



MUTUAL DE SEGURIDAD

EXPLOSIVOS TECNICAS

Preparado por: Ing. E. Marços Campos V.

MUTUAL
013

MOTORA

0013

C.1

CAMARA CHILENA
LA CONSTRUCCION
Centro Documentación

2030

EXPLOSIVOS
SEGURIDAD LABORAL

MFN 906

EXPLOSIVOS

**EDITADO POR LA MUTUAL
DE SEGURIDAD DE LA
C.CH.C.**

Obedece a: Programa
de Instrucción del Depto.
de Capacitación de la
Gerencia de Prevención
de Riesgos.

Revisado por:

Ivo Musura
Manuel Reyes

Diagramación:
Manuel Herrera

PROLOGO

El propósito que nos ha impulsado a editar este manual, es el de colaborar con aquellas personas que en su trabajo tienen necesariamente que vincularse al uso de los EXPLOSIVOS.

Conscientes del riesgo inherente que encierran los explosivos, entregamos los conocimientos y principios básicos que permitan la adquisición de los elementos necesarios para su utilización.

Hemos incorporado en el texto, las actuales disposiciones reglamentarias que rigen su empleo, con el fin de familiarizar a los niveles de mando de las empresas con las exigencias que deben hacer cumplir a su personal, a la vez que enseñarles el uso correcto de los equipos y elementos.

Esperamos con este texto lograr un uso más SEGURO de los explosivos, consiguiendo con ello el objetivo fijado.

MUTUAL DE SEGURIDAD C.CH.C.

EXPLOSIVOS

TECNICAS

CAPITULO I

CONOCIMIENTOS BASICOS

1. Introducción

Los explosivos son compuestos químicos, sólidos o líquidos que, por la acción de estímulos como calor, impacto o presión, se descomponen o reaccionan violentamente generando grandes cantidades de gases calientes que, al expandirse, provocan ondas de choque.

Su uso, además de ser básico en la extracción de riquezas minerales y perforación de túneles, se está incrementando en los movimientos de tierra y roca que se efectúan para las construcciones de grandes represas hidroeléctricas y/o de riego; carreteras, puentes, bloques de edificios y, además, en investigaciones sismológicas, demolición de edificios, soldaduras, colocación de remaches, extinción de incendios forestales y petroleros, saneamiento de terrenos, etc.

Esta energía latente que, una vez liberada, tiene una potencia instantánea muy superior a la de la mayor central nuclear conocida, puede provocar accidentes, incluso fatales, y destrucción cuando no se conocen ni respetan sus riesgos.

Esto es, justamente, el objetivo del presente texto; dar a conocer las ventajas, limitaciones y riesgos de los productos explosivos para que Ud. elija lo más conveniente para su uso.

2. Origen de los explosivos e iniciadores

Con el desarrollo de la explotación de yacimientos en gran escala, mayores movimientos de tierra para construcciones y la apertura

de túneles cada vez de mayor longitud y sección, el problema derivó en encontrar explosivos e iniciadores que resultaran más económicos y seguros.

La fabricación de explosivos para su utilización en la fragmentación de rocas se ha basado en tres aspectos fundamentales:

— La obtención de un compuesto capaz de romper y desplazar las rocas, cualquiera sea la composición de éstas.

— La insensibilidad de este compuesto para resistir cualquier acción externa y así explosionar sólo por la acción de un elemento iniciador (detonador) colocado en contacto directo y con la menor producción de gases tóxicos resultantes de la explosión.

— Que el costo de extracción del material sea lo más económico posible.

Es así como, desde la utilización de la pólvora negra, (75% de Nitrato de Potasio, 15% de carbón de madera y 10% de azufre), en trabajos mineros, en Febrero de 1627 en Hungría, después de más de tres siglos de haber sido inventada y usada en forma bélica, se derivan posteriormente:

1790 El francés Bertholet descubre la plata negra y plata fulminante.

1799 El inglés Howard obtiene el fulminato de mercurio.

1802 Brugnatelli prepara fulminato de plata.

1834 Se obtiene el nitrobenzol.

1835 Se logra la nitronaftalina.

1843 Se obtiene el ácido pícrico.

1845 El científico italiano, Ascanio Sobrero, de la Universidad de Turín, desarrolló la nitroglicerina, pero hubo que dejar sus trabajos debido al riesgo que significaba su alta sensibilidad.

1846 El científico suizo Schoenbeins desarrolla el algodón pólvora.

1866 Marca la aplicación práctica de toda esta gama explosiva en el arranque de rocas, cuando el científico sueco Alfredo Nóbel, mezcla la nitroglicerina con un material absorbente inerte, el Kieselguhr o tierra de infusorios, obteniendo un explosivo sólido. Este producto formado por 75% de nitroglicerina y 25% de kiesselguhr fue el precursor de las dinamitas.

- 1867 Los suecos Norbin y Olson descubren la tendencia oxidante del nitrato amónico que mezclado a un aceite mineral, origina mezclas explosivas. Sin embargo, el inventor de estas mezclas fue Sprengel, en 1871.
- 1875 Alfredo Nóbél, que había continuado sus investigaciones, descubrió que mezclando nitroglicerina con algodón pólvora obtenía una masa gelatinosa de color claro, que era altamente explosiva y más estable. Esta masa se conoce como gelatina explosiva. La dinamita originada por Nobel permitió, hasta cierto punto, dominar la energía de la nitroglicerina. Sin embargo, este producto era muy difícil de manejar y muy caro su proceso de obtención. En vista de estos problemas, se continuaron las investigaciones para sustituir, primero el absorbente kieselguhr y más tarde la nitroglicerina, tratando de obtener un producto menos sensible y más barato, sin disminuir la eficiencia. Una de las principales dificultades a superar lo constituyó el alto punto de congelación de la nitroglicerina; aproximadamente + 8° C. Ello, porque este compuesto congelado es extremadamente sensible, explosionando si se quiebra alguno de sus cristales. Aún cuando la nitroglicerina puede ser descongelada o deshielada, el proceso exige mucho cuidado que no siempre se adoptaba.

Los procesos han continuado y en;

- 1900 En vista del riesgo que constituía el uso de pólvora negra y de dinamita en las minas de carbón, debido a la presencia de gas grisú, se desarrollaron los "explosivos permisibles" que contienen aditivos que sólo permiten llamas de poco volumen, de corta duración y de bajas temperaturas. Estas llamas acompañan la iniciación de toda explosión. El reemplazo de parte de la nitroglicerina por nitrato de amonio, de sodio o de potasio han probado su influencia para obtener características más confiables en las dinamitas. En base a estos productos continúan las investigaciones, modificando componentes y proporciones, logrando cada vez mejores explosivos. Un descubrimiento que representa una revolución en esta industria se logra en:
- 1956 El Dr. Melvin A. Cook, inventa los explosivos tipo slurry, cuya energía explosiva proviene de las reacciones extremadamente rápidas de la reducción-oxidación, entre los elementos oxidantes acuosos y los combustibles, a partir de su iniciación por medio de un acelerador de alta presión.

Las características más relevantes de los slurry son, su alto grado de seguridad, mayor economía, menor producción de gases tóxicos y facilidad de variación en su energía y densidad.

En cuanto a los iniciadores, sólo en el año 1631 se inventó la mecha y, posteriormente, los fulminantes o detonadores, lo que permitió dar alguna seguridad al uso de la pólvora negra como "explosivo civil".

Los primeros detonadores sólo tenían el carácter de instantáneos, por lo que, al llegar la chispa a la masa, ésta se iniciaba y explosionaba simultáneamente, lo que daba por resultado una explosión violenta en caso de usarse varios detonadores, y una baja efectividad por falta de caras libres. Esto se solucionó en parte, con el uso de la guía lenta que permitía un número limitado de detonadores a iniciar en un mismo disparo, pero los retardos, si se hacían, eran muy irregulares. Además, el uso de esta guía resultaba en un riesgo permanente, debido a su facilidad para iniciar el encendido y su irregular velocidad de combustión.

Mientras se progresaba en la manufacturación de los explosivos, se ensayaban métodos para hacer actuar los detonadores por medios eléctricos lo que eliminaba los problemas de la guía. Los primeros iniciadores de este tipo, fueron hechos explosionar por una chispa que saltaba entre los extremos desnudos de dos alambres insertados en la caja del "fuse". El método era poco satisfactorio y en 1876 se introdujo el detonador de baja tensión o de "puente". Mucho colaboró a este resultado el Sr. Julián Smith, de U.S.A., quien obtuvo mejoras para el uso de los detonadores eléctricos y baterías explosoras.

Este detonador eléctrico actuaba al producirse la más pequeña diferencia de potencial, lo que lo hacía muy peligroso.

Continúan los avances y se logra el "detonador anti-estático" que remediaba parte de estas fallas y, como su nombre lo indica, no detona con el paso de cargas estáticas.

Sin embargo, esto no bastaba y se introduce el "detonador altamente insensible" que resiste, prolongadamente sin actuar, intensidad de 4 A y para un encendido seguro precisa de una intensidad de 40 Amperes.

Estos tipos se fabrican, también, con dispositivos especiales, que los hacen aptos para ser usados en minas de carbón.

Sin embargo, no se trataba sólo de hacer detonadores eléctricos cada vez más seguros, sino que también más eficientes. Es así como, de los detonadores instantáneos, se lograron los de retardo de medio segundo y, posteriormente, los de milésimas de segundos o microretardos.

Paralelo a este avance se logran también detonadores de retardos similares a los mencionados pero de accionamiento no - eléctrico, conocidos como Primadet Delays.

3. Composición y clasificación de los explosivos

3.1. Composición

De acuerdo a sus funciones, los componentes usados en la fabricación de explosivos se clasifican en:

- Explosivos base o sensibilizadores
- Combustibles
- Oxidantes
- Reguladores de PH
- Absorbentes

Algunos ingredientes tienen más de una función, por lo que pueden incluirse en más de una clasificación.

Explosivo base es un sólido o un líquido, que, con la aplicación de suficiente calor, choque, o presión, se convierte en producto gaseoso desarrollando energía calorífica.

Combustibles y Oxidantes son compuestos agregados a la mezcla de explosivos para obtener el balance de oxígeno adecuado. El combustible se agrega para que se combine con el exceso de oxígeno, para evitar la formación de óxidos de nitrógeno. El oxidante asegura la completa oxidación del carbono de la mezcla para prevenir la formación de monóxido de carbono.

La formación de óxidos nitrosos y de monóxidos de carbono son perjudiciales para la salud de los trabajadores y además reducen las calorías de la detonación.

Los Reguladores de PH se agregan a la mezcla para aumentar su estabilidad.

Los Absorbentes son necesarios para retener al explosivo base líquido.

3.1.1. Balance de Oxígeno.—

Para asegurar la completa combustión en la mezcla explosiva, de tal forma que produzca la máxima potencia y el mínimo de gases nocivos, es necesario que se controle la cantidad de oxígeno de acuerdo con la cantidad de combustible.

El balance de oxígeno (B.O.) se expresa como el "porcentaje de exceso (+) o deficiencia (-) de oxígeno en la mezcla explosiva".

Algebraicamente el B.O. es el peso molecular del oxígeno requerido para la combustión completa, dividido por el peso molecular a usar.

Por ejemplo. Dos moléculas-gramos de Nitrato de Sodio liberan cinco átomos-gramos de oxígeno.



El peso molecular del nitrato de sodio es 85 y del oxígeno atómico 16.

Así dos moléculas de nitrato de sodio pesan 170 gramos (85×2) y cinco átomos de oxígeno pesan 80 gramos (16×5). El balance de oxígeno del nitrato de sodio es:

$$\frac{80}{170} = 0,471 = + 47\% \text{ (exceso)}$$

Otro ejemplo: el carbono requiere dos átomos de oxígeno para su reacción completa.



El peso atómico del carbono es 12 y el del oxígeno 16.

Luego:

$$\frac{32}{12} = -2,67 = -267\% \text{ (deficiencia)}$$

El "B.O. del explosivo" es la suma algebraica de los B.O. de los ingredientes que lo componen.

El efecto de cada ingrediente es obtenido multiplicando su balance de oxígeno por el porcentaje de esta instancia presente en la mezcla explosiva.

3.2. Clasificación de los Explosivos

Los explosivos se clasifican en:

- Pólvoras
- Dinamitas
- Agentes explosivos nitro-carbo-nitratos
- Agentes explosivos acuosos o slurries
- Accesorios para encendido o iniciadores

3.2.1. Pólvoras

Se conocen también como explosivos lentos y están constituidos por una mezcla de nitrato de potasio, carbón y azufre.

De estos tres ingredientes ninguno es explosivo, pero basta con mezclar el nitrato de potasio (o de sodio) con carbón vegetal para obtener una mezcla explosiva.

Sin embargo, la mezcla de estos dos ingredientes no reúne las condiciones técnicas precisas para su utilización ya que es higroscópica, su velocidad de combustión no sigue un curso regular y su masa tiende a desmenuzarse por falta de cohesión entre sus ingredientes. Estos inconvenientes son los que subsana el azufre. Este elemento, además de proporcionar la cohesión necesaria rellenando huecos, provoca un aumento de la vivacidad, facilita el encendido y es necesario para mantener la uniformidad de la combustión y de su velocidad.

La proporción más normal de los ingredientes es:

75% nitrato de potasio o de sodio
15% carbón vegetal
10% azufre

Esta mezcla se conoce como: **Pólvora Negra.**

Cuando la proporción es de:

62% nitrato de potasio o de sodio
18% carbón vegetal

20% azufre

Recibe el nombre de **Pólvora de Mina**.

La combustión de la pólvora se puede iniciar con facilidad por efectos de su contacto con: llamas, calor, fricción y golpes, razones que requieren que su manejo sea muy cuidadoso. Al explosionar produce considerable cantidad de humo y muchos gases tóxicos.

Estas desventajas sumadas a su escaso poder rompedor han hecho que tenga una importancia secundaria en cuanto a su utilización como explosivo.

Debido a la alta sensibilidad de la pólvora a las fricciones, se deben tomar precauciones especiales para evitar explosiones iniciadas por la pólvora derramada en los pisos de los polvorines o en el terreno al realizar la carga. Esta se puede iniciar al ser pisada o resregada.

3.2.2. Dinamitas.—

Se conocen como explosivos violentos, y están constituidos fundamentalmente por nitroglicerina. La nitroglicerina (binitrato de glicerina) es la sustancia que más se acerca al explosivo perfecto, ya que contiene casi exactamente la cantidad de oxígeno necesario para una combustión perfecta. La explosión de la nitroglicerina ocurre a alta velocidad, desprendiendo gran cantidad de gases. Estos, en el momento de la detonación, alcanzan a una temperatura de aproximadamente 4000°C y ocupan alrededor de 19.000 veces el volumen ocupado por la nitroglicerina líquida.

La desventaja de los explosivos fabricados con nitroglicerina es su tendencia a congelarse a temperaturas de 8° a 12°C . Las dinamitas congeladas presentan dificultades para cualquier clase de manipulación ya que son altamente sensibles al choque y la fricción, lo que se atribuye a movimientos de sus cristales.

3.2.2.1. Dinamita Especial.—

Esta dinamita contiene nitroglicerina como único ingrediente. Esta se absorbe en una sustancia porosa inerte o inactiva con el objeto de darle la consistencia de una pasta.

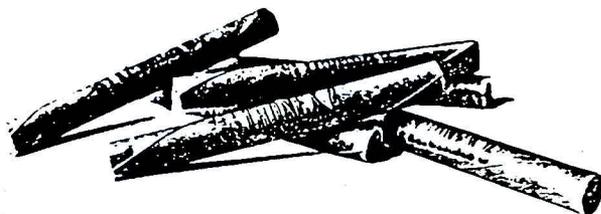
La dinamita especial no tiene aplicación comercial por su alta sensibilidad, alto costo y alta inflamabilidad y sólo se utiliza como patrón de medida de la fuerza o potencia de los demás explosivos.

3.2.2.2. Gelatina Especial.—

Con el objeto de darle resistencia al agua, se disolvió nitro-algodón en nitroglicerina dando forma a la Gelatina Especial. Esta Gelatina especial que tiene como únicos ingredientes a la nitroglicerina y nitro-algodón, es el patrón de las amón gelatinas o dinamitas gelatinosas.



El reemplazo de parte de la nitroglicerina de la Gelatina Especial, por nitrato de amonio ha dado por resultado las Amón Gelatinas. Asimismo, una menor cantidad de nitro-algodón disuelto en nitroglicerina ha dado como resultado la Semi-gelatina.



3.2.2.3. Explosivos Permisibles.—

Como lo indica su nombre, son explosivos aprobados por organismos internacionales. Su uso es básicamente para minas de carbón y sus requisitos son que la llama producida por la detonación sea de poco volumen, corta duración y baja temperatura.

Esto se explica si consideramos que en estas minas pueden presentarse concentraciones ambientales explosivas por dispersión de polvo fino de carbón y por el metano que liberan constantemente los mantos de carbón y los estratos rocosos adyacentes.

El METANO es un gas de gran poder calorífico y de densidad de 0,559 con relación al aire y, que por lo tanto se acumula en los piques, chimeneas, etc. y se difunde con gran facilidad en el aire mezclado con polvo de carbón, dando forma al GRISU.

3.2.3. Agentes Explosivos Nitro-Carbo-Nitratos (N.C.N.)

Los nitro-carbo-nitratos son agentes explosivos compuestos de petróleo y sustancias oxidantes de baja sensibilidad. Fundamentalmente consisten en una mezcla de Nitrato de Amonio Granulado y petróleo Diesel N° 2. Esta mezcla recibe el nombre internacional de ANFO. (Ammonium Nitrate - Fuel Oil).

El nitrato de amonio que da mejores resultados es el tipo Prill poroso.

El balance de oxígeno óptimo se obtiene cuando el petróleo está presente en un 5,67% en peso.

Tienen el inconveniente de su baja resistencia a la humedad y que, cualquier alteración en el porcentaje de las mezclas de sus componentes, provoca formación de gases tóxicos de monóxidos de carbono o de humos nitrosos. Esto restringe su uso en faenas subterráneas, a menos que se disponga de un excelente sistema de ventilación.

Su insensibilidad no les permite la iniciación por medio de detonantes comunes y deben ser iniciados por cebos constituidos por explosivos de alta potencia.

Las razones principales que han influido en su creciente empleo en las tronaduras son:

- Costos más bajos que los demás explosivos
- Mayor seguridad en su manipulación

Existe otro tipo en el cual se reemplaza parte del nitrato de amonio por nitrato de sodio, lo cual lo hace aún más económico.

Este producto recibe el nombre de SANFO y mantiene las limitaciones propias de estos explosivos. También se ha reemplazado parte del petróleo por otros combustibles para obtener diferentes grados de densidades.

3.2.4. Slurries.—

También reciben el nombre de explosivos acuosos y el primero de este tipo fue el compuesto por una mezcla de Nitrato de Amonio, Nitrato de Calcio, Aluminio en Polvo y otros ingredientes que le dan una consistencia pastosa aluminizada.

No contiene ningún ingrediente explosivo en su composición lo que le da especiales características de seguridad.

Los primeros slurries fueron sólo de tipo húmedo y no detonaban en perforaciones de pequeño diámetro por lo que su uso estuvo restringido a movimientos de tierra a cielo abierto (trabajos de superficie). Esto hizo posible la introducción del sistema de carguío "en Situ Mixer Stussy" que consiste en un camión que transporta en recipientes separados los ingredientes explosivos hasta el mismo lugar del barreno. En este lugar es introducido en la perforación y mediante un panel de operación, se dosifica exactamente la mezcla a utilizar con lo cual se logran grandes variedades de densidades que representan diferentes grados de Fuerza o Potencia.

Recién en el barreno, el slurry está listo para estallar de acuerdo con las necesidades del consumidor. Este sistema permite gran economía en las tronaduras debido al menor costo del producto en sí, a su gran velocidad de carguío y a su consistencia fluida que permite rellenar todos los huecos de la perforación. Pueden rebajarse aún más los costos utilizándolas como cargas de fondo en aquellos casos en que sea necesario romper rocas de alta dureza y el uso de ANFO o SANFO solos no sea suficiente. Tienen alta resistencia al agua y, por lo tanto, reemplazan con éxito a aquellos productos en zonas húmedas.



Existen otros tipos de slurries o agua-gels en los cuales el aluminio ha sido reemplazado por sustancias explosivas como TNT (trinitrotolueno) o PRM (Potomac River Miracle), nitrato de monometilamina.

Los resultados obtenidos por estos explosivos, en faenas de superficie, hicieron posible un mayor desarrollo tecnológico que permitió lograr estas mismas mezclas en forma de pastas de mayor densidad que detonaban en diámetros acordes con los barrenos utilizados en las labores subterráneas.

El concepto fundamental que condujo al descubrimiento de los explosivos slurry fue que podría usarse una solución oxidante acuosa (ej. nitrato de amonio) como el medio de dispersión de un sistema coloidal para dispersar el combustible necesario (ej. aluminio).

Las ventajas más importantes de estos explosivos son su alto grado de seguridad, mayor economía en general, características más favorables en la producción de humos y facilidad de variación en su energía y densidad, lo que facilita preparar al explosivo según los resultados que se pretenden obtener.

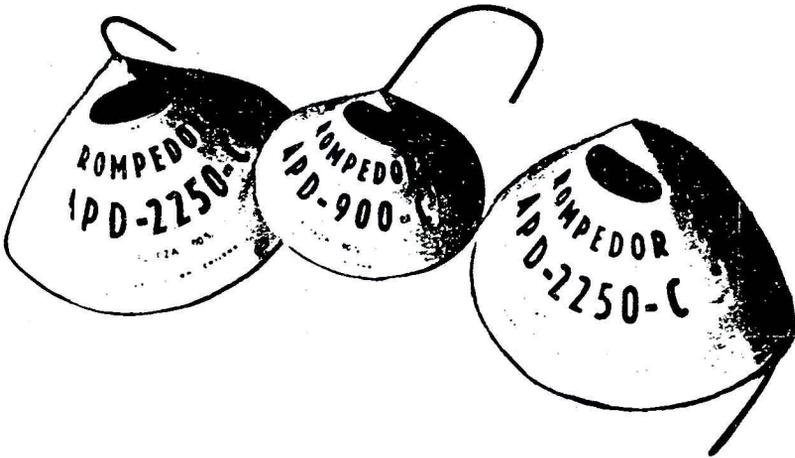
3.2.5. Iniciadores y rompedores APD

Otro tipo de explosivo que no utiliza Nitroglicerina en su composición es el denominado APD (Alta Presión Detonante). Este explosivo está constituido fundamentalmente por Pentrita (P. E. T.N.). La Pentrita tiene como característica fundamental: alta densidad (1.77) y gran velocidad de detonación, alrededor de 8.000 metros/segundo, de lo que resulta un explosivo de una velocidad de detonación de 7.000 m/seg. y de alta densidad, lo que lo hace apto para actuar como "cebo" para iniciar cargas explosivas constituidas por nitro - carbo - nitratos y slurries.



Los iniciadores APD tienen forma cilíndrica, con dos perforaciones axiales que permiten pasar Cordón Detonante o Detonador, según sea el sistema a emplear. Se encuentran en tres tamaños que corresponden a 150-400 y 450 gramos.

Los rompedores están constituidos por la misma base explosiva, y sólo se diferencian por su forma cónica que les permite ser apoyados directamente sobre la roca a romper y sus tamaños corresponden a: 225 - 450 - 900 - 1.350 y 2.250 gramos.



Poseen un trozo de cordón detonante al cual se puede amarrar otro cordón detonante o bien un detonador.

Los iniciadores y rompedores APD son menos sensibles al impacto y fricción que las Dinamitas y deben ser considerados como Altos Explosivos para los efectos de transporte, almacenamiento y uso.

4. SISTEMAS DE INICIACION

En general, el buen resultado de una tronadura depende del cuidado con que es seleccionado el sistema de iniciación que es tan importante como la selección del explosivo mismo.

- Las funciones que cumplen los accesorios de iniciación son:
- Iniciar cargas explosivas.
 - Proporcionar o transmitir la fuente de calor para iniciar una explosión.
 - Llevar la onda detonante de un punto a otro, o de una carga de explosivos a otra.

4.1. Iniciar cargas explosivas

De acuerdo con las nuevas tecnologías, se han tratado de hacer los Explosivos lo más insensibles posibles, como un factor de seguridad en su empleo, de manera que, para iniciarlos sea necesario de un dispositivo especial.

Se puede decir con toda veracidad que en el trabajo de tronaduras lo más peligroso que va quedando son estos dispositivos, llamados detonadores, fulminantes, espoletas, fuses, estopines.

Podemos hacer la siguiente clasificación dentro de los Detonadores:

- Detonadores comunes para mechas, no eléctricos (Nº 6, Nº 8 y Nº 10).
- Detonadores no eléctricos PRIMADET CON RETARDO.
- Detonadores eléctricos instantáneos,
- Detonadores eléctricos con retardo largo (1/2 seg. o más).
- Detonadores de micro retardo (MS).

4.1.1. Detonadores comunes

Para iniciar cargas explosivas sin fuente de poder eléctrica. Constituyen el método más antiguo de iniciación de explosivos. Consiste, en cilindros metálicos de más o menos 6 a 12 mm de diámetro por 30 a 60 mm de longitud que se llenan, aproximadamente hasta la mitad, con una mezcla explosiva a base de fulminato de mercurio. Los fulminantes son los explosivos más sensibles al calor, fricción y golpes, por lo cual, deben manejarse con mucho cuidado. Una medida de seguridad indispensable es separar, siempre, los fulminantes de otros explosivos, porque las posibilidades de una explosión accidental son mucho mayores en los primeros que en los últimos. La humedad afecta a la carga detonante de los fulminantes, debilitándolos o anulando su fuerza explosiva. Materias extrañas que entren a la cápsula de los fulminantes, pueden impedir un buen contacto de su carga con las mechas.

4.1.2. Detonadores de retardo Primadet (no eléctricos)

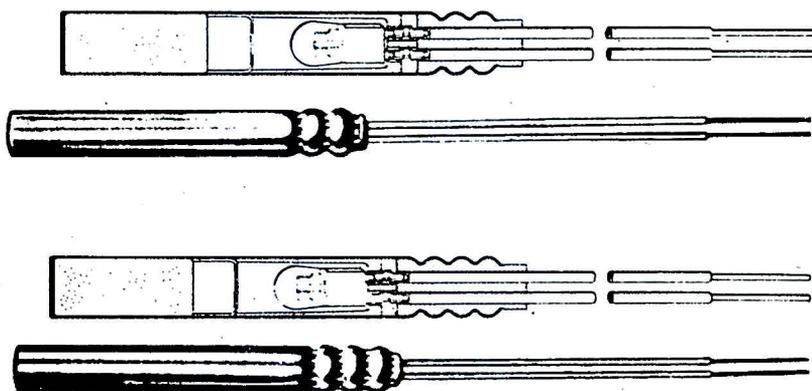
Muy usados para cebar en el fondo de las perforaciones. Estos fueron desarrollados para proveer un sistema de retardo no eléc-

Performance; sus retardos de MS. son muy precisos. Conexiones muy simples a prueba de errores. Son resistentes a las condiciones adversas. La única precaución que debe observarse es con respecto a la prima. Debe usarse un cebo de sensibilidad adecuada ya que éste no debe ser iniciado por el PRIMALINE, pero sí por un detonador Nº 6. NO SE DEBEN USAR EXPLOSIVOS A BASE DE NITROGLICERINA, ya que éstos pueden ser detonados por ésta. La carga principal será usualmente ANFO o SANFO.

4.1.3. Detonadores Eléctricos o estopines

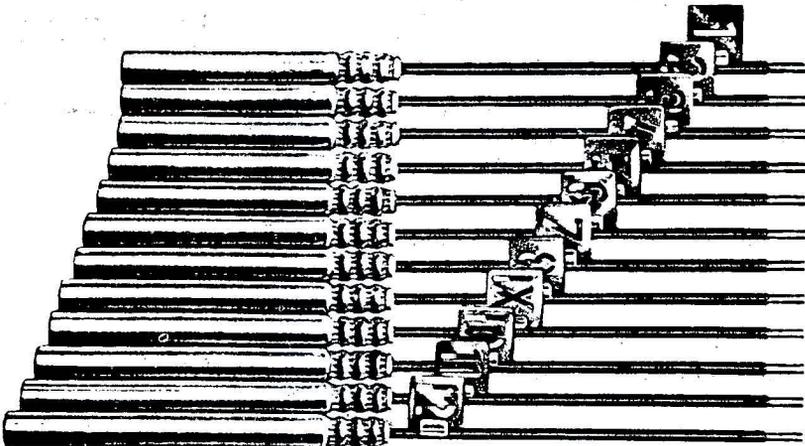
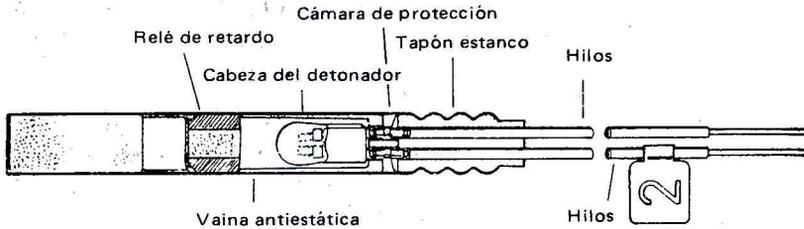
Como lo indica su nombre, están equipados con un sistema de ignición eléctrico, de manera que pueden ser disparado mediante una fuente de poder eléctrica. Se pueden disparar un gran número de estopines a la vez desde un lugar alejado y seguro, cuando se han efectuado apropiadamente las conexiones.

Básicamente, los detonadores eléctricos consisten en un tubo metálico en el que se han dispuesto diversas sustancias explosivas, con un elemento de ignición eléctrico unido a un par de cables revestidos y denominados "chicotes".



Los detonadores eléctricos instantáneos tienen una carga base de PETN, una carga cebo de Azida de Plomo y una carga de ignición de stifnato de plomo. El elemento de ignición eléctrico es un conductor de alta resistencia (puente de platino) soldado a los extremos de los chicotes.

Los conductores de cobre, aislados, que sobresalen de la cápsula, son de una longitud que varía desde algunos cms. hasta unos 75 mts. según el caso. Existen, además, fulminantes eléctricos de retardo, que son iguales al ya descrito, con la única diferencia que entre el puente de platino y la carga detonante, existe una sustancia que sólo al terminar de quemarse enciende la carga base explosiva.



Los detonadores eléctricos de retardo se fabrican en dos tipos:

- ordinarios o con retardo regular
- de retardo de milisegundos (MS).

Los retardos son usados para disparar cargas de dinamita en rotación y su ventaja sobre el detonador común y mecha para este mismo propósito son:

1. Mayor seguridad.
2. Mayor exactitud en la secuencia de los tiros.

El objeto primordial del disparo de retardo es:

- que cada tiro salga con la secuencia que le corresponda.
- rapidez de una tronadura.
- evitar vibraciones.
- dar tiempo para desplazamiento del material removido.
- lograr una mejor fragmentación.

Los detonadores se clasifican, especialmente, atendiendo a su poder detonante, en números de 1 al 10 y se relacionan con el poder detonante de una carga de fulminato de mercurio, que serviría de patrón.

CAPSULAS DE DETONANTES DE FULMINATO DE MERCURIO PATRONES DE COMPARACION

NUMERO DE CLASIFICACION	CANTIDAD DE FULMINATO	DIMENSIONES DE LAS DIAMETRO	CAPSULAS LARGO
	GRAMOS	MILIMETROS	MILIMETROS
1	0,30	5,5	16
2	0,40	5,5	22
3	0,54	5,5	26
4	0,65	6,0	28
5	0,80	6,0	30-32
6	1,00	6,0	35
7	1,50	6,0	40-45
8	2,00	6,5-7,0	50-55
9	2,50	7,0-7,5	55
10	3,00	8,0	60

4.2. Proporcionar o transmitir la fuente de calor para iniciar una explosión.

4.2.1. Mecha o guía.

Tienen forma de cordón y su objeto es conducir el encendido a una velocidad continua y relativamente uniforme, hasta una carga explosiva con el objeto de hacerla detonar, ya sea directamente, si el explosivo es pólvora negra, o indirectamente por medio del detonador común.

La mecha consiste en un núcleo de pólvora negra a base de Nitrato de Potasio, envuelto firmemente en varias cubiertas de materiales textiles e impermeabilizadores.

Las mechas se fabrican en dos tipos, de acuerdo con la velocidad de combustión:

1. Mecha de combustión lenta, que arde al nivel del mar con una velocidad de 130 seg/mts.
2. Mecha de combustión rápida que arde al nivel del mar con una velocidad de 98 seg/mts.

Las velocidades mencionadas, tanto para la mecha lenta como para la mecha rápida, deberá indicarse en los envases y su variación no podrá ser más de $\pm 10\%$ referido al nivel del mar.

Las capas externas de la mecha evitan que chispas o llamas del exterior enciendan la pólvora del núcleo; por esto, el encendido de la mecha debe iniciarse por un extremo. La mecha es sensible a las llamas por ser altamente inflamable.

La mecha de buena calidad debe tener una velocidad de quemar constante, de lo contrario, habrá peligro de explosión prematura o tardía.

La humedad y las temperaturas extremas pueden afectar la humedeciendo los extremos, poniendo blandas y pegajosas las capas de impermeabilización. La temperatura ideal para conservar la mecha es de 7 a 24 grados °C. La mecha muy antigua tiene tendencia a perder su elasticidad y a ponerse quebradiza, lo que afecta su calidad. Se debe tratar de evitar este inconveniente.

niente, usando en el trabajo las mechas de mayor antigüedad. Hay que tener cuidado de no doblar las mechas en ángulos muy cerrados, porque se quiebran y se produce una discontinuidad en el reguero de pólvora.

4.2.2. Cordones repartidores de encendido (Ignita Cord)

Uno de los principales riesgos de las tronaduras, lo constituye la iniciación de una rotación de disparo cuya carga ha sido preparada con mechas y detonadores comunes. En esta faena es evidente que varios factores pueden contribuir a que un tiro de esta naturaleza pueda resultar defectuoso, o lo que es más grave, causar accidentes que pueden lesionar al personal encargado de encender las guías. Desde el instante en que se enciende la primera guía, hasta el instante en que se enciende la última de un disparo, se crea en el frente de trabajo un ambiente de tensión y nerviosismo. Este inconveniente es eliminado en forma casi total con el empleo de los cordones repartidores de encendido que consisten en cordones delgados recubiertos de material plástico, cuyo interior lo forman almas de líneas de papel o alambre de hierro, fuertemente impregnadas de una composición de gran inflamabilidad, que produce una llama corta de alta caloría que se desplaza con una velocidad uniforme a lo largo de todo el cordón.

Generalmente estos productos son fabricados en dos tipos:

- lento o tipo "A"
- rápido o tipo "B"



Tipo "A" o lento. Arde con una velocidad aproximada de 26 a 33 seg/mts.

Tipo "B" o rápido. Arde con una velocidad aproximada de 5 o menos seg/mts.

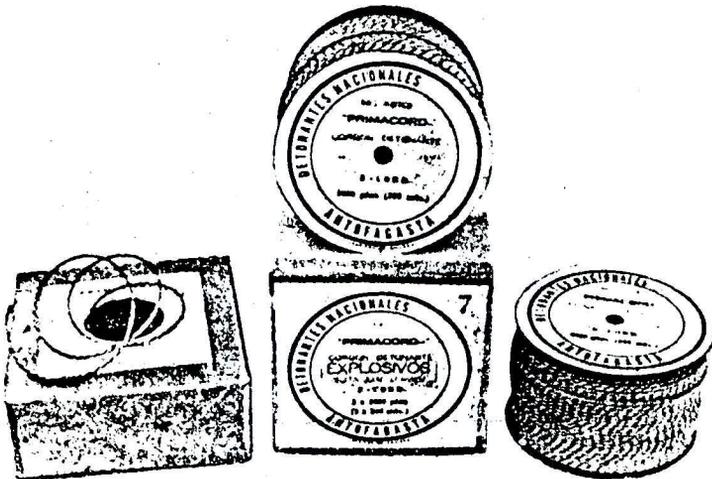
Algunos tipos vienen marcados a intervalos de 30,5 cms. con el fin de ayudar a calcular la secuencia requerida con mayor exactitud. Este tipo de encendido de mechas requiere de un conector especial para unirlos a éstas.

4.3. Llevar la onda detonante de un punto a otro, o de una carga explosiva a otra.

4.3.1. Cordón Detonante.

Este es un cordón muy fuerte y flexible con un alma que contiene un Alto Explosivo que le hace detonar a una alta velocidad. Se fabrican en diferentes tipos según el contenido de material explosivo y resistencia a la tracción, temperatura y humedad.

La función del cordón detonante es la de iniciar las cargas de Altos Explosivos por medio de la detonación de su alma o núcleo. Cuando detona tiene en todos sus puntos la energía iniciadora de un fulminante y se puede clasificar como un detonante continuo.



Dentro de los cordones detonantes de alta energía, el más conocido es el PRIMACORD que tiene un alma de PETN; éste tiene una velocidad de detonación aproximadamente de 7.000 mts/seg. A pesar de su gran velocidad de detonación es bastante insensible a las chispas, fricciones, golpes y maltratos en general. Debe ser considerado, en lo referente a almacenaje, como un Alto Explosivo. Existen varios tipos de Cordón Detonante, siendo el más usado el PRIMACORD REFORZADO (50 granos/pie de PETN) y el E-CORD (25 granos/pie de PETN).

Cuando se humedece el explosivo del Cordón Detonante es mucho menos insensible que cuando está seco, sin embargo, la detonación se propaga normalmente en tramos rectos. Los extremos del cordón detonante que se dejan en agua absorben humedad por acción capilar. Por este motivo, cuando se haga un nudo de conexión o se fije el detonador debe observarse bien que dicho sector esté completamente seco.

4.3.2. Conectores de Retardo MS. Estos conectores son usados para tronaduras iniciadas en superficie y empleando cordón detonante. Estos se pueden conectar fácil y rápidamente en las líneas troncales dando como resultado un sistema de retardo no eléctrico y que no es afectado por las corrientes parásitas. Consisten en un casquillo de molde plástico que contiene un tubo de cobre en su interior con el elemento de retardo. En los extremos del molde plástico tiene los calzos para conectar y asegurar los extremos de la línea troncal. El tubo de cobre (elemento de retardo) contiene cargas explosivas que tienen por objeto:

1. Transformar la detonación de la línea troncal en una acción de combustión en su parte central (retardo).
2. Convertir esta acción de quemar en una detonación para iniciar el otro extremo de la línea troncal.

Las cargas explosivas de los conectores MS. son similares a las de los detonadores y pueden detonar por impacto. Sin embargo, el molde plástico actúa como una protección del tubo metálico y lo hace más resistente a los golpes. A pesar de ello, se debe tener precaución con los conectores con el objeto de que no sean golpeados por rocas u otros objetos pesados, ni exponerlos

innecesariamente a los rayos del sol ni otras fuentes de calor. La prolongada exposición al agua puede reducir su eficiencia. Después de una tronada, es normal encontrar restos de tubo del elemento de retardo con adherencias de plástico. Esto se debe a que esa parte no contiene carga explosiva.

Los conectores de retardo MS. se confeccionan de 6 intervalos, identificándose por el color de su envoltente plástico.

- MS — 5 (5 miliseg.) = AZUL
- MS — 9 (9 miliseg.) = VERDE
- MS — 17 (17 miliseg.) = AMARILLO
- MS — 25 (25 miliseg.) = ROJO
- MS — 35 (35 miliseg.) = ROSADO
- MS — 45 (45 miliseg.) = NARANJA

5. PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

5.1. Transformación

Los explosivos pueden convertirse en gases de tres maneras:

A. Por descomposición molecular lenta, mediante calor suave y sostenido (descomposición térmica).

B. Por combustión, con aparición de fuego.

C. Por detonación, forma repentina muy particular de la combustión.

A. Descomposición o reacción molecular lenta

Puede producirse, en el caso de grandes cantidades almacenadas de productos explosivos, por elevación de temperaturas. Se le conoce con el nombre de "Explosión Espontánea" y es provocada por "reacción en cadena".

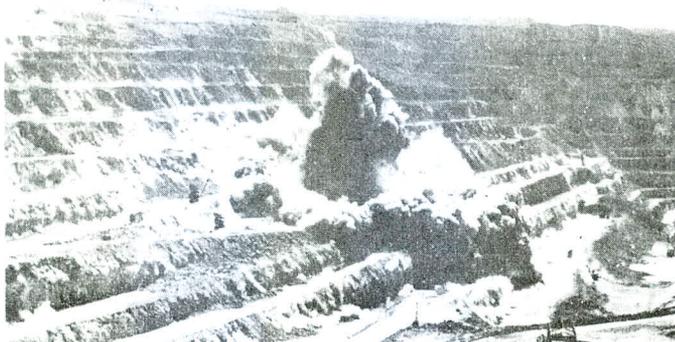
B. Combustión

Todo explosivo puede, por una elevación local de temperatura, producida por una llama o un cuerpo incandescente, arder y detonar con una producción de energía mecánica.

C. Detonación

La detonación es provocada por una onda de presión o de choque, que se mantiene por la energía de descomposición que se

va desprendiendo y que atraviesa la masa del explosivo con una velocidad constante hasta el final. Esta onda parte de un punto de percusión debido a la explosión de un cebo o iniciador. Para que la detonación se propague, es preciso que la energía cinética media de las moléculas que chocan, contenidas en la onda de presión, sobrepase de cierto valor crítico, necesario para el rompimiento de las moléculas del explosivo. Además de la acción térmica de los gases, es decisivo también el choque mecánico para que la detonación se verifique. Ambas acciones constituyen la energía activadora necesaria.



5.2. Características

Para seleccionar el explosivo correcto es necesario conocer sus características. Estas se dividen en:

5.2.1. Físicas y químicas

Dependen del proceso de fabricación y de su composición. Se determinan por ensayos.

— Los ensayos físicos son: examen ocular, contenido de humedad, contenido de agua, higroscopicidad y estabilidad.

Examen ocular: se realiza por la observación del color, brillo y tamaño de las partículas o pedazos (polvos, gránulos más o menos grandes, redondos o angulares, cubitos o prismas, placas, bastoncitos, filamentos, etc.); o la estructura de la masa (compacta, granular, laminar, fibrosa, etc.).

Contenido de Humedad: pérdida en peso que se produce cuando se seca, una cantidad conocida de muestra, a una cierta temperatura. El resultado se expresa en porcentaje en peso.

Contenido de Agua: la cantidad total de agua que contiene un explosivo.

Higroscopicidad es el contenido de agua (expresado en porcentaje), en equilibrio con el aire de una cierta humedad relativa.

Estabilidad: el almacenaje prolongado de un explosivo, especialmente en condiciones de humedad y calor, causan deterioros y alteraciones en la composición química de las mezclas de explosivos. Si la descomposición química es excesiva el explosivo puede hacerse insensible a la detonación o llegar a ser inseguro su uso.

— Las propiedades químicas se determinan de acuerdo al análisis químico correspondiente.

5.2.2. Técnicas

Tienen relación con su empleo.

5.2.2.1. Características técnicas teóricas

Las principales características teóricas que deben considerarse para tener una idea del trabajo que puede efectuar el explosivo, son las siguientes:

— *Calor producido por la explosión:* el cual mide la energía liberada, expresada en calorías por kilo de explosivos.

— *Concentración energética:* definida por el producto entre el calor y la densidad del explosivo.

– *Volumen específico*: el cual corresponde a los gases producidos por la descomposición completa de un kilo de explosivo, calculado a cero grado de temperatura y presión atmosférica (el valor del volumen de los gases producidos puede variar desde 300 a 1000 litros por kilo de explosivo).

– *Temperatura de explosión*: es la temperatura que alcanzan los gases en caso de descomposición adiabática del explosivo. Su valor es de orden de 2.500 a 3.000 °C. para los explosivos corrientes y puede alcanzar 4.700 °C. para los explosivos más potentes.

5.2.2.2. Características técnicas prácticas

Las características prácticas más importantes del explosivo son: potencia, densidad, velocidad de detonación, resistencia al agua, producción de gases, sensibilidad de iniciación, sensibilidad al impacto y sensibilidad a la onda de choque.

– *Potencia o fuerza*: la fuerza se usa para medir la energía contenida en un explosivo (poder rompedor); y el trabajo que es capaz de realizar. Aunque no existen procedimientos físicos exactos para medir la fuerza explosiva y el poder rompedor, se puede determinar, por métodos de comparación o de valorización práctica, el trabajo máximo producido por un explosivo en relación al trabajo de un explosivo de referencia.

Las dos relaciones de potencia o fuerza comúnmente usadas son: *potencia en peso*, que compara explosivos en base del peso y *potencia por cartucho o volumen*, que compara a los explosivos en base a volumen.

La potencia es comúnmente expresada como porcentaje, teniendo a la *Dinamita Especial como standard de comparación*, tanto en base a peso como de volumen. Por ejemplo, de acuerdo con el Sistema de Relación de Potencia, una libra de dinamita amoniaca 40% (en peso) y una libra de gelatina amoniaca 40% (en peso) equivalen a una libra de DINAMITA ESPECIAL 40% (en peso). Por definición, la potencia en relación al peso o al volumen son iguales cuando la gravedad específica es 1.4 (densidad de la Dinamita Especial).

El término de potencia fue primeramente aplicado a las dinamitas cuando ellas eran una mezcla de nitroglicerina y materia inerte como era el kieselguhr (tierra diatomacea). Una dinamita 60% contenía 60% de nitroglicerina (en peso) y era 3 veces más potente que una dinamita 20%. En la actualidad, las Dinamitas Especiales, han sustituido esta materia inerte por otros ingredientes activos en la reacción, tal como el nitrato de sodio, nitrato de amonio y otros combustibles que cooperan con energía al explosivo. Consecuentemente, una Dinamita Especial 60% que contiene 60% de nitroglicerina, es solamente 1.1/2 veces más potente que una Dinamita Especial 20% y no 3 veces; esto se debe a la energía proporcionada por los otros ingredientes activos.

En general, y para evitar confusión, una Dinamita Especial 60% y una Amon Dinamita 60%, producen diferentes resultados en el terreno debido a la diferencia en velocidad de detonación. Esto comprueba que la "potencia" no es una buena base de comparación.

La relación entre "potencia en peso" y "potencia por cartucho" de un explosivo dado depende de su densidad. Cuando la gravedad específica es 1.4 y el número de cartuchos de 1.1/4" x 8" en caja de 50 lbs. es de 100 unidades, las dos potencias son iguales. Cuando la gravedad específica es menor a 1.4 (Nº de cartuchos por cajón mayor que 100 unidades), la "potencia por cartucho" es menor que la "potencia por peso". Lo inverso sucede cuando la gravedad específica es mayor que 1.4.

El nomograma de la Fig. Nº 1 puede ser usado para individualizar las dos "potencias" explicadas.

Normalmente dos de estos datos serán proporcionados por el fabricante lo que permitirá determinar el tercero.

POTENCIA EN PESO

POTENCIA EN VOLUMEN

Nº DE CARTUCHOS
POR CAJON DE

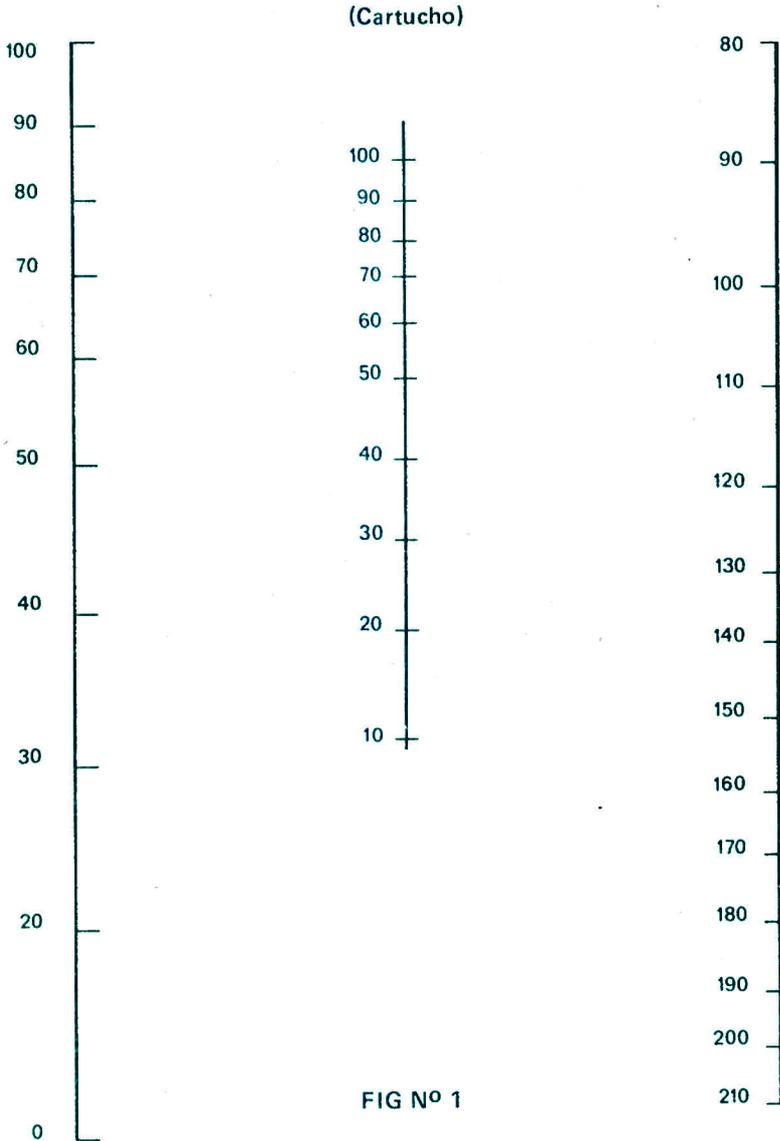


FIG Nº 1

NOMOGRAMA COMPARANDO POTENCIA
EN PESO Y POTENCIA EN VOLUMEN

Normalmente, como regla general, las dinamitas son dadas por su relación a "potencia en peso" y las gelatinas en base a "potencia en volumen". Sin embargo la "potencia en peso" o la "potencia en volumen" no es una óptima base para seleccionar un explosivo. La "Presión de Detonación", que está en función de la "velocidad de detonación" y la "densidad", es el mejor indicador de la habilidad de un explosivo para efectuar trabajos.

– *Velocidad de Detonación:* la velocidad de detonación es la característica más importante de un explosivo e indica el valor de la energía que desarrolla y la probabilidad de aprovecharla en trabajo, antes que se disipe. Se puede definir como la rapidez con que, a partir de un punto de la masa del explosivo, se propaga la descomposición de éste. Se mide en m/seg. y se calcula en base a la termodinámica de la reacción que tiene lugar en el instante de la detonación.

Cuando más alta sea la velocidad de detonación, tanto mayor será la acción destructora del explosivo sobre el medio que los rodea. La gasificación y el desarrollo de la presión se verifican tan rápidamente que, aún estando el explosivo sin confinar, destruye lo que encuentra a su alrededor, pues el aire que lo envuelve no tiene tiempo de retroceder y actúa como si fuera una pared sólida.

La velocidad de la detonación, incluso la del explosivo más rápido, puede medirse con mucha exactitud. Tanto es así, que basta experimentar con longitudes de algunos centímetros de explosivo. La velocidad de detonación de un explosivo depende de:

- densidad
- ingredientes que lo componen
- tamaño de los granos de los ingredientes
- diámetro de la perforación
- calidad de la prima
- grado de confinamiento en la perforación.

Dependiendo del tipo de explosivo, la velocidad dada por los fabricantes es sin confinar y corresponde a un 70% a 80% de la velocidad confinada.

La velocidad de detonación confinada de los explosivos comerciales varía de 1.500 a 7.500 m/seg dependiendo del tipo de explosivo encartuchado (con nitroglicerina). La "velocidad confinada" raramente se logra, debido a que no es posible obtener un confinamiento completo. Para tronaduras en roca dura, se necesita un explosivo de alta velocidad de detonación, mientras que para rocas semiblandas o fracturadas es más eficiente el uso de un explosivo de mediana o baja velocidad.

— *Densidad:* La densidad es un factor importante que debe considerarse en la elección de un explosivo. Para terrenos considerados difíciles para tronar o si se requiere una fragmentación fina, será necesario un explosivo más denso. En roca de fácil fragmentación o donde no es necesario una fragmentación fina, será suficiente un explosivo de baja densidad. En perforaciones con agua un explosivo de densidad menor que 1.0 tenderá a flotar, lo que es un inconveniente. En general, para un explosivo de densidad alta corresponde una velocidad y una presión de detonación mayor.

La densidad del explosivo no debe confundirse con la "densidad de carga", la cual se especifica en kilos de explosivo por metro de carga de columna, para una perforación de diámetro dado, y que depende del confinamiento a que esté sometido el explosivo.

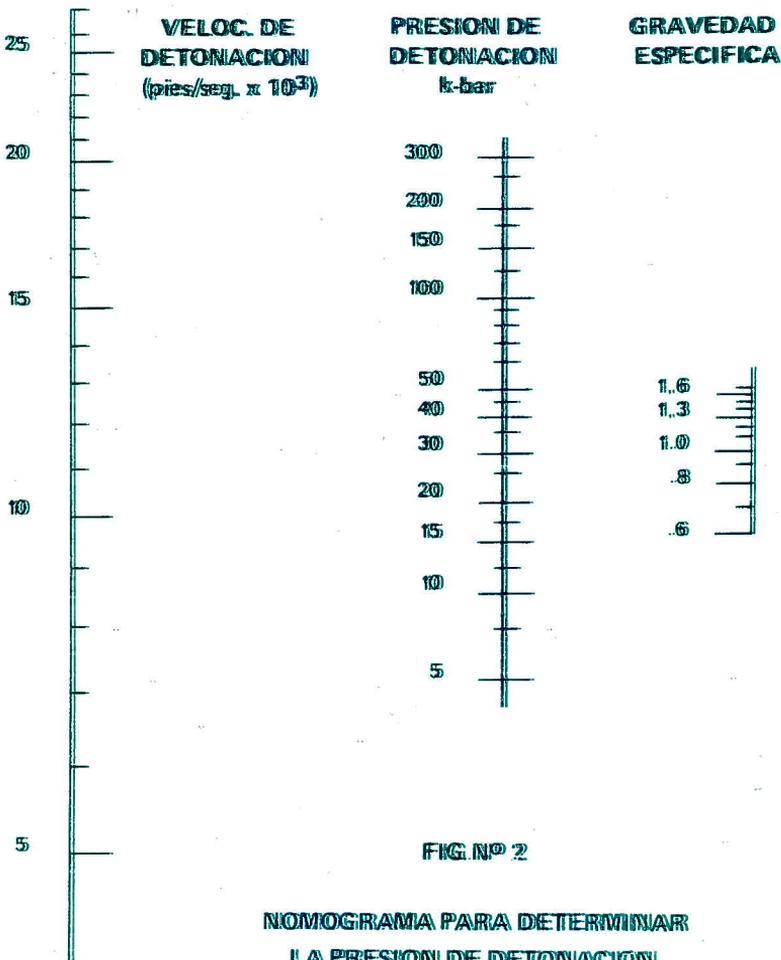
La densidad de los explosivos comerciales varía entre 0,6 a 1,8 gr/cc.

La densidad de los explosivos encartuchados que contienen nitroglicerina, los fabricantes normalmente la expresan por el número de cartuchos por caja. El "número de cartuchos por caja", es aproximadamente igual a 140 dividido por la gravedad específica del explosivo. (La gravedad específica es la relación de densidad del explosivo con respecto a la densidad del agua bajo condiciones standard) y representa el número de cartuchos de 1.1/4" x 8" contenido en un cajón de 50 libras.

— *Presión de detonación:* la presión de detonación es una medida de la presión de la onda de detonación que caracteriza el estado de explosión que depende de los ingredientes que compo-

nen el explosivo. Se expresa en función de la velocidad de detonación y de la densidad del explosivo.

Para determinar la Presión de Detonación se puede usar el nomograma de la Fig. Nº 2 el cual da un valor aproximadamente exacto, cuando se conoce la velocidad de detonación y la gravedad específica. Es más conveniente una Presión de Detonación alta cuando se rompen rocas duras, mientras que en rocas blandas es suficiente con baja presión.



— *Sensibilidad*: se puede definir la sensibilidad como la facilidad con que un explosivo puede ser iniciado por choque, calor o fricción. La importancia de la sensibilidad radica en que determina el grado de confianza y evalúa los riesgos de las sustancias explosivas.

El diámetro, la temperatura y el confinamiento de la carga explosiva afectan la sensibilidad o capacidad de propagación de un explosivo, por lo que las mediciones deben acompañarse de las condiciones en que se efectuaron.

En un tiro, la propagación del efecto explosivo entre cartuchos puede realizarse por: gases calientes, transporte de partículas calientes y onda de choque. La sensibilidad al iniciador, en los explosivos industriales, por el número del fulminante (Nº 6) mínimo necesario para provocar la detonación. Ejemplo: un cartucho de Amon Gelatina 60% es sensible al fulminante Nº 6.

La sensibilidad al impacto se determina por la caída de cierto peso, sobre una cantidad determinada de explosivo, capaz de producir su explosión. La sensibilidad a la onda de choque consiste en la iniciación de un cebo con fulminante standard que hará explotar otro cartucho colocado a cierta distancia (detonación por simpatía).

— *Resistencia al Agua*: la resistencia al agua de un explosivo, es la medida o habilidad de comportarse en un medio acuoso sin deteriorarse o perder sensibilidad. Si hay presencia de agua en una perforación y el lapso entre el carguío y el disparo es corto, será suficiente el empleo de un explosivo con "buena" resistencia al agua. Si el tiempo de exposición es prolongado o si el agua está filtrando en la perforación, se requiere un explosivo de "muy buena" resistencia al agua.

En general, en los explosivos a base de nitroglicerina, las gelatinas ofrecen una mejor resistencia al agua, mientras que las dinamitas de baja densidad no tienen resistencia al agua.

La emisión de gases de óxido de nitrógeno café originados por un disparo, significa que el explosivo se ha deteriorado por exposición al agua.

En los tiros con agua también influye el hecho que se necesita una cierta cantidad de calor (calor latente de vaporización) para lograr la vaporización de esa agua, calor que se toma del desarrollado por la reacción exotérmica del explosivo.

— *Producción de Gases:* los gases desarrollados en la detonación de un explosivo, están compuestos de una mezcla de "gases" y "humos". Humo es el producto sólido de combustión y vapor, el cual persiste como niebla. Una cantidad excesiva de humos indica gases pobres, lo que generalmente se debe a falta de confinamiento. Si el carguío es normal y el confinamiento es conveniente, no hay relación entre la cantidad de humos y los gases nocivos.

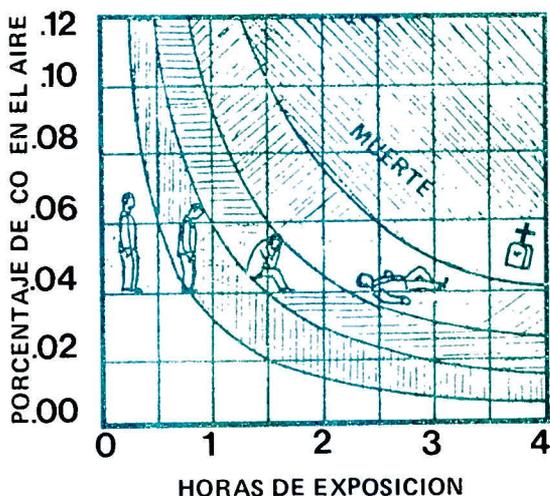
Los humos de las gelatinas en gran parte son sólidos, se asientan rápidamente, pero en general irritan los ojos y las narices. El vapor es el principal ingrediente en los humos de dinamitas, los cuales contienen una apreciable cantidad de nitrato de amonio. El efecto de este humo en las membranas mucosas es generalmente moderado.

La velocidad de dispersión de los humos y gases dependerá, en gran parte, de las condiciones de temperatura y humedad reinante en el sitio de la tronadura.

Los gases originados, resultantes de la explosión de dinamitas son principalmente anhídrido carbónico, nitrógeno y vapor de agua. Ordinariamente no son tóxicos. Los gases tóxicos posibles son monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno y ácido sulfídrico (H₂S) (hidrógeno sulfurado). De estos gases, el CO está siempre presente en cierta proporción, los óxidos de nitrógeno a veces estarán en cantidades dañinas, y el ácido sulfídrico difícilmente se puede encontrar.

El CO incoloro, inodoro e insípido, es peligroso aún en bajas concentraciones, debido a su combinación con los glóbulos rojos de la sangre, destruyendo su capacidad de absorber oxígeno; por esta razón el efecto del CO es semejante a la asfixia. Los primeros auxilios que corresponden es proporcionar aire fresco y respiración artificial, posteriormente debería suministrarse una mezcla de 95% oxígeno y 5% anhídrido carbónico; el afectado no deberá hacer esfuerzos por sí mismo por la posibilidad de daño al corazón. Los síntomas del envenenamiento por CO son debilidad en algunos miembros, particularmente en las rodillas, somnolencia, falta de discernimiento, dolor de cabeza y náuseas; efectos que se manifiestan más o menos en el mismo orden. Este tipo de envenenamiento se determina por examen de la sangre.

EFFECTOS DEL MONOXIDO DE CARBONO SOBRE EL ORGANISMO HUMANO



Los óxidos de nitrógeno se pueden detectar por irritación de los ojos, nariz y garganta. El síntoma más obvio es toser, el cual es leve en baja concentración e incontrolable en casos severos. Lo más delicado es que una persona puede trabajar en ambientes con presencia de estos gases, sin darse cuenta que es una concentración peligrosa. Puede sentirse bien al llegar a casa, pero durante la noche se desarrolla "edema" con hemorragia (hinchazón blanda de una parte del cuerpo, ocasionada por la serosidad infiltrada en el tejido celular), en los pulmones, con consecuencias fatales.

Los primeros auxilios que corresponden aplicar son descanso completo, calentamiento y administración de oxígeno (no dar anhídrido carbónico a menos que el paciente no respire).

CAPITULO II

PRINCIPIOS Y EQUIPOS FUNDAMENTALES EN EL MANEJO DE EXPLOSIVOS

En el uso de los explosivos es donde posiblemente vayan más unidos los conceptos de productividad y seguridad. Un uso inadecuado de los explosivos, ya sea por mala elección, deficiente planificación del disparo, o mal manejo, significa pérdida de efectividad y aumento de los riesgos en las operaciones posteriores.

Estos riesgos han hecho necesaria la comunidad de intereses entre usuarios y fabricantes de explosivos a fin de obtener los mejores y más seguros métodos de uso y fabricación. Estos métodos de uso tienden a eliminar las acciones inseguras que pudieran cometer las personas que manejan los explosivos y a disminuir las condiciones inseguras que, por su propia razón de ser, son inherentes a los materiales explosivos.

En cuanto al personal, existen tres principios fundamentales para evitar accidentes en los trabajos de tronadura.

1er Principio: Mientras menor sea el número de personas que manejen los explosivos, menores serán los riesgos de accidentes.

Para ello es necesario establecer una buena distribución del trabajo y una cuidadosa organización de las operaciones. *Debe haber una sola persona encargada de cada uno de los polvorines principales y una sola en cada polvorín de distribución, y nadie más debe tener autorización para recibir o entregar explosivos o detonadores.*

En las faenas habrá que designar, con exactitud, las personas que tengan a su cargo las tareas de acarrear explosivos, de transportar detonadores, de abrir las cajas, de cargar, de cebar, de taquear, de conectar los circuitos y hacer los disparos. Todos los integrantes deben saber con certeza cuál es el trabajo

que le corresponde a cada uno de ellos, de manera que éste se ejecute en forma precisa y ordenada y sin que haya titubeo respecto a las tareas designadas. Además, debe prohibirse terminantemente la presencia de personas ajenas al trabajo.

2do Principio: Los operarios que manejen explosivos deben ser elegidos entre aquellos que posean características personales especiales, conocimientos y experiencia.

El buen sentido, la inteligencia y los conocimientos sobre explosivos, deben ser las cualidades que primen en una selección del personal que realizará las operaciones.

Muchas de las personas con experiencia en operaciones de tronadura poseen el buen juicio y los conocimientos necesarios, en virtud de que habitualmente manejan los explosivos con destreza y discreción, en cambio, otras necesitan instrucciones y supervisión constante. A un hombre completamente inexperto en el oficio no se le debe ocupar o, si ello es indispensable, se le debe adiestrar y dar instrucciones bien definidas antes de permitírsele manejar explosivos. Se le debe iniciar en el trabajo con una supervisión cuidadosa y experimentada hasta que demuestre que puede confiarse en él.

Las personas que están acostumbradas a usar explosivos pero que, por ignorancia, negligencia o temeridad, adoptan prácticas peligrosas, constituyen el más grave problema. Si una persona es descuidada (hasta llegar al atrevimiento) y no está dispuesta a enmendarse, mientras más pronto se le impida todo contacto con los explosivos, mayor será la seguridad general.

Existen varios sistemas para el adiestramiento del personal. Entre ellos se pueden indicar los siguientes:

- a) cursos de adiestramiento
- b) reuniones de seguridad
- c) instrucciones dadas directamente por un supervisor inmediato
- d) carteles o letreros con reglas de seguridad.

3er Principio: Siempre debe insistirse en el cumplimiento de las reglas de seguridad.

A los trabajadores no sólo hay que enseñarles las prácticas de seguridad sino que debe exhortárseles a observarlas, lo que requiere una supervisión estricta.

Mucho se puede lograr fomentando entre el personal el espíritu de responsabilidad colectiva de seguridad y estimulando una amistosa competencia, entre operarios o grupos de ellos, a fin de disminuir los accidentes.

Deben hacerse inspecciones periódicas de las obras, para determinar los peligros existentes e idear sistemas o medios para evitar riesgos innecesarios y enseñar a los operarios la manera de evitar los accidentes provenientes de los riesgos que no puedan eliminarse.

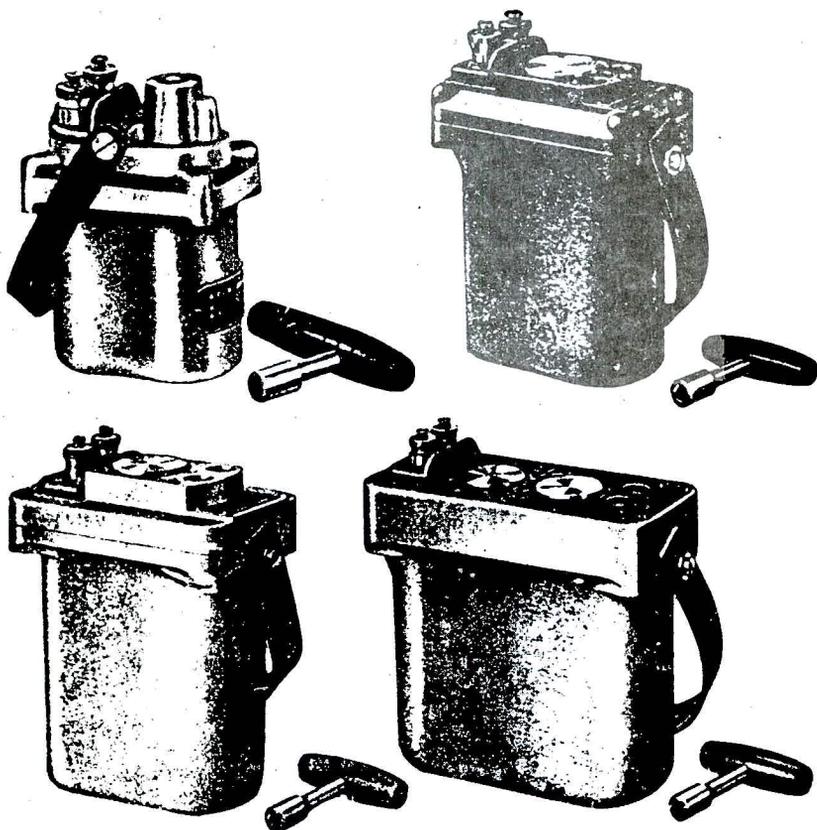
Para evitar las condiciones inseguras en el manejo de explosivos deben utilizarse sólo dispositivos y equipos recomendados por los propios fabricantes.

Equipos e instrumentos.

Máquinas eléctricas detonadoras de estopines.

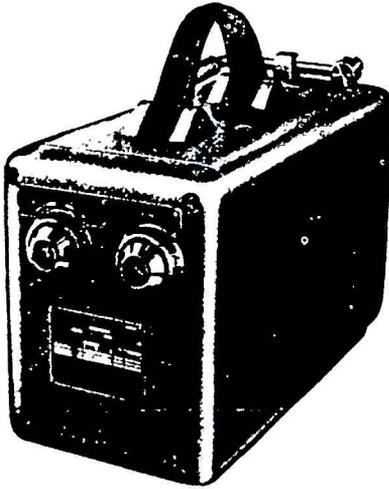
Cuando un disparo se prepara para iniciarlo eléctricamente, debe contarse con una *fente de poder* que suministre la cantidad adecuada de corriente para hacer actuar los *detonadores eléctricos*. Esta función la cumplen las máquinas detonadoras o explosoras.

Las más conocidas, por ser las más antiguas, son las del tipo generador de corriente por acción manual, que son fabricadas de diferentes capacidades para accionar desde 10 a 450 detonadores conectados en serie. Su funcionamiento se consigue por medio de una vigorosa torsión de la manivela, en las de menor capacidad, y con una palanca que debe presionarse fuertemente, en movimiento descendente, en las de capacidad intermedia, o por un mecanismo de cuerda, en las de mayor capacidad.



La corriente eléctrica que estas máquinas proporcionan, en el total de su voltaje y amperaje, fluye hacia el circuito sólo cuando se ha dado la vuelta total de la manivela o una vez que se ha completado el recorrido descendente de la cremallera. Por esta razón se recomienda que ambos movimientos sean hechos en forma enérgica.

Las explosoras, tipo "Descarga de Condensadores", son máquinas más modernas y su funcionamiento consiste en producir, en un banco de condensadores, una acumulación de corriente eléctrica proporcionada por una serie de baterías, lo que les permite enviar al circuito del disparo, corrientes de 120 a 5.000 volts, según sea el modelo que se use.



- Las ventajas más destacadas en este tipo de máquinas son:
1. alta capacidad en relación a su peso y tamaño
 2. ausencia de partes dotadas de movimientos
 3. eliminación del factor humano en su funcionamiento, como sucede en las máquinas de tipo mecánico.
 4. señalización visual (luz piloto) que indica la oportunidad para su uso
 5. interruptores que permiten su funcionamiento sólo en el momento oportuno
 6. las máquinas de mayor capacidad pueden ser usadas para accionar detonadores especiales.

Todas las ventajas que hemos indicado, inciden en una mayor seguridad de operación.

Aparte de los modelos fabricados para uso corriente, con capacidades para disparar desde 20 detonadores en serie directa hasta 3.000 conectados en series paralelas, existe otro tipo especial que se emplea para disparar estopines especiales de seguridad.

Cada tipo de máquinas explosoras dispone de equipos probadores especiales. Debe adoptarse la costumbre de probar el estado de la máquina antes de usarla, como una práctica corriente.



Probador

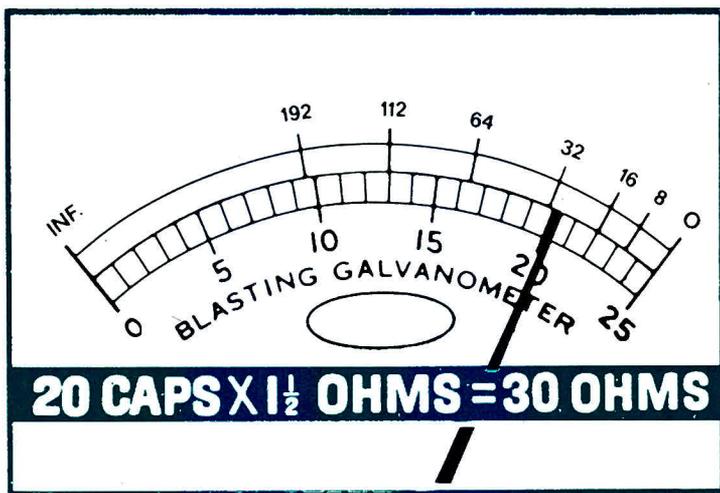
Interruptores de corriente eléctrica. Cuando no se dispone de máquina detonadora y se recurre a usar la corriente de alumbrado, se deberán utilizar interruptores de contacto y de interrupción rápida.

Cuando se desee seccionar los circuitos y poner los conductores en cortocircuito, con el objeto de evitar la circulación de corrientes extrañas por los estopines, mientras se realizan las conexiones, se usan interruptores seccionales.

Baterías. En algunos trabajos de túneles se utiliza la corriente eléctrica de las baterías que mueven los equipos. Este método de disparo eléctrico no da mucha seguridad, debido a que se desconoce la carga, en el momento mismo del disparo y si el voltaje es insuficiente, puede dar lugar a fallas de tiros.

Instrumentos de prueba.

a) *Galvanómetro:* Este instrumento es de gran importancia en todos los disparos de fulminantes eléctricos y sirve para probar los estopines eléctricos individualmente. Además, comprueba la continuidad de un circuito; localiza conexiones defectuosas o alambres rotos; determina la resistencia de los circuitos, comprobando si se encuentran en correctas condiciones para el disparo.

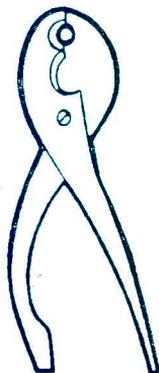


La corriente que proporciona la pila utilizada en el galvanómetro es menor que la décima parte de la que se requiere para detonar un estopín eléctrico. Esta pila debe ser *reemplazada* solamente por *otra del mismo tipo*, pues tratar de adaptarle un tipo diferente, puede acarrear serias consecuencias.

b) Voltómetro: Es una combinación de voltmetro y óhmetro de gran sensibilidad, que permite detectar y medir corrientes de fuga de muy bajo voltaje, realizando, además todas las operaciones del galvanómetro en disparos eléctricos. Para su funcionamiento usa una pila especial de cloruro de plata similar a la del galvanómetro.

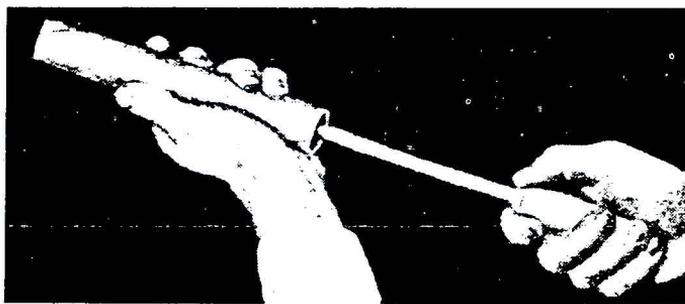
Accesorios varios.

a) Alicates de seguridad: herramienta de primordial importancia en la preparación de los cebos. Están fabricados de aleaciones que no producen chispas y sirven para abrir los agujeros en los cartuchos de dinamita y realizar, con absoluta seguridad, la peligrosa operación de fijar los fulminantes corrientes a la mecha o guía.



Alicate de Seguridad

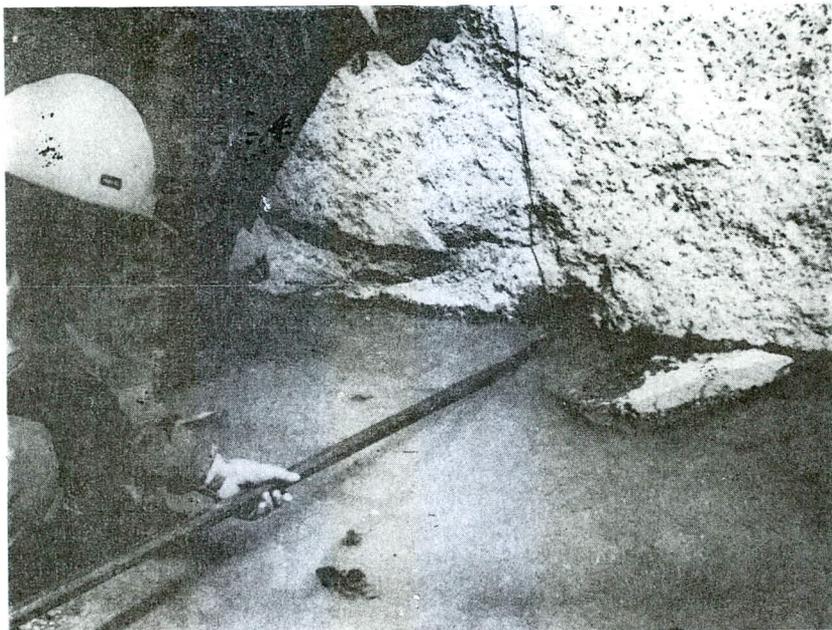
b) Punzones: los punzones son contruidos de madera, bronce o cobre y realizan el trabajo de abrir los agujeros en los cartuchos de dinamita, donde es colocado el fulminante o estopín. El largo y diámetro de ellos es determinado por el tipo de detonadores usados.



Punzón de madera para dinamita

c) Cucharas: las cucharas son herramientas contruidas de *cobre o bronce*, de 2 a 3 metros de largo y que sirven para limpiar las perforaciones. Una punta tiene la forma de una cuchara alargada y la otra aguzada. La primera es usada para retirar piedrecillas o materiales sueltos de los barrenos y la otra para retirar cartuchos atascados, (esto no es recomendable).

En la fabricación de las cucharas, por razones obvias, "nunca debe usarse hierro u otro material que produzca chispas". También debe tenerse la precaución de no golpear el cebo con la cuchara, ya que aquel es sumamente sensible a los golpes.



d) Taqueadores: son varas cilíndricas de madera (el coligüe ha dado muy buenos resultados por su mayor resistencia). También se están utilizando de plástico endurecido

La función de los taqueadores es empujar los cartuchos en el interior de las perforaciones. No debe entrar ningún metal ferroso en su construcción.

e) Alambres conductores: la función de los alambres conductores es llevar la corriente eléctrica desde la fuente generadora a los estopines, para hacerlos detonar. Con el fin de evitar corrientes extrañas o fugas de la corriente del disparo, deben estar completamente aislados.

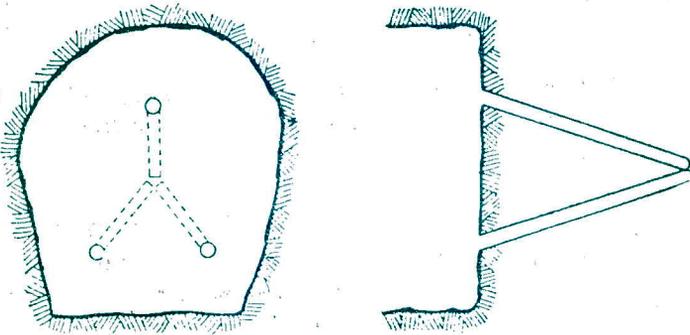
CAPITULO III

APLICACION DE LOS EXPLOSIVOS

1. Principios de las caras libres

En toda tronadura, para lograr el máximo rendimiento de los explosivos, es necesario tener una cara libre, o bien, crearla de tal manera que la fuerza del explosivo vaya dirigida al lado o cara que presente menor resistencia. En tronaduras de labores a tajo abierto y donde ya los bancos están formados, esto no es ningún problema; diferente es lo que ocurre en labores subterráneas o en obras civiles, tal como aquellas para abrir inicialmente un canal o para abrir socavones, galerías, etc. Estas tienen un solo frente de ataque y, generalmente, de dimensiones reducidas.

El primer paso y a la vez el más difícil, tratándose de abrir un frente es hacer una abertura inicial en la pared sólida, generalmente en el centro de ésta y tan profunda como sea práctico avanzar en una sola barrenación. Esta abertura inicial (cuña o rainura) es la que servirá para crear la cara libre al resto del disparo.



Generalmente, en una tronadura se tiene en el frente una cara libre de roca paralela a las perforaciones o barrenos. Cuando las ondas de compresión se reflejan contra esta cara libre, se originan fuerzas de tensión que pueden producir un descostramiento de parte de la roca próxima a la superficie.

El proceso es el mismo que cuando se golpea en un extremo una fila de bolas de billar; el golpe se transmite de bola a bola hasta que la última sale disparada con toda la fuerza. Esto también sucedería si las bolas estuvieran ligeramente cementadas.

2. Fragmentación de rocas.

Cuando un explosivo detona dentro de una perforación, se crea una "onda explosiva de choque" que se transmite a través de la roca. La magnitud y forma de ésta onda depende de varios factores, tales como:

- tipo de explosivo usado
- tipo de roca (clasificación)
- largo de la columna explosiva
- confinamiento
- número de puntos de iniciación
- relación entre la velocidad de detonación y velocidad de la onda de propagación de la roca.

Dependiendo del tipo de roca, esta onda explosiva de propagación se desplaza en la roca a una velocidad de 10.000 a 20.000 pies/seg. (3.300 a 6.700 mts/seg).

En rocas duras, la velocidad de la onda de propagación es más rápida que en rocas blandas.

En casi todas las situaciones de tronadura, la mayor parte de las fracturaciones producidas en la roca son del tipo radial, partiendo desde la perforación y asociadas con los efectos de la onda de propagación que produce el descostramiento al ser reflejada.

3. Movimientos de rocas

El proceso de fragmentación ocurre en un tiempo relativamen-

te corto; el proceso de movimiento o desplazamiento sin embargo, es muy diferente. Mediciones en labores subterráneas y a tajo abierto, han demostrado que el movimiento de la roca quebrada es mucho más lento.

Este largo período de desplazamiento juega un rol muy importante en los disparos con retardo y por lo tanto es fundamental una adecuada selección del período de retardo a usar.

Principalmente en labores subterráneas, el material removido por el primer barreno disparado, debe desplazarse antes que salga el disparo del segundo barreno, con el objeto de que éste material pueda desplazarse sin obstáculos y así sucesivamente.

4. Proceso de tronadura

La fragmentación y el movimiento de rocas se pueden comprender mejor al repasar los procesos de una voladura, que han sido puestos en evidencia por medio de modernas técnicas fotográficas. Estos procesos en promedio, son los siguientes:

En el caso de un disparo aislado, el explosivo reacciona dentro de un período de tiempo de alrededor de 2 a 3 milisegundos después de ser iniciado.

Después de 3 a 4 milisegundos de dar fuego aparecen las primeras grietas en la superficie. Después de 8 a 20 milisegundos se desprenden los primeros escombros de la frente y el gas producido por la reacción del explosivo empieza a salir entre el taco y la pared del barreno.

Después de 30 a 40 milisegundos, las grietas se han extendido y ensanchado mucho y el material empieza a moverse. Transcurridos de 60 a 80 milisegundos, toda la roca que se quiere romper se desprende gradualmente y los materiales se mueven con una velocidad de varios m/seg.

5. Aprovechamiento de las caras libres

Estos antecedentes permiten comparar los disparos según el tipo de detonador a utilizar:

Los detonadores instantáneos, se inician y explodian simultáneamente. Esto da por resultado una explosión violenta en caso de usarse varios detonadores y una baja efectividad por falta de caras libres.

Comparemos ahora los resultados obtenidos con los detonadores de retardo, a la luz de estos antecedentes:

– *Serie con detonadores instantáneos*: por efectos de la adición de los disparos vecinos, el tiempo requerido para el proceso se retrasa alrededor de 10 a 20 milisegundos y la roca se desprende entre 40 a 50 milisegundos. En vista de esto, los efectos se producen en dos fases:

– un estado de tensión y vibración de la roca por la onda explosiva inicial, inmediatamente después de la toma de fuego. Este estado favorece el movimiento de la roca que rodea el barrenado.

– la fase de acción directa sobre la roca; es decir, cuando rompen por los gases creados durante la reacción del explosivo.

– *Serie con detonadores de medio segundo*: cuando se da fuego a una serie de disparos con intervalos relativamente largos, durante los cuales la roca a partir permanece totalmente inactiva, los procesos que tienen lugar después de cada disparo son los mismos que se producen después de un disparo individual, salvo que cada disparo expone una superficie adicional a la acción del siguiente. Es decir se pierde gran parte del efecto combinado.

– *Serie con detonadores de micro retardo*: este nombre corresponde a los detonadores cuya diferencia de retardo es igual o menor que 80 milésimas de segundo. Al usar estos micro-retardos cada disparo individual se efectúa cuando la roca vecina está todavía bajo tensión y vibración producida por las ondas iniciales del disparo precedente. Es decir, el primer disparo actúa como un disparo aislado, produciendo en la roca adyacente al disparo segundo, el estado de tensión y vibración ya mencionado. Por lo tanto, el segundo disparo actúa como en una roca preparada, por lo que su efecto resulta amplificado. En el instante que actúa el disparo N° 2, la roca que debe ser rota

por el disparo N° 1 no se ha desprendido todavía. Este desprendimiento se favorece por la acción de la presión de los gases producidos en el segundo disparo, por lo que la roca se desintegra en trozos más pequeños. En forma similar el disparo segundo prepara la roca para el disparo tercero, etc. sumándose los respectivos efectos.

Esto da por resultado:

1. mejor rendimiento del explosivo
2. mayor trituración de la roca
3. control de dispersión del escombros
4. evita sacudones y destrucciones innecesarias.

Otra gran ventaja del micro-retardo es que evita totalmente cortes entre los disparos, como es posible que ocurra cuando se hace la voladura con detonadores de medio segundo.

Los intervalos óptimos de retardo dependen de varias condiciones tales como: dureza y estructura de la roca, espaciamiento de las perforaciones, tipos del explosivo, tamaño del barreno, diseño del disparo y resultados deseados.

La experiencia indica que los *intervalos menores se recomienda para rocas duras y firmes, mientras que para blandas, y/o quebradas, se emplearán retardos mayores.*

Los detonadores micro-retardos actualmente se fabrican con retardos de 20, 25, 40 y recientemente, 80 milisegundos.

Este último tipo ha sido fabricado debido al gran aumento de trabajos camineros, y en especial de túneles. Expresan los fabricantes que retardos de 80 milisegundos proporcionan paredes más lisas de los túneles, o sea, perfiles más limpios. Son especialmente recomendados en el caso de perforación simultánea de dos túneles en paralelo o cuando se trate de abrir un túnel cercano a otro ya existente o en obras en que las vibraciones o sacudones pudieran causar daños.

MARCOS CAMPOS VEGA
Ingeniero de Ejecución en Minas
Experto Profesional en Prevención de Riesgos

INDICE

EXPLOSIVOS

TECNICAS

CAPITULO I

CONOCIMIENTOS BASICOS

1.	Introducción	4
2.	Origen de Explosivos e iniciadores	4
3.	Composición y Clasificación de los Explosivos	8
3.1	Composición	8
3.1.1	Balance de Oxígeno	9
3.2	Clasificación de los Explosivos	11
3.2.1	Pólvoras	11
3.2.2	Dinamitas	12
3.2.2.1	Dinamita Especial	12
3.2.2.2	Gelatina Especial	13
3.2.2.3	Explosivos Permisibles	14
3.2.3	Agentes Explosivos Nitro-Carbo	
Nitratos		14
3.2.4	Slurries	15
3.2.5	Iniciadores y rompedores APD	17
4.	Sistemas de iniciación	18
4.1	Iniciar cargas explosivas	19
4.1.1	Detonadores comunes	19
4.1.2	Detonadores de retardo PRIMADET	19
4.1.3	Detonadores eléctricos o estopines	21
4.2	Proporcionar o transmitir la fuente de calor	24
4.2.1	Mecha o guía	24
4.2.2	Cordones repartidores de encendido	25
4.3	Llevar la onda detonante	26
4.3.1	Cordón Detonante	26

4.3.2	Conectores de Retardo MS	27
5.	Propiedades de los explosivos	28
5.1	Transformación	28
5.2	Características	29
5.2.1	Características Físicas y químicas	29
5.2.2	Características Técnicas	
5.2.2.1	Teóricas	30
	Calor	30
	Concentración energética	30
	Volumen específico	31
	Temperatura de explosión	31
5.2.2.2	Prácticas	31
	Potencia o fuerza	31
	Relación potencia "en peso" y "en volumen"	33
	Velocidad de detonación	34
	Densidad	35
	Presión de detonación	35
	Sensibilidad	37
	Resistencia al agua	37
	Producción de gases	38

CAPITULO II

Principios y Equipos fundamentales en el manejo de explosivos		41
1er. Principio	menos personal menos riesgos	41
2do. Principio	buena elección del personal	42
3er. Principio	cumplimiento de normas e instrucc- iones y uso de equipos aprobados	42
– Equipos e Instrumentos		43
– Máquinas eléctricas detonadoras de estopines		43
– Interruptores de corriente eléctrica		46
– Baterías		46

— Instrumentos de prueba	46
a) galvanómetros	46
b) voltmetro	47
— Accesorios Varios	47
a) Alicates de seguridad	47
b) Punzones	48
c) Cucharas	48
d) Taqueadores	49
e) Alambres conductores	49

CAPITULO III

Aplicación de los Explosivos	50
1. Principio de las Caras Libres	50
2. Fragmentación de Rocas	51
3. Movimientos de Rocas	51
4. Proceso de Tronadura	52
5. Aprovechamiento de las Caras Libres	52
— serie con detonadores instantáneos	53
— serie con detonadores de medio segundo	53
— serie con detonadores de micro retardo	53

BIBLIOGRAFIA

Decreto 50. Reglamento Complementario Ley 17.798 Control de Armas y Explosivos.

Ministerio de Defensa Nacional.

Reglamento de Policía y Seguridad Minera.

Ministerio de Minería.

Normas INDITECNOR.

Instituto Nacional de Normalización

Reglamento de Explosivos.

Empresa Nacional de Electricidad S.A.

Carguío y Tronadura.

Empresa Nacional de Electricidad S.A.

Explosivos, Tronadura y Seguridad en su uso.

Alejandro Vigoroux A.

Normas de Seguridad para el transporte, manejo y uso de explosivos.

Sociedad Minera El Teniente.

Técnicas de Tronadura en Perforación de Túneles.

Empresa Nacional de Electricidad S.A.

Informaciones Técnicas.

Empresa Nacional de Explosivos S.A.

Información Técnica.

IRECO - CHILE.

Práctica de la pega eléctrica.

Schaffler & Co.

Informaciones Técnicas.

Schaffler & Co.

Cordón Detonante Primacord

Detonantes Nacionales S.A.I.C.



Autor.: Mutual de Seguridad

Título: Explains - Tecnicos.

Nº top.: 2030