



Centro de
Especializaciones
Noeder

Diploma de Especialización Internacional

SUPERVISOR DE TRABAJOS DE ALTO RIESGO

CICLO REGULAR

MÓDULO
VII



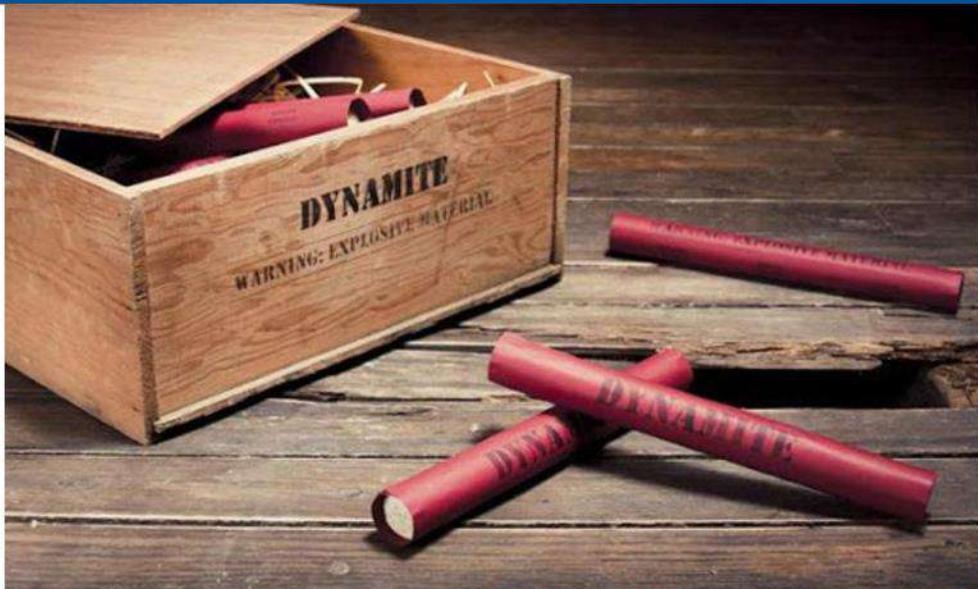
Mg. Ing. Jorge Arzapalo Barrera

TRABAJOS CON
EXPLOSIVOS

CLASE 01



TRABAJOS CON EXPLOSIVOS



ING. JORGE LUIS ARZAPALO B.



TABAJOS CON EXPLOSIVOS

-  *La voladura de rocas se considera un trabajo de alto riesgo. El índice de frecuencia en relación con otros tipos de accidentes es menor.*
-  *Su índice de gravedad es mucho mayor, generalmente con consecuencias muy graves que afectan al trabajador causante de la falla, también afecta a las demás personas, equipos e instalaciones que le rodean.*
-  *El mayor porcentaje de los accidentes con explosivos es por falla humana.*
-  *El 90% de los accidentes, es por exceso de confianza, inexperiencia o negligencia.*
-  *Los accidentes por manipulación, y voladura de explosivos, son causados por factores humanos, los cuales deben ser tomados en cuenta por todos los involucrados, especialmente por los supervisores responsables de la voladura.*





DEFINICIONES

EXPLOSIVOS

- Productos químico que bajo la acción de un fulminante u otro estímulo externo reaccionan instantáneamente
- Gran violencia,
- Fuerte efecto de impacto (onda de choque de alta velocidad y presión)
- Gran volumen de gases, que se expanden con gran energía.
- El impacto tritura la roca y los gases desplazan los fragmentos





DEFINICIONES

ACCESORIOS DE VOLADURA

Todo material utilizado para iniciar los explosivos o el proceso de voladura.



SUCAMEC

Dirección general de control de servicios de seguridad, control de armas, munición y explosivos de uso civil.



SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE CONTROL DE SERVICIOS DE
SEGURIDAD, ARMAS, MUNICIONES Y EXPLOSIVOS DE USO CIVIL



DEFINICIONES

MANEJO DE EXPLOSIVOS

Incluye las actividades de transporte, manipuleo, uso y almacenamiento de explosivos y sus accesorios.



POLVORINES AUXILIARES

Los utilizados para almacenar explosivos o accesorios para un lapso no mayor a 24 horas de trabajo.



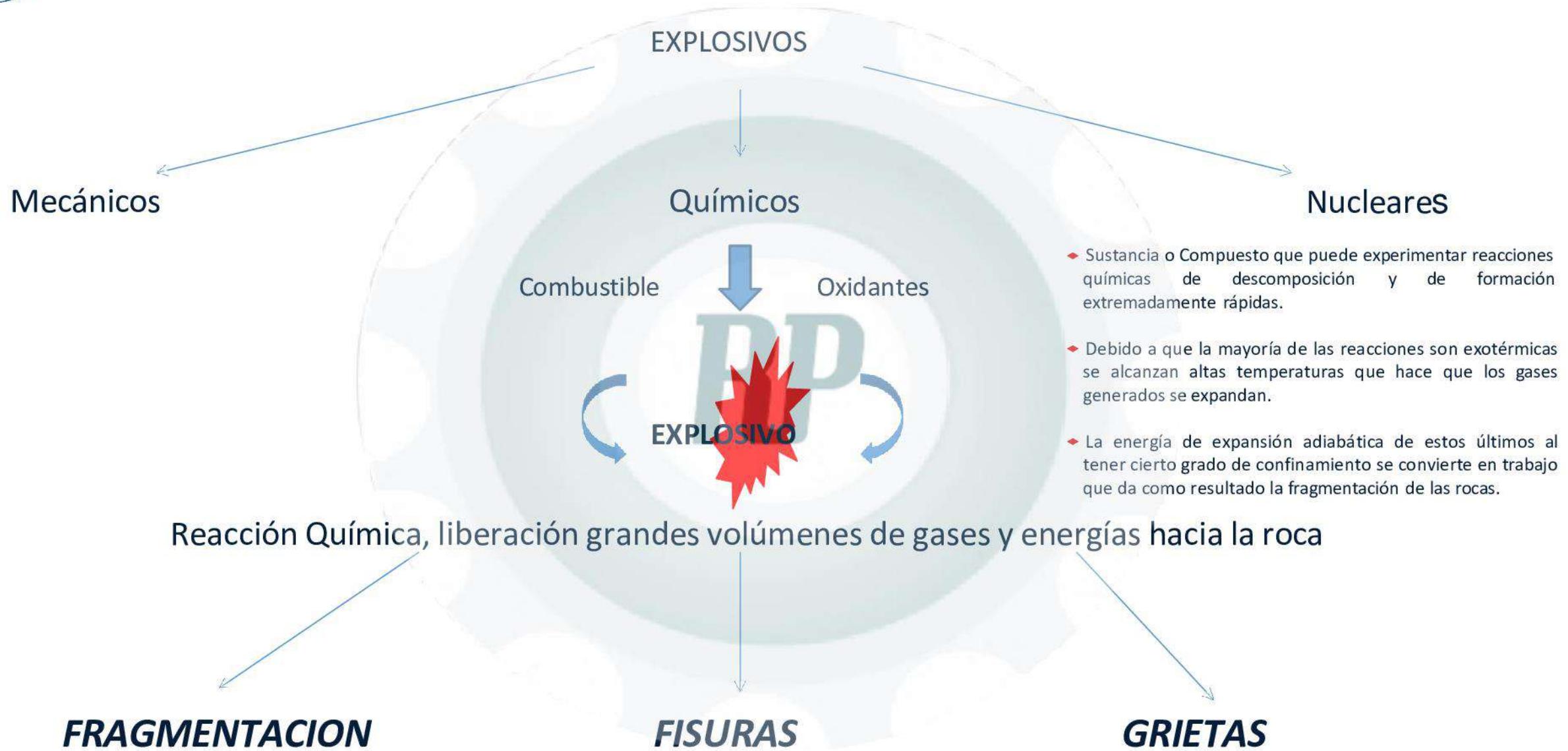
POLVORINES PRINCIPALES

Construcción fija usada para almacenar explosivos o accesorios de voladura. Estos cuentan con autorización de SUCAMEC para almacenar explosivos o accesorios en cantidades mayores a 24 horas de consumo





TRABAJO CON EXPLOSIVOS





TRABAJO CON EXPLOSIVOS

EXPLOSIVOS

Sustancia química o mezcla de compuestos que al ser iniciada por fricción calor o choque libera o desprende grandes cantidades de calor rompiendo o desbaratando el medio que lo rodea



Son materias u objetos que, debido a una reacción química desprenden gases a una temperatura o velocidad que puedan producir daños; o materias que pueden producir reacciones exotérmicas.

CLASIFICACIÓN:

- División 1.1 Explosivos con riesgo de explosión masiva.
- División 1.2 Explosivos con riesgo de proyección.
- División 1.3 Explosivos con riesgo predominante de incendio.
- División 1.4 Explosivos sin riesgo significativo de explosión.
- División 1.5 Explosivos muy insensibles; agentes explosivos.
- División 1.6 Explosivos extremadamente insensibles; artículos detonantes.



TRABAJO CON EXPLOSIVOS

GENERALIDADES

ESQUEMA DE REACCION DE UN EXPLOSIVO





EXPLOSIVOS INDUSTRIALES

1. Tipo de Reacción

Explosivos Nucleares

Los nucleares están vinculados a la desintegración de materiales como uranio 235 y plutonio.

Explosivos químicos

Actúan por procesos de reacción química de detonación producidos por efecto de una onda de choque.

2. Velocidad de detonación

Explosivos Rápidos

Explosivos rápidos o altos explosivos: VOD 2.500 a 7.000 m/s.

Deflagrantes

Explosivos lentos o deflagrantes: VOD menor de 2.000 m/s

3. Tipo de Aplicación

Primarios

Primarios: por su alta energía y sensibilidad, se emplean como iniciadores para detonar a los secundarios. Ej: Pentritita, azida de plomo, fulminatos.

Secundarios (Rompedores)

Secundarios: efectúan el arranque y rotura de las rocas, son menos sensibles que los primarios pero desarrollan mayor trabajo útil

4. Tipo de uso

Industrial

Ampliamente utilizado en la industria minera y civil

Militar

Menos sensibles al maltrato, más caros y más estables ya que su vida útil (*shelf life*) pasa de 20 años, pero por su bajo volumen de gases no tienen aplicación práctica en voladura de rocas en minería.

5. Nivel de sensibilidad

Agentes de voladura

No sensibles al fulminante
Nº8:
- Hidrogeles
- Emulsiones
- Anfos Pesados
- Anfos

Altos explosivos

Sensibles al Fulminante
Nº8:
- Dinamitas
- Explosivos de seguridad para la Minería del carbón.
- Booster.



EXPLOSIVOS QUÍMICOS INDUSTRIALES

SEGÚN SU VELOCIDAD DE DETONACIÓN

Explosivos detonantes

Con Velocidades entre 2000 y 7000 m/s y a la vez altas presiones de detonación tanto para primarios y secundarios.

Altos explosivos: Utilizados como Iniciadores para la detonación de explosivos secundarios

Agentes de voladuras : Utilizados en el arranque de la roca (explosivos convencionales)

deflagrantes

Con Velocidad de detonación por debajo los 2000 m/s .

- Pólvora
- Compuesto pirotécnicos
- Compuestos propulsores artillería y cohetería.



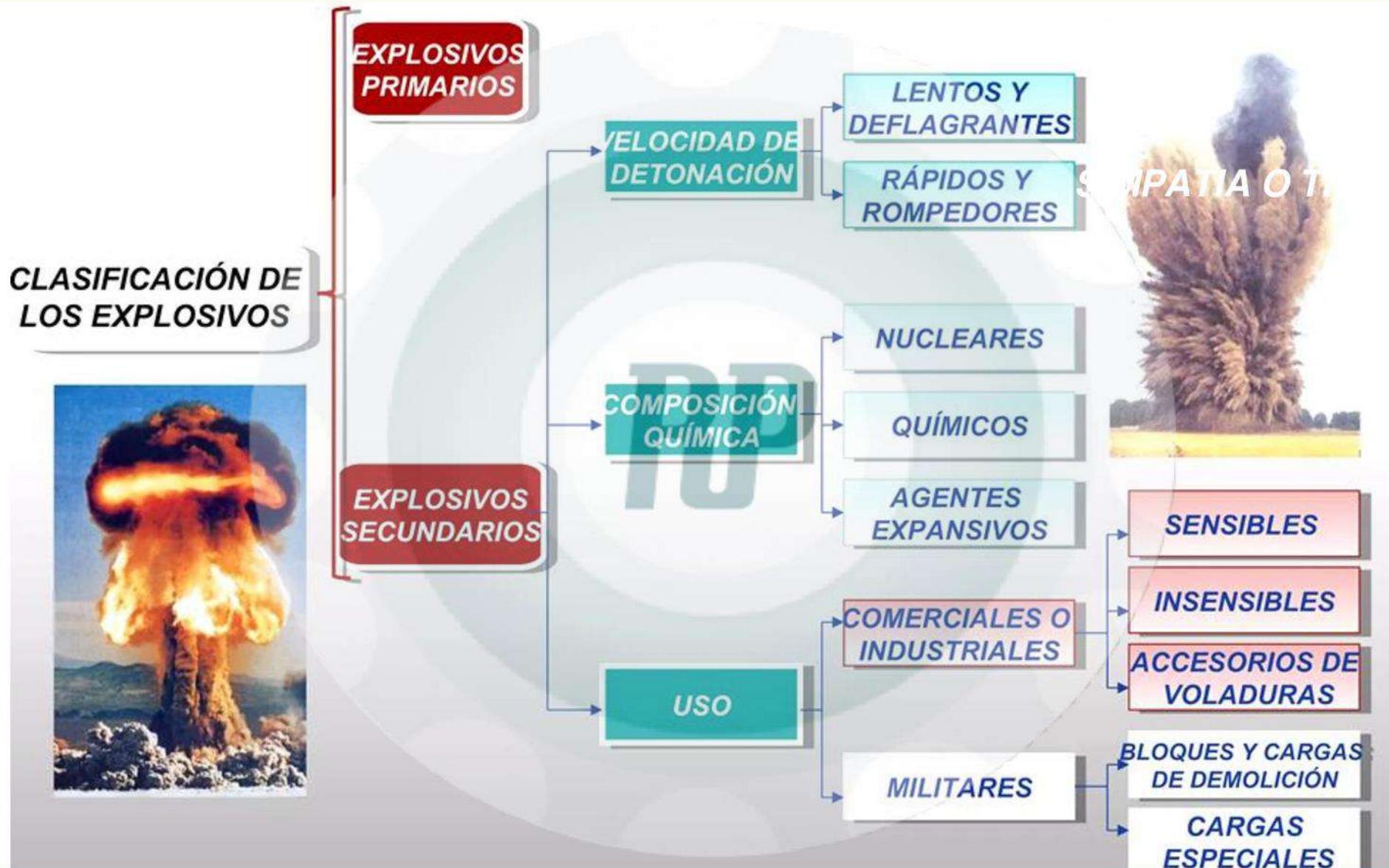


TIPOS DE EXPLOSIVOS





CLASIFICACIÓN DE EXPLOSIVOS





PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

- 
- ★ *Densidad*
 - ★ *Resistencia al Agua (H₂O)*
 - ★ *Generación de gases*
 - ★ *Sensibilidad*
 - ★ *Balance de Oxígeno*
 - ★ *Estabilidad Química*
 - ★ *Impedancia*
 - ★ *Velocidad de detonación*
 - ★ *Presión de detonación*



PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

★ **VELOCIDAD DE DETONACIÓN**

★ **PRESIÓN DE DETONACIÓN**

★ **POTENCIA (ENERGÍA)**

★ **DENSIDAD**

★ **VOLUMEN DE GASES**

★ **OTRAS (Resistencia al agua, sensibilidad, calor de explosión)**





PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

DENSIDAD → Peso del explosivo /unidad de volumen

- Controla la concentración de energía, a mayor densidad mayor efecto rompedor.

RESISTENCIA AL H₂O → Capacidad para resistir una prolongada exposición al agua sin perder sus características .

- Los hidrogeles y las Emulsiones tiene una excelente Resistencia al Agua, no así el Anfo que su resistencia es Nula.

GENERACIÓN DE GASES → Se expresa como volumen de gas por unidad de masa de explosivo (Lts /kgs, moles/gr.).

- Los gases primarios de un explosivo con oxígeno balanceado deberían ser : H₂O, NO₂, N₂, y eventualmente sólidos y líquidos.



PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

SENSIBILIDAD



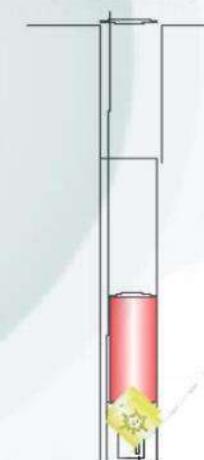
Representa una medida de la facilidad para la iniciación del explosivo. Da cuenta de las condiciones mínimas requeridas para la detonación.

- Si la sensibilidad es baja, la detonación en el pozo podría ser interrumpida si existiera un corte o algún obstáculo dentro de la columna explosiva.
- Un explosivo con mucha sensibilidad podría causar la propagación de la detonación entre perforaciones adyacentes.

• Sensibilidad al detonador



Sensible al
detonador

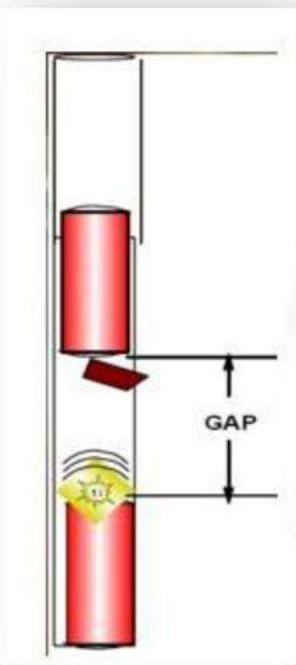


Sensible a un
iniciador

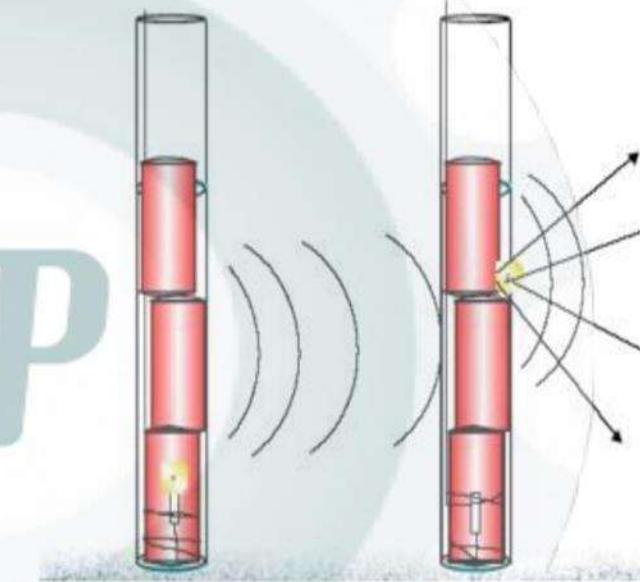


PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

→★ Sensibilidad en Dinamitas y Emulsión



La dinamita se propaga con un Gap o distancia entre ellas, para la Emulsion no



La dinamita tiene una detonación por simpatía

→★ Sensibilidad al choque y rozamiento

→★ Sensibilidad al calor



PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

BALANCE DE OXIGENO



Un explosivo es considerado que tiene *balance de oxígeno cero* cuando contiene el oxígeno justo para oxidar completamente el combustible presente.

→ **Balance
 O_2 - gases**

- $BO=0$ Energía máx.. (humo gris claro)
- $BO<0$ Exceso combustible (humo gris oscuro)
- $BO>0$ Exceso oxígeno (humo rojizo o amarillo)

- $BO=0$ Generación CO_2
- $BO<0$ CO , gas incoloro e inodoro. L. P. 40 ppm
- $BO>0$ NO_2 , gas picante y algo dulce. L.P. 2,4 ppm





PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

ESTABILIDAD QUÍMICA →

Intervalo de tiempo que un explosivo puede permanecer en la perforación sin un cambio en su composición química o en sus propiedades físicas.

- Los cuales pueden experimentar un debilitamiento en la estructura gelatinosa resultando en una pérdida del aire atrapado (microburbujas), segregación y cristalización de los nitratos disueltos.
- Las emulsiones y ANFOS pesados algunas veces experimentan cristalización en la fase emulsión resultando un endurecimiento del producto y menor energía.

IMPEDANCIA →

Es la propiedad que sirve para medir la transmisión de la energía del explosivo a la roca.

La transferencia de la energía del explosivo a la roca se maximiza si la razón (R) entre la impedancia del explosivo y la impedancia de la roca se acerca a 1.

$$I_e \text{ (impedancia del explosivo)} = VOD \times D_{exp};$$

$$I_r \text{ (impedancia de la roca)} = V_p \times D_{roca}$$

Donde, VOD : Velocidad de detonación del explosivo.

D_{exp} : Densidad del explosivo.

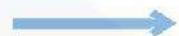
V_p : Velocidad de onda p.

D_{roca} : Densidad de la roca.



PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

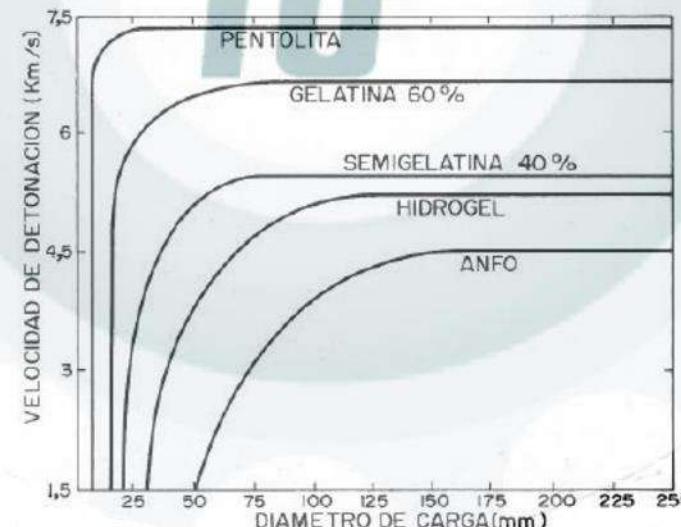
VELOCIDAD DE DETONACION



Es la velocidad a la que la reacción de detonación se extiende a través de la columna explosiva.

- ★ Esta influenciada por la densidad del explosivo, diámetro de carga, Grado de confinamiento, envejecimiento del explosivo
- ★ Se define como el ritmo de liberación de energía

Existen métodos para medir este parámetro y utilizamos equipos para aquello





PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

La detonación de una columna continua de explosivo provocará la transformación del explosivo en un gran **volumen de gases** a elevada **temperatura y presión**. La velocidad a la que se produce esta transformación se denomina velocidad de detonación, la cual propaga la onda de la detonación a través del explosivo y define el ritmo de **liberación de energía**. Su unidad de medición normalmente es en metros por segundos (m/s).

Para la elección de un explosivo la VoD es una característica relevante a considerar. Para el caso de rocas blandas o donde no se requiera una fragmentación muy intensa se optara por explosivos que detonen lentamente, dando lugar a que su energía se desarrolle en forma progresiva. Caso contrario cuando las exigencias de fragmentación sean mayores o se trate de rocas competentes se deben escoger explosivos dotados de elevadas VoD

★ Factores que afectan la VoD

Diámetro de Perforación

Grado de Confinamiento





PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

PRESIÓN DE DETONACION



Es la presión en el frente de detonación. La presión repentina creada, fragmentará en lugar de desplazar materiales y es aquella que da a un explosivo el poder fragmentador (refleja la energía de choque).

- ★ La magnitud de la presión de detonación está en función de la densidad y de la velocidad de detonación del explosivo.

$$Pd = 0.25 * d * VOD^2$$

donde:

Pd: Presión de detonación en Pa.

VOD : Velocidad de detonación en Mt./Seg.

d : Densidad del explosivo en Kg./m³

Presión del Pozo, es la ejercida sobre las paredes de la perforación por los gases de la detonación, esta es expresada como un porcentaje de la presión de detonación, la que puede variar entre un 30 % a un 70 %



PROPIEDADES EXPLOSIVOS

SENSIBILIDAD:

Capacidad para reaccionar con el fulminante o detonador

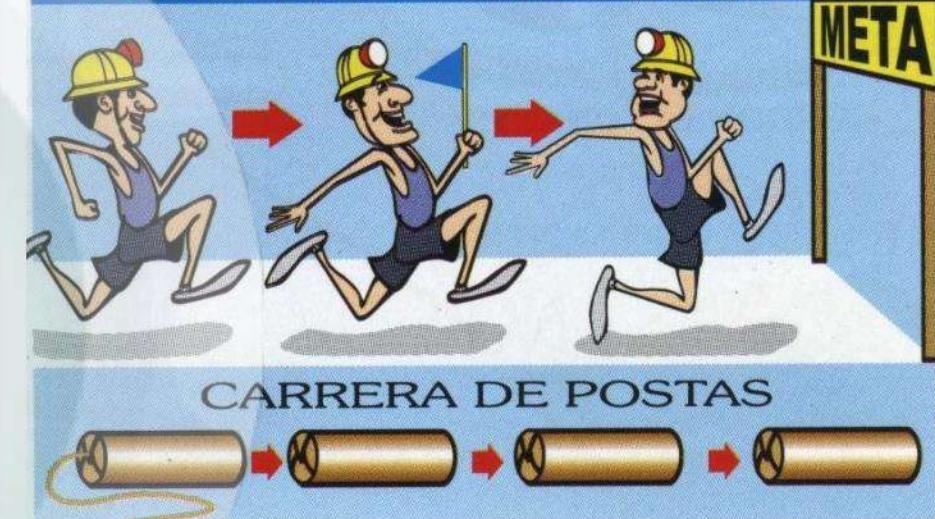
SENSIBILIDAD



SIMPATÍA:

Capacidad para transmitir la onda de detonación a lo largo de toda su masa y a otros explosivos.

SIMPATIA O TRANSMISIÓN





TRABAJO CON EXPLOSIVOS

CLASIFICACION

PRIMARIOS O INICIADORES:

Muy sensibles y violentos, utilizan muy pequeñas cantidades como cargas en los fulminantes o detonadores





TRABAJO CON EXPLOSIVOS

CLASIFICACION

SECUNDARIOS O ROMPEDORES:

Menos sensibles, con fuerte efecto de impacto y generación de gases, alta simpatía. Se emplean en mayor volumen como carga para triturar la roca. Se inician con los primarios





TRABAJO CON EXPLOSIVOS

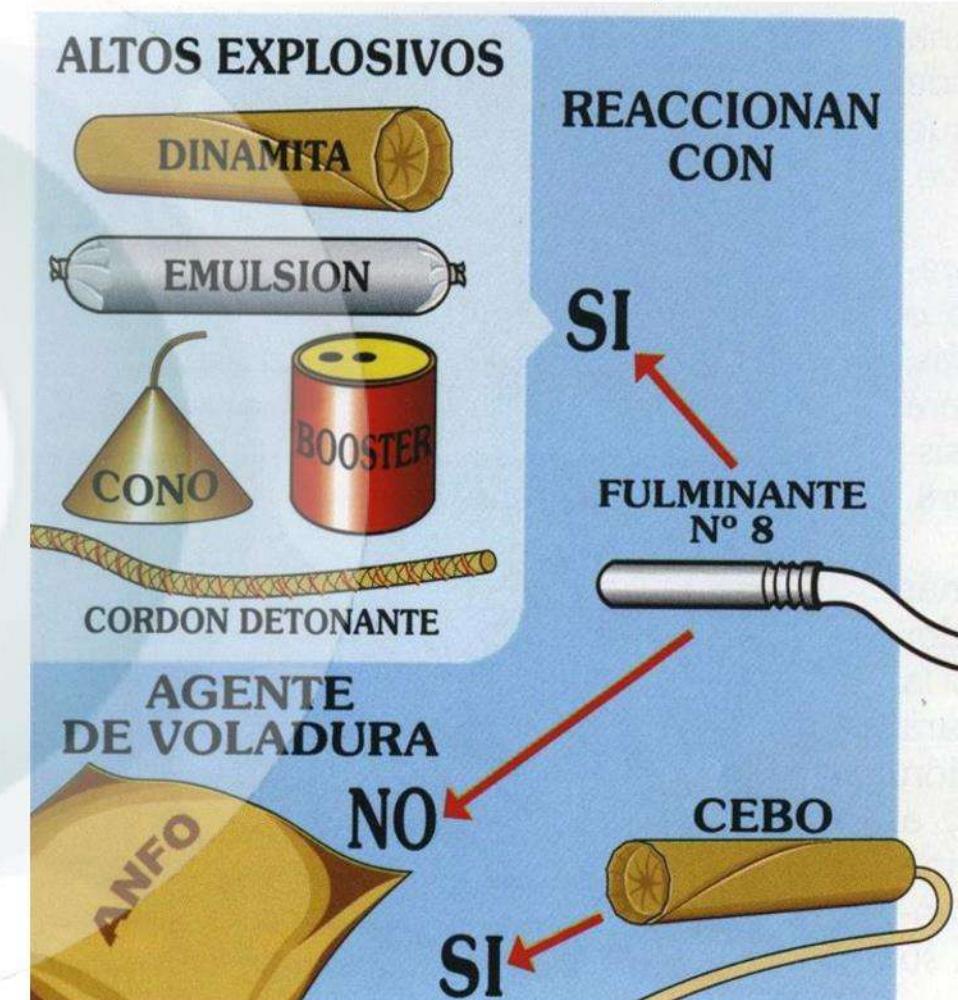
CLASIFICACIÓN - (POR SU SENSIBILIDAD)

ALTOS EXPLOSIVOS:

Cuando se inician directamente con fulminante N° 8 o con cordón detonante de bajo gramaje. (Dinamitas, emulsiones sensibilizadas, TNT, fulminantes)

AGENTES DE VOLADURA:

No son sensibles directamente al fulminante N° 8 y requieren un iniciador más potente o cebo (ANFO)





TRABAJO CON EXPLOSIVOS

CEBO, PRIMA O PRIMER

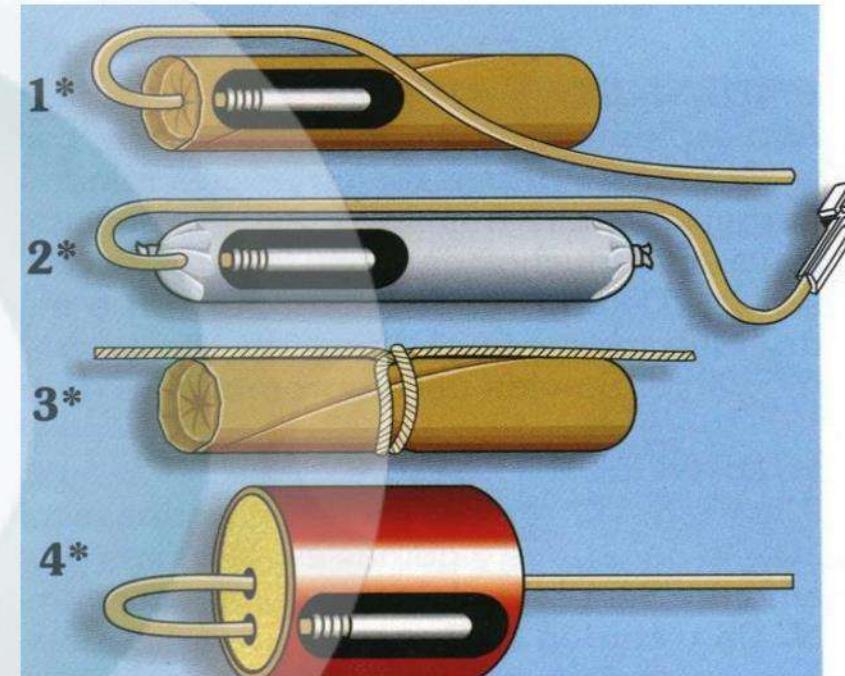


Comprende la combinación de un cartucho de alto explosivo (dinamita o emulsión explosiva) con un iniciador (fulminante, detonador o cordón detonante).



Se emplea para iniciar a los explosivos rompedores y agentes de voladura en los taladros perforados en la roca.

R
P



EJEMPLOS DE CEBOS O PRIMAS

- 1* DINAMITA - FULMINANTE / GUIA
- 2* EMULSION - DETONADOR NONEL
- 3* DINAMITA - CORDON DETONANTE
- 4* BOOSTER - DETONADOR NONEL

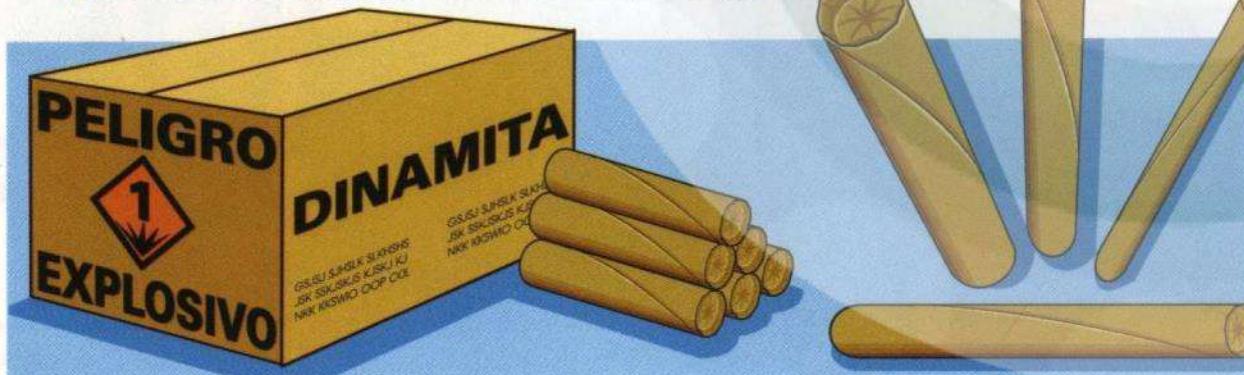


TRABAJO CON EXPLOSIVOS

PRODUCTOS UTILIZADOS EN VOLADURA

Dinamita: Alto explosivo sensibilizado con nitroglicerina, muy triturador, alta simpatía y sensibilidad

- **Gelatina:** Para roca dura con agua.
- **Semigelatina:** Para roca intermedia y poca agua.
- **Pulverulenta:** Para roca suave, sin agua.



ANFO: Agente de voladura granular, seco, formado 94% nitrato de amonio y 6 % de diesel en peso. Si aumenta diesel, disminuye energía y aumentan gases





TRABAJO CON EXPLOSIVOS

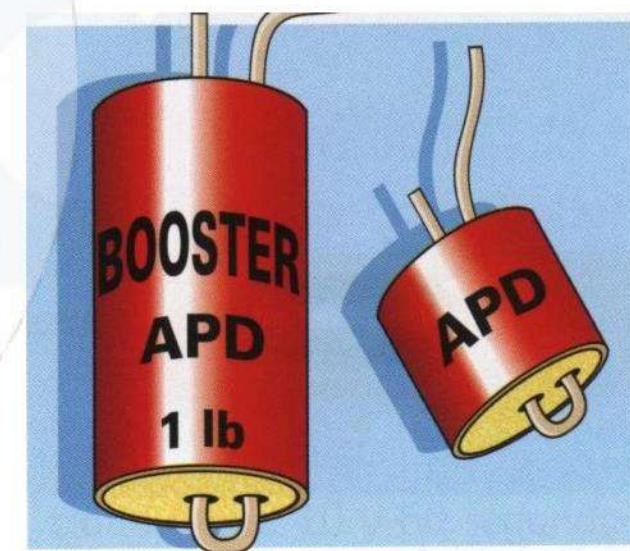
PRODUCTOS UTILIZADOS EN VOLADURA

Conos rompedores para plasteo:

Molde cónico de alto explosivo sólido (Pentolita), alto poder de impacto y resistencia al agua.



Boosters: Molde cilíndrico sólido de Pentolita – TNT con agujeros pasantes para alojar cordón detonante, fulminante, etc. Se emplea como cebo de alto poder iniciador para taladros largos cargados con ANFO





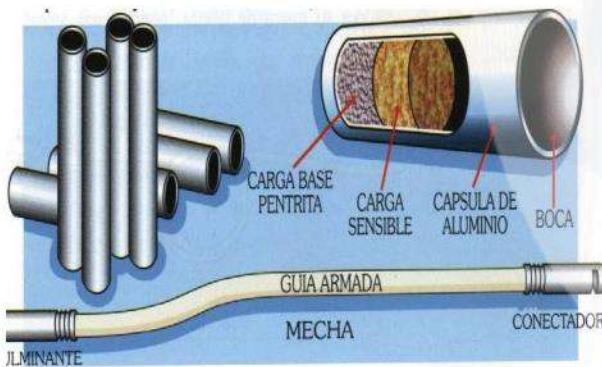
TRABAJO CON EXPLOSIVOS

PRODUCTOS UTILIZADOS EN VOLADURA - ACCESORIOS

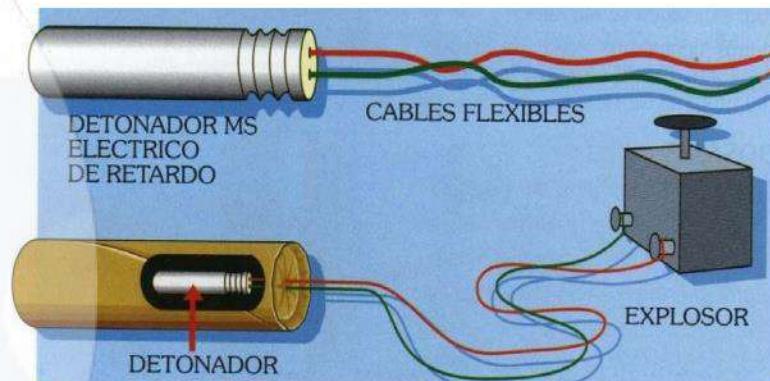
INICIADORES

Fulminante simple:

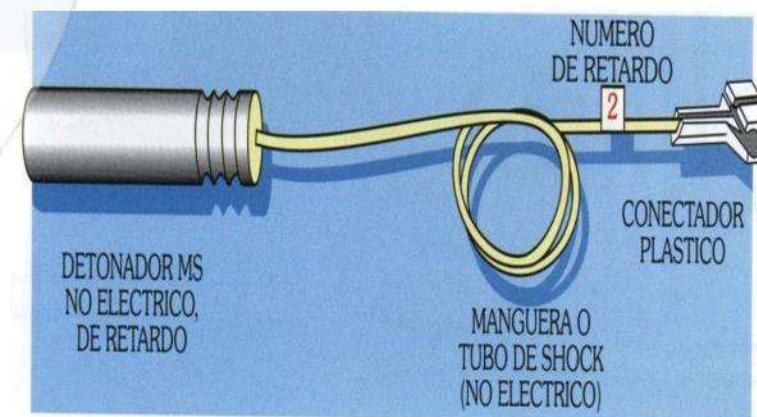
Pentrita – Azida de Plomo



Detonador Eléctrico: Similar al fulminante común, se activa por una pequeña resistencia al paso de corriente eléctrica transmitida por alambres conductores.



Detonador no Eléctrico de retardo: Se activa por medio de una manguera o tubo flexible que transmite una onda de choque deflagrante desde una línea troncal de cordón detonante.





TRABAJO CON EXPLOSIVOS

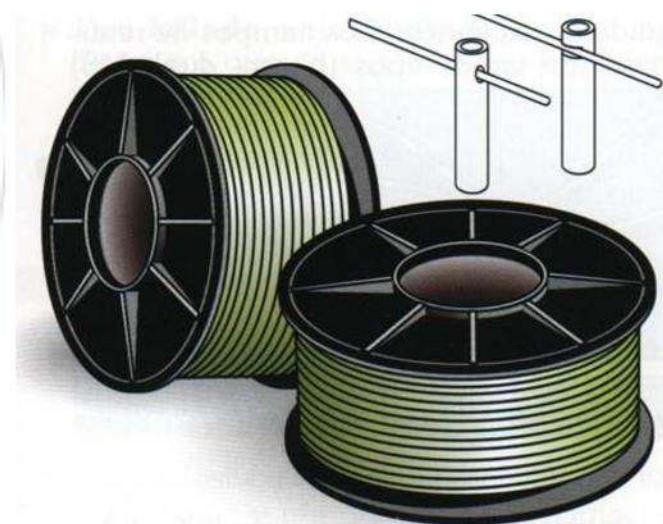
PRODUCTOS UTILIZADOS EN VOLADURA - ACCESORIOS

TRANSMISORES

Mecha o guía de seguridad: Mecha lenta, núcleo de pólvora negra recubierto por fibras de algodón, brea y forro plástico. 51 o 52 segundos/pie



Mecha rápida de ignición: Cordón delgado flexible que contiene masa pirotécnica con alma de alambre, cubierta con forro plástico. Velocidad entre 10 y 60 s/m



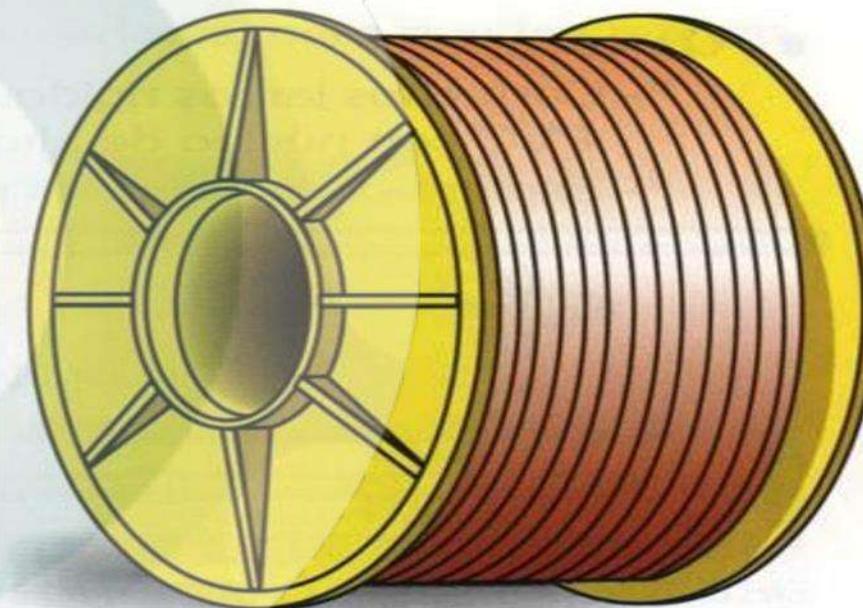


TRABAJO CON EXPLOSIVOS

PRODUCTOS UTILIZADOS EN VOLADURA - ACCESORIOS

TRANSMISORES

Cordón detonante: Cordón explosivo resistente y flexible, con núcleo blanco de pentrita que explota en forma instantánea en toda su longitud (7000 m/s)





TRABAJO CON EXPLOSIVOS

PRODUCTOS UTILIZADOS EN VOLADURA - ACCESORIOS

CONECTORES

Conecotor pirotécnico para mecha rápida – guía: Tiene masa pirotécnica que recibe la llama de la mecha rápida y la transmite a la guía de seguridad, originando su encendido.



RETARDADORES

Retardadores para cordón detonante: Accesorios que se aplican para producir un desfase de tiempo en el encendido del taladro a taladro que están conectados a una línea troncal de cordón detonante, para permitir su salida en secuencia.





TRABAJO CON EXPLOSIVOS

RIESGOS VINCULADOS A LA DETONACION



EXPLOSIÓN FORTUITA: Detonación sorpresiva fuera del taladro.



TIRO PREMATURO: Detonación adelantada de uno o mas taladros.



TIRO RETARDADO: No salió total o parcialmente por falla del iniciador, guía o explosivo, deja restos que deben eliminarse posteriormente.



TIRO SOPLADO: Salió sin romper la roca ni dejar restos.

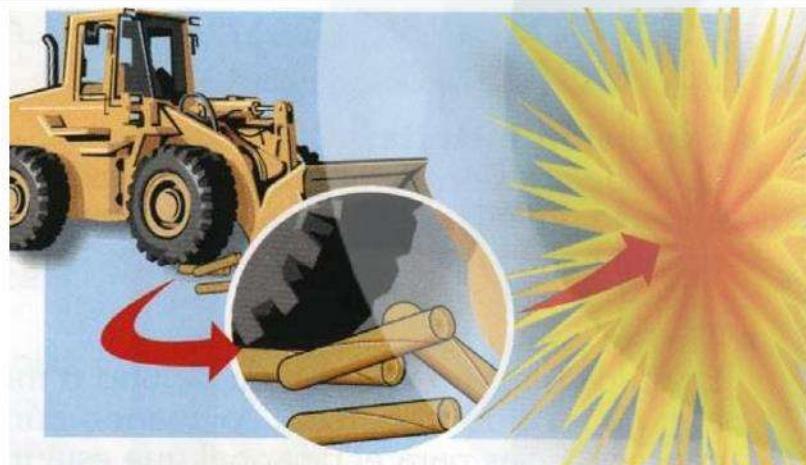


TRABAJO CON EXPLOSIVOS

FACTORES DE RIESGO EN EL MANIPULEO

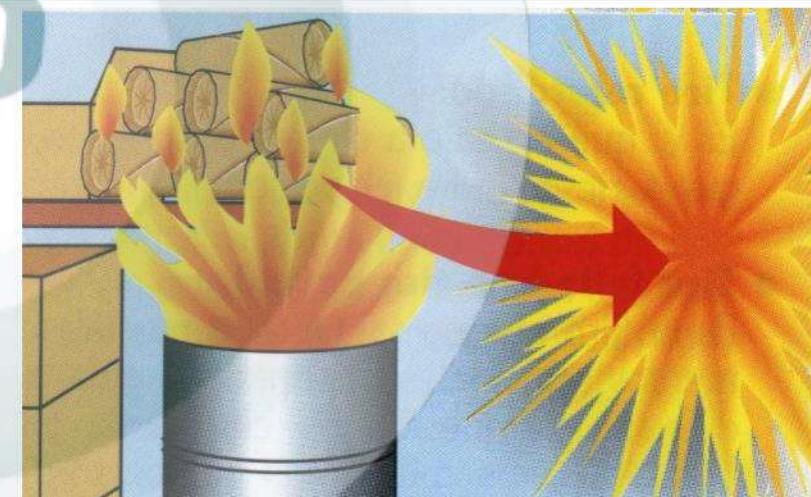
Los explosivos se inician o activan con los detonadores, pero pueden reaccionar y explotar por otros motivos como:

Detonación fortuita por:



Compresión

RP



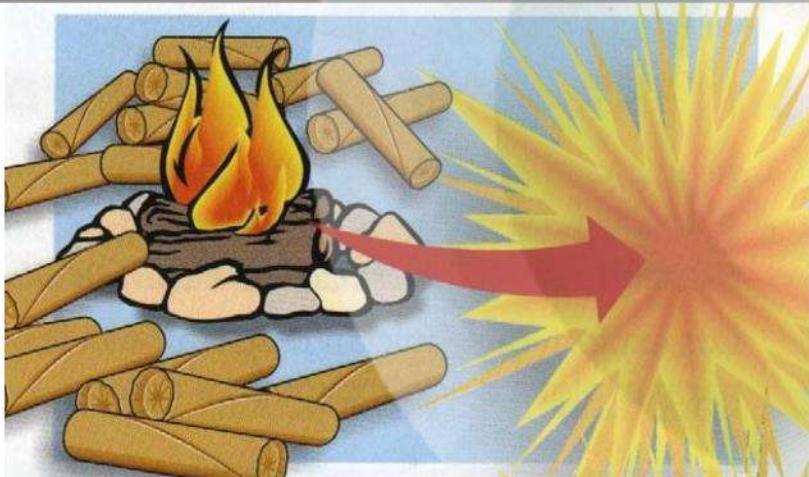
Fuego o llama abierta



TRABAJO CON EXPLOSIVOS

FACTORES DE RIESGO EN EL MANIPULEO

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



Calor



Chispa



TRABAJO CON EXPLOSIVOS

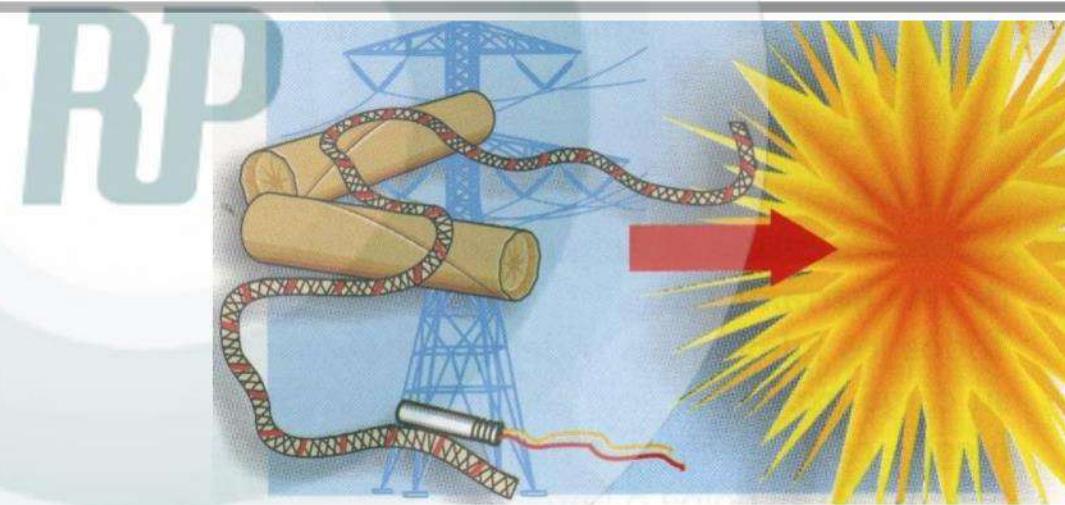
FACTORES DE RIESGO EN EL MANIPULEO

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

Detonación fortuita por:



Fricción



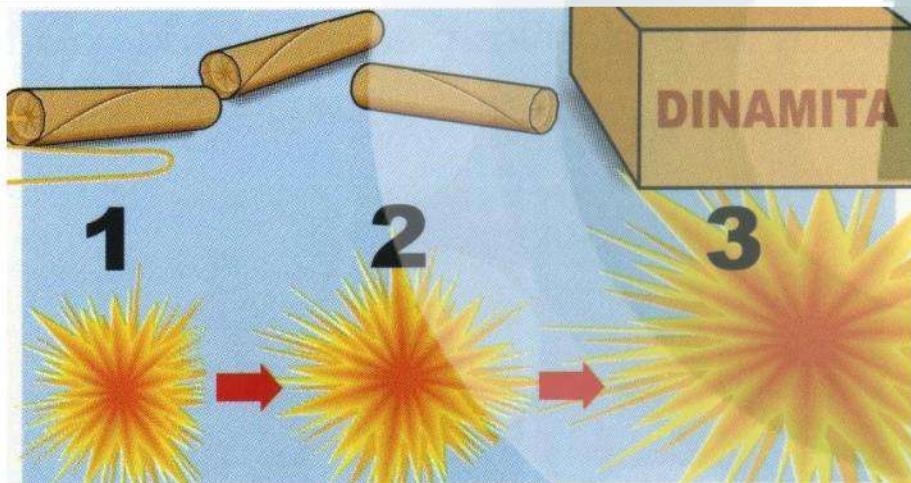
Contacto



FACTORES DE RIESGO EN EL MANIPULEO

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

Detonación fortuita por:



Símpatia



Inducción eléctrica



TRABAJOS CON EXPLOSIVOS

Consecuencias del empleo de explosivos en voladura

Posibilidad de ocurrencia de accidentes directos por explosión. En las etapas de:

1. Fabricación.
2. Abastecimiento a mina.
3. Preparación del disparo.
4. Evaluación de la voladura.

Posibilidad de accidentes indirectos como resultado de la voladura por:

1. Gaseamiento.
2. Desprendimiento de piedras.
3. Deslizamiento de taludes.
4. Vibraciones excesivas.
5. Proyección de fragmentos.



TRABAJOS CON EXPLOSIVOS

Consecuencias del empleo de explosivos en voladura

AFEKTACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE COMO RESULTADO DE LAS VOLADURAS:

1. *Inestabilidad en taludes en superficie.*
2. *Polvos y gases en el ambiente.*
3. *Desequilibrio geomecánico en labores interiores por sobreexcavación.*
4. *Derrames y desperdicios de materiales explosivos en el terreno.*
5. *Contaminación de aguas.*

RP



¡Gracias!



Centro de
Especializaciones
Noeder

Conócenos más haciendo clic en cada botón

