio, lo cual forma un explosivo que es sensible al impacto como azida de plomo.

### **2.2.9 PÓLVORA NEGRA**

Entre las numerosas sustancias explosivas la pólvora negra por su composición, preparación y empleo, constituyen un grupo especial diferente a los demás explosivos, de gran importancia universal debido a su aplicación a las armas de fuego, compuesta de 75% de nitrato de potasio, 15% de carbón vegetal y 10% de azufre.

El nitrato de potasio se expresa químicamente como  $\text{KNO}_3$ , es una sal del ácido nítrico ( $\text{HNO}_2$ ) con el potasio (K). Este componente por sus cualidades de fuerte oxidante, es el que aporta el oxígeno para la combustión de la pólvora, ya que sin la presencia de este (el oxígeno) no puede haber combustión.

El azufre es un elemento químico sólido y cristalino de un color amarillo muy característico. Entra en la composición de la pólvora negra ya que facilita la propagación de la combustión, aumentando la velocidad además de mejorar la estabilidad ya que es un elemento insensible a la humedad. El azufre en estado natural tiene la propiedad de fundir a los  $115^\circ \text{C}$  y de quemar a los  $250^\circ \text{C}$ .



El Carbón utilizado para la preparación de la pólvora negra debe ser seleccionado con mucho cuidado por la gran importancia que asume como combustible base de nuestra mezcla, este debería ser lo más puro posible, es decir que tenga la menor cantidad posible de cenizas. La mayor parte de los residuos que deja la combustión de la pólvora negra son cenizas de carbón y pueden llegar a ser el 50% del peso original de la pólvora.

Son mezclas de azufre, carbón vegetal y Nitrato potasio, o sodio en lugar de detonar deflagran produciendo, en consecuencia una acción de empuje en lugar de rompedora, son utilizadas en el arranque de rocas ornamentales, juegos pirotécnicos etc.

Para su iniciación se emplea una mecha de seguridad o un inflamador eléctrico, es insensible pero cualquier chispa la prende, enciende instantáneamente a 300 grados centígrados al aire libre quema lentamente. Confinada quema a 180 m/s, cuando es de granos gruesos, y de granos finos 680 m/s.

La Pólvora negra es el más antiguo de los explosivos y propulsores conocidos, es la base fundamental para la elaboración de la mecha de seguridad.

#### 2.2.9.1 EL FIN DE LA PÓLVORA NEGRA

Aunque aun se pueda encontrar este tipo de pólvora para los fines descritos anteriormente, esta fue desplazada por la pólvora nitrocelulósica o sin humo en la última década del siglo XIX, sustituyéndola totalmente por las notables ventajas que tenía sobre la otra.

La ventaja que influyó con mayor fuerza para cambiar de una pólvora a otra fue el nulo residuo que dejaban en el ánima del cañón las nuevas pólvoras sin humo. Esto fue una gran ventaja, ya que se podían disparar varias veces sin tener la necesidad de limpiar el cañón.

#### 2.2.9.2 VENTAJAS DE LA PÓLVORA SIN HUMO RESPECTO DE LA NEGRA

- No deja prácticamente residuos y los pocos que deja no son higroscópicos, por lo que no producen la rápida oxidación del ánima del cañón.
- Apenas sale humo por la boca del cañón al efectuar un disparo.
- Es mucho más potente y por eso contribuyó a la reducción de calibres.
- Es muy estable e insensible a los cambios de temperatura y golpes, mas fácil de fabricar, y almacenar con un nivel de peligro mas bajo.
- Su manejo no es tan peligroso y en caso de que se prendiera fuego, al ser más lenta su combustión apenas haría daños.

### 2.2.9.3 DESVENTAJAS DE LA PÓLVORA NEGRA

- Deja muchos residuos en cañón y estos son muy higroscópicos (atraen la humedad).
- El abundante humo generado al disparar señalaba la procedencia del disparo y descubría al que lo había hecho.
- Es poco potente debido a su rápida combustión.
- Es altamente inestable y sensible a los golpes y cambios de temperatura, también muy peligrosa si se la maneja con descuido o negligencia.
- Por todo esto a finales del siglo XIX se hicieron innumerables ensayos con distintos tipos de propelentes hasta llegar a lo que conocemos hoy por pólvora sin humo y ya en la última década de ese siglo aparecieron los primeros cartuchos militares con este tipo de propelentes, el 8 Lebel (etiqueta), el 30-30 etc.

#### a. PÓLVORAS SIN HUMO

Entre las numerosas sustancias explosivas, las pólvoras impulsoras por su composición, preparación y empleo, constituyen un grupo especial completamente separado y cuya universal importancia se debe a su aplicación a las armas de fuego.

Las pólvoras gelatinizadas con "poco humo" (pólvoras coloidales) han sustituido a la antigua pólvora negra a causa tan sólo de su mayor potencia balística. También influyó como cualidad favorable su combustión casi sin residuo, ya que el empleo de una pólvora que produce humo delata fácilmente la posición al enemigo. La ventaja frente a la pólvora negra no se debe sólo a su mayor energía sino también a la posibilidad con las modernas pólvoras de regular entre amplios márgenes la velocidad de combustión, ejerciendo una presión impulsora "progresiva" sin someter al arma a fatiga excesiva y con el máximo impulso hasta la boca del ánima.



Figura 2-13 Pólvara sin Humo.  
Fuente: ATF.

La primera "pólvara sin humo" fue algodón pólvora pura, cuya tendencia a la explosión pudo ser disminuida a tal punto (sin alteración en la composición química), que se convirtió en una sustancia de combustión lenta. Esta transformación del algodón pólvora rompedora en una pólvora progresiva se consiguió por gelatinización, mediante solución en un disolvente volátil y evaporación posterior del mismo. Así se convierte el algodón pólvora de una textura fibrosa en una masa coloidal, es decir, en un gel de pólvora de gran densidad y uniformidad.

Para brindarle las características deseadas en su velocidad de combustión, se somete a un moldeo especial y a tratamiento superficial con grafito. Por la elección de adecuadas formas geométricas para el moldeo de la pólvora, la combustión de los elementos de la misma puede no sólo ser progresiva, con superficie de combustión creciente, sino regresiva o constante, con superficie de combustión decreciente o constante (macarrones).

En los primeros años de la fabricación de pólvora sin humo se presentaron problemas de descomposición y desestabilización, debido a la formación de vapores nitrosos durante su almacenamiento, que por desarrollo progresivo de calor conducían a la inflamación y finalmente a la explosión espontánea. La masa formada por nitratos de celulosa y de glicerina, se modificaba en su constitución química por las operaciones sucesivas de disolución, evaporación, desecación y

prensado en caliente. En 1889 Nóbel desarrolló un agente estabilizador, hoy en día aún empleado como lo es la difenilamina ( $C_6H_5-NH-C_6H_5$ ).

#### b. PÓLVORAS DE NITROCELULOSA (ALGODÓN PÓLVORA)

Muchos productos importantes se derivan de la celulosa por esterificación de los grupos hidroxilo. Debido a que no es posible la formación de uniones hidrógeno, estos derivados son solubles en solventes orgánicos. La celulosa utilizada consiste en fibras de algodón de pequeña longitud. Los nitratos de celulosa fueron los primeros ésteres de importancia técnica. Las fibras cortas de algodón, purificadas y secas, se empapan en una mezcla de ácidos nítrico y sulfúrico. Es deseable llevar a cabo la reacción en el menor tiempo posible (15-30 minutos) y a la menor temperatura posible (30-40°C), mantener baja la concentración de agua para reducir la degradación. Después de centrifugar y lavar, el algodón nitrado se hierva con agua para hidrolizar los sulfatos y estabilizar. Se almacena húmedo y se deshidrata antes de usarlo, por lavado con alcohol.

Se producen tres tipos principales de éteres: (1) piroxilina celuloide que contiene de 10,5 a 11% de Nitrógeno, soluble en etanol-éter y en etanol absoluto; (2) piroxilina soluble (algodón colodión o algodón dinamita) que contiene de 11,5 a 12,3% de N y es soluble en etanol absoluto; y (3) algodón pólvora que contiene de 12,5 a 13,5% de N. El algodón pólvora que contiene más de 13% de N es insoluble en etanol-éter y en etanol absoluto. Estas pólvoras, utilizadas especialmente en armas portátiles, se obtienen por nitración de la celulosa en presencia de ácido sulfúrico de acuerdo con la siguiente reacción:

La pólvora alemana de fusil se obtenía por gelatinización de 100 partes en peso de algodón pólvora con 70 partes de éter acético y 30 partes de alcohol. Como el éter quedaba en parte retenido en la masa viscosa, por su dificultad en evaporar, se empleó como disolvente la mezcla de 4 partes en volumen de éter anhidro y 3 partes en volumen de alcohol del 99%.

La pólvora alemana laminar de nitrocelulosa, en laminillas de 0,3 mm de grosor y 1,3 mm de superficie, está formada por 3 partes de algodón pólvora con un contenido mínimo de nitrógeno del 13,1% y una parte de algodón colodión soluble del máximo contenido posible (12,6%) de nitrógeno, el 0,5% de difenilamina como estabilizador y el 1% de oxalato de sodio para amortiguar el fogonazo en la boca. Finalmente a las laminillas cortadas se les añade centralita y grafito finamente pulverizado para mejorar la progresividad de la combustión.

Muy parecida es la pólvora B francesa que se fabrica con 80% de algodón pólvora y 20% de algodón colodión, mezcla éter-alcohol y adición de 1,5 a 2% de difenilamina. Tras la mezcla uniforme de todos estos componentes en la máquina amasadora, se elimina el disolvente sobrante, se comprime la masa gelatinizada con prensa o por laminación con rodillos, se calienta se moldea en cintas, bandas, cordones o macarrones, que luego en la máquina de cortar se convierten en laminillas, cubos u otras formas del tamaño deseado.

c. PÓLVORAS DE NITROGLICERINA (CH<sub>2</sub>ONO<sub>2</sub>-CHONO<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>ONO<sub>2</sub>).

Estas pólvoras, a diferencia de las de base nitrocelulósicas que son más "suaves", son mucho más "violentas" con elevadas temperaturas de combustión. La nitroglicerina es un éster nítrico trivalente que se obtiene por nitración directa de la glicerina o glicerol, en presencia de ácido sulfúrico.

A temperatura ambiente es un líquido oleoso que solidifica a 8°C, lo que implica un serio inconveniente porque en estado sólido se modifican sus propiedades explosivas siendo peligroso proceder a su descongelación. El empleo más frecuente es para armas que requieren elevada velocidad de combustión tales como cañones y morteros.

d. BALÍSTICA

Esta enérgica pólvora de cañón, se compone de 40 a 50% de nitroglicerina gelatinizada con 60 a 50% de algodón colodión, pues el algodón pólvora de alta nitración no es soluble en la nitroglicerina. Para conseguir la unión homogénea de ambos componentes, debe utilizarse el algodón colodión con una humedad del 30%, a medida que la nitroglicerina se va incorporando a la masa, el agua se va separando. La masa se pasa luego a la prensa, en la que después de expulsar el agua residual se forman panes, que posteriormente serán desmenuzados en una máquina trituradora. Posteriormente se le agregan los agentes estabilizadores, se pasa por los rodillos de laminación, y con prensas calefaccionadas se moldean mediante matrices a las formas deseadas, para posteriormente ser cortadas a la longitud deseada. Este tipo de pólvoras, la de mayor energía de las de nitroglicerina, son utilizadas para la propulsión de obuses, morteros y cohetes, dado que al ser muy erosiva se ha dejado de utilizar en cañones.

e. CORDITA

Si se quiere obtener una pólvora con menor contenido de nitroglicerina que el de la balística, pero que quede compensado con una mayor proporción de algodón pólvora de alta nitración, es preciso emplear un disolvente común para la gelatinización. La acetona cumple este cometido. Se carga una amasadora cerrada con 65 partes en peso de nitrocelulosa seca de 13,2 a 13,5% de N, 30 partes de nitroglicerina y 73 partes de acetona; después de 3 a 4 horas. De mezclado se añaden 5 partes de vaselina como agente estabilizador. La masa obtenida se pasa a la prensa de pólvora, después de cortada, se eliminan de la pólvora los residuos de acetona en un desecador de vacío (este tratamiento es particularmente engorroso, lo que dificulta la producción continuada) y finalmente se termina con el tratamiento superficial.

f. PÓLVORAS DE NITROGLICERINA GELATINIZADAS EN SECO



Este tipo de pólvoras ("pólvoras SD", sin disolvente) se basa, lo mismo que la cordita, en el empleo de celulosas de alta nitración. Nueve partes en peso de centralita (dietil-difenil-urea) se mezclan, y en parte se disuelven, con 27 partes de nitroglicerina. Esta mezcla se trabaja con adición de agua hasta convertirla en un gel, con nitrocelulosa húmeda de 64 partes en peso de algodón seco. La masa formada tras la expulsión del agua residual (como en el caso de la balística) se pasa, luego del estacionamiento por algunos días donde se produce la maduración, por los rodillos de una calandra para su gelatinización final a 90°C, para ser cortada en frío o prensada en caliente a la forma deseada. Pequeñas adiciones de estaño o de compuestos de estaño fácilmente reducibles por los gases de la pólvora, han dado buenos resultados para la conservación del ánima de las armas de fuego.

#### g. PÓLVORAS DE DINITRATO DIGLICÓLICO (DIDI)

La importancia de esta pólvora, está relacionada con su baja temperatura de explosión, lo que alarga la vida útil (hasta cuatro veces más) de las armas de tiro rápido y de los cañones de largo alcance, como también constituye una ventaja su fabricación rápida y exenta de peligro, por su elevada estabilidad, frente a la de nitroglicerina. Se le considera una pólvora "fría", que calienta y "pica" menos el cañón del arma, en comparación con las pólvoras flojas de nitrocelulosa, y que disminuye el delator fogonazo. Todas estas ventajas tienen como contrapartida la necesidad de mayores cargas. El dinitrato diglicólico gelatiniza al algodón colodión mejor que la nitroglicerina permitiendo la reducción de centralita en un 2%. Son pólvoras más seguras a la congelación que las de nitroglicerina.

Se puede todavía rebajar aún más la temperatura por incorporación a la formulación de nitrocompuestos ricos en C y N como la nitroguanidina  $[(H_2N)_2=C=NNO_2-NH_2]$  que al descomponerse no deja residuos y aporta un importantísimo volumen de gases y explota sin producir llamarada.

#### h. PÓLVORAS AMONIALES

Son formuladas a base de nitrocelulosa, nitroglicerina más  $NO_3NH_4$ . El nitrato de amonio es un componente energético cuyo uso no se ha generalizado, pero que permite obtener pólvoras de doble y triple base para cohetes, aunque no para cañones debido a su sensibilidad a la humedad.

#### i. PÓLVORAS DE UNA SOLA BASE

Esté tipo de pólvoras arde con extremada rapidez debido a la nitrocelulosa y por la misma razón es más sensible al rozamiento. Estas pólvoras son muy higroscópicas y hay que evitar su exposición a la humedad. Se usan comúnmente en las municiones de escopetas, en los proyectiles para salvas y en las granadas de mano.

Se fabrican estas pólvoras por dos métodos. En el primero los materiales se incorporan en presencia de agua, que dan como resultado una distribución bastante uniforme. Luego se hace pasar la masa a través de una placa perforada para darle forma más o menos granular. Después se voltea en un barril que gira en un baño de agua caliente y de esta manera se transforman los gránulos en forma esférica al mismo tiempo que se elimina agua. Estos gránulos se criban por un tamiz de 12 hilos por pulgada y el material grueso vuelve al barril. La pólvora que pasa por el tamiz, se seca para endurecer los granos; después se pone la pólvora en un tambor horizontal y se añade un disolvente para la nitrocelulosa. Este disolvente suele ser alcohol o benceno. El disolvente ablanda e hincha las fibras de nitrocelulosa y hacen que se peguen unas a otras; se hace circular el aire caliente a través de la pólvora volteada.

Estos granos endurecidos se pasan por tamices apropiados para tener una granulación uniforme entre los límites de los tamices. Después se da a la pólvora un secado final y se empaca en envases herméticos a la humedad.

El segundo procedimiento, hace una papilla con la nitrocelulosa y agua en la cual se han disuelto los componentes solubles. Después se añade a la papilla un disolvente el cual no se mezcla con el agua, como acetato de butilo y benceno. La mezcla resultante se agita con bastante violencia; esto hace que la fase del disolvente se disperse en el agua en forma de diversas gotitas, alrededor de las cuales se agrupan las fibras de nitrocelulosa y se destila el disolvente al vacío de modo que el destilado acuoso vuelve al alambique.

Los sólidos se separan por filtración y se secan, quedando la pólvora seca con la cantidad de sales deseada.

La granulación de la pólvora es el control de la “rapidez” de la pólvora o de la velocidad con que arde la carga. No debe confundirse el término “rapidez” con el término “velocidad de combustión”, ya que la rapidez para una combustión dada depende de la superficie disponible para la combustión; Por consiguiente, depende de la granulación.

Las pruebas de funcionamiento que dependen del uso al que se destine la pólvora, varían bastante. Una es la prueba de fragmentación y exige que una granada de mano cargada con un peso especificado de pólvora se divida de modo que entre los fragmentos haya 40+10.

La segunda prueba, exige el taco del cartucho cargado con un peso especificado de pólvora cuando se dispara en un fusil de calibre 0.30 pulgadas atravesarse una pantalla de papel kraft colocada a una distancia especificada delante de la boca del fusil y no más de 1% de los disparos fallen la prueba.

#### j. PÓLVORAS COLOIDIZADAS DE UNA SOLA BASE

Incluye toda pólvora que contiene como principal componente nitrocelulosa en estado coloidal sin la presencia de nitroglicerina.

Los métodos usados en su fabricación se han normalizado y sólo se diferencian en detalles secundarios. Los pasos en su fabricación son los siguientes: 1) deshidratación de nitrocelulosa; 2) dispersión coloidal; 3) granulación; 4) secado; 5) mezcla.

Las primeras pólvoras de una sola base tenían ciertos inconvenientes. El principal es la higroscopicidad de la pólvora. La cantidad de agua absorbida por la pólvora varía algo con los caracteres del alma de de las armas.

Esté grado de higroscopicidad es suficiente para producir un cambio en su comportamiento. Un segundo e importante defecto militar es el brillante fogonazo que se produce en la boca del arma cuando se dispara un proyectil. Estos cañonazos revelan a las tropas enemigas el emplazamiento del cañón.

La propiedad no higroscópica, se obtuvo agregando la nitrocelulosa un plastificante no volátil e impermeabilizado, para conseguir algún grado de impermeabilización. La cantidad de este material inerte era limitada pues reducía bastante el potencial balístico de la pólvora. El fogonazo se debe a que la alta temperatura de los gases producidos en la combustión los hace funcionar en la boca del cañón con el oxígeno del aire. Por consiguiente, si la temperatura de los gases de combustión podía reducirse suficientemente, se eliminaría el fogonazo.

Los fabricantes recurrieron al procedimiento de utilizar dinitrotolueno, que tiene un potencial balístico bajo. Por medio de esos cambios se obtuvieron pólvoras de higroscopicidad reducida y que en algunas armas no producían fogonazos, esos perfeccionamientos iban acompañados por dos inconvenientes importantes el primero de ellos es el escaso potencial de las composiciones, que hacía necesario emplear cantidades mayores de pólvora. El segundo era que el material inerte, en la mayoría de los casos carbonosos, producía cantidad considerable de humo, que en los disparos hechos durante el día era un inconveniente tan grande como el fogonazo. Un segundo método para eliminar el fogonazo en las armas es la adición de pequeños porcentajes de metales alcalinos y aunque son materiales muy eficaces para este efecto, su presencia en la pólvora siempre va acompañada por una cantidad considerable de humo.

#### k. PÓLVORAS DE DOBLE BASE

La expresión de “doble base” se ha aplicado a las pólvoras que contienen nitrocelulosa y nitroglicerina como principales componentes. Se hacen por dos métodos; el primero es algo parecido al empleado para la fabricación de pólvora coloide de una sola base, con la salvedad de que el disolvente usado es alcohol-acetona. Se omite la recuperación del disolvente por el peligro que supone recuperar los disolventes que contienen nitroglicerina. El segundo método omite la deshidratación usual y la gelificación se efectúa haciendo pasar la nitrocelulosa mojada mezclada con nitroglicerina y con los demás componentes de la pólvora, entre cilindros calentados. Si la pólvora se ha de usar en forma de lámina, como en los morteros de trinchera, es necesario regular el espesor de la lámina. Si se ha

de estirar después en forma de granos grandes para la fabricación de cohetes, la lámina puede tener un espesor de hasta 3.1 mm.

Las pólvoras de donde base tienen un potencial balístico mayor que las pólvoras de una sola base y son muy poco higroscópicas. Con las pólvoras de doble base es difícil conseguir que no se produzcan fogonazos, porque es elevada su temperatura de combustión. En cambio su uso como pólvora para cohetes es casi imperativa por su energía y su velocidad de combustión y además porque permiten hacer granos de gran tamaño sin usar un disolvente volátil.

Las pólvoras de doble base tienen algunas propiedades adversas: su elevada temperatura de combustión provoca una erosión excesiva en el cañón del arma, la nitroglicerina es peligrosa de manejar y han ocurrido explosiones desastrosas en la fabricación de este tipo de pólvora. Para fines militares la producción procedía sólo de la industria jabonera y de la elaboración de grasas. Esta limitación ha desaparecido en gran parte al producirse la glicerina sintética a base del petróleo.

## I. PÓLVORA EN BOLAS.

Esta pólvora se granula en forma de pequeñas esferas de dimensiones controladas para satisfacer las necesidades balísticas del arma a que se destina. Los ingredientes usados no se diferencian mucho de los usados en otras pólvoras de disolvente. El uso de estas pólvoras se ha limitado a las municiones para armas militares pequeñas, cañones de pequeño calibre y cartuchos para caza.

La fabricación empieza con nitrocelulosa en forma de papilla. Esta papilla se introduce en un destilador, en el que se disuelve la nitrocelulosa en acetato de etilo, se añade difenilamina como estabilizador y creta para neutralizar el ácido que pueda ceder la nitrocelulosa en acetato de etilo. Agitando, se dispersa la solución de laca en pequeños glóbulos, cuyo tamaño se gradúa regulando la adición de un coloide protector y la velocidad de agitación, se reviste después con dinitrotolueno etilcentralita para lograr la forma de combustión deseada, después se seca para eliminar al agua y se envasa para su transporte. La pólvora de un tamaño excesivo puede pasarse por cilindros para reducir el grosor al grado deseado. La pólvora puede grafitarse, para aumentar su densidad de carga, facilitar que corra libremente y reducir la acumulación de cargas estáticas sobre la pólvora.

### 2.2.9.4 EFECTO DE LA PRESIÓN DE LOS GASES DE LA PÓLVORA

La velocidad de combustión y el desarrollo de la presión de los gases de la pólvora en bomba manométrica no son comparables con los valores que se presentan en el ánima del arma, pues el volumen que da la cámara de combustión en el cañón no se conserva constante, sino que aumenta con el avance del proyectil. Para conocer el comportamiento balístico de una pólvora es indispensable conocer el desarrollo de la presión de los gases en el ánima. En las fábricas de proyectiles o

de pólvoras cuentan con equipos para efectuar dos tipos de medición. Los describiremos brevemente ya que no es el objeto de este trabajo.

Medición con "crusher" es en forma mecánica que se determina la presión midiendo una deformación que la presión producida sobre un cilindro de cobre montado sobre un pistón que llega hasta la recámara. De la medición de la deformación se puede establecer la presión por medio de la comparación con tablas de referencia.

Medición por el sistema piezoeléctrico es un sistema electrónico, donde el sensor está conformado por un material capaz de generar cargas eléctricas a partir de la acción de una presión. Estas cargas luego de ser convertidas en tensión eléctrica son alimentadas a un instrumento digital para indicar el valor de la presión.

A continuación determinaremos el desarrollo de la presión de los gases y de la velocidad del proyectil en el ánima del fusil para tres pólvoras con distintas velocidades de combustión. Las tres pólvoras desarrollan en los 700 mm de recorrido de la longitud del ánima la misma energía, por lo que el proyectil llega a la boca en el mismo tiempo de 5 milisegundos y con la misma velocidad de 780 m/seg.

La pólvora 1 de combustión rápida (ofensiva) produce en 0,86 milisegundos la máxima presión de gases de  $3200 \text{ kg/cm}^2$ , después de un recorrido de 12,1 cm; la correspondiente curva de velocidad es el ascenso inicial más rápido y la que más se aplanada al aproximarse a la boca.

La pólvora 2 más lenta alcanza en casi el doble de tiempo la presión máxima de  $2250 \text{ kg/cm}^2$ , con una curva de velocidad menos inclinada.

La pólvora 3 de combustión todavía más lenta (casi ideal) produce la máxima presión de  $1770 \text{ kg/cm}^2$ , que hacia la boca desciende casi uniformemente con la consiguiente reducción de la fatiga del arma al mínimo. Las pólvoras con esta progresividad son muy difíciles de realizar, pues con una curva de presión tan aplanada existe la posibilidad de un descenso considerable de rendimiento (por corrimiento del máximo hacia la boca), debido a la pérdida en el exterior de gran parte de la energía.

#### 2.2.9.5 PROPIEDADES BALÍSTICAS

En la inflamación de una pólvora propulsora en un cañón, es necesario considerar dos factores: la rapidez con que se libera la energía y la energía por la pólvora. Estos dos factores se caracterizan por la "balística interior".

La energía térmica potencial de una pólvora propulsora, cuando se inflama en un cañón, es convertida en energía cinética del proyectil. La energía total que puede comunicarse al proyectil esta determinada por la longitud del proyectil, el cañón y

por la presión que puede soportar el tubo del cañón independientemente de la energía de la pólvora.

Siempre que el propulsor elegido tiene energía suficiente, el problema consiste principalmente en ajustar el diseño geométrico del grano de modo que satisfaga la velocidad deseada de aumento de la presión; esta velocidad depende de la rapidez con que la pólvora arde y de la superficie expuesta para arder y su relación con el recorrido del proyectil.

La velocidad en condiciones de presión de presión para una composición y una y una calidad determinadas depende de la superficie, y el tiempo de combustión depende del espesor de la pólvora que hay que quemar. En el diseño de las pólvoras, el espesor se designa con el nombre de “alma”. En las granulaciones de escama, como las que se usan en la pólvora para deportes, el alma es la longitud de grano. En las pólvoras de una sola perforación se considera que es el espesor de la pared del tubo.

Son tres formas de combustión y se designa con los nombres de regresiva, neutra y progresiva. En un grano macizo (cuerda), la superficie disminuye y la combustión es regresiva. Si el grano esta perforado, la superficie interior aumenta mientras disminuye la superficie exterior y puede obtenerse una combustión neutra o incluso progresiva.

Cuando es necesario establecer el alma óptima para una nueva composición de pólvora en un arma, es esencial que se haga con pruebas reales de descarga, ya que no existen métodos de cálculo eficaces. En general, la presión varía inversamente con el alma de la pólvora. Tanto la presión en el tubo como la velocidad del proyectil aumenta con el peso de la pólvora hasta que se alcanza un punto crítico, en el cual la presión aumenta mucho sin un aumento correspondiente en la velocidad: para impedir el comportamiento irregular de la pólvora hay que ajustar el alma de modo que la velocidad deseada a presiones bastante inferiores al punto de la “presión crítica”. Una vez que se ha establecido la relación entre el alma, el peso de la carga, la presión y la velocidad para una pólvora de una composición dada en un arma concreta.

#### **2.2.10 COMPUESTO C-4**



Figura 2-14 Composición C-4.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

El compuesto C-4 es un explosivo mixto que contiene 91% de RDX y 9% de plastificante no explosivo, es conocido como barra de demolición M112. El compuesto C-4 con el tiempo reemplazará el compuesto C-3 como carga de demolición y también se usa como carga rompedora.

Tiene más potencia rompedora que el compuesto C-3, es moldeable a una amplia gama de temperaturas (-70GF a + 170GF); Es el más estable y está menos sujeto a la erosión por causa del agua cuando se usa para demoliciones subacuáticas, es la base fundamental para la fabricación de las minas kleyomor, alcanza una velocidad de detonación de 8.040 m/seg.

- Color blanco.
- Explosivo moldeable.
- Resistente al agua.
- Utilizado en las cargas de demolición y corte.
- Alcanza un alto grado de temperatura al explotar.
- Utilizado en demoliciones submarinas.
- Produce humo en el momento en que se quema.

### 2.2.11 PENTOLITA

La Pentolita es una mezcla de PENT y TNT. Se usa una mezcla de 50-50 (por 50% de PENT y 50% de TNT). El color varía de blanco a amarillo a gris, dependiendo del contenido de TNT.



Figura 2-15 Pentolita 50-50.  
Fuente: ATF.

La Pentolita se usa ampliamente en el ámbito militar en cargas multiplicadoras y cargas de molde. La Pentolita es más sensible que el TNT, como carga multiplicadora en ciertos modelos de cargas direccionales debido a su alto poder de velocidad de detonación que alcanza 7.450 m/seg. Es la base fundamental para la fabricación de los torpedos bangalores, cargas huecas, cargas defensivas dirigidas, sismofex, pentofex, entre otros.

La Pentolita es utilizada como carga de demolición adaptable a diferentes presentaciones de 1, ½, ¼, 1/8 de kilogramo y como carga reforzadora para la iniciación de los explosivos insensibles al detonador, es resistente a la humedad, sustancia explosiva estable.

### 2.2.12 DINAMITAS



Figura 2-16 Dinamitas Comerciales.  
Fuente: ATF.

La dinamita pura tiene un olor acre y dulce debido a su contenido de nitroglicerina. La inhalación de los gases de nitroglicerina generalmente provoca un dolor de cabeza fuerte y constante. Generalmente es de color café claro a café rojizo y aunque su textura varía, se puede describir como una mezcla aceitosa suelta, ligeramente húmeda. Es altamente sensible al impacto y a la fricción y produce gases tóxicos cuando se detona.

Si aparecen cristales en el exterior de un cartucho de dinamita significa que las sales de nitrato se han separado y solidificado, haciendo a la dinamita extremadamente inestable. Así mismo si parece tener un escape de cualquier sustancia aceitosa, se debe tener cuidado extremo. Esto puede indicar la presencia de nitroglicerina.

Alfred Nóbél averiguó que empapando la nitroglicerina en una tierra mineral porosa llamada tierra de diatomeas o kieselgur, se obtenía una mezcla exenta de algunos de los inconvenientes de la nitroglicerina líquida. Al nuevo producto se le dio el nombre de dinamita, químicamente inerte, no alteraba la reacción química cuando se hacía detonar la nitroglicerina sin embargo, en una tierra porosa era mucho más fácil de manejar que la nitroglicerina líquida. Las primeras dinamitas se clasificaban por la cantidad de nitroglicerina de la mezcla, de modo que el producto obtenido mezclando 60 partes de nitroglicerina y 40 partes de kieselgur se llamaba “dinamita 60%”.



Además de ser menos peligrosa que la nitroglicerina era más cómoda de transportar porque se podía llevar en forma de barras. El uso de la dinamita hizo que muchas tareas pertenecientes al mundo de la construcción y la minería progresaran a una velocidad sin precedentes en la historia. Sin embargo, la dinamita también fue de gran utilidad en la fabricación de explosivos, aplicación que se generalizó hasta el punto de hacerle acreedor, aún a pesar de sus actividades humanitarias, del epíteto "mercader de la muerte".

Pronto se descubrió que sustituyendo el kieselgur por otros minerales podían hacerse explosivos aún más potentes. Por ejemplo: empleando una mezcla de nitrato de sodio finamente pulverizado y pulpa de madera se obtenía un explosivo que era más potente que la dinamita primitiva que contuviese la misma cantidad de nitroglicerina. Estos explosivos se llamaron "dinamitas de absorbente activo" para distinguirlas de las primeras dinamitas, y pronto reemplazaron a éstas últimas.

Años después se fabricaron dinamitas que empleaban nitro almidón en lugar de nitroglicerina. El término dinamita se convirtió en un término genérico para los explosivos de alta potencia, usados en trabajos de minería, ingeniería, en canteras, construcción de pozos, perforación de túneles y otras operaciones de voladura de superficie y subterráneas.

En las dinamitas amoniacaes o dinamitas de nitrato de amonio, cantidades de nitrato amoniacal reemplazan una parte de la nitroglicerina y también parte del nitrato de amonio. En la medida en que el nitrato de amonio reemplaza al nitrato de sodio aumenta la cantidad de gases producidos por el explosivo. Casi todos los explosivos de voladura contienen cantidades sustanciales de nitrato de amonio.

En 1875 descubrió Nóbél otra manera de hacer explosivos sólidos con nitroglicerina líquida utilizando la acción coloidógena de la nitroglicerina sobre la nitrocelulosa; se basaba en el uso de nitrocelulosa con un contenido de nitrógeno que es convertido por la nitroglicerina en una masa gelatinosa. Cuando se hacen mezclas de 88-92 partes de nitroglicerina y 12-8 partes de nitrocelulosa soluble, resulta un producto firme que se conoce como gelatina explosiva; es un explosivo especialmente potente para barrenos.

Las llamadas "dinamitas gomosas", se caracterizan por su mayor densidad y resistencia al agua que las dinamitas ordinarias de absorbente activo con nitrato de sodio ó pequeñas cantidades de nitrato de amonio.

Las dinamitas de nitroglicerina y los dinamitas conocidas de nitro almidón tienen análogas propiedades explosivas generales, no son idénticas en todos los aspectos. El nitro almidón es un material sólido pulverulento que no se congela a temperaturas atmosféricas como la nitroglicerina. No produce dolores de cabeza cuando se ponen en contacto con la piel desprotegida o cuando se aspiran pequeñas cantidades de los gases que quedan en la atmósfera después de una explosión.

La adición de materiales anticongelantes, como dinitrotolueno, diglicerina nitrada, azúcares nitrados los nitroglicoles, reduce tanto la tendencia de la nitroglicerina a congelarse que se ha eliminado sustancialmente la necesidad de congelar los explosivos de nitroglicerina que habían sido sometidos a temperaturas bajas. En las fórmulas, se acostumbra considerar los materiales anticongelantes asociados a ella. Los azúcares, los glicoles, la glicerina, suelen agregarse a la glicerina antes de nitrarla.

Las patentes más importantes de Nóbel fueron en 1875, la dinamita goma, una dinamita moldeable, semejante a los explosivos plásticos actuales, luego en 1884, un método para la destilación continua de petróleo. Por último en 1887 fabricó la balística, una mezcla de nitroglicerina y nitrocelulosa, consiguiendo un gran explosivo sin humo.

La mayoría de las dinamitas, con la notable excepción de la dinamita militar, contienen nitroglicerina y varias combinaciones de absorbentes, oxidantes, antiácidos y reactivos depresivos del punto de congelación. Las dinamitas se usan para voladura y demoliciones de tipo general, incluyendo el despeje de campos, la formación de cráteres, zanjas y las canteras.

### 2.2.12.1 TIPOS DE DINAMITAS

#### a. DINAMITAS DE NITROGLICERINA



Figura 2-17 Dinamitas de Nitroglicerina.  
Fuente: ATF.

La parte de una dinamita de nitroglicerina que no es el componente o, los componentes orgánicos nitrados, suelen componerse de una mezcla de pulpa de madera u otro material carbonáceo cuyo objeto es absorber la nitroglicerina líquida; nitrato de sodio para suministrar oxígeno disponible al material carbonáceo y carbonato de calcio, óxido de zinc para neutralizar los indicios de acidez que puedan producirse por la descomposición de los nitratos presentes. Es conveniente que el material absorbente combustible y el material oxidante estén en proporciones equilibradas.

Debe haber suficiente nitrato para oxidar completamente el material absorbente combustible. Si hay demasiado nitrato el explosivo produce óxidos de nitrógeno productos de la explosión y no libera tanta energía. La existencia de una cantidad excesiva de absorbente combustible origina cantidades excesivas de monóxido de carbono en los gases producidos en la explosión. La presencia de grandes cantidades de estos gases es un inconveniente, sobretodo cuando la dinamita se usa en trabajos subterráneos de minería, la envoltura del explosivo interviene en las reacciones que se producen en la explosión; por consiguiente, también se tiene en cuenta este factor al formular las dinamitas. Se emplea un pequeño porcentaje adicional de nitrato de sodio con él fin de que la entrada del papel o la parafina de la envoltura de la reacción no hagan aumentar la cantidad de monóxido de carbono.

Las dinamitas sencillas poseen una velocidad relativamente elevada de detonación que aumenta a medida que crece la cantidad de nitroglicerina de la formula. Tienen también buenos volúmenes de gases.

Las dinamitas sencillas se usaron en los trabajos de minería y de cantería; en rocas duras y resistentes pero que no eran lo bastante tenaces para exigir el uso de la gelatina explosiva o de las calidades de las dinamitas gomosas. El costo de las dinamitas sencillas es algo mayor que otros explosivos que dan resultados sustancialmente iguales en trabajos de voladura, en los últimos años su uso ha sido suplantado en gran parte por las “dinamitas amoniacadas” y las “dinamitas gomosas amoniacales”.

#### b. DINAMITAS AMONIACALES



Figura 2-18 Dinamita Amoniaca.  
Fuente: ATF.

La dinamita de amonio tiene un olor acre y dulce porque contiene algo de nitroglicerina y al igual que la dinamita pura los gases pueden causar un fuerte dolor de cabeza. Generalmente es de color café tostado claro a café claro y tiene una textura aceitosa, pulposa, granular y ligeramente húmeda. Es menos sensible al impacto y a la fricción que la dinamita pura porque una parte del contenido de nitroglicerina se ha sustituido por nitrato de amonio y nitroglicol.

Contienen nitrato amónico que reemplaza una parte del nitrato orgánico. Puesto que el nitrato de amonio tiene una potencia explosiva exterior a la de nitroglicerina, es necesario emplear en la fórmula más nitrato de amonio que la cantidad de nitroglicerina que reemplaza.

Los otros componentes son los mismos que las dinamitas sencillas, suele emplearse una cantidad ligeramente mayor de antiácido porque las mezclas de nitrato de amonio y nitroglicerina producen más acidez que las mezclas de nitrato de sodio y nitroglicerina.

Son muy usadas en minas y canteras. Aunque son algo menos resistentes al agua que las dinamitas sencillas y bastante menos resistentes al agua que las dinamitas gomosas, su resistencia al agua es suficiente para la mayoría de los fines de minería y cantería. Tienen excelentes características tanto en lo que respecta al vigor del golpe que producen en el instante de la detonación (potencia rompedora) como la presión sostenida que el efecto de empuje que sigue al choque (volumen de gases). Puesto que las dinamitas amoniacaes son algo más baratas que otros explosivos, no sólo tomando como base el peso, sino también con arreglo a la cantidad real de energía que proporcionan, son hoy explosivos de voladura de mucho uso en las operaciones ordinarias en minas y canteras.

### c. GELATINA EXPLOSIVA Y DINAMITAS GOMOSAS

La gelatina explosiva consiste en nitrocelulosa en aproximadamente 12% de nitrógeno asociada con nitroglicerina para formar un gel bastante firme. La relación usual es aproximadamente 11.5 partes de nitroglicerina por 1 parte de nitrocelulosa soluble. El otro componente de la gelatina explosiva es una pequeña cantidad de un material antiácido, como carbonato de calcio, carbonato de magnesio y óxido de zinc.

Las dinamitas gomosas forman una serie de explosivos de la que la gelatina explosiva es miembro "100%", y cada una de las otras variedades es una mezcla de nitroglicerina algo menos gelatinizada y un absorbente activo. En las dinamitas gomosas de una potencia menor se usa azufre como parte del absorbente activo.

Las dinamitas gomosas se caracterizan por una densidad elevada y una resistencia excelente al agua. Son explosivos potentes desde el punto de vista del volumen de los gases producidos y de la potencia rompedora. Su uso más importante es en las operaciones y en los trabajos de exploración sísmica. En los últimos años las dinamitas gomosas han reemplazado a las dinamitas sencillas porque son algo menos sensibles a la detonación, ejercen una porción algo mayor que su potencia explosiva como fuerza de empuje y conservan velocidades de detonación suficientemente grandes.

d. DINAMITAS GOMOSAS AMONIACALES.

Se formulan para reunir las mejores cualidades de las dinamitas sencillas y de las dinamitas amoniacales, consiste en una dinamita amoniacal en la que la nitroglicerina existe en forma de un coloide de nitrocelulosa. No tienen una resistencia al agua igual a la de las dinamitas gomosas, pero resisten mejor el agua que las dinamitas amoniacales.

e. DINAMITAS SEMIGOMOSAS.

Tienen una composición intermedia entre las dinamitas gomosas amoniacales y las dinamitas de nitrato amoniaco, son dinamitas amoniacales a las que se ha añadido nitrocelulosa para formar un gel duro. Físicamente las dinamitas semigomosas son más plásticas que las amoniacales, son algo menos sensibles en las pruebas de rozamiento y del choque que las dinamitas gomosas. Sin embargo, su sensibilidad es suficiente para asegurar una respuesta satisfactoria a la acción de una carga detonante.

f. DINAMITA MILITAR



Figura 2-19 Dinamita Militar.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

La dinamita militar es un explosivo mixto que contiene 75% de RDX, 15% de TNT y 10% de desensibilizadores y plastificantes que minimizan la sensibilidad del RDX. Está empacada en cartuchos cilíndricos de papel recubierto de parafina y 1/2 libra de peso, con diámetro nominal de 3,17 centímetros y longitud nominal de 20,32 centímetros.

Se emplea la dinamita militar principalmente para el retiro de tocones, contra construcciones militares, y para operaciones de cantera, de zanjeo y de demolición. La dinamita militar es apropiada para demolición submarina.

La dinamita militar no se congela ni suda durante su almacenamiento, y su composición no es higroscópica. A diferencia de los recipientes de dinamita comercial, los recipientes de la dinamita militar no requieren el cambio de posición durante su almacenamiento. La dinamita militar es más segura para almacenar, manejar y transportar que 60% de las dinamitas comerciales. A menos que sea necesario, no use dinamita comercial en las áreas de combate.

La dinamita militar es confiable en operaciones submarinas durante 24 horas. Debido a su reducida sensibilidad, empaque los cartuchos de dinamita militar de modo que se asegure la detonación completa de la carga. La dinamita militar no es eficaz como carga de corte o de ruptura.

#### - FEXAGEL

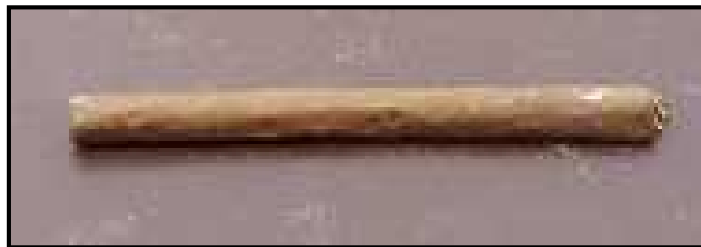


Figura 2-20 Dinamita Fexagel.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

Corresponde al grupo de las gelatinas especiales, en las cuales parte del Nitrogliceroglicol, se ha reemplazado por nitratos y otros compuestos, manteniendo su balance de oxígeno positivo.

#### - SEMIGEL

Corresponde al tipo de dinamitas pulverulentas con baja incorporación de Nitrogliceroglicol, el cual se reemplaza por nitratos y otros compuestos, manteniendo su balance de oxígeno positivo.

### 2.2.12.2 POTENCIA DE LAS DINAMITAS.

La cantidad de energía que produce un explosivo puede determinarse por el cálculo partiendo de los factores termoquímicos de los componentes y de los productos de la reacción, o bien inflamando una porción del explosivo con una fuerte bomba calorimétrica construida especialmente.

La manera como un explosivo comercial de voladura desarrolla su energía en la explosión suele ser una guía mucho más importante para averiguar su rendimiento en cualquier clase de trabajo especial que la energía total del explosivo medida en una bomba calorimétrica.

Las dinamitas normales son intermedias, entre las gomosas y las amoniacaes, las cuales muestran un empuje excelente.

Los explosivos de nitrato de amonio encuentran su uso en los trabajos de voladura en que no se necesita una potencia voladora muy grande y lo que se desea es un empuje grande; para estos trabajos dan excelentes resultados.

Para los trabajos que exigen el máximo efecto posible de fragmentación suelen dar excelentes resultados la gelatina explosiva y las dinamitas gomosas. El encerramiento es necesario pues en el tipo de descarga que consiste en poner la carga de explosivo directamente o no ejerce toda su potencia explosiva.

Para la mayoría de los tipos de voladura, el efecto máximo posible de fragmentación no sólo es innecesario sino que puede ser indeseable y para esta índole deben preferirse las dinamitas amoniacaes y las de nitrato amónico a las dinamitas gomosas (más rompedoras). Para los trabajos de voladura en los que es conveniente obtener el volumen máximo de gases, dan excelentes resultados los explosivos de nitrato de amonio.

### 2.2.13 INDUGEL PLUS

Explosivo tipo hidrogel aluminizado, con sustancias gelificantes que evitan la segregación de los ingredientes oxidantes y combustibles sensibilizados en la mezcla. Es un explosivo a base de nitrato de amonio, slurries gelatinosos, polvo de aluminio y agua, es utilizado para trabajos de voladura en canteras, ideal para la voladura de rocas y es altamente resistente a la humedad, alcanza una velocidad de 4.300 a 4.700 m/seg.



Figura 2-21 Indugel Plus.  
Fuente: INDUMIL.

1. Elevada seguridad en su manejo debido a su baja sensibilidad al roce y al impacto.
2. Excelente resistencia al agua.
3. Explosivo denso, fácilmente sumergible en agua y con alta energía específica.
4. No produce dolores de cabeza durante su almacenamiento y empleo.
5. Sensible a detonador N° 8.
6. Cartuchos con numeración codificada visible e invisiblemente.
7. Encartuchado en tubos de polietileno grapados en sus extremos y embalados en cajas de cartón con un peso de 25.0 Kg. peso neto y 26.2 Kg. de peso bruto.



Figura 2-22 Indugel Plus 38 x 250.  
Fuente: INDUMIL.

## USOS

- En voladuras en ausencia de gas grisú y polvo de carbón.
- Para explotación de minerales como el oro, esmeraldas, sal, caliza u obras de construcción.
- Voladuras subterráneas con adecuada ventilación.
- Explotación de roca semidura a dura.
- En demoliciones de edificios e infraestructuras civiles.
- Se emplea como carga de columna con detonador N° 8 como iniciador.

Presentación del explosivo Indugel en referencia al producto elaborado por la industria militar colombiana FEXAR.

26 X 250 CAJA 154 TACOS PESO 162 grs.  
32 X 250 CAJA 102 TACOS PESO 245 grs.

38 X 250 CAJA 72 TACOS PESO 347 grs.  
44 X 250 CAJA 54 TACOS PESO 463 grs.



### 2.2.14 AMATOL

Mezcla de nitrato de amonio y TNT. Era usado como carga base en los torpedos bangalores, debe almacenarse en recipientes herméticos, ya que posee nitrato de amonio. El amatol es un compuesto higroscópico, posee una velocidad de detonación de 4.900 m/seg.

### 2.2.14 COMPUESTO A3



Figura 2-23 Composición A3.  
Fuente: ATF.

Explosivo mixto, contiene el 91% de RDX y 9% de cera que cubre las partículas de RDX, las desensibiliza y sirve de aglutinador, utilizado como carga multiplicadora en las más recientes cargas direccionales y torpedos bangalore, también se usa como carga principal en los proyectiles de alto explosivo plástico, velocidad de detonación de 8.100 m/seg, es el explosivo mixto a base de RDX de mayor poder.

### 2.2.15 COMPOSICIÓN B

Explosivo mixto, contiene aproximadamente 60% de RDX, 39% de TNT y 1% de cera, se utiliza como carga principal de las cargas direccionales debido a su potencia destructora y a su alta velocidad de detonación, a la vez es utilizada en la elaboración de granadas de mortero y de mano, alcanza una velocidad de detonación de 7.800 m/seg.



Figura 2-24 Composición B.  
Fuente: ATF.

### 2.2.17 COMPUESTO B4

Contiene 60% de RDX, 39.5% de TNT y 0.5% de silicato de calcio, explosivo altamente resistente a la humedad, se usa como carga principal en los más recientes modelos de torpedo bangalores y cargas direccionales, alcanza una velocidad de detonación de 7.800 m/seg.

### 2.2.18 FULMINATO DE MERCURIO

Su fórmula química es  $\text{ONC-Hg-CNO}$ . Es muy inestable ya que el mercurio sobrecarga la molécula lineal como una viga bajo un peso puntual exagerado. En consecuencia su descomposición explosiva es poco exotérmica. Su inestabilidad lo hace muy sensible y apto para estallar fácilmente por acciones exteriores. Por eso se utiliza mucho como iniciador de otros explosivos.

Es un polvo cristalino pardo oscuro, que cuando está seco explota al más ligero choque. Se utiliza para la preparación de mezclas detonantes, en la metalurgia del oro y de la plata, como catalizador en muchas reacciones orgánicas, en los aparatos científicos (termómetros, barómetros...), para la preparación de amalgamas y en la construcción de lámparas con vapor de mercurio.

### 2.2.19 EXPLOSIVO SÍSMICO

Se emplean en la exploración sísmica con el fin de ubicar yacimientos de hidrocarburos como petróleo, gas y otros recursos naturales. Este explosivo se suministra como dinamita gelatinosa y es envasado en cartuchos plásticos sellados herméticamente. La constancia de sus características de detonación garantiza la calidad de los registros sismográficos.

La excelente resistencia al agua que caracteriza que los explosivos sísmicos, especialmente en pozos sometidos a altas presiones hidrostática, garantiza un óptimo rendimiento.

No requiere reforzadores ni explosivos primarios, iniciándose con un detonador sismográfico. Los cartuchos tienen tapa porta fulminante con rosca para el acoplamiento axial de varios cartuchos en columna.



## 2.2.20 EXPLOSIVOS BINARIOS INSTANTÁNEOS



Figura 2-26 Explosivos Sísmicos.  
Fuente: ATF.

Los explosivos binarios, vendidos como un componente sólido o líquido, sólo se convierten en explosivos instantáneos sensibles al detonador cuando se mezclan los dos componentes. El componente sólido es un oxidante (nitrato de amonio) y el líquido es un líquido inflamable (nitrometano). Son relativamente insensibles al impacto o a la fricción y tienen una vida de anaquel indefinida siempre y cuando haya suficiente cantidad de nitrometano en el recipiente sin abrir para sensibilizar el nitrato de amonio.

Los explosivos binarios no contienen nitroglicerina y se pueden enviar por medio de servicios de carga o paquetería. Algunos explosivos binarios que se conocen con frecuencia son.

### a. XPAK

La parte sólida es un componente blanco con un agujero en el medio que está disponible en cartuchos de plástico rígidos rojos (1/3 de libra), amarillos (1/2 libra) y verdes (1 Y libra), una botella de plástico rígido roja (1 libra) y una bolsa de aluminio roja (1/2 libra). Xpak líquido es un componente transparente que viene en una botella de plástico transparente. Xpak se puede usar como carga iniciadora, carga de columna, o para voladura secundaria. Se usa ampliamente en la agricultura, general, servicios de desecho de bombas cizallamiento del pozos petroleros, demolición industriales, y en el revestimiento de



Figura 2-27 Explosivos Binarios.  
Fuente: ATF.

Xpak se puede desarmar y neutralizar quitando el contenido del empaque y empapándolo en agua durante 8 horas.

#### b. KINEPOUCH

Utiliza dos componentes químicos independientes (un polvo blanco y un líquido rojo), se puede encontrar en un paquete de aluminio con cubierta de plástico que viene en bolsas de 2 y 4 libras. Se utiliza para quitar el afloramiento de roca durante la construcción de caminos y para romper las piedras en las canteras.

El sistema Kinestik™ utiliza dos componentes químicos independientes (un polvo blanco y un líquido rojo) y se puede encontrar en cartuchos de 1/3 y 1 libra, y en barras de aluminio de 1/2 libra. Es un explosivo impermeable que es más fuerte que el 60% de la dinamita y se usa en zanjas, para destroncar y en la construcción de línea de transmisión



T-100® es un componente blanco con un agujero en el medio y está disponible en cartuchos de plástico rígidos rojos (1/3 libra), amarillos (1/2 libra), o verdes (1 y libras). El componente líquido viene en una botella de plástico. Algunos usos del explosivo T-100® de dos componentes incluyen la construcción, pedreras, aplicaciones de agricultura y como cebo para ANFO.

## 2.2.21 SISMIGEL



Figura 2-29 Explosivo Sismigel.  
Fuente: INDUMIL.

Explosivo tipo hidrogel, con sustancias gelificantes que evitan la segregación de los ingredientes oxidantes y combustibles en la mezcla, con velocidad de detonación alta para la prospección sísmica. Usado en exploración petrolera.

### CARACTERÍSTICAS

1. Alta seguridad en su manejo debido a su baja sensibilidad al roce y al impacto.
2. Muy buena resistencia al agua.
3. Explosivo denso, fácilmente sumergible en agua y con alta energía específica.
4. No produce dolores de cabeza durante su almacenamiento y empleo.
5. Sensible al detonador sismográfico N° 8.
6. Unidades con numeración codificada visible y rotulo interno.
7. Su presentación se hace en unidades de 150 y 450 gramos de peso unitario, en envase plástico roscable para acople de columna, y empacadas en cajas de cartón.
8. Según necesidades del mercado se produce en unidades de peso unitario diferente desde 900 a 2700 g

PRODUCTO	CÓDIGO VENTA	UNIDADES POR CAJA
SISMIGEL PLUS 450g	6251	30
SISMIGEL PLUS 600g	6253	25
SISMIGEL PLUS 900g	6230	16
SISMIGEL PLUS 1200g	6355	12
SISMIGEL PLUS 1350g	6231	10

## 2.3 AGENTES DE VOLADURA

En el uso de explosivos comerciales en trabajos de ingeniería civil a sido de gran importancia por el incremento de los agentes de voladura, estos explosivos tienen como característica general que no es sensible al detonador común No. 8, requieren de una carga reforzadora que aumente el poder del detonador.

Estas sustancias explosivas están reglamentadas en el uso de la ingeniería civil, orientando su empleo en las voladuras a cielo abierto y en túneles, debido a su alto estabilidad que las hace seguras para su manipulación.

### a. ANFO



Figura 2-30 Anfo.  
Fuente: INDUMIL.

Un anfo es una disolución de nitrato amónico y aceite combustible. Soluciona de esta forma el gran problema que tiene el nitrato amónico, su gran capacidad para absorber vapor de agua. Se suele obtener realizando una disolución al 94% en peso de nitrato de amonio y un 6% de aceite combustible o queroseno. Son muy estables y requieren un iniciador o una descarga eléctrica para explotar.

**Agente de voladura a base de nitrato de amonio y otros compuestos como combustibles que mejoran sus propiedades explosivas. Debido a su alto contenido de nitrato de amonio es extremadamente sensible a la humedad por lo cual no puede ser utilizado en barrenos con agua.**

El nitrato de amonio es un ingrediente especial en casi todos los explosivos comerciales, incluyendo a la dinamita y a los hidrogeles. Su uso predominante es la forma de gránulos de nitrato de amonio, una pequeña bolita porosa mezclada con aceite combustible (fuel oil) FO, alcanza una velocidad de detonación de 3.000a 3.200 m/seg.

**Desde su introducción en 1950, los productos ANFO han encontrado un uso extensivo en una gran variedad de aplicaciones en voladuras a cielo abierto y en terreno seco.**

**En su uso y manejo es muy seguro, debido a que no es sensible a choque y fricción. Preferiblemente debe usarse el cordón detonante de bajo grámaje a todo lo largo del barreno.**

ANFO es un explosivo usado comúnmente para voladuras industriales en gran parte del mundo. Tiene una velocidad lenta de detonación que lo hace ideal para usarse en pedreras y otras aplicaciones de voladura.

Es insensible y un detonador solo no causa que ANFO detone. Para iniciar el ANFO, se requiere de un sistema de iniciación y una carga iniciadora. Viene en volumen (mezclado en el sitio y bombeado directamente en los pozos de sondeo) o en bolsas de 50 libras (premezclado).

- Muy seguro en su uso y manejo.
- Ninguna resistencia al agua.
- Insensible al choque y fricción.
- No produce dolores de cabeza durante su almacenamiento y empleo.
- No sensible al detonador No. 8.
- Se recomienda su empleo en diámetros superiores a 50 mm.
- Empacado en bolsas con 25.0 Kg. de peso neto.
- Velocidad de detonación de 3000 a 3200 m/s.

<b>PRODUCTO</b>	<b>DIMENSIÓN PESO POR EMPAQUE ( Kg. )</b>
ANFO FEXAR	25
ANFO DESCENTRALIZADO	25
ANFO INSITU	GRANEL

## **b. ALANFO**

**Son agentes de voladura que contienen en su formulación aluminio, aumentando su densidad con respecto a los anfos normales; confiriéndole una alta concentración de energía por longitud de perforación. Se utiliza en obras civiles, minería, canteras, etc. y como carga de columna en voladuras.**

No se recomienda utilizar alanfo en barrenos donde se presenta agua, ya que el nitrato de amonio es higroscópico.

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>ANFO ALUMINIZADO</b>
DENSIDAD	g/cm <sup>3</sup>	0.89



VOLUMEN DE GASES	lt/Kg.	891.13
CALOR DE EXPLOSIÓN	Kcal/Kg.	1219.78
VELOCIDAD DETONACIÓN	m/s	2300
POTENCIAL	Kj/Kg	5103.55
RESISTENCIA AL AGUA	horas	NULA

La importancia del aluminio en los explosivos es la de aumentar su energía. En una detonación se producen reacciones muy exotérmicas, provenientes de la formación de óxidos de aluminio. "En la práctica hasta un 8% de aluminio, aumenta considerablemente la energía del explosivo y con porcentajes mayores al 15% el producto comienza a desensibilizarse", por otra parte al aumentar el porcentaje de aluminio, la velocidad de detonación disminuye debido a la presencia de este sólido.

### c. HIDROGELES

Son explosivos introducidos en los años sesenta. Como su nombre lo indica son explosivos gelatinizados a base de agua y tienen un desempeño similar a las dinamitas pero con grandes ventajas en lo referente a seguridad, tienen gran resistencia al agua y una consistencia que facilita su manejo. Están sensibilizados por varias sustancias como aluminio, nitrato de monometilamina. Por lo regular se usan como carga de fondo o cuando los barrenos tienen gran cantidad de agua. Tienen el inconveniente en el último de los casos de no acoplarse al mismo diámetro del barreno, produciendo una pérdida de energía ya que se utilizan encartuchados.

### d. INDUGEL AV 800

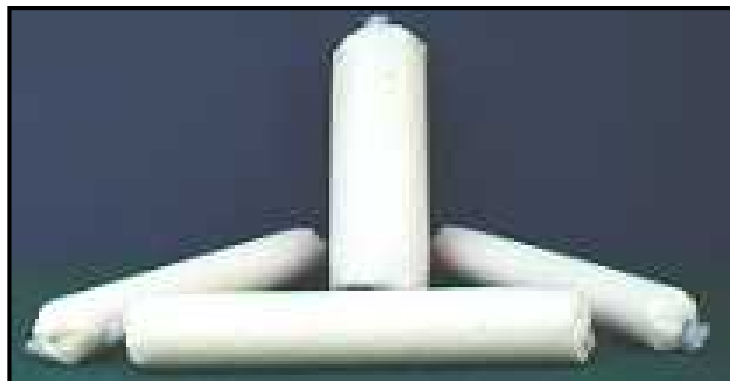


Figura 2-31 Indugel AV 800.  
Fuente: INDUMIL.



**Agente de voladura resistente al agua, elaborado a partir de emulsiones y de nitrato de amonio, elevada seguridad en su manejo debido a su insensibilidad al roce y al impacto, baja toxicidad y buena resistencia al envejecimiento, no produce dolores de cabeza durante su almacenamiento y empleo, alcanza una velocidad de detonación de 4.600 m/seg.**

## USOS

- En voladuras a cielo abierto sin presencia de agua.
- Explotación de calizas en mediana minería, canteras u obras de construcción.
- Explotación de roca blanda o semidura, usando iniciador multiplicador de fondo.

## CARACTERÍSTICAS

- Muy seguro en su uso y manejo.
- Ninguna resistencia al agua.
- Insensible al choque y fricción.
- No produce dolores de cabeza durante su almacenamiento y empleo.
- No sensible al detonador No. 8.
- Se recomienda su empleo en diámetros superiores a 50 mm.
- Empacado en bolsas con 25.0 Kg. de peso neto.

PRODUCTO	CÓDIGO VENTA	DIMENSIÓN (Diámetro x largo en mm)	UNIDADES POR CAJA
INDUGEL AV 800	6329	65 X 460	13
INDUGEL AV 800	6332	75 X 500	12
INDUGEL AV 800	6331	85 X 460	10
INDUGEL AV 800 DESC.	6337	127 X 420	4

## e. SLURRIES



Figura 2-32 SLURRIES.  
Fuente: Slurry Explosive Corporation.

Son explosivos de base acuosa, TNT, agua y sustancias para mantener el explosivo homogéneo. Las propiedades de alguna composición individual dependen del tipo de proporciones de los ingredientes sólidos.

Constituidos por una mezcla de componentes oxidantes y reductores capaces de reaccionar violentamente cuando se les activa mediante un iniciador, todos estos componentes actúan dispersos en un medio acuoso.

Los Slurries son específicamente diseñados para explosiones en barrenos largos y condiciones de humedad. Son relativamente insensibles a los iniciadores y por lo tanto necesitan ser iniciados con un primer explosivo. Esos primeros explosivos son TNT comprimido o un iniciador especial. Los slurries son resistentes al agua y son también bombeados directo dentro del barreno o aplicados en bolsas de plástico.

Las proporciones de nitrato de amonio, TNT y agua son normalmente 65.5/20/14.5. La mezcla detona en barrenos de 100 mm o más. La máxima energía es obtenida con un slurry de 71/18/11, pero se requiere un gran diámetro del barreno. Si los slurries son usados en barrenos pequeños, el porcentaje de TNT debe ser incrementado a 30-35%. En esta composición el slurry puede ser detonado en un diámetro de barreno menor a 35 mm. Esto también se aplica si el nitrato de amonio (AN) es sustituido por nitrato de sodio (SN), en la proporción de 30/30/30/10. El costo es entonces incrementado sobre 35% y su densidad es mayor y puede ser arriba de 1.70 kg/dm<sup>3</sup>.

Son empleados en la voladura de rocas de dureza media en calibres pequeños, medianos, tanto interior como exterior, barrenos húmedos, tanto en voladura subterránea como a cielo abierto y en demoliciones.

La ventaja que presenta es que contiene componentes intrínsecamente explosivos en su formulación, porque su fabricación y manejo son muy seguros.

#### **f. EMULSIONES**



Figura 2-33 EMULSIONES.  
Fuente: ATF.

Las emulsiones son materiales explosivos que contienen cantidades importantes de oxidantes disueltos en gotas de agua rodeados de un combustible que es incapaz de mezclarse.

Estos explosivos introducidos en los años 70's. Son el resultado de emulsionar sustancias inmiscibles, como nitrato de amonio diluido en agua y algún ácido graso. El resultado son pequeñas gotas de nitrato de amonio diluido, rodeadas por el ácido graso. Se sensibilizan con aire, el cual puede proporcionarse por medio de pequeñas esferas huecas o bien con una reacción química obtenida al momento de producir el explosivo. Son resistentes al agua y presentan algunos problemas en su manejo debido a su consistencia. Se utilizan como carga de fondo o cuando se tienen problemas de agua en los barrenos y al igual que los hidrogeles pierden energía al momento de detonar por el mal acoplamiento con los barrenos cuando las emulsiones son encartuchadas.

- Como en todos los explosivos el balance de oxígeno en las emulsiones es muy importante para su eficiencia y su óptimo desarrollo.
- Esencialmente esto nos lleva a relacionar una fase acuosa de oxidante (nitrato de amonio líquido) y una fase aceitosa de combustible (fuel oil y emulsificantes).
- Sabiendo que el combustible es muy concentrado la relación de volumen entre estas dos fases es de 90 a 10.
- Las emulsiones son una mezcla de dos líquidos no solubles entre sí.
- Una fase acuosa y una fase aceitosa, las cuales por su fuerza de adherencia e inestabilidad termodinámica existe una tendencia a separación de las fases.
- Cierta compuesto activo es un agregado conocido como emulsificante a la fase aceitosa (combustible), el cual permite una estabilidad entre las fases en su homogenización.
- Generalmente son hechas en mezclas calientes, las cuales en su enfriamiento experimentan cristalización en los oxidantes creando un mayor contacto íntimo entre las fases.
- Esta mayor intimidad entre la fase acuosa y aceitosa en las emulsiones da como resultado:
  - Velocidades de detonación más altas
  - Diámetros críticos más pequeños
  - Iniciadores más pequeños
  - Siendo estos un indicativo de una reacción más eficiente.
  - Formación de una fase interna con partículas de solución oxidante agrupadas entre sí, nos dan severos resultados en sus propiedades y características:
  - Primero, la cercanía de las partículas resulta en una viscosidad alta evitando agregar gelatinizantes.
  - Segundo, cada partícula de oxidante es rodeada por una capa de combustible creando mayor intimidad entre las fases.
  - Tercero, la fase continua de aceite nos da una barrera que determina en la emulsión la gran resistencia al agua.

## 2.4 AGENTES EXPANSIVOS NO EXPLOSIVOS



Figura 2-34 Efectos de Corte.  
Fuente: Cemento Demoledor.com.

### a. DEXPAN

Es un sustituto de los materiales explosivos, es un agente expansivo no explosivo de alta potencia; ideal para demoliciones, construcciones y explotación económica de bloques de mármol y todas las rocas naturales dimensionales; cortes de rocas y cemento, construcción y remodelación de hormigón armado.



Figura 2-35 Corte de Roca Utilizando DEXPAN.  
Fuente: Cemento Demoledor.com.

Es un producto que actúa basándose en su propia expansión, ejerce contra las paredes del orificio que lo contiene con una fuerza superior de  $500 \text{ kg./cm}^3$ , creando grietas. Es un producto altamente ecológico, puesto que no emana gases ni deja residuos nocivos. El campo de acción se puede considerar ilimitado, puesto que sirve para romper, cortar y demoler rocas, concreto y hormigón armado, en los lugares de seguridad donde no se pueden usar explosivos. Las principales aplicaciones son:

- Excavación de cimientos.
- Demolición de rocas para drenajes, túneles, líneas de agua, luz, líneas telefónicas, caminos, etc.
- Para abrir zanjas para tuberías.
- Demolición de obras de ladrillo y refractario.
- Demolición de rocas o estructuras de cemento, donde las obras adyacentes no se pueden dañar por las vibraciones generadas por las explosiones.

- Reduce el tiempo de demolición y excavación en roca y hormigón armado y los costos de renta de martillo hidráulico de un 50% hasta un 60%.
- Mientras el resquebrajamiento y demolición se efectúa, también se puede operar con la carga de lo demolido y el área de trabajo y tráfico cercano al sitio de operación será tranquilo y seguro.
- El DEXPAN ofrece un alto beneficio y rendimiento, además no causa ninguna destrucción ni pérdida de los recursos naturales.
- Para la extracción de bloques de mármol, granito ónix.
- El DEXPAN no tiene explosión ni vibración, por esto podrá producir placas completas de mármol de mejor calidad y esto tendrá una mejor ventaja.

## CARACTERÍSTICAS

- Es un material inorgánico que consiste de silicio, hierro, calcio y aluminio. Es un material no combustible, es muy seguro y cómodo de transportar, almacenar y operar.
- Es un agente de demolición el cual no causa ninguna vibración, no expulsa la roca, no causa ningún gas peligroso, durante el proceso de operación, el cual es completamente diferente a los métodos ordinarios para el trabajo de demolición y explotación de minas como lo son los explosivos y otros materiales peligrosos.
- Es un polvo con una capacidad extremadamente expansiva, cuando es mezclado con agua común. Además es menos costoso, preparación es muy simple, el control de rompimiento es más eficiente por medio de su efecto expansivo. Con este producto la limpieza en el área de demolición es más rápida y segura, por su fácil manera de aplicar es más recomendado para lugares cerrados donde la maquinaria pesada no tiene acceso.

## VENTAJAS

- DEXPAN tiene una sorprendente capacidad expansiva para cualquier materia en la que usted trabaje, ya sea concreto, roca, granito y mármol.
- Es fácil de usar, se mezcla con agua común y se vierte la mezcla en los barrenos previamente hechos.
- No es explosivo, por lo tanto es mucho más seguro para trabajar, no causa ruido, ni vibraciones y no contiene gases tóxicos.
- Esto hace del trabajo de demolición más eficiente y confiable, y no necesita licencia ni permisos, ni entrenamiento especial, ni maquinaria pesada.
- DEXPAN cuenta con todas las normas de protección ambientales requeridas por la Organización de Seguridad Ambiental.

## TIPOS DE DEXPAN

Hay tres tipos de DEXPAN<sup>10</sup> diseñados para los diferentes rangos de temperatura. Ya que la reacción química del producto depende de la temperatura y recomendamos el tipo de DEXPAN adecuado para su proyecto.

DEXPAN I	25° C - 40° C
DEXPAN II	10° C - 25° C
DEXPAN III	05° C - 10° C

La presentación de DEXPAN viene en cuatro bolsas de plástico de 05 kilogramos que dan un total de 20 kilogramos por caja



Figura 2-36 Presentación DEXPAN.  
Fuente: Cemento Demoledor.com.

## MÉTODO DE DEMOLICIÓN CON CEMENTOS EXPANSIVOS.

Este método se realiza mediante el uso de morteros de alta expansión, que se vierten dentro de taladros dispuestos conforme a los cálculos correspondientes.

Las características de este método son:

- Posee bajo impacto ambiental debido a que no produce gases.
- No se registran antecedentes de demoliciones en un solo evento, de edificios en altura, con este tipo de material.
- Este método no permite controlar la demolición de un edificio de 22 pisos de una sola vez. No se puede calcular con precisión el grado de rotura a provocar en los diferentes elementos estructurales.
- El costo es sensiblemente menor frente a las demoliciones mecánicas ya que no se emplean la cantidad de herramientas y equipos de estas últimas.

---

<sup>10</sup> La información suministrada en el anterior documento sobre DEXPAN, fue extraída de la página web ([www.archerusa.com/product](http://www.archerusa.com/product)), como documento de información y consulta.

- Su capacidad de fractura en hormigones fuertemente armados resulta limitada.
- No permite el control de la dirección de caída de estructuras en altura, ya que no se puede dar un orden progresivo (secuencia) de acción de este producto sobre las distintas piezas estructurales, no se puede acotar el control del tiempo de colapso de cada elemento estructural.

Por lo anteriormente expresado este método no es adecuado para demoler edificios en altura. El uso de cementos expansivos es inaplicable para este tipo de estructura. No es apto para hormigones fuertemente armados, volúmenes de importancia, edificios torre y fundamentalmente no se tiene control del momento y dirección de caída.

## b. CEMENTOS CON CLINKER PORTLAND

Los cementos para concreto hidráulico son elaborados a partir de clinker portland, por cuyo motivo se justifica centrar el interés en éste y en los cementos a que da lugar, los cementos portland los encontramos simples, mezclados y expansivos.

Para la elaboración de estos cementos la materia prima se obtiene del polvo o de lodo, se introduce en hornos rotatorios donde se calcina a temperaturas del orden de 1400 C, hasta que alcanza un estado de fusión incipiente. En este estado se producen las reacciones químicas requeridas y el material se subdivide y aglutina en fragmentos no mayores a 6 cm, cuya forma se regulariza por efecto de la rotación del horno. A este material fragmentado, resultante de la calcinación, se le denomina clinker portland.

Una vez frío, el clinker se muele conjuntamente con una reducida proporción de yeso, que tiene la función de regular el tiempo de fraguado, y con ello se obtiene el polvo fino de color gris que se conoce como cemento portland simple. Los cementos expansivos se obtienen añadiendo al clinker otros componentes especiales como sulfuro, calcio y aluminio.

### c. EL CEX BROKE O CEMENTO BROKE<sup>11</sup>

Es un cemento demoledor o mortero expansivo fabricado por Roses Comex. Sus principales características son:

- Sustituye al explosivo con gran número de ventajas: no contamina, no produce vibraciones y no necesita permisos.
- Se utiliza en trabajos de demolición de todo tipo de rocas y hormigón, en canteras, trabajos submarinos, construcción, obra civil y pública, etc.
- La característica principal es que funciona en grandes diámetros con los mismos resultados que en diámetros pequeños, al igual que en los trabajos bajo el agua donde se han conseguido sorprendentes resultados.

### CAMPOS DE APLICACIÓN



Figura 2-37 Corte de Roca con Cemento BROKE.  
Fuente: Cemento Demoledor.com.

<sup>11</sup> La información suministrada en el anterior documento sobre Cemento Broke. Fue extraída de la pagina web ([www.concretonline.com](http://www.concretonline.com)), como documento de información y consulta.



El cemento broke es particularmente eficaz para cimientos de edificios, elementos de hormigón, muros de contención, demoliciones, desmontes y también trabajos en carreteras, cuevas o cavernas.

## PREPARACIÓN DE LA DEMOLICIÓN

Una demolición eficaz necesita seguir un cierto esquema de preparación que tendrá en cuenta una serie de parámetros importantes en función del material a demoler.

- Diámetro de los agujeros de perforación.
- Distancia entre los agujeros.
- Profundidad e inclinación de los agujeros.
- Método de extracción.

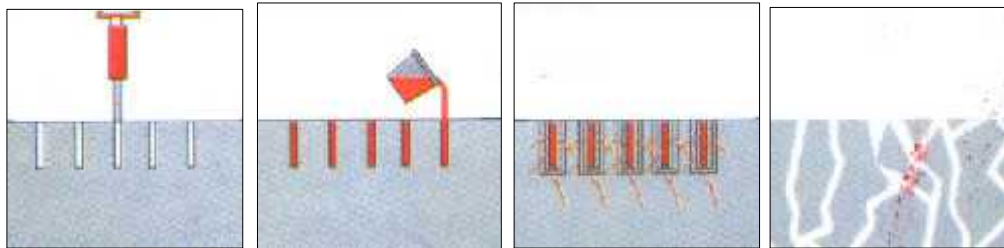


Figura 2-38 Proceso de Expansión.  
Fuente: Cemento Demoledor.com.

### d. EI CBA EXPANSIVO

Es un producto demoledor no explosivo y ecológico que le permitirá a usted, al mezclarlo con un porcentaje adecuado de agua, demoler todo tipo de rocas y

hormigones, sea cual sea su dureza, debido a la enorme fuerza ejercida por el cemento demoledor que alcanza las 9.000 Toneladas por metro cuadrado.

El resultado es espectacular, preciso y seguro, pues no requiere explosión alguna. Ahorrará además de dinero tiempo, esfuerzo, riesgo, gases y temblores. Con resultados asegurados en cualquier espacio aunque sea de difícil acceso, peligroso, al aire libre o en interiores.

El CBA expansivo no produce ningún efecto de carácter nocivo para las personas ni la naturaleza. De ahí que sea uno de los productos más usados en el mundo. De modo que usted, sin riesgo ni experiencia, podrá usar el CBA expansivo donde quiera y cuando quiera. Sin riesgos, limpio y seguro, con resultados asombrosos.

## 2.6 ACCESORIOS DE VOLADURA

### 2.5.1 CORDÓN DETONANTE



Figura 2-39 Cordón Detonante  
Fuente: INDUMIL.

Es un cordón flexible e impermeable que contiene pentrita explosiva cuya velocidad de detonación es de 7000 M/Seg. Y recubierto por una serie de fibras sintéticas y revestido exterior plástico de cloruro de polivinilo (pvc) de color que forman un conjunto flexible, resistente a la tracción humedad y abrasión. Que se emplea especialmente para transmitir a los explosivos la detonación iniciada por un detonador. El cordón detonante es un medio de detonación de las cargas explosivas, a diferencia de la mecha de seguridad o lenta.

El cordón detonante puede solamente detonar y transmitir la detonación a distancias considerables hasta las cargas explosivas. La excitación del cordón detonante se realiza mediante un detonador, en su explosión el cordón detonante ocasiona detonación sin falla de las sustancias explosivas industriales.

En la práctica de los trabajos explosivos, el cordón detonante encontró aplicación especialmente en los trabajos a cielo abierto, para la detonación de cargas

localizadas en perforaciones. En este proceso tiene máxima importancia la detonación completa de las cargas, cuando el cordón detonante se prolonga por toda la longitud de las perforaciones. Mediante esta modalidad de explosión se hace innecesaria la utilización de detonadores, que como se menciono son peligrosos de manipular.

El cordón detonante contiene sustancia explosiva con alto grado de capacidad demolidora de una cubierta de papel de algodón. La envoltura tiene 3 capas: Una interior en la cual se encuentra la sustancia explosiva y una capa exterior, cubierta también con masilla. El recubrimiento del cordón detonante es de plástico de diferentes colores.

El núcleo del cordón detonante se llena con pentrita. El diámetro del núcleo es de acuerdo al gramaje con que cuenta el cordón, viene en presentaciones de 3, 6, 12, 40, 80 gramos, esto quiere decir que por cada metro de cordón detonante viene ya sea 3 o el gramaje que vimos anteriormente, el color depende de la industria fabricante de igual forma su revestimiento. Su velocidad de detonación es de 6.500 a 7.000 m/seg.

La industria militar colombiana fabrica tres gamas de cordón detonante los cuales son utilizados por las empresas de minería y las Fuerzas Militares de Colombia, dentro de estas presentaciones contamos con el cordón detonante de tres gramos el cual es de color anaranjado oscuro y viene en bobinas de 500 metros, es utilizado básicamente en el campo de la minería en la unión de cargas de fondo en barrenos.

Se cuenta con el cordón detonante de seis gramos de color azul el cual viene en bobinas de 300 metros, es utilizado en el campo de la minería y en el ámbito militar como líneas de unión y cargas de refuerzo.

Por ultimo tenemos el cordón detonante de doce gramos de color rojo, viene en bobinas de 250 metros, utilizado especialmente en la parte militar. Los diversos colores y patrones de material textil en el cordón identifican las diferentes fuerzas (medidas en gramos de material explosivo por pie) y los tipos de cordón detonante para cada fabricante. Viene en un carrete que puede tener hasta 2,000 pies de cordón. El código de fecha y planta debe estar ubicado en el carrete o en la caja.

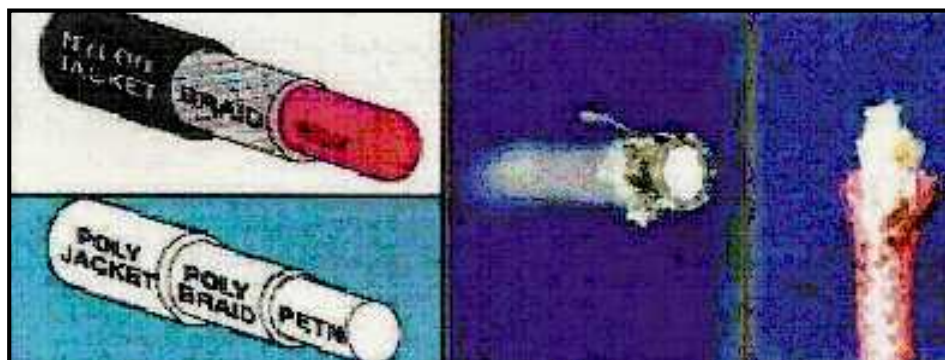


Figura 2-40 Proceso de fabricación Cordón Detonante.  
Fuente: ATF.

Puede usarse para conectar varias cargas explosivas en serie, o se puede usar para iniciar otros explosivos amarrando el cordón detonante alrededor de un explosivo, pasando el cordón detonante a través de un explosivo, o haciendo un nudo en el cordón detonante dentro del explosivo.



Figura 2-41 Cordón Detonante Comercial.  
Fuente: ATF.

#### 2.5.1.1 CORDÓN DETONANTE MILITAR

El cordón detonante militar es un cordón redondo, flexible e impermeable hecho de varios materiales textiles o plásticos consta de un núcleo de un alto explosivo (6.4 libras de PETN por 304 metros) envuelto en una capa plástica reforzada y a prueba de agua, de color verde oliva.

Está hecho de manera similar que el cordón detonante industrial. Las normas varían dependiendo de la aplicación. Las fuerzas Militares usan cordón detonante de tipo militar como industrial para sus labores de índole militar.

Para distinguir entre la espoleta de tiempo y el cordón detonante, vea el núcleo del



explosivo. El núcleo del explosivo del cordón detonante es blanco o rosa, mientras que la espoleta de tiempo tiene un núcleo de pólvora negra.

Este cordón detonante tiene un diámetro de aproximadamente 0.5 centímetros, exhibe resistencia a la ruptura de 175 libras. El cordón detonante es funcional en la misma gama de temperatura del explosivo plástico, aunque la cubierta es quebradiza a temperaturas bajas. La humedad puede penetrar el relleno explosivo a una distancia máxima de 15,24 centímetros de cualquier corte o rajadura en el recubrimiento. El cordón detonante empapado en agua puede detonar si existe un extremo seco que permite la iniciación. Deje un extremo de 15,24 centímetros al hacer conexiones o cebar cargas.

Figura 2-42 Cordón Detonante Militar  
Fuente: ATF.

## 2.5.2 MECHA DE SEGURIDAD



Figura 2-43 Mecha Lenta.  
Fuente: INDUMIL.

La mecha de seguridad o lenta es un cordón con núcleo de pólvora negra, recubierto de papel, varias capas de hilo de algodón, brea y cloruro de polivinilo (pvc), para garantizar impermeabilidad, flexibilidad y resistencia a la abrasión. El recubrimiento plástico le proporciona una buena seguridad de funcionamiento bajo el agua y cuyo tiempo de combustión es de 130 m/seg, con una tolerancia de más o menos 10 Seg.

La mecha de seguridad es el medio por el cual se transmite el fuego de una velocidad uniforme hasta un detonador ordinario o hasta el explosivo, generalmente cuando se trata de pólvora negra que se pretende iniciar.

### CARACTERÍSTICAS

- Usado como transportador de llama o iniciador de detonadores comunes No. 6 y 8 en cápsulas de cobre y aluminio.

- Transmisor de energía calórica hasta el detonador sensible a la misma, el cual explota y se encarga de iniciar los explosivos sensibles que están en contacto con éste.
- Manipularse con el cuidado que requiere un elemento combustible y explosivo sensible a la fricción, a la chispa y el fuego.
- Muy buena resistencia al agua siempre y cuando no se haya maltratado su capa impermeabilizante.
- Aceptable resistencia a la tracción, abrasión y esfuerzos mecánicos.
- Unidades con numeración codificada visible e invisible.
- Su presentación se hace en bobinas de 250 m, embaladas en cajas de cartón.

PRODUCTO	CÓDIGO	METROS POR BOBINA	BOBINAS POR CAJA	METROS POR CAJA
MECHA DE SEGURIDAD ( MS )	6700	250	4	1000

### 2.5.2.1 ESPOLETA DE TIEMPO M 700

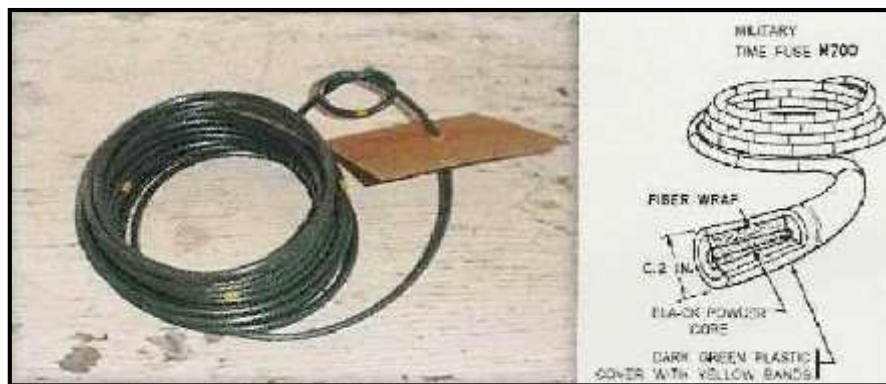


Figura 2-44 Espoleta de Tiempo M700  
Fuente: ATF.

La espoleta de tiempo militar M700 consiste de un núcleo de pólvora negra dentro de una envoltura de fibra verde oscuro con una cubierta plástica impermeable. La M700 es de color verde oscuro con una banda amarilla a intervalos de 30,4 a 45.7 centímetros. Estas marcas se usan para calcular la longitud aproximada de la espoleta. La espoleta de tiempo M670 más antigua puede no tener la banda amarilla. El color del núcleo de la espoleta de tiempo es negro o gris. La espoleta de tiempo se usa principalmente en demoliciones



militares para encender cápsulas explosivas no eléctricas y también se puede utilizar para iniciar mezclas pirotécnicas.

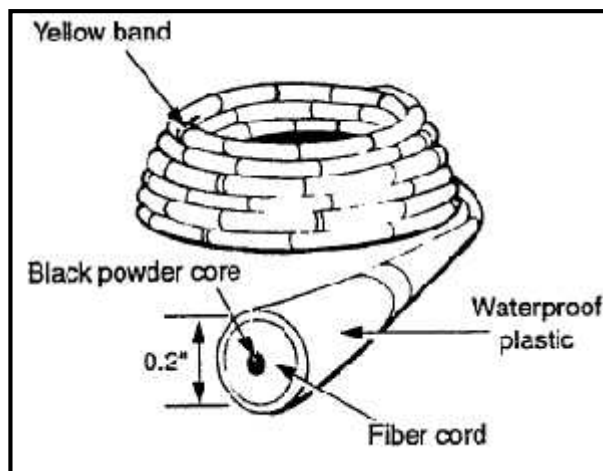


Figura 2-45 Características Esposito M700  
Fuente: Manual FM 5-250.

Leyenda:

Yellow band = Banda amarilla

Black powder core = Núcleo de pólvora negra

Waterproof plastic = Plástico a prueba de agua

Fiber cord = Cuerda de fibra

Arde a una razón de 40 segundos por cada 30,48 centímetros. Sin embargo, verifique la razón de quema. De acuerdo con la fecha de fabricación, la cubierta puede ser lisa o con bandas sencillas amarillas alrededor del exterior y bandas dobles amarillas a intervalos de 1,5 o 2,28 metros.

La cubierta exterior es quebradiza en temperaturas árticas. La espoleta de tiempo M700 está empacada en carretes de 15,2 metros, dos carretes por paquete, cinco paquetes por recipiente sellado, y ocho recipientes (1220 metros) por caja de madera (30-1/8 x 15-1/8 x 14-7/8 pulgadas). El paquete total pesa 94 libras.

### 2.5.8 MECHA DE COMBUSTIÓN EXTERNA

Es un accesorio de voladura formado por masa pirotécnica y varios alambres, todo este conjunto se encuentra cubierto por un material plástico. Cuando este accesorio se utiliza complementariamente con los conectores para mecha, tiene como objetivos principales, eliminar el chispeo individual de las mechas de seguridad, evitar la exposición del operador a la presencia de los humos y permitir la evacuación segura ante la posibilidad de una iniciación prematura. Usándolo

adecuadamente proporciona el tiempo suficiente al operador para retirarse a un lugar seguro.



Figura 2-46 Mecha de Combustión Externa.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

En las conexiones de las redes de encendido, la mecha de combustión externa se pasa por la ranura del conector, el cual es presionado adecuadamente con la finalidad de obtener una fijación correcta; Además esta misma fijación se puede obtener haciendo un enrollamiento o torniquete en la parte posterior de la ranura y sin necesidad de presionar ésta. La combustión de la mecha de combustión produce el calor suficiente para activar la masa pirotécnica del conector que a su vez garantiza un encendido eficiente de la mecha de seguridad. El tiempo de combustión adecuado y constante, permite que las voladuras puedan planificarse con una secuencia y obtener resultados eficientes.

La longitud del cordón de Ignición a usarse en un disparo debe ser tal que permita que todas las mechas de seguridad estén encendidas y quemándose dentro de los taladros antes que la primera active la carga correspondiente según el plan de voladura trazado.

### 2.5.9 MECHA RÁPIDA



Figura 2-47 Mecha Rápida.  
Fuente: FAMESA.



Es un accesorio de voladura formado por masa pirotécnica y dos alambres, todo este conjunto se encuentra cubierto por un material plástico que garantiza su impermeabilidad, flexibilidad y resistencia a la abrasión. Usada como transportadora de llama y como iniciadora de detonadores ineléctricos a una velocidad más alta que la mecha de seguridad.

### 2.5.5 MICRO RETARDOS



Figura 2-48 Micro Retardos  
Fuente: FAMESA.

El retardo<sup>12</sup> para cordón detonante es un accesorio de voladura conformado por un protector plástico moldeado adecuadamente dentro del cual va ensamblada una cápsula de aluminio que contiene el elemento de retardo y un fulminante respectivo. En ambos extremos del plástico hay un dispositivo que permite ubicar el cordón detonante en forma de "U", el cual será fijado por sus respectivas cuñas de seguridad.

Este tipo de retardo se diseño para trabajar indistintamente en las dos direcciones puesto que el cordón detonante está en contacto en ambos extremos de la cápsula, la que tiene una carga suficiente para iniciarlo.

Este accesorio se utiliza para retardar la iniciación de los taladros dando secuencia a la formación de las caras libres y es colocado en las líneas troncales de cordón detonante, de las redes de voladuras en minería a cielo abierto, canteras y cualquier trabajo de remoción de rocas. Su operatividad es sumamente fácil y rápida.

La selección adecuada de los retardos da como resultado una mejor fragmentación y mínima proyección del material volado; además proporciona un

---

<sup>12</sup> La información que se suministra en el documento sobre accesorios de voladura como los microretardos, mecha rápida, conectores de mecha y mecha de combustión externa. Se tomo como base de la pagina web ([www.famesa.com](http://www.famesa.com)), fabrica de explosivos Peruana.

mejor control de rotura hacia atrás en la última fila y de los niveles de vibración del área circundante.

Su característica de no eléctrico hace que pueda ser usado en cualquier condición de terreno y tiempo sin los riesgos de una iniciación prematura. La variedad en los períodos de retardo permite utilizarlos en filas o individualmente en cada taladro.

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tiempo en milisegundos	9	17	25	35	42	50	75	100
Color Protector Plástico	verde	amarillo	rojo	naranja	celeste	azul	lila	blanco
Potencia explosiva:	Equivale a un detonador No. 6							

#### 2.5.10 CONECTOR DE SUPERFICIE



Figura 2-49 Conectores de Superficie.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

El conector de superficie es uno de los productos que conforman el sistema de iniciación no eléctrico de cargas explosivas. Tiene como objetivo producir un retardo en líneas troncales de cordones detonantes, ya sea en trabajos de remoción de materiales rocosos, en minería a cielo abierto y subterráneo.

#### 2.5.11 INICIADORES DE MECHA M-60

El encendedor de espoleta M60 es un encendedor impermeable que se utiliza en el Ejército para iniciar la espoleta de tiempo. Se emplean estos dispositivos para encender mecha lenta de seguridad en todas las condiciones meteorológicas, aún submarinas, si está debidamente protegido contra el agua. Introduzca la espoleta a través de un ojal de caucho y un collar ranurado.

Este procedimiento asegura la mecha de seguridad cuando se aprieta la copa de extremo en el encendedor. Sin el pasador de seguridad, el tirón del anillo de tracción suelta el conjunto del percutor, lo que permite que el pasador de disparo inicie el cebado, y que se encienda la mecha de seguridad.

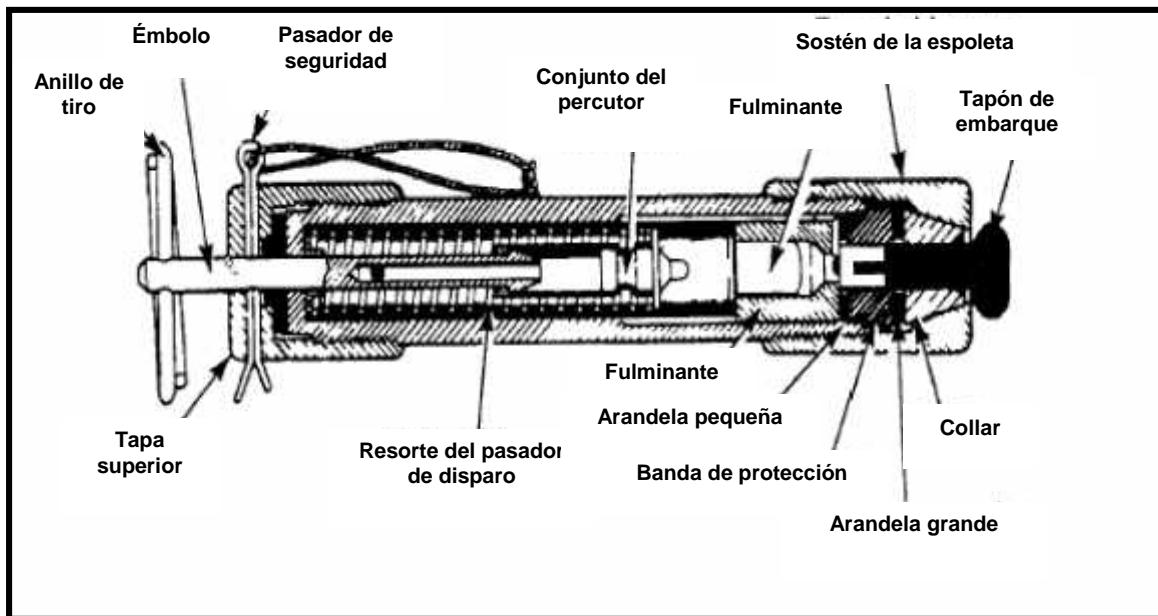


Figura 2-50 Encendedor de mecha M60.  
Fuente: Manual FM 5-250.

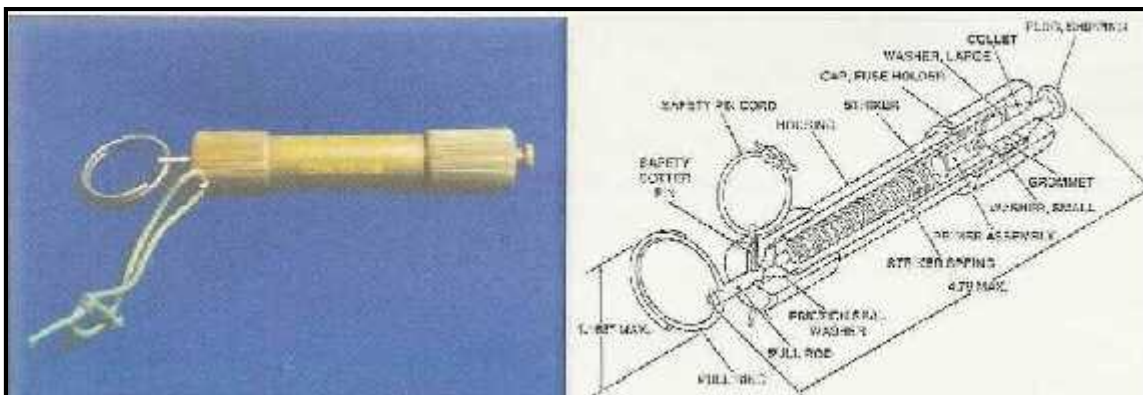


Figura 2-51 Encendedor de mecha M60.  
Fuente: ATF.

## 5.2.8 ENCENDEDOR DE MECHA DE SEGURIDAD

Un encendedor de espoleta de tirar consiste de un tubo de papel cerrado en un extremo que contiene un dispositivo de encendido que contiene un compuesto golpeador, un alambre que sobresale a través del extremo cerrado del tubo. Para usarse, la media de seguridad está insertada en el extremo abierto del encendedor hasta que toca el elemento de iniciación del encendedor. La espoleta está firmemente sujeta en su lugar por un diente sujetador de metal que se atora en la espoleta. La espoleta se enciende tirando del alambre que sobresale del tubo.

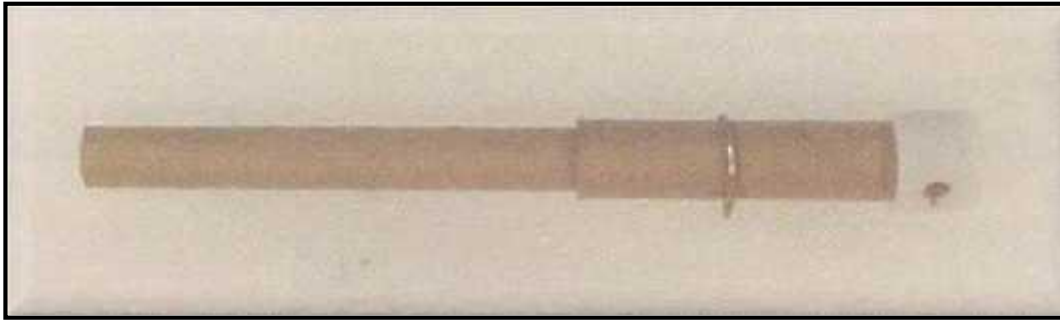


Figura 2-52 Encendedor.  
Fuente: ATF.

### 2.5.9 MULTIPLICADORES (BOOSTER O PRIMER)



Figura 2-53 Booster.  
Fuente: ATF.

El booster es un explosivo potente de alta densidad, velocidad y presión de detonación, por lo que las columnas explosivas que serán activadas con éste, maximizarán su desarrollo energético, lo cual redundará favorablemente en los resultados de las voladuras. Se le conoce también como primers o cebos.

Son utilizados para iniciar explosivos insensibles de tipo slurries, anfo y nitrocarbonitratos, donde un detonador común o el poder explosivo de un cordón detonante no los activa, éstos se usan en la voladura de taladros de diferentes diámetros en las minas de tajo abierto, canteras y eventualmente en minería de subsuelo.

El booster fue concebido para ser usado con varios propósitos complementarios, dotándole de esa forma una gran versatilidad, ya que puede ser utilizado eficientemente con diferentes tipos de cordón detonante y detonadores, al usarlo con estos últimos accesorios, principalmente con el detonador, se ha tenido cuidado con la optimización del ensamble del detonador con el booster (el diseño de los orificios centrales para su ensamble del detonador, fue concebido geoméricamente para evitar errores) por este concepto, los dos orificios son

pasantes pero uno de ellos tiene reducción de diámetro para una correcta ubicación del detonador.

### 2.5.10 PENTOFEX



Figura 2-54 Pentofex de 450 gramos.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

Multiplicador iniciador de fondo de barreno de los agentes de voladura, conformado por mezcla de potentes explosivos, con alta presión y velocidad de detonación.



Figura 2-55 Presentación Pentofex de 450 gramos.  
Fuente: INDUMIL.

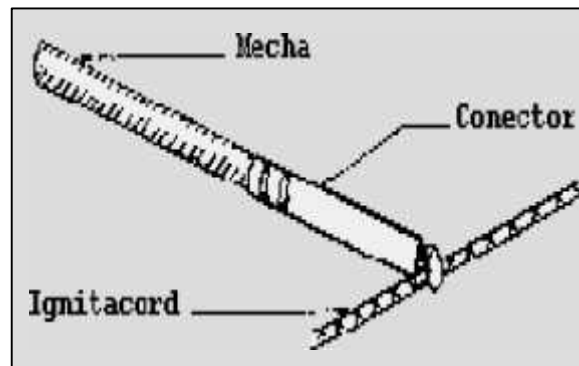
### CARACTERÍSTICAS

- Excelente resistencia al agua.
- Gran presión de detonación y alta densidad.
- Buena seguridad en su manejo debido a su relativa baja sensibilidad al roce fuego y al impacto, se deben seguir todas las normas de seguridad establecidas para altos explosivos.
- Sensible al detonador No. 8 común, eléctrico o nonel y al cordón detonante.
- Unidades con numeración codificada visible y rótulo interno.
- Envasados en tubos de cartón embalados en cajas de cartón.
- Velocidad de detonación es de 6700 m/s.

PRODUCTO	DIMENSIÓN PESO	UNIDADES POR
----------	----------------	--------------

	UNITARIO (g)	CAJA
PENTOFEX TIPO D-1	337.5	74
PENTOFEX TIPO D	450 (3 ORIFICIOS)	56
PENTOFEX TIPO D-2	450 (2 ORIFICIOS)	56

## 2.5.10 CONECTOR PARA MECHA DE COMBUSTIÓN EXTERNA



El mecha el activar tiene segura

Conector.  
MESA.

conector es un complemento de la de combustión externa, de la cual recibe calor necesario para encenderse y a la mecha de seguridad. El conector una ranura que permite una conexión y eficiente con la mecha de combustión externa en el cual asegura el cuerpo metálico del conector, brindando al

operador las facilidades necesarias para realizar la voladura aún en condiciones severas de humedad.

Famesa (fabrica de explosivos peruana), elabora conectores con ranura, los cuales están conformados por un casquillo de aluminio, en cuya parte inferior tiene un corte paralelo a la base. Esta parte se encuentra pintada de color rojo para diferenciarlo del fulminante.

En la ranura del conector se coloca la mecha de combustión externa y para mantener un contacto seguro se presionan la base o se realiza un enrollamiento (torniquete) en la parte posterior del cuello. Es posible también asegurar la mecha utilizando un medio de sujeción.



## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

DIÁMETRO EXTERNO (mm)	6.3
LONGITUD DE CASQUILLO (mm)	45
ANCHO DE LA RANURA (mm)	2.4
CARGA DE MATERIAL PIROTÉCNICO (g)	0.5
ALTURA DE CARGA (mm)	14

### 2.5.12 DETONADORES

Los detonadores son accesorios de voladuras encargados de iniciar las sustancias explosivas, gracias al explosivo brizante que contienen internamente, para su uso y manipulación se requiere aplicar todas las medidas de seguridad necesarias ya que son extremadamente delicados y están sujetos a la detonación involuntaria por agentes externos como las altas temperaturas, el roce o presión.

Se conocen cuatro tipos de detonadores los cuales se diferencian entre sí por los medios que requieren para su iniciación, estos varían de acuerdo a la casa fabricante y al tipo de detonador. A continuación veremos las clases de detonadores existentes en el ámbito comercial y militar.

#### 2.5.12.1 DETONADORES ELÉCTRICOS



Figura 2-57 Detonador Eléctrico.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

Un detonador eléctrico está constituido por una cápsula metálica, de cobre o aluminio, cerrada por un extremo, un explosivo iniciador, un inflamador y un explosivo base o secundario.

El inflamador queda sujeto al casquillo mediante un tapón, normalmente de plástico, fuertemente comprimido en la vaina. El cierre se consigue mediante un engrase especial. Cuando el detonador es de tiempo, retardo o microretardo, lleva incorporado entre el inflamador y el explosivo primario un elemento retardador de tipo pirotécnico, constituido por un casquillo metálico en cuyo interior se ha colocado una pasta retardadora de precisión.

La energía eléctrica es llevada hacia el detonador mediante alambres de metal con aislamiento de plástico, los cuales se introducen a través de un tapón de hule o plástico. El tapón colocado en el extremo abierto del casco del detonador forma un cierre hermético resistente al agua. Los extremos de los alambres son unidos dentro del detonador por un alambre de corta longitud y diámetro muy pequeño llamado filamento, el cual queda en contacto con la carga de ignición. Cuando se aplica corriente eléctrica se pone incandescente el filamento y el detonador explota.

El inflamador está conformado por dos electrodos separados por una pieza de plástico, cuyos extremos están unidos entre sí por un filamento metálico calibrado, el cual está empujado en una composición inflamadora y protegido por un tapón de P.V.C. antiestático, los terminales de los electrodos del lado opuesto al puente, queda conectados a los hilos de alimentación del detonador los cuales llevan un recubrimiento especial.

La píldora o cerilla del inflamador, recibe a través de los dos hilos conductores la energía necesaria para que al calentarse el puente de incandescencia, se produzca su inflamación provocando la explosión de la carga primaria y a continuación de la carga base, cuando el detonador es instantáneo.

Si el detonador es de tiempo, la ignición de la píldora del inflamador provoca el encendido de la pasta del elemento retardador, que arde con una velocidad característica para cada tipo de detonador. Al finalizar la combustión de la pasta retardadora, se inicia la carga explosiva primaria y esta a su vez hace detonar a la carga base.

Las características de cada detonador dependerán de sus elementos constituyentes; así, mientras que las características de tiempo de retardo dependen del elemento pirotécnico incorporado al detonador y las de potencia dependerán del explosivo base.

El detonador eléctrico es un artefacto que bajo una apariencia exterior simple, encierra en su interior una verdadera máquina de precisión.

Los alambres de detonador sencillos o dobles, generalmente de aluminio, cobre o hierro, vienen en varias longitudes y están cubiertos con aislante plástico de



colores. Ambos alambres de detonador pueden ser del mismo color, o de diferente color. Los detonadores industriales eléctricos son instantáneos o tienen un período de retardo.

Los alambres de detonador vienen empaquetados de diferentes formas. Pueden estar torcidos en un pequeño bulto con la cápsula ubicada en el centro y la banda de papel envuelto alrededor del medio; envueltos alrededor de un carrete, insertados en un tubo de cartón; o envueltos alrededor del exterior de un tubo de cartón. La información como del fabricante, la longitud de los alambres de detonador y los milisegundos se puede encontrar en la envoltura.



Figura 2-58 Etiqueta de Retardo.  
Fuente: ATF.

La etiqueta de retardo está ubicada en el detonador eléctrico. Es una etiqueta, banda o marca de papel, cartón, plástico o aluminio realzado que denota la serie de retardo y el tiempo de retardo de un detonador. Por ejemplo, un período de retardo y/o tiempo de retardo puede mostrarse como un número (6), mientras que la serie de retardo puede verse como MS- número (MS-350). Tanto el color de la etiqueta y el color de la cifra numérica ubicados en la etiqueta generalmente están codificados con color en conformidad con un sistema de identificación que ha sido establecido por cada fabricante de explosivos.

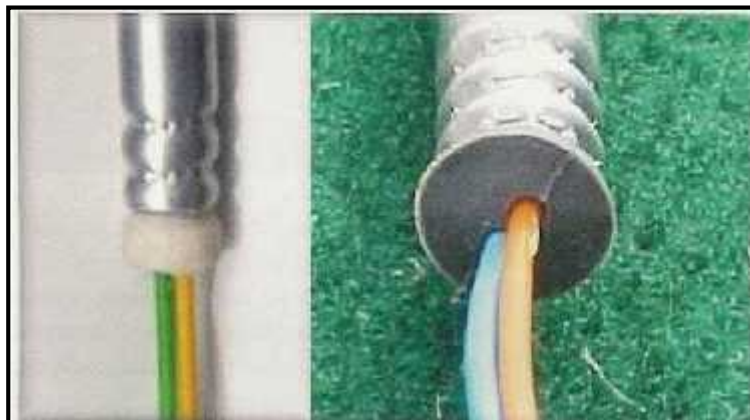


Figura 2-59 Tapón del Detonador.  
Fuente: ATF.

El tapón sujeta las partes del componente en su lugar y sella el extremo abierto del detonador. Generalmente está compuesto de plástico o hule, aunque los tapones más antiguos consistían de baquelita o sulfuro. Algunos de los colores más comunes encontrados en los tapones son: negro, rojo, gris, café claro o amarillo.

Un pliegue es el extremo doblado o la depresión circunferencial alrededor del extremo abierto del armazón de la cápsula que sirve para asegurar el tapón en el detonador eléctrico o no eléctrico, o para asegurar la espoleta, la mecha de seguridad / cordón del encendedor. Algunos tipos de pliegues son de uno, dos o tres anillos, planos, o de compresión alargada doblada

El extremo cerrado de un armazón se conoce como la base de la cápsula. La mayoría de ellas son planas o redondas. Algunas pueden estar estampadas o realzadas en el fondo indicando el período de retardo. También se pueden encontrar en la base monogramas o marcas de identificación. Algunas bases de cápsula más antiguas tenían una depresión o receso en la base de la cápsula.

La derivación se encuentra en el extremo libre de los alambres de detonador y puede ser de cinta de papel adhesivo, tubo de espagueti de plástico, rollo de aluminio ajustable, alambres desnudos torcidos, presilla de resorte, ojal o lengüeta de anillo de metal, o papel café sencillo.



Figura 2-60 Pliegue del Detonador.  
Fuente: ATF.



Figura 2-61 Derivación del Detonador.  
Fuente: ATF.

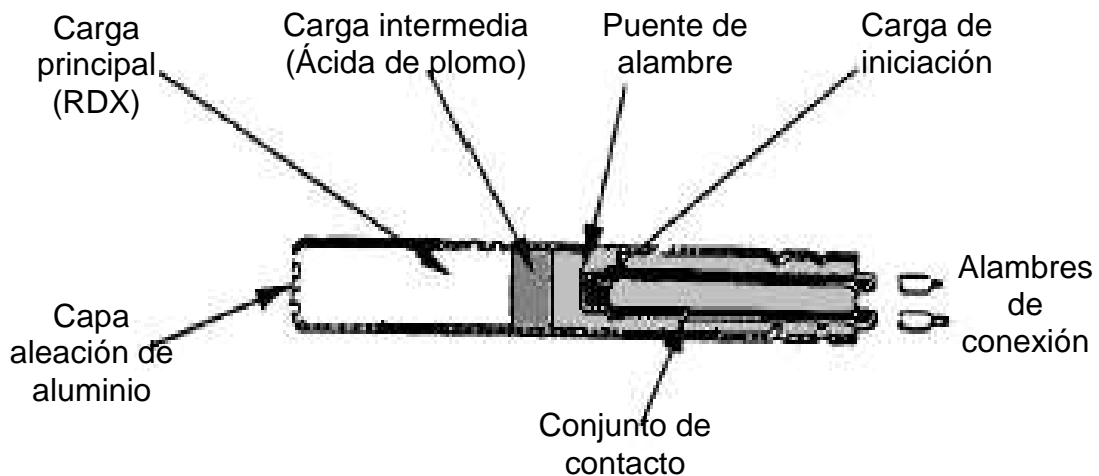


Figura 2-62 Partes Detonador Eléctrico.  
Fuente: Grupo MARTE.

Cada fabricante tiene un sistema único de codificación de colores para sus detonadores. Las variaciones incluyen la combinación de colores de los alambres del detonador, el color del tapón, el color de la etiqueta de retardo y el número de la etiqueta de retardo, hasta el color de las letras estampadas en el armazón. Asimismo, el tipo de tapón, la descripción de la derivación, la base de la cápsula y el número de pliegues en el armazón ayudarán más con la identificación del tipo de detonador y el fabricante.

### 2.5.12.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS DETONADORES ELÉCTRICOS

La clasificación de los detonadores eléctricos se da básicamente por tres características principales que son las características eléctricas, el tiempo de detonación y aplicación.

#### a. DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Esta primera clasificación permite al usuario la elección de los detonadores más idóneos para ser utilizados en lugares donde pueda existir iniciación imprevista.

Las diferentes características de tiempo proporcionan la posibilidad de realizar voladuras secuenciadas, adaptadas a todo tipo de terreno con lo que se consiguen excelentes resultados de fragmentación y permite controlar adecuadamente el nivel de vibraciones y onda aérea.

Existen algunos tipos de trabajo que por su particularidad requieren el uso de detonadores especiales. Dentro de ese grupo tenemos los detonadores sísmicos, detonadores para minas de carbón, para trabajos bajo grandes presiones de agua y los inflamadores eléctricos.

De acuerdo a las características eléctricas los detonadores se clasifican en:

##### - DETONADORES SENSIBLES (S)

Su inflamador obedece a una débil corriente para su iniciación, es utilizado en trabajos sísmicos y de geología, se debe manipular con cuidado, son sensibles a la corriente estática que se pueden producir por el operador e inyectarla al detonador al efectuar una mala manipulación, terminando en un accidente, de acuerdo a la casa fabricante las corrientes continuas necesarias para iniciarlos varían pero estos se pueden trabajar con una constante de 0.8 amperios para su iniciación.

##### - DETONADORES INSENSIBLES (I)

Su inflamador obedece a una corriente un poco mayor que el detonador sensible para que el inflamador haga iniciación, es utilizado en trabajos de voladura a cielo cubierto y subterráneas ampliamente utilizado por las Fuerzas Militares en trabajos de demoliciones, una mala manipulación puede generar por corriente estática su activación produciendo un accidente, la corriente continua necesaria mínima para su iniciación es de 1.5 amperios, esta puede variar muy poco de acuerdo a la casa fabricante.

##### - DETONADORES DE ALTA INSENSIBILIDAD (AI)

Su inflamador obedece a una corriente mayor que la utilizada por el detonador insensible, es utilizado en voladuras a cielo cubierto, en túneles, áreas con vías férreas, estaciones de radios.

Se recomienda su empleo en aquellos trabajos donde las condiciones no son las más precisas ni del terreno o del contorno, como los anteriores se pueden presentar accidentes por corrientes estáticas. La corriente continua necesaria mínima para su iniciación es de 25 amperios.

En los cuidados con la manipulación de los detonadores eléctricos cuando se trabaja cerca a los rieles del tren, por su condición metálica y que cubren grandes distancias se puede presentar gran diferencia de potencial de voltaje generando la posibilidad de una voladura prematura, los tendidos de alimentación no se pueden pasar cerca ni de forma paralela a las cuerdas de alimentación alterna (120) voltios que suministran las redes publicas.

Los detonadores eléctricos se pueden conectar en circuito serie, paralelo o mixto. (serie-paralelo) esto lo define la fuente de alimentación o explosor con que se cuente para el trabajo.

#### b. DE ACUERDO AL TIEMPO DE DETONACIÓN

De acuerdo con el espacio de tiempo transcurrido entre el momento en que se energiza el detonador y el instante en que se produce la detonación, los detonadores se clasifican en:

##### - DETONADORES INSTANTÁNEOS



Figura 2-63 detonador eléctrico instantáneo.  
Fuente: Grupo MARTE.

En estos detonadores al incidir directamente el chorro de fuego de la píldora sobre la carga primaria, la explosión del detonador coincide con el instante de la iniciación del inflamador.

Realmente desde el momento en que se cierra el circuito hasta el momento en que explota el detonador transcurre un periodo de tiempo muy corto, cuya magnitud depende de la cantidad de energía aplicada.

Con el adelanto de la técnica de voladura, la fabricación de los accesorios también ha evolucionado; es así como el fulminante eléctrico instantáneo se ha desarrollado como un sustituto de la mecha de seguridad y del fulminante común.

El fulminante eléctrico instantáneo consiste en una cápsula de aluminio que contiene en su interior un explosivo brizante y otro de explosivo primario; esta última se encuentra en contacto con la gota eléctrica, la que a su vez está fijada a los alambres conductores de energía. Tienen dos alambres de cobre calibre 20 ó 22, generalmente uno rojo y el otro amarillo. Estos dos colores distintos son de gran ayuda al hacer las conexiones. El fulminante es activado por acción de la corriente eléctrica, la que se transmite por los alambres hacia iniciar la gota eléctrica y luego a la carga primaria.

Está diseñado para detonar inmediatamente después de que se le haya aplicado suficiente intensidad de corriente, permitiendo la iniciación simultánea de un buen número de cargas explosivas, teniendo en cuenta la capacidad del explosor. Normalmente, mantenemos en stock fulminante de sensibilidad estándar (A.N.) con longitudes de cable de 3,4 y 6m. A solicitud del cliente se puede suministrar fulminantes eléctricos con especificaciones especiales.

#### - DETONADORES DE RETARDO

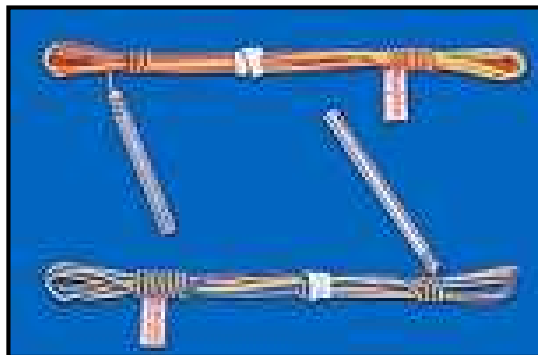


Figura 2-64 Detonador de Retardo.  
Fuente: Dynonobel.

Los detonadores temporizados de retardo o microretardo están diseñados para hacer explosión, según una secuencia predeterminada, a intervalos regulares de tiempo. La diferencia fundamental de estos detonadores con respecto a los instantáneos esta en que van provistos de un artificio retardador o rele interpuesto entre la píldora y la carga primaria.

El elemento retardador esta compuesto por una composición pirotécnica, al arder la pílora se inicia la combustión en un extremo de dicho elemento retardador, propagándose la misma uniformemente hasta alcanzar el otro extremo que esta en contacto con la carga primaria.

Es necesario advertir que la secuencia de tiempos de los detonadores se consigue mediante los elementos pirotécnicos de retardo, pero que la energización eléctrica tiene lugar casi simultáneamente en todos los detonadores.

Las diferentes características de tiempo proporcionan la posibilidad de realizar voladuras secuenciales, adaptadas a cada tipo de terreno, con lo que se consiguen excelentes resultados de fragmentación y permite controlar adecuadamente el nivel de vibraciones y onda aérea.

Los detonadores eléctricos de retardo, también llamados de tiempo son similares a los instantáneos, con la diferencia que tienen colocados entre el filamento y la carga de detonación un elemento de retardo el cual contienen pólvora lenta. Estos detonadores tienen una etiqueta de color que muestra el número de período de retardo y que sirve para su identificación. El disparo con detonadores de retardo tiene por objeto mejorar la fragmentación y el desplazamiento de la roca, así como proporcionar mayor control de vibraciones, ruido y proyecciones. Si se usan adecuadamente pueden reducir los costos.

#### - DETONADOR DE RETARDO DE 500 MSEG



Figura 2-65 Detonador de Retardo 500 MSEG.  
Fuente: Dynonobel.

Estos detonadores explotan con secuencias de medio en medio segundo. Los colores de los hilos son el azul y el otro color depende de la sensibilidad.

## - DETONADOR DE MICRORETARDO DE 20 Y 30 MSEG

Estos detonadores que en realidad deberían llamarse de microretardo, teniendo en cuenta el intervalo de tiempo entre números consecutivos.

La principal ventaja de estos detonadores respecto a los demás es:

- Mejor fragmentación para una misma carga explosiva.
- Mayor seguridad en ambientes rigurosos o susceptibles de inflamación.
- Menor riesgo de proyecciones, al disminuir el peligro de que unos barrenos sean descabezados por los anteriores.
- Como el intervalo entre explosiones es muy corto, se reduce considerablemente el riesgo de robos entre barrenos contiguos.

El mejor grado de fragmentación obtenida con los detonadores de microretardo, en comparación con los de medio segundo, puede explicarse de la siguiente manera: Si en el momento en que hace explosión un barreno la roca que va a ser abatida por él se halla en tensión, como consecuencia de la explosión de un barreno próximo cebado por un número anterior.

Es evidente que el segundo barreno producirá el máximo efecto de ruptura, ya que la roca está sometida al influjo de tensiones internas que inician su agrietamiento disminuyendo su resistencia.

### c. DE ACUERDO A LAS APLICACIONES

Dentro de los diferentes tipos de detonadores existentes hay algunos los cuales son diseñados para ser utilizados en trabajos específicos donde sus características y rendimiento facilitan los trabajos de voladuras y los diferentes usos a los que son sometidos.

#### - DETONADORES ELÉCTRICOS PARA MINAS DE CARBÓN

Son detonadores adecuados para su utilización en ambientes grisosos o inflamables. La cápsula e hilos de alimentación son siempre de cobre.

Dentro de este grupo se fabrican, en lo que respecta a características eléctricas detonadores sensibles e insensibles, y a lo que hace referencia al retardo, detonadores instantáneos, de retardo de medio segundo y de microretardo de 30 m/seg.

#### - DETONADORES SÍSMICOS





Figura 2-66 Detonador Sísmico.  
Fuente: FAMESA.

La exploración sísmica constituye un medio auxiliar de la geología para estudiar las formaciones subterráneas. Mediante este procedimiento se registran los tiempos transcurridos desde el instante que se produce la explosión en un punto dado, hasta que el tren de ondas es captado por los geofonos después de haber sido reflejadas por las diferentes estructuras geológicas.

La emisión de la corriente eléctrica al circuito de voladura, así como la llegada del tren de ondas sísmicas son registradas en una banda magnética, lo que permite conocer el tiempo transcurrido entre el instante de la explosión y la llegada de dicho tren a los geofonos.

Es un detonador capaz de convertir un impulso eléctrico en una detonación. Se caracteriza por contar con un iniciador electro-pirotécnico ultra rápido, dando un tiempo promedio entre el momento en que se entrega la energía especificada y el instante en que se produce la detonación menor a 1 milisegundo.

Está constituido por una cápsula de aluminio, una carga explosiva compuesta por un explosivo secundario, uno primario y un inflamador electro-pirotécnico de iniciación ultra rápida.

El elemento inflamador va alojado en un dispositivo antiestático y soldado a dos alambres conductores cubiertos por un plástico semiconductor.

De acuerdo al tiempo que transcurre entre el instante de entregar la energía eléctrica y el de la detonación de la carga explosiva, los detonadores eléctricos de retardo se pueden clasificar en dos series:

- Serie de Milisegundo (MS).
- Serie de Medio segundo (1/2S).

#### - DETONADOR ELÉCTRICO M6

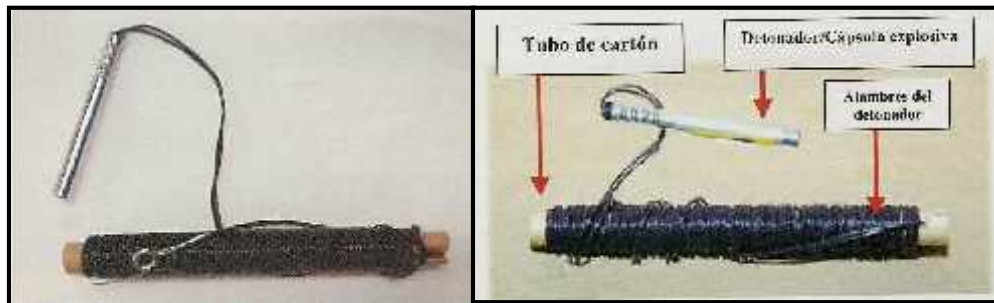


Figura 2-67 Cápsula eléctrica M6.  
Fuente: ATF.

La cápsula explosiva eléctrica M6 contiene una carga base de RDX, una carga intermedia de acida de plomo y una carga de iniciación. La cápsula explosiva eléctrica consiste de una capa (armazón) de aleación de aluminio de aproximadamente 6 cms de largo, un alambre de puente, una clavija de hule (o de hule y sulfuro) y tiene dos alambres conductores de 3,6 metros. La cápsula explosiva tiene dos pliegues en forma de circunferencia. Las cápsulas explosivas eléctricas son instantáneas.

Use cápsulas detonantes eléctricas para la detonación en general o cuando se dispone de una fuente de energía, tal como un equipo detonante o un acumulador. Se pueden usar cápsulas comerciales o militares. Las cápsulas detonantes eléctricas requieren 1.5 amperios de energía para su activación, y la cápsula eléctrica de distribución reglamentaria es la especial M6.

#### 2.5.12.2 DETONADORES INELÉCTRICOS

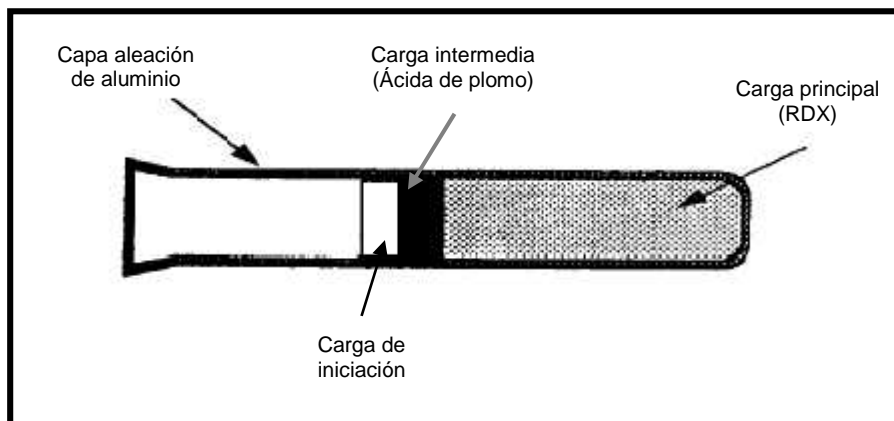


Figura 2-68 Detonador inelctrico.  
Fuente: ATF.

Los detonadores inelctricos son casquillos metálicos cerrados en un extremo en el cual contienen una carga explosiva de gran sensibilidad, por ejemplo fulminato de mercurio. Están hechos para detonar con las chispas del tren de fuego de la mecha de seguridad.

Los detonadores inelctricos están compuestos por una carga primaria de una sustancia inestable y altamente sensible, esta sustancia varia de acuerdo a las características de fabricación del detonador, en algunas cápsulas esta sustancia se compone de fulminato de mercurio y en otras puede ser azida de plomo. Se encuentra una segunda carga compuesta de un alto explosivo este puede ser RDX, HMX o PENT.

Varían en su longitud dependiendo de su utilización y de su fabricación, en el mercado se encuentran detonadores numero 4 al 12, siendo él más común él numero 8, llamado detonador común No. 8, estos son diseñados para ser iniciados por medio de la transmisión pirotécnica que le proporciona la mecha de seguridad.

#### - DETONADORES O CÁPSULAS DETONANTES M7

Las cápsulas M7, son fabricadas para uso militar, su longitud con referencia al detonador común No. 8 es más grande cuenta con 5,9 centímetros. Se emplean las para la detonación de explosivos.

Son a la vez el elemento detonante en determinados sistemas y dispositivos de disparo. Se clasifican las cápsulas detonantes en relación con su potencia, de acuerdo con el tamaño de

la carga principal. Las cápsulas detonantes comerciales son normalmente No. 6 o No. 8, usadas para la detonación de los explosivos más sensibles, tales como la dinamita comercial y el tetril. Las cápsulas detonantes militares especiales (M6 eléctrica y M7 inelétricas) aseguran la detonación positiva de los explosivos militares generalmente menos sensibles.

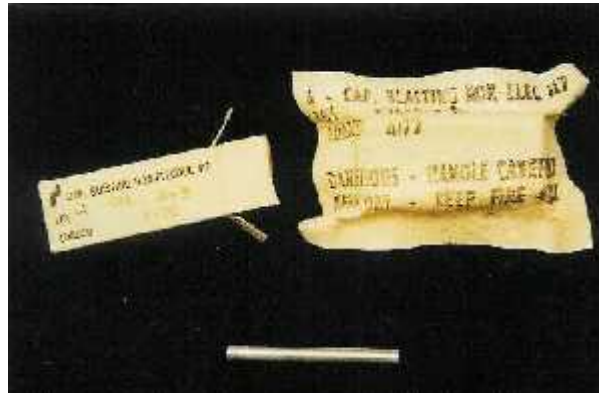
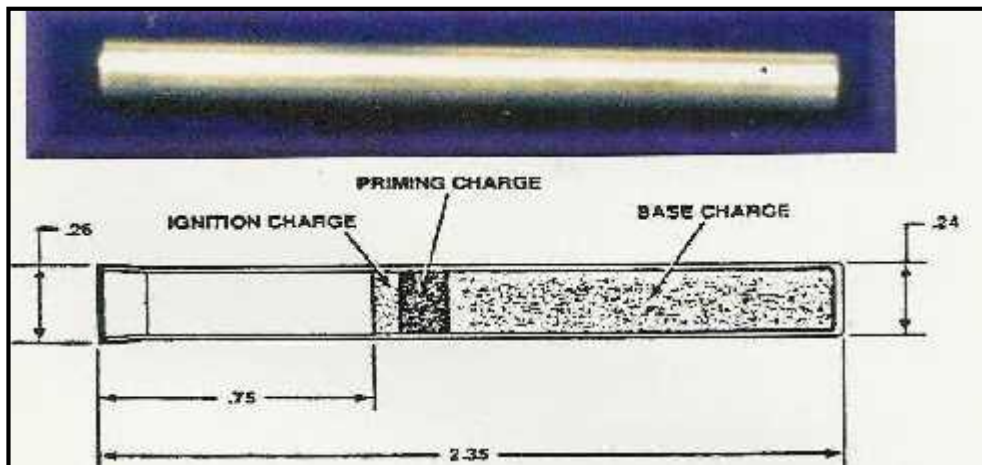


Figura 2-69 Cápsula M7.  
Fuente: ATF.

La carga principal es como el doble de la carga de las cápsulas detonantes comerciales No.8. Active estas cápsulas con una espoleta de detonación de tiempo, un dispositivo de detonación o un cordón detonante. Evite usar detonadores inelectricos para cebar cargas submarinas debido a que estas cargas son difíciles de impermeabilizar. De ser necesario, impermeabilice el detonador con un compuesto de sellar. La cápsula M7 es la de distribución reglamentaria. El extremo abierto de la cápsula M7 está acampanado para permitir la fácil introducción de la espoleta de tiempo.



Leyenda:

Ignition Charge = Carga Iniciadora

Priming Charge = Carga Primaria

Base Charge = Carga base

### 2.5.12.3 DETONADORES NO ELECTRICOS

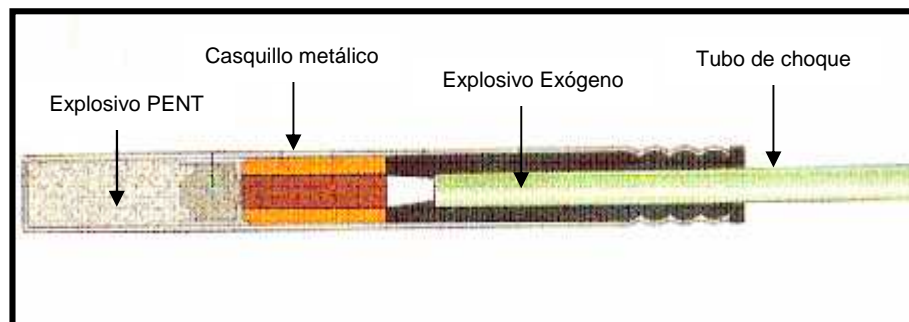


Figura 2-71 Detonador no Eléctrico.

Fuente: ATF.

El Sistema de Iniciación no eléctrico utiliza una onda de choque para transmitir una señal de activación a cargas explosivas remotas, donde dicha onda de choque es producto de la activación de un explosivo o una mezcla explosiva con o sin confinamiento inicial. Esta

onda de choque es transmitida a través de un tubo plástico (caso del detonador no eléctrico) o a través de un cordón (caso del cordón detonante).

El uso de un detonador no eléctrico con un tubo de impacto como medio de iniciación se ha vuelto muy popular. Se diseñó inicialmente para el uso en operaciones de minería y construcción. Actualmente, la configuración de detonador no eléctrico está fabricada y se utiliza en casi todos los tipos de ambientes de la industria comercial y operaciones militares. El detonador y el tubo de impacto se montan durante el proceso de fabricación y se venden como una unidad montada solamente.

Se utiliza principalmente como iniciador de explosivos, dinamita, emulsiones. Se utiliza en minería subterránea y a cielo abierto, tanto en labores de desarrollo como en producción, en voladura de banco en minería a cielo abierto y en voladuras de desarrollo horizontales, verticales e inclinadas y producción en minería subterránea.

El sistema de iniciación nonel requiere de unos elementos especiales para ser acoplado y para su iniciación primaria, la cual se realiza por medio de una pistola que internamente cuenta con un fulminante especial que inicia el polvo exógeno existente en el tubo de choque. El sistema tiene las siguientes partes:

#### a. TUBO DE IMPACTO

El tubo de impacto, algunos conocidos como nonel o primadet, es un tubo hueco de plástico de diámetro pequeño con color o sin color, forrado con una capa delgada de HMX y polvo de aluminio en las paredes interiores del tubo. La mezcla de polvo es de color plateado y no se le detecta ningún olor. El tubo de impacto es muy insensible a la iniciación por calor o impacto ordinario.



Figura 2-72 Tubo de Choque.  
Fuente: ATF.

Se requiere de un alto impulso para energizarlo. Cuando se inicia, éste transmite una pequeña onda de impulso con una velocidad de aproximadamente 2200 m/s, a través del tubo de plástico a un detonador no eléctrico acoplado. Ya encendido, se pueden producir gases de dióxido de carbono, monóxido de carbono e hidrocarburo. Nunca se aconseja sujetar el tubo en la mano durante la iniciación debido al hecho de que, bajo ciertas circunstancias, se puede romper, causando que se escapen los gases. Además, ya que está funcionando, el tubo se puede derretir y causar quemaduras térmicas graves si se expone inmediatamente a la piel.

#### b. ELEMENTO DE RETARDO



Figura 2-73 Etiqueta de Retardo.  
Fuente: Grupo Marte ESING.

El sistema de iniciación nonel cuenta con una diversa gama de detonadores en cuya estructura cuenta con elemento de retardo, lo cual le permite que sea usado en todo tipo de voladuras. El sistema de retardo esta compuesto por un cilindro metálico cargado con una mezcla de sustancias mixtas pirotécnicas de longitud variable de acuerdo al tiempo especificado para cada detonador de retardo.

El sistema de retardo de los detonadores se puede identificar con facilidad por la cinta adhesiva de plástico o papel que lleva impreso el número de retardo correspondiente al detonador, la etiqueta va adherida al tubo de choque.

#### c. DETONADOR



Figura 2-74 Detonador de Nonel.  
Fuente: Grupo Marte ESING.



El detonador no eléctrico está elaborado en aluminio o cobre con una longitud entre 50 y 95 mm en cuyo interior están contenidos los elementos de retardo y cargas explosivas.

La carga explosiva esta constituida por dos cargas ubicadas secuencialmente, un explosivo primario sensible a la llama y un explosivo secundario con potencia suficiente para iniciar los explosivos comerciales utilizados actualmente.

El detonador cuenta con una manguera de cierre ubicada entre la cápsula y el tubo de choque, es un dispositivo de goma destinado a sellar la unión del tubo no eléctrico con la cápsula, y proporcionar un cierre hermético que permite que no ingresen humedad al interior del detonador.

#### - CÁPSULA EXPLOSIVA NO ELÉCTRICA MILITAR (TUBO DE IMPACTO)

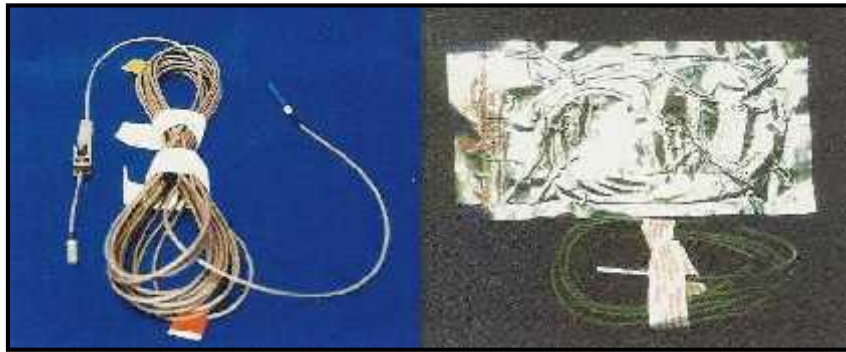


Figura 2-75 Nonel de uso Militar.  
Fuente: ATF.

La cápsula explosiva no eléctrica militar<sup>13</sup> es un tubo pequeño de aluminio relleno de explosivos (detonador) plegado de fábrica a una longitud de 9 metros del tubo de impacto. El tubo de impacto es un tubo delgado de plástico con una capa delgada de material explosivo especial depositada en la superficie interior. Un conector especial de plástico (llamado gancho “J”) está montado al extremo sellado del tubo de impacto que está sellado con una cubierta pequeña. El gancho “J” facilita el montaje rápido a un cordón detonante.

El propósito de la cápsula MI 11 es para uso en pozos de sondeo. Para facilitar su identificación, tiene adaptadas dos banderillas plásticas de colores brillantes al tubo de impacto cerca del extremo de la cápsula explosiva. Una banderilla roja está montada a un metro de la cápsula explosiva y una banderilla amarilla a dos metros del extremo de iniciación de la cápsula explosiva.

Las cápsulas explosivas no eléctricas M12 (carrete de 152 metros) y M13 (carrete de 304 metros) tienen un tubo pequeño de aluminio relleno de explosivos (detonador) plegado de fábrica a una longitud de 152 a 304 metros del tubo de

<sup>13</sup> La información que se suministra en el documento sobre cápsulas explosivas no eléctricas militares. Se extrajo del manual de explosivos y demoliciones americano FM 250.



impacto. El tubo de impacto es un tubo delgado de plástico con una capa delgada de material explosivo especial depositada en la superficie interior. Se suministra material de empalme con el carrete para hacer por lo menos cinco empalmes. Una mordaza de plástico especial está montada al detonador para facilitar el montaje rápido al tubo de impacto.

- CÁPSULA DETONANTE NONEL, TUBO DE CHOQUE DE 9 METROS (M11)

La M11 es una cápsula detonante de alta resistencia, engarzada en la fábrica a una extensión de 9 metros de tubo de choque. Un conector plástico movable, conocido como gancho en J, está adjunto al extremo libre del tubo de choque. El gancho permite la fijación rápida y fácil a un cordón detonante. Dos banderas plásticas coloradas son fijadas al tubo de choque cerca de la cápsula detonante. Se adjunta una bandera roja a un metro de la cápsula detonante, y una bandera amarilla a dos metros de la cápsula detonante. Se empacan las M11 en grupos de 6 por paquete.

Se puede usar la M11 para cebar explosivos militares reglamentarios o iniciar el cordón detonante o tubo de choque.

La M11 envía un choque de iniciación o detonación ligera a través del tubo de choque a la cápsula detonante. El tubo de choque debe ser iniciado por una cápsula detonante (tipo revelador) (M11, M16, M12, M13, M14 o M18) o por un encendedor de espoleta especial M81. La detonación de la M11 es instantánea.

- CÁPSULAS DETONANTE NONEL (TUBO DE CHOQUE DE 152 METROS (M12))

La M12 es una cápsula detonante de baja resistencia engarzada en la fábrica a una extensión de 152 metros de tubo de choque. Un conector plástico especial está fijado al detonador para facilitar la fijación rápida y fácil al tubo de choque con hasta 5 M11, M12 o M13. Se distribuye la M12 en un carrete.

Se usa la M12 para transmitir un impulso de detonación de tubo de choque de un iniciador (u otra cápsula de relevo) a otra cápsula de relevo o cápsula detonante de tubo de choque de alta resistencia (tal como la M11) que inicia los explosivos militares reglamentarios. Se usa la M12 solamente como línea de transmisión en un sistema de disparo. No tiene suficiente salida para iniciar con confianza la mayoría de los explosivos militares.

La M12 funciona enviando un choque inicial o detonación ligera a través del tubo de choque a la cápsula detonante. La cápsula detonante entonces activa hasta 5 tubos de choque contenidos en el conector plástico. El tubo de choque de la M12 debe ser activado por otra cápsula detonante o el encendedor de espoleta especial M81.

NOTA: Las cápsulas de tipo de relevo de baja resistencia no pueden, con toda seguridad, activar explosivos tales como el cordón detonante. Solamente pueden activar tubos de choque.

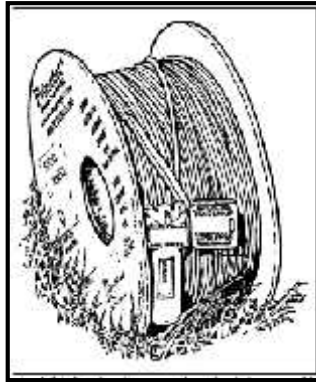


Figura 2-76 Tubo de choque de 500'.  
Fuente: Manual FM 5-250.

#### - CÁPSULA DETONANTE NONEL (TUBO DE CHOQUE DE 304 METROS (M13))

La M13 es una cápsula detonante de baja resistencia engarzada a una extensión de 304 metros de tubo de choque. Un conector plástico especial está fijado al detonador para facilitar la rápida y fácil fijación a hasta 5 tubos de choque en un conector plástico. La M13 difiere de la M12 solamente en el tamaño de su carrete. Se usa la M13 para enviar un impulso desde un iniciador (u otra cápsula de relevo) a otra cápsula de relevo o tubo de choque de alta resistencia (tal como la M11 o M16), que activa los explosivos militares reglamentarios. Se usa la M13 solamente como línea de transmisión en un sistema de disparo. No tiene suficiente salida para iniciar la mayoría de los explosivos militares.

#### 2.5.12.4 DETONADOR ELECTRÓNICO

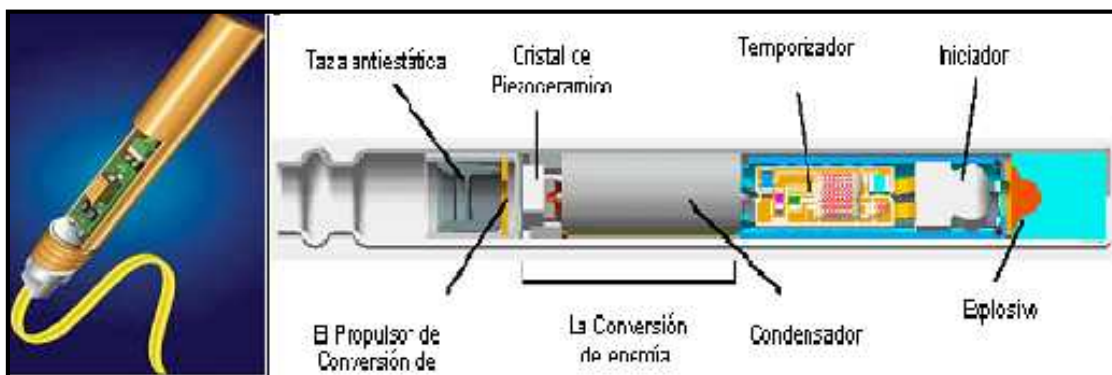


Figura 2-77 Detonador Electrónico.  
Fuente: Dynonobel.

El sistema de iniciación por detonador de retraso electrónico, lo podemos encontrar no eléctrico o eléctrico; utiliza como carga principal 790 mg de PENT y de carga iniciadora 90 mg de ácido de plomo. Contiene una taza antiestática la cual protege la unidad contra las descargas estáticas o la energía eléctrica falsa, además cuenta con una célula de almacenamiento de energía eléctrica (condensador), este impulsa un oscilador en el momento adecuado, teniendo en cuenta el tiempo de retraso programado.

En el detonador electrónico el tubo del choque genera energía eléctrica la cual es dirigida hacia el propulsor de conversión de energía el cual emite una señal por medio de la onda expansiva que activa un dispositivo piezocerámico, que genera la energía requerida para cargar un condensador. El condensador de almacenaje acciona un oscilador de sincronización en el sistema temporizado, el cual ha sido programado por la empresa fabricante, cada detonador cuenta con un microchip al cual se le asigna un código serial único y un código de barras para su identificación. Cuando se alcanza el tiempo preprogramado en el sistema temporizado una señal es dada por el circuito integrado al condensador de almacenaje el cual libera la energía necesaria al encendedor o iniciador, que inicia la carga baja del detonador.

El detonador electrónico es utilizado con gran aceptación en trabajos de voladura subterránea en vista que no es afectado por energías externas.

## **CAPITULO III**

### **MEDIDAS DE SEGURIDAD**

#### **3. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL OFICIAL DE SEGURIDAD**

- No intente llevar a cabo una misión con el uso de explosivos si usted no está seguro de los debidos procedimientos, revise primero las referencias u obtenga ayuda.
- Todo trabajo será realizado por dos técnicos expertos, teniendo en cuenta que cuatro ojos ven más que dos.
- Evite que personal inexperto maneje explosivos.
- Evite repartir la responsabilidad de las operaciones con explosivos.
- No se apure al trabajar con explosivos; tómese su tiempo.
- Asigne personal de contención en todo momento para impedir el acceso al área de peligro.
- Mantenga el control del equipo detonante o de la fuente de activación en todo momento.
- Use el mínimo de explosivos necesarios para cumplir la misión, manteniendo a la vez suficientes explosivos en reserva para atender cualquier fallo en la detonación.
- Mantenga una contabilidad precisa de todos los explosivos y accesorios. Almacene los detonadores por separado y a una distancia prudencial de los otros explosivos.
- Sepa donde se encuentra todo el personal y el equipo antes de detonar una carga explosiva.
- Asegúrese de dar la voz de alerta antes de iniciar la demolición, repita la voz de alerta "FUEGO" tres veces.
- Active doblemente todas las cargas, no obstante sean de cebado simple o doble.
- Evite usar explosivos usados o deteriorados.
- No desarme o altere el contenido de cualquier material explosivo.
- Evite mezclar explosivos activos con explosivos inertes "de práctica".

- El personal cerca de las explosiones puede sufrir la pérdida permanente del sistema auditivo u otras lesiones debido a la onda de presión causada por la explosión. Debe usarse un sistema de protección auditivo durante la explosión y estar a una distancia no menor de 400 metros del sitio de la voladura.

### **3.1 MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EMPLEO DE EXPLOSIVOS**

#### **3.1.1 MEDIDAS DE SEGURIDAD CON CEBADO INELÉCTRICO**



Figura 3-1 Medidas de seguridad con explosivos.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

- Use solamente equipo y procedimientos autorizados durante el cebado de los detonadores ineléctricos con la mecha lenta o cordón detonante.
- Mantenga los detonadores ineléctricos en una caja apropiada hasta que surja la necesidad de usarlos.
- No almacene detonadores ineléctricos con explosivos.
- No sople dentro de los detonadores ineléctricos, ni intente retirar cualquier obstrucción de la boca del detonador.
- Revise la parte interna del detonador para evitar la presencia de cualquier residuo de material extraño en su interior.
- No trate de adosar un detonador instalado en un explosivo, si este se ha aflojado de la mecha lenta o cordón detonante; retire el detonador de la carga y vuelva a instalarlo a la mecha de seguridad y posteriormente cebe nuevamente la carga.
- Evite golpear, maltratar y oprimir el detonador durante el cebado. Use únicamente los medios disponibles y adecuados para todas las operaciones del cebado.

- Corte la mecha de seguridad para permitir un intervalo de no menos de 10 segundos entre las detonaciones, cuando se emplean detonadores para cebados dobles.
- Corte la mecha para realizar el cebado de la carga con una longitud adecuada, la cual le brinde el tiempo necesario para retirarse al área de seguridad, esta medida no debe ser menor de 60 cms en instrucción.
- Retire las obstrucciones que se puedan presentar utilizando el método de toque ligero de muñeca a muñeca como se muestra en la grafica 3-2.



Figura 3-2 Método toque ligero muñeca a muñeca.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

- Realice el corte de la mecha de seguridad con una cuchilla afilada en una forma recta, evitando que se humedezca o se ensucie.
- Introduzca la mecha de seguridad con suma precaución hasta el fondo del detonador, verificando que quede en contacto con la carga explosiva.
- Verifique cuidadosamente el sitio exacto donde puede corruar el detonador, con el propósito de evitar que la mecha se desprenda.
- Asegure la mecha al detonador empleando únicamente pinzas o en su efecto cualquier tipo de herramienta que no genere chispa.
- Proteja la unión entre el detonador y la mecha lenta con una sustancia impermeable o similar, cuando va a hacer utilizado en ambientes húmedos.
- La mecha puede ser encendida con una cerilla, bríquet o con encendedor tipo tiraflector.

### 3.1.2 MEDIDAS DE SEGURIDAD CON CEBADO ELÉCTRICO



Figura 3-3 Medidas de seguridad con explosivos.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

- Es importante que antes de realizar la manipulación de los detonadores eléctricos debemos descargar la energía estática de nuestro cuerpo para evitar la detonación accidental de los detonadores.
- No retire la derivación en corto circuito a menos que sé este verificando o conectando el detonador, esto evita la activación accidental por energía estática. Si el detonador carece de ella, doble los extremos de los cables por lo menos tres veces (giros de 180°) para contar con una derivación apropiada.
- Aplique los debidos procedimientos de puesta a tierra cuando hay energía estática presente.
- Pruebe con anterioridad la máquina detonante, fuente de energía o explosor para verificar su apropiado funcionamiento.
- Al mover los detonadores cerca de vehículos con transmisores, protéjalos colocándolos en recipientes de metal con tapa ajustada. No lo manipule cerca de un transmisor en funcionamiento a menos que se considere el peligro aceptable.
- Coloque el detonador debajo de una bolsa de arena o casco mientras se extienden los alambres plenamente.
- Es de gran importancia realizar la unión de los alambres de los detonadores al cable principal por medio del nudo de unión militar, el cual evita que se suelten con facilidad por efecto de la detonación.
- Mantenga los detonadores por lo menos a una distancia de 155 metros de las líneas de fuerza eléctrica activas, no deben usarse detonadores cerca de estos sitios, desactive las líneas de fuerza eléctrica durante las operaciones de detonación.

- Asegúrese de usar por lo menos la energía mínima necesaria para activar los detonadores.
- Asegúrese de verificar la continuidad del circuito de los detonadores antes de su uso.
- Evite retorcer o doblar los alambres de los detonadores para evitar la ruptura interna de los mismos.
- Cubra las conexiones entre las líneas de los detonadores y los cables de activación con cinta aislante.
- Retire las tiras de papel que cubren los cables de detonación, de ser practico entierre los cables de detonación.
- No realice cebado eléctrico cuando sé este bajo una tormenta eléctrica.

### 3.1.3 MEDIDAS DE SEGURIDAD CON CORDÓN DETONANTE



Figura 3-4 Medidas de seguridad con explosivos.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

- Se debe verificar el buen estado del cordón detonante, antes de su utilización, las líneas que presenten deterioro o ruptura de su revestimiento no deben de ser utilizadas.
- Las uniones entre líneas de cordón detonante se deben realizar por medio de nudos y empalmes adecuados para evitar el corte y fallo de la detonación.
- Para iniciar un tendido de cordón detonante se coloca el detonador pegado axialmente al cordón y con la punta del detonador orientada en dirección a la mayor longitud del cordón, asegurándolo con cinta aislante.
- En el momento de realizar empalmes o uniones entre tramos de cordón detonante es importante realizar estas uniones en ángulo recto.



- No se deben hacer lazadas ni torceduras al cordón, pues estos defectos cortan la transmisión de la onda explosiva.
- En el momento del cebado se debe tener en cuenta la dirección del detonador, este debe de ir en sentido paralelo a la carga principal.
- Utilice la cantidad y el gramaje adecuado de cordón detonante de acuerdo al trabajo a realizar.
- No lleve cordón detonante alrededor del cuello.
- Se debe evitar en todo momento golpear el cordón detonante ya que este es tendiente a detonar por percusión.
- Evite cortar el cordón detonante con pinzas o alicates, los cuales le pueden ejercer presión y pueden en determinado caso producir la detonación accidental del cordón.
- Para realizar el corte del cordón detonante es recomendado hacerlo por medio de una cuchilla o bisturí y al aire libre es decir sin soportarlo sobre ninguna superficie.

### **3.1.4 MEDIDAS DE SEGURIDAD CON MECHA DE SEGURIDAD**

- Maneje la mecha con cuidado, sin dañar la cubierta.
- Verifique que la longitud de mecha de seguridad cortada sea la adecuada para realizar la detonación de la carga explosiva, esta debe ser suficiente para efectuar el desplazamiento hacia el área de seguridad. No se deben utilizar tramos cortos.
- Antes de utilizar la mecha verifique el perfecto estado de la cubierta plástica, que no se encuentre rota o con presencia de moho lo cual le genera humedad al interior de la misma.
- Siempre antes de utilizar tramos de mecha de seguridad que lleven mucho tiempo en polvorines corte unos 30 cms y verifique el tiempo de quemado para evidenciar su óptimo funcionamiento.
- Cuando utilice mecha de seguridad para realizar cebados, siempre use un tramo de igual longitud, para tener una medida de referencia de la combustión de la mecha principal, y así saber en que momento detonara la carga. Es importante encender primero el tramo auxiliar y luego con este iniciamos la mecha del cebado.

- Evite retorcer o doblar la mecha de seguridad.
- Corte la mecha únicamente antes de insertarla en el detonador inelectrico y a una distancia de 1 a 1.5 cms desde el extremo de inserción de la mecha.
- Siempre se debe dar inicio a la mecha con un encendedor apropiado para este fin, si se utilizan cerillas se debe rajar el extremo de la mecha insertando la cabeza de la cerilla dentro de la hendidura.
- No encienda la mecha sin antes cubrir el explosivo con suficiente taco para impedir que las chispas o cabeza de la cerilla puedan hacer contacto con los explosivos.

### **3.1.5 MEDIDAS DE SEGURIDAD EN EL MANEJO**

- El uso de los explosivos será supervisado y coordinado por personal capacitado y debidamente autorizado para su manejo, en atención a los riesgos que con lleva su manipulación.
- El encargado de la distribución de explosivos no debe entregarlos cuando su estado de conservación sea defectuoso.
- Se usaran punzones de madera o metales permisibles (aluminio, cobre, bronce, berilio) para perforar los explosivos.
- No inserte en el extremo abierto de los detonadores inelétricos ningún otro elemento que no sea la mecha.
- No golpee ni trate de alterar, sacar o examinar el contenido de los detonadores.
- No use explosivos ni permanezca cerca de ellos cuando se aproxima una tormenta eléctrica, todo el personal debe retirarse a un lugar seguro.
- No use explosivos o equipos de voladura que muestren deterioro o daño.
- No intente aprovechar o utilizar mecha, detonadores ni ningún otro explosivo que se haya mojado, aún después de secarse, consulte al fabricante.
- En ningún momento maneje ni manipule los explosivos en forma descuidada.
- Evite fumar, usar llamas o cualquier otro tipo de elemento que proporcione calor excesivo cuando trabaje con explosivos.

- No ataque cargas con herramientas metálicas, utilice elementos los cuales no generen chispa o en su efecto maderos secos.
- No acumule fragmentos de explosivos, destrúyalos.
- Evite llevar o guardar detonadores en los bolsillos de la ropa, utilice porta detonadores adecuados para este fin.
- No hale ni retuerza los alambres de los detonadores eléctricos.
- No golpee ni sople dentro de los detonadores ineléctricos.
- Responsabilice a una sola persona al trabajar con los explosivos.

### 3.1.6 MEDIDAS DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE



Figura 3-5 Medidas de seguridad con explosivos.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

- La carrocería de los vehículos en su parte interior no debe de ser metálica, el piso o plataforma, las barandas y compuertas serán en madera.
- Cuando se emplean vehículos cuya plataforma sea metálica, esta debe recubrirse con una lona o cartón para luego colocar una capa de viruta o aserrín de madera.
- Los camiones llevaran colocada una carpa en buenas condiciones, impermeable y debidamente asegurada, para evitar que la lluvia o el sol deterioren los materiales explosivos.
- Los vehículos tendrán como mínimo dos sistemas de frenos, independientes en sus mandos y aplicación.

- Los vehículos que transporten explosivos llevarán en la defensa delantera dos banderolas de color rojo como señal de peligro, de igual forma se instalarán letreros delante y atrás del vehículo que digan “PELIGRO EXPLOSIVOS EN TRANSITO”.
- La velocidad de los vehículos que transporten explosivos, no debe exceder los 45 kilómetros por hora.
- Los explosivos se transportarán en cajas apropiadas o fundas de lona, sujetas o amarradas de tal manera que no se desplacen ni se golpeen en el interior del vehículo.
- Los detonadores, se llevarán en un vehículo diferente al que transporta los explosivos.
- El transporte de explosivos, estará custodiado por escolta militar o vigilancia privada, este personal viajara en vehículo separado al que transporta los explosivos.
- No se permite el transporte de personal junto con explosivos o detonadores.
- El conductor del vehículo y ayudantes no podrán portar armas de fuego.
- En lo posible se evitara cruzar zonas urbanas o pobladas, pero si hay que hacerlo, por ningún motivo se detendrá el vehículo en estas zonas.
- La distancia entre los vehículos que transportan explosivos en carretera debe de ser de 100 metros.
- Prohibido detener el vehículo cargado con explosivos, dentro de sectores urbanos para pernotar, tomar alimentación o realizar reparaciones mecánicas, por lo tanto deberá hacerse alto fuera de las ciudades.
- Cada dos horas se hará alto para verificar el estado del vehículo y de los explosivos contenidos en su interior.
- Siempre dentro de una caravana de transporte de explosivos debe ir un vehículo de repuesto.
- Esta prohibido a todo el personal que participe en el transporte de explosivos, ingerir bebidas alcohólicas o estar bajo el efecto de sustancias alucinógenas.
- El peso de la carga a transportar no debe sobrepasar del 80% de la capacidad del vehículo.

- Siempre se obedecerán todas las leyes y los reglamentos de circulación de tránsito departamentales y municipales.
- Siempre se verificará que los vehículos utilizados para el transporte de explosivos estén en buenas condiciones de funcionamiento y que estén dotados de pisos de madera bien ajustados y sin grietas o de algún metal que no produzcan chispa. Los costados y los extremos deben ser lo suficientemente altos para impedir la caída de la carga.
- No permita que las cajas de explosivos estén en contacto con metal alguno, salvo el metal necesario de las carrocerías de los vehículos. No deben transportarse sustancias inflamables o corrosivas junto con los explosivos.
- No permita fumar dentro del vehículo.
- La carga de un vehículo abierto debe cubrirse con lona impermeable y resistente al fuego.
- Ejerza sumo cuidado al cargar o descargar los explosivos.
- Aísle todos los alambres para prevenir cortos circuitos.
- Cada vehículo debe estar provisto de por los menos dos extinguidores tipo multipropósitos de 20 libras como mínimo.
- Se debe verificar el buen estado de funcionamiento del sistema eléctrico de los vehículos utilizados para el transporte de explosivos, los cables rotos o con la cubierta rota pueden generar cortos circuitos.
- No se permitirá el uso de vehículos tales como ambulancias, automotores de servicio público o civil para el transporte de explosivos.
- Para el transporte aéreo de sustancias explosivas se debe de tener en cuenta las normas estipuladas por la OACI (Organización de la Aviación Comercial Internacional), y la IATA (Organización Internacional del Transporte Aéreo), que a la vez son regidas por la ONU.
- Se debe de tener en cuenta como norma de seguridad con explosivos, en especial para el transporte, almacenamiento y manejo, los parámetros y códigos tipificados de la ONU, establecidas para los materiales peligrosos (clasificación 1).

### **3.1.7 MEDIDAS DE SEGURIDAD DE ALMACENAMIENTO**



- Guarde los explosivos en polvorines limpios, secos, bien ventilados, razonablemente frescos, debidamente ubicados, solidamente contruidos, resistentes, blindados y seguros.
- La altura máxima de almacenamiento es de 1,60 metros, que corresponde a la altura permisible para los empaques utilizados por la industria militar.
- El área máxima de almacenamiento será del 60% del área total del polvorín y el otro 40% será destinado como zona de tránsito y movimiento de material.
- No abrir cajas ni reempacar explosivos dentro del polvorín, debe hacerse a una distancia mínima e 20 metros de dicha instalación.
- Si es necesario utilizar luz artificial, emplear únicamente lámparas de seguridad o instalaciones eléctricas a prueba de explosivos, por ningún motivo lámparas de llama abierta.
- Se deben realizar inspecciones periódicas al polvorín con el fin de detectar anomalías internas como goteras u otros desperfectos que puedan ocasionar daños en los explosivos almacenados.
- Se debe mantener la puerta del polvorín cerrada y con candado.
- Los polvorines deben ser ubicados en lo posible lejos de áreas pobladas, para limitar los alcances y efectos de una explosión.
- Cada polvorín estará provisto de una salida dirigida de gases tipo chimenea, a fin de evitar altas concentraciones y mejorar el sistema de ventilación.
- Los polvorines deben de contar con pararrayos para protegerlos de las descargas atmosféricas.

- Se prohíbe terminantemente guardar en un mismo polvorín explosivos, mecha de seguridad, detonadores y cordón detonante.
- Todo polvorín debe de estar provisto de avisos de peligro por lo menos en un radio de 25 metros.
- Las cajas que contienen explosivos, deben quedar hacia arriba, en forma tal que se pueda leer su identificación.
- El piso de los polvorines en lo posible debe ser de madera y las cajas de los explosivos debe ser colocada sobre estribas.
- Todo polvorín debe contar con los elementos mínimos para extinción de incendios tales como: Extintores de agua, ABC Multipropósito y canecas de 55 galones con agua.
- No almacene detonadores con otros explosivos en una misma sala, receptáculo o polvorín.
- No almacene explosivos, mechas o encendedores de mecha en un lugar húmedo o mojado ni cerca del aceite, gasolina, fluido o soluciones para limpiar calentadores, tuberías de vapor, estufas u otros artefactos de calor.
- No almacene explosivos cebados.
- No almacene en un polvorín ningún metal que produzca chispa ni herramientas metálicas.
- No fume ni lleve fósforos, luces descubiertas u otra forma de fuego o llama dentro de un polvorín o cerca de él.
- No permita la acumulación de hojas, hierbas, matorrales o basura dentro de un radio de 75 metros alrededor de un polvorín.
- No dispare armas de fuego hacia los explosivos ni tampoco en las cercanías de un polvorín.
- Consulte al fabricante si la nitroglicerina de los explosivos deteriorados se ha escurrido al piso del polvorín. El piso debe ser lavado con una solución aprobada un para ello, a fin de insensibilizar la nitroglicerina.
- No utilice herramientas hechas de metales que produzcan chispas para abrir cunetas o cajas de madera que contengan explosivos.

- No permita fumar o portar fósforos, luces descubiertas u otra forma de fuego o llama cerca de los lugares en que se está trabajando y usando explosivos.
- No coloque los explosivos en lugares donde estén expuestos a las llamas, al calor excesivo, a las chispas o a los golpes.
- Cierre las cajas o cajones de explosivos después de usarse.
- No prepare los cebos dentro de un polvorín ni cerca de cantidades excesivas de explosivos, ni se prepararan más de los necesarios para su uso inmediato.

### **3.1.8 MEDIDAS DE SEGURIDAD EN LA INSTRUCCIÓN**

#### **3.1.8.1 ANTES DE LA INSTRUCCIÓN**

- No se permitirá el empleo de otro elemento diferente a los establecidos para realizar cebados.
- Se debe realizar registro perimétrico del área para evitar la presencia de personal inexperto y animales.
- Examine el área donde se va a trabajar para descubrir la presencia de cualquier explosivo sin detonar.
- Ubicación previa de un sector que nos ofrezca cubierta y protección a una distancia mínima de 200 metros.



Figura 3-7 Medidas de seguridad con explosivos.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

- Verificar la proyección de la onda explosiva y posibles fragmentos que produzca la explosión.



- No se utilizaran herramientas hechas de metales que produzcan chispas para abrir las cajas de los explosivos.
- No se colocaran los explosivos en lugares donde estén expuestos a las llamas o al calor excesivo.
- Tape o cierre las cajas de los explosivos después de usarse.
- No permita que el personal que este empleando los explosivos fume en el área de práctica.
- Nunca se deben llevar explosivos en los bolsillos de la ropa ni en otra parte del cuerpo.
- No se debe insertar en los extremos abiertos de los detonadores ningún otro elemento que no sea la mecha lenta.
- No se usara explosivos o equipos para voladuras que demuestren deterioro.
- Nunca de utilizara explosivo que se halla mojado aun después de secarse.
- Nunca debe apilarse explosivo sobrante dentro de la zona de trabajo.
- Siempre debe cortarse del carrete la línea de cordón detonante que piensa utilizar, antes de cebar la carga explosiva.
- No prepare los cebos dentro de un polvorín ni cerca de cantidades excesivas de explosivos, ni se preparan más de los necesarios para su uso inmediato.

### **3.1.8.2 DURANTE LA INSTRUCCIÓN**

- Nunca debe forzarse la inserción de un detonador en un explosivo.
- No haga uso de los detonadores en áreas de gran concentración de energía y tormentas eléctricas.
- No haga uso de los detonadores eléctricos cerca de transmisiones de radios o cualquier elemento que genere ondas magnéticas.
- No use pólvora negra durante el trabajo con los explosivos.
- No tenga explosivos en la mano al encender la mecha.
- No se debe disparar sin una señal positiva de la persona encargada, quien se habrá cerciorado de que todos los explosivos excedentes se encuentren en un

lugar seguro, de que todas las personas y vehículos estén a una distancia segura o debidamente resguardados y de que se haya dado aviso adecuado.

- No se debe permitir que el personal después de cebar una carga salga corriendo a buscar protección.
- El personal debe buscar protección para evitar ser víctima de cualquier esquirla generada por la explosión.
- Todo el personal debe utilizar tapa oídos durante la explosión.
- Nadie puede colocar objetos extraños sobre de los explosivos a detonar.
- Nunca deben llevarse cantidades excesivas de explosivos al foso.
- Se debe emplear casco, chaleco y gafas para evitar cualquier tipo de accidentes.
- Al momento de dirigirse al foso únicamente va el instructor de la materia y el alumno que va a efectuar el disparo.

### **3.1.8.3 DESPUÉS DE LA INSTRUCCIÓN**

- Destruya o deshágase de los explosivos de estricto acuerdo con los métodos aprobados.
- Después de terminado el ejercicio los sobrantes de explosivos deben destruirse en su totalidad.
- El personal no debe guardar en los bolsillos, material que haya sido empleado en clase, como cordón detonante, mecha lenta o detonadores.
- No regrese al área de voladura hasta que se haya disipado el humo y los gases de la misma.
- Luego de la detonación de la carga explosiva se debe pasar revista para verificar la consumación total del explosivo.
- No perfore, atraviese o trate de sacar una carga de explosivo que haya fallado.
- Si se llegase a presentar de que una carga explosiva no detone, se debe esperar un tiempo prudente como mínimo 30 minutos para revisar la carga, este trabajo debe efectuarlo el instructor de la materia.
- No permita que la madera, papel o materiales de fibra utilizados para el embalaje de los explosivos sea destruido con explosivos, dichos materiales

deben quemarse en un sitio aislado y nadie se situara a menos de 200 metros de distancia, una vez encendido el material.

- Después de terminada la practica de explosivos se debe recoger todo el material que se haya empleado, tales como mecha de seguridad, encendedores, M-60 y otros.
- Después de finalizada la practica con explosivos se debe pasar una revista minuciosa del sector para evitar dejar abandonado material explosivo o cualquier otro elemento.

### 3.1.9 MEDIDAS DE SEGURIDAD AL HACER VOLADURAS

#### 3.1.9.1 ANTES

- Siempre debe examinarse cada barreno cuidadosamente antes de ser cargados para conocer su condición, con este propósito se utiliza una varilla o vara de suficiente longitud.
- Siempre se considerara que los efectos de la explosión de un cartucho de dinamita o cualquier otro explosivo son incalculables, por lo tanto se tomaran todas las precauciones necesarias para evitar riesgos.



Figura 3-8 Medidas de seguridad con explosivos.  
Fuente: Codelco.

- Los huecos o barrenos deben tener suficiente espacio para evitar que la barra y taco de explosivos se rompa.
- Antes de perforar, debe examinarse el frente de trabajo o la roca, para descubrir la presencia de cualquier explosivo sin detonar.
- Nunca debe apilarse explosivo sobrante dentro de la zona de trabajo.

- Siempre debe cortarse del carrete la línea del cordón detonante que penetra en el barreno, antes de meter el resto de la carga explosiva.
- Nunca debe enmendarse, deformarse o maltratarse el cebo ni dejarlo caer.
- Siempre deben conectarse los detonadores eléctricos o cordón detonante de acuerdo con los métodos recomendados por los fabricantes.
- Aplicar todas las medidas de seguridad a tener en cuenta con los explosivos en el manejo, transporte y almacenamiento.
- En voladuras eléctricas tenga en cuenta lo siguiente:
  - No desenrolle los alambres, ni haga uso de los detonadores eléctricos durante las tormentas o cerca de otras fuentes de grandes cargas de electricidad estática.
  - No desenrolle los alambres ni haga uso de los detonadores eléctricos en presencia de transmisores de radio, excepto a una distancia segura.
  - Conserve el circuito de disparo totalmente separado del suelo o de otros conductores, tales como: alambres descubiertos, rieles, tuberías y otras vías de conducción de corrientes dispersas.
  - No coloque alambres o cables eléctricos cerca de detonadores eléctricos u otros explosivos, sino hasta el momento mismo de preparar el disparo y para este fin exclusivamente.
  - Pruebe todos los detonadores uno por uno o conectados en circuito, utilizando únicamente el galvanómetro especialmente diseñado para este fin.
  - No trate de disparar un circuito de detonadores eléctricos con menos de la corriente mínima que estipule el fabricante.
  - Cerciórese antes de hacer una conexión eléctrica, que los extremos de los alambres estén absolutamente limpios.
  - Mantenga en corto circuito los alambres de los detonadores eléctricos o los de conducción hasta que esté lista la voladura para el disparo.

### **3.1.9.2 DURANTE**

- Nunca debe empujar con fuerza los cartuchos y otros explosivos para introducirlos en el barreno o pasarlos por una obstrucción en el barreno.

- Nunca debe forzarse la inserción de un detonador eléctrico o ineléctrico con un cartucho de explosivo, insértese en un orificio hecho con perforador especial para este objeto.
- Nunca debe atacarse explosivo extraído de los cartuchos.
- Nunca debe atacarse con elementos metálicos de ninguna especie, hágalo con un madero.
- No forcé el cartucho en el barreno, empújelo suavemente, si no entra sáquelo con cuidado y repase el hueco con el atacador para quitar la obstrucción.
- En el momento del cargue de los barrenos solo debe permanecer en el sitio de la voladura el técnico y su ayudante.
- Siempre debe sellarse los explosivos en el barreno por medio de arena, barro, tierra u otro elemento apropiado para la atacadura.
- Nunca debe maltratarse la mecha ni los alambres de los detonadores eléctricos al atacar.
- Los explosivos no utilizados en las voladuras, retírelos del lugar donde se va a realizar la detonación.
- Antes de cargar cada barreno debe examinarse cuidadosamente para conocer su estado, utilizando para ello un atacador de madera.
- El disparo debe realizarse tan pronto este cargado el último barreno. Un barreno cargado es siempre un riesgo, aun más si esta cebado.
- En los frentes de trabajo húmedos el tiempo de permanencia del explosivo dentro del barreno debe ser mínimo, para evitar la absorción de la humedad y por consiguiente la pérdida de potencia del explosivo.
- Se emplearan señales de peligro como banderolas rojas, letreros de peligro, celadores y retenes para evitar que personas y vehículos se acerquen al lugar donde se va a realizar la explosión.
- Antes de llevarse a cabo una explosión se notificara a todas las personas por medio de un silbato o señal convenida.
- El oficial de seguridad será el último en despejar el área verificando que no quede personal dentro de la misma a excepción de los encargados del disparo.
- Evitar al máximo dobleces o ruptura en los cables o de la mecha.

- Nunca se debe disparar sin una señal positiva de la persona encargada, quien se habrá cerciorado de las conexiones y de que el material sobrante este en un lugar seguro así como todos los vehículos y personas.

### **3.1.9.3 DESPUÉS**

- Efectuada la voladura el sitio deberá ventilarse por lo menos 30 minutos, puesto que los gases nitrosos de los explosivos son nocivos para la salud.
- Cuando se este trabajando en túneles se deberá aplicar vapor de agua al ambiente para neutralizar el efecto de los gases tóxicos propios de la voladura.
- Verificar que no hayan quedado cargas sin detonar, para evitar accidentes en la remoción.
- Nunca perfore, atraviese o trate de sacar una carga de explosivo que haya fallado.
- Verifique los alrededores del área de la voladura para descartar posibles accidentes.

## **3.2 PROCEDIMIENTO A SEGUIR EN FALLAS EN LA DETONACIÓN**

Las principales razones que se presentan en la no detonación de una carga son dadas por las siguientes situaciones particulares:

- El explosivo esta húmedo o defectuoso.
- La mecha esta húmeda o defectuosa.
- La mecha ha sido cortada oblicuamente.
- La mecha no se ha introducido completamente en el detonador hasta llegar a su carga, por ejemplo una conexión defectuosa.
- El material de retacado con tiene gravilla o piedras afiladas que han dañado el cordón detonante, la manguera del nonel o la mecha de seguridad.
- La mecha no fue encendida.
- Interrupción en la combustión de la mecha.
- El detonador es poco potente o esta averiado.

- Han quedado cuerpos extraños en el detonador.
- El detonador ha sido instalado descuidadamente y le ha penetrado agua, dañando el extremo de la mecha o la carga.
- El detonador se ha separado de la carga explosiva.
- Las cargas han quedado separadas las unas de las otras por piedras u otros elementos.
- Hay demasiado espacio entre ellas.
- Los cables de conducción eléctrica están dañados o interrumpidos.
- Las uniones de los cables no se hinchieron correctamente o han quedado en contacto con rieles, tuberías, descarga o masa.
- El cable de conducción eléctrica utilizado, no es el más adecuado.

Procedimiento a seguir cuando se presentan fallas en la detonación:

### **3.2.1 CEBADO ELÉCTRICO**

- Retire la fuente de poder o explosor del cable principal y polarice las puntas para evitar que se presente flujo de energía por medio de agentes externos.
- Se debe esperar un tiempo prudente como mínimo 20 minutos para revisar la carga, este trabajo debe efectuarlo la persona encargada de las detonaciones.
- La revisión se debe efectuar iniciando con la inspección de la línea principal de cable conductor para identificar posibles averías y rupturas del mismo.
- Evite al máximo la presencia de personal inexperto en el área donde esta la carga fallida, deben estar a una distancia de mínima de seguridad de 200 metros.
- Se deben separar los extremos del detonador eléctrico del cable conductor y aislarlos.
- Evite en todo momento sacar el detonador de la carga principal si este se encuentra totalmente adherido al explosivo, nunca perfore, atravesese o trate de sacar la carga fallida del lugar donde se encuentra.
- Utilice para la destrucción una carga dirigida o una contracarga para que se inicie por simpatía.

### 3.2.2 CEBADO INELECTRICO

- Se debe esperar un tiempo prudente como mínimo 30 minutos para revisar la carga, este trabajo debe efectuarlo la persona encargada de las detonaciones.
- Evite en todo momento sacar el detonador de la carga principal si este se encuentra totalmente adherido al explosivo, nunca perfore, atraviase o trate de sacar la carga fallida del lugar donde se encuentra.
- Nunca perfore, atraviase o trate de sacar la carga fallida del lugar donde se encuentra.
- Utilice para la destrucción una carga dirigida o una contracarga para que se inicie por simpatía.

### 3.3 COMO MINIMIZAR LOS RIESGOS POR GASES



Figura 3-9 Medidas de seguridad con explosivos.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

- Utilice un cartucho de diámetro proporcional de modo que sea adecuado al trabajo que se va a ejecutar.
- No utilice explosivos que se hayan dañado o deteriorado.
- Los explosivos no se deben retirar de los cartuchos.
- No sobrecargue los barrenos.
- No adicione papel u otro material combustible a la carga.



- Evite todas las condiciones que puedan causar incendios en el lugar de la detonación de los explosivos.
- Para trabajos en sitios húmedos, utilice explosivos que sean resistentes al agua y disponga la voladura tan pronto como sea posible después del cargue.
- Confine bien la carga realizando o utilizando una buena atacadura.
- Suministre ventilación adecuada y asegúrese que el aire este dirigido hacía las posiciones de trabajo.
- Permita el máximo de tiempo después de la voladura, antes de regresar al sitio de disparo con el fin de evitar en el aire presencia de monóxido de carbono y otros gases peligrosos para su salud.

### **3.3.1 MEDIDAS DE SEGURIDAD EN DESTRUCCIÓN DE EXPLOSIVOS**

- Al realizar destrucción de explosivos por incineración evite quemar los explosivos con sus empaques o cajas en el que vienen embalados.
- En el momento de iniciar el fuego evite hacerlo directamente, utilice un piloto de papel bien seco o impregnado de combustible de una longitud mínima de 60 cms.
- En caso de formación de costras, es conveniente recogerlas y proceder a enterrarlas.
- Siempre que se vaya a destruir mecha de seguridad, es recomendable hacerlo por medio de la incineración.
- Terminada la incineración se dejara como mínimo media hora para proceder a la verificación, tiempo en el cual se enfrían los restos.
- Destruya o deshaga los explosivos de estricto acuerdo con los métodos aprobados.
- No deje los explosivos, cartuchos vacíos, cajas u otros materiales utilizados para el embalaje de los explosivos, al alcance de los niños, de personas no autorizadas, del ganado o de animales domésticos.
- No permita que la madera, papel o materiales de fibra utilizados para el embalaje de los explosivos sea quemado en estufa, chimeneas u otro sitio encerrado, ni que sean utilizados para fin alguno. Dichos materiales deben quemarse en un

sitio aislado, a la intemperie y nadie se situara a menos de 200 metros de distancia, una vez encendido el material.

## CAPITULO IV

### CARGAS DE DEMOLICIÓN

#### 4.1 CARGAS DE DEMOLICIÓN

Las cargas de demolición en bloque, son preempacadas de alto explosivo, las cuales se usan en las operaciones generalmente de demolición, tales como las de corte, ruptura y formación de cráteres.

Las cargas de demolición son diseñadas para suplir necesidades de tipo militar aunque se pueden utilizar en la industria minera, la mayor parte de estas cargas son de tipo rectangular lo que hace que sea de fácil aplicación para ajustarla a blancos regulares.

Están compuestas por alto explosivo TNT, Tetritol, compuestos de la serie C y Nitrato de Amonio.

##### 4.1.1 BLOQUE DE CARGA DE DEMOLICIÓN DE TNT



Figura 4-1 Bloque de TNT.  
Fuente: ATF.

El bloque de demolición de TNT, es una carga a base de TNT puro el cual se producen en tamaños de 1/4 de libra (113 gramos) en recipiente cilíndrico, los de 1/2 (227 gramos) y 1 libra (454 gramos) en recipientes rectangulares, estos recipientes son de cartón y los 3 tienen extremos de metal con un receptáculo roscado para la cápsula detonante en uno de los extremos.

Se usa para fines de entrenamiento y de demoliciones. Tienen la ventaja de poseer una alta velocidad de detonación, son estables, relativamente insensibles a las sacudidas o fricciones y son resistentes al agua. Las cargas de TNT son efectivas para todos los tipos de

operaciones de demolición, salvo las cargas especiales de corte de acero. Sin embargo, se emplea la carga de 1/4 de libra principalmente para fines de entrenamiento.

La desventaja es que no pueden moldearse y no pueden ser empleados en recintos cerrados ya que producen gases venenosos.

Las cargas de TNT no pueden ser moldeadas y son difíciles de usar en blancos de forma irregular. Se adapta particularmente bien para cortar o romper material de superficie dura.

NOTA: El color del recipiente puede variar dependiendo de la edad de los materiales o una exposición prolongada a las inclemencias climatológicas.

#### 4.1.2 BLOQUE DE CARGA DE DEMOLICIÓN M112



Figura 4-2 Carga de Demolición M112.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

El bloque de demolición M112, esta compuesto por explosivo compuesto C-4, de color blanco y textura maleable. Consta de 1 1/4 libra de compuesto C4 empacado en un recipiente de película de plástico color verde oliva, con una cinta adhesiva sensitiva a la presión en una superficie, protegido con una cubierta de papel que se puede desprender.

Se usa principalmente en cargas cortantes ya que alcanza una elevada temperatura en el momento en que es detonado, además su forro adhesivo permite que la carga sea conectada a casi cualquier superficie plana y seca en temperaturas a mayores que la de congelación puede moldearse para ajustarse a los blancos de forma irregular.

Los explosivos son venenosos y peligrosos si se mastican o se ingieren; y algunos de ellos en su detonación producen gases venenosos.

El bloque de demolición M112 viene empacado en cajas de madera por 30 unidades y recubierto por un empaque de color plateado que lo mantiene protegido contra la humedad y los factores externos. Las medidas reglamentarias del bloque son de 25,40 centímetros de longitud, 5,08 centímetros de ancho y 2,54 centímetros de espesor, cuenta con 327,74 centímetros cúbicos. Cuenta con un peso de 567 gramos por bloque.



Figura 4-3 Caja de empaque del M112.  
Fuente: ATF.

#### 4.1.3 BLOQUE DE CARGA DE DEMOLICIÓN M-118

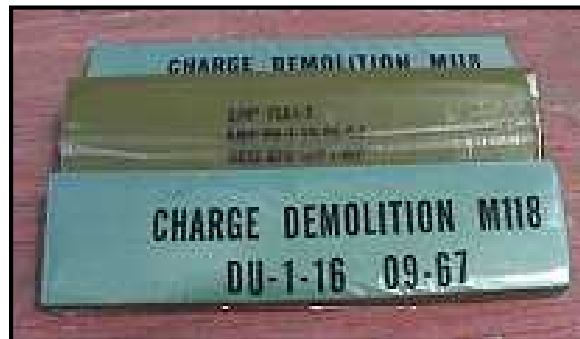


Figura 4-4 Carga de Demolición M118.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

Es un bloque de fabricación americana que contiene 4 hojas de media libra de explosivo (227 gramos) PENT o RDX, de color verde oliva, flexible empaçado en un sobre plástico, cada hoja de explosivo tiene una cinta adhesiva sensitiva a la presión y conectada a una superficie. Diseñada para usarse como carga cortante y especialmente, para usarlas contra blancos de acero, son fáciles de cortar en cualquier dimensión deseada, no son afectadas por el agua, la cinta adhesiva no se adhiere a las superficies sucias oxidadas o congeladas.

La carga M118 es eficaz como carga de perforación pequeña, aunque debido a su elevado costo, no se recomienda como carga explosiva a granel.

La flexibilidad y adhesión de las hojas permiten su aplicación a una gran variedad de blancos. La carga M118 no es afectada por el agua, lo que lo hace aceptable para demoliciones submarinas.

La flexibilidad y adhesión de las hojas permiten su aplicación a una gran variedad de blancos. Se puede cortar la hoja de 1/2 libra a la dimensión deseada y aplicar en capas para obtener el espesor deseado.

El bloque de demolición M118 tiene un peso de 2 libras, ancho del bloque 7,62 centímetros y un espesor de 2,54 centímetros. Cada lamina del bloque demolición M118 tiene un peso de 1/2 libra (227 gramos), y un espesor de 1/4 de pulgada.



Figura 4-5 Lámina de M118.  
Fuente: Grupo MARTE

El bloque de demolición M118 viene empacado en cajas de madera, por cada caja vienen 20 bloques y por cada bloque vienen 4 láminas.

#### 4.1.4 ROLLO DE CARGA DE DEMOLICIÓN M-186

Explosivo plástico laminar de color verde oliva. Es idéntica a la carga de demolición M-118 excepto que el explosivo en hoja se ofrece en formas de un rollo de 15,24 metros en un carrete plástico. Mide aproximadamente 7,62 centímetros de ancho por 0,635 centímetros de profundidad. La hoja tiene cinta adhesiva sensible a la presión colocada a una superficie. Cada pie de rollo proporciona aproximadamente media libra de explosivo.



Figura 4-6 Carga de Demolición M186.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

La carga M186 es adaptable para la demolición de blancos que requieren el uso de explosivos flexibles con longitudes mayores que 30,48 centímetros, y tiene todas las ventajas de la carga de demolición M118. Se puede cortar la M186 a las longitudes deseadas y una de sus limitaciones es que el respaldo adhesivo no se adhiere a superficies húmedas, sucias, oxidadas o frías.

Cada metro de M118 proporciona aproximadamente 744 gramos de explosivo, el cual contiene PETN o RDX. Los explosivos exactos contenidos varían de un fabricante a otro.

Las cargas fabricadas más recientemente pueden incluir incluso otros explosivos.

#### 4.1.5 CARGA DE DEMOLICIÓN DE PENTOLITA



Figura 4-7 Carga de Demolición Pentolita.  
Fuente: INDUMIL.

Explosivos de uso militar diseñados como bloques de Pentolita, con la finalidad de producir a través de la liberación de su energía destrucciones o demoliciones de estructuras u otros.

La carga de demolición de pentolita viene en presentación rectangular en diferentes tamaños que se ajustan a los diferentes trabajos de demolición. El bloque cuenta en la parte superior con un orificio que atraviesa la carga, para la inserción del detonador o el cebado del cordón detonante.

La carga de demolición de pentolita cuenta con un recubrimiento en cartón con el cual se puede identificar sus características principales y el nombre de la industria militar colombiana que la produce.

## USOS

- Para demoliciones de columnas, puentes y construcciones en general.
- Para talar o cortar árboles.
- Se usa como carga reforzadora en explosivos insensibles al detonador.
- Como contracarga en la destrucción de minas antipersonales.
- Se puede iniciar o detonar con cordón detonante, detonador eléctrico o común N° 8, para lo cual se hace necesario utilizar mecha de seguridad.
- No fracture este producto para obtener tamaños menores ya que resulta ser una operación no recomendada e insegura.
- Mantenga el producto lejos de fuentes de ignición y de altas temperaturas.
- Durante su manipulación evite el uso de herramientas que generen chispas.
- Recuerde por ser un alto explosivo, en las detonaciones se generan grandes proyecciones, por tanto se deben conservar las distancias mínimas de seguridad en el momento de la detonación.
- Cuando emplee el producto en demolición de estructuras civiles procure proteger con materiales absorbentes de partículas la estructura a derrumbar.
- Procure que no haya presencia de personal civil en las inmediaciones de la voladura.
- Presenta buena resistencia a la humedad.

## ESPECIFICACIONES

1. Seguridad en su manejo, aunque se debe tratar con los cuidados y normas de un alto explosivo.
2. Constituido por pentolita.
3. Bloque perforado longitudinalmente con el objeto de colocar el iniciador.
4. Sensible al detonador N° 8 común, eléctrico o no eléctrico (nonel) y cordón detonante.



5. Unidades con numeración codificada visible.
6. Empacado en cajas de cartón.

A continuación se dan las especificaciones de peso y medidas que presentan las diferentes presentaciones de la carga de demolición.

Dimensiones del Bloque de pentolita .....	1/8 kg	7.9X3.5X3.5
En centímetros. ....	1/4 kg	8.0X5.0X5.0
.....	1/2 kg	9.5X6.7X5.0
.....	1 kg	13.5X10X5.0

PRODUCTO	CÓDIGO VENTAS	DIMENSIÓN PESO UNITARIO	UNIDADES EMBALAJE
CARGA DEMOLIC.	6991	1/8 kg	Und. hasta 25
CARGA DEMOLIC.	6993	1/4 kg	Und. hasta 25
CARGA DEMOLIC.	6992	1/2 kg	Und. hasta 25
CARGA DEMOLIC.	6994	1 kg	Und. hasta 25

#### 4.1.6 DETASHEET

El detasheet son cargas explosivas laminares, compuestas de explosivo PENT, de color verde oliva, estas son cargas de demolición flexibles e impermeables que son insensibles al impacto, fáciles de cortar para ser colocada sobre cualquier blanco. Se encuentran en una variedad de formas.

Se conocen con el nombre de composición C y se complementa de acuerdo al espesor de la lamina, esta puede ser C2,C3,C5,C6,C8, entre mayor sea el numero, mayor será el espesor de la lamina, viene en rollos cubiertos por un papel especial que evita que las laminas se unan entre si y evita el deterioro del explosivo.

Se puede cortar fácilmente dándole cualquier forma y aplicarse con un adhesivo al blanco, o usarse para improvisar cargas de forma lineal. Se usa en el sector ferrocarrilero o en trabajos de demolición general.



Figura 4-8 Detasheet – C-6.  
Fuente: Grupo Marte ESING.

## **4.2 CARGAS EXPLOSIVAS ESPECIALES**

Esta clase de cargas fueron diseñadas para suplir necesidades de tipo militar, están compuestas de explosivos de alto poder y bajo poder, dependiendo del uso para el cual han sido diseñadas, la mayoría de estas cargas son utilizadas para la apertura de brechas, creación de cráteres, zanjas, destrucción de vías y como cargas dirigidas para la perforación.

### **4.2.1 CARGA DE DEMOLICIÓN EN BLOQUE DE 40 LIBRAS DE NITRATO DE AMONIO**

También recibe el nombre de carga de embudo. Es un recipiente cilíndrico de metal con aproximadamente 30 libras de un explosivo a base de nitrato de amonio y un multiplicador explosivo a base de TNT de aproximadamente 10 libras en la parte del centro al lado de el orificio del detonador, utilizado en las operaciones de formación de cráteres y zanjas. También puede usarse para destruir edificios, fortificaciones y para derribar los estribos de los puentes, su producción es de bajo costo en comparación con los otros explosivos.

En la parte posterior cuenta con un sistema de aro el cual le facilita su sujeción en el momento en de ser utilizada en barrenos profundos, su empaque o revestimiento en metal le brinda protección en factores climáticos y en el uso descuidado de la carga.

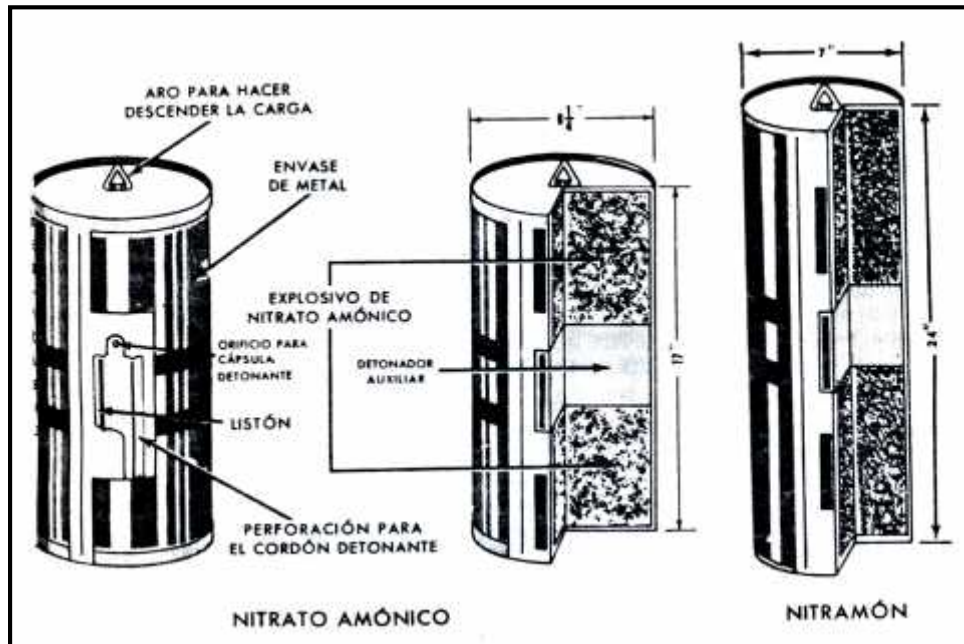


Figura 4-9 Carga de Demolición de 40 libras.  
Fuente: Grupo Marte ESING.

#### 4.2.2 CARGA DE 40 LIBRAS DE COMPOSICIÓN H6



La carga de composición B para abrir cráteres. Es un recipiente cilíndrico metálico a prueba de agua con 40 libras de explosivo composición H6 y 0.43 libras de reforzador de explosivo composición A5 en la parte superior. Las instrucciones que aplican al cebado están impresas en un costado del recipiente. Hay un aro de metal en la parte superior del recipiente para bajar la carga en el agujero o barreno.

La carga de composición B es apropiada para operaciones de tipo militar en la apertura de cráteres y zanjas. Aunque la carga fue elaborada para los fines anteriormente mencionados se puede emplear en otra serie de requerimientos como la destrucción de edificios, fortificaciones y estribos de puentes.

Figura 4-10 Carga de 40 libras Composición H6.

La ventaja de esta carga radica en su tamaño y forma, lo que la hace ideal para operaciones para abrir cráteres. Su fabricación no es costosa cuando se compara con otros explosivos.

#### 4.2.3 CARGA DIRECCIONAL DE DEMOLICIÓN DE 15 LIBRAS M2A4

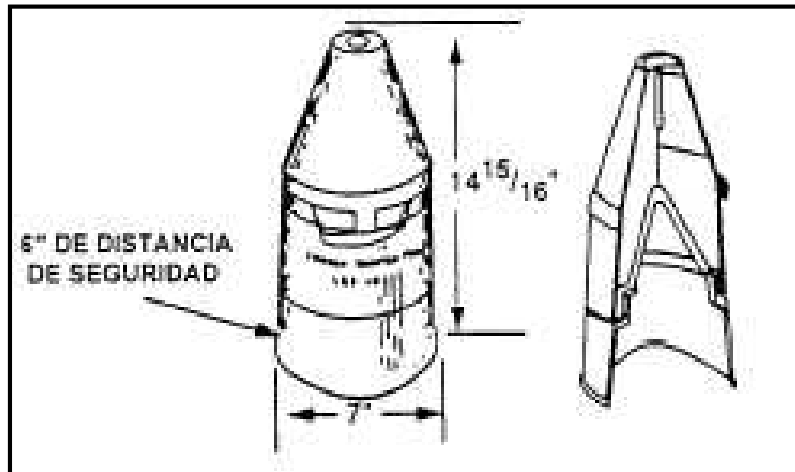


Figura 4-11 Carga de 15 libras M2A4.  
Fuente: Manual FM 5-250.

La carga M2A4 contiene un reforzador de 0.11 libras de composición A3 y una carga principal de 11.5 libras de composición B. Está empacada con tres cargas por caja de madera (peso total de 65 libras). Esta carga tiene un recipiente de fibra

moldeado a prueba de humedad. Una base cilíndrica de fibra se introduce sobre el extremo de la carga para proporcionar un área de 15,24 centímetros de seguridad. El revestimiento de la cavidad es un cono de vidrio. La carga tiene 14-15/16" de altura y 7" de diámetro, incluyendo la distancia de seguridad.

La carga tiene forma de cono, en la parte superior cuenta con un orificio adecuado para realizar el cebado el cual es recomendable realizarlo con cordón detonante, en la parte inferior la carga cuenta con un cono acumulativo de gases que dirige la presión explosiva.

La carga es de color verde oliva y básicamente es utilizada en la apertura de barrenos, para la inserción de las cargas cráter y las cargas de 40 libras, en la destrucción de pistas de aterrizaje y apertura de zanjas antitanque.

#### 4.2.4 CARGA DIRECCIONAL DE DEMOLICIÓN DE 40 LIBRAS M3A1

La carga M3A1 contiene un reforzador de 0.11 libras de composición A3 y una carga principal de 29.5 libras de composición B. Está empacada una carga por caja (peso total de 65 libras). La carga está en un recipiente de metal y el revestimiento del cono es también metálico. Un trípode de metal proporciona una distancia de seguridad de 15". La carga tiene 15-1/2" de altura y 9" de diámetro, sin incluir la distancia de seguridad.



Figura 4-12 Carga de 40 libras M3A1.  
Fuente: Grupo Marte ESING.

## USO

El uso principal de la carga de demolición direccional es hacer hoyos en la tierra, metal, mampostería, hormigón y caminos pavimentados y secundarios. Su eficacia depende principalmente de su configuración, composición y colocación,

La carga tiene una capacidad de perforación en terreno normal de 2 metros, con un diámetro aproximado de 18 cms, en el cual encaja perfectamente las cargas para la apertura de cráteres y zanjas.

Este uso de cargas de demolición cualquiera que sea no deben afectar la población civil.

## PRECAUCIONES ESPECIALES

Para alcanzar la máxima efectividad de las cargas direccionales.

- Coloque la carga sobre el centro del objetivo.
- Ponga el eje de la carga en línea con la dirección del hoyo deseado.
- Use el pedestal para obtener la debida distancia de seguridad.
- Suspenda la carga en la altura apropiada con jalones o trípodes si el pedestal no proporciona la distancia de seguridad apropiada.
- Retire cualquier obstrucción en el revestimiento de la cavidad o entre la carga y el blanco.

### 4.2.5 CONJUNTO DE LA CARGA DE DEMOLICIÓN M183

La carga concentrada M183 consta de 16 bloques de demolición (C4) M112 y 4 conjuntos de cebado con peso explosivo total de 20 libras. Se obtienen los bloques de demolición en dos bolsas, 8 bloques por bolsa, y las dos bolsas se obtienen en una caja de carga de lona M85.

Se pueden obtener dos cajas M85 en una caja de madera de 17-1/8 x 11-1/2 x 12-1/2 pulgadas. Cada conjunto de cebado consta de un cordón detonante de 1,52 metros de longitud con un reforzador RDX prensado en cada extremo y un par de retenes de cordón detonante M1 para fijación del conjunto de cebado a un aro o línea principal de cordón detonante.

Se usa el conjunto M183 principalmente para la penetración de obstáculos o demolición de estructuras cuando se requieren cargas de demolición grandes. La carga M183 es también eficaz contra obstáculos reducidos.

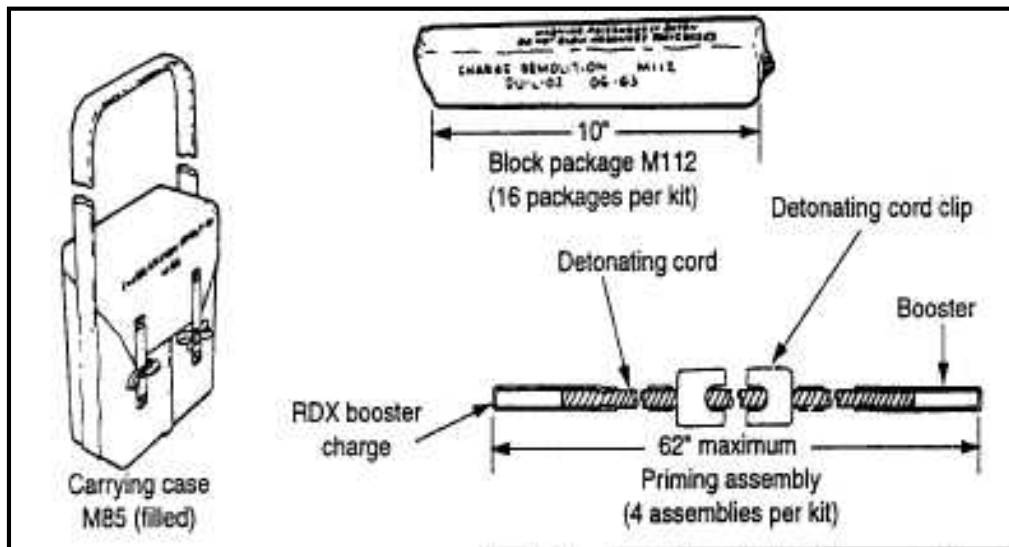


Figura 4-13 Carga de Demolición M183.  
Fuente: Manual FM 5-250.

**LEYENDA:**

Block package m112 (16 packages per kit): Grupo de bloques m112 (16 grupos por juego).

RDX booster charge - Carga reforzadora RDX

Carrying case M85 (filled) - Estuche de carga M85 (lleno)

Detonating cord - Cordón detonante

Detonating cord clip. Pasador del cordón detonante

Booster - Reforzador

62" maximum, Priming assembly - 62" máximo, Conjunto de cebado (4 assemblies per kit) - (4 conjuntos por juego).

#### 4.2.6 CONJUNTO DE DEMOLICIÓN TORPEDO BANGALORE M-1A1 M-1A2

Cada juego consta de 10 conjuntos de tubo, 10 manguitos de conexión y un manguito de cabeza. Los conjuntos de tubo, o torpedos, son tubos de acero de 1,52 metros de longitud y 2-1/8" de diámetro, ranurados y cerrados en cada extremo. Los torpedos tienen un reforzador de composición A3 de 10,16 centímetros (1/2 libra de peso) en ambos extremos de cada sección de 1,52 metros. La carga explosiva principal tiene 10 libras de composición B4. El juego está contenido en una caja de madera de 60-3/4 x 13-3/4 x 4-9/16 pulgadas.

Los torpedos M1A1<sup>14</sup> están cargados con Amatol y tienen un multiplicador de 10,16 centímetros de TNT en cada extremo. Los torpedos M1A2 poseen la carga principal de compuesto B y el multiplicador a cada extremo es de compuesto A3 con cada equipo se suministran mangas de conexión y mangas de ojivas.

Se utiliza para abrir sendas o brechas a través de campos minados y alambradas. Las sendas que abre tienen en área de seguridad de 3 a 4 metros en alambradas y en campos minados hacen estallar todas las minas antipersonales y la mayoría de las antitanque, las que quedan en los bordes de la senda quedan sensitivas y se corre el riesgo en un intento de segundo despeje la distancia prudente de seguridad es de un metro.

#### 4.2.7 TORPEDO BANGALORE INDUMIL



Figura 4-14 Torpedo Bangalore INDUMIL.  
Fuente: INDUMIL.

Explosivo de uso militar, diseñado como un tubo de PVC cargado con un alto explosivo y que consta de ojiva, cuerpo y accesorios para efectuar uniones que permitan alcanzar la longitud requerida.

<sup>14</sup> La información suministrada referente a las cargas direccionales M2A4, M3A1, carga de 40 libras de composición H6, carga de demolición M183 y torpedo bangalore M-1A1 y M-1A2, fue extraída tomando como base el manual de explosivos y demoliciones FM 250.

Cada sección tiene un multiplicador integrado al explosivo, lo que hace posible emplearlo individualmente. Para utilizarlo a longitudes mayores, elimine la tapa semicilíndrica y empalme este extremo con el opuesto de otro tubo bangalore y así sucesivamente hasta la longitud deseada.

El torpedo tipo bangalore se usa para destruir alambradas entre tres y cinco metros de ancho y en casos de emergencia como carga de demolición.

Se utiliza para abrir brechas en los campos minados, tomando todas las medidas de precaución para evitar activar las minas en el momento de su colocación.

Para iniciar o hacer la detonación retire la tapa del extremo opuesto al de la ojiva y coloque en su alojamiento la cápsula detonante o detonador eléctrico, emplee la mecha de seguridad teniendo en cuenta que su velocidad de combustión es de 117 a 143 seg/m.

Recuerde en todo momento tomar las distancias de precaución requeridas para protección del personal.

## CARACTERÍSTICAS

- Seguridad en su manejo, aunque se debe manipular con los cuidados y normas establecidas en el presente manual, ya que es un alto explosivo.
- Constituido por TNT y un multiplicador integrado al explosivo.
- Puede ser usado individualmente, o con empalme de un extremo con el opuesto de otro bangalore, y así sucesivamente hasta la longitud deseada.
- Sensible al detonador No. 8.
- Unidades con numeración codificada visible.
- Empacado en tubos de PVC, con una ojiva y accesorios de empalme entre uno y otro.
- Se puede iniciar con detonadores comunes y mecha de seguridad, detonador eléctrico o nonel de suficiente longitud de protección.

DATOS TÉCNICOS	
Longitud de la carga explosiva (m)	1.5
Diámetro de la carga explosiva (m)	0.05
Peso del explosivo (Kg.)	5.5
Explosivo	TNT
Sistema de ojiva	Tapa semicilíndrica
Sistema de acople	Por rosca
Sensibilidad al detonador No.º 8	Positiva (Común, eléctrico o nonel)

### 4.2.8 CARGAS CRÁTER



Es una carga diseñada en un recipiente metálico o plástico las cuales se diferencian entre sí por la longitud, siendo la carga plástica más grande que la metálica, la carga contiene internamente explosivo anfo, con un reforzador de pentolita en la parte central que atraviesa la carga, el explosivo se encuentra cubierto por una bolsa plástica la cual la mantiene libre de humedad y de agentes externos.

Por sus características de empuje o levantamiento, se utilizan para abrir cráteres, que sirven como obstáculos antitanques y para la destrucción de pistas de aterrizaje.

### CARACTERÍSTICAS

- Seguridad en su manejo, aunque se debe tratar con los cuidados y normas de un alto explosivo.
- Constituido por anfo y un multiplicador integrado al explosivo.
- Envase cilíndrico plástico, con dos perforaciones en la parte media para el cebado.
- Se usan dos sistemas de cebado, empleando cordón detonante y detonador N° 8 comunes y mecha de seguridad, detonador eléctrico o nonel de suficiente longitud de protección.
- Sensible al detonador N° 8 y cordón detonante en su parte de iniciación.
- Unidades con numeración codificada visible.
- Se debe verificar distancias mínimas de seguridad para detonarlas.

<b>DATOS TÉCNICOS</b>	
Altura total (cm.)	65
Diámetro de la carga explosiva (cm.)	16
Explosivo	ANFO, iniciador de Pentolita
Sensibilidad al detonador No. 8	Positiva (Común, eléctrico o Nonel)
Peso neto (kg.)	11
Resistencia a ala humedad	Buena
Garantía	6 meses

Para el uso de la carga cráter en el momento de realizar el cebado se recomienda hacerlo por medio de un cordón detonante, cuando se va a realizar destrucción de pistas o apertura de zanjas, además se deben de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Defina acorde con la magnitud de la pista los puntos a detonar para inhabilitarla.

- Excave huecos con un diámetro ligeramente superior al de la carga cráter.
- Traslade las cargas y colóquelas cerca del barreno.
- Introduzca el detonador en el orificio central donde se ubica el iniciador con Pentolita.
- Considere el dispositivo de arranque de la carga que puede ser:  
Mecha de seguridad más detonador común.  
Detonador eléctrico.  
Detonador Nonel.
- Evalúe la situación anterior y defina las distancias y el refugio en los cuales se habrá de ubicar el personal. Recuerde que por la magnitud del explosivo contenido en la carga cráter se generan muchas proyecciones de materiales contiguos al barreno, colocando en peligro la integridad del personal constituyente del equipo.



Figura 4-15 Carga Cráter.  
Fuente: INDUMIL.

#### 4.2.9 CARGA DIRIGIDA



Figura 4-16 Carga Dirigida.  
Fuente: INDUMIL.

Es una carga especial dirigida fabricada por la industria militar colombiana Indumil, es un explosivo de uso militar, diseñadas con acción detonante dirigida, basadas en el efecto munroe que busca concentrar la energía en un solo punto.

La carga es de color verde oliva y viene en dos presentaciones de acuerdo al peso de la carga y dependiendo de las necesidades de tipo militar, la de 12,4 kilogramos y 5,6 kilogramos. Elaborada con explosivo TNT y un reforzador de pentolita, su sistema de iniciación se debe realizar por la parte superior en donde se encuentra el alojamiento para el cebado.

Se usa para perforar placas de acero, concreto u hormigón y otras clases de mampostería.

## CARACTERÍSTICAS

- Seguridad en su manejo, aunque se debe tratar con los cuidados y normas de un alto explosivo.
- Constituido por TNT y un multiplicador integrado al explosivo.
- Para lograr efecto máximo, se debe colocar la carga en el centro del objetivo y en línea con la dirección del agujero.
- Sensible al detonador No. 8 en su parte de iniciación.
- Unidades con numeración codificada visible.
- Se fabrica en lámina de acero.
- Se puede iniciar con detonadores comunes y mecha de seguridad, detonador eléctrico o nonel de suficiente longitud de protección.
- Se debe verificar distancias mínimas de seguridad para detonarlas.

<b>DATOS TÉCNICOS</b>		
Modelo	5.6 kg	12.4 kg
Altura total con trípode (cm.)	41	74
Diámetro de la carga explosiva (cm.)	16.6	24.2
Explosivo	TNT, iniciador de Pentolita	
Sensibilidad al detonador No. 8	Positiva(Común, eléctrico o nonel)	

MATERIAL	INFORMACIÓN	5,6 Kg.	12,4 Kg.
Placa de acero	Penetración	30 Cms máximo	50 Cms máximo
	Diámetro de perforación	3,8 Cms máximo	6,3 Cms máximo
Concreto reforzado	Penetración	76 Cms máximo	150 Cms máximo
	Diámetro de perforación	5 Cms máximo	5 Cms máximo

#### 4.2.10 CARGA JUMBO JET

La carga jumbo jet, es una carga dirigida de fabricación Americana utilizada para la perforación de rocas y también para la destrucción de artefactos explosivos, las encontramos de diferentes tamaños, el explosivo que encontramos en su interior es pentrita, resistente a la humedad. Para iniciar cualquiera de estas cargas se requiere el uso del cordón detonante.

La carga Jumbo Jet se caracteriza por tener forma de campana, los tamaños varían dependiendo del número de referencia al que pertenece. La carga debe ser iniciada solamente por medio de cordón detonante de 12 gramos ya que un gramaje menor no esta en capacidad de iniciarla totalmente, para un perfecto cebado de la carga adhiera el cordón a la parte superior de la carga verificando que el cordón detonante quede en contacto con el orificio.

Algunas cargas traen en la parte superior un anillo en el cual se encastra el cordón detonante perfectamente. Se recomienda realizar la detonación a una distancia segura, ya que el cuerpo de la carga es metálico, lo que origina en el momento de la detonación fragmentos.



Figura 4-17 Carga Jumbo Jet.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

#### 4.2.11 CARGA HUECA DIRIGIDA

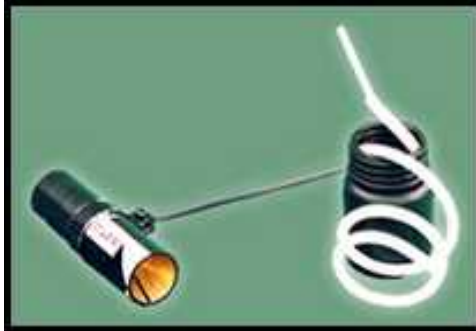


Figura 4-18 Carga Hueca.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

Es una carga especial de uso militar diseñada para la destrucción de artefactos explosivos improvisados y municiones fallidas, evitando de esta manera el alto riesgo de tener que manipular estos elementos al tratar de desactivarlos.

Contiene internamente pentolita envasada en un tubo de PVC, de color verde oliva, en uno de sus extremos cuenta con un orificio para la inserción del cebado, en el otro extremo se encuentra un cono acumulativo de gases el cual trabaja por medio del efecto munroe.

La carga hueca trae adherida una flecha la cual indica la forma correcta de colocar la carga, además cuenta con un alambre en cobre que permite la ubicación de la carga, La industria militar produce los cebados inelectricos para la carga, estos vienen empacados en tarros de color verde oliva, con una longitud de mecha lenta la cual brinda un tiempo de combustión de aproximadamente 1,45 minutos (minuto y cuarenta y cinco segundos). Tiempo suficiente para que el usuario tome una posición que le brinde seguridad.

Es usada en:

- En destrucción de diferentes artefactos militares fallidos.
- Activación segura y destrucción de minas antipersonal, trampas cazabobos y minas quiebrapatas.
- Destrucción de artefactos desde granadas de mano hasta munición de mediano calibre como proyectiles de mortero calibre 120 mm.



Figura 4-19 Carga Hueca.  
Fuente: INDUMIL.

## CARACTERÍSTICAS

- Seguridad en su manejo, aunque se debe tratar con los cuidados y normas de un alto explosivo.
- Constituida por 50 g de pentolita (50 % PETN, 50 % TNT).
- Gran penetración en blindajes de acero hasta de media pulgada.
- Penetración hasta 6 veces el diámetro de la carga.
- La distancia óptima del objetivo es de 76 mm.
- Sensible al detonador N° 8.
- Unidades con numeración codificada visible.
- Empacado en tubos de PVC, con un cono metálico que le permite originar su efecto de penetración, las cargas explosivas embaladas en cajas de madera o plásticas hasta un peso neto de 25.0 kg. Sin su sistema de iniciación.
- Constituidas por la carga explosiva y por aparte el sistema de iniciación detonador común N°8 y 700 mm de mecha de seguridad debidamente ensamblados y empacados en un recipiente plástico.
  
- Con el fin de lograr el máximo efecto se deben tener las siguientes precauciones:
  - Coloque la carga en el centro del punto del objetivo.
  - Coloque el eje de la carga en línea con la dirección del agujero.
  - Asegure que no haya obstrucción en el cono inferior o entre la carga y el objetivo.
  - En consideración al gran poder explosivo se deben tener en cuenta especiales medidas de precaución al momento del disparo a fin de prevenir que las personas resulten heridas por efecto de partículas que viajan a grandes velocidades.
  - Identifique el objetivo a destruir.
  - Evalúe el área perimetral al objetivo para planear la forma adecuada de posicionar la carga.
  - Prepare la carga cebándola con la mecha de seguridad y el detonador común los cuales se entregan ya ensamblados y listos para el uso.
  - Apelando al sentido común considere la posibilidad de realizar el cebado de la carga con detonador eléctrico a fin de posibilitar mayores distancias de seguridad al momento del disparo.
  - Posicione la carga siguiendo la dirección del letrero OBJETIVO, afirmando el alambre de anclaje en la tierra, o superficie que usted haya elegido para garantizar la rigidez del conjunto.
  - Inicie la mecha de seguridad o el sistema sustituto de iniciación, considerando en todo momento haber elegido una distancia y refugio seguro y alcanzable en términos de tiempo contado desde el momento del disparo.

- Espere por lo menos 30 segundos luego de la detonación, antes de salir de la protección.
- Si no se produce la detonación de la carga hueca espere 10 minutos antes de indagar la causa

DATOS TÉCNICOS	
Densidad carga explosiva ( g/cm <sup>3</sup> )	1.60
Velocidad de detonación ( m/s )	6700
Sensibilidad al detonador No. 8	Positiva
Longitud de la carga explosiva (mm)	110
Diámetro de la carga explosiva (mm)	38
Longitud soporte escualizable (mm)	150
Peso del explosivo (g)	50

#### 4.2.12 CARGA DE DEFENSA DIRIGIDA



Figura 4-20 Carga de Defensa Dirigida.  
Fuente: INDUMIL.

Carga dirigida de uso militar a base de pentolita con orientación específica al frente de ataque, usada para protección de bases militares con sistemas pasivos de alerta temprana: SEPAT, SECAT-1 y SIDEPAM.

Es una carga de forma redonda soportada sobre dos alambres de cobre o una estaca metálica que facilita la colocación. Internamente contiene el explosivo y en la parte frontal del explosivo se encuentra adherida la metralla que sale expulsada en el momento de presentarse la detonación.

La carga trae adherida una flecha la cual indica la forma correcta de cómo debe colocarse indicando la dirección del enemigo, trae un orificio en uno de sus costados para la inserción del detonador y a la vez evita que le ingrese humedad por causa de las lluvias.

Se usa como carga defensiva, con activación a voluntad del comandante que tiene bajo su cargo la protección de la base o patrulla, a través de los dispositivos electrónicos, eléctricos o mecánicos según como se aplique.

#### CARACTERÍSTICAS

- Seguridad en su manejo, aunque se debe tratar con los cuidados y normas de un alto explosivo.
- Constituida de pentolita. Sensible al detonador No. 8.
- Unidades con numeración codificada visible.
- Empacada en recipiente de PVC, direccional y las cargas explosivas embaladas en cajas de madera.
- De orientación estricta como lo indica la flecha de objetivo.
- Para instalar con protección posterior a la carga y punto de disparo a mínimo 20 metros de distancia.
- Para su instalación se debe tener en cuenta las siguientes indicaciones:
- Determine las avenidas de aproximación del enemigo.



- Defina las distancias y el sitio de ubicación de las cargas.
- Inicie la instalación de las cargas, sembrándolas en el terreno, empleando para ello los alambres de anclaje, éstos disponen de alguna flexibilidad que permite orientar la carga hacia el lugar deseado. Esta operación se debe efectuar de tal manera que se asegure efectivamente la carga al terreno.
- Coloque el detonador Nonel dentro de la carga y asegúrelo empleando para ello el pin de sujeción.
- Proceda a colocar la parte inicial del respaldo de la carga con material del mismo terreno.
- Termine de colocar el material de respaldo y mimetice el tubo de choque del Nonel con este material.
- Extienda el cordón detonante que enlaza la línea de fuego.
- Arme el cordón detonante al nonel que va a cada una de las cargas empleando el conector J que viene al final de cada Nonel.

<b>DATOS TÉCNICOS</b>	
Densidad carga explosiva ( g/cm <sup>3</sup> )	1.60
Velocidad de detonación ( m/s )	6700
Sensibilidad al detonador N° 8	Positiva
Angulo de protección	87 °
Distancia lateral entre cargas explosivas (m)	19
Distancia entre anillos de cargas explosivas (m)	17
Diámetro de la carga explosiva (pulg)	4
Longitud soporte (mm)	150
Peso del explosivo (kg)	0.95

## CAPITULO V

### CEBADOS

#### 5. CONCEPTO



Figura 5-1 Carga Cebada.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

El cebo es aquella porción de la carga que contiene el dispositivo de disparo y sirve para iniciar la carga entera de explosivo o agentes explosivos con los que esta en contacto. El cebo puede ser simplemente un cartucho de dinamita con un detonador eléctrico, inelétrico o un cordón detonante insertado y fijado adecuadamente, o bien, puede ser una unidad especial.

En pocas palabras podemos decir que el cebado es el alistamiento que se le realiza a la carga explosiva para su detonación, En el momento en que se inserta el detonador en la carga explosiva se esta realizando un cebado.

De acuerdo con la experiencia obtenida a través de muchos años, se recomiendan los métodos siguientes para formar los cebos y técnicas de carga con el fin de satisfacer la mayor cantidad de los requisitos de cebado. El regirse estrictamente a estos procedimientos ha dado como resultado una reducción al mínimo en las fallas, produciendo los mejores rendimientos con la máxima seguridad.

Es importante establecer la importancia de aplicar las medidas de seguridad vistas anteriormente para evitar que se presenten accidentes durante el cebado, así como la buena colocación de los elementos del cebado ya que estos influyen en el buen desempeño de la detonación.

#### 5.1. CLASES DE CEBADOS

Existen básicamente cinco sistemas de cebado, diferenciados entre si por el método de iniciación que se utilice, entre ellos tenemos el cebado eléctrico,

ineletrico, combinado con cordón detonante, sistema nonel y por ultimo gracias a la aparición del detonador electrónico podemos realizar cebados con este detonador en lo que hace referencia al uso en voladuras.

A continuación identificaremos las características más importantes de cada uno de ellos y los procedimientos adecuados para su elaboración.

### 5.1.1 CEBADO INELECTRICO



Figura 5-2 Cebado Inelectrico.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

Los sistemas de cebado inelétricos usan un detonador inelectrico como iniciador. El juego de iniciación consta de un encendedor de espoleta (produce una llama que enciende la espoleta de tiempo), una espoleta detonante de tiempo (transmite la llama que inicia el detonador) y un detonador inelectrico (proporciona el choque necesario para detonar el explosivo). Cuando se combina con cordón detonante, un juego de iniciación puede activar varias cargas.

Normalmente este tipo de cebado se recomienda para hacer cargas sencillas principalmente por su menor costo y por ser accesible a personal poco entrenado. Para asegurar su correcto funcionamiento debe tenerse presente que la unión de la mecha con el detonador debe hacerse con mucho cuidado utilizando las pinzas especiales para este fin.

Es importante en el cebado determinar la longitud adecuada de la espoleta de tiempo, para conocer el periodo de tiempo con el que se cuenta como medida de seguridad antes de la detonación de la carga explosiva.

#### 5.1.1.1. ELEMENTOS PARA REALIZAR EL CEBADO

A continuación citaremos los elementos necesarios utilizados en la elaboración de un cebado inelectrico, es importante recabar las medidas de seguridad y la utilización de los elementos en forma adecuada para evitar incidentes.

##### A. DETONADOR INELECTRICO

Este se debe manipular con sumo cuidado debido a su inestabilidad, se requiere que este libre de humedad y sin ninguna obstrucción interna. Debe ser asegurado a la mecha por medio de un engarzador que no produzca chispa.

El uso del detonador es necesario para iniciar todo explosivo ya que es la potencia necesaria para iniciar las sustancias explosivas de una forma segura, se puede utilizar el detonador común No. 8 o cualquier otro tipo, teniendo en cuenta que para iniciar agentes de voladura se requiere la utilización de un booster que aumente la potencia del detonador.

##### B. ESPOLETA DE TIEMPO



Figura 5-3 Corte recto de la Espoleta de Tiempo.  
Fuente: INDUMIL.

Llamada comúnmente mecha de seguridad, es la encargada de transmitir el efecto térmico necesario para iniciar el detonador, se puede utilizar cualquier tipo de espoleta de tiempo para iniciar el detonador ya que la mayor parte de estas vienen de un diámetro estándar que encaja perfectamente en el detonador.

Es necesario tener en cuenta el perfecto estado de la mecha y el corte recto que se debe realizar al extremo que va a ir dentro del detonador para que no se presenten fallas en la transmisión térmica.

### C. CORRUGADORAS PARA DETONADORES

Son elementos que se utilizan para apretar la espoleta de tiempo al detonador. Hay dos tipos de corrugadoras las pinzas corrugadoras y las máquinas corrugadoras. Con ambas, se pueden hacer hendiduras a los casquillos del detonador, cerca del extremo abierto de éste logrando una unión firme e impermeable entre la mecha y detonador.

La compra de la máquina corrugadora sólo se justifica para operaciones donde diariamente se fijan una gran cantidad de detonadores. La corrugadora manual se basa en pinzas las cuales están elaboradas por aleaciones de materiales que no generan chispas, la más usual es la pinza M2.

Use las pinzas M2 para apretar el casco del detonador ineléctrico alrededor de una espoleta de tiempo. Apriete el casco lo necesario para evitar que la mecha de seguridad se suelte, pero no demasiado para que no interfiera con la operación del dispositivo de iniciación. Un tope en el mango ayuda a evitar que se apriete demasiado. Las pinzas M2 forman una ranura impermeable completa alrededor de la cápsula detonante. El borde de corte que se encuentra en un extremo, es configurado y afilado para cortar mecha de seguridad y cordones detonantes.

Un extremo del mango es puntiagudo para hacer aberturas en los materiales explosivos.

El otro extremo es un destornillador. Los engarzadores de cápsulas se confeccionan de material blando y no chispeante que conduce la electricidad. No los use como alicates. Asegure que la abertura esté redonda (no alargada) y que las quijadas de corte no estén serradas. Mantenga las quijadas de corte limpias y úselas solamente para cortar mecha de seguridad y cordones detonantes.

También se pueden utilizar pinzas especiales como la Gerber las cuales son ideales para corrugar el detonador, a demás cuenta con un punzón ideal para la perforación de explosivos.

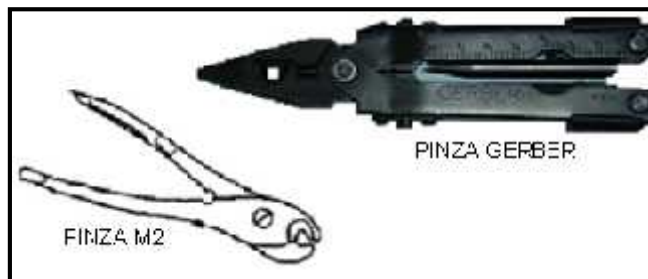


Figura 5-4 Pinzas Corrugadoras.  
Fuente: Grupo Marte ESING.

## D. LOS INFLAMADORES

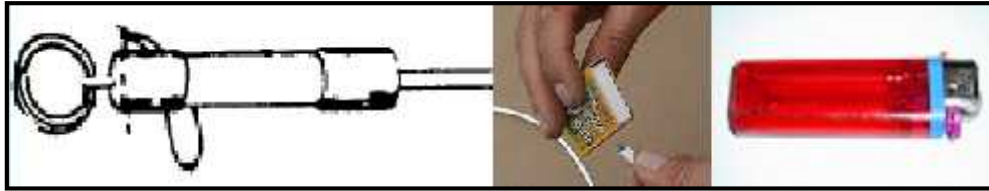


Figura 5-5 Inflamadores.  
Fuente: Grupo Marte ESING.

Son elementos encargados de iniciar la mecha de seguridad, para este fin podemos utilizar encendedores diseñados como el M60, el cual facilita el encendido de la espoleta bajo el agua.

Si no contamos con estos elementos se puede iniciar por medio de fósforos o mecheras, es importante que la cabeza de la cerilla o fósforo quede en contacto directo con la pólvora de la mecha.

## E. LA CARGA EXPLOSIVA

Es la encargada de iniciarse por medio del detonador, la mayoría de las cargas explosivas en particular los bloques de demolición traen un orificio para el alojamiento del detonador.

Para las cargas que carecen de este alojamiento se debe perforar el explosivo para lograr una cavidad en donde se pueda alojar el detonador, este trabajo se debe realizar con el punzón de las pinzas.

## F. LA CINTA

La utilizamos para adherir el detonador a la carga y esta a su vez a los blancos a demoler. La cinta puede ser cinta de papel o cualquiera que posea buena adhesión, la cinta aislante es más utilizada en los cebados eléctricos para la protección de los empalmes.

## G. NAVAJA O BISTURI

La utilizamos para realizar cortes de la cinta, corte del cordón detonante o también para la mecha. Se puede utilizar para realizar cortes de explosivos plásticos y demás usos que se presentan en las voladuras y demoliciones.

### 5.1.1.2 PASOS PARA REALIZAR UN CEBADO INELECTRICO

A continuación citaremos los pasos a seguir para la elaboración de un cebado inelectrico.

**Paso 1:** Verifique la espoleta de tiempo (Mecha de seguridad). Examine cada rollo de mecha usando la prueba de razón de quema (encender un metro lineal y tomar el tiempo en su quemado). Nunca use los primeros 30 centímetros de un rollo pues podrían presentar fallas por humedad o caída de la pólvora negra.

Con un engarzador M2, corte y deseche una longitud de 30 cms del extremo de la espoleta.

Corte una longitud de 90 cms de la espoleta para verificar la razón de quema. Encienda la espoleta y observe el tiempo que tarda en quemar. Calcule la razón de quema por centímetros dividiendo el tiempo de quema (en segundos) por la longitud (en cms). Una vez calculada la razón de quema, se recomienda que se envuelva el rollo en papel de estaño y se identifique con su correspondiente razón de quema.



Figura 5-6 Corte Espoleta de Tiempo.  
Fuente: INDUMIL.

**Paso 2:** Prepare la mecha de seguridad. Corte la longitud suficiente para que permita a la persona que detona la carga, alcance un área segura (a paso normal).

Haga el corte a escuadra, no la corte con mucha premura, ya que puede absorber humedad en los extremos abiertos. No doble la mecha lenta para evitar que el núcleo de pólvora negra se raje, dando como resultado una posible falla en la detonación. La fórmula para determinar la longitud de la mecha de seguridad es:

***Tiempo requerido (min) x 60 (seg/min)***

**Razón de quema (seg/pie) = longitud de la espoleta (pies)**

Ejemplo si se requiere un tiempo de seguridad de 90 segundos, cual es la longitud de la mecha de seguridad en centímetros que se debe cortar:

Mediante prueba realizada con anterioridad se sabe que 21 centímetros de la mecha se queman en 31 segundos, entonces decimos que:

$$\begin{array}{l} 21 \text{ cms} \longrightarrow 31 \text{ seg} \\ X \qquad \longleftarrow 90 \text{ seg.} \end{array} \quad \frac{21 \text{ cms} \times 90 \text{ seg.}}{31 \text{ seg.}} \quad \frac{1890 \text{ cms} / \text{seg.}}{31 \text{ seg.}} \quad \underline{60.96 \text{ cms}}$$

**Paso 3:** Antes de introducir la mecha en el detonador es recomendable hacer una pequeña incisión en el extremo de la mecha con el punzón de la pinza esto hace que el fogonazo que genera la mecha salga con mayor presión.

Introduzca suavemente el extremo de la mecha dentro del detonador hasta que haga tope con el explosivo. Mantenga sujetado el detonador entre el pulgar y el dedo corazón de una mano, con el dedo índice de la misma mano sobre el extremo cerrado de la cápsula detonante. Revise la cápsula detonante observando el extremo abierto. Se debe ver una carga de detonación color amarillo.



Figura 5-7 Cebado de la Cápsula.  
Fuente: INDUMIL.

**Paso 4:** Mantenga sujetada la cápsula con el dedo índice haciendo una pequeña presión para evitar que se suelte la mecha verticalmente con el extremo hacia arriba. Engarce con las pinzas M2, aproximadamente de 3 a 7 milímetros de la parte abierta de la cápsula hasta que la pinza haga tope, haga dos engarces para evitar que ingrese humedad o se suelte la mecha.





Figura 5-8 Engarce de la Mecha.  
Fuente: Manual FM 5-250.

**Paso 5:** En caso de que el explosivo no cuente con el alojamiento para el detonador, perfora el explosivo con un elemento que no produzca chispa, lo más recomendable son las pinzas M2, tratando de que el detonador ineléctrico encaje perfectamente, si es necesario.

**Paso 6:** Con el explosivo apoyado en el piso introdúzcale el detonador sin forzar y posteriormente sujete con cinta para evitar que detonaciones cercanas retiren el detonador del explosivo.

**Paso 7:** Si se cuenta con un encendedor de mecha lenta se procede así, Gire y retire el tapón y el retén plástico de tubo del encendedor M60. Introduzca el extremo libre de la mecha de seguridad tanto como sea posible en el espacio dejado por el tapón de embarque retirado. Apriete el retén para retener la espoleta e impermeabilizar la unión.

**Paso 8:** De no haber un encendedor de mecha, encienda la espoleta de tiempo con fósforos. De tal forma que la cabeza de la cerilla o fósforo quede en contacto con la pólvora negra de la mecha. Encienda la cabeza del fósforo con un fósforo encendido, o roce el abrasivo de la caja de fósforos contra ella. Quizás sea necesario usar dos cabezas de fósforo cuando hay mucho viento.



Figura 5-9 Encendido de la Mecha.  
Fuente: INDUMIL.

Si se utiliza encendedores como mecheras estruje un poco la mecha hasta que salga un poco de pólvora evitando que se vaya a caer. Encienda la mechera y lleve su llama hasta el extremo de la mecha hasta que encienda.

En el momento de realizar el cebado se debe de tener en cuenta lo siguiente:

Si la carga en el detonador no está en contacto con la mecha, es posible que este no encienda. Nunca coloque a presión la mecha de seguridad en un detonador, por ejemplo, doblándola. Si el extremo de la espoleta está plano o es demasiado grande para entrar libremente, enrolle la espoleta entre los dedos de la mano hasta que pueda entrar libremente en el detonador. Una espoleta cerrada introducida en una cápsula detonante puede fallar. Si las quijadas de corte del engarzador M2 no sirven, use un cuchillo afilado que no genere chispa para cortar la espoleta. Al usar el cuchillo para cortar la espoleta a escuadra, córtela sobre una superficie sólida y también no chispeante, tal como madera.

### ***5.1.2 CEBADO ELÉCTRICO***

Este tipo de cebado se realiza para tener un máximo de control en las detonaciones de las cargas, se diferencia del inelectrico ya que en este la fuente que va a iniciar el detonador no es un fogonazo si no el calentamiento del inflamador interno del detonador generado por la corriente que se suministra por medio de una fuente de energía que puede ser un explosor.

El cebado permite la unión de varios detonadores teniendo en cuenta el tipo de circuito a utilizar y lo mas importante la capacidad de la fuente de energía para alimentar el circuito.

Es importante recavar las medidas de seguridad que se deben tener en la manipulación de detonadores eléctricos, en vista de que pueden iniciarse por medio de la energía estática del cuerpo o por otras energías de agentes externos. Así como la perfecta conexión de los alambres de empalme y los óptimos cálculos para determinar la intensidad de la fuente de energía para el circuito.

### 5.1.2.1 *ELEMENTOS PARA EL CEBADO ELÉCTRICO*

#### A. DETONADOR ELÉCTRICO



Figura 5-10 Detonador Eléctrico.  
Fuente: Grupo Marte ESING.

Es el elemento más importante en este tipo de sistema de cebado, se inicia por medio de una fuente de energía que produce un recalentamiento en el inflamador el cual inicia la carga explosiva primaria del detonador.

En el momento de realizar el cebado se debe de tener en cuenta revisar la continuidad del detonador para verificar que se encuentre en buenas condiciones, cuando se van a unir mas de dos detonadores ya sea en serie o paralelo se debe usar el mismo tipo de detonador con su respectivo tiempo de retardo.

#### B. EXPLOSOR

Las máquinas explosoras suministran la corriente necesaria para disparar los detonadores eléctricos. Estas son de dos tipos básicos: de "generador" y de "descarga de condensador".

Las de generador han sido las convencionales durante muchos años. Se basan en un generador modificado que suministra una corriente directa pulsativa. Son de dos tipos: de "giro o vuelta" y de "cremallera". Están diseñadas de tal manera que no producen corriente alguna hasta que el giro o el desplazamiento hacia abajo de la cremallera lleguen al final de su recorrido; instante en que la corriente es liberada hacia las líneas de disparo en magnitud muy cercana a su máximo amperaje y voltaje.

Las de descarga de condensador utilizan pilas secas para cargar un banco de condensadores que alimenta una corriente directa y de duración corta a los dispositivos de disparo eléctrico.



Figura 5-11 Explosores.  
Fuente: Grupo Marte ESING.

Para operarlas se conectan sus terminales a las líneas conductoras provenientes del circuito de la voladura y después se oprime el interruptor de "carga", cuando el foco piloto (rojo) enciende se oprime el interruptor de "disparo" manteniendo siempre oprimido el interruptor de "carga".

Estas explosoras se consideran como las máquinas más eficientes y confiables para el encendido en voladuras. Sus principales características son:

- Poseen una capacidad de detonación de detonadores extremadamente alta.
- Proporcionan gran seguridad ya que no disparan hasta alcanzar su voltaje de diseño, el cual es señalado por la luz del foco piloto.
- Los botones de carga y disparo así como los condensadores quedan en "corto circuito" hasta que se necesiten.
- La ausencia de partes dotadas de movimiento y la eliminación del factor humano que interviene en las explosoras mecánicas.

Existen también máquinas explosoras de descarga de condensador capaces de dar energía a múltiples circuitos de voladura en una secuencia de tiempo programada, comúnmente a estas máquinas se les denomina "explosoras secuenciales". La distribución de tiempo proporciona un mayor número de retardos de los que se pueden tener como detonadores de tiempo disparados con máquinas explosoras convencionales.

Otra característica de las explosoras secuenciales es que permiten aumentar el tamaño total del disparo sin incrementar los efectos de ruidos y vibraciones, así como mejorar la fragmentación y el control de proyecciones de roca.

### C. SISTEMAS DE COMPROBACIÓN Y DE DISPARO

Son instrumentos diseñados para medir las características eléctricas de los circuitos de voladura, así como del área circundante para asegurar que la operación sea eficiente y segura. Estos aparatos, además de ahorrar tiempo

permiten incrementar la seguridad de cualquier operación de voladura, reduciendo la posibilidad de disparos quedados o de detonación accidental.



Figura 5-12 Elementos de Comprobación.  
Fuente: Grupo Marte ESING.

a. Galvanómetro

Este aparato tiene una pila que proporciona la corriente necesaria para mover una manecilla en una escala graduada. Las pilas y las partes mecánicas están encerradas en una caja metálica, la cual está provista en su parte superior de dos bornes de contacto. Sirve para probar cada uno de los detonadores eléctricos y también para determinar si un circuito de voladura está cerrado o no y si está en condiciones para el disparo; además sirve para localizar alambres rotos, conexiones defectuosas y cortos circuitos, así como para medir la resistencia aproximada del circuito.

Si se requiere mayor exactitud que la que proporciona un galvanómetro, se puede usar un óhmetro. Estos dos aparatos son similares sólo que el óhmetro posee dos escalas de resistencia, una baja (de 0 a 100 ohms) y otra alta (de 0 a 1000 ohms), con lo cual se amplía el alcance de medición de resistencias.

b. Multímetro.

El Multímetro es un aparato diseñado para medir resistencias, voltajes y corrientes en operaciones de voladuras eléctricas. Su sensibilidad es muy alta, por lo que tiene un amplio alcance en sus mediciones. Sus principales usos son:

- Examinar los sitios de voladura para localizar corrientes extrañas.
- Analizar las resistencias de los circuitos.
- Ejecutar pruebas de resistencia en la determinación de riesgos por electricidad estática.
- Probar líneas de conducción.
- Probar la continuidad y la resistencia de estopines y circuitos eléctricos.
- Medir voltaje.

c. Reóstato

Este instrumento se utiliza para probar la eficiencia de una máquina explosora de tipo generador. Está formado por una serie de bobinas de resistencia variable. Cada resistencia tiene una placa que indica su valor en ohms y su número equivalente de detonadores eléctricos.

Para usar el reóstato, primero se conectan dos o cuatro detonadores en serie con las resistencias del condensador de manera que la resistencia total se ajuste a la que tendría el número total de detonadores para los que la máquina fue diseñada para disparar, enseguida se conecta el circuito a la máquina explosora y se dispara, si detonan puede concluirse que la fuente de energía está en condiciones adecuadas para la operación de voladuras. Al hacer la prueba debemos protegernos de la explosión de los detonadores.

La ventaja del uso del reóstato es que puede probarse la maquina explosora detonando únicamente unos pocos estopines en cada prueba.

#### d. Cinta Aislante

Es usada para proteger la unión de los alambres del detonador, como del cable conductor de energía, el uso de la cinta evita que la energía que circula en el circuito haga polo a tierra y se desvíe.

#### e. Cable conductor de energía



Figura 5-13 Cable Conductor.  
Fuente: Grupo Marte ESING.

**Es el medio encargado de conducir la energía hacia los detonadores, este debe ser resistente para evitar que se rompa por acción de las detonaciones de las cargas iniciales, en lo posible se debe utilizar cable duplex calibre 22 el cual es el mas apropiado para realizar cebados, se debe verificar que no este rota su capa plástica protectora, la longitud a utilizar depende del tipo de voladura que se vaya a ejecutar.**

#### f. PINZA PELA CABLE

Se utiliza para realizar el despeje de los tramos de cable a unir, se debe emplear pela cables adecuados para evitar que corten o dañen el cable conductor:

### 5.1.2.2 VOLADURA ELÉCTRICA

La voladura eléctrica tiene como ventaja de que cada detonador por separado y el circuito completo pueden ser probados antes de realizar la voladura, además de que a la iniciación con detonadores eléctricos, se tiene a voluntad y bajo control el momento preciso de la detonación. Un detonador eléctrico instantáneo actúa tan pronto como recibe la energía eléctrica de encendido, mientras que los de retardo disponen de una mezcla que se encarga de dar el retardo que les permite detonar con diferentes intervalos de tiempo entre detonadores de diferentes números. Se fabrican en dos tipos: los de micro retardo, cuando el intervalo entre uno a otro número es de 25 MS (milésimas de segundo) y los de retardo cuando el tiempo de intervalo entre dos números es de 0.5 segundos.

El esquema de encendido corresponde a la posición de los números de los diferentes detonadores de tiempo de una voladura, siendo de gran importancia que los de arranque salgan primero y los demás en orden creciente para obtener salidas sucesivas, para una eficiente voladura hay que tener en cuenta los siguientes datos:

#### a. Circuito eléctrico

Para comprender los requerimientos de un circuito eléctrico de voladura, debemos tener presentes algunos principios de la corriente eléctrica especialmente sobre voltaje, amperaje y resistencia.

#### b. Voltaje

Es la cantidad de presión eléctrica en voltios (V) en un conductor, corresponde a la presión en Kg./m<sup>2</sup> de un sistema de aire comprimido.

#### c. Amperaje

Es el rango de flujo de electricidad en un cable o conducto medido en amperios (A), a semejanza de un flujo de aire que se mide en pies cúbicos o metros cúbicos por minuto.

Los detonadores eléctricos tienen una corriente mínima y otra de diseño, la primera es aquella a partir de la cual puede ser suficiente para iniciar el detonador, y la segunda la corriente con la que se asegura la detonación del mismo, corriente de disparo mínima y de diseño:

DETONADORES	MÍNIMA	PARA DISEÑO
INSTANTÁNEOS	0.3 A	2.0 A
DE TIEMPO	0.4 A	2.0 A

#### d. Resistencia

Se define en Ohmios, la resistencia en que se presenta en el conductor al paso de la corriente eléctrica. Esta resistencia depende del tipo de material del conductor y del área de su sección.

La interrelación de estos factores es medida por la ley de Ohm, que dice: Si el voltaje es dividido entre la resistencia, el cociente será la corriente en amperios que fluye en el circuito. Esta ley interesa en la voladura debido a que el amperaje que fluye por el circuito es un parámetro de importancia para la detonación total de la voladura. Si el circuito no tiene el suficiente amperaje no todos los detonadores podrán ser activados lo que representa tiros que dados después del disparo, con gran riesgo de accidentes posteriores a la voladura. Los circuitos pueden ser en serie, paralelos y serie paralelos.

A continuación vamos a ver la resistencia eléctrica para diversas longitudes de los alambre de los detonadores eléctricos:

LONGITUD DE LOS ALAMBRE		RESISTENCIA (OHMS POR CÁPSULA)	CALIBRE ALAMBRES
PIES	METROS		
2	0.61	1.17	22
4	1.22	1.23	
6	1.83	1.30	
8	2.44	1.37	22
10	3.05	1.43	
12	3.66	1.50	
16	4.88	1.63	22
20	6.10	1.77	
24	7.32	1.90	
30	9.14	1.73	20
40	12.19	1.94	
50	15.24	2.15	
60	18.29	2.36	20
80	24.38	2.78	
100	30.48	3.20	
150	45.72	4.25	20
200	60.96	5.30	
250	76.20	6.35	
300	91.50	7.40	

#### 5.1.2.3 CONEXIONES DE LOS DETONADORES



Como ya habíamos visto los detonadores ya sean instantáneos o de tiempo, se activan eléctricamente, para ello se requiere una cantidad mínima de corriente que generalmente es de 2 amperios para asegurar el disparo. Para conocer esa corriente mínima debemos calcular con la Ley de Ohm, cuya fórmula es:

INTENSIDAD (amperios) =  $\frac{\text{VOLTAJE (de la fuente de corriente eléctrica)}}{\text{RESISTENCIA (del sistema de estopines y alambres)}}$

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

El voltaje (V) de la fuente de energía eléctrica generalmente es conocido, puede ser corriente monofásica, cuyo voltaje es 110 voltios, o corriente trifásica (de fase a fase) con voltaje de 220 o 440 volts (en caso de duda calcule con 220 volts), que se usa mucho en excavaciones subterráneas; también puede ser un explosor en cuyo caso el voltaje oscila entre 80 y 300 voltios (si hay duda use 80).

Por lo tanto nuestro único problema es calcular la resistencia del sistema y esto depende de las resistencias de cada estopín y de los alambres de conexión.

#### **5.1.2.4 COMO SE PRESENTA LA ESTÁTICA DENTRO DEL DETONADOR ELÉCTRICO**

Entre las paredes de los detonadores eléctricos que pueden ser de aluminio o cobre hay una parte llamada por algunas casas fabricantes puente incandescente, siendo esta la parte terminal de los cables de cobre por donde se alimenta con corriente, aquí encontramos una baquelita aislante y dos platinas en cobre donde los cables de alimentación llegan, sobre estas se encuentra un filamento calibrado de ferro-níquel que al paso de la corriente eléctrica convierte este pulso en calor iniciando la pólvora que lo rodea o las píldora incandescente.

La distancia que existe entre el puente incandescente protegido con un plástico antiestático y la cubierta de aluminio del detonador tiene aproximadamente 1.5 milímetros, cuando el nivel de la estática en el área de trabajo o en el operador supera los niveles permisibles que según estudios pueden alcanzar hasta 2000 o mas voltios producen una chispa que salta entre el casquillo y el puente incandescente iniciando la pólvora del puente incandescente presentándose un accidente.

#### **5.1.2.5. POSIBLES CAUSAS DE ACTIVACIÓN INVOLUNTARIA DE LOS DETONADORES.**

Detonador cortocircuitado con la cápsula sobre el suelo y el operador procediendo a conectarlo.

Detonador aislado del piso en fase de conexión donde una punta toca el piso y la otra es manipulada por el técnico.

En los tres casos la utilización de unos zapatos no adecuados y aislantes puede generar potenciales de corriente que se descargan a través de los cables del detonador de acuerdo a las tres gráficas anteriores produciendo accidentes.

#### **5.1.2.6 CAUSAS QUE PUEDEN GENERAR LA ACTIVACIÓN DE UN DETONADOR ELÉCTRICO**

Transmisiones radiales: El electromagnetismo generado por las antenas de radios transmisores, teléfonos inalámbricos, celulares pueden inducir corriente en el cable del detonador excitando el filamento del puente incandescente iniciando el detonador prematuramente generando riesgos.

Estaciones de radio o emisoras: El manipular detonadores eléctricos cerca o al lado de estaciones de radio puede generar iniciación accidental causada por las ondas electromagnéticas que allí se emiten.

Torres de transmisión de energía: Las torres de conducción de energía normalmente pueden llevar en el orden de los 115.000 a 230.000 voltios esto genera un campo magnético intenso en el sector aledaño que puede inducir un pulso de corriente en los cables de los detonadores e iniciar prematuramente generando riesgos.

Descargas atmosféricas: Una tormenta que este compuesta por descargas eléctricas genera el riesgo que los detonadores eléctricos se activen, cuando se produce la descarga eléctrica puede traer un potencial de 5, 10 o 20 millones de

voltios, una vez sobre el sector de incidencia donde impacta genera un campo magnético de duración de un pulso que atraviesa los conductores eléctricos que están conectados al detonador que actúan en este instante como una antena teniendo en cuenta su longitud a mayor cable conectado al detonador mayor posibilidad que este capte el pulso y se genere su activación.

#### ***5.1.2.7 PROCEDIMIENTO PARA LA CONEXIÓN DE UN DETONADOR ELÉCTRICO***

Cuando manipulamos detonadores eléctricos en practica o ejercicios, una vez lo desempacamos no podemos dejarlo caer al suelo mientras lo desenredamos ninguno de sus extremos, al personal de alumnos se le debe mostrar muy de cerca sin que este tenga contacto directo pero que lo identifique, terminada esta actividad debemos ponernos en contacto con el piso arrodillándonos para que el cuerpo entre en contacto directo con tierra y el potencial de cargas estáticas presentes en el cuerpo se nivelen con respecto al suelo, seguidamente se debe realizar un hueco con un elemento puntiagudo de diámetro un poco mayor al detonador y de profundidad mínima de 15 centímetros donde se debe alejar para proseguir la practica o ejercicio.

El explosivo o carga a cebar debe estar con anterioridad instalado en el sitio del ejercicio y el hueco donde se asegura el detonador debe estar a una distancia mínima de 50 centímetros, luego se dispone a realizar el empalme con el cable que viene del área de seguridad donde se detonara, este empalme se debe realizar en condición de rodillas asegurando una conexión a tierra del cuerpo y evitando la inyección de una posible descarga estática.

La cinta utilizada en los empalmes debe ser de calidad preferiblemente cinta auto-fundente colocada en contorno a manera de escamas evitando que penetre agua y se sulfate o aisle la conexión, el corte de los cables por sus uniones debe ser escalonado.

Para evitar uniones o cortocircuitos en el momento de aplicarle la corriente para iniciar el siguiente paso obedece a cebar la carga o explosivo paso que se debe realizar de forma acertada sin correr, el técnico o persona que va a manipular el detonador se coloca de rodillas, procede a sacar el detonador del hueco de seguridad y lo instala a la carga o explosivo luego de asegurarlo se retira siguiendo el cable al área de seguridad programada.

Un correcto ejercicio o practica con detonadores eléctricos tiene muchas fases desde la correcta disposición psicológica del instructor como de los alumnos, conocimiento pleno del manejo de los detonadores eléctricos, clima soleado sin lluvia o posibilidad de tormentas eléctricas, al presentarse la posibilidad de una tormenta y esta se encuentre a una distancia mínima de 10 Km. se debe parar el ejercicio o practica puesto que un rayo puede generar un accidente.

### 5.1.2.8 RECOMENDACIONES EN INSTALACIÓN DE DETONADORES

- Se debe emplear calzado adecuado para manipular detonadores eléctricos.
- La conexión debe ser cortada traslapada para evitar un corto circuito.
- El empleo de cinta auto-fundente para proteger los empalmes aumenta el tiempo de duración.
- El empleo de detonadores eléctricos de una misma marca y lote de fabricación en las voladuras garantiza un buen trabajo.
- El empleo de detonadores con retardo en las voladuras minimiza vibraciones, proyecciones de escombros y control de la onda explosiva.
- Para su conexión utilice como mínimo cable dúplex 2X18.
- Se recomienda el empleo de fuentes de energía con capacidad acorde al circuito empleado.
- Se debe tener en perfecto estado los equipos de comprobación o medida para verificar los circuitos.
- Tanto los detonadores como los explosivos se deben manipular por personal experto.
- Se recomienda probar los detonadores con un galvanómetro antes de la conexión para verificar su continuidad.
- Durante el proceso de cebado se debe tener el extremo del detonador unido y con su respectivo aislamiento (espaguete que trae de fabrica).
- Cuando se realiza una conexión entre varios detonadores se recomienda unir el mismo color de cada detonador para facilitar su posterior revisión.
- Finalizada la conexión del circuito, revisar visualmente y medir la resistencia total, para compararla con el cálculo establecido.
- Los cables finales del circuito deben permanecer unidos y lejos de la fuente de energía.
- Determinada la hora y luego de verificar el lugar de la voladura se puede conectar los cables de alimentación a la fuente de energía.
- Nunca manipule detonadores eléctricos cuando se aproxime una tormenta eléctrica a menos de 10 kilómetros del área de trabajo.
- Cuando no tenga fuente de energía apropiada para efectuar la voladura y se requiera el empleo de energía eléctrica alterna se recomienda que este procedimiento lo realice un técnico con amplia experiencia para evitar un accidente.
- Los detonadores se deben almacenar en áreas secas para que no se deterioren.
- Emplee los detonadores por orden de antigüedad, con respecto a su fecha de fabricación.
- Nunca almacene o transporte detonadores con explosivos.
- En el transporte en vehículos asegure una buena puesta a tierra, para eliminar los riesgos de la electricidad estática.
- Transporte los detonadores en sus envases originales o en cartucheras especiales, no deshaga las madejas si no lo va a emplear.

- No fume ni utilice lámparas desnudas de alta potencia, cuando manipule detonadores eléctricos.
- Nunca utilice botas o guantes de goma cuando manipule detonadores eléctricos.
- Descárguese a tierra antes de tocar o manipular los detonadores, esto se puede realizar tocando un mango de línea a tierra o trabajando de rodillas sobre el suelo para que la estática del cuerpo se descargue.
- Nunca forcé el detonador para alojarlo en la carga.
- Se debe tener especial cuidado con los cables de los detonadores puesto que son frágiles y pueden abrir el circuito.

### 5.1.2.9 TIPOS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS

#### A. EN SERIE

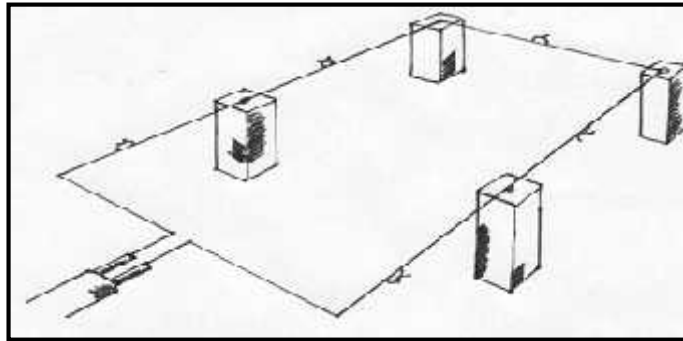


Figura 5-14 Circuito en Serie.  
Fuente: Grupo Marte ESING.

Es lo más común para el disparo de un pequeño número de barrenos. En este sistema toda la corriente de encendido fluye directamente a todos los detonadores en un solo sentido. Se acepta generalmente que el amperaje mínimo para activar un circuito en serie es de 1.5 A (amperios) con corriente continua o de 3 A con corriente alterna. Para muchos casos el límite recomendado es un máximo de 50 detonadores eléctricos con alambres de 7.30 metros por disparo.

Distribución de la corriente en un circuito en serie. El circuito en serie el voltaje se divide y el amperaje que circula no sobrepasa 1.5 amperios.

#### B. CIRCUITO EN PARALELO

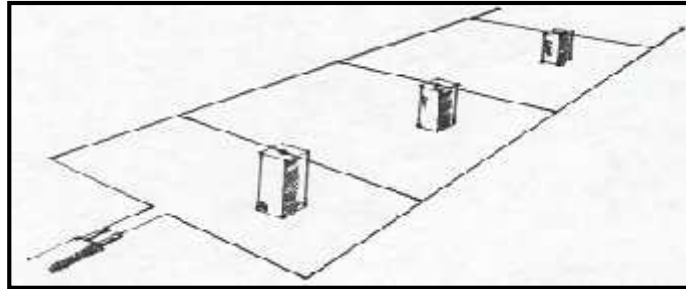


Figura 5-15 Circuito en Paralelo.  
Fuente: Grupo Marte ESING.

Común en voladuras subterráneas, en este circuito cada detonador, proporciona caminos alternos para el paso de la corriente. Se usan dos líneas principales separadas el positivo del negativo, a las que se empatan los alambres de cada detonador formando puentes. Los cálculos son similares pero difieren en que se necesita un mínimo de 1 A para cada detonador, ya sea corriente continua o alterna.

Distribución de la corriente en un circuito en paralelo. El Circuito en paralelo donde el voltaje es de la fuente y el amperaje que circula se suma por cada detonador.

### C. CIRCUITO EN SERIE PARALELO

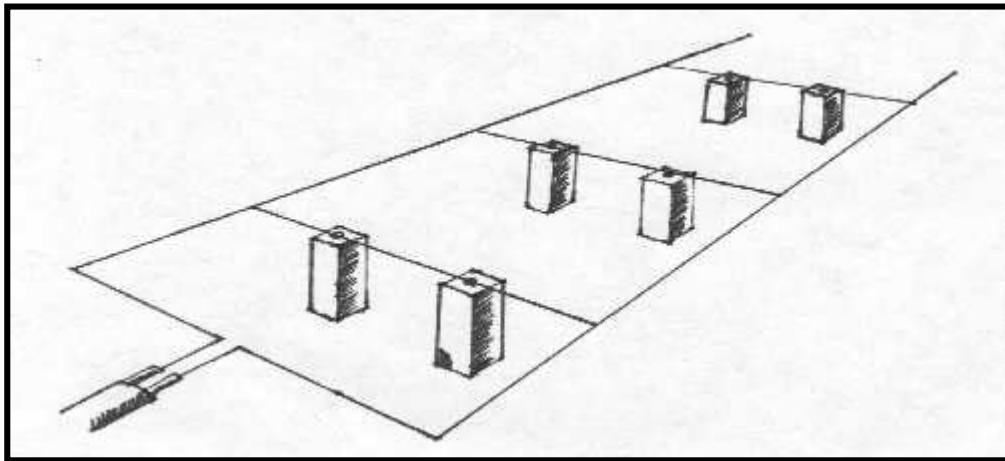


Figura 4-16 Circuito en Serie Paralelo.  
Fuente: Grupo Marte ESING.

Generalmente usado cuando el disparo excede de unos 40 detonadores con alambre de 6 metros, demasiado para un simple circuito en serie. Las recomendaciones sobre flujo de corriente son similares a las utilizadas en circuitos en serie y los cálculos comprenden los siguientes pasos:

- Encontrar la resistencia de los detonadores de una serie multiplicando su número por la resistencia por detonador.
- Calcular la resistencia de los detonadores de alambre de conexiones y de la línea de disparo como se hace en un circuito en serie simple.
- Totalizar la resistencia de los detonadores, línea de conexiones y línea de disparo.
- Aplicar la ley de Ohm para determinar la corriente total proporcionada.
- Dividir el total de la corriente proporcionada entre el número de series, para obtener la corriente por serie.

Es importante recordar que los fabricantes emplean diferentes materiales para confeccionar los detonadores de retardo y microretardo, especialmente para los puentes de resistencia eléctrica y los elementos de tiempo, por lo que sus valores reales difieren de una marca a otra a pesar de mostrar un mismo número. Por ello se debe evitar emplear en una misma voladura detonadores de diferentes marcas.

#### **5.1.2.10 FORMULA PARA CALCULAR LA CAPACIDAD DEL EXPLOSOR O FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA LA VOLADURA**

Teniendo en cuenta que todo conductor eléctrico presenta una oposición al paso de la corriente, ésta se llama resistencia y se expresa en ohmios, y que todo circuito alambrado y terminado tiene una resistencia total tanto los detonadores como el cable de alimentación, con esta medida se puede realizar un cálculo para conocer la potencia necesaria del explosor o la batería.

Para conocer la resistencia eléctrica se debe medir inicialmente los detonadores uno a uno este proceso se realiza haciendo un agujero en tierra para introducir el detonador completamente protegiéndonos en caso que se active de una posible esquirla, luego procedemos a verificarlo con un galvanómetro o multímetro de baja potencia, registrando la medida observada esta operación se realiza con todos los detonadores registrando los valores luego conociendo la distancia del cable de alimentación se mide y todos estos valores se suman hallando la resistencia total del circuito.

Los detonadores tienen un promedio de 1.5 amperios de consumo y para los cálculos con los detonadores más empleados como los llamados Insensibles.

V = Voltaje intensidad o presión con que se desplazan los electrones.

I = Amperaje, cantidad de electrones necesarios para realizar un trabajo.

R = Resistencia u oposición al paso de los electrones en un circuito eléctrico

**FORMULA:** 
$$I \times R = \frac{V}{\quad}$$
 Para utilizar esta formula solo debemos tapar la letra que necesitamos hallar y realizar la operación que indique con las restantes

EJEMPLO 1-

Cuando pasamos revista a una voladura o una carga instalada de un detonador y al medir encontramos una resistencia  $R=6.0$  y tenemos una fuente de alimentación batería de  $V= 12.0$  voltios y una capacidad =  $4.0$  Amperios.

¿Necesitamos calcular si la fuente de alimentación es competente?  
Hallaremos voltaje

$$V = ?$$

$$R = 6.0 \text{ HOMIOS}$$

$$I = 1.5 \text{ AMP}$$

Tapamos la letra que debemos hallar y queda  $I \times R$

Al reemplazar las letras por los valores tenemos  $1.5 \times 6.0 =$

Al realizar esta operación de multiplicación tenemos  $= 9.0 \text{ VOL.}$

Esto nos indica que el circuito que medimos con  $9.0$  voltios inicia.

EJEMPLO 2-.

Cuando pasamos revista a una voladura o una carga instalada de un detonador y al medir encontramos una resistencia  $R= 13.0$  y tenemos una fuente de alimentación batería de  $V= 12.0$  voltios y una capacidad  $I= 4.0$  Amperios.

¿Necesitamos calcular si la fuente de alimentación es competente?  
Hallaremos voltaje

$$V = ?$$

$$R = 13.0 \text{ HOMIOS}$$

$$I = 1.5 \text{ AMP}$$

Tapamos la letra que debemos hallar y queda  $I \times R$

Al reemplazar las letras por los valores tenemos  $.5 \times 13.0 =$

Al realizar esta operación de multiplicación tenemos  $= 19.5 \text{ VOL.}$

Esto nos indica que el circuito que medimos, no funcionará con la fuente de  $12.0$  voltios teniendo que revisar el circuito para buscar empalmes flojos o sulfatados o emplear una fuente de alimentación de  $24.0$  voltios.

Es importante que la fuente de alimentación tanto el voltaje como el amperaje esté por encima del valor requerido por el circuito

### 5.1.2.11 PASOS PARA REALIZAR UN CEBADO ELÉCTRICO.

**Paso 1:** Pruebe y mantenga el control de la fuente de energía. Pruebe el explosor para asegurar su funcionamiento apropiado.

**Paso 2:** Controle el acceso y aleje el personal ajeno a la detonación.



**Paso 3:** Haga la revisión de cable de detonación abierto y en cortocircuito. Coloque un extremo del cable en corto, con el otro extremo una las punta a un probador de continuidad y de esta manera identificaremos si el cable esta en buenas condiciones.

**Paso 4:** Descargue la energía estática del cuerpo tomando una herramienta metálica entre sus manos o haciendo polo a tierra con las manos.

**Paso 5:** A continuación pruebe los detonantes eléctricos. Para este fin desenrolle los alambres del detonador sin hacer torceduras, introduzca el detonador de bajo de un saco con arena, despenda o desate la unión de los cables y lleve las dos puntas al probador de continuidad.

Luego de haber revisado el estado de los detonadores polarice nuevamente los cables de los detonadores y no los deje sobre el piso.

**Paso 6:** Extienda el cable conductor o de disparo desde el sitio de la detonación hasta el sitio de seguridad, manteniendo en todo momento las puntas polarizadas.

**Paso 7:** Cubra los detonadores nuevamente con los sacos de arena o entiérrelos como medida de seguridad para realizar las uniones.

Desate el corto circuito de los detonadores y una al cable conductor por medio de una unión o nudo militar el cual permite una sujeción perfecta entre los cables. Amarre todas las uniones por medio de cinta aislante.

**Paso 8:** Una el detonador a la carga explosiva por medio de cinta o perfore el explosivo para poder introducir el detonador.

**Paso 9:** Verifique la ausencia de personal en el área de detonación y dirijase hacia e área de seguridad.

**Paso 10:** Desate la unión del cable conductor y pruebe la continuidad del circuito nuevamente por medio de un multímetro.

**Paso 11:** Una los cables al explosor y espere la señal positiva para realizar el disparo.

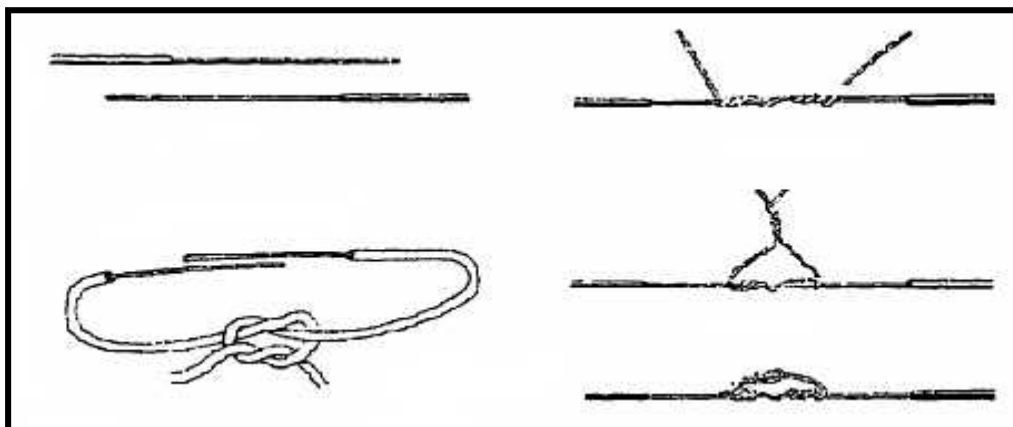


Figura 5-17 Nudos de Unión.  
Fuente: Manual FM 5-250.

**Paso 12:** Realice la conexión pertinente a la fuente de energía.

**Paso 13:** Detone las cargas explosivas.

**Paso 14:** Separe el alambre de detonación de la fuente de energía

**Paso 15:** Verifique los alrededores, posibles accidentes.

### 5.1.3 CEBADO COMBINADO CON CORDÓN DETONANTE

El cebado con cordón detonante se realiza para unir una o varias cargas, estos cebados se hacen en serie ya que todas las cargas detonan simultáneamente siempre y cuando no se incluya un microretardo que determine un tiempo prudencial entre carga y carga.

El sistema de detonación usa cordón detonante para transmitir una onda de choque desde el juego de iniciación hasta la carga explosiva. El cordón detonante es versátil y es fácil de instalar. Es útil para detonación submarina, subterránea, y sobre la tierra debido a que la cápsula detonante del juego de iniciación puede permanecer sobre el agua o la tierra sin tener que ser introducido directamente en la carga. Los sistemas de detonación con cordón detonante combinados con cebado con cordón detonante representan la manera más segura y eficaz de llevar a cabo misiones de demolición militar. Inicie el cordón detonante con juegos de iniciación Ineléctrica o eléctrica.

En el desarrollo de cebados con cordón detonante se aplican dos métodos especiales en la detonación de cargas explosivas, el método sencillo y doble.

## A. SENCILLO

El cebado sencillo se realiza a cada carga con una línea derivada que es amarrada a la línea principal o la de anillo. Se prefiere amarrar a la de anillo, aunque la construcción de ésta quizás no sea posible debido a la cantidad de cordón detonante. La línea principal de anillo disminuye las posibilidades de fallo de detonación de ocurrir un desperfecto dentro de él. Los juegos de iniciación eléctrica, ineléctricas o de combinación son entonces unidos al sistema de detonación. Cuando se emplea un juego de iniciación combinado, el sistema eléctrico de iniciación es siempre el medio principal de iniciación. Cuando se emplean juegos de iniciación ineléctrica doble, la espoleta de tiempo más corta es el juego de iniciación principal.

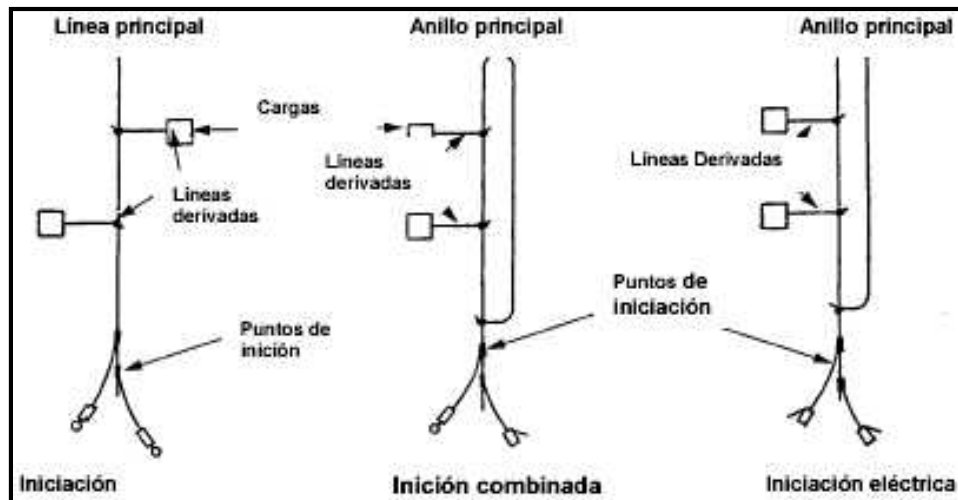


Figura 5-18 Sistema de detonación sencilla (iniciación doble. Detonación sencilla, cebado sencillo).  
Fuente: Manual FM 5-250.

## B. DOBLE

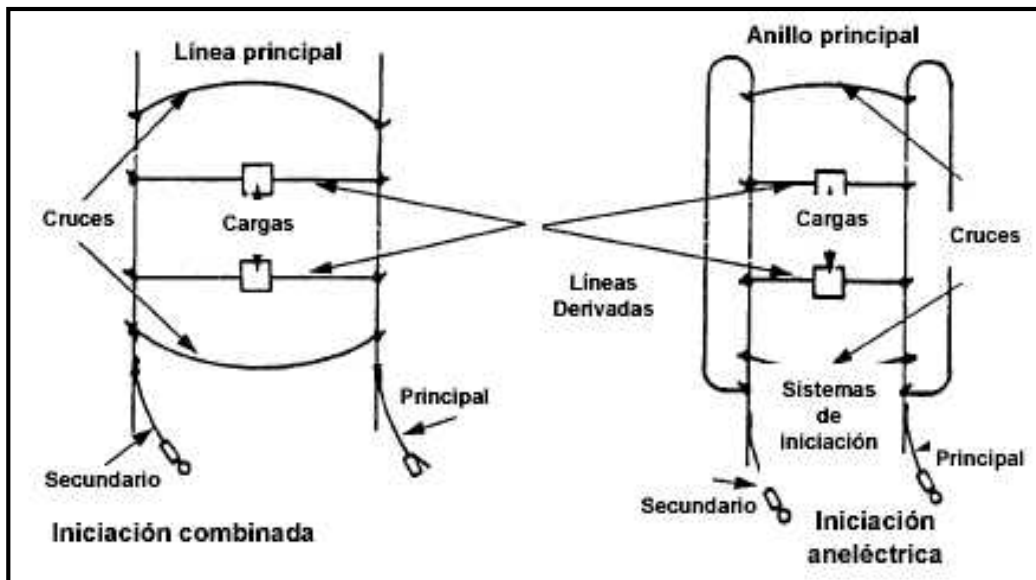


Figura 5-19 Sistema de detonación Doble (iniciación doble. Detonación doble, cebado doble).  
Fuente: Manual FM 5-250.

Cuenta con un sistema de iniciación doble. Se aplica cebado doble a cada carga con dos líneas derivadas. Se amarra una línea derivada a un sistema de detonación, y la otra línea derivada se amarra a un sistema de detonación independiente. Se pueden usar líneas principales o de anillos; sin embargo, no se deben mezclar. Para evitar fallos de detonación, use cruces de cordón detonante para amarrar ambos sistemas de detonación en los extremos. Los juegos de iniciación son unidos con el juego de iniciación primario unido a un sistema de detonación, y se une el juego secundario al otro sistema de detonación.

## FIJACIÓN DEL DETONADOR

Fije el detonador al cordón detonante con cinta. Se puede usar hilo, tela o alambre fino de no haber cinta disponible. Fije la cápsula a una distancia mínima de 15 centímetros del extremo del cordón detonante para evitar la contaminación por humedad. La cinta no debe tapar ningún extremo de la cápsula, para así permitirle revisar la cápsula en caso de fallo de detonación. Para su inspección, no más de 1/8 de pulgada de la cápsula debe estar descubierto.

Use nudos de rizos o ganchos de cordón detonante para empalmar los extremos del cordón detonante. Refuerce el empalme siempre con cinta. No empalme el cordón detonante en las líneas derivadas. Se pueden colocar los nudos de rizos en el agua o la tierra, pero el cordón

debe ser detonado desde un extremo seco o sobre la tierra. Deje 15 centímetros adicionales en los nudos de rizos para evitar los fallos de detonación debidos a la humedad.

#### FIJACIÓN DEL CORDÓN DETONANTE

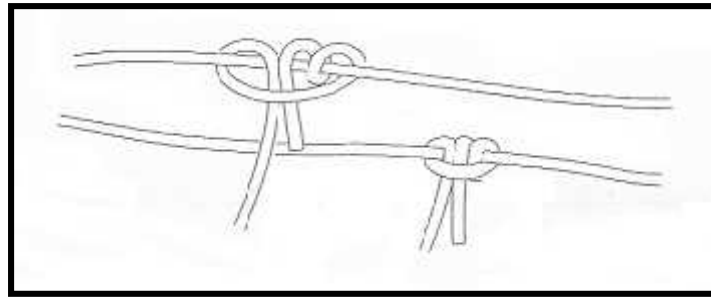


Figura 5-20 Nudo Prusiano para unión de cordón  
Fuente: Manual FM 5-250.

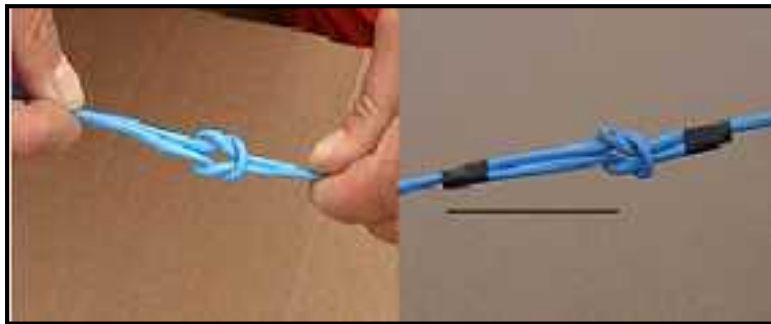


Figura 5-21 Nudo cuadrado para unión de cordón  
Fuente: INDUMIL.

#### 4.1.4 CEBADO CON SISTEMA NONEL



Figura 5-22 Cebado con Nonel.  
Fuente: INDUMIL.

Este tipo de cebado es realizado en voladuras y en el campo de las demociones, tiene como característica que es un método muy seguro por el detonador que se utiliza y el medio por el cual se inicia.

Para el cebado con nonel tenga en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Desenrolle la manguera del detonador.
- Como medida de seguridad para la detonación de cargas por este sistema, la manguera del nonel debe ser empalmada a otra manguera de tal manera que proporcione una distancia segura para la detonación. El empalme puede realizarse por medio del conector para nonel.
- Una buena opción es conectarlo a líneas derivadas de cordón detonante de 3 o 6 gramos por medio de un conector tipo J.
- Realice las conexiones necesarias de la manguera.
- Una el detonador nonel a la carga explosiva y asegure con cinta, para evitar que el detonador sea retirado en el momento de ser introducido dentro del barreno.
- Corte el extremo de la manguera donde se encuentra el seguro (el que evita que se salga el polvo exógeno).
- Inserte el extremo de la manguera a la pistola de iniciación de nonel y realice el disparo.

**El sistema de cebado con nonel es utilizado para la iniciación de las cargas de defensa dirigida, en los sistemas de protección en bases de operaciones y en sistemas de defensa de patrullas móviles, ya que el detonador nonel no es afectado por la energía producida por las tormentas eléctricas, además por su seguro manejo y fácil operación.**

## CAPITULO VI

### PROPIEDADES GENERALES DE LOS EXPLOSIVOS

#### 6. CONCEPTO

Son las propiedades físicas que identifican a cada explosivo y que se emplean para seleccionar el más adecuado para una voladura determinada, entre las principales se destacan:

1. POTENCIA RELATIVA
2. BRISANCIA O PODER ROMPEDOR
3. **DENSIDAD**
4. VELOCIDAD DE DETONACIÓN
5. APTITUD A LA TRANSMISIÓN O SIMPATÍA
6. SENSITIVIDAD
7. ESTABILIDAD
8. SENSIBILIDAD
9. CATEGORÍA DE HUMOS
10. RESISTENCIA A LA HUMEDAD

#### 6.1 POTENCIA RELATIVA:



Figura 6-1 Potencia generada por el explosivo.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

Es la medida del contenido de energía del explosivo y del trabajo que puede efectuar, se mide mediante la prueba de Trasluz que determina la capacidad de expansión que produce la detonación de 10 gramos de explosivo disparado dentro de un bloque cilíndrico de plomo de dimensiones específicas, luego se compara la proporción de la fuerza desarrollada por el explosivo en prueba con respecto a la desarrollada por igual peso de gelatina explosiva. La gelatina se toma como un patrón ya que posee un 100% de potencia.

El resultado se expresa en centímetros cúbicos cuando se indica la capacidad o trabajo del explosivo debido al incremento del volumen del agujero inicial, o en porcentaje cuando se compara con el patrón. Así una dinamita tendrá una fuerza del 60% cuando la expansión que se provoca en el bloque de plomo es igual al 60% del volumen generado por la detonación de la gelatina explosiva.

Existen diferentes formas de expresar la potencia de una dinamita. En las antiguas dinamitas los porcentajes indicaban directamente su contenido de nitroglicerina. Los fabricantes norteamericanos expresan a menudo la potencia relativa por volumen, en lugar de una potencia relativa por peso, también se considera el ácido pírco como patrón, en lugar de la gelatina explosiva otros sistemas para medir la fuerza son: El método del péndulo balístico y del mortero balístico, que miden la distancia a la que explosivo desplaza un bloque metálico pesado, o la abertura angular que marca el brazo del péndulo, métodos que son menos usados.

La fuerza o potencia del explosivo es la habilidad para desplazar el medio confinante, es la cantidad de energía liberada por la explosión. Existen 2 formas de catalogar la potencia de un explosivo:

Potencia en volumen, que es la energía por unidad de volumen y potencia en peso que es la energía por unidad de peso.

## 6.2 BRISANCIA O PODER ROMPEDOR:

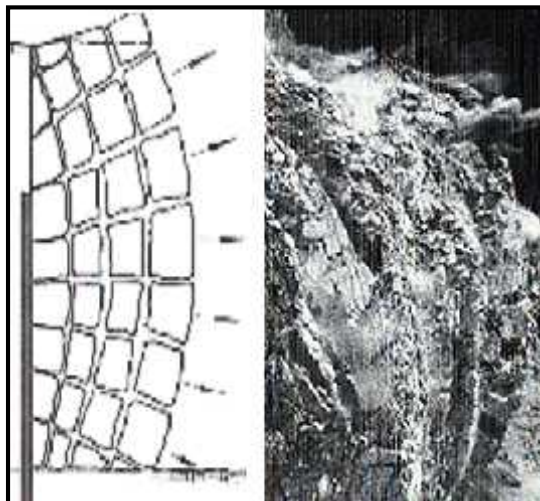


Figura 6-2 Poder Rompedor generado por el explosivo.  
Fuente: Unam. Mx.



Es el efecto demoledor o triturador que aplica el explosivo sobre la roca para iniciar su rompimiento. Como factor dinámico de trabajo es consecuencia de la onda de choque, y está vinculado a la densidad y a la velocidad de detonación, o en otras palabras a la presión de detonación que muchas veces se utiliza como base comparativa.

Se determina mediante la prueba de HESS que se expresa en mm. De aplastamiento que sufre un molde de plomo cilíndrico, de dimensiones determinadas por el efecto de la explosión de 100 gramos de explosivo. El explosivo se dispara sobre un disco de acero encima de un bloque de plomo.

Los valores obtenidos también se comparan a veces con la gelatina explosiva como patrón, que en este caso produce alrededor de 25 mm de aplastamiento.

### 6.3 DENSIDAD:



Figura 6-3 Densidad del explosivo.  
Fuente: FireandSafety.eku.edu

Se llama densidad del explosivo a la relación que existe entre el peso de la carga y el volumen que ocupa.

En todo explosivo se distinguen 3 densidades:

a. Densidad absoluta o de cristal:

Se define como el peso del explosivo puro (cristalizado), que esta contenido en la unidad de volumen, sin **intersticio** alguno de aire.

b. Densidad de carga:

Se define como el peso del explosivo, que esta contenido en la unidad de volumen, correspondiente a la fracción con carga de la perforación; esta densidad es la de mayor importancia en el proceso de detonación.

c. Densidad gravimétrica o aparente:

La densidad gravimétrica es la relación del peso del explosivo cuando el explosivo se encuentra en polvo o en trozos y entre los cristales o trozos el espacio esta ocupado por aire.

Explosivos más densos, aunque más caros, pueden resultar más económicos, en rocas duras de alto costo de perforación, debido a que se pueden incrementar sensiblemente el burden y el espaciamiento, disminuyendo significativamente el número de tiros.

La densidad de la mayoría de los explosivos varia entre 0.8 y 1.60 grs/cc, en relación con la unidad (Agua a 4 grados centígrados y 1 atm), y al igual que con la velocidad, cuanto más denso sea proporcionara mayor efecto de brisancia.

En los agentes de voladura la densidad puede ser un factor crítico, pues si es muy baja se vuelve sensible al cordón detonante que los comienza a iniciar después del arranque del multiplicador o reforzador o de lo contrario si es muy alta pueden hacerse insensibles y no detonan.

La densidad es un elemento importante para el calculo de la cantidad de la carga de voladura, normalmente varia entre 0.75 y los 1.0 en los agentes de voladura, entre 0.9 y 1.2 en las dinamitas polvorientas y entre 1.2 y 1.5 en las dinamitas gelatinosas.

## Densidad

- Peso del explosivo por unidad de volumen, expresado en gramos por centímetro cúbico ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).
- La densidad del anfo a granel es aproximadamente de  $0.85 \text{ gr}/\text{cm}^3$ .
- Densidades menores de  $1.0 \text{ gr}/\text{cm}^3$  flotan en el agua. Los productos de densidades altas son más fácilmente presionados a muerte que los de densidades más bajas.
- La densidad de carga son los kilogramos de explosivo por metro de barreno ( $\text{Kg}/\text{m}$ ).
- Roca dura (masiva) requiere explosivo de alta densidad y alta velocidad de detonación.
- Roca suave (estructurada) requiere explosivo de baja densidad y baja velocidad de detonación.

Dentro de los parámetros establecidos en la densidad de los explosivos debemos de tener en cuenta un factor importante como es la:

### 6.3.1 MASA CRÍTICA

Es la cantidad mínima de un explosivo para lograr su iniciación. Esta cantidad es variable dependiendo del tipo de explosivo y de la potencia del iniciador; en cargas explosivas encartuchadas o cargas en perforaciones cilíndricas esta masa crítica esta directamente relacionada con el diámetro de contacto entre cartuchos, o bien, con el diámetro de la perforación para el caso de tratarse de agentes de tronadura como anfo u otros, en estos casos se habla de diámetro crítico, es decir, es el diámetro mínimo para lograr la detonación de la carga explosiva; se recomienda para fines prácticos el uso de cargas explosivas cuyo diámetro sea al menos 1,3 veces el diámetro crítico para lograr una buena detonación de la columna explosiva.

### 6.4 VELOCIDAD DE DETONACIÓN:



Figura 6-4 Velocidad de detonación.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

Es la medida de la velocidad con la que viaja la onda de detonación a lo largo de la masa o columna de explosivo, sea al aire libre o dentro de un barreno, expresada en metros / segundo.

Es una de las propiedades más importantes, debido a que de ella depende la potencia que alcanza el explosivo para romper roca y la proporción de energía que alcanza a realizar en un trabajo útil antes de que se disipe. En efecto, los explosivos son capaces de hacer lo que hacen, no por la cantidad de energía que contienen, sino a la rapidez con que la liberan.

Las velocidades de los explosivos comerciales varían entre 1.500 a 7.900 m/seg. Dependiendo principalmente de los ingredientes que lo componen, granulometría, densidad, diámetro del explosivo y grado de confinamiento. Estos parámetros tienen un efecto mucho mayor en la velocidad de los agentes explosivos que en

los explosivos convencionales, lo que ha permitido, a los fabricantes, ofrecer una gran gama de explosivos, facilitando el trabajo a los usuarios, ya que las diferentes velocidades les permite controlar más fácilmente la granulometría del material tronado y la estabilidad de los taludes así como las cajas y techos de las labores.

Existe una teoría sobre la fragmentación, bastante popular en la actualidad, que indica que la roca afectada por una tronadura, primero es sometida a grandes esfuerzos por una onda de choque que se desplaza en todo sentido a partir de la columna explosiva, provocando su fragmentación parcial y agrietamiento radial, tanto mayor cuanto más veloz es el explosivo, y luego el gas se introduce en las grietas, prolongándolas y terminando por fracturar y desplazar la roca. De aquí que en el caso de que se desee tronar una roca dura, es preferible usar un explosivo veloz capaz de generar gran fracturamiento, y si se trata de una formación blanda resulta más favorable un explosivo más lento, que más bien desplace la roca. En el caso de parches es indispensable utilizar un explosivo de alta velocidad.

Existen 3 métodos prácticos para medir la velocidad de detonación, ellos son:

a. Oscilógrafo.

El explosivo se coloca dentro de un tubo de acero, en cuya longitud se han practicado más o menos 12 perforaciones.

Mediante un cable subterráneo que viene de las placas verticales del oscilógrafo, se introduce un polo en las perforaciones, de modo que quede en contacto con el explosivo a través de las perforaciones, el cable que sirve de contacto queda totalmente aislado del tubo mediante corcho, el otro polo se pasa a través de la masa del explosivo. Una alteración cualquiera en las placas deformará la onda en un pequeño instante, lo que queda representado en la pantalla mediante una deformación superpuesta (**peak**).

Este circuito comienza cuando se acciona el disparador para iniciar el fulminante y este a su vez inicia al explosivo, la onda de detonación avanza ionizando los gases formados en el frente de la onda, estos gases ionizados cierran el circuito entre los polos puestos en las perforaciones y tierra, en la medida que avanza la onda de detonación en el explosivo,

produciendo pulsaciones que aparecen como ‘ peak ‘ en la pantalla, estos peak quedan impresos en una fotografía, por lo que el tiempo entre ellos puede ser medido exactamente.

La velocidad se puede medir con una exactitud aproximada del 2%.

b. Cronógrafo de chispa siemens.

Tiene una zona de medición de 0,1 a 0,000001 segundos, consiste en un circuito eléctrico establecido a través de la masa del explosivo, el que es interrumpido por la onda de detonación en 2 puntos, haciendo saltar 2 chispas sobre la superficie de un tambor recubierto con negro de humo y animado de alta velocidad de rotación. Luego conocida la distancia entre las 2 marcas y la velocidad periférica del tambor, se deduce la velocidad de detonación.

c. Método indirecto de Dautriche.

Es la más común por su alcance y economía se realiza durante la prueba de DAUTRICHE, que emplea un cordón detonante de velocidad conocida o mediante la apertura o cierre de un circuito eléctrico controlado con un cronógrafo electrónico. La lectura se expresa en metros/segundos o pies/segundos, y para un mismo explosivo varia si es al aire libre o si se encuentra confinado, variando también en diferentes diámetros, por lo que las normas recomiendan efectuar las medidas en cargas de 32 mm o de 11 a 14 pulgadas de diámetro.

La prueba de DAUTRICHE consiste en el empleo de una placa de plomo de 250 mm por 40 mm por 4 mm con una marca en un extremo como referencia y un tubo de latón o zinc delgado de 300 mm por 32 mm o con dos orificios espaciados a una distancia  $d = 100$  mm llenado con el explosivo a medir, y cebado con detonador. El cordón detonante de un metro de longitud de velocidad conocida y una placa de plomo de 250 mm por 40 mm por 4 mm, con una marca en un extremo, para referencia. El cordón se inserta en los orificios del punto cebado y su punto medio se hace coincidir con la marca de la plancha asegurándolo fijamente, la onda de choque generada por el detonador viaja por la columna de explosivo iniciando el cordón en sus dos puntos de contacto, originando dos ondas que viajan a lo largo del cordón hasta encontrarse en un punto X en la plancha, pero siempre pasándose de la marca ya que la onda por donde se inserto el detonador viaja mas rápido que la otra.

El resultado es que el punto de encuentro de las ondas queda grabado en la placa, midiéndose la distancia entre la marca hecha en la placa y el punto de encuentro de las dos ondas. Se aplica la siguiente relación para determinar la velocidad del explosivo:

$$V_e = \frac{V_c \times d}{X}$$

2 a

Donde:

$V_e$  = velocidad del explosivo

$V_c$  = velocidad del cordón detonante

$d$  = distancia entre orificios 100 mm

$a$  = distancia entre las marcas y punto de encuentro entre las ondas 1 y 2

## 6.5 SIMPATÍA O TRANSMISIÓN DE LA DETONACIÓN:

Al explotar una carga explosiva aparecen ondas por percusión que cuando tienen intensidad suficiente pueden ocasionar la detonación de otra carga localizada a poca distancia de la primera. Este tipo de explosión se llama explosión por simpatía.

El método para medir esta capacidad de detonación por simpatía consiste en colocar alineados axialmente varios cartuchos del mismo tipo y diámetro sobre una carga de arena, espaciados entre sí a diferentes distancias y envueltos en papel kraft. Detonado el primero se busca detonar la máxima distancia hasta la cual es transmitida la detonación de un cartucho a otro, lo que se denomina (grado de simpatía) que en la mayoría de los explosivos industriales esta entre dos a ocho veces su diámetro según su tipo.

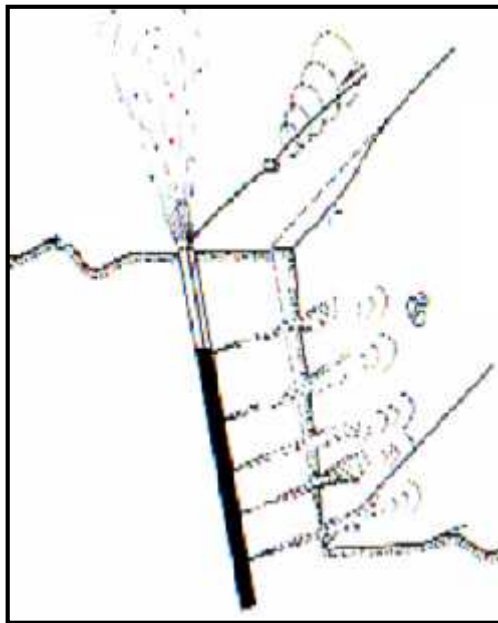


Figura 6-5 Simpatía dentro de un Barreno.  
Fuente: Unam. mx

La transmisión puede ser “directa e inversa” de acuerdo con la ubicación del detonador en la columna. Para obtener una transmisión directa, el detonador se debe colocar axialmente alineado y con su carga dirigida hacia la mayor longitud de la carga explosiva, que es lo que usualmente ocurre al colocar el cartucho cebo al

fondo del barreno; mientras que al ubicarlos al medio de la columna, solo tendremos transmisión directa por delante del cebo e inversa por detrás.

La transmisión directa e inversa produce aproximadamente el 50% de la energía que transmite la directa. La capacidad de transmisión es importante para determinar las distancias entre los cartuchos en los barrenos cargados con espaciadores. A veces equivocadamente, se emplea también el término sensibilidad a la transmisión por simpatía pero es conveniente reservarlo para referirse a la sensibilidad al calor, a la fricción, al golpe o fuego.

## **6.6 SENSITIVIDAD:**

La sensibilidad de los explosivos se debe diferenciar de la sensibilidad; decimos que los explosivos deben ser suficientemente sensitivos para ser detonados por un iniciador adecuado. Esta capacidad varía según el producto.

Así por ejemplo, los detonadores se emplean para la mayoría de las dinamitas, mientras que los agentes de voladura usualmente no arrancan con ellos, es necesario utilizar un reforzador o booster que le dé mayor presión y velocidad. La pólvora por otro lado, puede arrancar con una simple chispa o llama que provocara un régimen de deflagración.

Los detonadores más usados son el No. 6 y el No. 8 (llamado detonador común), notándose un incremento mayor en la detonación al emplear el No 8, para lo que se dice que tiene mayor sensibilidad.

Es el mayor o menor grado de energía que se necesita comunicar al explosivo para que se produzca la explosión. Dentro de la sensibilidad hay diferentes tipos, que son:

Los explosivos deben ser suficientemente sensitivos para ser detonados por un iniciador adecuado. Esta capacidad varía según el producto, así por ejemplo los fulminantes o detonantes se emplean para la mayoría de dinamitas mientras que los agentes de voladura usualmente no arrancan con ellos, requiriendo de un reforzador o multiplicador de mayor presión y velocidad.

Para la clasificación de los explosivos se emplea esta propiedad, en especial para los explosivos de base acuosa los cuales se agrupan en sensibles al detonador común numero 8 como los indugeles AP y las dinamitas no sensibles al detonador numero 8 como los agentes de voladura slurry, anfo, ect..

En la industria de los explosivos, la prueba más usada es la de la sensibilidad al detonador,

los cuales varían desde el número 4 hasta el 12. El uso del fulminante No. 6 es la prueba

estándar, su contenido es de 2 gramos de una mezcla de 80% de fulminato de mercurio y

20% de clorato de potasio, o alguna sustancia equivalente. Con el uso de este fulminante se clasifican los productos explosivos, si estallan se les denomina explosivos, si sucede lo contrario se les llama agentes explosivos.

Para comparar las sensibilidades entre diferentes productos se utilizan fulminantes de diferentes potencias, cuanto más alto sea el número de la cápsula mayor será la sensibilidad del explosivo.

**6.6.1 Sensibilidad al detonador.** Todos los explosivos industriales necesitan para su iniciación de la detonación de un explosivo de superior potencia; este explosivo ira colocado en un detonador, o en un multiplicador.

**6.6.2 Sensibilidad a la onda explosiva.** Es la máxima distancia a la que un cartucho cebo transmite la detonación a otro cartucho receptor.

**6.6.3 Sensibilidad al choque.** Hay explosivos que son muy sensibles al choque y otros no tanto y necesitan un detonador para su explosión.

## **6.7 ESTABILIDAD:**

Los explosivos deben ser estables y no descomponerse en condiciones ambientales normales. La estabilidad se prueba mediante el Test de Abel que consiste en el calentamiento de una muestra durante un tiempo determinado y a una temperatura específica observando el momento en que se inicia su descomposición. Por ejemplo la nitroglicerina a 80 grados centígrados durante 20 minutos.

Es la propiedad de los explosivos de mantenerse sin cambios químicos y mantener su sensibilidad cuando son almacenados bajo condiciones específicas.

- Los explosivos menos estables tienen una vida de almacenamiento más corta y se deterioran más rápido con el tiempo.



- Los factores que afectan la estabilidad química principalmente son: calor, frío, humedad, calidad de las materias primas, contaminación, empaque, y condiciones de almacenamiento.
- Las señales del deterioro de los explosivos son: cristalización, aumento de la densidad, y aumento de la viscosidad.
- Dentro de la estabilidad de los explosivos hay que tener en cuenta otros factores que pueden alterar el estado de las sustancias.

a. Higrscopicidad:

Es la capacidad de absorción y retención de humedad de los explosivos, humedad que afecta tanto su sensibilidad como su estabilidad, algunos factores afectados son el enfriamiento, que produce una absorción de calor al evaporarse la humedad, produciendo una disminución en la temperatura de reacción; la discontinuidad en la descomposición que produce una reacción hidrolítica inducida por la humedad que produce ácido nítrico y nitroso; y la corrosión que produce una interacción de los productos de la hidrólisis con los componentes de los explosivos.

b. Volatilidad:

Para los explosivos es importante que posean baja volatilidad, de tal modo que a las temperaturas de carguío, manejo y almacenamiento sea muy baja.

Una alta volatilidad puede causar pérdidas por evaporación, desarrollo indeseable de presión dentro del envoltorio del explosivo, etc.

c. Cohesión:

Es una forma de establecer la mayor o menor facilidad que tiene un explosivo de mantener su forma original.

Según sean las circunstancias, el explosivo debe tener un comportamiento bien específico al respecto. Así se tiene, por ejemplo, que en el caso de tratarse de un cebo, el explosivo debe tener una gran capacidad para mantener su forma original impidiendo que el detonador se separe. En cambio, en un carguío a granel ya sea por el vaciado de sacos o por medio de un camión fábrica, se requiere que el explosivo fluya libremente para obtener el máximo acoplamiento con las paredes del tiro, optimizando la transmisión de la energía generada por el explosivo.

## 6.8 SENSIBILIDAD:

Es la capacidad que tienen los explosivos para iniciarse por medio de agentes externos como son las altas temperaturas y la fricción, de acuerdo a las sustancias explosivas que las componen, hay unas con mayor grado de sensibilidad que otras. Se tienen 2 posibilidades:

a. Acción controlada: La sensibilidad a la iniciación es determinada en función de los requerimientos de su cebado, el tamaño de la carga iniciadora y la cantidad de energía óptima. Se determina colocando un cartucho de explosivo de un diámetro y longitud determinada sobre una placa de plomo, e iniciándolo con cebos de tamaño y/o potencia creciente, determinando las condiciones óptimas de iniciación basándose en el efecto producido sobre la placa.

b. Acción incontrolada: La determinación de este tipo de sensibilidad a la iniciación pretende establecer las precauciones que se deben tomar con un determinado explosivo, en su manipulación, almacenamiento y transporte, para que no se produzcan detonaciones prematuras que pongan en riesgo la integridad física del personal, de las instalaciones y equipos. Básicamente comprende las sensibilidades al calor, al impacto o choque y a la fricción.

#### **a. Sensibilidad al calor.**

Los explosivos al ser calentados llegan a una temperatura en que se descomponen repentinamente con desprendimiento de llamas y sonido que se denomina punto de ignición. Normalmente la pólvora esta entre 30 a 35 grados centígrados y en los explosivos industriales entre 180 y 230 grados centígrados.

Esta cualidad es diferente al fuego o llama abierta que indica su facilidad de inflamación. Así, a pesar de su buen grado de sensibilidad al calor la pólvora es muy inflamable, explotando hasta con una chispa, lo mismo que la nitrocelulosa y la gelatina explosiva.

Un modo de medir esta sensibilidad es por medio de una marmita esférica de hierro o de cobre, de unos 14 centímetros de diámetro y provisto de una tapa con 4 orificios, de los cuales uno es central y los otros periféricos, cada uno de estos orificios posee un tapón perforado que dejan paso a un termómetro ubicado en el orificio central protegido contra los efectos de la explosión, graduado de 0,5°C desde 0°C hasta 360°C, las otras tres perforaciones son usadas por 3 tubos de ensayo de 15 mm de diámetro interior.

Se procede del siguiente modo: se llena la marmita hasta 2 centímetros de su borde con un liquido de alto punto de ebullición conocido, tal como aceite, parafina líquida, etc., siendo recomendable la aleación de madera por su baja fusión y alto punto de ebullición, después se ubican muestras de explosivo en cada uno de los tubos de ensayo, de 0,10 hasta 0,50 gr, y finalmente se da fuego al mechero ubicado bajo la marmita, graduando su llama de modo que la temperatura se eleve a razón de 5 gr/min; Luego observando atentamente el termómetro, se anotaría la indicación correspondiente al momento en que ocurriese la ignición o la detonación de alguna muestra.

#### **b. Sensibilidad al choque o impacto.**

Se hace mediante la prueba que consiste en la caída de un peso determinado a alturas crecientes hasta llegar a la altura a la cual se produce la respuesta explosiva.

Se usa un aparato llamado “ martillo de caída “ y se usan mazos de 2 a 10 Kg; Este método de medida de la sensibilidad al choque se presta muy bien para los explosivos de alta sensibilidad, pero para explosivos industriales como los agentes de tronadura y slurries, el nivel de impacto es muy pequeño como para lograr detonarlos.

Para este tipo de explosivos se han diseñado métodos de impacto de placas o proyectiles de alta velocidad, así se prueban con disparos de balas de fusil de diferentes pesos y velocidades, como también con placas metálicas lanzadas por medio de explosivos.

#### **c. Sensibilidad al roce.**

Para esta prueba, puede emplearse un mortero de porcelana no vidriada de 10 centímetros de diámetro y 6 cm de altura, con un mango de igual material, se procede a someterlo a 0,55 gr, de explosivo a una fricción prudente, anotando al frotar si se producen o no decrepitaciones débiles o fuertes.

Existe un yunque de acero de superficie lisa, sobre el cual puede resbalar otra pieza de acero en forma de zapato, montada en el extremo de un largo brazo; dicho zapato se le puede dar una aspereza suficiente, y puede ser cargado con pesos progresivos para graduar los efectos sobre el explosivo, ubicado sobre la superficie del yunque.

#### **d. Sensibilidad a la iniciación por detonación.**

Se determina sometiendo sucesivamente una misma cantidad de explosivo, a la acción de diferentes detonadores de creciente potencia, hasta encontrar el más débil, capaz de provocar la explosión, el material ensayado debe ser colocado en cartuchos.

Las sustancias explosivas, necesitan de un impulso inicial para llegar a su estado de detonación en mayor o menor grado.

#### **e. Sensibilidad a la iniciación por simpatía.**

Es la capacidad que poseen algunos explosivos de ser iniciados, sin necesidad del contacto entre el iniciador y el explosivo, los que pueden encontrarse distanciados, por cierto espacio intermedio.

La forma de medir esta sensibilidad, consiste en disponer linealmente una serie de pequeños cartuchos del explosivo iguales, y separados unos de otros por distancia creciente; luego se provoca la detonación del primero de los cartuchos y se observa hasta donde se prolonga el efecto; finalmente se adopta como distancia

máxima de detonación por simpatía, a la mayor distancia existente entre 2 cartuchos que se inician.

Los factores que influyen en los resultados de esta prueba son: naturaleza del explosivo, naturaleza del iniciador, tipos de superficie en que descansan el iniciador y el explosivo, la naturaleza del medio interpuesto entre ellos y el diámetro del explosivo (a mayor diámetro, mayor es la sensibilidad por simpatía). Los factores que influyen en la sensibilidad son:

- Condiciones de división de la masa explosiva (tamaño del grano).
- Temperatura.
- Condición de confinamiento.
- Por la mezcla o no con otros cuerpos químicamente inertes.
- Causa desencadenantes de la transformación.

## 6.9 RESISTENCIA A LA HUMEDAD:



Figura 6-6 Resistencia del explosivo al agua.  
Fuente: Clubdelmar.org.com.

Muchos tipos de trabajo de carga involucran explosivos que se dejan cargados bajo el agua por largos periodos de tiempo aun en caso de la voladura normal de roca los barrenos a menudo se llenan de agua, los explosivos plásticos también tienen gran resistencia al agua y un explosivo bien empacado en un barreno relativamente sólido ha demostrado buena impermeabilidad por un periodo considerablemente más largo que los normalmente garantizando, la resistencia al agua de un explosivo generalmente se define como la habilidad del producto para soportar la penetración del agua.

Generalmente se expresa como el número de horas que puede estar sumergida en agua estática y todavía detona confiablemente. Cuando el agua penetra un producto explosivo, primero deteriora su eficiencia y con explosión prolongada o en

condiciones de humedad severa, puede ser desensibilizado a tal punto que no detone. La resistencia al agua de un producto depende no solamente del empaque y de la habilidad inherente del explosivo a soportar el agua, sino también de las condiciones de humedad. El agua estática a bajas presiones no afecta el explosivo tan rápidamente como el agua dinámica especialmente a alta presión. La escala de clasificación generalmente aceptada en los explosivos es nula – limitada – buena – muy buena – excelente a sobresaliente.

Las propiedades de almacenamiento de los explosivos comerciales definen el periodo de tiempo en el cual el producto puede ser almacenado sin ningún efecto sobre su seguridad confiabilidad y funcionamiento aunque las características de almacenamiento han sido mejoradas, es muy importante reemplazar inventarios de tal forma que se evite el almacenamiento prolongado, los explosivos plásticos no deben ser almacenados o estar sujetos a altas temperaturas ya que se puede ablandar y las sales en la sustancia explosiva pueden penetrar el papel del cartucho, los cartuchos de esta forma se deforman y se hace difícil su uso.

Los explosivos tipo pólvora en forma de cartucho generalmente son más sensibles a la humedad, las sales en el explosivo pueden formar depósitos en el cartucho los cuales luego se endurecen en este caso, el fenómeno de envejecimiento no será aplicable.

Los explosivos mezclados pueden en cierto caso, separarse y sus características cambian completamente, los explosivos manufacturados en fabrica normalmente están hechos de tal forma que esto no ocurre, es importante mantener los explosivos en sitios limpios y secos, almacenados de tal manera que no tengan contacto directo con la humedad y estar rotándolos constantemente para mantener sus partículas químicas en continuo movimiento y evitar asentamientos.

En características generales es la capacidad para resistir una prolongada exposición al agua sin perder sus características. Varía de acuerdo con la composición del explosivo y generalmente esta vinculada a la mayor proporción de nitroglicerina o aditivos que contenga, así en el grupo de dinamitas las más resistentes son las gelatinas y entre los agentes de voladura las emulsiones.

- Es la propiedad del explosivo de resistir al contacto con el agua sin pérdida de sensibilidad o eficiencia expresada en términos cuantitativos.
- Los explosivos varían mucho en cuanto a resistencia al agua, el anfo no tiene ninguna resistencia, los hidrogeles tienen buena resistencia.
- Humos de óxido nitroso (anaranjados - café) de una voladura, indican detonación ineficiente que puede ser causada por explosivos mojados.
- La resistencia al agua puede ser mejorada usando liners en los barrenos o empaque resistente al agua.

## **6.10 CATEGORÍA DE HUMOS (VAPORES)**



Figura 6-7 Humos generado por la explosión.  
Fuente: Grupo MARTE ESING.

Denominase así al conjunto de productos resultante de una tronadura, que comprende los gases inocuos (que no producen daños) de vapor de agua, nitrógeno, dióxido de carbono; algunos productos sólidos, líquidos, los gases tóxicos como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. Bajo la designación de clases, se pretende clasificarlos según su contenido de gases tóxicos, compuestos principalmente por monóxidos de carbón (CO) y oxido de nitrógeno (NO Y NO<sub>2</sub>).

La emisión de gases nocivos, aún por parte de explosivos bien balanceados, se debe a muchos factores entre los cuales se tiene un deficiente cebado, una inadecuada resistencia al agua, un diámetro de columna de carga demasiado pequeño o una prematura pérdida de confinamiento.

Uno de los gases producto de la explosión es el monóxido de carbono, que es incoloro e insípido, siendo en pequeñas concentraciones muy peligroso. Actúa sobre la sangre, disminuyendo su capacidad de absorber oxígeno. El oxígeno que se le debe administrar a la víctima de este gas, es una mezcla de 95% de oxígeno y 5% de dióxido de carbono. Bajo ninguna circunstancia debe permitírsele a la víctima hacer un esfuerzo innecesario, ya que es peligroso para el corazón. Los síntomas de envenenamiento por monóxido de carbono son debilidad o falta de energía, somnolencia, disminución del discernimiento, dolor de cabeza y nauseas.

Los gases óxido - nitrosos, generalmente se hacen presente en forma de dióxido nitroso, que es un gas rojizo y ocre en muy bajas concentraciones. Estas características son muy significativas y peligrosas, pues pueden ser mortales antes de que puedan ser vistos. Los síntomas son el escozor de los ojos y tos. Una de sus características principales es que sus efectos no son inmediatos, las dificultades pulmonares que trae como consecuencia su aspiración, comenzarán después de 2 o 3 días. Los gases irritan los tejidos pulmonares y esto causa una gradual acumulación de líquido en los pulmones. La habilidad de los pulmones para absorber oxígeno se ve disminuida y comienza a aparecer un color azulado

en la piel y los labios de la víctima. La muerte de la víctima ocurre por ahogo debido al líquido que llena sus pulmones.

La detonación de todo explosivo comercial produce vapor de agua (H<sub>2</sub>O), nitrógeno (N), bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y eventualmente sólidos y líquidos. Entre los gases inocuos nombrados hay siempre cierto porcentaje de gases tóxicos llamados humos, como el monóxido de carbono (CO) y el bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). De acuerdo con la proporción contenida de estos gases tóxicos se han establecido escalas de clasificación por grado de toxicidad, después de efectuado el disparo, de la siguiente manera:

- I Categoría: de 0 a 0.16 pies cúbicos de CO – NO<sub>2</sub>
- II Categoría: de 0.16 a 0.33 pies cúbicos de CO – NO<sub>2</sub>
- III Categoría: de 0.33 a 0.67 a más pies cúbicos de CO – NO<sub>2</sub>

Esta clasificación se refiere a los gases producidos por el disparo de ensayo de un cartucho de 1 1/4 de pulgadas por 8 pulgadas, con su envoltura de papel, en la denominada bomba de BICHEL. Según esta categorización los explosivos de primera pueden ser empleados en cualquier labor subterránea, los de segunda solo en las que garantizan buena ventilación, usualmente con tiro forzado y los de tercera solo en superficie o cielo abierto.

Por lo general, se considera que los explosivos de uso civil deben estar por debajo de los siguientes valores: CEO – 0.02% y NO<sub>2</sub> – 0.003%. Los agentes explosivos como el anfo son más tóxicos que las dinamitas, por que generan mayor cantidad de nitrógeno.

**En este medio se le denominan emanaciones a los gases tóxicos. Los gases que se originan de la detonación de explosivos principalmente bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua, los cuales no son tóxicos en el sentido clásico de la palabra, pero también se forman en cualquier detonación gases venenosos como el monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.**

En trabajos a cielo abierto las emanaciones se pueden dispersar rápidamente por el aire, por lo que provocan poca preocupación, pero en trabajos subterráneos deben considerarse detenidamente, ya que las emanaciones no se disipan fácilmente y en este caso la ventilación es de fundamental importancia. También hay que considerar que las emanaciones provocan, mientras se disipan, tiempos de espera para poder reanudar los trabajos.

Tanto la naturaleza como la cantidad de gases venenosos varían en los diferentes tipos y clases de explosivos.

Algunos de los factores que pueden incrementar los gases tóxicos son: fórmula pobre del producto, cebado inadecuado, falta de resistencia al agua, falta de confinamiento, reactividad del producto con la roca y reacción incompleta del producto.

Cuando los explosivos detonan pueden producir gases tóxicos (NO, NO<sub>2</sub>, CO) y vapores no tóxicos (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O).

Los factores que incrementan la generación de humos tóxicos son: cebado inapropiado, falta de confinamiento, agua, composición del explosivo inapropiada, retardos inapropiados, reacción adversa con la roca.



## GLOSARIO

**ADIABÁTICA:** Se dice de la comprensión que generan los gases en un recinto en cuyo interior y exterior no es posible el intercambio térmico. (Pág. 13).

**ALAMBIQUE:** Aparato que sirve para destilar o separar de otras sustancias más fijas, por medio del calor, una sustancia volátil. Se compone fundamentalmente de un recipiente para el líquido y de un conducto que arranca del recipiente y se continúa en un serpentín por donde sale el producto de la destilación. (Pág. 51).

**BLANCO:** Se denomina en demoliciones, blanco a la estructura u objetivo al cual se le coloca la carga explosiva para su demolición. (Pág. 30).

**BARRENO:** Orificio que se perfora sobre un determinado blanco u objetivo, para alojar la carga explosiva. (Pág. 25).

**BORNE:** es el nombre dado en electricidad a cada uno de los terminales de metal en que suelen terminar algunas máquinas y aparatos eléctricos, y que se emplean para su conexión a los hilos conductores. (Pág. 168).

**BURDEN:** Distancia que existe entre la cara libre de voladura y la primera línea de barrenos. (Pág. 188).

**CALICHE:** Sustancia arenosa que aflora en abundancia, especialmente en el desierto de Atacama, al norte de Chile. Contiene nitrato de sodio y otras sustancias, utilizado especialmente para la elaboración de fertilizantes. (Pág. 7).

**CARTUCHO:** Empaque de forma cilíndrica en el cual viene contenido algunas sustancias explosivas como por ejemplo: La dinamita, el Indugel, Indugel AV 800, entre otros. (Pág. 27).

**COMBURENTE:** Se define como comburente a toda mezcla de gases en el cual el oxígeno está en proporción suficiente para que se produzca la combustión. El comburente normal es el aire que contiene aproximadamente un 21% de oxígeno.

Para que se produzca la combustión es necesaria la presencia de una proporción mínima de oxígeno, que por regla general va de un 15% hasta en casos extremos de un 5%. En situaciones donde no existe oxígeno o en donde se desea una

combustión fuerte y muy energética, se puede usar oxígeno gaseoso o líquido, como es en el caso de los cohetes usados en los transbordadores espaciales.

Los combustibles que presentan un alto número de átomos de oxígeno en su molécula no necesitan comburente para arder (peróxidos orgánicos). (Pág. 5).

**CONFINAR:** Es la acción de comprimir una sustancia explosiva, por medio de tierra, arcilla u otro elemento, para aumentar la presión explosiva de la carga en el momento de su detonación. (Pág. 17).

**CRETA:** Carbonato de cal terroso. (Pág. 53).

**EL CLINKER PÓRTLAND:** Es el componente principal del cemento común y, por tanto, del hormigón. Su nombre surge por su color gris característico, igual que el de la piedra que existe en la región de Portland, cercana a Londres. Se forma tras calcinar caliza y arcilla a una temperatura que oscila entre 1350 y 1450 °C. Se compone aproximadamente de 40-60% Silicato tricálcico, 20-30% Silicato bicálcico, 7-14% Aluminato tricálcico, 5-12% Ferrito aluminato tetracálcico. (Pág. 80).

**ENCENDEDOR DE ESPOLETA:** Elemento el cual produce una llama encargada de prender la espoleta de tiempo (mecha de seguridad), este puede ser cerillas, mecheras, encendedores M-60 o cualquier otro elemento que genere llama. (Pág. 90).

**ENGARZADOR:** Son elementos que se utilizan para apretar la espoleta de tiempo al detonador. Conocido normalmente con el nombre de pinzas corrugadoras. (Pág. 160).

**ESLABÓN:** Aro que forma la estructura de la cadena. (Pág. 221).

**FEXAR:** Fabrica de explosivos Antonio Ricaurte (Indumil Colombia).

**GAS GRISÚ:** Es un gas de metano que se desprende de las minas de hulla, que al mezclarse con el aire se hace inflamable y produce violentas explosiones. (Pág. 104).

**GLICERINA:** Líquido incoloro, espeso y dulce, que se encuentra en todos los cuerpos grasos como base de su composición. Se usa mucho en farmacia y perfumería, pero sobre todo para preparar la nitroglicerina, base de la dinamita. Químicamente se define como un alcohol. (Pág. 8).

**HIGROSCÓPICO:** Propiedad de algunas sustancias de absorber y exhalar la humedad según el medio en que se encuentran. (Pág. 41).

**INTERSTICIO:** Es la hendidura o espacio, por lo común pequeño, que media entre dos cuerpos o entre dos partes de un mismo cuerpo. (Pág. 187).

**MODUS OPERANDI:** Son todas las técnicas que emplean los grupos terroristas para ejecutar sus acciones bélicas. (Pág. 28).

**ONDAS COMPRESIONALES:** Las ondas compresionales (p) son las que se transmiten cuando las partículas del medio se desplazan en la dirección de propagación, produciendo compresiones y dilataciones en el medio.

Ésta es la más veloz de todas las ondas sísmicas (más de 5 km/s en las rocas graníticas cercanas a la superficie, y alcanza más de 11 km/s en el interior de la Tierra) y, por lo tanto, es la primera en llegar a cualquier punto, en ser sentida y en ser registrada en los sismogramas, por lo que se llamó onda Primera o Primaria y de allí el nombre de P (en inglés se asocia también con push que significa empujón o empujar). (Pág. 23).

**ONDA LOVE:** Las ondas Love son ondas superficiales que provocan cortes horizontales en la tierra. Fueron bautizadas por A.E.H. Love, un matemático británico quien creó un modelo matemático de las ondas en 1911. Las ondas Love son levemente más lentas que las ondas Rayleigh. (Pág. 24).

**ONDAS RAYLEIGH:** Las ondas Rayleigh son ondas superficiales que viajan como ondulaciones similares a aquellas encontradas en la superficie del agua. La existencia de estas ondas fue predicha por John William Strutt. (Pág. 24).

**ONDAS SUPERFICIALES:** Las ondas superficiales son análogas a las ondas de agua y viajan sobre la superficie de la Tierra. Se desplazan a menor velocidad que las ondas de cuerpo. Debido a su baja frecuencia provocan resonancia en edificios con mayor facilidad que las ondas de cuerpo y son por ende las ondas sísmicas más destructivas. Existen dos tipos de ondas superficiales: ondas Rayleigh y ondas Love. (Pág. 24).

**POLARIZAR:** Acción por la cual unimos entre sí los extremos de un cable conductor de energía para evitar que ingresen corrientes externas a un determinado circuito o detonador eléctrico. (Pág. 134).

**POLVORÍN:** Lugar adecuado y destinado para el almacenamiento de las sustancias explosivas. (Pág. 120).

**PROBADOR DE CONTINUIDAD:** Elemento diseñado para determinar y verificar el perfecto estado de un circuito eléctrico, dándonos a conocer que el circuito se encuentra en óptimas condiciones, no presentado rupturas internas en los cables. (Pág. 179).

**SALITRE:** Mineral blanco, translúcido y brillante compuesto por nitrato de potasio,  $\text{KNO}_3$ . El salitre tiene importancia comercial como fertilizante y conservante alimenticio, para fabricar vidrio, y en algunas medicinas como diurético. Antiguamente se utilizaba en la fabricación de pólvora y hoy se emplea en explosivos, fuegos artificiales (cohetes) y fósforos, así como en los fundentes utilizados en metalurgia. Es importante como fuente de nitrógeno en la fabricación de compuestos nitrogenados, en particular ácido nítrico, y como agente oxidante en muchos procesos químicos industriales. (Pág. 7).

**SISTEMA DE CEBADO DOBLE:** Consiste en cebar la carga con dos sistemas de iniciación independientes el uno de otro, para evitar fallas en la detonación de la carga explosiva. (Pág. 182).

**TERMITA:** Es una mezcla de óxido de hierro y aluminio en polvo, el aluminio extrae rápidamente el oxígeno del óxido de hierro desencadenando una reacción térmica capaz de fundir el acero. (Pág. 216).

**TOCÓN:** Parte del tronco de un árbol que queda unida a la raíz cuando es cortado. (Pág. 63).

**VOLÁTIL:** Son líquidos que se evaporan con facilidad al ser colocados en contacto directo con el medio ambiente, como por ejemplo la acetona, la gasolina o el alcohol. (Pág. 194).

## **BIBLIOGRAFÍA**

Comentario Protocolo II de los Convenios de Ginebra.

Directiva Transitoria No. 0036 del 24 de Febrero de 2004. Actualización reglamentación del Ejército Nacional.

Decreto numero 2535 del 17 de diciembre de 1993. Por el cual se expiden normas sobre armas, municiones y explosivos.

Folleto de Derecho Internacional Humanitario (Cruz Roja Colombiana – CICR).

Folletos INDUMIL (FEXAR - fábrica de Explosivos Antonio Ricaurte).

Guía de ATF para la ejecución de la ley para reportar incidentes con explosivos - DEA - USA.

Ley 5 de 1960.

Ley 171 de 1994.

Manual de explosivos y demoliciones FM 2-250, Instituto de Cooperación para la seguridad Hemisférica, Septiembre de 1992.

Manual sobre el derecho de la guerra para las Fuerzas Armadas.

Manual uso de explosivos en obras Civiles y Militares (ESING).

Pagina web [www.Famesa.com](http://www.Famesa.com).

S.O.P. Medidas de seguridad del Grupo Marte (Escuela de Ingenieros Militares).