

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN
TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**TEMA 7
MATERIALES PARA VOLADURAS**

ÍNDICE

1. Introducción
2. Materiales explosivos
3. Materiales auxiliares
4. Procedimientos para voladuras y pegas

BIBLIOGRAFÍA

1. Introducción

Los explosivos son sustancias químicas, generalmente en estado sólido, que se transforman en gaseosas en una reacción fuertemente exotérmica. Es decir, se produce un aumento muy rápido del volumen y la temperatura, lo que origina enormes presiones capaces de romper los materiales que los contienen o se encuentran en su proximidad, en nuestro caso serán rocas.

La reacción es más o menos violenta en función del explosivo utilizado, desde los menos potentes, como la pólvora, hasta los más potentes como los plásticos o la goma-2. La potencia depende, en buena medida, de la velocidad en que se produce la transformación sólido-gas. En los menos potentes se produce una reacción a velocidad de m/s mientras que aumenta a km/s en los más potentes. Entre otras cosas, es por ello que se denomina deflagración a la transformación en gases de una pólvora y detonación a la explosión de un material plástico.

Debe considerarse además que, por seguridad, no es tan fácil hacer detonar un explosivo, porque sería inmanejable. Hace falta una detonación inicial a modo de cebo que inicie todo el proceso en el explosivo principal.

Por último veremos cómo se planifican voladuras en espacios abiertos y en espacios cerrados como túneles, denominándose entonces, pegas.

2. Materiales explosivos

2.1. Características generales

Los materiales con propiedades explosivas se analizan y clasifican en función de las siguientes características:

- a. Estabilidad química, hace referencia a la capacidad del explosivo de mantenerse inalterado bajo determinadas condiciones de almacenamiento a lo largo del tiempo. El deterioro de esta característica supone pérdida de eficiencia o aumento del riesgo en la manipulación.
- b. Velocidad de detonación, es un índice que mide la propagación de la onda explosiva, puede ser:
 - Baja velocidad, como la pólvora, que deflagra a 400 m/s. Ideal para rocas muy blandas u ornamentales.
 - Alta velocidad, mejores para roca dura, como el Amonal (4.400 m/s), el TNT (7.300 m/s) o el C4 (8.300 m/s)
- c. Aptitud para la propagación, Facilidad para transmitir la detonación de un cartucho a otro cuando están en contacto, es lo que se denomina “detonación por simpatía”.
- d. Potencia explosiva, es el efecto mecánico producido por la reacción explosiva. Se suele medir por comparación con la dinamita comercial (GOMA PURA) a la que se asigna índice 100.
- e. Resistencia a la humedad, indica el comportamiento del explosivo en ambientes húmedos. En general, si la base del explosivo es la nitroglicerina (dinamita, goma 2) los explosivos son resistentes a la humedad. Por el contra, los explosivos con base de nitrato amónico suelen ser sensibles, más aun lo es la pólvora, que mojada no arde.
- f. Densidad de encartuchado, la granulometría de los distintos compuestos condiciona su densidad. Los explosivos de base de nitroglicerina suelen ser densos (hasta 1,6 T/m³), los

pulverulentos como los anfos, son mucho menos densos ($0,8 \text{ T/m}^3$)

- g. Resistencia a la baja temperatura, hay explosivos que se “congelan” por bajas temperaturas (por debajo de 8°C) y como consecuencia se vuelven inservibles o se deterioran sus características y la seguridad de su manejo (dinamita). Para manejarlos a temperaturas inferiores hay que añadir aditivos.
- h. Generación de humos, factor particularmente importante en trabajos de interior puesto que para muchos explosivos con base nitrosa, la aspiración de los humos emanados puede ser muy peligrosa.
- i. Sensibilidad, se mide la sensibilidad frente al choque (la nitroglicerina es muy sensible, el TNT muy poco), frente al rozamiento (mayor en explosivos líquidos), frente al calor (no suelen inflamarse a menos de $175\text{-}350^\circ\text{C}$) y frente a la corriente (hay explosivos que detonan por electricidad estática).

2.2. Explosivos más usuales

Se clasifican usualmente en 5 grandes grupos:

- a. Gelatinosos.

Reciben su nombre de su consistencia gelatinosa, ya que están compuestos por nitroglicerina gelatinizada con nitrocelulosa. La primera mezcla con un 93% de nitroglicerina la preparó Alfred Nobel en 1875 (con el dinero ganado por el invento instituyó los premios que llevan su nombre).

Son de elevada potencia, alta densidad y por tanto muy adecuados para volar roca dura y tienen buena resistencia al agua.

Su mayor problema es que envejecen rápido, pierden la mitad de la velocidad de detonación a los dos meses de fabricarlos. Sus emanaciones gaseosas son bastante tóxicas. Su manejo no es muy seguro.

El más conocido es la GOMA 2EC y la GOMA 2ECO (la segunda carece de dinitrotolueno)

Relleno de barreno con cartuchos de GOMA 2EC



b. Pulverulentos

Tiene como base compuestos de nitrato amónico. En general el agente explosivo es TNT (trinitrotolueno) aunque inicialmente era Nitroglicerina.

Su potencia y densidad es inferior a los gelatinosos. Tiene escasa resistencia al agua. Se emplean en la voladura de rocas semiduras o blandas. Si tenían base de nitroglicerina eran difíciles y peligrosos de manejar.

Los más conocidos son la Amonita (con nitroglicerina) y la Ligamita (con TNT)

c. Anfos

Son mezclas de nitrato amónico y un combustible líquido o aceite mineral (fuel-oil) en proporción de 1-7%.

Es prácticamente insensible a golpes, rozamientos, frío. Es muy sensible al agua, con una humedad del 8% no detona, pero con menos su eficiencia baja mucho. Su potencia explosiva es de 65.



Camión de Nagolita para barrenos de gran calibre

Al ser potente, seguro y barato es el explosivo de mayor uso. Precisa de un explosivo potente para detonar. La marca comercial más conocida es Nagolita.

d. Hidrogeles

Son una solución curiosa de mezcla de un agente oxidante y un combustible dispersos en agua que, con algunas adiciones, conforman un gel. Al ser un explosivo con base de agua es bastante seguro e insensible a golpes o fricción.

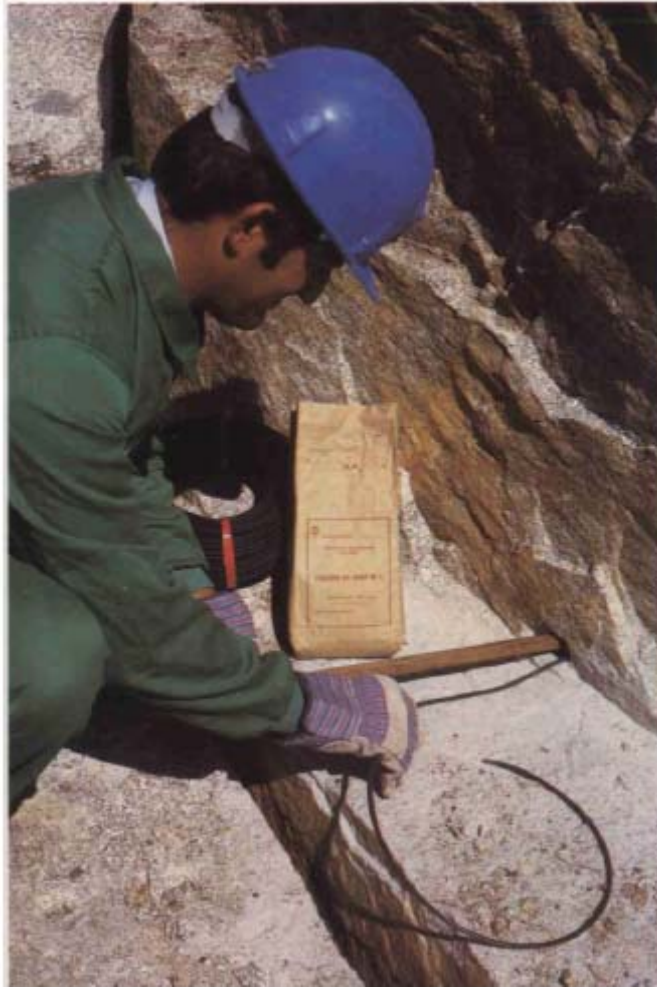


Como su textura es gelatinosa rellena muy bien los huecos de los barrenos y por su potencia y su elevada resistencia a la acción del agua, su uso se equipara al de las Gomas.

La marca comercial más conocida es RIOGEL.

e. Pólvoras

La inventaron los chinos y no llegó a Europa hasta el 1200.



Es una mezcla de Nitrato potásico (75%), azufre (10%) y carbón (15%).

No detona sino que deflagra. Por ello su acción es de empuje y no rompedora.

No precisa de un detonador, basta el fuego.

Su potencia explosiva alcanza 28.

Carga de barrenos para roca ornamental con pólvora y mecha lenta

Se usa sólo en el arranque de rocas ornamentales como el granito o el mármol.

2.3. Elección del explosivo

Como sucede para acometer cualquier obra, la elección del explosivo debe hacerse en función de las características de la misma para conseguir la máxima eficiencia. Los factores a considerar son los siguientes:

a. Tipo de Roca

Hay que analizar la dureza de la roca y en función de la misma, seleccionar explosivos con potencia suficiente, más potentes para las rocas más duras, como es lógico. Además se debe tener en cuenta la fisuración del macizo y su estratificación, no tanto a la hora de elegir explosivo como para diseñar la campaña de barrenos.

b. Fragmentación

Dependiendo del uso que se quiera dar a la roca volada debe elegirse el explosivo. Los explosivos de alto poder rompedor generaran rocas de pequeña dimensión, aptas para plantas de machaqueo, por ejemplo. Para conseguir grandes bloques enteros es necesario romper con sumo cuidado utilizando pólvoras, como sucede en las canteras de roca ornamental.



Cantera de mármol travertino



Extracción de bloque de mármol

- c. **Humedad de los barrenos**
La existencia de agua en la perforación es una condición importante en la elección del explosivo.

- d. **Toxicidad**
Cuando se utilizan explosivos en espacios subterráneos como minas, túneles o cualquier lugar cerrado, es un dato muy relevante porque no todos los gases de explosivos son igual de tóxicos y en función de la toxicidad del explosivo se obliga a disponer de sistemas de ventilación adecuados.
Con el rigor cada vez mayor en la afección al medio ambiente, estas consideraciones se están teniendo en cuenta incluso en voladuras en espacio abierto. Es el caso de la GOMA 2ECO sustituyendo a la GOMA 2EC.

- e. **Atmósfera explosiva**
Hay circunstancias objetivas como la existencia de gas grisú en las minas de carbón que condicionan la elección del explosivo para asegurar que no inflame el gas por simpatía.

- f. **Diámetro y profundidad de los barrenos**
Cuanto más pequeño sea el diámetro del barreno debe usarse explosivo con más poder de propagación, por ejemplo, no debe usarse nagolita en barrenos de 40 mm. de diámetro.
En los barrenos muy largos, el riesgo es que la introducción de explosivos sensibles y por el peso acumulado, pueda llegar a condiciones de autodetonación.

- g. **Carga de fondo y carga de columna**
Interesa que el explosivo más potente esté en el fondo para conseguir la mayor rotura, por eso se emplean explosivos densos tipo Goma o hidromel, pudiéndose emplear explosivos menos densos en la columna que rompen menos pero proyectan el material hacia el exterior.

3. Materiales auxiliares

Para el manejo seguro de explosivos, además del material principal, hacen falta otros materiales auxiliares como detonadores, mechas, cordones, explosores, etc.

3.1. Detonadores

Un detonador es un elemento explosivo de gran potencia que se utiliza para provocar la detonación del explosivo principal, es decir, actúa como un cebo.

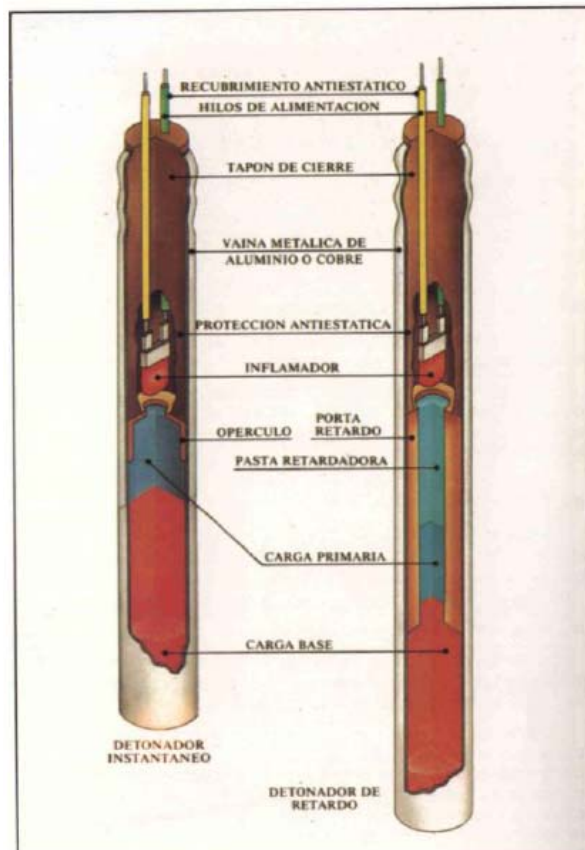
La cantidad de explosivo en el detonador es pequeña, pero se trata de explosivo muy sensible. Se suele alojar en una cápsula de aluminio o cobre.

Si bien hace años se utilizaban detonadores ordinarios unidos entre sí por mecha lenta, este procedimiento se ha sustituido por detonadores eléctricos que son mucho más seguros en cualquier voladura de roca.

En los detonadores eléctricos se provoca la explosión por el paso de

una corriente eléctrica por una sustancia inflamable. Suelen constar de más de una sustancia que va explotando por simpatía.

Los distintos detonadores para cada uno de los barrenos se conectan entre sí formando un circuito al que un explosor proporciona la corriente necesaria para su detonación.



La detonación no tiene porqué ser instantánea y, en la mayoría de los casos, interesa que no detonen todos los barrenos a la vez y por ello los detonadores tienen retardos.



En función del retardo se clasifican en:

- Instantáneos, detonan al recibir la corriente, se distinguen por que uno de los cables del mismo es de color blanco.
- De retardo, clasificados del 1 al 12 en función del número de periodos de 0,5 segundos que transcurren entre la detonación de uno hasta la detonación del siguiente. Cable de color azul.
- De microrretardo, en este caso el desfase es de 30 milisegundos (clasificados 1-18 y cable amarillo) o de 20 milisegundos (clasificados 1-15 y cable rojo)

Además los distintos detonadores tienen distinta sensibilidad al paso de la corriente eléctrica, clasificándose en:

- Sensibles (S), sensibilidad normal, es el más usual y se distingue por un cable rojo.
- Insensible (I), necesitan de un explosor especial. Cable de color rosa.
- Altamente insensibles (AI), necesitan un explosor adecuado y se distinguen por un cable verde.

Luego todo detonador dispone de dos cables, uno indica el tiempo de detonación y el otro la sensibilidad.

3.2. Mecha lenta.

Esta formada por un núcleo de pólvora rodeado de capas de hilo alquitranado. Arde a velocidad de 120 segundos para cada metro. No permite enlazar una serie de más de seis barrenos. Es sensible al calor, los golpes, la fricción, por lo que su uso está muy limitado

3.3. Cordón detonante.



Es un cordón flexible e impermeable que contiene pentrita en su interior, que es un explosivo potente que transmite la explosión a velocidades del entorno de 7.000 m/s.

Se utiliza para transmitir a un explosivo la detonación que se inicia en un detonador. Los distintos colores indican la cantidad de explosivo que contiene. Los hay rosa, amarillo, rojo, azul, naranja y verde. El más común es de color azul y contiene 12 gramos de pentrita por metro.

Con el cordón detonante se pueden conseguir retardos intercalando relés que demoran la explosión 15-20 milisegundos.

3.4. Explosor y ohmímetro

El explosor es el elemento que transmite la carga eléctrica que hace detonar el conjunto de barrenos conectados en un circuito. Los hay dinámicos, de condensador (ver figura). Más o menos sofisticados y cada vez de mayor seguridad.



El ohmímetro, como su propio nombre indica, mide resistencias. Sirve para comprobar que un circuito que conecta varios barrenos está bien, no existe roturas ni interrupciones al paso de la corriente. Un fallo en el circuito implica que queden barrenos cebados y sin detonar, eso es muy peligroso. La resistencia admisible es de 0,1-0,3 Ω /m de línea más 1,5-2 Ω /ud de detonador.

4. Procedimientos para voladuras y pegas

4.1. El barreno

Es un taladro de sección circular que se carga de explosivo, con el objetivo de arrancar y fragmentar roca.

Se distinguen tres zonas dentro de un barreno:

- Carga de fondo, la que se coloca al final del mismo (extremo opuesto a la boca o perforación) y que contiene explosivo denso y potente.
- Carga de columna, explosivo menos potente que rellena el barreno en su parte central.
- Atacado, es un relleno de material inerte (no explosivo) con el que se tapona la boca del barreno. El objetivo es evitar que la explosión se disipe por la boca (que se le vaya la fuerza por la boca o bocazo).

Además se colocan dentro los detonadores que inician la explosión y el cordón detonante que la transmite a todo el barreno.



Máquina perforadora de barrenos

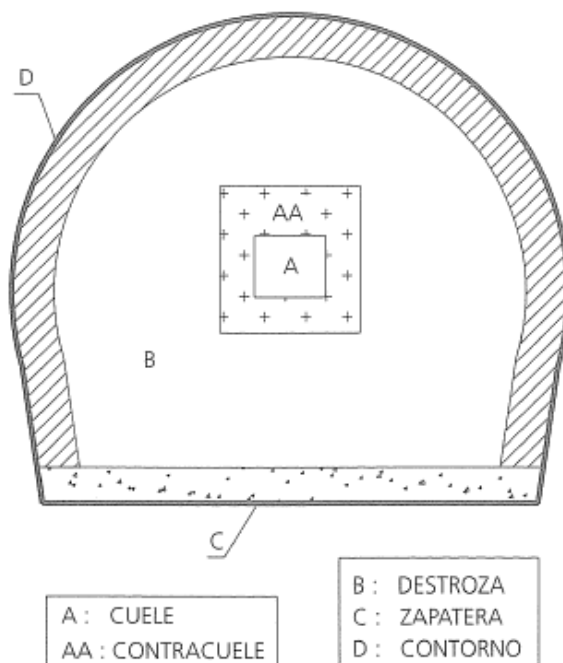
Los detonadores de los barrenos perforados y cargados constituyen un circuito cerrado que se comprueba con el ohmímetro y detona con el explosor.

En Ingeniería Civil, los barrenos se utilizan en excavaciones en lugares cerrados, en canteras a cielo abierto, en movimientos de tierras para desmonte de rocas y para la excavación de pozos. Veremos cada una de estas aplicaciones.

4.2. Perforación de túneles

A las voladuras en el interior de espacios cerrados se las denomina pegas. Las pegas son difíciles de planificar para que sean eficientes. Tienen el problema

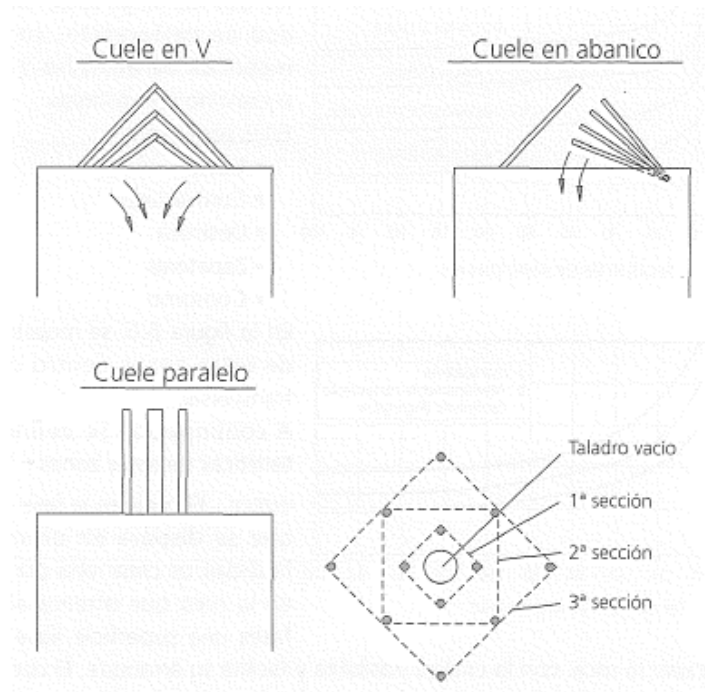
adicional de eliminación de gases y la dificultad de la retirada de productos.



Como en el interior no existe más frente libre que el frente de perforación, es necesario ajustar la secuencia de detonación de los distintos barrenos para conseguir el mayor arranque de roca en el frente. Por ello se distinguen hasta cinco zonas de colocación de barrenos:

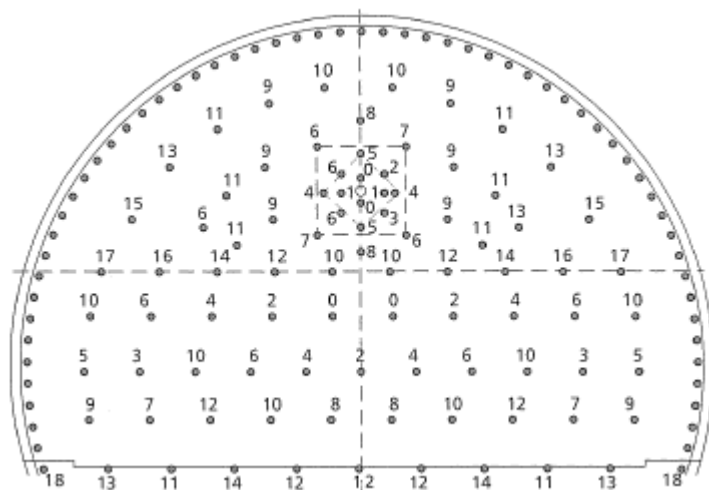
- A. barrenos de cuele o salida, los primeros que detonan, abren hueco en el centro de la sección.
- AA. barrenos de contracuele, detonan a continuación, aprovechan el hueco abierto por los primeros y mueven más material.
- B. barrenos de destroza, aprovechan todo el hueco abierto y mueven material en casi toda la sección.
- C. barrenos zapateros que excavan el fondo del túnel
- D. barrenos de contorno o recorte que perfilan la sección del túnel, ambos (junto a los zapateros), suelen estar más juntos y ser menos potentes para facilitar el corte de la sección completa.

Los barrenos más delicados son los de cuele y contracuele. Para ellos existen técnicas diversas como se aprecia en la figura adjunta.



La disposición final del barrenado de un frente de túnel se aprecia en la siguiente figura.

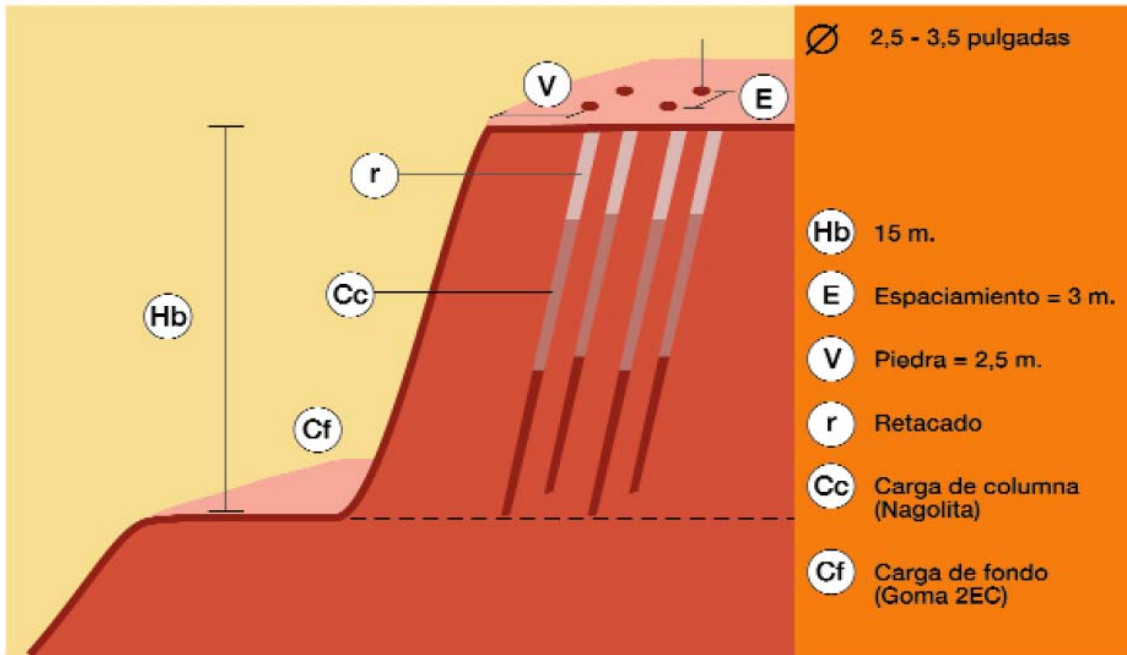
El consumo de explosivo para la excavación subterránea se sitúa entre 1,5 y 3 Kg/m³.



4.3. Perforación en bancos de cantera

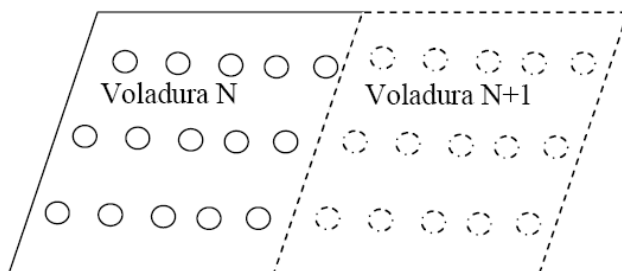
En un banco de cantera existe un frente de ataque de gran dimensión. La excavación se produce mediante el arranque de secciones de roca en un plano paralelo al del frente.

No existe problema de perforación de barrenos porque se suele hacer desde la plataforma superior del frente, ni existe problema de disipación de humos porque se hace a cielo abierto.



En un esquema de voladura en banco se distinguen los siguientes elementos:

- Inclinación del frente (usualmente 15°) para determinar líneas de menor resistencia. La separación de la primera línea de barrenos al frente abierto (V) suele ajustarse de manera que la dimensión en metros se igual al diámetro de un barren en pulgadas.
- Separación entre barrenos (E), del orden de 1,2-1,3 veces V.
- Altura de barrenos, habitualmente situada entre 12 y 20 metros. Es normal que la perforación se prolongue bajo el frente abierto (sobreperforación) del orden de 0,3 veces V.
- Diámetro de barren, variable entre 40 y 200 mm. Los valores más usuales son de 60 y 85 mm.



El consumo de explosivo se sitúa entre 300-400 g/m³.

4.4. Excavación de pistas y desmontes

En principio podría asimilarse a la anterior, pero presenta varias diferencias. Por un lado el frente es de mucha menor dimensión (el ancho de la plataforma de la carretera o línea férrea). Por otro lado no existe una superficie sensiblemente horizontal en coronación para facilitar la excavación de los barrenos.

Estas dos diferencias hacen que se planteen dos sistemas de ejecución, cada uno de ellos con ventajas e inconvenientes:

a. Barrenos verticales

Ventajas: consume menos explosivo, las proyecciones de material son escasas y se obtiene taludes sanos

Inconvenientes: La perforación es difícil en función de lo abrupto del terreno. El avance se ralentiza.

b. Barrenos horizontales

Ventajas: perforación sencilla porque se realiza desde el frente y por ello el avance es rápido.

Inconvenientes: Los barrenos son difíciles de cargar, el consumo de explosivo es mayor y se obtienen taludes irregulares.

4.5. Excavación de pozos

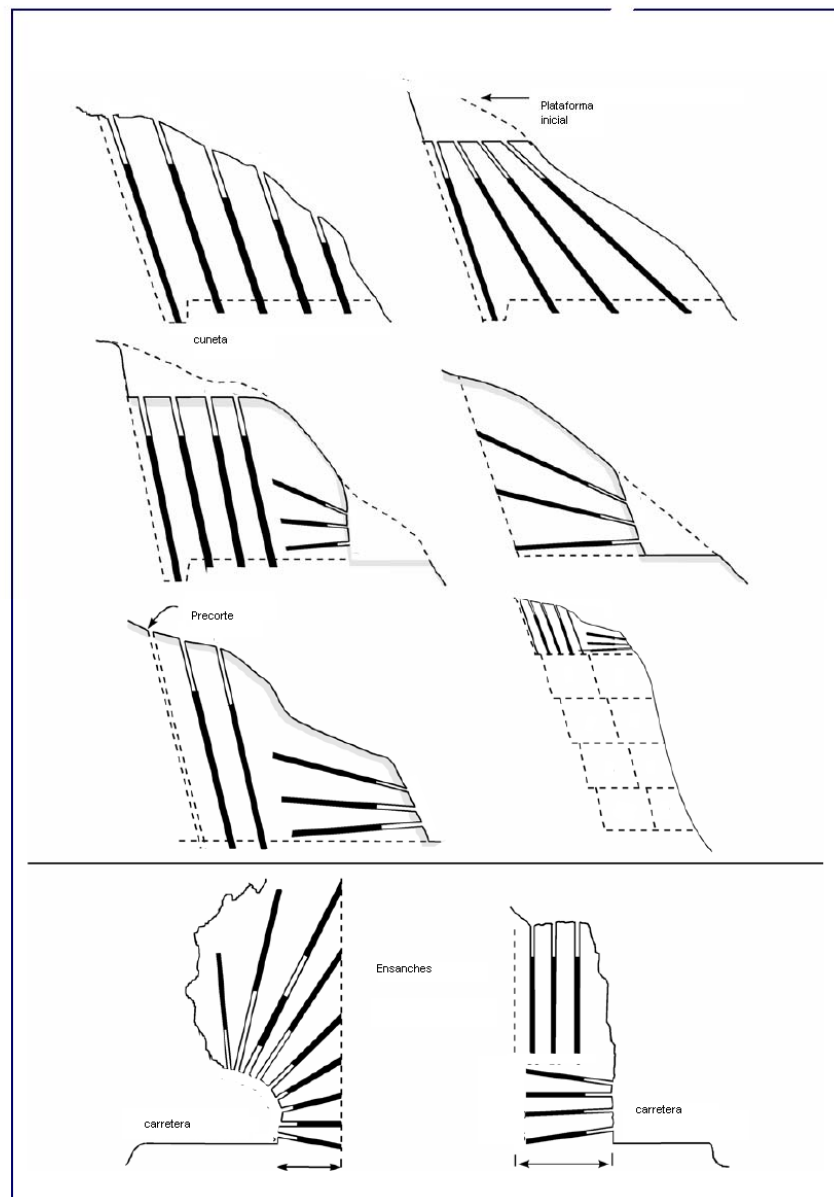
Los sistemas son similares a los de excavación de túneles, con la diferencia de que el pozo es sensiblemente vertical.

El riesgo de proyecciones es elevado y la importancia de los barrenos de cuele es máxima.

Como suele haber humedad sólo se pueden usar explosivo tipo gelatinoso como Gomas e hidrogeles.

4.6. Precorte

Son barrenos paralelos de pequeña dimensión y que se colocan a escasa distancia unos de otros paralelamente a la dirección de avance de la pista, de manera que, al detonar, provocan una rotura en un plano que será el talud terminado de la excavación, con lo que se obtienen taludes de alta calidad. Además mitiga el efecto de la voladura principal sobre los elementos situados en la proximidad del área de actuación.



Perfiles típicos de corte a media ladera

BIBLIOGRAFÍA

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes. PG-3
- Generalidades sobre Materiales de Construcción. Francisco Arredondo. Ed UPM
- Manuales del uso de explosivos en minas, canteras e ingeniería civil. Carlos Tuñón Suárez.
- Manual de Explosivos Río Tinto