

# **VOLADURAS CON EXPLOSIVOS. CARGAS EXPLOSIVAS. MÉTODOS Y MEDIOS DE EXPLOSIÓN.**

**Ing. Agustín Alfonso Posada<sup>1</sup>**

*1. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Autopista Matanzas-Varadero km 3 y 1/2, Matanzas, Cuba.*

## **RESUMEN.**

El artículo Voladuras con Explosivos está formado por varias partes, en el primer artículo se trataron las maquinarias que se utilizan para demoler rocas, sea con equipos en pequeñas cantidades o con equipos barrenadores para su voladura con explosivos, además se dieron a conocer los principales tipos de explosivos que se utilizan en las voladuras, desde el punto de vista de su empleo, en esta monografía se tratan las cargas explosivas y los métodos y medios de explosión. Posteriormente se tratarán otros temas como: voladuras en tierra y rocas y las reglas de seguridad que hay que observar en los trabajos de voladuras. De esta forma se integran contenidos referentes a esta materia, que generalmente se encuentran dispersos en distintas fuentes, enriquecidos por la experiencia del autor.

*Palabras claves:* Voladuras; explosivos; maquinarias.

## **INTRODUCCIÓN.**

Luego de trabajar por más de 37 años la ingeniería civil y tener la oportunidad de hacerlo en obras relevantes, entre las que podemos mencionar la remodelación del Ferrocarril Central La Habana-Santiago de Cuba, en los tramos Matanzas-Limonar y Mocha-Aguacate; la construcción del Aeropuerto Internacional de Point Salines en la Isla de Granada y el Viaducto de la Bahía de Matanzas, donde se realizaron en total más de 2 millones de m<sup>3</sup> de excavación en roca con explosivos, hemos podido percibir que no contamos con una documentación que recoja todo lo referente a la voladura con explosivos, por lo que reestudiamos la bibliografía existente, que unida a la experiencia adquirida en años de trabajo, permite elaborar varios artículos a razón de lograr un compendio sobre esta temática, recurso tan necesitado por los ingenieros en las obras y los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, que aún estando lejos de recopilar toda la documentación existente, mejora el compendio con que contamos.

A este respecto es entonces el objetivo de esta monografía “barrenar el cerebro” de los ingenieros y estudiantes de 4to año de Ingeniería Civil, introducir en ellos el “explosivo” de los conocimientos y lograr la “explosión” que les permita aplicarlos en las obras y contar con una documentación que les permita aclarar sus dudas cuando lo necesiten al afrontar los casos que se les presenten al respecto.

El tema general a tratar es: **VOLADURAS CON EXPLOSIVOS**. Antes de hablar de las técnicas de voladuras, para su correcta comprensión, debemos estudiar primero los equipos rompedores y barrenadores, (donde se introducen los explosivos), los explosivos, las cargas explosivas y los métodos y medios de explosión.

En este artículo como explicamos en el resumen, trataremos las cargas explosivas y los métodos y medios de explosión, posteriormente en otros artículos completaremos toda la materia que abarca la voladura con explosivos.

## **DESARROLLO.**

### LAS CARGAS EXPLOSIVAS.

Se llama carga explosiva a una determinada cantidad de explosivo preparado para realizar una voladura.

El peso de la carga depende de la cantidad del explosivo y de las dimensiones o volumen del objetivo a volar y en este caso se determina mediante el cálculo específico para cada caso.

La forma de las cargas, dependen teniendo en cuenta las particularidades del objeto a volar y las condiciones en que se han de realizar los trabajos.

Las cargas se clasifican por su forma en: **concentradas, alargadas, ajustadas a la sección a volar y acumulativas (alargadas y concentradas).**

Atendiendo a la disposición de las cargas con respecto al objetivo a volar, se clasifican también en: **interiores o exteriores.**

Se llaman cargas interiores a las que se colocan dentro de los objetivos a destruir, y exteriores a las que se colocan en la superficie exterior de los objetivos o a cierta distancia de ellos.

- **Las cargas concentradas.** Deben semejarse por su forma a un cubo o paralelepípedo cuya longitud no debe exceder a su menor dimensión transversal en más de 5 veces. Las cargas concentradas pueden prepararse in situ o venir preparadas del almacén o la fábrica.

Las cargas concentradas que se preparan in situ constan de bloques o de explosivo en polvo empaquetado con una u otra envoltura y atado con cuerda. Las cargas preparadas con bloques de TNT pueden carecer de envoltura, pero es necesario atarlas.

- **Las cargas alargadas.** Tienen la forma de cilindros o paralelepípedos alargados, cuya longitud es 5 o más veces mayor que su dimensión transversal mínima. Se pueden preparar in situ o venir preparadas.
- **Cargas ajustadas a la sección de rotura.** Se emplean para destruir diversas estructuras de perfil complicado; su forma es diversa y se confeccionan de tal manera que frente a las piezas más resistentes de la estructura haya mayor cantidad de explosivo.

Puede emplearse TNT o explosivos plásticos para este tipo de cargas.

- **Cargas acumulativas.** Se emplean para abrir brechas en las obras, sean militares o civiles, para cortar planchas metálicas de mucho espesor, etc. Pueden construirse in situ, o venir hechas de fábrica.

### MÉTODOS Y MEDIOS DE EXPLOSIÓN.

Para la explosión de cargas explosivas se emplean los siguientes métodos:

1. **Pirotécnico.**

## 2. **Eléctrico.**

## 3. **Mecánico.**

En cada uno de los métodos pueden emplearse la explosión por medio del cordón detonante y por simpatía (detonación a distancia). Aunque el mas recomendable es en el pirotécnico.

El método mecánico de explosión se emplea en gran escala en los mecanismos de diversas minas. En los trabajos de destrucción no se emplea como regla este método, por lo que no será tratado en estas conferencias.

1. **Método pirotécnico de explosión.** Se emplea para hacer explotar cargas aisladas, y varias cargas en tiempos diferentes siempre que la explosión de una de ellas no perjudique a las otras.

Para realizar la explosión por el método pirotécnico es necesario disponer de:

- Capsulas detonantes.
- Mecha lenta.
- Encendedores mecánicos o por frotamiento.
- Yesca impregnada o nitrato de potásico.
- Fósforos corrientes o especiales (impregnados con nitrato potásico).

✚ **Capsulas detonantes.** Se emplean para iniciar la detonación de cargas explosivas, ya que los explosivos distintos de la pólvora no detonan por la acción del fuego, por lo que es necesario hacer estallar en su contacto inmediato una carga pequeña de un explosivo muy potente. La mas empleada es la capsula No 8, que consta de una vaina cilíndrica de aluminio, abierta por un extremo, en cuyo fondo va prensado un explosivo rompedor de alta potencia (tetnil, PETN o hexógeno). Encima del explosivo rompedor se hallan los explosivos iniciadores (azida de plomo y teneres). La carga de la capsula detonante No 8 se cubre por encima con una caperuza de aluminio que tiene en el centro un orificio cubierto con una redcilla de seda. También pueden emplearse otros tipos de capsulas que varían la vaina, la caperuza, el explosivo iniciador, etc.

Las capsulas detonantes explotan; a consecuencia de las chispas que produce la mecha lenta al arder (cuando la explosión se realiza por el método pirotécnico); a causa de la llama del cebo eléctrico (cuando la explosión se realiza por el método eléctrico); debido a la explosión del cordón detonante (en el caso que se utilice este al aplicar los métodos de explosión pirotécnico o eléctrico) y por ultimo debido a la acción de la onda explosiva (detonación por simpatía).

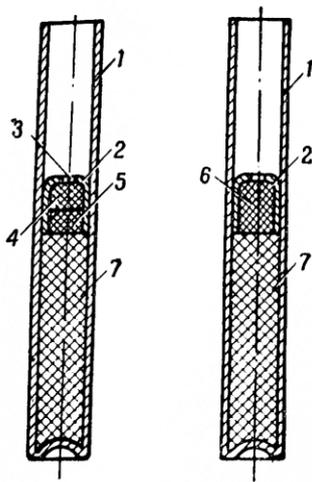
Hay que tener gran cuidado en el manejo de las capsulas detonantes, puesto que el explosivo violento (iniciador) que contiene puede explotar a consecuencia de choques y sacudidas, del roce y calentamiento, de su aplastamiento o de arañazos que pueden sufrir las capsulas.

La humedad inutiliza las capsulas detonantes y por eso es necesario guardarlas en lugares secos y separados de los depósitos de explosivos.

Vienen de fábrica en cajas metálicas o de cartón que contienen 100 capsulas cada una y en esta forma se guardan y transportan.

Las capsulas detonantes se consideran inservibles si se observa alguno de los defectos siguientes:

- ❖ Grietas a todo espesor y abolladuras que impidan colocar la mecha lenta en su vaina.
- ❖ Las paredes interiores de la vaina están manchadas con el polvo del explosivo violento por haberse salido de su recipiente.
- ❖ Corrosion en forma de grandes manchas o por toda la vaina



**Fig. 6. Capsulas detonantes.**  
1)---Vaina. 2)---Caperuza. 3)---Redecilla. 4)---Teñerés. 5)---Azida de plomo. 6)---Fulminato de mercurio. 7)---Tetril (PETN, hexógeno).

### ✚ La Mecha lenta.

Se emplean para inflamar las capsulas detonantes y las cargas de pólvora negra. Consta de un alma de pólvora con un hilo rector en el centro de la misma y varias envolturas trenzadas de cáñamo interiores y exteriores cubiertas con una sustancia impermeable. El diámetro exterior de la mecha lenta es de 5 a 6 mm.

Se fabrican entre otros, los siguientes tipos de mecha lenta:

1. Mecha con envoltura exterior de plástico de color blanco grisáceo.
2. Mecha con dos capas de breá de color gris, tirando a negro
3. Mecha embreada de color gris negruzco.

Las mechas con envolturas de plástico y con dos capas de breá se utilizan para realizar voladuras bajo el agua o en lugares húmedos. La mecha embreada puede emplearse solo en lugares secos donde esta excluido el humedecimiento.

La mecha lenta de todos los tipos viene preparada de fábrica en rollos de 10 m de largo y en esta forma se guarda en los polvorines y se transporta al lugar de utilización. La mecha lenta arde en

el aire a una velocidad aproximada de 1 cm por segundo; bajo el agua arde a una profundidad máxima de 5 m y con más rapidez que en el aire.

Hay que guardarla en lugares frescos y secos y preservarla:

- ✓ De la humedad, cubriendo sus extremos con cera, masilla o cinta aislante, pues de lo contrario la pólvora negra del alma se humedece y se estropea.
- ✓ Del calor, puesto que si la mecha se calienta demasiado pierde su hermeticidad debido a que se forman ampollas en su envoltura.
- ✓ Del contacto con aceites, grasas, gasolina o kerosene que dañan la envoltura.
- ✓ De los golpes que pueden lesionar la envoltura o destruir la continuidad del alma de pólvora.

Antes de utilizar la mecha lenta, hay que examinarla y si se observan en la superficie de su envoltura grietas, roturas, destrenzado, huellas de haberse mojado u otros desperfectos o defectos, hay que desecharla por inservible; es necesario cortar los extremos del rollo de mecha lenta en unos 10 o 15 cm antes de proceder a su empleo.

Para comprobar la velocidad a que arde la mecha lenta se corta un trozo de 60 cm y se determina con un cronometro el tiempo que tarda en arder. El trozo deberá estar ardiendo por un periodo entre 60 y 70 segundos.

#### **La yesca inflamable.**

Se emplea para dar fuego a la mecha lenta y consta de un haz de hilos de algodón o de lino, trenzados en forma de cordón de 6 a 8 mm de diámetro impregnado de nitrato potásico. La yesca arde a una velocidad de 1 cm durante 1- 3 minutos en dependencia de la fuerza del viento; cuanto más fuerte sople el viento, con más rapidez ardera la yesca.

Cuando se emplee la yesca inflamable hay que prestar especial atención a su buena unión con la mecha lenta, puesto que si la unión esta mal ejecutada puede fallar la inflamación de la mecha. Es necesario preservar siempre la yesca de la humedad.

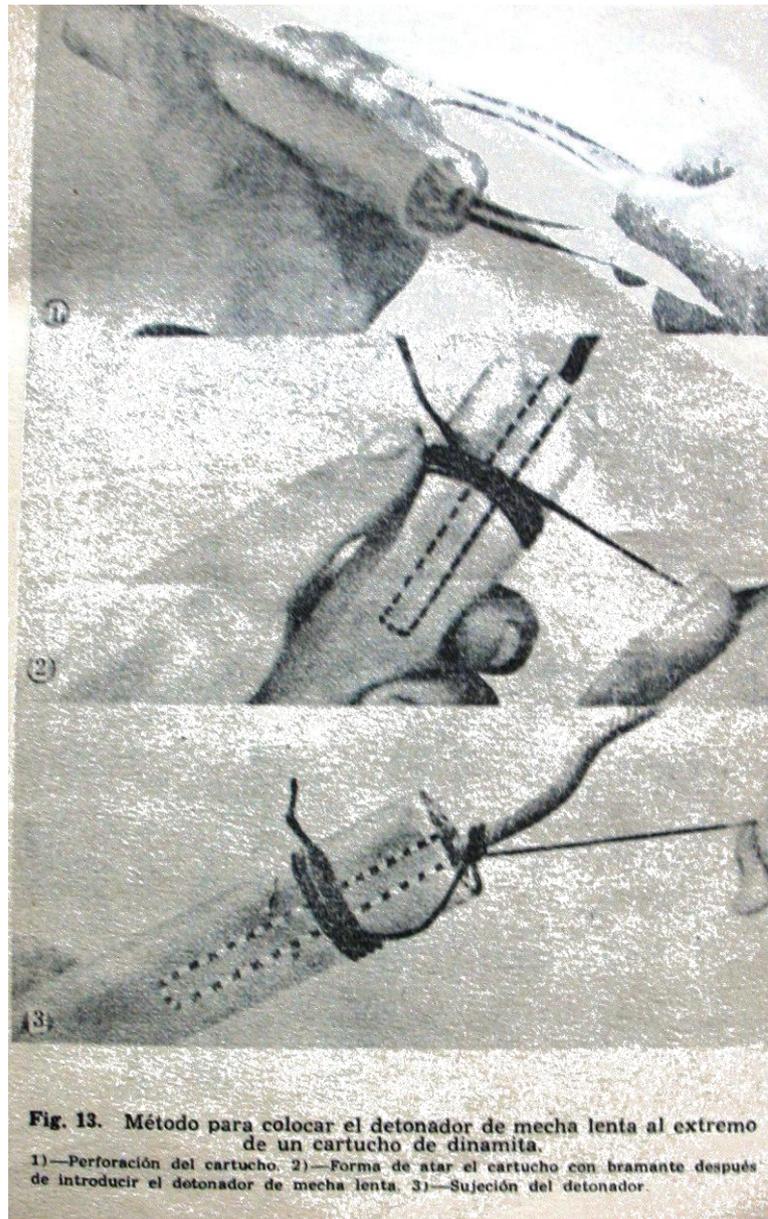
 **Cuando se emplea el método pirotécnico.** La explosión de las cargas se realiza por medio de detonadores que constan de capsula detonante y mecha lenta. Los detonadores pueden venir preparados de fabrica, pero lo mas corriente es que se preparen in situ. Si el detonador es de mecha lenta solamente, debe ser de 50 cm de longitud como mínimo; si se utiliza yesca, la longitud minima de la mecha lenta es de 10 cm.

Los detonadores se colocan en las cargas explosivas, solo después de fijar estas en los objetivos a destruir. Si las cargas son de TNT se procede de la manera siguiente:

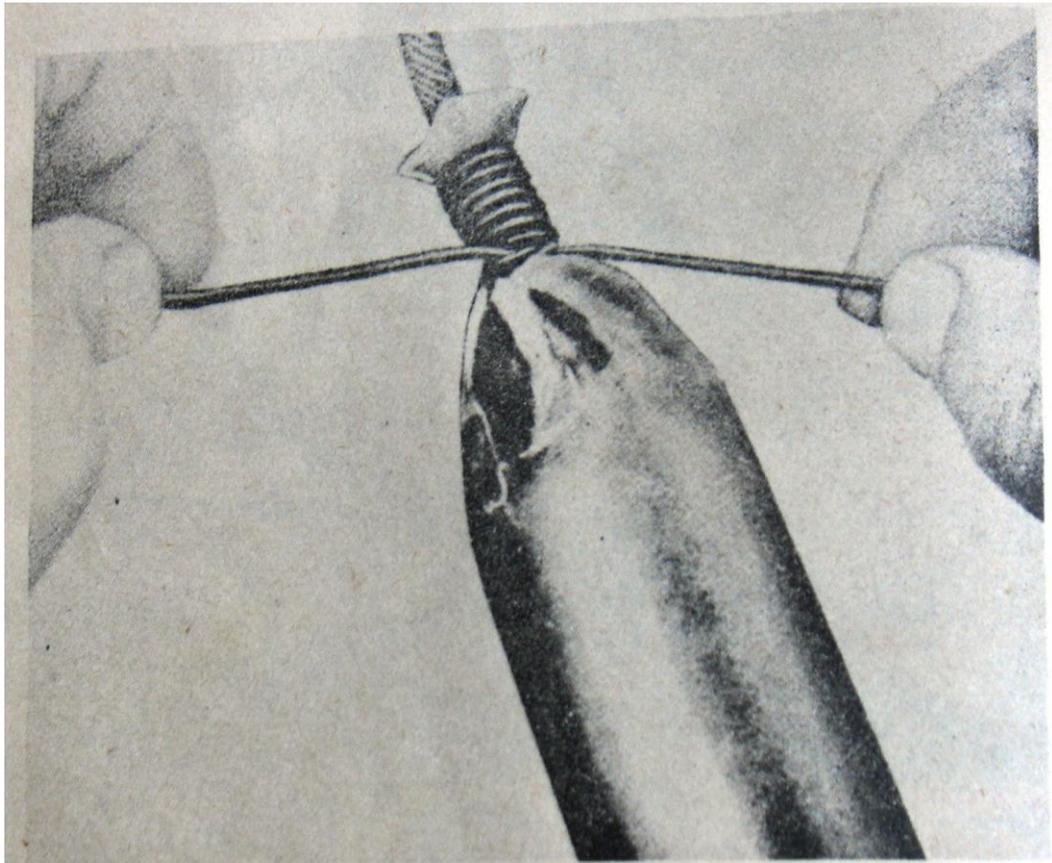
Se enroscan hasta el tope los detonadores a las cargas o bloques, si disponemos de detonadores de fábrica y de cargas o bloques con orificios roscados. En caso contrario se introducen las capsulas en los orificios y se atan los detonadores a las cargas o bloques. Se prohíbe fijar los detonadores a las cargas por medio de cuñas entre las capsulas detonantes y las paredes de los orificios de los bloques.

Cuando las cargas son de dinamita, se puede proceder de las cuatro maneras siguientes:

- ❖ Se toma un cartucho de dinamita y se perfora un agujero en uno de los extremos del mismo con la agarradera del alicate o con un punzón de madera. Este agujero debe ser lo suficientemente profundo para introducir la capsula detonante. Después se introduce la capsula del detonador en el orificio. A continuación se ata una cuerda alrededor del cartucho, cerca del extremo donde se ha introducido la capsula y se ata la cuerda alrededor de la mecha.



Se desenvuelve el papel de un extremo del cartucho, quitando la dinamita en unos 4 cm de longitud y practicando un orificio en el centro de la carga, donde se introduce la capsula detonante. Después se envuelve la parte suelta de la cubierta de papel alrededor de la mecha y se ata con una cuerda o cinta aislante.



**Fig. 14.** Método para colocar el detonador al extremo de un cartucho de dinamita.

- ❖ Las dos restantes son en vez de por el extremo, por el lado, pero no lo veremos aquí por ser de muy poco uso.

### **Explosión por medio de cordón detonante. (Mecha instantánea).**

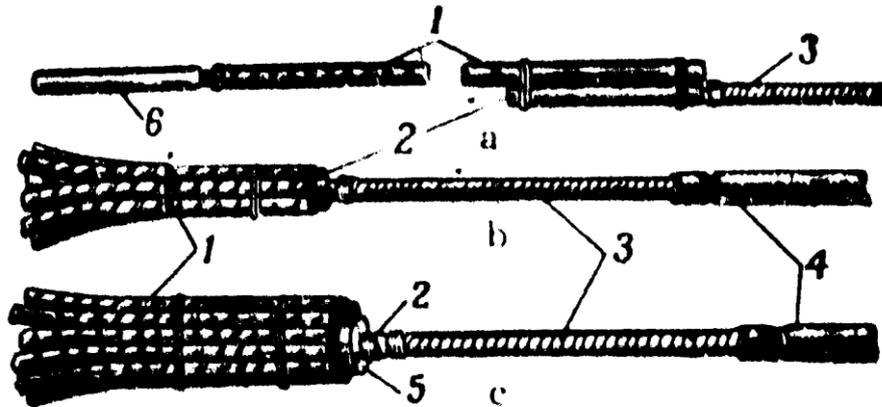
Se emplea para explotar simultáneamente varias cargas como sucede, por ejemplo, en la voladura de puentes, edificios, rocas, etc. El cordón detonante consta de alma, formada por un explosivo rompedor (PETN); 2 hilos rectores y varias envolturas trenzadas interiores y exteriores, cubiertas por una envoltura que lo protege de la humedad.

Los distintos tipos que existen se diferencian solo por la clase de aislamiento contra la humedad. El diámetro de todos los tipos es de 5 a 6 mm. Detona a una velocidad mínima de 6500 m por segundo. Hay que preservarlo contra posibles deterioros y roturas, así como de la humedad y el fuego. El cordón detonante puede quemarse y arde lentamente; los impactos de bala pueden hacerlo explotar.

El cordón detonante, que viene de fábrica en rollos de 50 m, se guarda con sus extremos cubiertos con masilla en locales secos y frescos, aparte de las materias y cargas explosivas. Los locales húmedos y templados contribuyen a que aparezca el moho en la superficie del cordón detonante.

Se prohíbe guardar el cordón detonante con la envoltura deteriorada; los trozos deteriorados hay que cortarlos y destruirlos. Se prohíbe tener cordón detonante expuesto al sol.

El cordón detonante explota con un detonador de mecha lenta, una carga explosiva o un detonador eléctrico. Con un detonador de mecha lenta o con un detonador eléctrico se pueden hacer detonar hasta 6 cabos de cordón detonante; cuando el número de cabos de cordón detonante sea mayor, resulta más cómodo atarlos a un bloque de TNT, que se explota con un detonador de mecha lenta o con un detonador eléctrico.



**Fig. 18. Explosión de cordón detonante.**

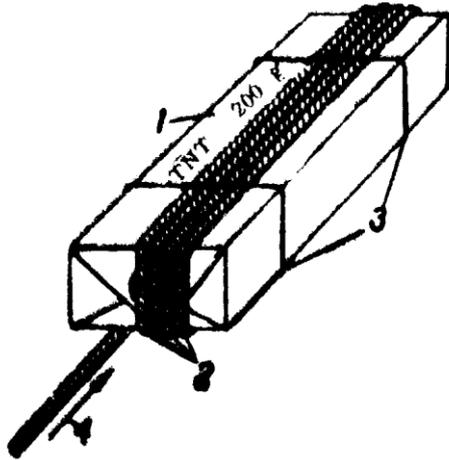
a)---Explosión de un cabo de cordón detonante. b)---Explosión de 2 a 6 cabos. c)---Explosión de más de 6 cabos. 1)---Extremos de cordón detonante. 2)---Cápsulas detonantes en los detonadores. 3)---Mecha lenta. 4)---Yasca inflamable. 5)---Bloque cilíndrico. 6)---Cápsula detonante que se introduce en la carga.

Los cabos de cordón detonante que se van a explotar se sujetan fuertemente con cinta aislante o bramante en toda la longitud de la capsula del detonador de mecha lenta, del detonador eléctrico o del bloque. Cuando hay mucha humedad en la atmosfera, o se realizan explosiones bajo el agua, es necesario aislar bien los extremos del cordón detonante con cinta aislante o con una masilla impermeable. El grado de impermeabilización del cordón detonante es distinto según las marcas. Por eso es necesario conocer las características de cada tipo de cordón para saber las horas que puede permanecer bajo el agua sin que pueda perder sus cualidades detonantes (este tiempo oscila entre 10 y 24 horas).

Los trozos de cordón detonante que se colocan en las cargas para hacerlas explotar llevan, como regla, en sus extremos capsulas detonantes en las que se introduce el cordón, asegurándolo de la misma manera que la mecha lenta al preparar los detonadores.

Con cordón detonante, sin capsulas, se pueden explotar cargas en polvo, como por ejemplo, las de nitrato amónico (amonitas, amonales, nitromiel, etc.) y también los explosivos plásticos. Con este fin se coloca en la carga explosiva un trozo de cordón detonante plegado 4 o 5 veces sin cruzarse.

Si es necesario, también se puede emplear el cordón detonante sin capsula para explotar capsulas de TNT prensado. Para ello se dan 4 o 5 vueltas al bloque con el cordón detonante procurando que este se apriete bien a las caras del mismo, que las vueltas estén en íntimo contacto y que no se crucen unas con otras.



**Fig. 19. Explosión de un bloque de TNT con cordón detonante sin cápsula.**

1)---Bloque pequeño de TNT. 2)---Cordón detonante. 3)---Bramante. 4)---Dirección de la detonación.

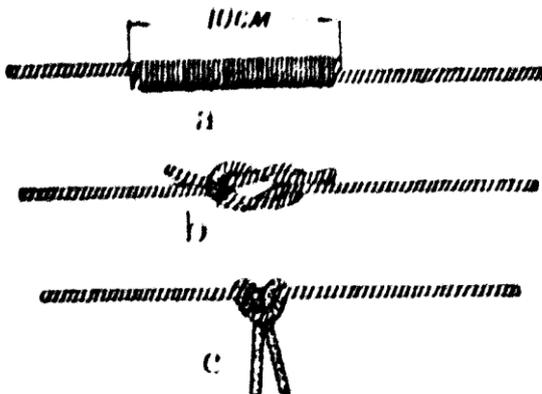
El cordón detonante se corta a la longitud necesaria con una navaja o cuchillo bien afilado, sobre madera, desenrollando previamente todo el carrete u parte de el, de forma que desde el lugar que se va a cortar hasta la parte desenrollada del cordón haya no menos de 10 m. Cada vez que se corte el cordón hay que limpiar la madera donde se ha cortado y el cuchillo de los restos del cordón que hayan quedado o por el contrario realizar cada corte en distinto lugar de la madera. Se prohíbe cortar el cordón detonante si lleva embutida la capsula.

**Los empalmes en el cordón detonante.** La unión de dos extremos de cordón detonante se llama empalme y pueden realizarse:

- Superponiendo los extremos.
- Con un nudo marino.
- Con doble lazada.

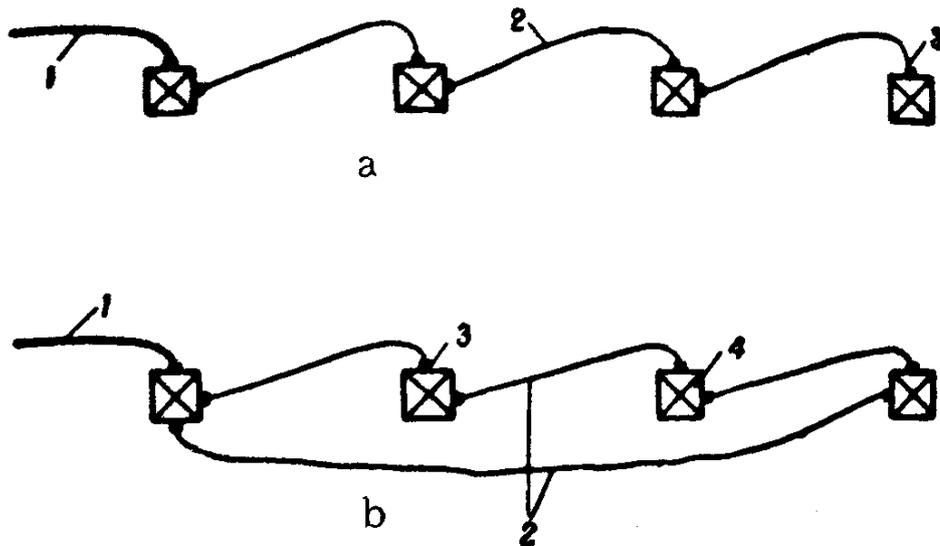
Los dos últimos empalmes hay que apretarlos, pero con cuidado para no deteriorar el alma del cordón detonante.

La unión de varios trozos de cordón detonante para hacer explotar simultáneamente varias cargas se llama **circuito**.

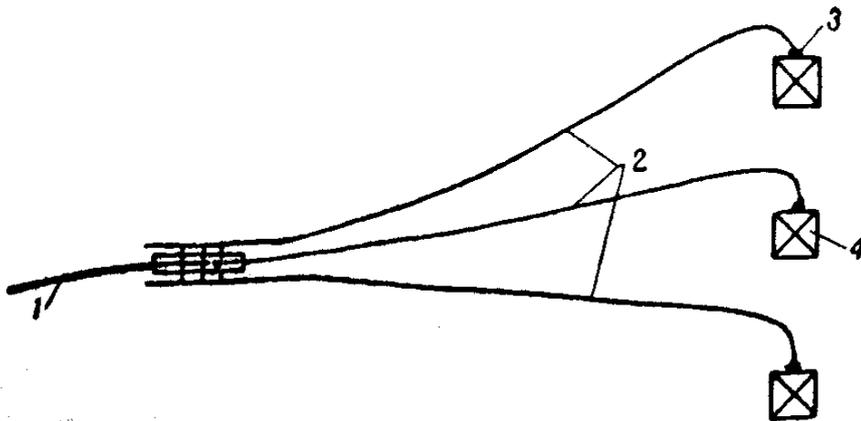


**Fig. 20. Empalmes de cordón detonante.**

a) Por superposición. b) Nudo marino. c) Doble lazada.

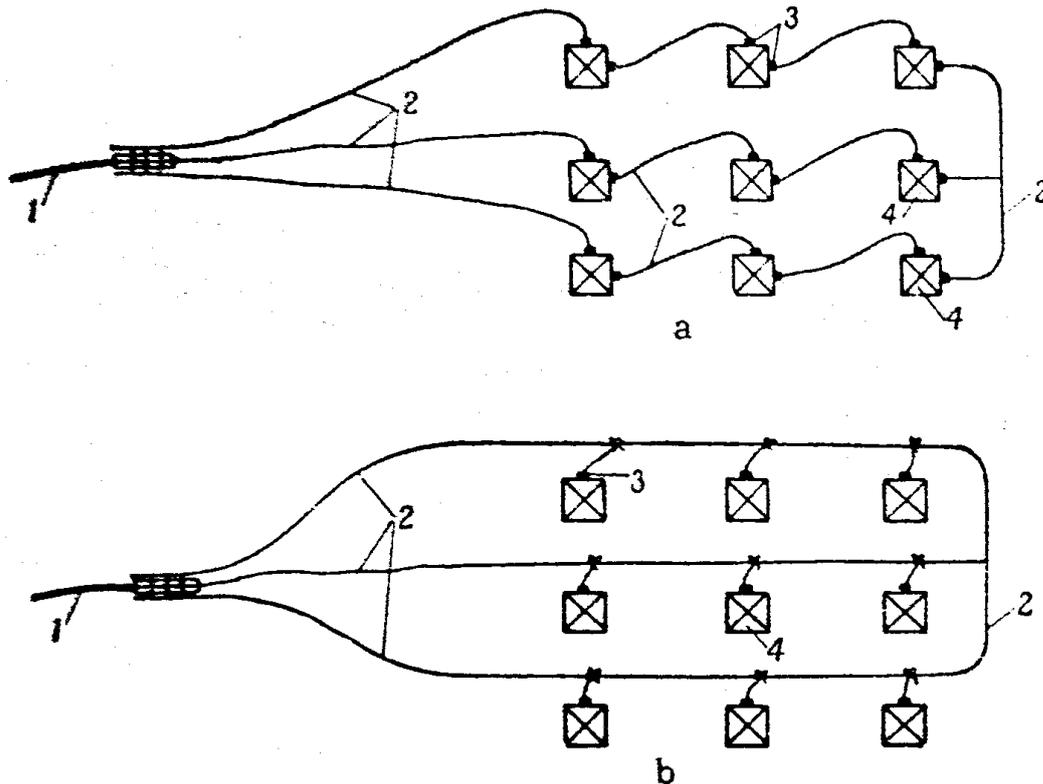


**Fig. 21. Circuito de cordón detonante en serie.**  
 a) — Sin cordón detonante para cerrar el circuito. b) — Con cordón detonante para cerrar el circuito. 1) — Detonadores. 2) — Trozos de cordón detonante. 3) — Cápsulas detonantes. 4) — Cargas explosivas.



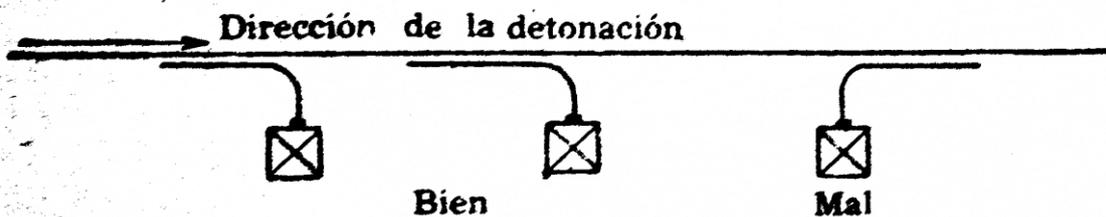
**Fig. 22. Circuito de cordón detonante en paralelo.**  
 1) — Detonador. 2) — Trozos de cordón detonante. 3) — Cápsula detonante. 4) — Carga explosiva.

En los circuitos en serie y mixtos, a fin de tener un grado mayor de seguridad en la explosión, se unen las cargas extremas con un trozo de cordón detonante que cierra el circuito. Los trozos de cordón detonante que unen las cargas entre si deben tener, como regla, capsulas detonantes en sus extremos.



**Fig. 23. Circuito mixto (serie paralelo) de cordón detonante.**  
 a)—Para cargas exteriores (en la superficie). b)—Para cargas interiores (empotradas). 1)—Detonadores. 2)—Trozos de cordón detonante. 3)—Cápsula detonante. 4)—Carga explosiva.

Cuando se preparan circuitos de cordón detonantes, los empalmes superpuestos deben hacerse de manera que la detonación pase en la misma dirección por los trozos de cordón detonante maestro por el método de superposición o por el de doble lazada y deben tenderse de manera que desde la unión a la carga no se toquen entre si ni con otras cargas. Tampoco deben cruzarse, entrelazarse o estar muy tensos.



**Fig. 24. Disposición de los empalmes en los circuitos de cordón detonante, en dependencia de la dirección de la detonación.**

Explosivos por simpatía. (Detonación instantánea).

En la detonación a distancia, la explosión de una carga activa, realizada por uno de los métodos señalados (pirotécnico, eléctrico o mecánico), provoca la explosión de otra carga pasiva alejada cierta distancia de la carga activa. Para garantizar mejor la transmisión de la detonación y

aumentar las distancias permitidas entre las cargas activas y pasivas, deben estas ultimas estar dotadas de capsulas detonantes cuyos extremos abiertos miren exactamente hacia las cargas activas. En estas condiciones la distancia permitida entre las cargas activa y pasiva que garantice sin fallos la transmisión de la detonación por el aire puede ser determinada por la tabla que daremos a continuación o por la formula:

$$R = 1.3 \text{ raíz cubica de } C. \quad (1)$$

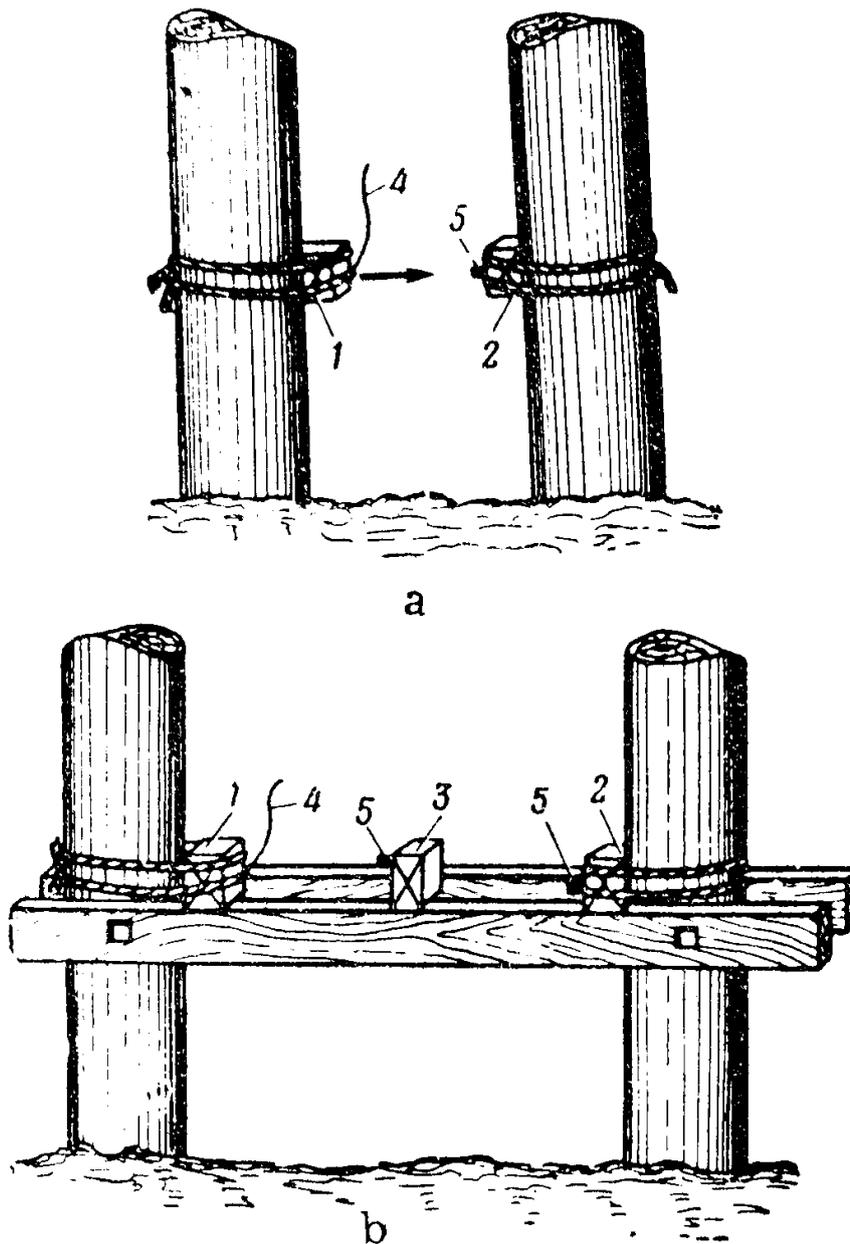
En la que  $r$  es la distancia en metros y  $C$  el peso de la carga activa en kg.

**Tabla 1**  
**Distancia entre las cargas activas y pasivas**

Peso de la carga activa, en kg.	Distancia hasta la carga pasiva, en m. (en cifras redondas)
0,4	0,5
0,8--1,0	1,0
2,0--2,5	1,5
3,0	2,0
5,0	2,5

Si la distancia entre las cargas activas y pasivas es superior a la distancia determinada por la formula o la tabla, se empleara una carga intermedia, en la que de igual manera que en la carga pasiva, se colocara una capsula detonante con su extremo abierto mirando al lado de la carga activa.

Las capsulas detonantes, tanto en las cargas pasivas como en las intermedias deberán colocarse solo inmediatamente antes de realizar la voladura.



**Fig. 25. Explosión por simpatía (detonación a distancia).**  
 a) — Sin carga intermedia. b) — Con carga intermedia. 1) — Carga activa.  
 2) — Carga pasiva. 3) — Carga intermedia. 4) — Detonador. 5) — Cápsula  
 detonante con su extremo abierto mirando a la carga activa.

#### Método eléctrico de explosión.

Se emplea para explotar simultáneamente varias cargas o para realizar voladuras en el momento exacto que se precise.

Para realizar explosiones por el procedimiento eléctrico hay que disponer de:

- Detonadores eléctricos.

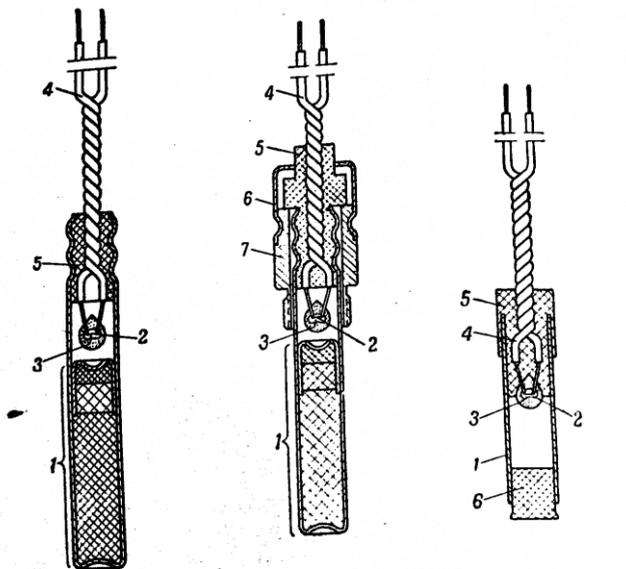
- Cable conductor.
- Fuentes de energía eléctrica.
- Instrumentos eléctricos de comprobación y medida.

### El detonador eléctrico.

Consta de la capsula detonante No 8 y fulminante eléctrico, metidos ambos en una vaina de aluminio.

El fulminante eléctrico consiste en un puente (filamento metálico corto de 22 – 26 micrones de diámetro) soldado a los extremos de dos conductores aislados y envueltos en una sustancia inflamable en forma de gota solidificada cubierta de una capa impermeable. Los conductores salen del puente al exterior de la vaina atravesando un taco de plástico que tapona fuertemente la boca de la vaina.

También existen Detonadores eléctricos con un manguito roscado que sirve para unirlos a las cargas y bloques que tienen orificios roscados.



**Fig. 26. Detonador eléctrico.**

1) — Capsula detonante No. 8. 2) — Fuente de platino e iridio. 3) — Sustancia inflamable. 4) — Conductores. 5) — Taco de plástico.

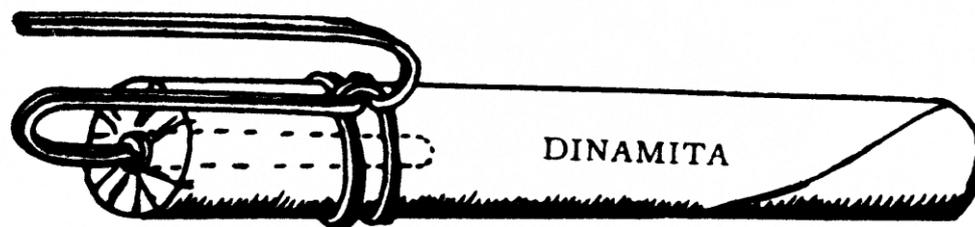
**Fig. 27. Detonador eléctrico.**

1) — Capsula detonante No. 8. 2) — Fuente de platino e iridio. 3) — Sustancia inflamable. 4) — Conductores. 5) — Taco de plástico. 6) — Capilaria. 7) — Manguito roscado.

**Fig. 28. Cebo o fulminante eléctrico.**

1) — Vaina de cobre. 2) — Fuente de platino e iridio. 3) — Sustancia inflamable. 4) — Conductores. 5) — Tapón de masilla. 6) — Tapón de goma.

Para colocar los detonadores eléctricos en los cartuchos de dinamita, se procede de la manera siguiente. Se perfora el cartucho con un punzón de madera o por otro medio en el centro de uno de sus extremos. Después se introduce la capsula del detonador en el orificio y se da una vuelta al cable del cartucho con los conductores del detonador.



**Fig. 28 A. Colocación del detonador eléctrico en un cartucho de dinamita.**

Los puentes de los detonadores eléctricos antes citados son de platino e iridio que tienen entre las principales características;

- Corriente mínima de cálculo para producir la inflamación de un fulminante, 0.5 amperios para corriente continua y 1 amperio para corriente alterna.
- Corriente mínima necesaria para producir la inflamación de un fulminante, 0.4 amperios.
- Para comprobar los detonadores sin peligro de que exploten se permite utilizar una intensidad máxima de corriente de 0.05 amperios.

Todos los Detonadores eléctricos pueden emplearse tanto para las explosiones en el aire como bajo el agua. Los mostrados en la figura, pueden permanecer bajo el agua hasta 10 días sin inutilizarse.

La resistencia de los detonadores eléctricos se mide con ohmímetros y la conductividad de los puentes de los detonadores eléctricos se comprueba como regla, con ohmímetros o galvanómetros antes de unirlos a los circuitos.

A fin de que los trozos de metal de las vainas al explotar, no hieran a los que realizan la comprobación de los detonadores eléctricos, es necesario colocarlos detrás de algún tablero de madera, plancha metálica, terraplén, debajo de una capa de césped o enterrados en arena a una profundidad de 5 a 10 cm, cuando la comprobación se haga sin tomar ninguna de las precauciones anteriores, las personas encargadas de ella deben situarse a 30 metros como mínimo de los detonadores.

Si la factura o etiqueta de las cajas de los detonadores eléctricos no se indica el material de que han sido confeccionados los puentes, se hacen explotar como prueba 3 o 4 detonadores de cada remesa con una intensidad de corriente aproximada de 0.4 amperios. Al cerrarse el circuito, los detonadores con puente de una aleación de platino e iridio deben explotar. Los detonadores eléctricos con puentes de otras aleaciones no explotarán.

Se utilizan conductores de un hilo o dos hilos. Cuando no se disponga de estos conductores, se permite el empleo de otros tipos de conductores y también de cable telefónico, de instalaciones eléctricas, etc.

Los cables conductores se conservan en rollos o en carretes, en locales frescos, con una temperatura invariable, no se deben tener al sol.

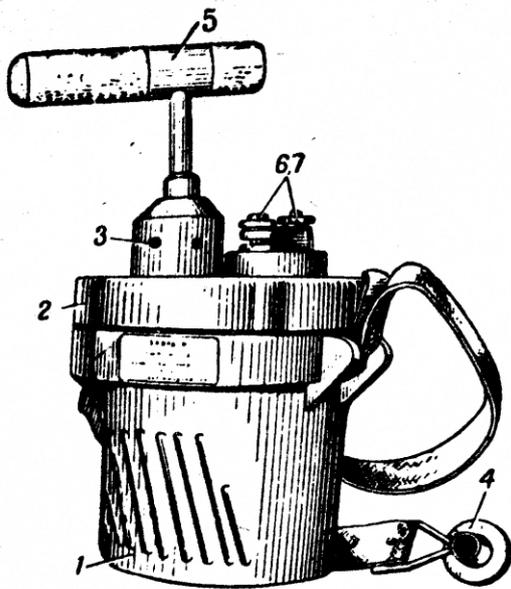
#### Fuentes de energía.

Para realizar voladuras por el método eléctrico se emplean explosores, acumuladores y pilas secas; también pueden emplearse grupos electrógenos móviles y redes de alumbrado público de las centrales eléctricas locales. Los equipos aquí mostrados pueden estar sustituidos en estos momentos por otros más modernos, pero lo que nos interesa es que se conozca el principio de su utilización.

Independientemente de la fuente de energía que se emplee, es preciso en cada caso calcular el circuito eléctrico de explosión y cuando se utilicen acumuladores y pilas secas hay que calcular también los acumuladores o pilas necesarios.

**El explosor** consta de un dinamo de corriente continua y excitación mixta, de un mecanismo con una llave para accionarlo y el cuerpo del explosor con su tapa.

El explosor desarrolla una tensión de 80 voltios para una resistencia en el circuito exterior igual a 80 ohmios; en estas condiciones la corriente que pasa por el circuito exterior es de un amperio. Con las características señaladas, este aparato puede hacer explotar hasta 25 detonadores eléctricos conectados en serie.



**Fig. 29. Explosor.**

1) —Cuerpo. 2) —Tapa. 3) —Tuerca de fijación. 4) —Tapón roscado para cerrar el orificio de la tuerca de fijación. 5) —Llave de accionamiento. 6 y 7) —Bornes.

Antes de realizar la explosión es necesario:

- Unir los cables conductores a los bornes del explosor de forma que los hilos desnudos no se toquen entre si, ni toquen tampoco el cuerpo del explosor.
- Colocar el explosor en la palma de la mano izquierda y aprisionarlo fuertemente con los dedos.

- Desenroscar el tapón e introducir la llave de accionamiento en el orificio de la tuerca que se haya en la tapa del explosor.
- Girar enérgicamente la llave hasta el tope con la mano derecha, en el sentido de las agujas del reloj, haciendo girar a la vez el cuerpo del explosor con la mano izquierda en sentido contrario.
- Desconectar después de la explosión los cables conductores maestros de los bornes del explosor, sacar la llave, cerrar el orificio con el tapón y enfundar la llave en la trabilla de la correa.

Una vez terminados los trabajos de voladura, es necesario limpiar cuidadosamente el explosor con un trapo suave y limpio. El orificio para la llave de accionamiento debe estar limpio, en los bornes no debe haber suciedad ni herrumbre, las tuercas de los bornes deben estar siempre limpias y secas.

Se prohíbe desmontar y reparar los explosores en los lugares donde se realizan los trabajos de voladura. Deben enviarse al taller para su reparación.

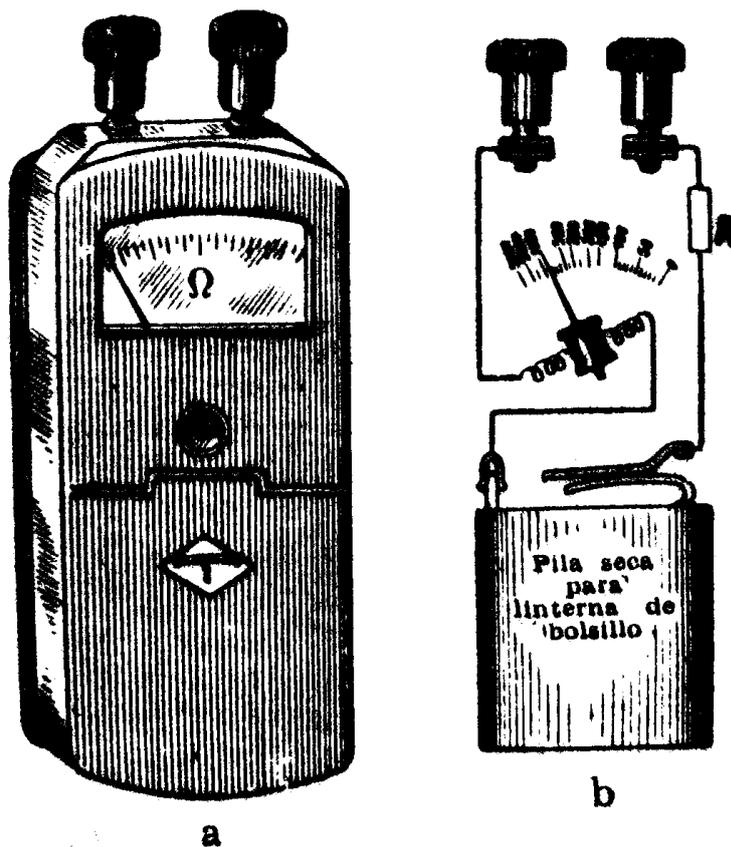
### **Los ohmímetros.**

Son aparatos que miden resistencias óhmicas. Cuando tienen sus bornes libres, la aguja indicadora del mismo descansa en el extremo contrario al cero de la escala, o sea, en el valor mayor indicado en dicha escala.

El ohmímetro pequeño se emplea para comprobar los cables conductores, los detonadores y los circuitos y también para medir aproximadamente la resistencia entre los límites de 0 a 5000 ohmios.

Este aparato da una corriente máxima de medida de 0.015 amperios con una pila seca de linterna de bolsillo que va colocada en la parte inferior del aparato, separado por un tabique.

Cuando se quiere medir con el ohmímetro la resistencia, se colocan a los bornes del aparato los terminales del circuito cuya resistencia se quiere medir y la aguja señalará la lectura correspondiente en la escala del ohmímetro. Cuando se trate de comprobar la conductividad de los conductores, detonadores eléctricos, etc., bastará con observar si la aguja se mueve a la derecha,



**Fig. 31. Ohmímetro pequeño**  
 a) — Vista general b) — Esquema eléctrico. R) — Resistencia adicional equivalente a 300 ohmios.

### El galvanómetro.

Es un aparato que mide intensidades de corrientes muy pequeñas. Cuando este aparato tiene sus bornes libres, la aguja indicadora del mismo descansa en el extremo que indica cero en la escala.

Se emplea para comprobar los cables conductores y los circuitos. Consta de una pila especial, un electro imán, una aguja, una escala y dos bornes externos conectados de tal forma que cuando están unidos en un circuito cerrado, el paso de la corriente produce un desvío en la aguja.

El galvanómetro debe manejarse con cuidado. Antes de proceder a su empleo debe comprobarse su estado colocándose durante algunos segundos un pedazo de alambre de cobre entre los dos bornes. Esto debe causar un desvío considerable de la aguja. Si esto no sucede, quiere decir que la pila ha perdido fuerza y debe sustituirse. Es un aparato delicado que no debe abrirse por el usuario a no ser que tenga que cambiarse las pilas.

Se llama circuito eléctrico de una explosión a una red de conductores con detonadores eléctricos intercalados. Los conductores que van desde la fuente de energía hasta el lugar donde se hayan las cargas, se llaman **conductores maestros**. Los conductores ubicados entre las cargas explosivas y que unen los detonadores eléctricos entre si se llaman **conductores locales**.

También se emplean las formas de unión de los detonadores eléctricos en serie, en paralelo y mixtos.

Los circuitos eléctricos de explosión deben ser siempre de dos conductores con aislamiento. El trabajo de montaje y tendido de los circuitos de explosión debe realizarse con un cuidado especial.

Cuando la preparación de la voladura se realiza de antemano, los circuitos eléctricos de explosión deben tenderse en zanjitas de una profundidad mínima de 20 a 25 cm, o instalarse a cubierto, para evitar que sean dañados por la metralla de la voladura u otras causas.

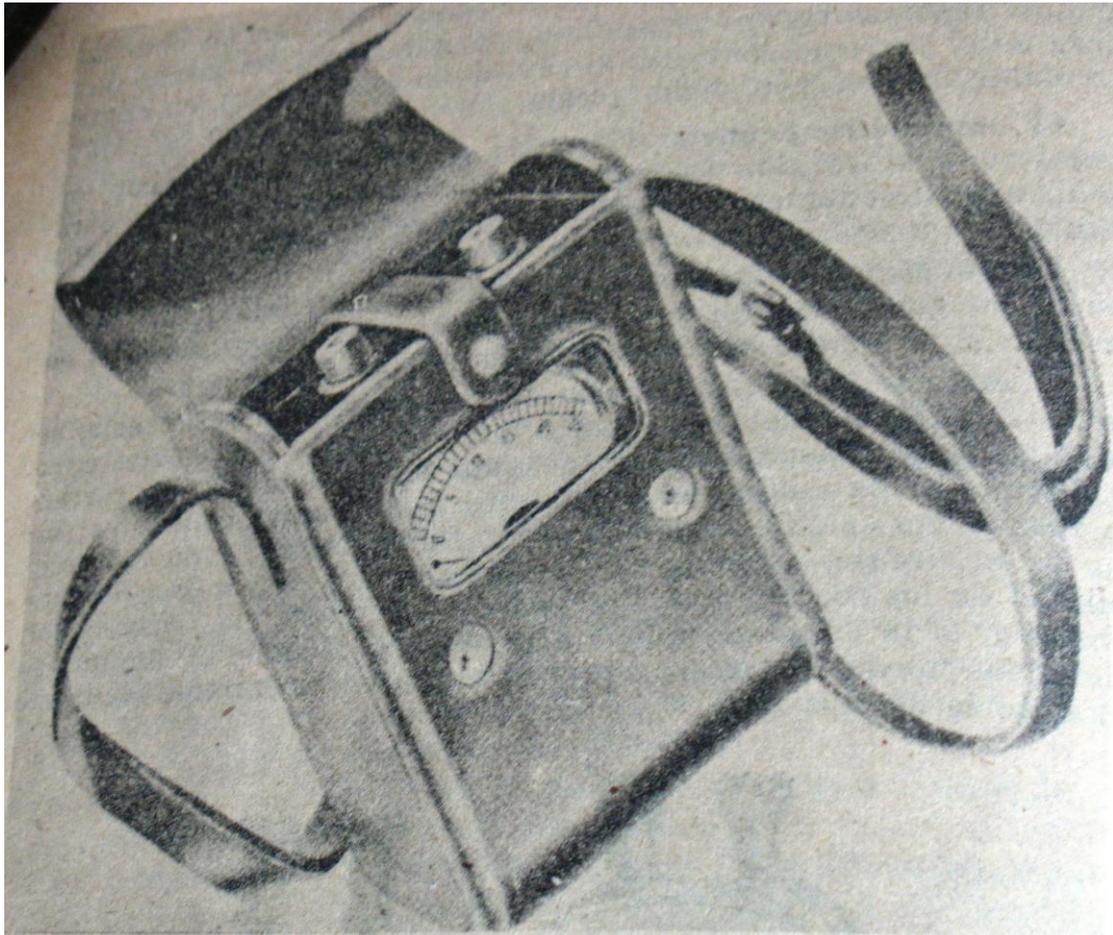
#### Los empalmes.

Los empalmes de los cables conductores y circuitos eléctricos de explosión se realizan del modo siguiente: de los extremos del cable se quita el aislamiento en una longitud de 5 cm y la envoltura exterior en 1.5 más. Después de esto se raspan con una navaja los hilos metálicos hasta que brillen, retorciendo los filamentos en la misma dirección en que ya están retorcidos en el conductor y limpiándolos de nuevo hasta que brillen.

Existen los siguientes tipos de empalmes de cables conductores:

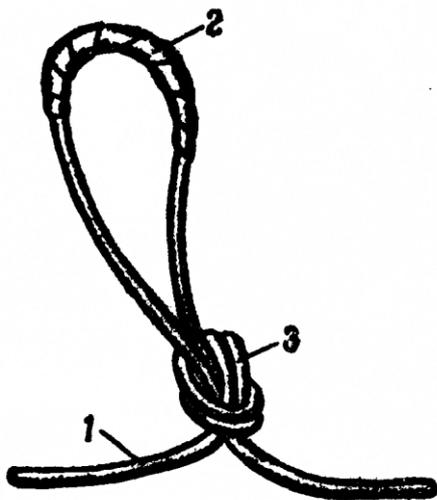
- Empalme simple
- Empalme formando ángulo

Los empalmes se preparan retorciendo firmemente con unos alicates los terminales de los hilos que se van a unir. Los extremos de los hilos que sobren se cortan y después se coloca trenzado de modo que quede extendido a lo largo de uno de los conductores sin salir de la parte desnuda. Los hilos desnudos del empalme se aíslan con una capa de goma líquida aislante y se envuelven fuertemente con cinta aislante comenzando desde un extremo del aislante. La cinta aislante hay que enrollarla en los hilos, abarcando también el aislamiento de caucho del conductor, pero sin cubrir su envoltura exterior. Por encima de la primera capa de cinta aislante se ponen una o dos más cubriendo también los bordes de la envoltura exterior de 1.5 a 2 cm. Cuando el tendido de los conductores se hace en terrenos secos y al aire se permite aislarlos con cinta aislante sin goma líquida.



**Fig. 32. Galvanómetro.**

Para evitar la rotura de los empalmes se hacen nudos de seguridad.



**Fig. 39. Lazada de seguridad en un empalme de cables conductores.**

1)—Conductor. 2)—Empalme. 3)—Lazada.

Durante las tormentas pueden originarse corrientes eléctricas de corta duración (de impulso) en los conductores maestros y locales que pueden dar lugar a la explosión de los detonadores eléctricos.

La explosión de los detonadores eléctricos puede también originarlas las chispas eléctricas que se producen entre los puentes fulminantes y los casquillos metálicos debido a la aparición de elevados potenciales en los cables conductores del circuito eléctrico de explosión.

Los cables conductores del circuito eléctrico de explosión deben enterrarse a una profundidad mínima de 20 a 25 cm con el fin de evitar la acción de descargas eléctricas atmosféricas. Antes de enterrarse los cables conductores es preciso comprobar cuidadosamente la calidad del aislamiento y si en algún lugar fuera defectuoso, se cubrirá con cinta aislante y después con laca o breá.

## ALMACENAJE Y TRANSPORTE DE ESPLOSIVOS Y CEBOS.

### **1. Almacenes de explosivos.**

Los explosivos y artificios se conservan en almacenes separados de las obras y los lugares habitados.

Estos almacenes están sometidos a un régimen especial con respecto a la seguridad del mismo y en nuestro país esta regido por las fuerzas armadas, solo pudiendo tener acceso a los mismos el personal debidamente autorizado por esta institución.

Todo aprovisionamiento de explosivos constituye un deposito o polvorín. Los almacenes pueden ser temporales o permanentes, según sea su tiempo de permanencia limitado o no.

Nadie puede extraer explosivos o sus componentes de un polvorín, si no esta autorizado, con toda la documentación reglamentada al respecto.

Hay que informar el tiro de explosivo, la cantidad de explosivos y de medios, como mínimo el día antes.

### **2. Transporte de explosivos y artificios.**

El transporte de explosivos y artificios esta completamente reglamentado y debe cumplir una serie de especificaciones de seguridad establecidas, que veremos al final de estas conferencias. Lo mas notable es que los explosivos se transportan en vehículos separados de los artificios, de modo que no puedan interactuar entre si. Además esta totalmente prohibido fumar durante el transporte de explosivos y artificios, asi como aproximar una llama a los mismos.

### **Bibliografía utilizada:**

- A. Voladuras. Instrucción para las tropas de ingenieros. Estado Mayor de las Fuerzas Armadas Revolucionarias. Segunda edición, corregida y aumentada.
- B. Maquinaria General de Obras y Movimiento de Tierra. Ing. Paul Galabru. Edición Revolucionaria. Instituto del Libro.