

Laboreo I

Bloque II. Los explosivos



Rubén Pérez Álvarez
Noemí Barral Ramón

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES Y TECNOLOGÍA DE
PROYECTOS Y PROCESOS

Este material se publica con licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



BLOQUE TEMÁTICO II: LOS EXPLOSIVOS

- 2.1. Propiedades de los explosivos
- 2.2. Tipos y modos de utilización
- 2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas
- 2.4. Efectos indeseables de las voladuras: Proyecciones y vibraciones, onda aérea
- 2.5. Legislación de explosivos

NOTA: LOS ALUMNOS RECIBIRÁN AL COMIENZO DEL CURSO APUNTES EXPANDIDOS Y MATERIAL COMPLEMENTARIO RELATIVO A ESTA ASIGNATURA.

2.1. Propiedades de los Explosivos

DEFINICIÓN DE LOS EXPLOSIVOS

Los explosivos industriales están constituidos por una mezcla de sustancias, unas combustibles y otras oxidantes, que debidamente iniciadas, dan lugar a una reacción química de gran rapidez. Tal reacción genera gases a alta temperatura y presión.

Cada tipo de explosivo se caracterizará por una composición específica, por lo que contarán con características diversas, pudiendo seleccionar para cada ocasión el explosivo más adecuado.

PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

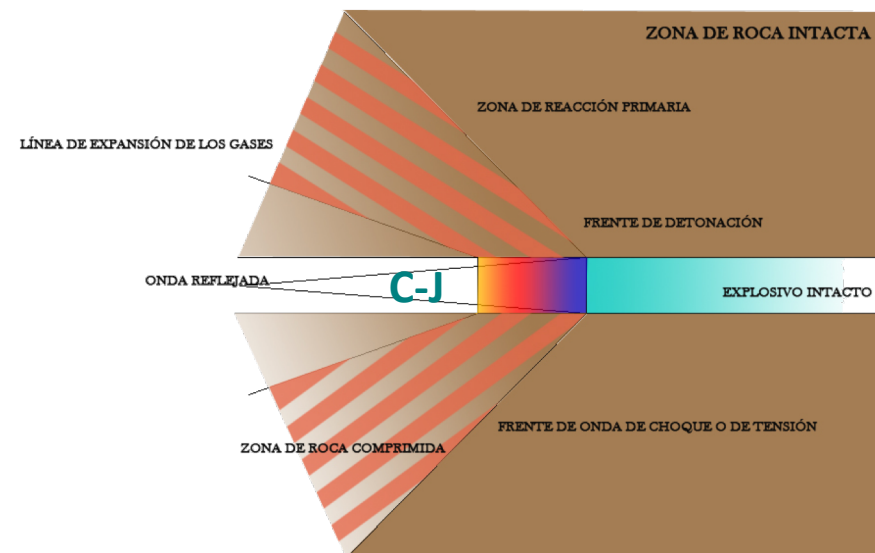
-  **POTENCIA EXPLOSIVA**
-  **PODER ROMEDOR**
-  **VELOCIDAD DE DETONACIÓN**
-  **DENSIDAD DE ENCARTUCHADO**
-  **RESISTENCIA AL AGUA CALIDAD DE HUMOS**
-  **SENSIBILIDAD**
-  **ESTABILIDAD QUÍMICA**

EL PROCESO DE DETONACIÓN

Proceso consistente en la propagación de una reacción química a través del explosivo a una velocidad superior a la del sonido en dicho material, transformándolo en nuevas sustancias químicas. Estas reacciones son iniciadas y soportadas por una onda de choque supersónica.

En cabeza viaja un choque puro, que inicia la transformación química, verificada en la zona de reacción, que concluye en el denominado plano de Chapmant-Jouguet, C-J, en el que asumiendo una detonación ideal se verificaría el equilibrio entre reactivos y productos.

Tras el plano C-J se encuentran los productos de la reacción, y en ocasiones partículas inertes. La mayor parte de dichos productos de reacción son gases a entre 1500 y 4000 °C y presiones entre 2 y 10 Gpa. Los gases en dichas condiciones se expanden rápidamente y producen un choque u onda de tensión alrededor del medio que les rodea.



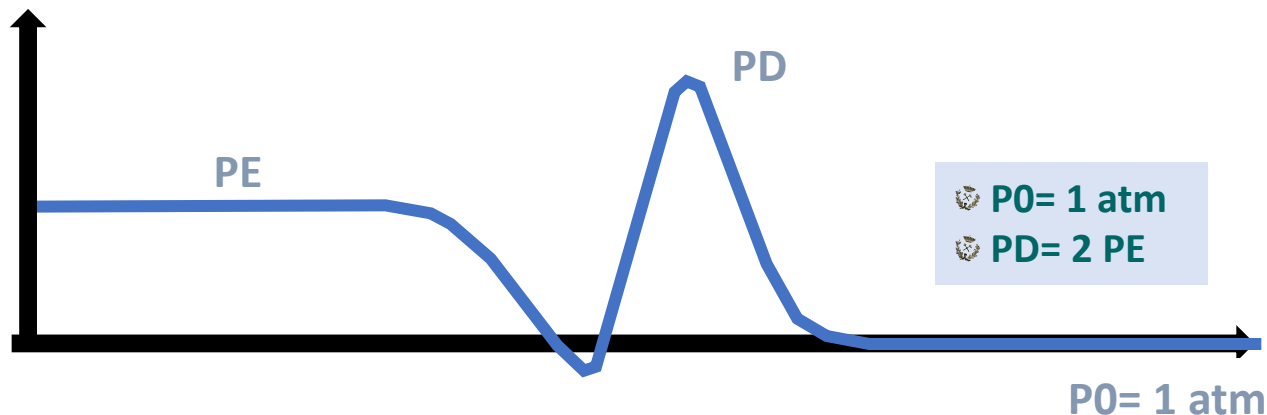
EL PROCESO DE DETONACIÓN

Relación entre la velocidad de detonación y la presión de detonación, asociada a la onda de choque:

$$PD = \frac{\rho_e \cdot VD^2}{4}$$

- 🔍 PD= Presión de detonación (KPa)
- 🔍 ρ_e = Densidad del explosivo (g/cm³)
- 🔍 VD= Velocidad de detonación (m/s)

La presión termoquímica o máxima disponible para efectuar un trabajo “PE”, por lo general vale la mitad de la presión de detonación. La figura adjunta muestra las presiones a lo largo de la columna de explosivo asociada a un barrenado.

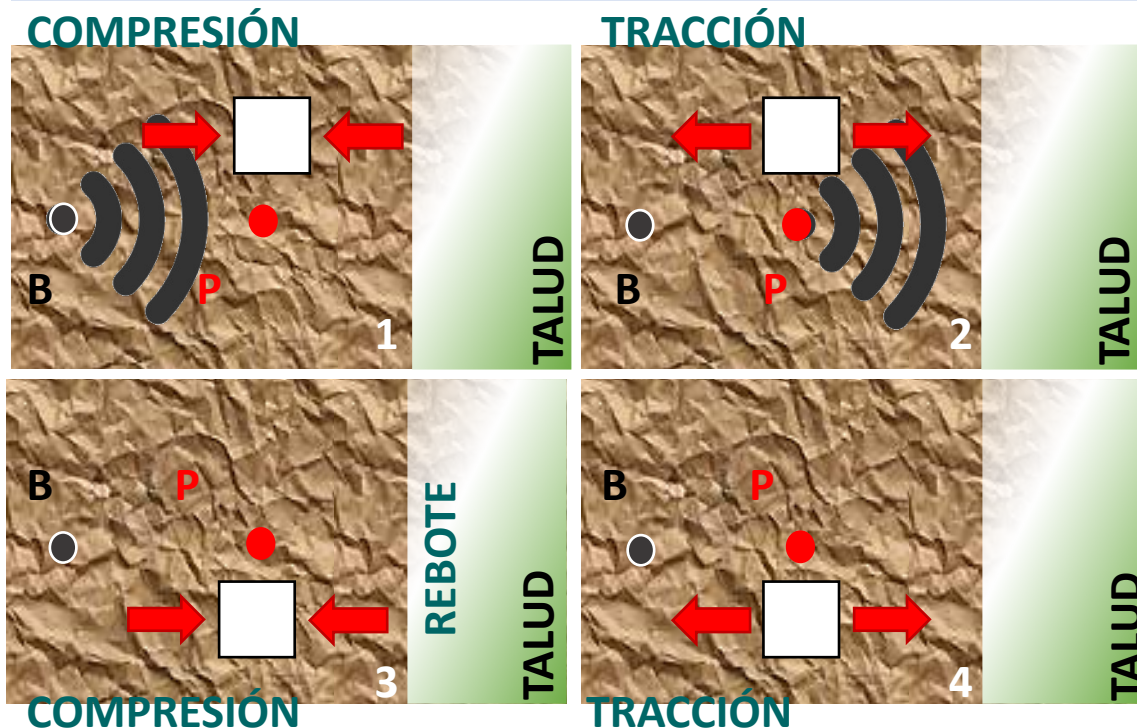


EL PROCESO DE ROTURA

La reacción experimentada por los explosivos conlleva dos efectos fundamentales:

- 1er efecto (ASOCIADO AL PODER ROMPEDOR): debido a la onda de detonación generada como consecuencia de la explosión. Esta onda de choque se traslada a velocidades del orden de 3000 a 5000 m/s, en función del tipo de roca.
- 2º efecto: Consecuencia del volumen de gases a alta presión y temperatura.

Considerando la imagen en planta, al llegar a un punto cercano a un barreno, la onda de detonación ejerce una acción compresiva (1). Al sobrepasarlo, de tracción (2). La resistencia a tracción de una roca es de 10 a 100 veces menor que la de compresión, por lo que es esa tracción la que facilita la rotura. El rebote en la cara libre (3) intensifica el fenómeno asociado al desplazamiento de la onda de choque.



2.1. Propiedades de los Explosivos

EL PROCESO DE ROTURA

1.- TRITURACIÓN DE LA ROCA POR LA ONDA DE CHOQUE

La onda de detonación, por la compresión, genera la trituración de la roca en un anillo de radio comprendido entre 2 y 4 veces el diámetro del barreno.

2.- AGRIETAMIENTO RADIAL POR TRACCIÓN

Creación de fisuras de tipo radial, en el entorno de la zona triturada, por esfuerzo de tracción inducida

3.- REFLEXIÓN DE LA ONDA DE CHOQUE EN LAS CARAS LIBRES

La onda de choque se refleja en la cara libre, produciendo efectos añadidos de tracción y cizalla.

4.- APERTURA DE LA GRIETA POR LOS GASES

Los gases producidos en la explosión, a elevada presión y temperatura penetran por las fisuras abriéndolas, fragmentando y proyectando la roca hacia delante en el frente libre.

POTENCIA EXPLOSIVA

Capacidad del explosivo de quebrantar y proyectar la roca, por la acción conjunta de la onda de detonación y la presión de gases. Es función de la composición del explosivo, y puede optimizarse adecuando la voladura. Se puede valorar, entre otros, con el péndulo balístico o el Método de Trauzl.

El **Péndulo Balístico** (comparando con la potencia explosiva de la goma pura, al que se asigna un 100%)

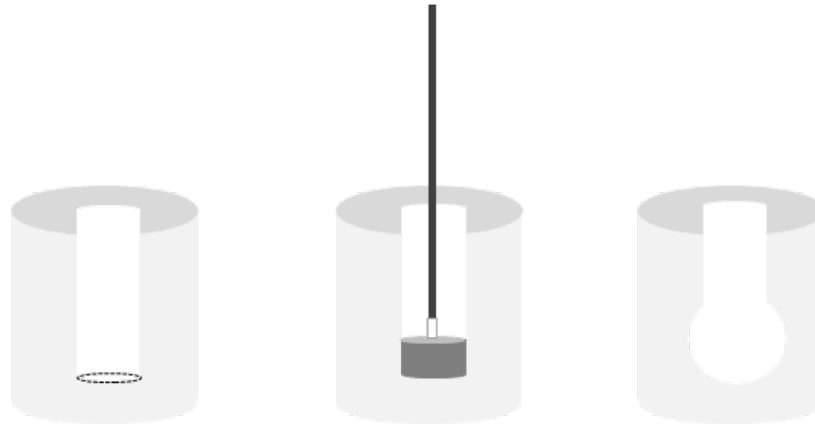
$$T.B.M = 100 \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{1 - \cos \beta}$$

Donde α y β son los ángulos registrados en el retroceso del péndulo, correspondientes al explosivo a ensayar y al explosivo patrón (goma pura).



Péndulo Balístico. FUENTE: http://www.mumi.es/wp-content/uploads/2014/12/pendulo_balistico1.jpg

POTENCIA EXPLOSIVA



HUECO INICIAL (60 CM³), EN
BLOQUE DE PLOMO DE 20 X
20

DETONADOR + 10 g
DE EXPLOSIVO

HUECO FINAL

Volumen de Trauzl: Volumen medido tras la explosión en centímetros cúbicos (sin descontar el volumen inicial de la cavidad, ni el incremento de volumen debido al detonador).

Ensanchamiento de Trauzl (o volumen real): Volumen de Trauzl menos la suma del volumen inicial y en incremento de volumen debido al detonador.

ÍNDICE DE TRAUZL: Cociente entre el ensanchamiento de Trauzl del explosivo ensayado y el ácido pícrico, explosivo utilizado como patrón.

2.1. Propiedades de los Explosivos

POTENCIA EXPLOSIVA

 La determinación de la **Energía Relativa por unidad de peso y volumen** (adecuado para explosivos insensibles al detonador). Conviene destacar los siguientes parámetros.

AWS: Energía absoluta por unidad de peso [cal/g].

ABS: Energía absoluta por unidad de volumen [cal/cm³].

A partir de ellos se obtendrá la Energía Relativa por unidad de peso (RWS) y volumen (RBS) respecto al ANFO.

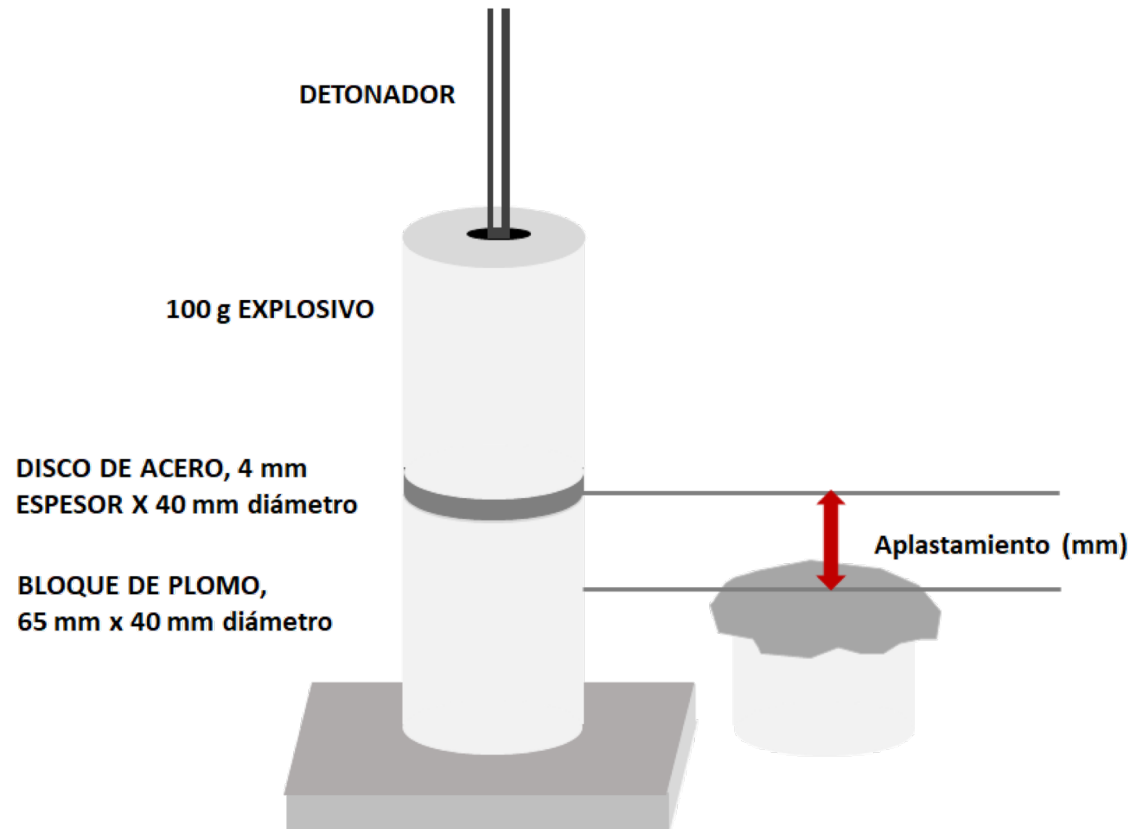
$$RWS = (AWS / AWS_{ANFO}) \cdot 100$$

$$RBS = (ABS / ABS_{ANFO}) \cdot 100$$

La instauración de la determinación de la Energía Relativa responde a un aspecto fundamental: para poder comparar con goma pura, ésta debe fabricarse (es el explosivo más potente conocido, más incluso que la nitroglicerina, siendo su composición de un 92% en Nitroglicerina, y 8 % Nitrocelulosa), y eliminar el excedente tras el proceso, con los riesgos que conlleva. Resulta más cómodo referenciar respecto al ANFO. Dadas las características de potencia y densidad de éste, los restantes explosivos darán valores de RWS superiores a 1, y de RBS aún mayores.

PODER ROMPEDOR

Característica del explosivo, que indica la capacidad de quebrantar la roca debida a la onda de detonación únicamente (no al conjunto onda de detonación + presión de gases). Es parámetro muy importante en explosivos de empleo con bajo grado de confinamiento, ya que sus gases no pueden ejercer grandes presiones (Ej: cargas para taqueo). **Se caracteriza mediante el método de Hess.**

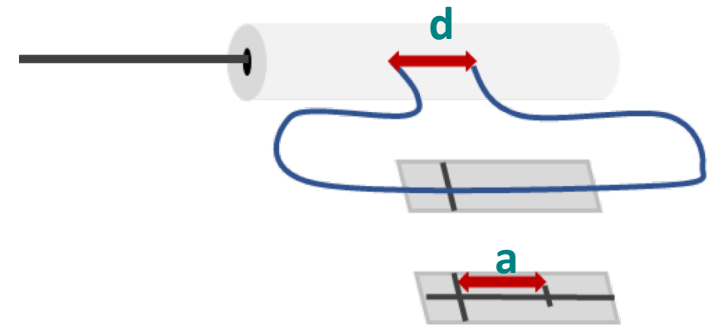


DISTINCIÓN DE LA ENERGÍA BAJO EL AGUA

Permite diferenciar la energía de tensión (energía de la onda de choque) de la energía de expansión de los gases. El explosivo, al dispararse en un medio homogéneo, actúa sin distorsión direccional y la ubicación de sensores de lectura diferencian ambos impulsos, que podrán comprobarse con el explosivo patrón con gran exactitud.

VELOCIDAD DE DETONACIÓN

Tradicionalmente se basaba en comparar la **"VD"** del explosivo con la velocidad ya conocida de un cordón detonante (7000 m/s). En un cordón con una longitud determinada y se marca el punto medio, haciéndolo coincidir con una señal efectuada sobre una plancha de plomo en la cual se apoya, y a continuación, se insertan los extremos del cordón dentro del explosivo a una distancia prefijada "d". La carga de explosivo, que puede estar alojada en un tubo metálico, se inicia en uno de los lados con un detonador. Como la onda de choque energiza a su vez en instantes diferentes a los extremos del cordón, la colisión de las ondas 1 y 2 tiene lugar sobre la plancha a una distancia "a" del punto medio del cordón. La **"VD"** del explosivo se determinará:



$$\frac{L + a}{VD_C} = \frac{L - a}{VD_C} + \frac{d}{VD_e}; \frac{2a}{VD_C} = \frac{d}{VD_e}$$

En la actualidad, en lugar de cordón detonante sensores eléctricos o de fibra óptica conectada a un cronógrafo que detecte el tiempo de activación, pudiendo incluso proporcionar directamente el valor de dicha velocidad.

DENSIDAD DE ENCARTUCHADO

Característica de gran importancia en explosivos industriales. A mayor sea la densidad del explosivo, mayor será la concentración de carga para un diámetro de barreno determinado.
La carga de explosivos de densidad inferior a $1,1 \text{ gr/cm}^3$ en barrenos con agua es muy laboriosa (los cartuchos tienden a flotar).

HUMOS Y CALIDAD DE LOS MISMOS

Conjunto de productos gaseosos resultantes de la reacción de detonación (vapores nitrosos, vapor de agua, monóxido de carbono y anhídrido carbónico).

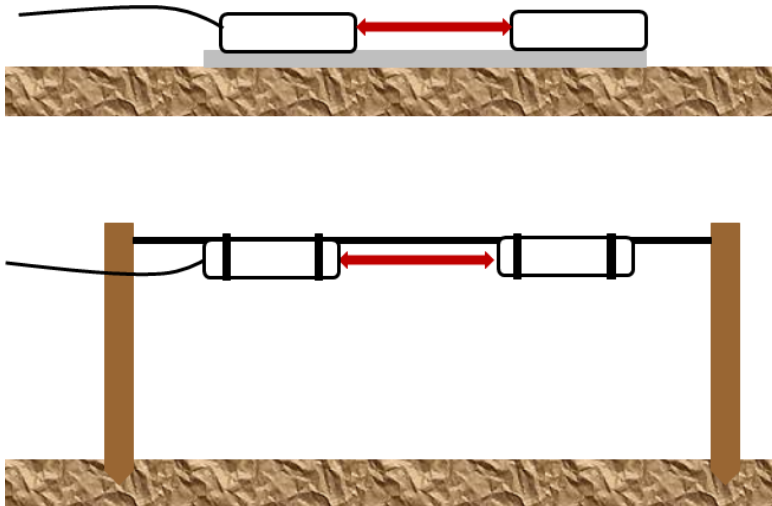
	HUMOS NOCIVOS
CATEGORÍA A	<2,27 l/100 gr explosivo
CATEGORÍA B	2,27 -4,67 l/100 gr explosivo
CATEGORÍA C	>4,67 l/100 gr explosivo

SENSIBILIDAD

Mayor o menor grado de Energía que ha de comunicársele a un explosivo para que se produzca la explosión. Se consideran distintos tipos de sensibilidad:

Sensibilidad al detonador.

Los explosivos industriales suelen iniciarse mediante la detonación de un explosivo de elevada potencia, alojado en el detonador, en un cordón detonante o en el multiplicador (empleado en el caso de explosivos que no son sensibles al detonador). Existen explosivos no sensibles al detonador, en ese caso es habitual recurrir al multiplicador (pastilla cilíndrica de explosivo de elevada potencia sensible al detonador).



Sensibilidad a la onda explosiva. Transmisión por simpatía.

Capacidad de transmisión entre los cartuchos de explosivo, colocados en línea, a continuación unos de otros, y separados una determinada distancia. Los ensayos se realizan bien sobre placa de hierro, o al aire (obtener resultados positivos en estas circunstancias garantizan buenas voladuras, ya que la sensibilidad en el interior de un barreno es sensiblemente superior). Aún a pesar de la sensibilidad característica a la onda explosiva, ha de asegurarse la detonación en el caso de cargas discontinuas, por lo que se emplea cordón detonante, o un sistema adecuado de iniciación a lo largo de la carga.

2.1. Propiedades de los Explosivos

SENSIBILIDAD

Sensibilidad al choque y al rozamiento:

Ciertos explosivos industriales se inician al ser sometidos a impacto o fricción.

Para determinar la sensibilidad al choque se realizan ensayos normalizados, consistentes en dejar caer un martillo sobre la muestra de explosivo a ensayar, para determinar la mínima altura de caída que produce la detonación, mientras que en el caso de la sensibilidad a la fricción, se emplea otro ensayo normalizado que valora la fuerza mínima de rozamiento capaz de soportar el explosivo sin que acontezca la detonación.

Sensibilidad al calor:

Al determinarla se valora la temperatura a la que el explosivo desprende gases, verificándose una pequeña explosión (punto de ignición). En las pólvoras dicha temperatura es de 325°C, y en los explosivos sensibilizados con nitroglicerina a los 200°C.

2.1. Propiedades de los Explosivos

SENSIBILIDAD

Respuesta a la llama

Es interesante conocer la respuesta del explosivo a la acción del fuego. La pólvora por ejemplo soporta bien el calor, pero no así la llama, ya que es muy inflamable, aún incluso por efecto de una simple chispa.

ESTABILIDAD QUÍMICA

Aptitud que el explosivo posee para mantenerse químicamente inalterado con el paso del tiempo. Está garantizada si las condiciones de humedad, temperatura y ventilación, y el periodo de almacenamiento son las adecuadas.

CLASIFICACIÓN DE LOS EXPLOSIVOS

Explosivos lentos/deflagrantes. Con velocidades inferiores a 2000 m/s (pólvoras, compuestos pirotécnicos, compuestos propulsores para artillería y cohetería, con escasa aplicación en minería y obra civil, salvo en el caso de las rocas ornamentales)

Explosivos rápidos/detonantes. Con velocidades superiores a 2.000 m/s.



EXPLOSIVOS PRIMARIOS. Por su alta energía y sensibilidad se emplean como iniciadores para detonar los secundarios, por lo que algunos se emplean en detonadores y multiplicadores (fulminato de mercurio, pentrita, hexolita)...

EXPLOSIVOS SECUNDARIOS. Aplicados en el arranque de rocas, de menor sensibilidad que los primeros, si bien desarrollan un mayor trabajo útil. Serán mezclas de sustancias explosivas o no explosivas

CLASIFICACIÓN DE LOS EXPLOSIVOS

CARACTERÍSTICAS

También denominados iniciadores, detonan ante pequeño estímulo (llama, fricción, impacto, descarga eléctrica o radiación).

Su sensibilidad depende de su estructura cristalina y granulometría, pudiendo reducirse por flegmatización (gralmente. con agua).

Suelen soportar bien la temperatura, pero no la llama. Su diámetro crítico es por lo general muy pequeño (<1mm).

Su calor de explosión (energía liberada) es muy bajo respecto de los secundarios (400 Kcal/kg frente a 1000 kcal/kg).

Velocidad de detonación baja comparada con los secundarios (en el entorno de 5000 m/s).

La pentrita, clasificada generalmente como secundaria, puede resultar muy sensible con granulometría muy fina, por lo que suele emplearse habitualmente como primario.

LOS MÁS USADOS

NITRURO DE Pb (a)
ESTIFNATO DE Pb (b)

El fulminato de Hg era muy usado antiguamente, no así en la actualidad

EXPLOSIVOS PRIMARIOS

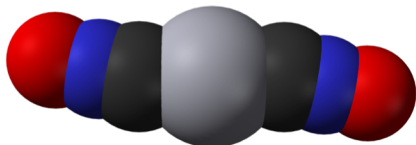


Imagen: Ben Mills - Own work, Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3990227>

ONC-Hg-CNO



Imagen: Paramilitary at the German language Wikipedia [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>) or CC-BY-SA-3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)], via Wikimedia Commons

FULMINATO DE Hg

Descrito por Howard en 1800. Nobel lo empleó como detonador para iniciar la dinamita, iniciándose entonces la aplicación a gran escala.

Es la sala del ácido ciánico: $(\text{CON})_2\text{Hg}$.

Es un polvo cristalino grisáceo, insoluble en agua, de densidad 4,4 en cristal. El polvo suele prensarse hasta una densidad de 2,5 a 3.

Su sensibilidad se ve influida por factores como la granulometría, la pureza o el grado de humedad, por lo que su fiabilidad es poca.

EXPLOSIVOS PRIMARIOS

NITRURO DE Pb

Preparado por primera vez en 1891. Sal del ácido hidrazoico (N_3H), también llamado nitihídrico.

También llamado azida de Pb, es un polvo cristalino blanco. Presenta dos variedades cristalinas (ortorrómbica y monoclinica). La última variedad es indeseable por la excesiva sensibilidad de sus cristales en forma de aguja.

La densidad de la variedad ortorrómbica es de 4,70 y 1,2 en polvo. La estabilidad térmica es grande (puede almacenarse de forma casi indefinida a temperaturas $<50^{\circ}C$).

Muy sensible a estímulos mecánicos y eléctricos.

Con objeto de reducir su sensibilidad se flegmatiza añadiendo entre un 3 y un 5% de hidróxido de Pb, y un 3% de dextrina o similar.

Para mejorar su baja sensibilidad a la llama se mezcla con estifnato de Pb en la fabricación de detonadores. No se insensibiliza por compresión, por lo que se puede mejorar su velocidad de detonación y calor de explosión prensándolo.

PRENSADO HASTA 4 gr/cm³ de densidad, detona a 5000 m/s con 350 kcal/Kg.

Empleado en la fabricación de detonadores

	NITRURO PURO	FLEGMATIZADO Y DEXTRINADO
SENSIBILIDAD AL IMPACTO	4 J	5,8 J
SENSIBILIDAD A LA FRICCIÓN	0,1 N	4 N
SENSIBILIDAD A LA ELECTRICIDAD ESTÁTICA	0,1 mJ	5 mJ

En caso de estar dextrinado, con humedad ataca al cobre, por lo que son pertinentes los casquillos de aluminio o acero. Con vainas de latón deberá secarse bien.

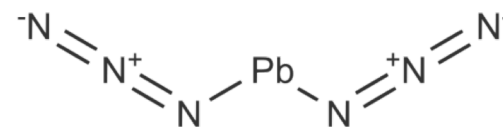
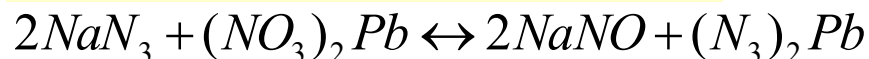


Imagen: Mrgreen71 (Own work) [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>) or CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)], via Wikimedia Commons

REACCIÓN PARA LA FABRICACIÓN:



EXPLOSIVOS PRIMARIOS

ESTIFNATO DE Pb

Preparado por primera vez en 1920. Sal del ácido estífnico o trinitrorresorcina, que cristaliza con una molécula de H_2O , que flegmatizar reduciendo la sensibilidad al impacto (4J).

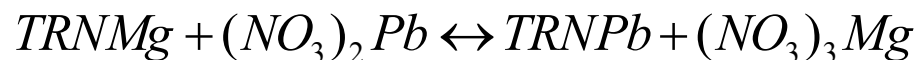
Polvo cristalino marrón rojizo de gran estabilidad hasta $75^{\circ}C$, nada higroscópico. Su temperatura de inflamación es de unos $280^{\circ}C$, a $5^{\circ}C/min$.

Su gran sensibilidad a la llama le hace útil mezclado con el nitruro de Pb, para facilitar en los detonadores la iniciación por la cerilla.

Al ser alto su contenido en metal (44,25%), es un explosivo débil. A una densidad de 2,9 detona a 5200 m/s, con un calor de explosión de 370 kJ/kg.

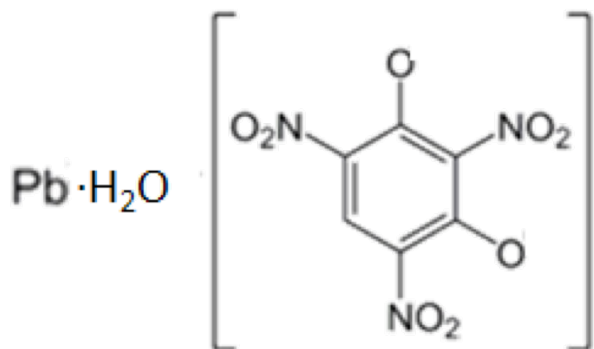
Se fabrica a partir de la reacción de una sal de Mg con trinitrorresorcina y nitrato de plomo.

REACCIÓN PARA LA FABRICACIÓN:



OTROS EXPLOSIVOS INICIADORES

De menor interés por su baja estabilidad térmica: TETRACENO ($C_2H_8N_{10}O$) Y DIAZODINITROFENOL ($C_6H_2N_4O_5$)



EXPLOSIVOS SECUNDARIOS

La práctica totalidad de los explosivos usados en aplicaciones civiles/militares son secundarios. Podrá hablarse de **explosivos convencionales** (compuestos o sensibilizados por sustancias intrínsecamente explosivas), o de **agentes explosivos** (formados por sustancias no explosivas intrínsecamente).

TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

Por lo general presentan elevadas densidades, energía y velocidades de detonación. De uso común en el sector militar, algunas cuentan con importantes aplicaciones civiles.

PRINCIPALES GRUPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

- 1.-AROMÁTICOS NITRADOS
- 2.-ÉSTERES NÍTRICOS
- 3.-NITRAMINAS

Es frecuente la mezcla homogénea de dos sustancias explosivas.
Todos se preparan por **NITRACIÓN***.

*Acción del ácido nítrico sobre un compuesto orgánico. Introducción de un grupo NO₂ en sustitución de un átomo de Hidrógeno o de otro grupo, por adición a un enlace doble. Es una operación por lo general peligrosas, por lo que se hace con cantidades pequeñas de producto para reducir la probabilidad de explosión.

TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

1.- AROMÁTICOS NITRADOS

Las limitaciones impuestas en Europa a la fabricación de derivados del tolueno hace que ya no se fabriquen en España.

En ellos un grupo NO_2 se une a un carbono de anillo bencénico.
Su balance de oxígeno, muy negativo, hace que no sean demasiado energéticos.

TRILITA (TNT), $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$

Trinitrotolueno. Tiene potencia media. Alto calor de explosión (1000 kcal/kg). Genera un volumen de gases de 700 l/kg.

El ensanchamiento en bloque de plomo que produce es de unos 300 cm³. Índice de Trauzl=94.
Velocidad de detonación 6900 m/s a 1,6 gr/cm³.

Poco sensible, por lo que se emplea como flegmatizante de otros explosivos más potentes y sensibles, como la pentrita.

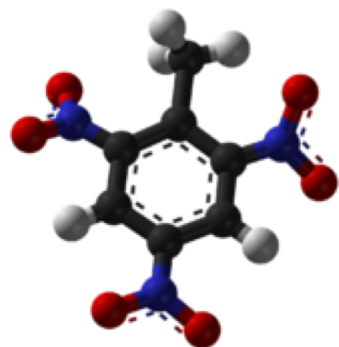
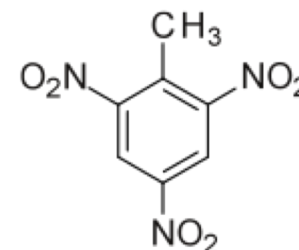
PUEDE ENCONTRARSE TAMBIÉN EN:

LIGAMITA: Sensibilizada con nitroglicerina y trilita.

SABULITA: Con base de nitrato amónico.

Hidrogeles: Actuando como sensibilizante y combustible.

BOOSTERS: En combinación con pentrita o exógeno al 50%.



TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

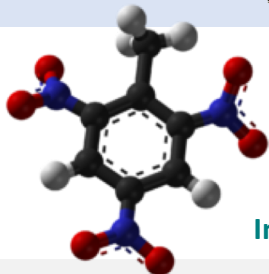


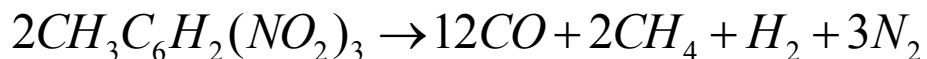
Imagen de Dominio Público

1.- AROMÁTICOS NITRADOS

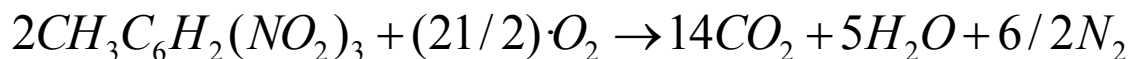
TRILITA (TNT), $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$

Lo ideal es la reacción es tener un balance de oxígeno estequiométrico, de tal modo que todos los gases sean de combustión completa. La mayoría de los explosivos son deficientes de oxígeno, y dado que la explosión suele ser confinada, no se consume oxígeno atmosférico, lo que obliga a equilibrar el explosivo comercial con sustancias excedentarias en dicho elemento para alcanzar la combustión total.

REACCIÓN EN DEFECTO DE OXÍGENO:



REACCIÓN CON AJUSTE ESTEQUIOMÉTRICO PERFECTO DE OXÍGENO



DÉFICIT DE OXÍGENO:

$$100 - \frac{2 \cdot (2 \cdot 3) \cdot 100}{2 \cdot 2 \cdot (3) + (21/2) \cdot 2} = 63,6\%$$

Las limitaciones impuestas en Europa a la fabricación de derivados del tolueno hace que ya no se fabriquen en España.

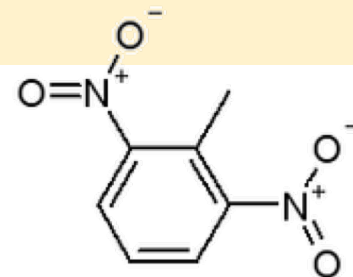
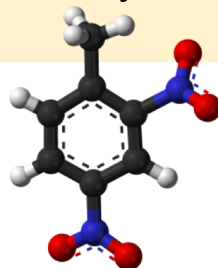
TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

1.- AROMÁTICOS NITRADOS

DINITROTOLUENO (DNT), $C_6H_3(CH_3)(NO_2)_2$

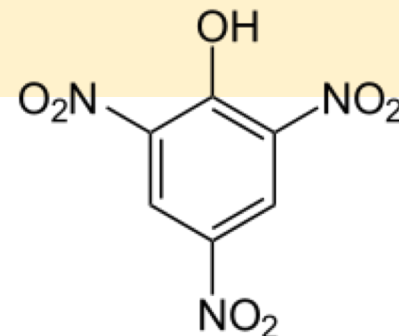
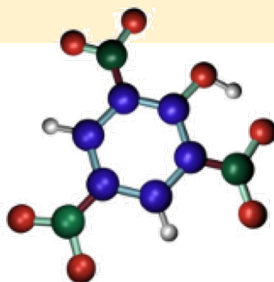
Procedente de la doble nitración del benceno, empleado como combustible y plastificante en algún caso (goma 2-EC).

También se emplea en pólvoras como plastificante junto a la nitrocelulosa.



ÁCIDO PÍCRICO, $C_6H_2OH(NO_2)_3$

En desuso actualmente por su acidez. Sus propiedades explosivas son incluso superiores a las de la trilita. Se emplea como explosivo patrón en el Ensayo de Trauzl.



Las limitaciones impuestas en Europa a la fabricación de derivados del tolueno hace que ya no se fabriquen en España.

TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

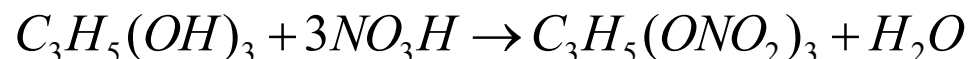
2.- ÉSTERES NÍTRICOS

Obtenidos al nitrar alcoholes. El grupo nitro se une al oxígeno del grupo OH: **R-O-NO₂**. Son compuestos incoloros, muy sensibles a impacto y fricción, poco estables a la temperatura. Tienen un balance equilibrado de oxígeno, lo que les convierte en explosivos potentes. Son vasodilatadores en mayor o menor medida.

NITROGLICERINA

Nitrato de glicerol (NG). Obtenida por Ascanio Sobrero (1847), su empleo se vio retrasado por el riesgo asociado a su manejo.

REACCIÓN PARA LA FABRICACIÓN:



🌿 Líquido oleoso, viscoso e incoloro. Funde a 13°C y ebulle a 180°C, descomponiéndose. Su densidad es de 1,6 gr/cm³ a 15°C. Poco estable al calor. Detona a 217 °C por calentamiento progresivo. Explosivo potente, equilibrado en oxígeno (+3,5%).

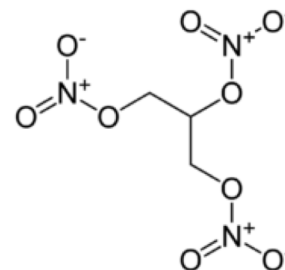


Imagen de Dominio Público

TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

2.- ÉSTERES NÍTRICOS

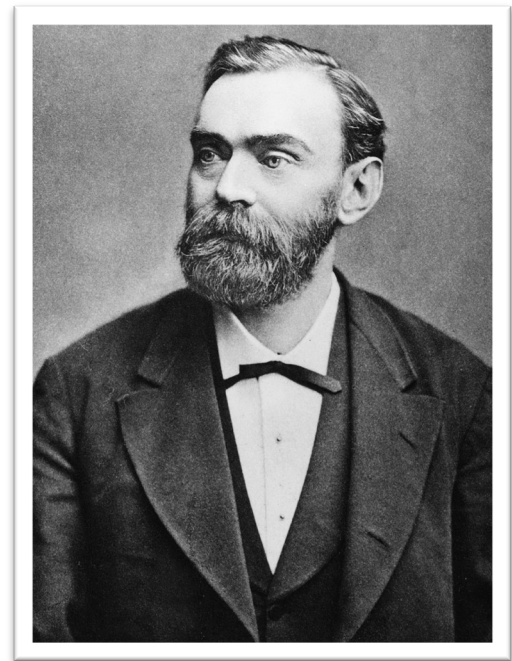
NITROGLICERINA

En 1862 Nobel construyó la primera fábrica de NG. Al principio se iniciaba mediante pólvora negra, hasta la invención de los detonadores de fulminato de Hg (Nobel). La excesiva sensibilidad se resolvió mediante la absorción de la NG en tierra de diatomeas (Kieselguhr), en proporción de 75% NG frente a 25% Kieselguhr.

PROPIEDADES

- ✿ **CALOR DE COMBUSTIÓN:** 1500 kcal/kg
- ✿ **ENSANCHAMIENTO TRAUZL:** 590 cm³ bien iniciada.
- ✿ **ÍNDICE DE TRAUZL:** 160.
- ✿ **VELOCIDAD DE DETONACIÓN:** 7700 m/s.
- ✿ **DIÁMETRO CRÍTICO:** 1 a 4 mm.
- ✿ **SENSIBILIDAD A IMPACTO:** 0,3 J (líquida).
- ✿ **SENSIBILIDAD A FRICCIÓN:** >360 N.
- ✿ **MUY SENSIBLE A INICIACIÓN**

Se emplea en la sensibilización de dinamitas, siendo además un importante componente energético.



Alfred Nobel. Imagen de dominio Público

TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

2.- ÉSTERES NÍTRICOS

NITROGLICOL (NGc), $C_2H_4N_2O_6$

☞ Semejante a la NG; sustituyéndola en múltiples usos.

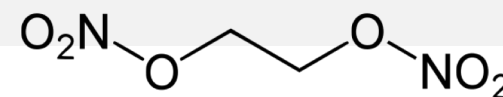


Imagen de dominio Público

PENTRITA (PETN), $C_5H_8N_4O_{12}$

☞ Tetranitrato de pentaeritriol. Sustancia blanca que funde a $141^\circ C$. Poco estable al calor. No higroscópica. Densidad aparente $1,1 \text{ gr/cm}^3$ (en cristal $1,7$). Se descompone por calentamiento a $220^\circ C$.

PROPIEDADES:

CALOR DE EXPLOSIÓN: 1400 Kcal/kg

VOLUMEN DE GASES: 790 l/kg

ENSANCHAMIENTO TRAUZL: 500 cm 3.

ÍNDICE DE TRAUZL: 150.

VELOCIDAD DE DETONACIÓN (Según intensidad): 6000 a 7000 m/s.

USOS DE LA PENTRITA:

DETONADORES (Carga base, iniciada por la carga primaria).

CORDONES DETONANTES (en el alma, en cantidad dependiente del gramaje).

MULTIPLICADORES: Mezclada con TNT, composición llamada pentolita. En ocasiones sóla, prensada y flegmatizada.

MEDICINA: Acción vasodilatadora.

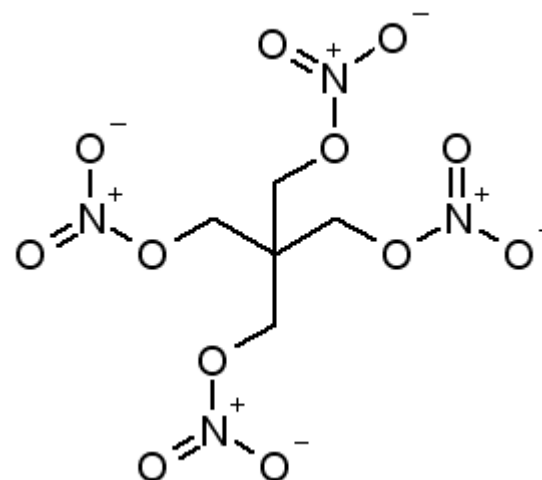
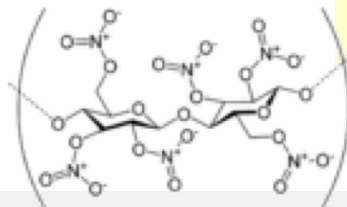


Imagen de dominio Público

TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

NITROCELULOSA



2.- ÉSTERES NÍTRICOS

Conocido como “algodón pólvora”. Inicialmente era un producto muy inestable, obtenido a partir de la nitración del algodón.

Durante un experimento en la cocina de su casa, Schönbein destiló una mezcla de ácido sulfúrico y ácido nítrico, que se derramó sobre una mesa. Lo secó con un delantal de algodón y lo puso a secar sobre la estufa. El delantal se inflamó muy rápidamente, pues la celulosa del algodón se había convertido en nitrocelulosa. Reconocidas las propiedades del compuesto, la propuso como un tipo de “pólvora con menos humo”, pero la fabricación para el ejército no fue viable por su tendencia a explotar.

En 1869 Dewar y Abel lograron purificarla, eliminando las sustancias inestables. De esta manera, el “algodón pólvora” comenzó a utilizarse en la carga de proyectiles, para posteriormente ser substituido por ácido pícrico.

Mendeleiev disolvió la Nitrocelulosa de alto contenido en Nitrógeno en una mezcla de alcohol y éter, obteniendo pólvoras sin humo empleadas hoy con pequeñas variantes.

La mezcla fabricada por Nobel (NG+NC), se ha perfeccionado hasta alcanzar las gomas actuales.



CHRISTIAN SCHÖNBEIN
(1799-1868)



FREDERICK AUGUSTUS ABEL
(1826-1902)



JAMES DEWAR
(1842-1923)



DMITRI MEDELÈYEV
(1834-1907)

Imagen de F.A. Abel: W. & D. Downey ([1]) [CC BY 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)], via Wikimedia Commons.

Resto de imágenes, de Dominio Público.

TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

2.- ÉSTERES NÍTRICOS

NITROCELULOSA

El proceso de obtención (nitración de celulosa), permite diversos grados de nitración. En la práctica el Nitrógeno nunca supera el 13,5%, y en ningún caso el proceso destruye la estructura fibrosa de la celulosa.

Es un explosivo muy potente en estado seco, para una densidad de 1,25 detona a 7000 m/s (si se inicia adecuadamente y en confinación). La llama la consume con rapidez en caso de no existir confinamiento.

El calor de explosión depende del porcentaje de Nitrógeno, en base a la forma $Q=145 N (\%) - 850 \text{ kcal/kg}$.

El volumen de gases generado es de unos de 900 Kg/l, aumentando con el % de Nitrógeno.

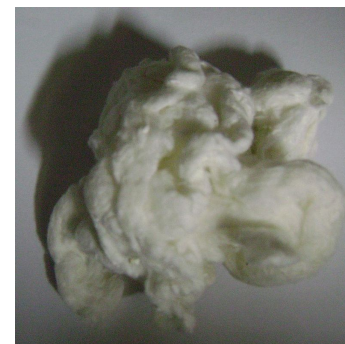
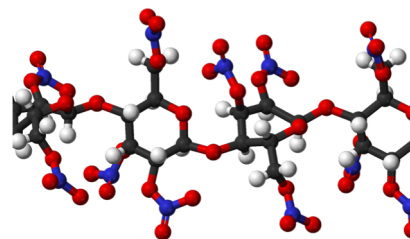
Muy sensible al impacto (35), y muy insensible a la fricción (360 N).

El ensanchamiento de Trauzl es de unos 400 cm³.

Para la fabricación de nitrocelulosa para dinamitas se emplea algodón de fibra larga (de alfalfa, madera, desechos de algodón textil,...)

APLICACIONES DE LA NITROCELULOSA EN BASE AL %N

PÓLVORAS DE BASE SIMPLE	(>13,0)
PÓLVORAS DE BASE DOBLE	(12,3 a 12,8)
BARNICES, PAPEL Y CARTÓN	(11,9 a 12,3)
DINAMITAS	(11,8 a 12,3)
RECUBRIMIENTOS ALIMENTARIOS	(11,3 a 11,7)
FABRICACIÓN DE TINTAS	(10,6 a 11,3)



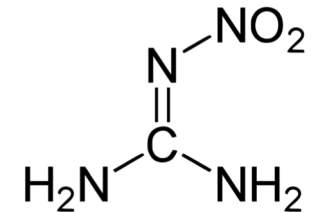
Nitrocelulosa. Imágenes de Dominio Público

TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

NITROGUANIDINA

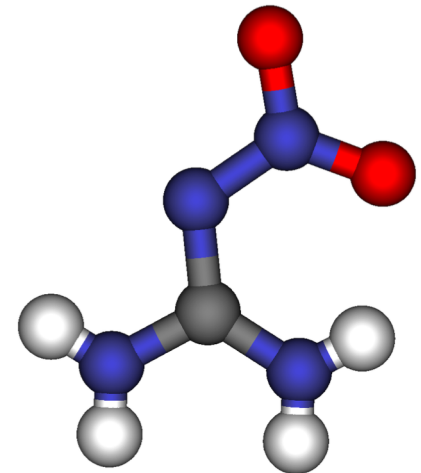
Para **pólvoras de triple base***.

3.- NITRAMINAS



*TIPOS DE PÓLVORAS

- Las **monobásicas** (nitrocelulosa disuelta en éter)
- De **doble base** (nitrocelulosa disuelta en nitroglicerina)
- De **triple base** (nitrocelulosa disuelta en nitroglicerina con agregado de nitroguanidina).



LOS EXPLOSIVOS SECUNDARIOS

EXPLOSIVOS CONVENCIONALES

Precisan para su fabricación de sustancias intrínsecamente explosivas que actúan como sensibilizadores de las mezclas.

DINAMINTAS GELATINOSAS
DINAMITAS PULVERULENTAS
DE SEGURIDAD

AGENTES EXPLOSIVOS

Los agentes explosivos no llevan, salvo en determinados casos, ingredientes intrínsecamente explosivos. Cabe destacar:

ANFO/NAFO
ALANFO
HIDROGELES
EMULSIONES
ANFO PESADO/HEAVY NAFO/ HEAVY ANFO
DE SEGURIDAD

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS EXPLOSIVOS

Las antiguas mezclas pirotécnicas se conocieron inicialmente en China, desde donde debieron ser transmitidas a los árabes, que introdujeron las pólvoras en Europa a través de España.

La referencia más antigua en España conocida es su empleo en la resistencia de la población musulmana de **Zaragoza** frente a los cristianos que la sitiaron en **1118**, empleando en su defensa “tiros de pellas con truenos de fuego”.

Su aplicación industrial se inició a comienzos del S. XVII, empleándose la pólvora negra en las minas europeas para la fragmentación de la roca. Al tratarse de un explosivo deflagrante (de baja velocidad de detonación), su utilización no entrañaba especiales riesgos, salvo el asociado a dar fuego, operación que se realizaba mediante un reguero de pólvora en el suelo. Dicha práctica se mantuvo hasta 1831, año en que William Bickford inventó la mecha lenta.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS EXPLOSIVOS

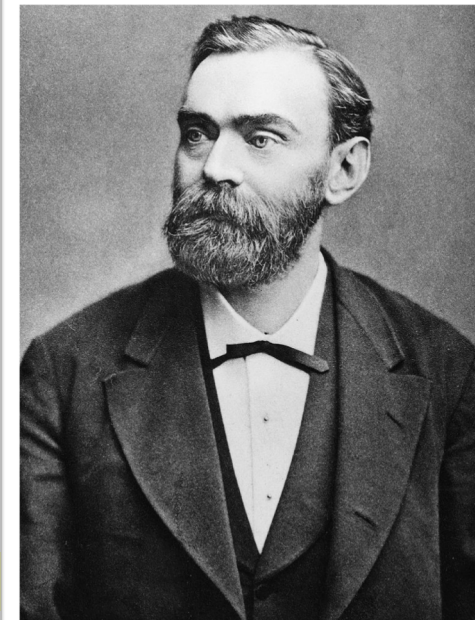
Desde el descubrimiento en 1847 por Sobrero del éster de la Glicerina y del Ácido Nítrico (trinitrato de glicerina o nitroglicerina), los explosivos químicos han sufrido un proceso de desigual desarrollo a lo largo del tiempo, con dos periodos de gran importancia y relativa brevedad. El primero tuvo lugar en la década de 1860, y el segundo en 1970-1990.

Alfred Nobel y su ayudante encontraron de forma casual una alternativa al uso de la Nitroglicerina. Hasta la fecha se venía empleando sólo, mientras que la el nuevo descubrimiento implicaba su absorción en tierra de diatomeas, incrementándose la seguridad en su manejo.

A partir de dicho momento, los periodos o etapas sucesivas van determinadas por el descubrimiento o desarrollo de una serie de productos que, dada su importancia, han ido modificando la industria del explosivo hasta alcanzar la situación actual.



ASCANIO SOBRERO



ALFRED NOBEL

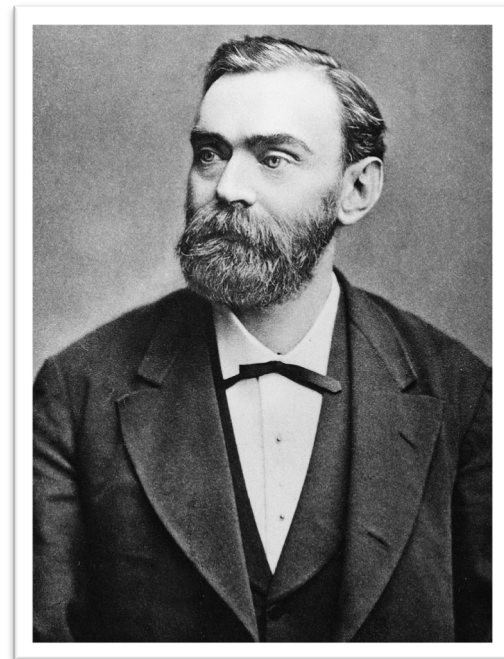
EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS EXPLOSIVOS

El proceso de industrialización de la nitroglicerina Comenzó en 1863, basándose en una nitración discontinua, empleando para ello grandes recipientes de plomo dotados de refrigeración y un sistema de agitación mecánica. La nitración se desarrollaba lentamente, procurando que la temperatura no excediese los 25°C.

Éste sistema, denominado Nobel, fue transformándose poco a poco en base a la mejora de los sistemas de agitación y refrigeración, tras varios accidentes graves, llegando incluso el propio hermano de Alfred Nobel a perder la vida en uno de ellos.

Dicha evolución desemboca en los procesos de nitración continua, destacando los tanto por diseño como en la puesta a punto los métodos de las casas Meissner y Biazzi, que contaban con modernos sistemas de control y seguridad, suponiendo auténticas instalaciones a imitar en su época.

Posteriormente surgió el sistema de Gytorpp de inyección.



“Si tuviera mil ideas y al menos una se convirtiera en realidad, ya me sentiría satisfecho”. Alfred Nobel

ALFRED NOBEL

Imagen de Dominio Público

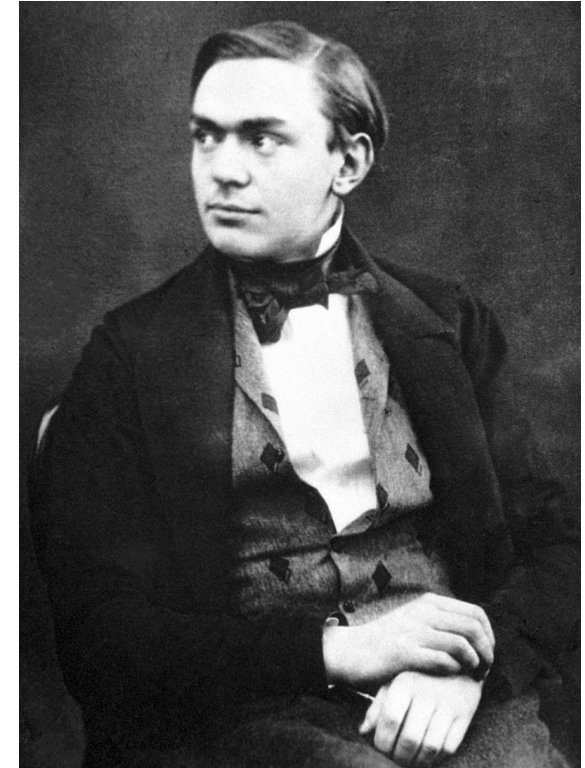
EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS EXPLOSIVOS

LAS DINAMITAS PULVERULENTAS

En paralelo a los procesos de nitración, se investigó sobre las mezclas explosivas, consiguiéndose las “dinamitas”, explosivos pulverulentos de bases inerte o activa.

Las dinamitas de base inerte, descubiertas por Nobel en 1867, están constituidas por Nitroglicerina y tierra de infusorios calcinada. Dicho material presenta un gran poder absorbente, siendo capaz de retener hasta un 75% de Nitroglicerina. Fueron muy utilizadas hasta los años 20, sustituyéndose de manera paulatina por las dinamitas de base activa, también descubiertas por Nobel.

En las dinamitas de base activa, la tierra de infusorios o Kieselghur se ve sustituida por oxidantes (nitrato sódico preferentemente) y combustibles (carbón vegetal, que presenta gran poder de absorción).



ALFRED NOBEL

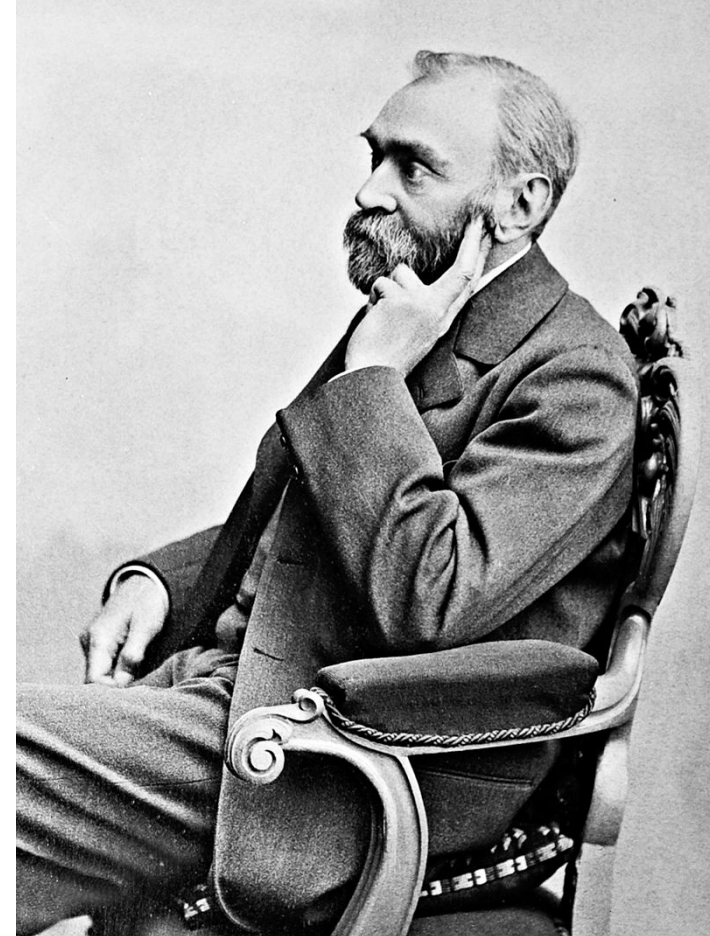
Imagen de Dominio Público

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS EXPLOSIVOS

Esta mezcla presentaba menor poder de absorción de la Nitroglicerina que el Kieselghur, pero su potencia era más elevada, al igual que el contenido en Nitroglicerina, debido a la energía suministrada por el nitrato y el combustible. El contenido en nitroglicerina de estas dinamitas de base activa era de hasta 25%, provocándose frecuentemente exudaciones de nitroglicerina, muy peligrosas. Por ello fueron añadiéndose pequeñas cantidades de Nitrocelulosa. Ello condujo a una cierta insensibilización del producto, que hasta entonces se consideraba como una consecuencia negativa, ya que la sensibilidad de la dinamita era una de sus características más apreciadas.

A partir de los años 40, al darse mayor importancia al factor seguridad sobre otros aspectos, la gelatinización parcial de la Nitroglicerina fue convirtiéndose en una práctica habitual en los explosivos pulverulentos con contenido en Nitroglicerina superior al 12%.

El siguiente paso experimentado por estos productos consistió en la sustitución del Nitrato Sódico por Nitrato Amónico, con un considerable incremento de la potencia al sustituir una sal puramente oxidante por un oxidante pseudo-explosivo.



ALFRED NOBEL

Imagen de Dominio Público

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS EXPLOSIVOS

ANFOS

Estas mezclas están constituidas por Nitrato Amónico y un producto combustible líquido, si bien en función de las aplicaciones para las que se destine, podrá presentar un combustible metálico u otro aditivo que otorgue propiedades particulares.

Si bien el primer ANFO se patentó en Suecia en 1867, no tuvo un verdadero desarrollo comercial hasta 1935, año en que Dupont y otras casa americanas probaron que la mezcla de Nitrato Amónico con sustancias combustibles producían mezclas explosivas que resultaban baratas y seguras.

A pesar de ello, la industria minera no se concienció del gran potencial que el Nitrato Amónico ofrecía como explosivo hasta el desastre de Texas City (1947).

La primera mitad de la década de los 50 se empleó en la realización de ensayos industriales de dichos explosivos, y la segunda en la expansión en la minería a cielo abierto. En España cabe señalar la fecha de 1960 como la de introducción.



*SS Wilson B. Keene, destruido en la segunda explosión del Desastre.
Imagen de Dominio Público*

DESASTRE DE TEXAS CITY

“Un fuego en el carguero SS Grandcamp, atracado en Texas City provocó la detonación de 2300 toneladas de nitrato amónico. La explosión hizo caer dos aviones, y generó una reacción en cadena que hizo explotar refineries cercanas además de un carguero vecino con otras 1000 toneladas de nitrato amónico. El desastre provocó 600 muertos y 3500 heridos, y se considera como el peor accidente industrial en la historia de los Estados Unidos de América.”

SLURRIES/PAPILLAS EXPLOSIVAS/HIDROGELES

Los ANFOS se extendieron de forma masiva en la década de los 80-90 en todos los países, suponiendo un porcentaje importante del total de explosivos consumidos en minería y obra civil, dados su bajo precio, facilidad y seguridad en la carga y manipulación,... A pesar de ello, las mezclas nitrato amónico-combustible presentan como contrapartida una escasa o nula resistencia al agua, baja densidad, pequeña capacidad de propagación, y la posibilidad de formar gases tóxicos en caso de mezcla no homogénea o composición inadecuada.

Tras la amplia introducción de los ANFOS, se alcanzó la época de los SLURRIES, o “papillas explosivas”, constituidos por un oxidante, agua y un sensibilizador. Son una mejora de los ANFOS, manteniendo sus ventajas y eliminando la práctica totalidad de los inconvenientes.

Los primeros ensayos tuvieron lugar en USA hacia 1943, iniciando su empleo en 1957.

En 1971 se comercializaron los primeros hidrogeles encartuchados en pequeño diámetro, sensibles al detonador y con calibres críticos inferiores a 1 pulgada. Dicho logro se consiguió por los importantes conocimientos que se lograron en materia de iniciación y propagación de la detonación, aplicando a la sensibilización la Teoría de Puntos Calientes, empleando para ello aluminio finamente dividido y aireación. Para ello hubo de resolverse grandes problemas, desarrollando sistemas químicos que generasen dicha aireación, y mecanismos para su control. Además fue preciso estabilizar los equilibrios químicos conseguidos en la fabricación de las papillas para prolongar la vida de los hidrogeles durante tiempos adecuados.

EMULSIONES

A pesar del terreno ganado por los slurries, en un principio no lograron alcanzar el grado de penetración esperado inicialmente, debido a la no consecución de una hidrofobicidad perfecta, sí alcanzada posteriormente por las emulsiones.

Mientras que los slurries son mezclas con sólidos solubles o insolubles, las emulsiones consisten en la mezcla de dos o más líquidos generalmente insolubles entre sí, pero que se mantienen en suspensión mediante pequeñas cantidades. Tras el desarrollo de las emulsiones explosivas, se procedió a su mezcla con el ANFO.

APLICACIONES DE LOS EXPLOSIVOS

AVANCE DE TÚNELES Y GALERÍAS MINERAS POR METODOLOGÍA CONVENCIONAL

OBRA CIVIL (DESMONTES EN ROCA)

PREVOLADURAS

VOLADURAS SUBMARINAS (INCREMENTO DE CALADO DE PUERTOS, DRAGADOS,...)

VOLADURAS DE PRODUCCIÓN (INTERIOR/EXTERIOR)

GEOFÍSICA (ESTUDIOS DE SÍSMICA)

DEMOLICIÓN

MUNICIÓN Y ARMAMENTO (CARTUCHERÍA, APLICACIONES MILITARES) Y PIROTECNIA (PÓLVORAS)

APLICACIONES INDUSTRIALES

INDUSTRIA AUTOMOVILÍSTICA: AIRBAGS)

INDUSTRIA AERONÁUTICA: DESPRENDIMIENTO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN EN NAVES)

INDUSTRIA METALÚRGICA: **SOLDADURA POR EXPLOSIÓN** Y ENDURECIMIENTO DE ACERO
http://www.youtube.com/watch?v=ClvAQ_mZwCg

MEDICINA: Aprovechamiento de las propiedades vasodilatadoras de la Nitroglicerina (sustancia intrínsecamente explosiva).

2.2. Tipos y modos de utilización

LAS DINAMITAS GOMAS

Reciben su nombre por la consistencia gelatinosa, obteniéndose al mezclar nitroglicerina con nitrocelulosa, resultando una mezcla más energética que la nitroglicerina. El nitrato amónico es elemento predominante además en su composición.

La consistencia gelatinosa le confiere una excelente resistencia al agua, además de una elevada densidad, característica que unida a su alta potencia y velocidad de detonación, las hacen adecuadas para la carga en fondo de barrenos o la voladura de rocas de dureza media/alta, resultando además imprescindibles para realizar voladuras submarinas.

Son adecuados en lugares con gran cantidad de agua, en voladuras de contorno, y aplicaciones tanto a cielo abierto como de interior.

LAS DINAMITAS PULVERULENTAS

Suelen llevar nitroglicerina, pudiendo llevar también trilita (e.g.: Ligamita). Al ser pulverulentos, si no se añade un producto impermeabilizante, la resistencia al agua es mala. Su potencia, densidad y velocidad de detonación es menor que las dinamitas gelatinosas, siendo adecuadas para volar orcas semiduras o blandas, y restringiéndose generalmente a barrenos sin agua. Destacan entre sus aplicaciones las voladuras subterráneas.

ANFOS

Explosivos pulverulentos constituidos por mezcla de nitrato amónico y un combustible líquido, necesitan buena iniciación para una correcta detonación (mediante cordones detonantes, cebos de goma o multiplicadores. Dada su consistencia, no resiste al agua. La carga mecanizada es sencilla. Se comercializa en sacos, en cambi6n tolva, o tambi6n encartuchado.

El contenido de combustible juega un papel de gran importancia. La mezcla estequiom6trica corresponde a un 94,3% de NA y un 5,7% de gas-oil (50 Kg de Nitrato Am6nico por 3,7 l de fuel-oil.

El incremento en el porcentaje de gas-oil aumenta la insensibilidad (con un 2% puede iniciarse con detonador, con una cantidad superior al 7% la sensibilidad inicial decrece notablemente).

ANFOS. ALANFO

Para elevar la energía del ANFO, desde 1968 se viene fabricando Alanfo, consistente en a6adir partículas de Aluminio al propio ANFO, con unos buenos resultados t6cnicos y econ6micos, sobre todo cuando las rocas son masivas y los costes de perforaci6n altos. El l6mite pr6ctico desde un punto de vista econ6mico se sitúa entre el 13 y el 15% de Aluminio. Por encima del 25 hace disminuir la eficiencia energ6tica.

HIDROGELES

Dispersiones en las que la fase continua es una solución acuosa (8-20% de agua.) de nitrato amónico saturada (en ocasiones con otros oxidantes como nitrato sódico, perborato sódico, etc) y la fase dispersa está formada por combustibles sólidos y los restantes oxidantes requeridos. Pueden aplicarse sustancias sensibilizantes, como sustancias intrínsecamente explosivas (pentrita), partículas de aluminio recubiertas de productos hidrófugos, o nitratos de amina (nitrato de momonetilamina, NMMA). Son sensibles al detonador, cordón detonante o cualquier multiplicador. Su aplicación principal es la carga de barrenos a cielo abierto.

VENTAJAS

- Alta seguridad frente a estímulos subsónicos.**
- Posibilidad de mecanización de la carga.**
- Buena resistencia al agua.**
- Producción de humos de muy baja toxicidad.**
- Gran adaptación al barreno .**
- No producen dolores de cabeza durante su almacenamiento y empleo**
- Elevadas potencias.**

NOTA: DENSIDAD DE MUERTE

Para los hidrogeles y las mezclas tipo ANFO la variación de la sensibilidad con la densidad es mucho mayor que para los explosivos gelatinosos. Por encima de valores de $1,1 \text{ g/cm}^3$, cae drásticamente, por lo que las densidades y las presiones que producen dichos niveles de confinamiento se denominan “Densidades y Presiones de Muerte”.

La desensibilización puede ligarse a presiones hidrostáticas (barrenos muy profundos) o a presiones dinámicas (ya sea por cordón detonante de gramaje escaso), efecto canal (efecto del aire), o debido a cargas adyacentes

2.2. Tipos y modos de utilización

EMULSIONES

Se componen de dos fases: oxidante (solución de nitratos) y oleosa (combustibles: aceites y ceras*, fase continua). Debe añadirse un agente emulsionante, que rebaja la tensión superficial, y aditivos sensibilizantes. Existen muchas posibilidades dentro de esta familia, desde aquellas que para ser iniciadas necesitan un potente multiplicador, y se bombean con camiones en barrenos de gran calibre, hasta las encartuchadas de pequeño calibre, sensibles al detonador óctuple.

VENTAJAS

Menor precio, ya que en su fabricación no se precisa el uso de gomas y componentes de alto coste.
Excelente resistencia al agua.
Posibilidad de conseguir productos con densidades entre 1 y 1,45 g/cm.
Elevadas velocidades de detonación, 4.000 a 5.000 m/s, con poco efecto del diámetro de encartuchado.
Gran seguridad de fabricación y manipulación.
Posibilidad de mecanizar la carga y preparar mezclas con ANFO.

2.2. Tipos y modos de utilización

ANFO PESADO

Mezcla de emulsión y ANFO en proporciones variables, que condicionarán la resistencia al agua. Si el contenido en anfo es alto, baja la densidad (de $1,25 \text{ g/cm}^3$ a $1,10 \text{ g/cm}^3$). A mayor sea el contenido en nitrato amónico, menor es la densidad resultante. Si la proporción de emulsión es alta, la velocidad de detonación es alta y se pueden bombear desde el camión.

DIFERENCIAS DEL ANFO PESADO CON RESPECTO AL ANFO

Mayor energía, velocidad de detonación y densidad

Mejora la bombeabilidad

Mayor dificultad para carga con helicoide

Mejores características de sensibilidad

Gran resistencia al agua

Posibilidad de efectuar cargas con variación de energía a lo largo del barreno.

2.2. Tipos y modos de utilización

RESUMEN DE PROPIEDADES

FUENTE: López Jimeno, C, López Jimeno, E y García Bermúdez, P. (2010) Manual de Voladuras en Túneles. Madrid: U.D. Proyectos - E.T.S.I.M.M. 2010

EXPLOSIVO	DENSIDAD (gr/cm ³)	CALOR DE EXPLOSIÓN MJ/kg	VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)	ENERGÍA RELATIVA EFECTIVA (ANFO: 100%)		Volumen de gases l/Kg	Calidad de humos residuales (l/100g)
				WS (PRP)	BS (ERV)		
RIODIN	1.45	4.1	6000	135	244	895	<2.27
RIODIN PLUS	1.5	3.9	5500	127	237	832	<2.27
RIODIN PLUS MD	1.45	4.7	6200	151	273	878	<2.27
RIODIN 9	1.65	2.7	5200	87	180	515	2.27 A 4.67
LIGAMITA 1	1.15	4	4300	119	171	901	<2.27
AMONITA 21	1.1	3.6	4100	107	147	911	2.27 A 4.67
NAGOLITA	0.8	3.9	4000	100	100	978	2.27 A 4.67
RIOGEL TRONER	1.25	3.5	5000	108	169	886	2.27 A 4.67
RIOGEL TRONER PLUS	1.3	4.3	5500	128	208	886	2.27 A 4.67
RIOMAX	1.115	3.9	4300	116	166	921	<2.27
RIOFLEX U	1.1	2.84	4400	95	131	1006	2.27 A 4.67
RIOFLEX T	1.22	3.19	5200	103	154	988	<2.27
RIOGUR R	1.15	3.54	3900	107	157	932	2.27 A 4.67
RIOGUR FCD	1.18	3.46	7200	105	155	938	2.27 A 4.67
RIOMEX 320	1.2	3	5400	98	147	914	2.27 A 4.67
RIOMEX E24	1.2	3.8	5400	109	164	864	2.27 A 4.67
RIOMEX E26	1.2	4.1	5400	114	171	840	<2.27
RIOMEX E28	1.2	4.4	5400	118	176	821	<2.27

EXPLOSIVOS DE SEGURIDAD

Para entender la función e importancia de los explosivos de seguridad, previamente hay que estudiar las atmósferas potencialmente explosivas que pueden darse en la minería subterránea de carbón, causadas por el grisú, el polvo de carbón, o la combinación de ambos. El R.G.N.B.S.M. distingue entre las siguientes categorías de mina y labores subterráneas:

De primera categoría o sin grisú: no existe grisú ni gases inflamables.

De segunda categoría o débilmente grisoso: Se desprende una cantidad reducida de grisú u otros gases inflamables.

De tercera categoría /fuertemente grisoso: En las que se desprende una cantidad importante de grisú y otros gases inflamables.

De cuarta categoría o con desprendimiento instantáneo de gas: En las que puede desprenderse súbitamente grisú u otros gases inflamables, arrastrando importantes cantidades de gases.

Los explosivos de seguridad comenzaron a desarrollarse a finales del siglo XIX, empleándose en aquella época en la minería de carbón las pólvoras y los explosivos rompedores. Inicialmente se desarrollaron envueltas de seguridad, constituidas por arena, geles con agua cristalizada, o cloruros (volatilizaban el calor).

Estas envolturas podrían desmoronarse o bien aumentar el diámetro. A partir de los años cuarenta se incorporaron los inhibidores a la masa del explosivo, mejorando notablemente la seguridad. En los cincuenta aparecen los explosivos de intercambio iónico. Los últimos explosivos en surgir son los hidrogeles y emulsiones de seguridad.

EXPLOSIVOS DE SEGURIDAD

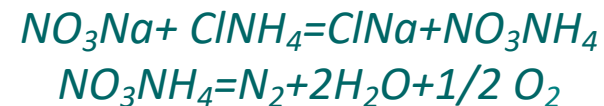
EXPLOSIVOS CON ADITIVO INHIBIDOR

En estos explosivos el grado de seguridad se lograba mediante un aditivo incorporado como inhibidor de la inflamación del grisú y del polvo de carbón. Este se introduce en la formulación del explosivo. A medida que aumenta el contenido del producto inhibidor, se producen un aumento de la seguridad, **acompañada de una pérdida gradual de las características explosivas.**

EXPLOSIVOS DE INTERCAMBIO IÓNICO

En la composición del explosivo entrar a formar parte un par de compuestos (par salino) cuya reacción en el momento de la detonación genera la formación del inhibidor. El par salino puede estar formado por nitrato sódico y cloruro amónico, que en su reacción producen el oxidante del explosivo (nitrato amónico), y el inhibidor (cloruro sódico) en estado naciente, de efectividad unas tres veces superior a las registradas en estado normal.

La reacción del par salino es desencadenada por la detonación del sensibilizador (por lo general nitroglicerina), verificándose como sigue:



La energía es aportada en dos fases (la primera, de detonación del sensibilizador; la segunda de reacción del par salino, generando el inhibidor y el nitrato amónico, descomponiéndose éste último al verificarse la detonación.

EXPLOSIVOS DE SEGURIDAD

HIDROGELES Y EMULSIONES DE SEGURIDAD

Adecuación en la formulación de dichos explosivos para su lograr conformidad a los requisitos de seguridad exigidos en minería de carbón, manteniendo sus características básicas. Las características de estos hidrogeles de seguridad quedan disminuidas en comparación con las de los normales. Esto mismo es aplicable a las emulsiones.

EXPLOSIVOS DE SEGURIDAD

La catalogación y ensayos de los explosivos de seguridad se realizan según pruebas concretas. Los ensayos con atmósferas explosivas se realizan en galerías de ensayo, compuestas de una cámara de explosión (en ella se generan las condiciones a simular), y una cámara de expansión (para dirigir los gases o llamaradas si se producen). Los barrenos se simulan mediante morteros (cilindros de hierro con un taladro longitudinal a lo largo del eje). Los morteros pueden presentar distintas longitudes (largo o corto), y configuraciones (cilíndrico o de esquina).

En la cámara de explosión se simulan las condiciones más desfavorables que pudiesen presentarse en una mina, con metano, polvo de carbón depositado o en suspensión, o mezcla de metano y polvo en suspensión.

Los tipos de ensayos que se realizan son los siguientes:

Mortero corto con o sin placa: Simula la existencia de una carga debidamente separada de una posible bolsa de grisú.

Mortero largo: Representa una carga disparada sin retardo, dando bocazo en una atmósfera del 9% de metano. Se prueban distintas longitudes de carga, porque no siempre la mayor es la que ofrece una mayor probabilidad de inflamación.

Cargas suspendidas: Colgadas en el interior de la galería longitudinalmente, simulando una carga que detona al aire al ser proyectada o dejada al descubierto por un barreno próximo, que ha salido adelantado en la secuencia de tiro.

Mortero en esquina: Simula el fenómeno de inflamación del grisú por reflexión de la onda de choque y gases de explosión contra un objeto duro (paredes laterales o frontales de la galería).

2.2. Tipos y modos de utilización

CRITERIOS A CONSIDERAR EN LA SELECCIÓN DE EXPLOSIVOS

-  **Coste**
-  **Tipo, lugar y trabajo a realizar**
-  **Díámetro del barreno**
-  **Agua en los barrenos**
-  **Seguridad del explosivo**
-  **Calidad de los humos de explosión**

PÓLVORA

Mezcla terciaria de azufre, nitrato potásico y carbón vegetal. No es propiamente un explosivo, ya que **DEFLAGRA, NO DETONA**. Se caracteriza por un gran volumen de gases de combustión, cuyo empuje genera la rotura de la roca, en lugar de por el efecto rompedor de la onda de choque.

La velocidad de detonación es baja en comparación con las velocidades de detonación de los explosivos, pudiendo llegar a 500 m/s en confinamiento y con determinados calibres.

Es bastante sensible al roce y la llama, por lo que se deben contemplar las adecuadas medidas de seguridad en su manejo. Los humos de combustión de la pólvora son tóxicos, por lo que ha de darse mucha importancia a la ventilación en trabajos subterráneos

Para la iniciación no se requiere detonador, basta con una llama o chispa como la producida por la mecha lenta.

Suele utilizarse en combinación con el cordón detonante (buen iniciador).

Las pólvoras se suministran en granulado, añadiendo al final del proceso grafito, que al ser conductor evita las cargas electrostáticas, y actúa como lubricante.

En la actualidad las aplicaciones se reducen a labores de arranque de rocas ornamentales, en las que por la acción de empuje la separación del bloque del macizo se produce sin daño.

2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas

LA INICIACIÓN

Iniciar un explosivo es provocar su detonación. En el caso de explosivos sensibles al detonador, la iniciación puede realizarse introduciendo un detonador en el interior de un cartucho (que llamaremos cartucho cebo) o de un multiplicador, que estará en contacto con el resto de la carga, o adosando un cordón detonante a la carga explosiva. Dicho cordón detonante se iniciará mediante un detonador, transmitiendo la detonación a dicha carga.

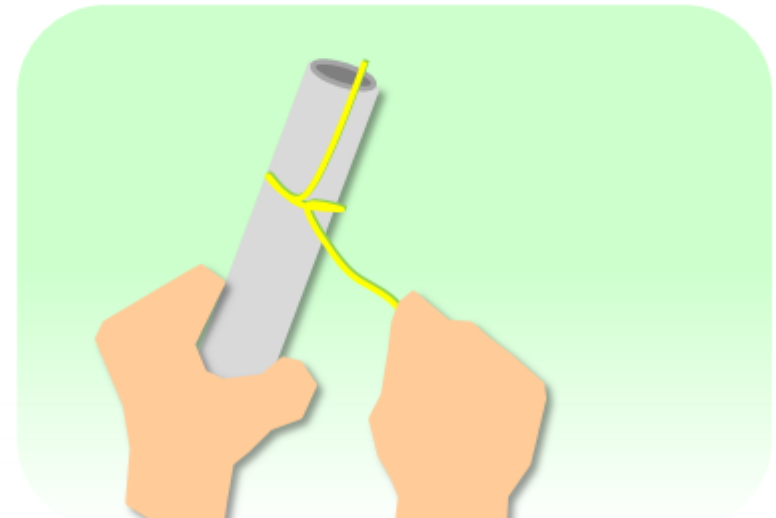
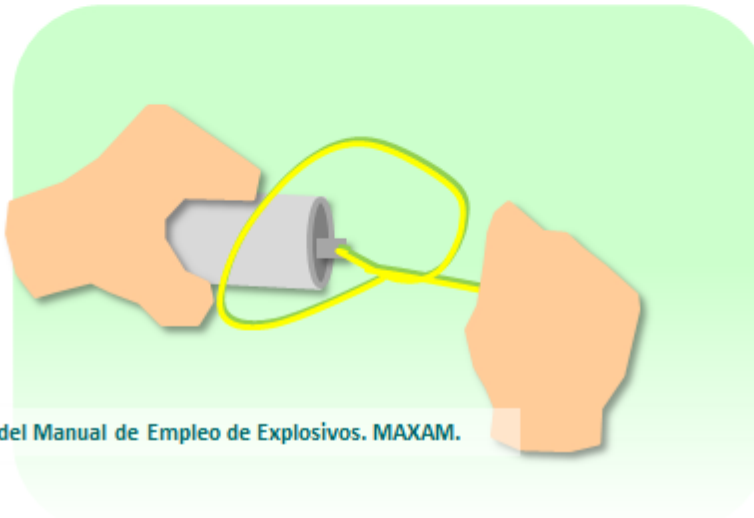
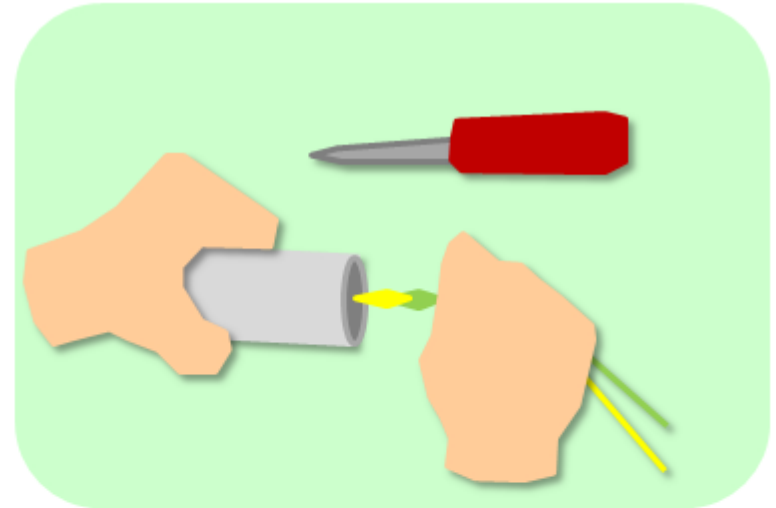
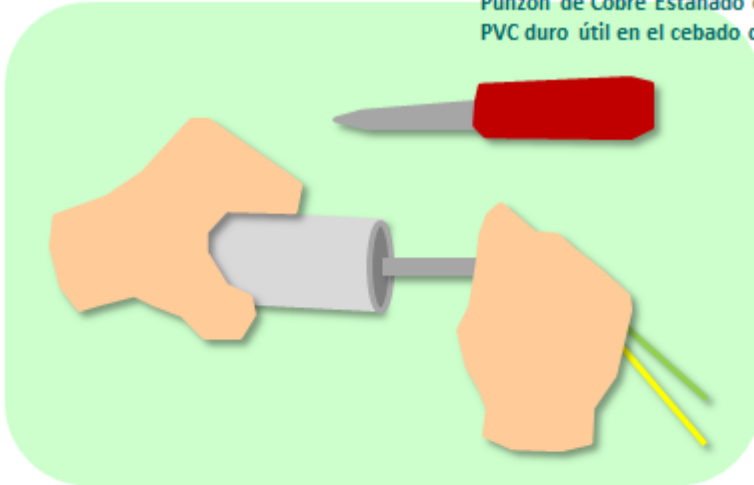
Existen dos formas básicas de cebado mediante detonadores eléctricos: en fondo o en cabeza.

El cebado en fondo con detonadores eléctricos se aplica en voladuras de interior (NO ASÍ EN VOLADURAS A CIELO ABIERTO, POR EL RIESGO QUE PUEDE SUPONER EL FALLO DE UN BARRENO, CON EL POTENCIAL DEPÓSITO DEL CARTUCHO CEBADO ENTRE EL ESCOMBRO). El detonador se inserta en un extremo del cartucho de cebo, debiendo anteriormente haberlo taladrado con un punzón adecuado*. El detonador deberá quedar cubierto por el explosivo, siendo recomendable hacer un lazo con los hilos conductores alrededor del cartucho.

El cartucho cebado se coloca en el fondo, debiendo estar el detonador dirigido hacia la masa de explosivos (orientado del fondo hacia afuera). Durante la carga de los cartuchos en los barrenos, los hilos de los detonadores deben permanecer tirantes, evitando roturas o deterioros de aislamiento por abrasión. **NUNCA SE DEBERÁ EMPLEAR EL ATACADOR SOBRE EL CARTUCHO CEBO**

EL CEBADO

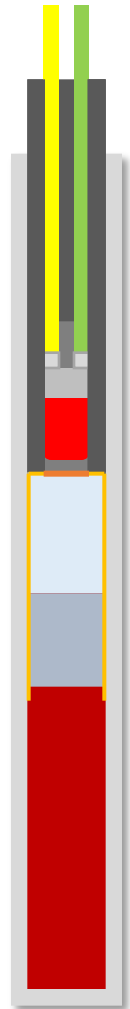
Punzón de Cobre Estañado con mango de PVC duro útil en el cebado de cartuchos.



PEGA ELÉCTRICA

Los detonadores eléctricos son aquellos que, como su nombre indica, se activan mediante energía eléctrica. Constituye un producto muy fiable, ya que permiten un diseño correcto de la voladura con unos resultados adecuados, seguridad en la manipulación y un control eficaz de los efectos derivados del empleo de los explosivos.

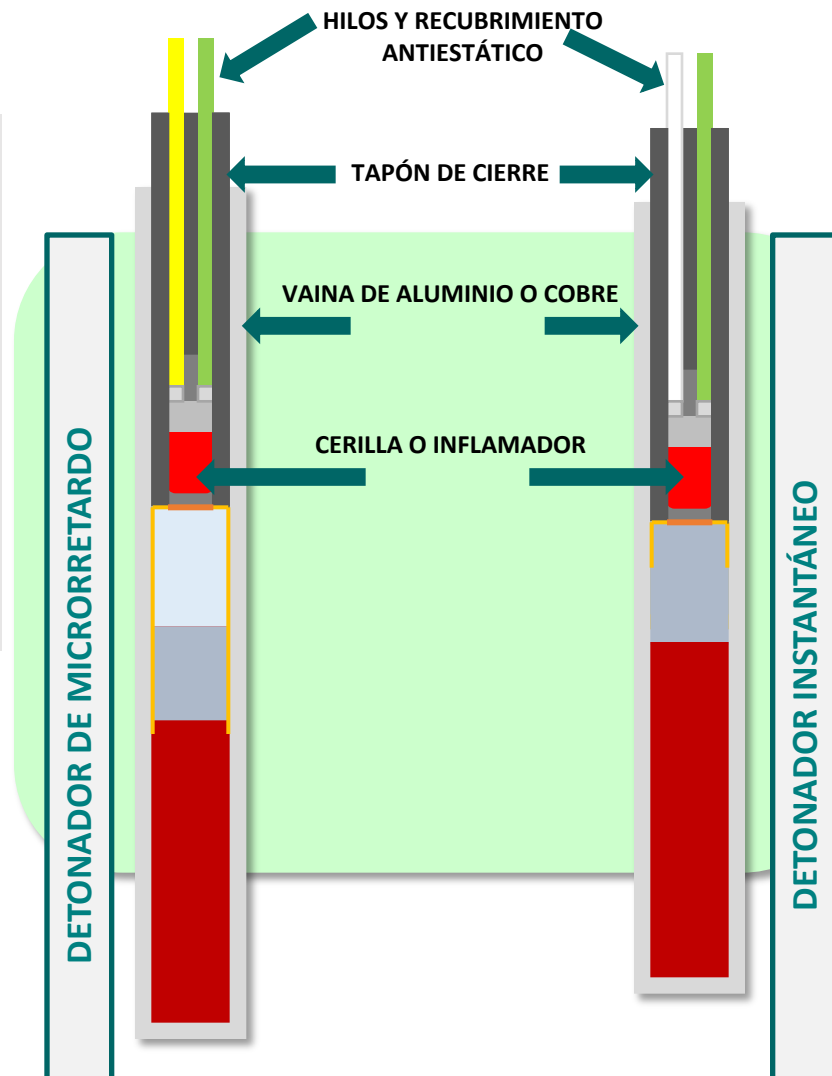
El detonador eléctrico se compone de tres partes (parte eléctrica, parte retardadora, y parte explosiva), dispuestas en un casquillo de aluminio o cobre, empleándose éste último en atmósferas con riesgo explosivo.



PEGA ELÉCTRICA

La parte eléctrica va dispuesta en la zona superior del casquillo, formada por un inflamador/cerilla y los hilos de conexión, de colores diferentes en función del tipo de detonador.

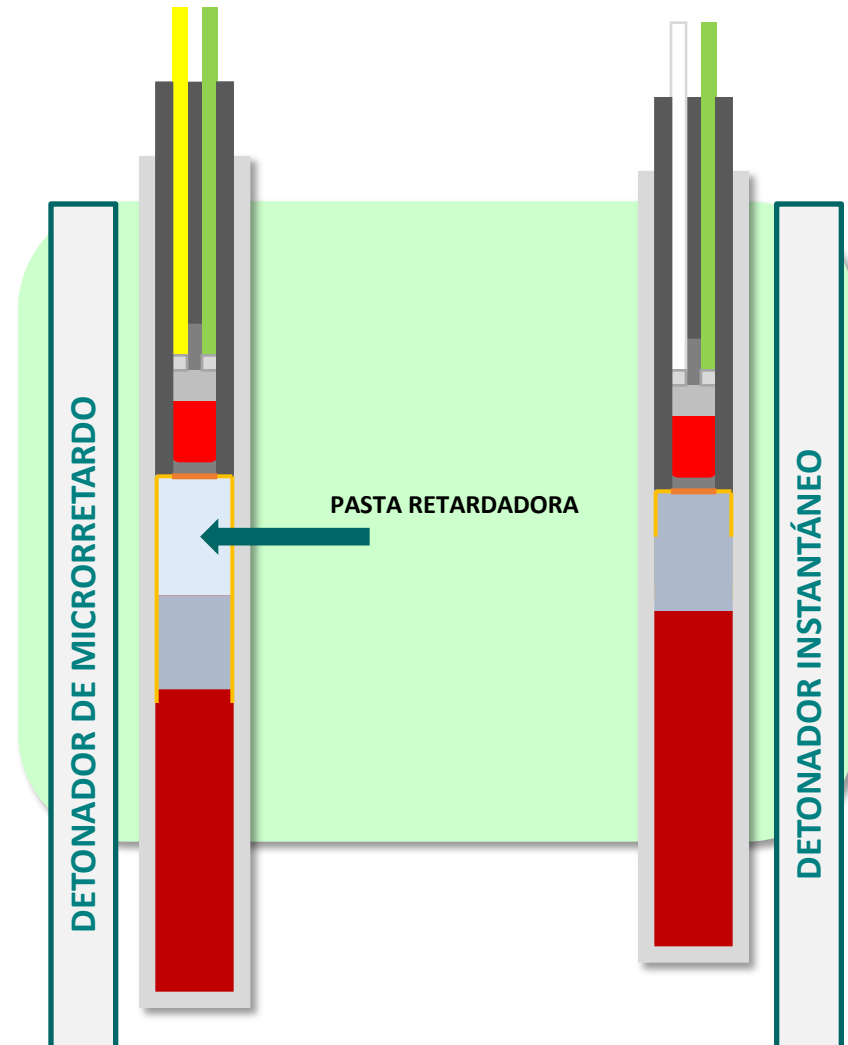
El inflamador o cerilla es una pequeña resistencia, recubierta de pasta explosiva. Esta resistencia se llama también “puente de incandescencia”, y va conectada a los hilos de conexión, recibiendo a través de ellos la corriente eléctrica.



PEGA ELÉCTRICA

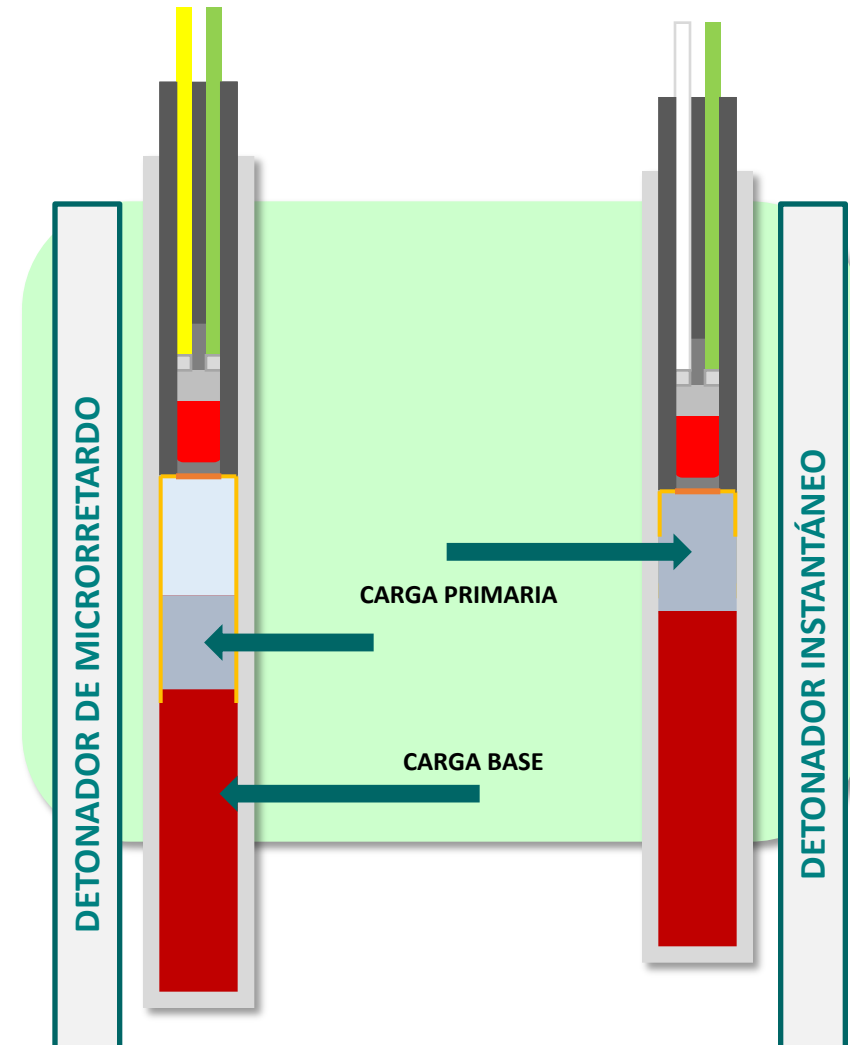
La pasta retardadora únicamente puede encontrarse en los detonadores de tiempo, es decir, los detonadores eléctricos de retardo o microrretardo. Los detonadores instantáneos, o de número 0, no llevan.

En los detonadores de tiempo la pasta se coloca entre el inflamador y la carga explosiva (zona intermedia del detonador). Se compone de un pequeño casquillo metálico (portarretardo) lleno de pasta explosiva retardadora de precisión que arderá a una velocidad calculada.



PEGA ELÉCTRICA

La parte explosiva está alojada en el interior del casquillo, compuesta de dos cargas. La menor, se denomina carga primaria (compuesta de nitruro de plomo con estifnato de plomo) y la mayor se denomina carga base o secundaria, de pentrinta.



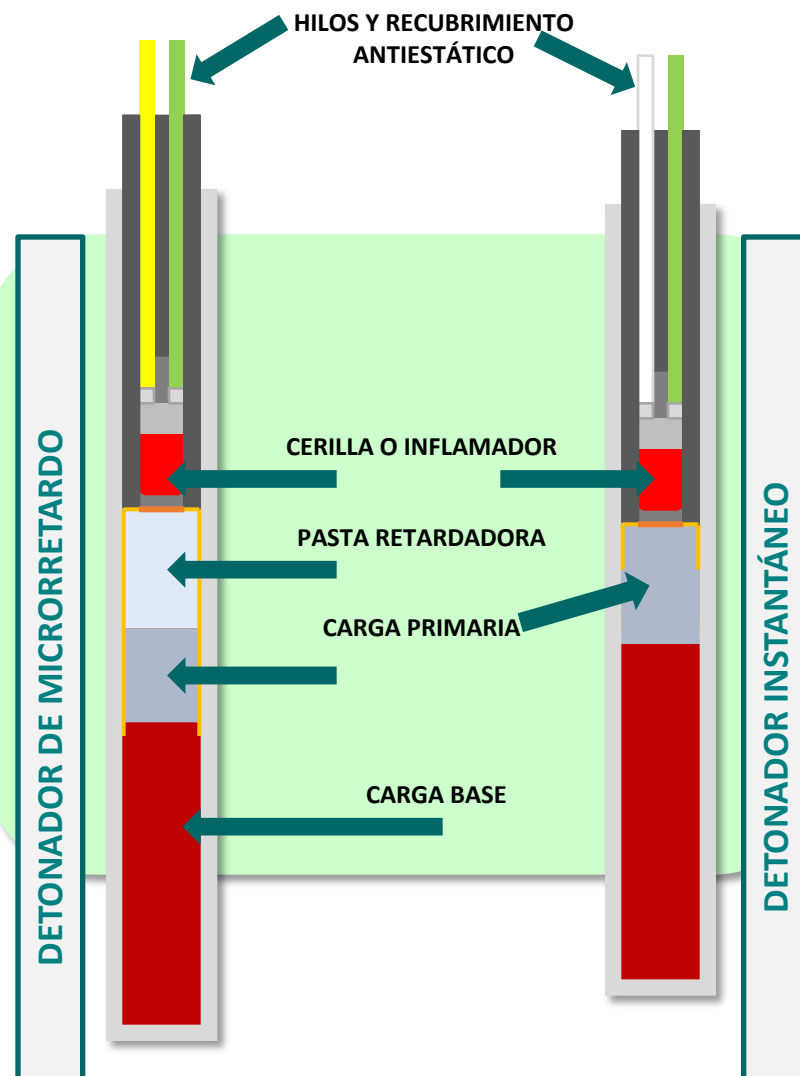
PEGA ELÉCTRICA

FUNCIONAMIENTO

Cuando una corriente eléctrica pasa por los hilos de conexión atravesando la pequeña resistencia de la cerilla, con una intensidad de corriente lo bastante grande, provoca el calentamiento de la resistencia hasta alcanzar la temperatura de inflamación de la pasta explosiva que la rodea.

En los detonadores de tiempo, la inflamación de la cerilla ocasiona la del elemento de retardo, de tal modo que cuando éste termina de arder, la combustión alcanza la carga primaria, que detona, haciendo a su vez detonar la carga base o secundaria.

En el caso de detonador eléctrico instantáneo (o de número 0), al carecer de portarretardo, la cerilla hace detonar a la carga primaria directamente, y ésta la carga



PEGA ELÉCTRICA

CLASIFICACIÓN DE LOS DETONADORES ELÉCTRICOS EN BASE A SU SENSIBILIDAD

SENSIBLES (S)

FUENTE: Manual de Empleo de Explosivos. MAXAM.

Apropiados para lugares en que no existe peligro de corrientes estáticas/extrañas, producidas por líneas eléctricas, tormentas... Uno de los hilos es de color rojo, el color del otro hilo vendrá determinado por el tiempo de retardo. Ningún detonador sensible debe hacer explosión al ser atravesado por corriente de 0,18 A durante 5 minutos. Hoy día prácticamente en desuso. Intensidad de encendido en serie 1,2 A.

INSENSIBLES (I)

Más seguros que los S frente a corrientes extrañas. Su impulso de encendido es 5 veces mayor y su corriente de seguridad superior al doble. Se emplea en casos en que a pesar de no ser previsible la existencia de corrientes peligrosas en el entorno, se requiere un mayor margen de seguridad. Uno de sus hilos será rosa.

Ningún Riodet I debe explotar con una corriente de 0,45 A durante 5 minutos. La intensidad mínima de disparo es de 2,5 A

ALTAMENTE INSENSIBLES (AI)

Se reducen notablemente los riesgos de autoencendido ante energías extrañas, a pesar de no ser totalmente seguros en caso de que superen los límites de seguridad. La corriente de seguridad es de 4 A, y la intensidad de disparo de 25 A. Se distinguen por el color verde de uno de sus hilos.

Si el puente de incandescencia de algún detonador rompe antes de encenderse todos, la corriente se cortaría (no saldría la voladura entera). Es peligroso utilizar corrientes insuficientes, o mezclar detonadores de distinta sensibilidad.

2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas

PEGA ELÉCTRICA

CLASIFICACIÓN DE LOS DETONADORES ELÉCTRICOS EN BASE A LA SECUENCIACIÓN

FUENTE: Manual de Empleo de Explosivos. MAXAM.

INSTANTÁNEOS

Sin portarretardo, por lo que la detonación es instantánea. Uno de sus hilos será blanco.

MICRORRETARDO DE 25-50 ms

Los detonadores explotan con secuencia de 25/50 ms. La serie va desde el número 1 al 16 en la serie de 25 ms, y del 18 al 30 (sólo pares) de 50 ms. El número más alto de la serie explota a los 750 ms del accionamiento del explosor. Uno de sus hilos será amarillo O TURQUESA (Maxam).

RETARDO DE 500 ms

La serie consta de 12 números. No es aconsejable en voladuras a cielo abierto, ya que puede producir proyecciones inadecuadas. Suelen emplearse con cierta frecuencia en interior. Uno de sus hilos será azul.

MAXAM HA AMPLIADO A 16 NÚMEROS

FUENTE: Manual de Empleo de Explosivos. MAXAM.

PEGA ELÉCTRICA

CÓDIGO DE COLORES Y RESUMEN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS

TRADICIONALMENTE, COLOR AMARILLO. RECIENTEMENTE MAXAM PASA A TURQUESA.

Clasificación por sensibilidad	Sensibles (S)		Insensibles (I)		Áltamente Insensibles (AI)	
Clasificación por tiempo	Hilo sensibilidad	Hilo tiempo	Hilo sensibilidad	Hilo tiempo	Hilo sensibilidad	Hilo tiempo
Instantáneos	Red	White	Pink	White	Green	White
Microrretardo, 25 ms		Cyan		Cyan		Cyan
Retardos, 500 ms		Dark Blue		Dark Blue		Dark Blue

EN LA ACTUALIDAD, MAXAM NO LO PRODUCE

Clasificación por sensibilidad	Sensibles (S)	Insensibles (I)	Áltamente Insensibles (AI)
Resistencia del puente (Ω)	1,2-1,6	0,3-0,5	0,03-0,05
Impulso de encendido (mJ/ Ω)	0,8-3	8 - 16	1100-2500
Corriente de seguridad (A)	0,18	0,45	4
Corriente de encendido en serie (A)	1,2	2,5	25

2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas

PEGA ELÉCTRICA

SERIE DE MICRORRETARDO	
Número	Tiempo (ms)
0	-
1	25
2	50
3	75
4	100
5	125
6	150
7	175
8	200
9	225
10	250
11	275
12	300
13	325
14	350
15	375
16	400
17	425*
18	450
19	475*
20	500
22	550
24	600
26	650
28	700
30	750

Clasificación por tiempo	Hilo tiempo
Instantáneos	
Microrretardo, 25 ms	
Retardos, 500 ms	

Las secuencias corresponden a los formatos comerciales de la empresa MAXAM. Los indicados con asterisco, disponibles bajo encargo.

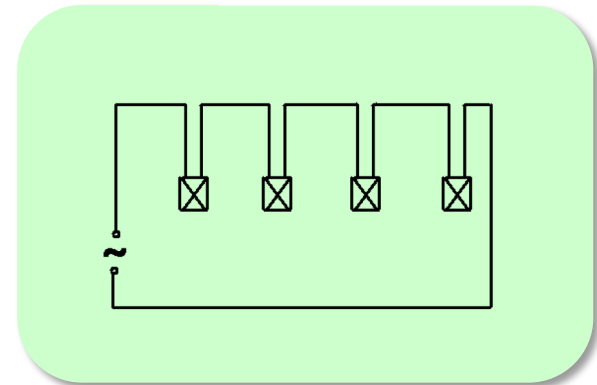
SERIE DE RETARDO	
Número	Tiempo (ms)
0	-
1/2	250
1	500
1 1/2	750*
2	1000
3	1500
4	2000
5	2500
6	3000
7	3500
8	4000
9	4500
10	5000
11	5500
12	6000
14	7000*
16	8000*

PEGA ELÉCTRICA

LA CONEXIÓN EN SERIE

FUENTE: Manual de Empleo de Explosivos. MAXAM.

Cada detonador se va conectando al anterior y al siguiente mediante sus terminales. El terminal que queda libre del primer detonador y el del último de la serie se conecta a la línea volante, y ésta a la línea principal de tiro. La línea de tiro deberá permanecer cortocircuitada por los extremos destinados a la conexión con el explosor hasta el momento de la comprobación. La resistencia total teórica deberá coincidir con la que se mida en el óhmetro, y deberá ser:



RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE TIRO + RESISTENCIA DE LA LÍNEA VOLANTE+RESISTENCIA TOTAL DEL DETONADOR·NÚMERO DE DETONADORES. $R_t = R_l + R_d \cdot N$

LA RESISTENCIA DEL DETONADOR DEPENDERÁ DE LA DE PUENTE, Y DE LA LONGITUD DE LA MADEJA QUE CONSTITUYA SUS HILOS EXTREMOS DE CONEXIÓN, POR LO QUE CRECERÁ CON DICHA LONGITUD.

Conexiones en paralelo o mixtas requieren permiso especial por parte de la Autoridad Minera Competente.

2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas

PEGA ELÉCTRICA

CÁLCULO DEL EXPLOSOR

Fuente: Pardo de Santayana, G.

Se dispone de un explosor cuyas características son: Capacidad (C): 200 mF y una tensión de descarga de 1100 Voltios. Se desea disparar con él una voladura, utilizando detonadores Insensibles y una línea de resistencia total de 5 W. Los detonadores tendrán madeja de 6 m de hilo de cobre, con una resistencia lineal de 0,062 W /m, y se conectarán en serie. La resistencia del puente es de 0,5 W, la intensidad de encendido de los detonadores conectados en serie es de 2,5 A, y el impulso requerido para el encendido es de 16 mw·s/ W. Supóngase un tiempo de persistencia del circuito de 5 ms.

Se pide:

- A) Calcular el número de detonadores que podrá dispararse con el explosor.
- B) Comprobar numéricamente el resultado.

PEGA ELÉCTRICA

CÁLCULO DEL EXPLOSOR

Se dispone de un explosor cuyas características son: Capacidad (C): 200 mF y una tensión de descarga de 1100 V. Fuente: Pardo de Santayana, G. voladura, utilizando detonadores Insensibles y una línea de resistencia total de 5 W. Los detonadores tendrán madeja de 6 m de hilo de cobre, con una resistencia lineal de 0,062 W /m, y se conectarán en serie. La resistencia del puente es de 0,5 W, la intensidad de encendido de los detonadores conectados en serie es de 2,5 A, y el impulso requerido para el encendido es de 16 mw·s/ W. Supóngase un tiempo de persistencia del circuito de 5 ms.

Se pide:

A) Calcular el número de detonadores que podrá dispararse con el explosor.

1.- Ha de aplicarse la ecuación siguiente, para calcular la resistencia máxima admisible del circuito en base a las propiedades del explosor:

$$C \cdot I^2 \cdot R^2 + 2 \cdot S \cdot R - C \cdot U^2 = 0$$

$$200 \cdot 10^{-6} \cdot 2,5^2 \cdot R^2 + 2 \cdot 16 \cdot 10^{-3} \cdot R - 200 \cdot 10^{-6} \cdot 1100^2 = 0$$

$$1,25 \cdot 10^{-3} \cdot R^2 + 0,032 \cdot R - 242 = 0$$

$$R = \frac{-0,032 \pm \sqrt{(0,032)^2 - 4 \cdot 1,25 \cdot (-242)}}{2 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}} = 427,38 \text{ W}$$

-  C: Capacidad del condensador (en Faradios!!)
-  I: Intensidad de encendido del detonador (A)
-  R: Resistencia del circuito (W). En este primer paso es la incógnita.
-  S: Impulso de encendido (En Julios!!)
-  U: Tensión de descarga (V)

PEGA ELÉCTRICA

CÁLCULO DEL EXPLOSOR

Se dispone de un explosor cuyas características son: Capacidad (C): 200 mF y una tensión de descarga de 1100 V. Se quiere hacer una voladura, utilizando detonadores Insensibles y una línea de resistencia total de 5 W. Los detonadores tendrán madeja de 6 m de hilo de cobre, con una resistencia lineal de 0,062 W /m, y se conectarán en serie. La resistencia del puente es de 0,5 W, la intensidad de encendido de los detonadores conectados en serie es de 2,5 A, y el impulso requerido para el encendido es de 16 mw·s/ W. Supóngase un tiempo de persistencia del circuito de 5 ms.

Fuente: Pardo de Santayana, G.

Se pide:

A) Calcular el número de detonadores que podrá dispararse con el explosor.

2.- Calculo el número máximo admisible de detonadores en serie:

$$R = R_l + N(2 \cdot L \cdot R_l + R_p)$$

$$427,38 = 5 + N(2 \cdot 6 \cdot 0,062 + 0,5)$$

$$N = \frac{422,38}{2 \cdot 6 \cdot 0,062 + 0,5} = 339,53 = 339 \text{ detonadores}$$

-  R: Resistencia total del circuito (W).
-  R_L: Resistencia de la línea de disparo (W)
-  R_H: Resistencia lineal de la madeja del detonador (W/m).
-  R_p: Resistencia del puente.

PEGA ELÉCTRICA

CÁLCULO DEL EXPLOSOR

Se dispone de un explosor cuyas características son: Capacidad (C): 200 mF y una tensión de descarga de 1100 Voltios. Se desea disparar con él una voladura, utilizando detonadores Insensibles y una línea de resistencia total de 5 W. Los detonadores tendrán madeja de 6 m de hilo de cobre, con una resistencia lineal de 0,062 W /m, y se conectarán en serie. La resistencia del puente es de 0,5 W, la intensidad de encendido de los detonadores conectados en serie es de 2,5 A, y el impulso requerido para el encendido es de 16 mw·s/ W. Supóngase un tiempo de persistencia del circuito de 5 ms.

Se pide:
B) Comprobar numéricamente el resultado.

Debe justificarse que para el número de detonadores calculado, el explosor podrá suministrar la Intensidad y encendido de disparo requeridos

1.- Se calcula la energía total suministrada por el explosor

$$E_0 = (1/2) \cdot 200 \cdot 10^{-6} \cdot 1100^2 = 121,4 \text{ J}$$

- ⌚ E₀= Energía total suministrada por el explosor(J)
- ⌚ C= Capacidad del explosor (En Faradios)
- ⌚ U= Tensión de descarga (V)

2.- Se determina la energía útil o eficaz descargada por el condensador en el tiempo de permanencia t.

$$E_D = E_0 \cdot (1 - e^{-2 \cdot t / (R \cdot C)})$$

$$E_D = 121,4 \cdot \left(1 - e^{-2 \cdot \frac{0,005}{427,38 \cdot 200 \cdot 10^{-6}}}\right) = 13,40 \text{ J}$$

- ⌚ E_D= energía útil descargada por el condensador en el tiempo de permanencia t (J).
- ⌚ E₀= Energía total suministrada por el explosor(J)
- ⌚ t= tiempo de persistencia (Dado en el enunciado, s)
- ⌚ R= Resistencia total del circuito, ya calculada (W)
- ⌚ C= Capacidad del explosor (F)

PEGA ELÉCTRICA

CÁLCULO DEL EXPLOSOR

Se dispone de un explosor cuyas características son: Capacidad (C): 200 mF y una tensión de descarga de 1100 Voltios. Se desea disparar con él una voladura, utilizando detonadores Insensibles y una línea de resistencia total de 5 W. Los detonadores tendrán madeja de 6 m de hilo de cobre, con una resistencia lineal de 0,062 W /m, y se conectarán en serie. La resistencia del puente es de 0,5 W, la intensidad de encendido de los detonadores conectados en serie es de 2,5 A, y el impulso requerido para el encendido es de 16 mw·s/ W. Supóngase un tiempo de persistencia del circuito de 5 ms.

Se pide:

B) Comprobar numéricamente el resultado.

Debe justificarse que para el número de detonadores calculado, el explosor podrá suministrar la Intensidad y encendido de disparo requeridos

3.- Debe determinarse si con la energía útil suministrada por el explosor en el tiempo de persistencia del circuito, y la Resistencia total del circuito calculada, se aporta un impulso y una intensidad de corriente superiores a los requeridos para el encendido.

$$S = \frac{E_D}{R} = \frac{13,40}{427,38} = 0,031 \frac{J}{\Omega} \approx 31 \frac{mw \cdot s}{\Omega} > 16 \frac{mw \cdot s}{\Omega}$$

$$I = \sqrt{\frac{E_D}{R \cdot t}} = \sqrt{\frac{13,40}{427,38 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}} = 2,5 A$$

Quedan satisfechos los requerimientos de impulso e intensidad de encendido

2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas

PEGA ELÉCTRICA

COMPROBACIONES PREVIAS A DISPARO

Requiere comprobación de continuidad: estando la línea de tiro cortocircuitada por uno de los extremos (unidos los dos ramales en un extremo), la resistencia que dé el óhmetro deberá coincidir con la calculada para la línea.

Comprobada la línea de tiro, debe conectarse la circuito de voladura para la comprobación del circuito completo. Antes de realizar la comprobación, deberá retirarse el personal por razones de seguridad. La resistencia del óhmetro deberá coincidir con la calculada. **POSIBLES CAUSAS DE NO COINCIDENCIA:**

-  **RESISTENCIA DEMASIADO ALTA:** Posible falso contacto en algún empalme o detonador.
-  **RESISTENCIA DEMASIADO BAJA:** No están conectados todos los detonadores, o existe derivación en el circuito o cruce en la línea de tiro.
-  **RESISTENCIA INFINITA:** Circuito abierto, por un detonador defectuoso por la rotura de un hilo o, en determinados casos, por la rotura de un puente.

En caso de detectarse una de estas anomalías, deberá localizarse la avería. Inicialmente mediante inspección visual. Si no se detecta el fallo, debe desconectarse la línea de tiro (nueva verificación de continuidad). Si el fallo no está en la línea, se une uno de sus terminales a un extremo del circuito, y el otro a la mitad del circuito. (Se comprueba en qué mitad está el error). Se vuelve a dividir el circuito defectuoso en dos mitades, y así hasta localizar al avería.

PEGA ELÉCTRICA

POSIBLES CAUSAS DE FALLO

FUENTE: Manual de Empleo de Explosivos. MAXAM.

Si el cebado y la conexión son correctos, y el explosor adecuado, no deben originarse fallos. En caso de producirse, se deberá tener en cuenta lo previsto en el R.G.N.B.S.M. El mayor peligro está en el fallo de sólo alguno de los barrenos, no en el de toda la voladura.

CAUSAS MÁS COMUNES DE FALLOS

CONEXIONES INCORRECTAS

Conexión deficiente, terminales sucios... pueden provocar resistencias elevadas causantes de fallos

FUNCIONAMIENTO INCORRECTO DEL EXPLOSOR

Deberá estar en perfectas condiciones, debiendo comprobarse su estado periódicamente (para cada tipo de explosor existe un comprobador). El artillero deberá conocer la máxima capacidad de disparo del explosor (dato facilitado por el fabricante, junto con normas de empleo, mantenimiento, número de detonadores o resistencia máxima de circuito admisible). Los explosores deberán estar homologados, y dicha homologación se hace para los tres niveles de sensibilidad.

PÉRDIDAS DE CORRIENTE

Las derivaciones son más comunes en barrenos húmedos o con minerales metálicos. Deben extremarse las precauciones por su conductividad, debiendo utilizar conectadores rápidos y trenzar bien los terminales. Pueden producirse cortocircuitos en la línea de tiro, sobre todo en líneas duplex (doble hilo). La tensión del óhmetro en la comprobación no produciría fugas apreciables, pero sí con la tensión de disparo de la pega. **ACONSEJABLE LÍNEA DE TIRO CON DOS CABLES DE HILO SENCILLO.**

2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas

PEGA ELÉCTRICA

POSIBLES CAUSAS DE FALLO

MEZCLA DE DETONADORES DE DISTINTA SENSIBILIDAD

Para que no hubiese fallos por paso de corriente, todos los detonadores debían inflamarse a la vez con la **INTENSIDAD RECOMENDADA POR EL FABRICANTE**.

ROTURA DE CABLES DEL DETONADOR

La colocación y conexión de los detonadores puede realizarse cuidadosamente, para evitar la rotura de hilos. En la operación del retacado puede producirse la rotura de hilos si no se hace cuidadosamente.

POR LÍNEA EXCESIVA DE TIRO O DEMASIADOS DETONADORES

Cada explosor puede disparar hasta una resistencia máxima, debiendo tener en cuenta la longitud de línea y número de detonadores.

DISPARO POR CORRIENTE ALTERNA O BATERÍAS.

Únicamente podrá realizarse mediante autorización expresa, ya que dichas modalidades causan muchos fallos.

2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas

PEGA ELÉCTRICA

POSIBLES CAUSAS DE FALLO

CAUSAS MÁS COMUNES DE FALLOS CON LOS DETONADORES

Las principales causas de encendido accidental son la conexión del explosor antes de lo debido, el encendido durante la comprobación, o corrientes extrañas.

CONEXIÓN PREMATURA DEL EXPLOSOR

Durante la carga y conexión, los extremos de la línea de tiro del lado en que se conectará el explosor deberán estar cortocircuitados, y deberán permanecer así hasta que el personal esté en lugar seguro. Entonces se abre el circuito para realizar la comprobación eléctrica, y posteriormente la conexión del explosor, que en todo momento estará controlado por el artillero, que tendrá en su poder el mecanismo de accionamiento.

COMPROBACIÓN ELÉCTRICA

Para evitar el encendido en la comprobación, las medidas deben efectuarse con aparatos en perfecto estado, revisados periódicamente, y reparados en talleres especializados con garantía. La medición se realizará desde lugar seguro, a poder ser el del disparo.

ELECTRICIDAD EXTRAÑA

Electricidad incontrolada que puede penetrar en los detonadores durante su empleo. Las posibles causas son tormentas, electricidad estática, redes eléctricas, derivación de corrientes al terreno, emisoras y corrientes galvánicas.

PEGA ELÉCTRICA

POSIBLES CAUSAS DE FALLO

ELECTRICIDAD EXTRAÑA

Electricidad incontrolada que puede penetrar en los detonadores durante su empleo. Las posibles causas son tormentas, electricidad estática, redes eléctricas, derivación de corrientes al terreno, emisoras y corrientes galvánicas.

TORMENTAS

Las descargas eléctricas a varios km de distancia resultan peligrosas para las voladuras, máxime si no se emplean detonadores de Alta Insensibilidad. Este peligro incluye labores subterráneas a profundidades menores de las 200 m, o en túneles cuyo frente de trabajo se encuentre a menos de 500 m de la boca. Evidentemente la caída de un rayo sobre la voladura o sus cercanías puede suponer muy posiblemente la detonación de los detonadores.

ELECTRICIDAD ESTÁTICA

El hombre y las máquinas acumulan electricidad estática, sobre todo en ambiente seco, y si se usan prendas sintéticas y calzado de goma. Los más seguros son los detonadores altamente insensibles, pero incluso empleándolos debe usarse calzado y ropa antiestática.



Imagen de Dominio Público

2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas

PEGA ELÉCTRICA

POSIBLES CAUSAS DE FALLO

RECOMENDACIONES FRENTE A ELECTRICIDAD ESTÁTICA

Puesta a tierra adecuada de todas las máquinas y elementos metálicos.

Emplear calzado semiconductor.

No emplear materiales y ropas sintéticas.

Garantizar una elevada humedad (>60%).

Emplear ropas antiestáticas (algodón)

Mantener los detonadores cortocircuitados.

Coger los detonadores por el aislante, no por los extremos desnudos.

No cubrir con sacos o toldos los detonadores.

Si es posible, no emplear trajes de agua.

No usar cables distintos de los fabricados por Maxam.

Tener en el tajo una pica húmeda clavada al suelo.

PEGA NO ELÉCTRICA

Versátiles y fáciles de emplear. Ofrecen una combinación ilimitada de tiempos y pueden emplearse con todo tipo de explosivos. El fundamento del sistema consiste en una onda de choque de baja velocidad de detonación, canalizada a través de un tubo de plástico (tubo de transmisión).

TUBO DE TRANSMISIÓN

Tubo de plástico laminado multicapa que en su cara interna contienen una capa muy fina de reactivo (HMX y Al)

El HMX viene de la sigla en inglés **High Melting eXplosive. También se conoce como octágono y tetramina de ciclotetrametileno.*

Una vez iniciado el tubo produce una onda de detonación de 2000 m/s. Dicho fenómeno, de onda de choque, se propaga de manera fiable aún a pesar de nudos, dobleces... La onda de detonación no influye en la columna de explosivo del barreno, permitiendo la iniciación en fondo, ya que la cantidad de reactivo es tan pequeña que la superficie exterior del tubo queda intacta durante el paso de la onda de detonación.

El recubrimiento exterior del tubo es de polietileno, lo que aporta resistencia a la tracción, capacidad de estiramiento y resistencia a la abrasión. No es un tubo de naturaleza eléctrica, no puede ser iniciado por ondas de radiofrecuencia, corrientes erráticas, llama, fricciones o impactos normales asociados a la carga de voladura...

Los detonadores no eléctricos Primadet en la actualidad se designan Rionel en el territorio español. Fuente: Maxam.

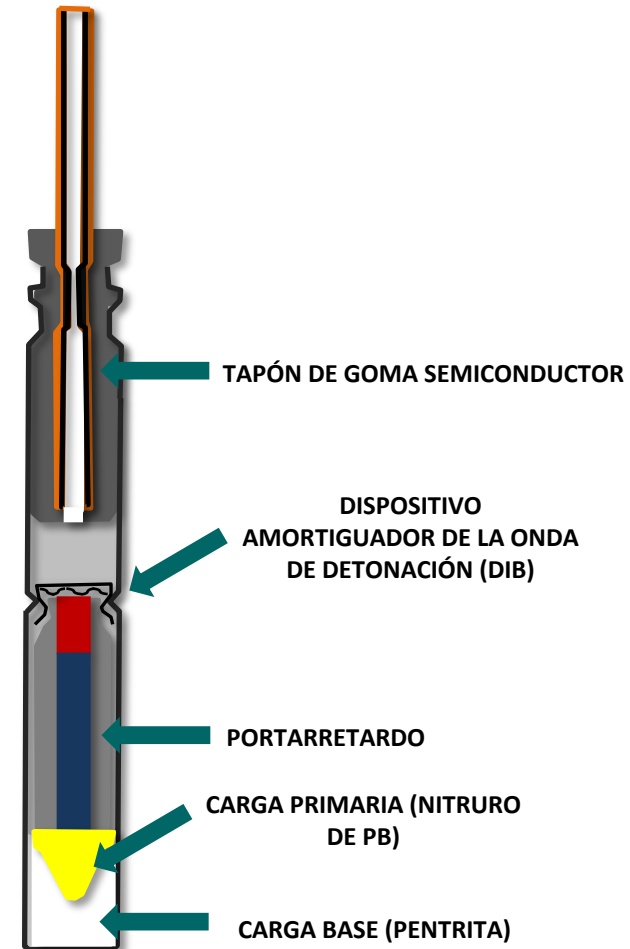
PEGA NO ELÉCTRICA

El fundamento del sistema consiste en una onda de choque de baja velocidad de detonación, canalizada a través de un tubo de plástico (tubo de transmisión). Una vez iniciado el tubo produce una onda de detonación de 2000 m/s. Dicho fenómeno, de onda de choque, se propaga de manera fiable aún a pesar de nudos, dobleces... La onda de detonación no influye en la columna de explosivo del barreno, permitiendo la iniciación en fondo, ya que la cantidad de reactivo es tan pequeña que la superficie exterior del tubo queda intacta durante el paso de la onda de detonación.

Elementos altamente precisos. Se componen de cápsula de aluminio que contiene en su interior una carga base de pentrita, una carga primaria de nitruro de plomo, un portarretardo metálico con su correspondiente pasta, un sistema de amortiguación de la onda de detonación (DIB) y un tapón de goma semiconductora (engarce al tubo de transmisión).

FUENTE: Manual de Empleo de Explosivos. MAXAM.

DETONADOR NO ELÉCTRICO



PEGA NO ELÉCTRICA

La carga base inicia con suficiente energía el explosivo, los detonadores no eléctricos tienen potencia equivalente al detonador óctuple.

La carga primaria de nitruro de plomo recibe la energía de iniciación de la carga portarretardo, y la transfiere a la carga base.

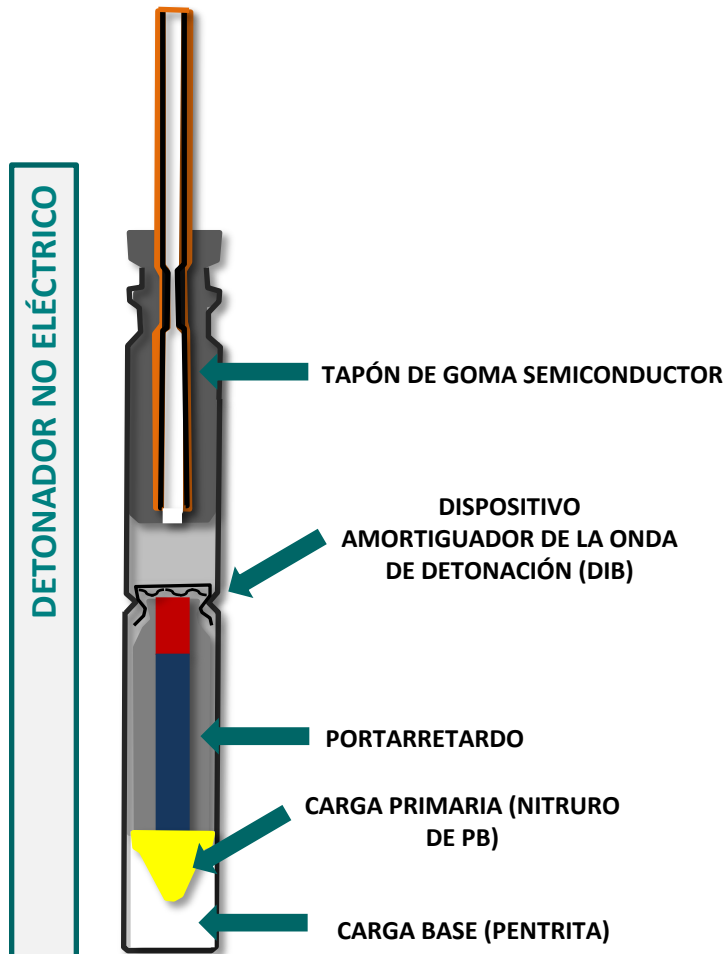
El portarretardo es de aluminio, y contiene la pasta pirotécnica de gran precisión que da el retardo. Recibe la energía de iniciación desde el tubo de transmisión a través de una composición iniciadora (parte superior, asegura la iniciación).

El amortiguador de la onda de detonación (DIB) distribuye la energía de la onda desde el tubo a toda la superficie de la composición iniciadora del portarretardo (mejora la precisión), previene fallos de aspiración en el portarretardo, y previene la iniciación inversa (del tubo por el detonador).

El tapón de goma semiconductora asegura la hermeticidad, y proporciona conductividad para la electricidad estática del tubo a las paredes del detonador (comprobado hasta 20 KV).

Cada detonador tiene un conector J ("cabeza de pato"), que facilita las conexiones al cordón detonante de 3 ó 6 gr.

FUENTE: Manual de Empleo de Explosivos. MAXAM.



PEGA NO ELÉCTRICA

DETONADORES NO ELÉCTRICOS MS

La serie de milisegundos suele emplearse para la mayoría de aplicaciones de voladuras a cielo abierto. Cuentan con incrementos de tiempo de 25 ms en números consecutivos del 1 al 30 (desde el 12 sólo existen pares). Disponibles en amplia gama de longitudes. Se dispone de instantáneo. Tubo naranja, cartela roja con letras negras. Con conector J para longitudes de madeja igual o menor a 6 m.

	Tiempo (ms)	Nº Periodo	Tiempo(ms)
1	25	12	300
2	50	14	350
3	75	16	400
4	100	18	450
5	125	20	500
6	150	22	550
7	175	24	600
8	200	26	650
9	225	28	700
10	250	30	750

FUENTES: Manual de Empleo de Explosivos. MAXAM.
Catálogo Rionel ms, disponible en
http://www.maxam.net/buscador_ceprods_action

PEGA NO ELÉCTRICA

DETONADORES NO ELÉCTRICOS LP

Serie de largo periodo, especialmente diseñados para avances en galería de mina y túneles. Los tiempos de retardo son mucho mayores que los de la serie MS, permitiendo el tiempo de movimiento de la roca y creación de cara libre para la expansión y salida de la roca. Cuentan con conector J, cartela blanca con letras negras. (Para enganchar a línea maestra de cordón detonante). Tubo amarillo.

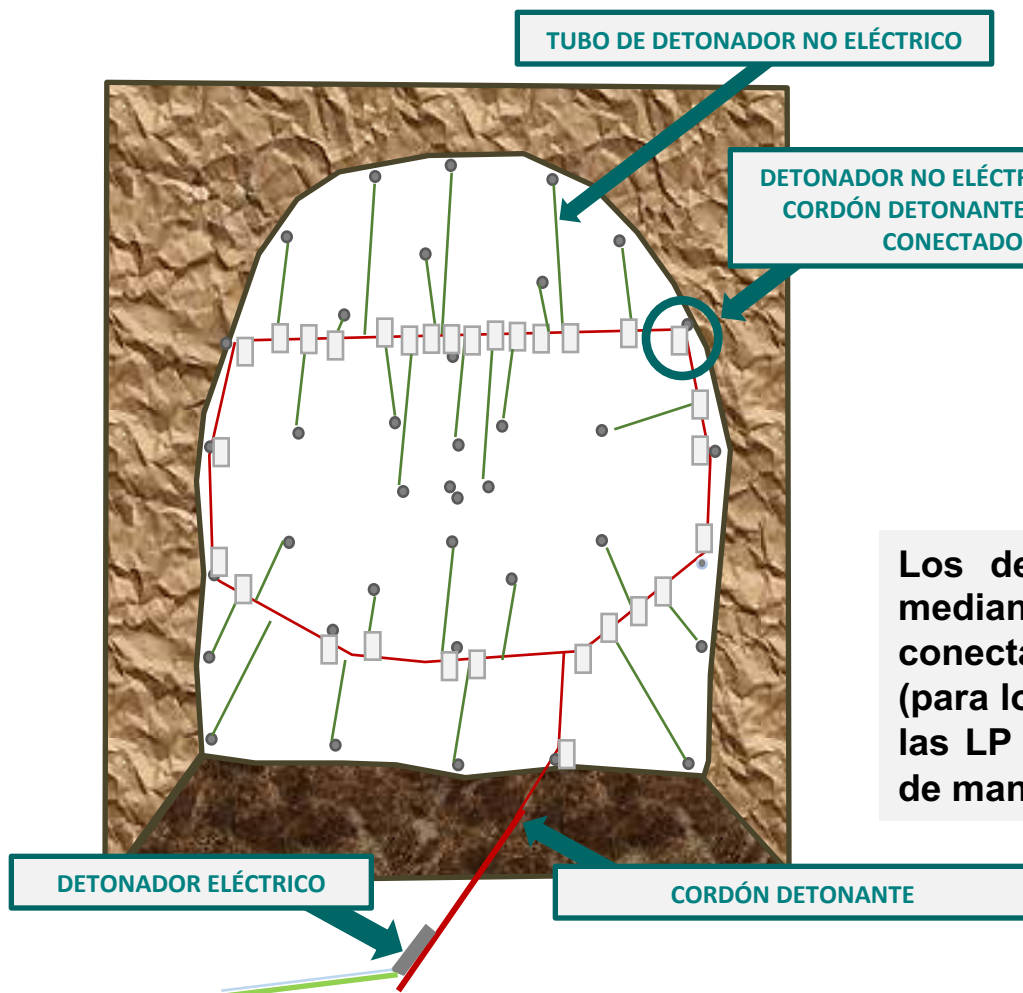
Nº Periodo	Tiempo (ms)	Nº Periodo	Tiempo(ms)
1	100	18	1800
2	200	20	2000
3	300	25	2500
4	400	30	3000
5	500	35	3500
6	600	40	4000
7	700	45	4500
8	800	50	5000
9	900	55	5500
10	1000	60	6000
12	1200	70	7000
14	1400	80	8000
16	1600	90	9000

FUENTES: Manual de Empleo de Explosivos. MAXAM.
Catálogo Rionel LP, disponible en
http://www.maxam.net/buscador_ceprods_action

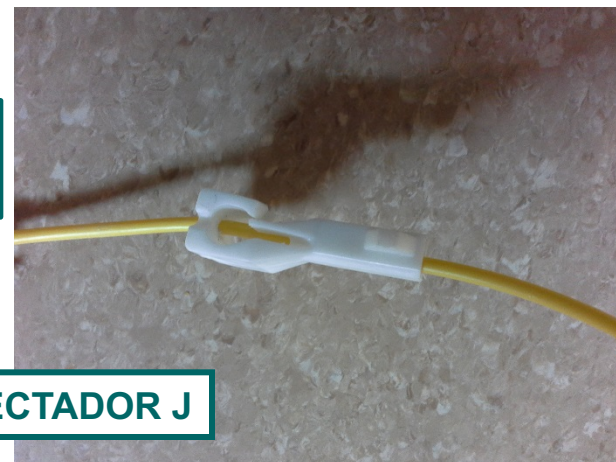
2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas

PEGA NO ELÉCTRICA

MÉTODO DE MANOJOS



CONECTOR J



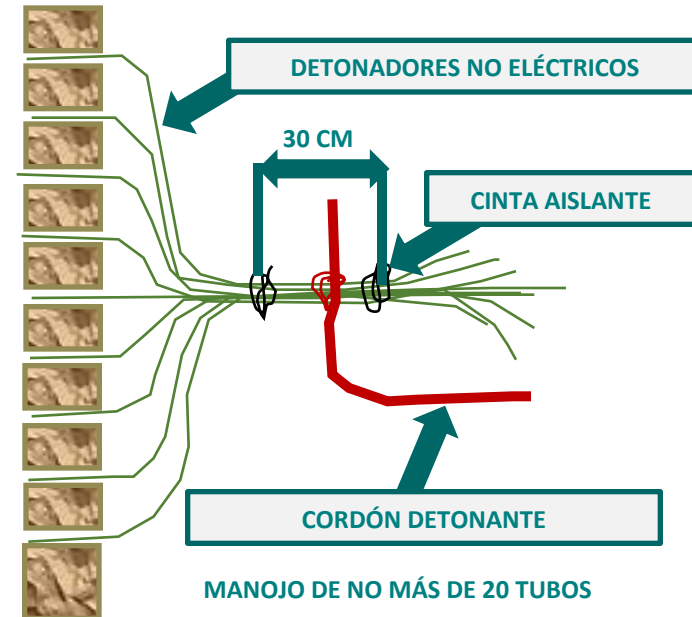
Los detonadores no eléctricos pueden iniciarse mediante cordón detonante, bien utilizando el conector J que presentan tanto las variantes ms (para longitudes de tubo menor o igual a 6 m) como las LP (todos lo presentan), o a través del método de manojos.

FUENTE: Manual de Empleo de Explosivos. MAXAM.

2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas

PEGA NO ELÉCTRICA

- Se agrupan hasta 20 tubos por manojo. Se asegura que están tensos, y se enrollan con cinta adhesiva.
- A 30 cm se enrolla nuevamente el manojo con cinta adhesiva,
- Todos los manojos se juntarán con cordón detonante. En el centro del manojo, entre los dos encintados, se anuda cordón detonante con un nudo simple en derivación.
- Puede repetirse tantas veces como se precise.
- Debe iniciarse la línea maestra asegurando que el iniciador principal no dañe las conexiones.
- El cordón detonante no deberá estar en contacto con ningún tubo de transmisión fuera del nudo.



PEGA NO ELÉCTRICA

DETONADORES NO ELÉCTRICOS CON RETARDO EN SUPERFICIE (DDX)

Reúne detonador en fondo y retardo en superficie. El retardo de superficie está montando en un **bloque EZ** de fácil uso. Su tubo es color naranja. El color del conector de plástico tendrá distintos colores en función del retardo. Se compone de detonador de fondo de potencia óctuple, tubo de transmisión y elemento de retardo en superficie alojado en conector de plástico. El retardador en superficie es un detonador de poca potencia (sin carga base). Inicia los tubos de transmisión, pero en sí no podría detonar cordón ni explosivos. Dado su diseño, no es necesario cubrirlos con detritus de perforación o arena.

En el bloque conector pueden colocarse hasta 6 tubos de transmisión (NO CORDÓN DETONANTE), siempre se mantienen a 90º respecto al elemento de retardo, lo que asegura la iniciación y propagación en dos direcciones del tubo de transmisión.

Al conectar la voladura los tubos deben introducirse en el bloque uno a uno, escuchando el click que atestigua la inserción.

Los colores de las etiquetas dependen de los retardos, y la longitud del tubo se especifica grabada en una etiqueta (facilita la identificación si hay varios detonadores en un barreno).



BLOQUE EZ

PEGA NO ELÉCTRICA

DETONADORES NO ELÉCTRICOS CON RETARDO EN SUPERFICIE (DDX)

En el bloque conector pueden colocarse hasta 6 tubos de transmisión, siempre se mantienen a 90º respecto al elemento de retardo, lo que asegura la iniciación y propagación en dos direcciones del tubo de transmisión.

Al conectar la voladura los tubos deben introducirse en el bloque uno a uno, escuchando el click que atestigua la inserción.

Los colores de las etiquetas dependen de los retardos, y la longitud del tubo se especifica grabada en una etiqueta (facilita la identificación si hay varios detonadores en un barreno).



BLOQUE EZ

PEGA NO ELÉCTRICA

DETONADORES NO ELÉCTRICOS CON RETARDO EN SUPERFICIE (DDX)

Reúne detonador en fondo y retardo en superficie. El retardo de superficie está montando en un **bloque EZ** de fácil uso. Su tubo es color naranja. El color del conector de plástico tendrá distintos colores en función del retardo. Se compone de detonador de fondo de potencia óctuple, tubo de transmisión y elemento de retardo en superficie alojado en conector de plástico. El retardador en superficie es un detonador de poca potencia (sin carga base). Inicia los tubos de transmisión, pero en sí no podría detonar cordón ni explosivos. Dado su diseño, no es necesario cubrirlos con detritus de perforación o arena.

En el bloque conector pueden colocarse hasta 6 tubos de transmisión (**NO CORDÓN DETONANTE**), siempre se mantienen a 90º respecto al elemento de retardo, lo que asegura la iniciación y propagación en dos direcciones del tubo de transmisión.

Al conectar la voladura los tubos deben introducirse en el bloque uno a uno, escuchando el click que atestigua la inserción.

Los colores de las etiquetas dependen de los retardos, y la longitud del tubo se especifica grabada en una etiqueta (facilita la identificación si hay varios detonadores en un barreno).



BLOQUE EZ

2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas

PEGA NO ELÉCTRICA

CONECTADORES SCX Y LLX

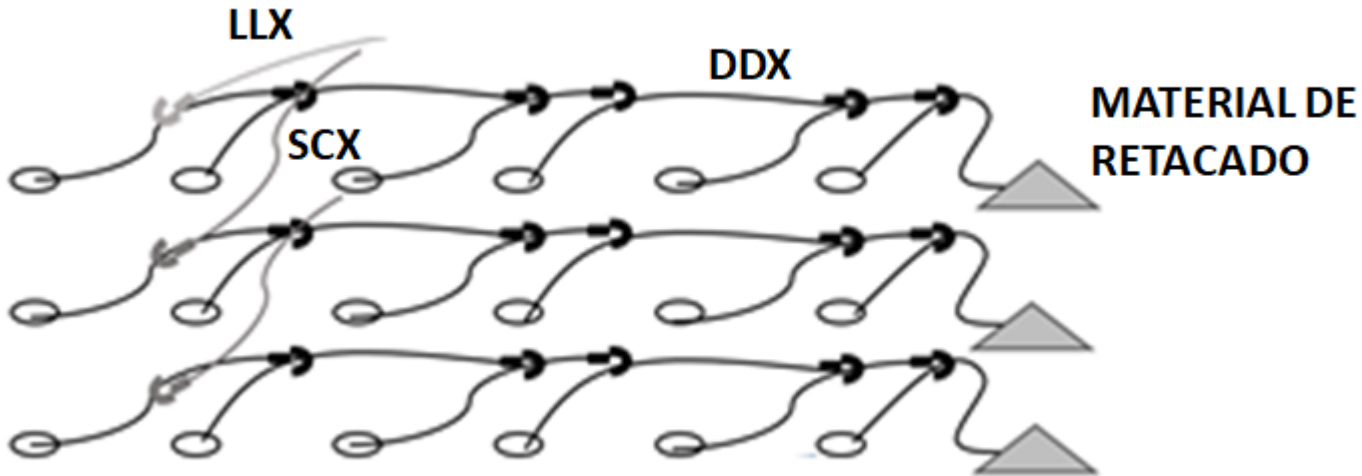
Antiguamente recibían el nombre de EZ-TL= EZ-Trunkline-línea maestra. Es el elemento de retardo en superficie, que incorpora el bloque conector de plástico EZ con el retardador de baja potencia, adosado al tubo de transmisión. El tubo es amarillo, y el color del bloque conector depende del retardo. Cuenta con banderola irrompible (blanca impresa en negro). Tradicionalmente incluían en el extremo opuesto al del Bloque EZ un conector J (para unir a línea maestra de cordón detonante). Las variantes actuales de MAXAM recogida en catálogo no lo incluye.

Los SCX se pueden emplear con los DDX para modificar los tiempos de retardo, o combinarse entre sí para conseguir diversos tiempos de retardo (EJ: $25\text{ ms} + 9\text{ ms} = 34\text{ ms}$). Los LLX por su parte presentan mayor longitud de tubo y no suelen incluir retardos en los formatos actuales

Pueden emplearse además con detonadores RIONEL Ms, suponiendo una opción silenciosa frente al cordón detonante. Son además simples de conectar.

2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas

PEGA NO ELÉCTRICA



El procedimiento de carga es simple: se carga cada barreno con un detonador de fondo del mismo tiempo (en el caso de MAXAM 500 ms), si bien al introducir en los barrenos detonadores de igual tiempo, el retardo entre barrenos viene dado por el retardo en superficie. LOS RETARDOS DE LA LÍNEA DEBERÁN INICIARSE ANTES DE QUE EMPIECEN A SALIR LOS BARRENOS DE LA VOLADURA, POR ELLO SE PONEN RETARDOS GRANDES EN FONDO), y el conector DDX de cada barreno se usa para conectar el siguiente. La conexión entre filas se hace con conectores SCX.

2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas

PEGA NO ELÉCTRICA

Antiguamente recibían el nombre de EZ-TL= EZ-Trunkline-línea maestra. Es el elemento de retardo en superficie, que incorpora el bloque conector de plástico EZ con el retardador de baja potencia, adosado al tubo de transmisión. El tubo es amarillo, y el color del bloque conector depende del retardo. Cuenta con banderola irrompible (blanca impresa en negro). Tradicionalmente incluían en el extremo opuesto al del Bloque EZ un conector J (para unir a línea maestra de cordón detonante). Las variantes actuales de MAXAM recogida en catálogo no lo incluye.

Los SCX se pueden emplear con los DDX para modificar los tiempos de retardo, o combinarse entre sí para conseguir diversos tiempos de retardo (EJ: $25\text{ ms} + 9\text{ ms} = 34\text{ ms}$). Los LLX por su parte presentan mayor longitud de tubo y no suelen incluir retardos en los formatos actuales

Pueden emplearse además con detonadores RIONEL Ms, suponiendo una opción silenciosa frente al cordón detonante. Son además simples de conectar.

PEGA ELECTRÓNICA

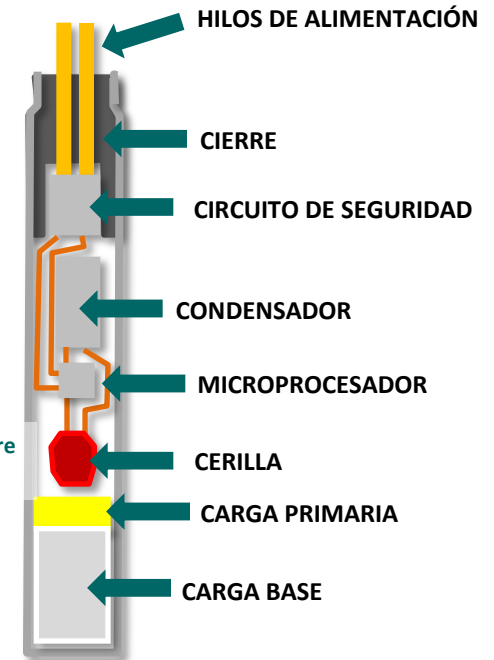
Emplea un microchip para regular el retardo del detonador, empleando la energía eléctrica almacenada en uno o varios condensadores. El retardo se consigue electrónicamente, no pirotécnicamente como sucede con los detonadores eléctricos y no eléctricos.

Cada detonador aloja un microchip al que se le asigna durante la fabricación un código de serie (identidad). El detonador va unido por un cable bifilar a un conector en el que va grabado un código de barras (código de serie del microchip). El conector permite unir cada detonador con el anterior y siguiente en el circuito de la voladura.

**Dependiendo del fabricante: Maxam y EPC, entre 0 y 14 segundos , Orica entre 0 y 15 s,*

Los detonadores pueden programarse individualmente para hacer explotar en un intervalo entre 0 y 25* segundos, con incrementos de un milisegundo. El tiempo entre barrenos puede variarse automáticamente y de forma pre-programada, o manualmente por una persona experta, una vez que el detonador esté colocado. Si hubiese detonadores que no hubiesen sido escaneados, el sistema asigna un tiempo, de modo que explotan tras haber salido los demás, eliminando el riesgo de detonadores en el escombros.

Sistema compuesto por: Detonadores, Escáner, Explosor, Comprobador, Accesorios (líneas de tiro, alargadores de línea, conectadores entre circuitos...), software.



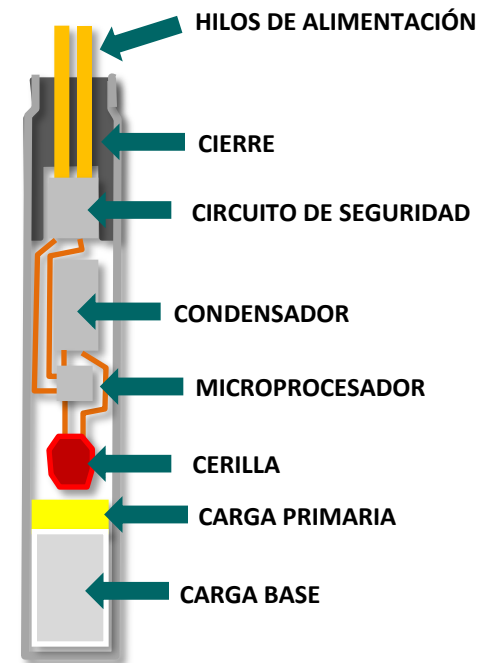
FUENTE: Ríos Vázquez, J. (2009). Curso Básico de Explosivos. Oviedo: I. Gofer.

PEGA ELECTRÓNICA

VENTAJAS

*Dependiendo del fabricante: Maxam y EPC, entre 0 y 14 segundos, Orica entre 0 y 15 Ss,

- Altísima precisión, variedad de retardo.
- Posibilidad de programar con retardos entre 0 y 25* segundos con incrementos de un milisegundo y exactitud de 0,1% (microsegundos). ESTOS PARÁMETROS DEPENDEN DE MODELO Y FABRICANTE, MAXAM ENTRE 0 Y 14 MS, CON DIFERENCIA DE 1 MS.
- Seguridad ante corrientes extrañas, respuesta únicamente ante señal eléctrica codificada por el explosor.
- Facilidad de conexión: El circuito de voladura se conecta uniéndolo a dos terminales eléctricos entre barrenos, sin preocuparse del orden. Son conexiones simples que pueden modificarse.
- Versatilidad: Una vez asignados los tiempos pueden corregirse tantas veces como se quiera con el escáner previamente al disparo.
- Mejora de los resultados de las voladuras en materia de vibraciones (cada barreno puede iniciarse en un tiempo distinto y en secuencia adecuada al tipo de roca).



DESVENTAJAS

La alta inversión requerida en Hardware, la formación del personal o el elevado coste de los detonadores (tres o cuatro veces superior al no eléctrico), son aspectos que dificultan la generalización del método.

FUENTE: Ríos Vázquez, J. (2009). Curso Básico de Explosivos. Oviedo: I. Gofer.

2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas

DETONADORES ORDINARIOS Y MECHA LENTA

MECHA LENTA

La mecha lenta está constituida por un núcleo de pólvora negra, rodeada de varias capas de hilos y materiales que la hacen resistente a esfuerzos mecánicos, abrasión y humedad.

La combustión de la mecha se produce a **dos minutos por metro lineal**. Suele emplearse en la iniciación de detonadores ordinarios y pólvora de mina.

DETONADOR DE MECHA/ORDINARIO

Constituido por un casquillo de aluminio, cerrado en su extremo, con dos cargas explosivas en su interior que están en contacto entre sí. Para su iniciación debe introducirse una mecha lenta o de seguridad en el extremo libre, debiendo quedar en contacto con la carga explosiva

DETONADORES ORDINARIOS Y MECHA LENTA

PREPARACIÓN DEL CARTUCHO CEBO

Como ya se ha señalado, el primer paso consiste en el engarce en longitud suficiente y con corte perpendicular de la mecha en el casquillo del detonador ordinario.

El engarzado debe realizarse en la parte del casquillo que no lleva explosivo (zona abierta), si se hace en el otro lado, se iniciará el explosivo.

Engarzada la mecha ordinaria, se cebará el cartucho. Una vez dispuesto en el barreno, deberá darse fuego por el extremo libre de la mecha (el avance se producirá a 2 minutos/m lineal).

LOS DETONADORES ORDINARIOS NO SE FABRICAN EN COBRE, PORQUE SU USO ESTÁ PROHIBIDO EN MINERÍA DE CARBÓN.

El uso del mecha lenta-detonador ordinario está limitado a un máximo de 6 barrenos por pega. El cartucho debe colocarse en el extremo más externo de la carga del barreno. La longitud mínima de cada mecha desde la boca del barreno será de metro y medio. Si se sospecha fallo del conjunto mecha-detonador, no se volverá al lugar de la voladura hasta pasado un mínimo de media hora.

CORDÓN DETONANTE

Cuerda flexible e impermeable que contiene en su interior pentrita (velocidad de detonación de 7000 m/s). Se emplea principalmente para transmitir a los explosivos la detonación transmitida por un detonador.

El núcleo, con cantidad variable de pentrita según el tipo, presentan envueltas de hilo, fibras textiles y PVC (resistencia a tracción, abrasión y PVC).

Se caracteriza por su potencia, directamente relacionada con el contenido de pentrita por metro lineal. Los más aplicados presentan entre 3 y 100 g de explosivo por metro lineal.

Gramaje	Color	Diámetro(mm)	Aplicaciones
6	Rosa	3,6	Línea maestra para no eléctricos
10	Rojo	4,3	A lo largo de barrenos, para iniciar booster o explosivo. Línea maestra
12	Azul	4,4	
20	Blanco	5,7	A lo largo de barrenos, para iniciar booster o explosivo. Sísmica
40	Verde	7,8	
80	Amarillo	10,3	Voladuras de contorno
100	Rojo	11,2	

Cordón detonante "RIOCORD STANDARD". FUENTE: Maxam

Se pueden combinar con relés de microrretardo. Permiten introducir retardos en voladuras que empleen cordón detonante. Interrumpen la detonación durante 15 o 25 ms, con efecto similar al proporcionado por los detonadores eléctricos de microrretardo. Consisten en una funda de plástico con un elemento de retardo en su parte central, alojado en un cilindro metálico con cargas de nitrato de plomo en los extremos, que facilitan la transmisión del estímulo entre los cordones detonantes colocados en sus extremos. Uso en retroceso desde la aparición de detonadores no eléctricos.

2.3. Tipo de pegas eléctricas y no eléctricas

MULTIPLICADORES

Cebos que se emplean para iniciar explosivos de baja sensibilidad (no sensibles al detonador óctuple), por ejemplo la nagolita.

Están compuestos por un cilindro de pentolita (explosivo de alta potencia y velocidad de detonación), recubierto de una envuelta de cartón.

Presenta orificios axiales rodeados de pentrita , destinados al paso de los accesorios que los iniciarán (cordón detonante, detonadores...)

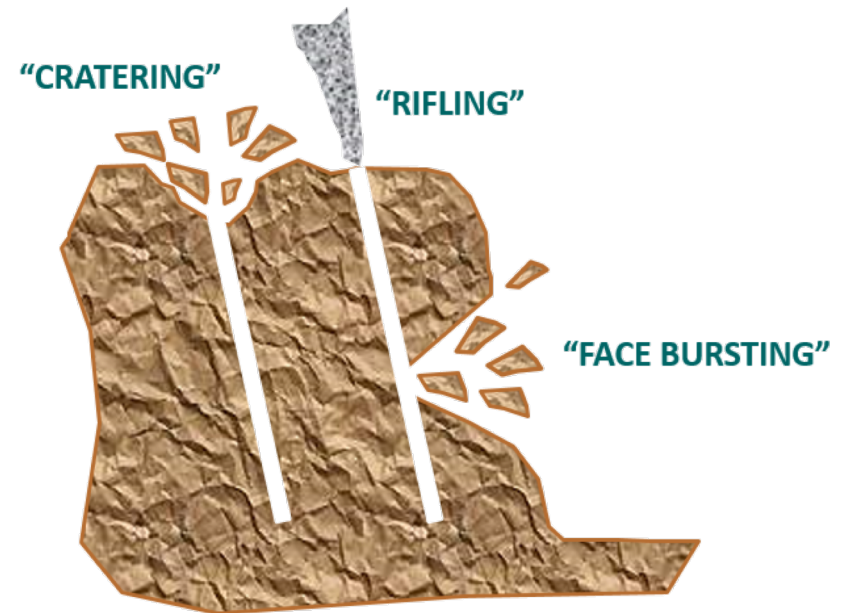
PROYECCIONES

Son lanzamientos incontrolados de fragmentos de roca que se producen en las voladuras. Pueden ser fuentes de daños materiales y lesiones. El R.G.N.B.S.M. contempla las medidas de precaución en su ITC 10.3.01. La energía que lanza estos fragmentos está relacionada con el exceso de explosivo

CAUSAS

Pueden venir condicionadas por el tipo de roca y macizo, el explosivo y su distribución, y el diseño y/o materialización de la voladura.

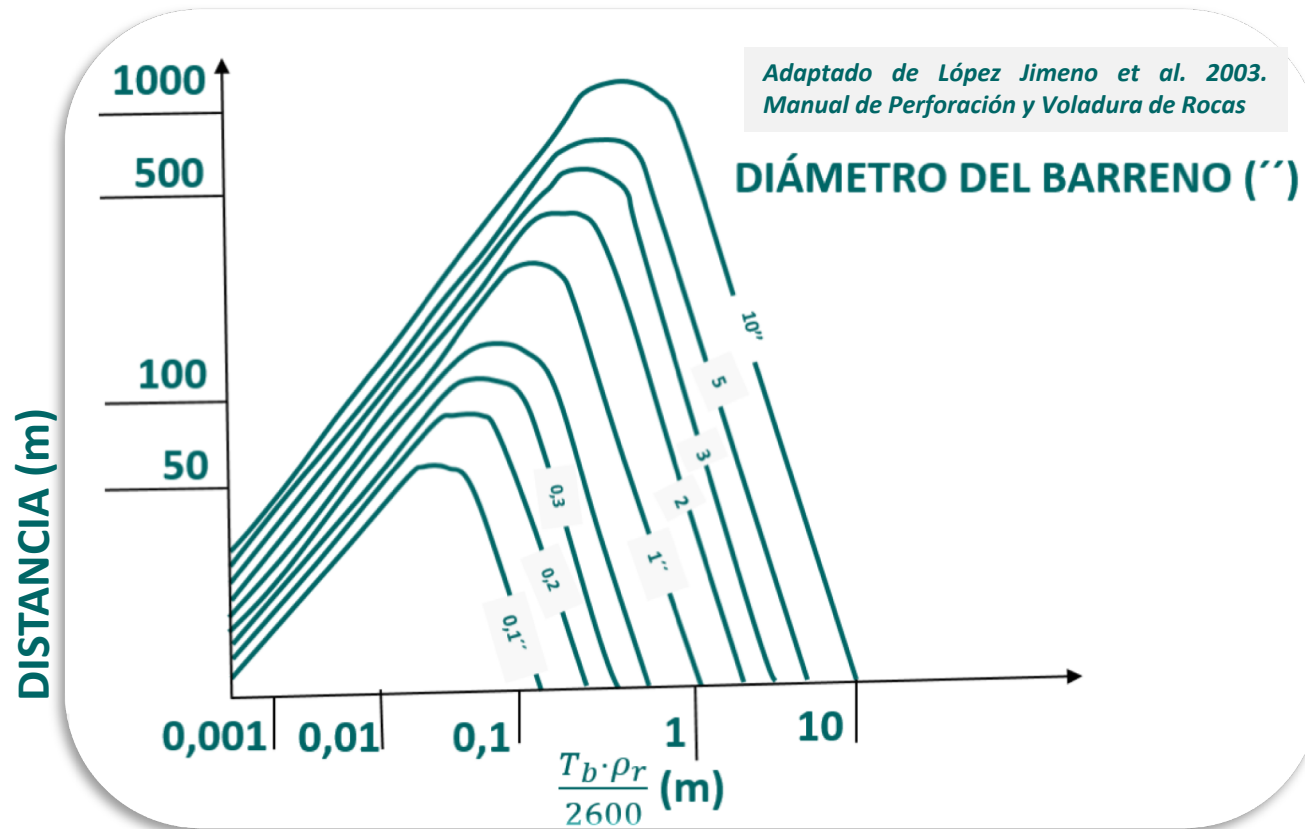
CAUSA	MEDIDA CORRECTORA
Cavidades	Entubar o rellenos intermedios con inerte
Estratos más blandos	Rellenos intermedios con inerte
Exceso de E.B. del explosivo	Emplear explosivo con más E.T.
Anomalías en la piedra	Revisar cálculos y estado del frente
Desviaciones de la perforación	Adecuar equipos y personal, comprobar la inclinación con anterioridad al disparo
Retacado deficiente	Adecuar longitud y tipo de material
Mala secuenciación	Experimentar con otras secuencias



Adaptado de:
<http://online.blasttraining.com.au/mod/glossary/print.php?id=40&mode=letter&hook=F&sortkey=&sortorder=&offset=-10>

PROYECCIONES

Existen varios modelos de estimación de las proyecciones, como por ejemplo el **Modelo Sueco**, que toma en consideración parámetros como el tamaño de los fragmentos (T_b), la densidad de la roca (ρ_r (kg/m³)), y el diámetro del barreno en pulgadas (D). Este método corresponde a voladuras en que se produzca el efecto cráter o se den bocazos.



ALCANCE MÁXIMO

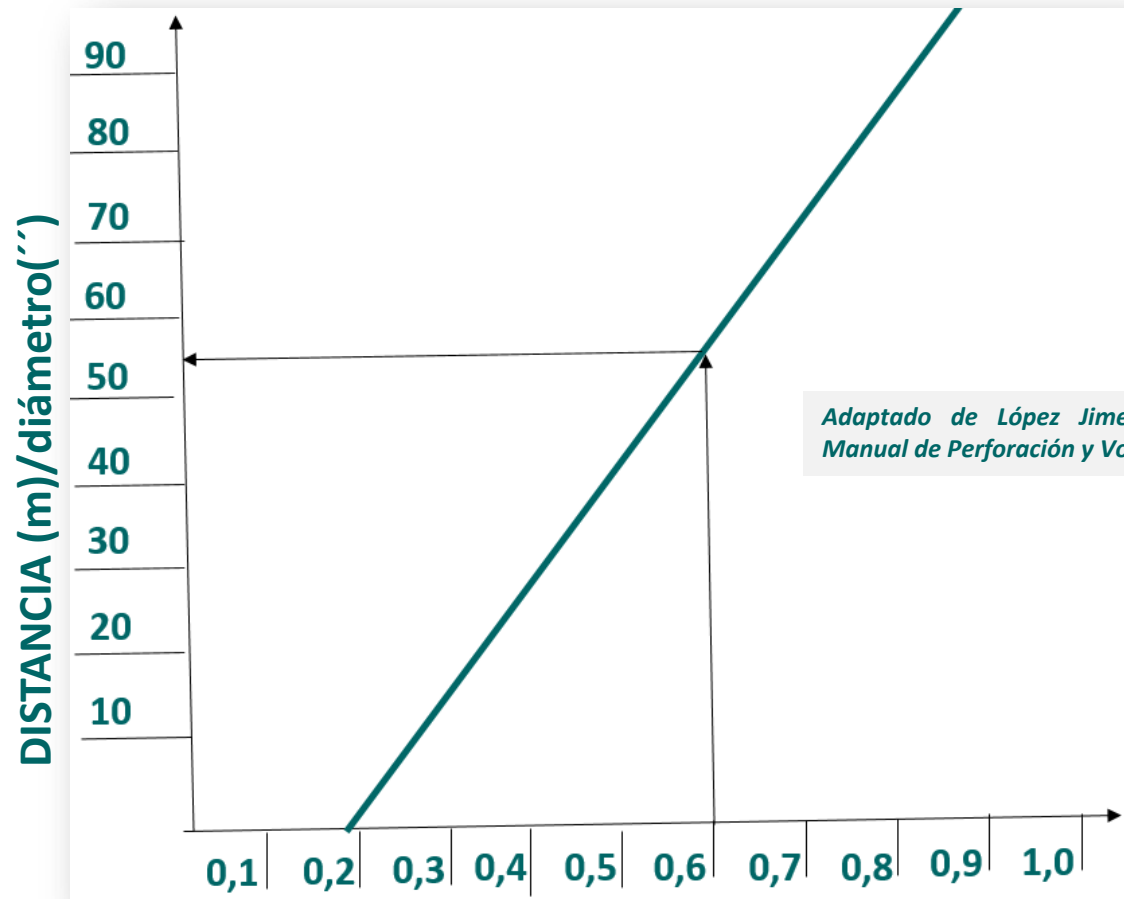
$$L_{max} = 260 \cdot D^{2/3}$$

DIÁMETRO DE FRAGMENTO

$$T_b = \frac{D^{2/3}}{10}$$

PROYECCIONES

El efecto suele ser inferior al experimentado en condiciones de cráter o bocazo (Según la gráfica adjunta, para un consumo específico de $0,6 \text{ kg/m}^3$, el alcance respondería a la expresión $L_{\text{max}} (\text{m}) = 55 \cdot D (")$ aproximadamente).



*Adaptado de López Jimeno et al. 2003.
Manual de Perforación y Voladura de Rocas*

PROYECCIONES

PROTECCIONES

Aunque se tomen medidas destinadas a reducir las proyecciones, puede recurrirse a protecciones: elementos destinados a cubrir las voladuras, con el fin de evitarlas. Puede recurrirse a camas de arena (en voladuras en zanja), trozos viejos de cintas transportadoras solapados, con sacos llenos de tierra, y otros elementos (mallas, telas metálicas, redes de nylon, neumáticos ligados entre sí, etc) . La revisión de los circuitos de las pegas deberá ser anterior a la colocación de dichos elementos.

CARACTERÍSTICAS DE LAS PROTECCIONES

- ❧ Capacidad de cubrir elevadas superficies
- ❧ Económicos/reutilizables
- ❧ Fáciles de manejar
- ❧ Permeables a los gases
- ❧ Fáciles de entrelazar/unir
- ❧ Ligeros y resistentes.

Fuente: López Jimeno et al. 2003. Manual de Perforación y Voladura de Rocas



"Rixö granitbrott 7" by W.carter - Own work. Licensed under CC BY-SA 4.0 via Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rix%C3%B6_granitbrott_7.jpg#/media/File:Rix%C3%B6_granitbrott_7.jpg

VIBRACIONES

La **vibración es el fenómeno de transmisión de energía** por la propagación de un movimiento ondulatorio en un medio, pudiendo recurrir grandes distancias. Está caracterizado por un emisor (generador de vibraciones), y medio de transmisión, y un receptor. En el caso de las voladuras a cielo abierto, la transmisión de dichas vibraciones podrá producirse tanto por el terreno, como por la atmósfera.

Puede distinguirse entre ondas internas y superficiales. Las internas, a su vez, en ondas p (compresivas, ocasionan movimiento en la dirección de propagación, con cambios de volumen, no de forma), s (transversales, originan movimientos de partícula perpendicular al de la onda, con cambios de forma, no de volumen, y velocidad intermedia entre las p y las superficiales).

Las ondas superficiales, Rayleigh (R) y Love (Q), son complejas y no resultan relevantes en el nivel de vibración.

Para definir bien las **vibraciones**, deben distinguirse dos aspectos fundamentales: la propagación o transmisividad en el medio, el movimiento de las partículas del medio debidas a dicha vibración, lo que conlleva la consideración de dos tipos fundamentales de velocidades:

- De la onda (o de propagación por el medio).
- De la partícula (relativa a las oscilaciones de la partícula excitada a consecuencia de la onda).

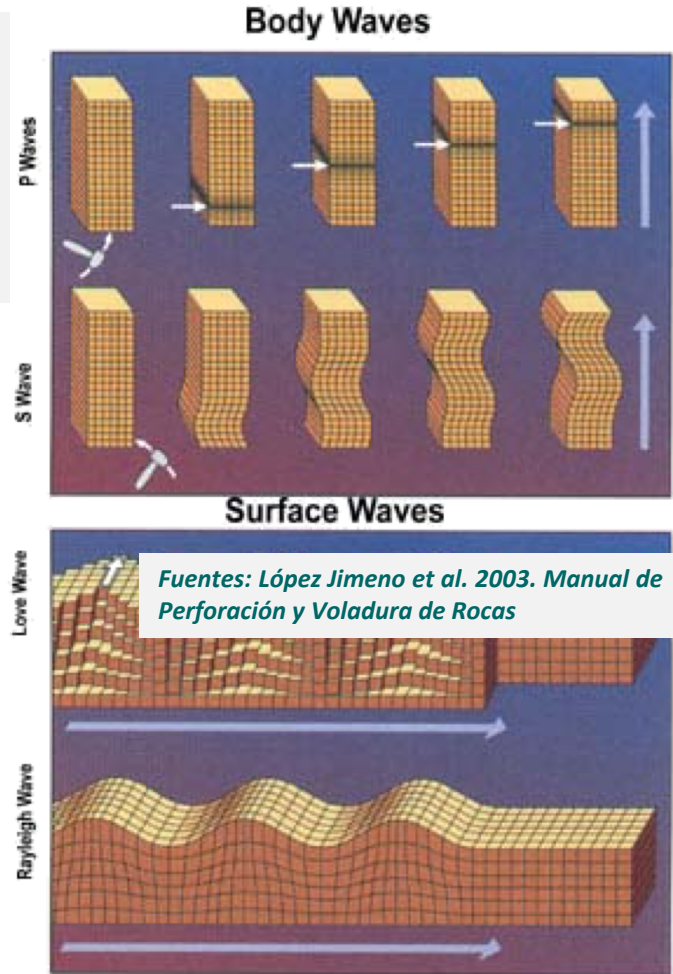


FIGURA:

<http://earthquake.usgs.gov/learn/ql/ossary/?term=P%20wave>

Dominio Público.

2.4. Efectos indeseables de las voladuras: Proyecciones y vibraciones, onda aérea

VIBRACIONES

Las partículas, por tanto, al vibrar oscilan respecto a su posición de equilibrio, conllevando un desplazamiento (amplitud), con velocidad (parámetro más habitual para medir la vibración) y aceleración. Conociendo dichos parámetros, puede evaluarse el nivel de vibración.

La transmisión de la vibración generada por barrenos con espaciados con distancias pequeñas se considerará desarrollada en base a ondas elásticas. En voladuras normales, puede considerarse que un 40% de la energía total se transforma en energía vibratoria.

La amortiguación al aumento de superficie del tren de ondas, asociado a la geometría cilíndrica o esférica. La energía caracterizada por una alta frecuencia se absorbe con mayor celeridad que la de baja frecuencia, por lo que serán estas últimas las determinantes a distancias mayores con respecto al foco de emisión.

Para medir las vibraciones debe determinarse la expresión que liga la velocidad con los parámetros influyentes. La velocidad de vibración en mm/s a la que un punto estará expuesto puede expresarse como una función de la carga Q de explosivo (Kg) y la distancia ($D(m)$) entre los puntos de disparo y medida (la relación será inversamente proporcional a la distancia).

VIBRACIONES

$$V = K \cdot Q^{\alpha} \cdot D^{\beta}$$

K, α y β representan aspectos relativos a la geología del terreno, geometría de capas, diferencias de cota entre puntos de disparo y medición, propagación, energía empleada para la generación de vibraciones, etc. Dada la irregularidad de los terrenos y la variabilidad de la energía, la obtención de dichas expresiones se debe realizar en base a la realización de estudios de vibraciones. Estos ensayos se destinan a hallar sus valores por un ajuste mínimo-cuadrático en base a los valores de V, Q y D. El coeficiente de correlación (r) indica si los puntos (V,Q,D) presentan un adecuado ajuste a una determinada ley o no, variando entre 1 si el ajuste es perfecto, y 0 cuando no existe ajuste alguno.

Suele recurrirse a la representación de la gráfica velocidad de vibración frente a distancia reducida, respondiendo esta última a una expresión del tipo: $D_r = D/Q^{\alpha/\beta}$. Al tomar logaritmos:

$$\log V = \log K - \beta \log(D/Q^{\alpha/\beta})$$

VIBRACIONES

El registro de vibraciones se desarrolla con geófonos, aparatos que transforman las vibraciones del terreno en impulsos eléctricos, e irán conectados al sismógrafo. De las variantes electrodinámica y piezoeléctrica, la segunda es la más interesante para captar las ondas de baja frecuencia, que conllevan las peores consecuencias, y se atenúan más lentamente, por lo que su alcance es mayor. Se requiere que sea robusto y de elevada autonomía, con registro continuo y frecuencia elevada de muestreo (mínimo 1 KHz), con objeto de analizar los valores pico de las ondas y las frecuencias dominantes.

SISMÓGRAFO

GEÓFONO



2.4. Efectos indeseables de las voladuras: Proyecciones y vibraciones, onda aérea

VIBRACIONES

FACTORES INFLUYENTES EN LAS VIBRACIONES

TIPO DE EXPLOSIVO	Los explosivos de alta energía de tensión (E.T., elevado poder rompedor), generan más vibraciones.
RETARDO	La dispersión de los retardos respecto al tiempo nominal (5 al 15%) puede ocasionar acoplamientos de cargas subsecuentes.
DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	La carga es función del cuadrado del diámetro, por lo que su aumento es desfavorable para las vibraciones. El barreno podría fraccionarse y secuenciarse en caso de ser necesario.
RELACIÓN ALTURA BANCO	Un valor próximo a 2 produce buen arranque con confinamiento razonable.
EXCESO DE CONFINAMIENTO	Aumenta el nivel de vibraciones
DESACOPLAMIENTO	En general reduce las vibraciones
TAMAÑO DE LA VOLADURA	Si las secuencias son excesivamente reducidas por el tamaño de la voladura, puede aumentar el nivel de vibración
CONSUMO ESPECÍFICO	El aumento del consumo específico puede aumentar las vibraciones y dar proyecciones, pero una reducción excesiva implica reducir las proyecciones a costa de aumentar las vibraciones (reducción del consumo en un 20% puede triplicar el nivel de vibraciones).
GEOLOGÍA	Las discontinuidades entre la voladura y las estructuras puede reducir las vibraciones. Si ambas se ubican en un mismo estrato, es posible que por el contrario la vibración se intensifique. Es necesario tener un buen conocimiento de la geología local
DIRECCIONAMIENTO DE LA VOLADURA	Orientar el avance de la voladura en sentido contrario a la ubicación de la estructura puede reducir las vibraciones que ésta experimente.
PRECORTES	Las voladuras de precorte pueden contribuir a la reducción de las vibraciones a las estructuras, al implicar la generación de un plano de discontinuidad previo a la(s) voladura(s) principal(es) que reducirán las vibraciones transmitidas más allá de dicha superficie).

VIBRACIONES

CRITERIO DE DAÑOS

UNE 22.381.93

Las estructuras deberán protegerse garantizando las siguientes velocidades (o desplazamientos, en el caso de frecuencias intermedias) máximas, conforme a la naturaleza de dichas estructuras:

-  **Estructura Grupo I:** Estructuras industriales/ligeras/metálicas
-  **Estructura Grupo II:** Viviendas.
-  **Estructura Grupo III:** Monumentos y estructuras a proteger

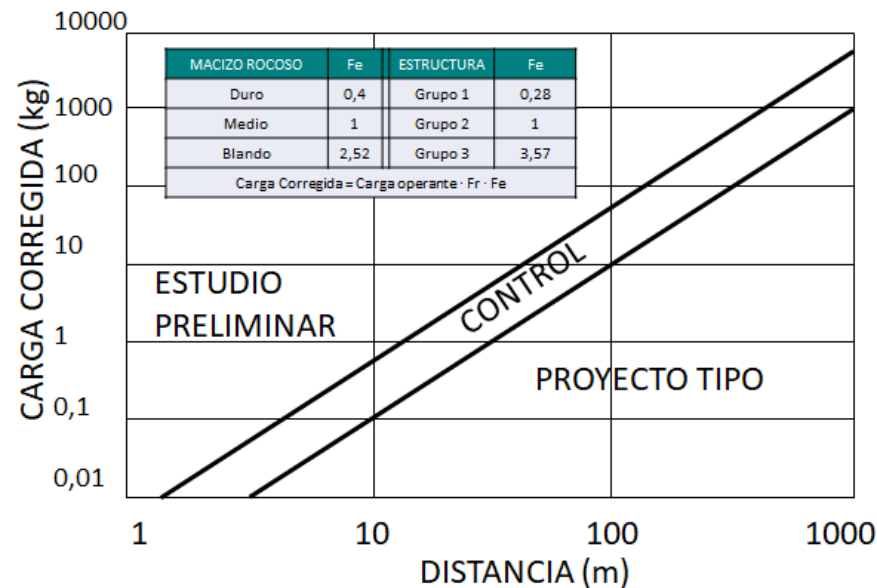
FRECUENCIAS EN Hz			
	2-15	15-75	>75 Hz
	Velocidad (mm/s)	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
GRUPO I	20	0,212	100
GRUPO II	9	0,095	45
GRUPO III	4	0,042	20

$$V(\text{mm/s}) = 2\pi f(\text{Hz}) D(\text{mm})$$

VIBRACIONES

CRITERIO DE DAÑOS

UNE 22.381.93



NOTA: VERSIÓN SIMPLIFICADA DEL ÁBACO. PARA UNA DETERMINACIÓN PRECISA, DEBE ACUDIRSE A LA NORMA UNE 22.381.93.

La norma distingue tres tipos de rocas, en función de la velocidad de transmisión de las ondas p, considerando por tanto comportamientos distintos en cuanto a amplitud y frecuencia en función del tipo de roca. (Blanda, $V_p < 2000$ m/s; media, $2000 < V_p < 4000$ m/s; dura, $V_p > 4000$ m/s).

Proyecto tipo: nivel menor de exigencia justificación teórica, obtenida por aplicación directa de la norma, de que los niveles de vibración no van a alcanzar en ningún caso los límites establecidos.

Control de vibraciones: de grado intermedio de exigencia, medición real en las voladuras iniciales del proyecto, para determinar las vibraciones generadas.

Estudio Preliminar: medida más exigente, para aquellos casos en que se predicen niveles superiores a los definidos por la norma. Consiste en obtener la ley de transmisividad del terreno en que se va a ejecutar el proyecto mediante ensayos reales (disparo de cargas y medida de vibraciones)

VIBRACIONES

CRITERIO DE DAÑOS

UNE 22.381.93

Las estructuras deberán protegerse garantizando las siguientes velocidades (o desplazamientos, en el caso de frecuencias intermedias) máximas, conforme a la naturaleza de dichas estructuras:

-  **Estructura Grupo I:** Estructuras industriales/ligeras/metálicas
-  **Estructura Grupo II:** Viviendas.
-  **Estructura Grupo III:** Monumentos y estructuras a proteger

FRECUENCIAS EN Hz			
	2-15	15-75	>75 Hz
	Velocidad (mm/s)	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
GRUPO I	20	0,212	100
GRUPO II	9	0,095	45
GRUPO III	4	0,042	20

$$V(\text{mm/s}) = 2\pi f(\text{Hz}) D(\text{mm})$$

VIBRACIONES

EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE TABLA CARGA-DISTANCIA

Considerando que el estudio preliminar de vibraciones en la zona en la que se desea dar una voladura ha devuelto una frecuencia dominante de **40 Hz**, con constantes K y β de 6.542 y 1.9, y sabiendo que en el entorno existen edificios de los Grupos I y II, determine la tabla carga distancia.

FRECUENCIAS EN Hz

	2-15	15-75	>75 Hz
	Velocidad (mm/s)	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
GRUPO I	20	0,212	100
GRUPO II	9	0,095	45
GRUPO III	4	0,042	20

La estructura más restrictiva de las existentes será del Grupo II, por lo que se emplea su desplazamiento máximo admisible para determinar la velocidad máxima:

$$V = 2\pi f d = 2\pi \cdot 2,14 \cdot 40 \cdot 0,095 = 23,88 \text{ m/s}$$

UNE 22.381.93

$$23,88 \frac{m}{s} = 6.542 \cdot \left(\frac{D}{Q^{0.5}} \right)^{-1.9}$$

Sustituyendo con diversos valores de la distancia, se obtiene para cada una de ellos la carga operante admisible.

D(m)	Q (kg de explosivo máximo por microrretardo)
10	0,272
30	2,445
50	6,791
70	13,311
90	22,004
110	32,871
130	45,910
150	61,123

ONDA AÉREA

La onda de choque generada en una detonación produce una onda de presión en el aire, fluctuante con una determinada frecuencia, generando ruido. En consecuencia, éste podrá determinarse si se calcula la sobrepresión que lo genera. Los principales parámetros a considerar son la amplitud (incremento o disminución de la presión del aire, pudiendo expresarse en unidades de presión, siendo común recurrir a los dB lineales), frecuencia (Hz, número de vibraciones por segundo, y duración (s), influyendo en la energía total absorbida por la estructura.

CAUSAS

- ❖ La vibración, fragmentación y desplazamiento de la roca en la cara libre (predominante si la voladura está diseñada de forma adecuada).
- ❖ La vibración del piso.
- ❖ El escape de gases por las fisuras de las rocas.
- ❖ Escape a través del taco.
- ❖ Posible detonación del explosivo al aire.



Fuentes: López Jimeno et al. 2003. Manual de Perforación y Voladura de Rocas Causas de la onda aérea. Adaptado de: Fernández Miguel, I. "Vibraciones y Onda Aérea". "Diseño, Ejecución y Control del Voladuras". 18-22 de julio de 2011. Cursos de Verano de la Universidad de Cantabria.

2.4. Efectos indeseables de las voladuras: Proyecciones y vibraciones, onda aérea

ONDA AÉREA

FACTORES INFLUYENTES

-  **Tipo y cantidad de explosivo.**
-  **Método de iniciación.**
-  **Geología y topografía.**
-  **Distancia y condiciones de la estructura.**
-  **Condiciones atmosféricas.**

EFFECTOS

Los efectos de la onda aérea son mayores cuando coinciden las frecuencias de la estructura y la onda de presión, por lo que lo que las voladuras que generen ondas de baja frecuencia (como por ejemplo los taqueos), suelen ocasionar quejas. Los efectos de la onda aérea pueden ser aparatosos en cristales, enlucidos, fachadas... Si bien la respuesta humana suele ser más restrictiva que las consecuencias que puedan ocasionar sobre las estructuras.

ALTA FRECUENCIA

$$P(\text{Pa}) = 179191 \times \left(\frac{D(\text{m})}{Q_m(\text{kg})^{1/3}} \right)^{-2,2}$$

 **Referida a la carga por microrretardo (Q_m)**

BAJA FRECUENCIA

$$P(\text{Pa}) = 1778,5 \times \left(\frac{D(\text{m})}{Q_t(\text{kg})^{1/3}} \right)^{-1,27}$$

 **Referida a la carga total (Q_t)**

ONDA AÉREA

EFFECTOS

AFECCIÓN A LAS PERSONAS (US Bureau of Mines)

MEDIDA	AMPLITUD LINEAL PICO
Umbral permisible	136 dB
Nivel de precaución	136-128 dB
Nivel seguro	128 dB

AFECCIÓN A ESTRUCTURAS (CRISTALES)

$$\text{dB} = 1^{-0,035} e^{0,1} \cdot 175 \cdot R^{-0,07}$$

-  **dB = Amplitud para la rotura en dB pico.**
-  **l = Dimensión mayor del cristal (cm).**
-  **e = Espesor del cristal (mm).**
-  **R: Parámetro definido en base a la ocurrencia de la rotura (1 para un 50% de riesgo de rotura, 3,5 para un 1% de riesgo de rotura, 7,3 para un 0,1% de riesgo de rotura).**

 **144 dB ocasionarían una ocurrencia de un 0,1% de rotura.**

ONDA AÉREA

MEDIDAS PARA REDUCIR LA ONDA AÉREA

Reducir el diámetro de perforación.

Acortar la longitud del barreno si es posible.

Secuenciar la carga dentro de cada barreno.

Utilizar el mayor número de tiempos posibles.

Secuenciar con los primeros tiempos los barrenos más próximos a las estructuras, e irse alejando de ellas con los tiempos más altos.

Adecuar el consumo específico.

Emplear relaciones $H/B > 2$.

Hacer una perforación de calidad.

Dimensionar adecuadamente la sobreperforación.

Disponer frentes con la mayor superficie libre posible.

Cuando sea posible, disponer pantallas entre las voladuras y las estructuras a proteger.

Revisar la carga de barrenos, máxime en el caso de cuevas o coqueras que puedan ocasionar concentraciones peligrosas de carga.

Secuenciar de tal manera que se evite el refuerzo o la superposición de ondas.

Minimizar el empleo de cordón detonante, o cubrirlos si fuese necesario.

LEGISLACIÓN ESPAÑOLA EN MATERIA DE EXPLOSIVOS

-  **Real Decreto 130/2017, de 24 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de Explosivos (BOE 04/03/2017).**
-  **Directiva 2014/28/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de comercialización y control de explosivos con fines civiles.**
-  **Directiva 2008/43/CE de la Comisión, de 4 de abril de 2008, por la que se establece, con arreglo a la Directiva 93/15/CEE del Consejo, un sistema de identificación y trazabilidad de explosivos con fines civiles (modificada por la Directiva 2012/4/UE de la Comisión, de 22 de febrero de 2012).**
-  **Orden PRE/2476/2015, de 20 de noviembre, por la que se actualiza la Instrucción Técnica Complementaria número 10, «Prevención de accidentes graves», del Reglamento de explosivos, aprobado por Real Decreto 230/1998, de 16 de febrero.**
-  **Resolución de 27 de octubre de 2015, conjunta de la Dirección General de la Guardia Civil y de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se modifican los anexos I, II y III de la Orden PRE/2426/2004, de 21 de julio, por la que se determina el contenido, formato y llevanza de los Libros-registro de movimientos y consumo de explosivos.**

LEGISLACIÓN ESPAÑOLA EN MATERIA DE EXPLOSIVOS

-  **Real Decreto 2492/1983, de 29 de junio, por el que se regula la intervención administrativa del Estado sobre el "nitrato amónico de grado explosivo" (modificado por el Real Decreto 261/1985, de 23 de octubre, por el Real Decreto 1427/2002, de 27 de diciembre y por la Orden PRE/988/2004, de 15 de abril). Texto Consolidado.**
-  **Resolución de 4 de julio de 2003 (BOE 29-07-2003), de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se aprueba el Criterio Técnico para establecer las condiciones técnicas mínimas que deben cumplir los polvorines de los depósitos transportables de consumo de explosivos, definidos en el artículo 191 del Reglamento de Explosivos.**
-  **Resolución de 24 de agosto de 2005 (BOE 13-09-2005), de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se aprueba el Criterio Técnico para establecer las condiciones técnicas mínimas que deben cumplir los polvorines auxiliares de distribución, definidos en el artículo 190 del Reglamento de Explosivos.**

LEGISLACIÓN ESPAÑOLA EN MATERIA DE EXPLOSIVOS

LEGISLACIÓN RELATIVA A SEGURIDAD EN EL MANEJO DE EXPLOSIVOS

 **Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. En particular, Capítulo X, e ITCs correspondientes al mismo.**

nº	Título	Aprobada por	Estado
ITC 10.2.01	EXPLOSIVOS. Utilización.	Orden de 20 de marzo de 1986 (BOE nº 87 de 11 de abril de 1986)	Vigente
ITC 10.2.02	EXPLOSIVOS. Disparo con explosivo a horarios no preestablecidos en minas subterráneas de carbón y labores con riesgo de explosión.	Orden de 20 de marzo de 1986 (BOE nº 87 de 11 de abril de 1986)	Vigente
ITC 10.3.01	EXPLOSIVOS. Voladuras especiales.	Orden de 20 de marzo de 1986 (BOE nº 87 de 11 de abril de 1986)	Vigente
ITC 10.3.04	EXPLOSIVOS. Disposiciones especiales para trabajos con gases o polvos inflamables o explosivos	Orden de 20 de marzo de 1986 (BOE nº 87 de 11 de abril de 1986)	Vigente

LEGISLACIÓN ESPAÑOLA EN MATERIA DE EXPLOSIVOS

REGLAMENTO GENERAL DE NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD MINERA

CAPÍTULO X. EXPLOSIVOS

Artículo 127: Las empresas consumidoras habituales de explosivos contarán de disposiciones internas de seguridad, que regulen de forma concreta los detalles de aplicación del presente reglamento.

Artículo 128: Se prohíbe el empleo de explosivos, detonadores y artificios de toda clase, necesarios para provocar la explosión, que no hayan sido homologados. En dicha homologación constará el ámbito de su uso.

Artículo 129: El transporte de explosivos que se realice dentro del recinto de la empresa se regulará de acuerdo con las disposiciones internas de seguridad.

Artículo 130: Los vehículos que transporten explosivos no podrán cargar simultáneamente detonadores, cebos u otros artificios, ni tampoco simultanear otro tipo de carga.

Se podrá autorizar el transporte conjunto de artificios y explosivos, en las condiciones y con las limitaciones que se establezcan.

Artículo 131: El transporte de los explosivos dentro de las explotaciones se hará por personas debidamente autorizadas.

 LEGISLACIÓN ESPAÑOLA EN MATERIA DE EXPLOSIVOS**REGLAMENTO GENERAL DE NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD MINERA****CAPÍTULO X. EXPLOSIVOS****10.1 Almacenamiento**

Artículo 132: Se entenderá por **depósito de explosivos** el lugar destinado al almacenamiento de las materias explosivas y sus accesorios, con todos los elementos muebles e inmuebles que lo constituyan.

En cada deposito podrá haber uno o varios polvorines. El polvorín será un local de almacenamiento sin compartimento ni divisiones, cuyas únicas aberturas al exterior sean la puerta de entrada y los conductos de ventilación. Su construcción se realiza según la reglamentación vigente y la instrucción técnica complementaria correspondiente y de acuerdo con un proyecto aprobado.

Los detonadores se almacenaran en nichos diferentes a los que contengan explosivos industriales y no se podrá sobrepasar la cantidad de diez detonadores por cada kilo de explosivo almacenado, sin autorización expresa.

Artículo 133: Dentro del recinto de un deposito queda terminantemente prohibido fumar, portar elementos productores de llama desnuda, altas temperaturas y sustancias que puedan inflamarse, lo que se recordara con carteles bien visibles.

LEGISLACIÓN ESPAÑOLA EN MATERIA DE EXPLOSIVOS

REGLAMENTO GENERAL DE NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD MINERA

CAPÍTULO X. EXPLOSIVOS

Artículo 134: Los depósitos subterráneos que comuniquen con labores mineras se instalaran en lugares aislados que no sirvan de paso para otra actividad distinta al abastecimiento de materias explosivas y estarán ubicados de forma que en caso de explosión o incendio los humos no sean arrastrados a las labores por la corriente de ventilación.

Artículo 135: El movimiento de explosivos en los depósitos habrá de ser realizado por personas autorizadas y especialmente instruidas por las empresas. La persona responsable del movimiento de explosivos en los depósitos no podrá entregarlos en ningún caso más que mediante recibo y a las personas autorizadas. Es preceptivo el uso de un libro-registro que se llevara al día, con entradas, salidas y existencias.

Artículo 136: Las sustancias explosivas que hayan de almacenarse en las proximidades de los frentes o tajos de las explotaciones subterráneas se almacenaran hasta el momento de su empleo en cofres o arcas que servirán también para almacenar los sobrantes o el explosivo destinado a la pega cuando no haya podido efectuarse la carga de la misma.

LEGISLACIÓN ESPAÑOLA EN MATERIA DE EXPLOSIVOS

REGLAMENTO GENERAL DE NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD MINERA

CAPÍTULO X. EXPLOSIVOS

10.2 Utilización

Artículo 137: Solo estarán capacitados para el manejo y uso de explosivos las personas especialmente dirigidas por la dirección facultativa, las cuales deberán superar un examen de aptitud ante la autoridad competente.

Artículo 138: No podrá realizarse simultáneamente la carga de barrenos y la perforación, salvo autorización expresa.

Artículo 139: Si en el transcurso de la perforación de un barreno se detectan cavidades, fisuras o grietas, quedara terminantemente prohibida la carga a granel del mismo, salvo que se adopten las medidas necesarias que eviten la acumulación de explosivos fuera del barreno.

Artículo 140: Queda prohibido:

Cortar cartuchos, salvo que, a propuesta razonada de la dirección facultativa de los trabajos, se autorice para usos limitados y concretamente definidos. Una disposición interna de seguridad fijará estas condiciones.

Introducir los cartuchos con violencia o aplastarlos fuertemente con el atacador.

Deshacer los cartuchos o quitarles su envoltura, excepto cuando esto sea preciso para la colocación del detonador, o si utilizasen maquinas, previamente autorizadas, que destruyan dicha envoltura.

LEGISLACIÓN ESPAÑOLA EN MATERIA DE EXPLOSIVOS

REGLAMENTO GENERAL DE NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD MINERA

CAPÍTULO X. EXPLOSIVOS

Artículo 146: En trabajos subterráneos, cuando se utilice pega eléctrica y exista otra conducción de energía que por su proximidad pueda afectar a la línea de fuego, una instrucción técnica complementaria regulará las condiciones de instalación y disparo.

Artículo 147: Los detonadores eléctricos se conectarán en serie; otros tipos de conexión tendrán que estar previamente autorizados.

Artículo 148: Se denominan barrenos fallidos aquellos que conserven en su interior, después de la voladura, restos de explosivo.

Los barrenos fallidos serán debidamente señalizados, siendo obligatorio para el responsable de la labor el ponerlo en conocimiento de su jefe inmediato.

Solo en casos especiales podrán descebarse o descargarse barrenos fallidos.

Las instrucciones técnicas complementarias que completen este reglamento detallarán las operaciones de eliminación de los barrenos fallidos.

Artículo 149: Se prohíbe terminantemente recargar fondos de barreno, reprofundizar los barrenos fallidos y utilizar fondos de barrenos para continuar la perforación.

LEGISLACIÓN ESPAÑOLA EN MATERIA DE EXPLOSIVOS

REGLAMENTO GENERAL DE NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD MINERA

CAPÍTULO X. EXPLOSIVOS

10.3 Voladuras especiales.

Artículo 150: Quedan incluidas en este capítulo las grandes voladuras, las que se realicen bajo presión de agua, las que tengan por finalidad la excavación de un terreno rocoso sin previa operación de desmonte o descubierta, la demolición de edificios u otras construcciones que requieran estudios detallados, y las próximas a núcleos habitados o a otras construcciones de servicio publico cualquiera que sea la cantidad de explosivo a manejar.

Artículo 151: Las voladuras especiales, además de cumplir las condiciones de carácter general para toda clase de trabajos en que se utilice explosivos, deberán contar con autorización, previa aprobación de un proyecto. Podrán aceptarse proyectos tipo en las condiciones indicadas en este reglamento básico.

10.4 Disposiciones especiales para trabajos con gases o polvos inflamables o explosivos.

Artículo 152: Queda prohibido terminantemente el empleo de mechas para la pega de barrenos.

Artículo 153: No se cargara ningún barreno hasta que se haya reconocido cuidadosamente la labor, comprobando que el contenido en grisú esta dentro de los limites permitidos.

LEGISLACIÓN ESPAÑOLA EN MATERIA DE EXPLOSIVOS

REGLAMENTO GENERAL DE NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD MINERA

CAPÍTULO X. EXPLOSIVOS

Artículo 154: No podrán emplearse explosivos y artificios que no hayan sido previamente homologados y clasificados para estas labores.

Artículo 155: No se permitirá depositar en un mismo cofre o arca explosivos de diferente tipo.

Artículo 156: Se clasificarán los cuarteles, minas y trabajos en los que sea posible la existencia de gases, polvos u otras sustancias explosivas o inflamables, teniendo en cuenta su peligrosidad en relación con el uso de explosivos.

Artículo 157: Las instrucciones técnicas complementarias correspondientes detallarán las diferentes modalidades de disparo, así como las condiciones de utilización de los diferentes tipos de explosivos y artificios, en función de la clasificación de las labores.