

VOLADURA EN LA EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO

TERMINOLOGÍA Y CONCEPTOS

<u>TERMINO</u>	<u>CONCEPTO</u>
EXPLOSION	<p>Se denomina al desprendimiento extremadamente rápido de una gran cantidad de energía, ocasionada por la variación instantánea del estado de la sustancia y va acompañada de la destrucción y lanzamiento del medio que lo rodea y apareamiento de la denominada onda de choque.</p> <p>El desprendimiento de energía produce la formación de una gran cantidad de calor.</p>
TRANSFORMACIÓN QUÍMICA EXPLOSIVA	<p>Estas transformaciones característica para las sustancias explosivas comunes antes indicadas. Estas explosiones producen cerca de 1.000 Kcal /kg. de S. E.</p>
TRANSFORMACIÓN EXPLOSIVA NUCLEAR	<p>Conocida como explosión nuclear, desprende una gran cantidad de energía, Un Kg. de uranio desprende $2 \cdot 10^{10}$ Kcal.</p>

Las reacciones explosivas químicas se producen con enorme rapidez (algunos kilómetros por segundo) que el calor no avanza a transmitirse al medio circundante.

La velocidad de la reacción esta condicionada por el oxígeno existente en suficiente cantidad en la S. E, para la transformación de la sustancia en productos gaseosos explosivos.

Los productos gaseosos constituyen la **CONDICION INDISPENSABLE DE LA EXPLOSION** y su volumen es centenas de veces mayor que el volumen de la sustancia explosiva.

Por el alto calentamiento y rápida transformación de la S. E, sobre los productos de la explosión se crea una presión de decenas y centenas de miles de atmósferas y por ello los productos gaseosos se expanden violentamente y actúan sobre el medio en forma de potente golpe con el apareamiento de una onda de choque.

La potencia de la voladura, en condiciones reales, nunca puede ser aprovechada en forma total, (1-2 % , en medios duros 8-9 %) debido al cortísimo tiempo de acción.

IMPULSO INICIAL	Acción de potencia suficiente para activar la detonación de la sustancia explosiva. A este impulso inicial se lo llama INICIACIÓN .
SUSTANCIA EXPLOSIVA (S.E.)	Se denomina a las combinaciones químicas o mezclas inestables que se transforman de manera extremadamente rápida, bajo la acción de un impulso en otras sustancias estables con desprendimiento de gran cantidad de calor y gran volumen de productos gaseosos que se encuentran a muy grandes presiones los cuales al expandirse realizan uno u otro trabajo mecánico (en minería producen el trozamiento de las rocas).
S.E. EMPLEADAS EN MINERIA	Constituyen composiciones químicas (Hexogen, trilita y otros) o mezclas mecánicas (S.E. nitroglicéricas y amoniacales).

CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

POR EL ESTADO FISICO :

- | | |
|--------------|----------------------------|
| S. E. | 1. GASEOSAS |
| | 2. LÍQUIDAS |
| | 3. SÓLIDAS |
| | 4. MEZCLA SÓLIDA Y LÍQUIDA |
| | 5. SÓLIDA Y GASEOSAS |

POR LA POTENCIA Y CAMPO DE EMPLEO:

1. SUSTANCIAS EXPLOSIVAS DE ENCENDIDO O INICIACIÓN (Fulminato de mercurio, ácido de plomo y Teneres)
2. SUSTANCIAS EXPLOSIVAS DE BRISSANCE :
 - A) De elevada potencia (Ten, exógeno y Trilita Trinitrotolueno)
 - B) De potencia normal :Trilita ácido pícrico, S.E. plásticas, Tetritol, Ammonitas para rocas peñascosas Ammonitas con contenido de 50- 60%

de Trilita, (Trinitrotolueno) y S.E. gelatinosas de nitroglicerina.

C) De baja potencia (S. E. amoniacales, nitratos de amonio, S.E. Nitroglicéricas en polvo y cloratadas)

3. SUSTANCIAS EXPLOSIVAS DE PROYECTILES
(pólvora negra, pólvora nitroglicéricas y piroxilínica -de algodón- sin humo.

POR LA PERMISIBILIDAD PARA EL EMPLEO EN UNAS U OTRAS CONDICIONES:

1. S.E. PERMITIDAS PARA SU EMPLEO EN TRABAJOS A CIELO ABIERTO.
2. S.E. PERMITIDAS PARA SU EMPLEO EN TRABAJOS SUBTERRÁNEOS EN CONDICIONES DE SEGURIDAD, SIN POSIBILIDADES DE EXPLOSIONES DE GAS Y POLVO DE LAS MINAS.
3. S. E. PERMITIDAS, SOLAMENTE PARA EMPLEO EN CONDICIONES DE PELIGRO POR EXPLOSIONES DE GAS O POLVO (S. E. DE SEGURIDAD.

PRINCIPALES PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS EXPLOSIVAS POR SUS CARACTERÍSTICAS EXPLOSIVAS Y FISICO -QUIMICAS

CARACTERÍSTICAS DE EXPLOSIVIDAD:

- Calor de la explosión
- Temperatura de los productos de la explosión.
- Velocidad de detonación.
- Brissance
- Capacidad de trabajo (fugacidad)

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS:

- Sensibilidad a la influencia mecánica y calorífica
- Estabilidad química y física.
- Densidad (peso por unidad de volumen).

PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS EXPLOSIVAS BASICA

1. SUSTANCIAS EXPLOSIVAS DE INICIACIÓN.
Altamente sensibles a la influencia exterior y la velocidad de detonación es casi instantánea y son capaces de detonar por décimas de gramo, bajo simples impulsos: chispa, llama, incandescencia, activando la transformación explosiva de otras S.E.

menos sensibles.

2. SUSTANCIAS EXPLOSIVAS DE BRISSANCE,

Viene del francés que quiere decir trozar, romper.

No detonan bajo impulsos iniciales simples como la chispa o la llama.

Necesitan impulso inicial en forma de explosión y las de baja sensibilidad necesitan detonador intermedio.

Las S.E. de brissance constituyen sustancias explosivas básicas que se emplean en grandes cantidades en municiones y en trabajos de voladuras con finalidades militares y civiles.

3. SUSTANCIAS EXPLOSIVAS DE BRISSANCE Y ELEVADA POTENCIA

Son explosivos con elevada velocidad de detonación (7.500 – 8.500 m/seg.)

Desprendimiento de calor con más de 1.000 Kcal/Kg.

Tienen cierta gran sensibilidad al impulso inicial y detonan con cualquier cápsula detonadora (**fulminante**) o con un golpe de bala.

Se quema al fuego y arde intensamente, en cantidades mayores a un Kg. el fuego puede pasar a explosión.

4. SUSTANCIAS EXPLOSIVAS DE POTENCIA NORMAL

Las S.E. de este grupo con excepción de la dinamita, poseen gran estabilidad, se las puede embodegar por largo tiempo y son poco sensibles a cualquier tipo de acción externa, por lo que son de manejo seguro.

La desventaja esta en el desprendimiento de gran cantidad de gases nocivos en la explosión, por lo que esta limitado su empleo en trabajos subterráneos

Para la detonación de las S.E. de potencia normal es indispensable fulminante N° 8.

5. SUSTANCIAS EXPLOSIVAS DE BAJA POTENCIA

Estas Sustancia poseen bajo brissance, debido a la menor cantidad de calor y menor velocidad de detonación (no mas de 500 m /seg).

Son de menor brissance que las S.E. de potencia normal pero iguales por su capacidad de trabajo.

El bajo brissance se refleja, cuando se emplea para romper materiales tan resistentes como el metal, piedra, hormigón, etc.

S.E. de este tipo es el **Nitrato de AMONIO**

DISEÑO Y CALCULO PARA LAS VOLADURAS A CIELO ABIERTO

DIFICULTAD DE LAS ROCAS PARA SU EXTRACCIÓN EN FUNCIÓN DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA (Protodiakonov)

ESCALA	GRUPO	FORMA DE EXTRACCIÓN
f = 1 - 2	PRIMER GRUPO	CON MEDIOS MECANICOS E HIDRÁULICOS.
f = 2 - 6	SEGUNDO GRUPO	IDEM
f = 6 - 10	TERCER GRUPO	PERFORACIÓN Y VOLADURA
f = 10 - 14	CUARTO GRUPO	PERFORACIÓN Y VOLADURA
f > 14	QUINTO GRUPO	PERFORACIÓN Y VOLADURA

- Los trabajos de perforación y voladura se emplean ampliamente en canteras para la explotación de rocas peñascosas y semipeñascosas.
- Los trabajos de perforación y voladura tienen por objeto el trozamiento de las rocas resistentes, donde es imposible el empleo de excavadoras.
- Para las voladuras la substancia explosiva (S.E.) se coloca en calas (barrenos largos)
- Los pedazos arrancados no deben sobrepasar determinadas dimensiones.
- Las reservas de masa rocosa trozada debe ser tal que permita el trabajo continuo de las excavadoras.
- De la organización de los trabajos de perforación y voladura en la cantera dependen el rendimiento de las excavadoras, transporte y maquinaria de escombrera y complementaria.
- El gran peso específico de los trabajos de perforación y voladuras en el costo general de la extracción mineral a cielo abierto, el problema de la realización correcta de los trabajos de perforación y voladuras en las canteras adquiere un alto significado.

EXIGENCIAS EN LOS TRABAJOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

- 1) Permitir un suficiente grado de trozamiento de las rocas manteniendo la calidad y cantidad de minerales útiles.
- 2) Las dimensiones y forma del amontonamiento del material rocoso volado debe corresponder con los parámetros del transporte y maquinaria minera optada.
- 3) El volumen de masa rocosa volada en la frente debe ser suficiente para el trabajo continuo y productivo de la maquinaria de arranque y cargado.
- 4) Asegurar una alta economía y seguridad en los trabajos de perforación y voladura.

Cuando en la frente existen grandes pedazos (trozos no condicionados) el rendimiento de las excavadoras de un cucharón disminuye y el empleo de excavadoras de cadena con cucharones múltiples o de rotor se vuelve imposible.

CALCULO DE LAS DIMENSIONES DE LOS PEDAZOS DE LA MASA ROCOSA VOLADA

- 1) Dimensión máxima del pedazo de roca en dependencia de la capacidad del cucharón de la excavadora.

$$a = 0,8\sqrt{E}, \text{ (m)}$$

Donde:

a = Dimensión lineal máxima del pedazo de roca, m.

E = Capacidad del cucharón de la excavadora, m³.

- 2) Dimensión máxima del pedazo en dependencia de las dimensiones del embudo de recepción de la tolva de carga o de las dimensiones de la tolva de la instalación de trituración.

$$a \leq 0.8b, \text{ (m)}$$

Donde:

b = Lado menor del embudo de recepción de la tolva o de la tolva de la trituradora, m.

- 3) Dimensión máxima del pedazo en dependencia del ancho de la correa del conveyer con rodillos de apoyo (para los conveyers de correas sobre cables de construcción especial esta limitación no tiene significado).

$$a \leq 0.5 B - 100, \text{ mm}$$

Donde:

B = ancho de la correa del Conveyer, mm.

Los pedazos que tienen dimensiones más grandes que las indicadas, se llaman **pedazos no condicionados** y deben ser sometidos a trozamiento secundario, directamente en la frente.

La magnitud de los pedazos de roca volada está limitada no solamente por las dimensiones de capacidad, sino también por condiciones de aumento del tiempo de servicio de los medios de transporte. Con el aumento de las dimensiones de los pedazos condicionados de roca, disminuye la salida de material no condicionado y el costo del trozamiento secundario, pero en cambio se eleva el desgaste de la maquinaria de transporte.

El volumen de roca trozada o de mineral útil en la frente debe tender a ser, en lo posible, grande. Para obtener esto el bloque en explotación se divide en tres partes (Fig.II.1): en la primera parte del bloque se efectúa el cargado, la segunda parte del bloque, después de la voladura se encuentra en reserva y la tercera parte se somete a perforación. La limitación del volumen de roca trozada está condicionada por los fenómenos de congelamiento, prensamiento o por condiciones de sismicidad.

La economía de los trabajos de perforación dependen principalmente del método de perforación, diámetro de los huecos y esquema de disposición de los mismos, calidad de la substancia explosiva y organización del trabajo. Los criterios de evaluación de estos trabajos son los siguientes:

- Obtención de masa rocosa trozada por cada 1 metro de hueco.
- Calidad de la masa rocosa trozada (fragmentación).
- Gasto de substancia explosiva por m³ de masa rocosa trozada.
- Rendimiento de trabajo de los obreros.

Los trabajos de perforación y voladura en la cantera, generalmente se efectúa en dos etapas. En la primera etapa la masa rocosa se separa del macizo y se la somete a un primer trozamiento; en la segunda etapa, en forma complementaria se troza los pedazos no condicionados, se aplanan el piso del banco, se desprende las planchas, etc. Normalmente los trabajos de perforación y voladura en la cantera debe realizarse en una sola etapa.

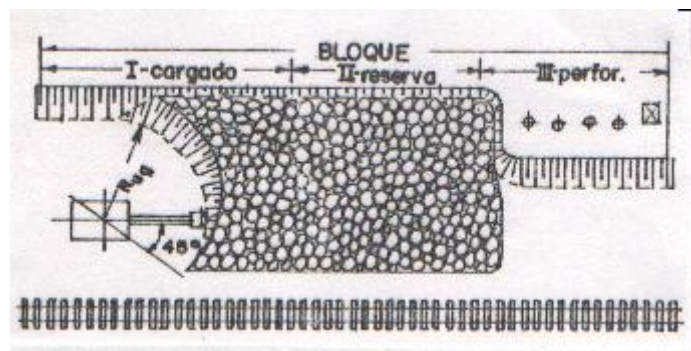


Fig.II.1. Orden de preparación del bloque para su extracción

Para realizar los primeros trabajos de perforación y voladura se efectúa la perforación de huecos (calas o barrenos largos), se cargan con substancias explosivas y luego se detonan dichas cargas.

CLASIFICACION DE LOS HUECOS PARA LAS CARGAS DE S.E.

BARRENOS

Se denomina a un hueco cilíndrico con diámetro hasta 45 mm y profundidad hasta cinco metros.
Barrenos simples se emplean en trozamiento secundario.

BARRENO LARGO

Se denomina a huecos cilíndricos con diámetros que van desde 45 mm hasta 100 mm y alcanzan profundidades de 5 - 15 metros.
De pequeño diámetro es aconsejable emplear en bancos pequeños no mayores de 10 metros.
Generalmente no es recomendable emplear barrenos largos de grandes diámetros en bancos bajos (menores de dos veces la línea de resistencia por el piso) ya que ello contribuye a la concentración de la substancia explosiva que en la detonación produce la proyección del material.

CALAS

Se denominan a estos mismos huecos con diámetros de 100 a 300 mm y profundidad de 15 a 30 metros y más.

PRINCIPALES PARÁMETROS DE LOS BARRENOS LARGOS (CALAS)

- Diámetro de la cala
- Profundidad de la cala
- Dirección y ángulo de inclinación de la cala.
- Sobreperforación (pasadura) de la cala.

Los parámetros de las calas (barrenos largos) dependen de la altura del banco, características físico-mecánicas de las rocas y grado de trozamiento exigido.

En las canteras contemporáneas, especialmente en aquellas que se extrae minerales en cantidades apreciables (canteras de gran producción), el diámetro de los **barrenos largos** varía de 64 a 100 mm. y el de las **calas** varía desde 100 hasta 300 mm.

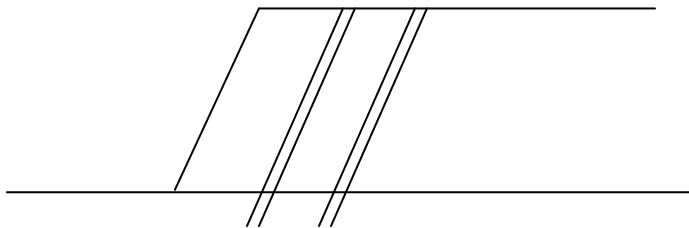
El diámetro racional de las calas o barrenos largos se elige tomando en cuenta las particularidades estructurales de las rocas a volarse.

Los diámetros pequeños de calas y barrenos largos es ventajoso emplear en rocas resistentes difíciles de quebrar y también en rocas con fracturamiento desarrollado.

Generalmente, el empleo de calas de diámetros pequeños o de barrenos largos permite obtener un trozamiento más uniforme.

Comúnmente la profundidad de la cala sobrepasa a la altura del banco en la magnitud de sobreperforación (pasadura), que llega por debajo del piso del banco.

La profundidad de la cala se calcula por la fórmula:


$$L = \frac{H_b}{\text{Sen } \alpha} + l_s$$

Donde:

h_b = Altura del banco;

α = ángulo de inclinación de la cala, grad;

l_s = profundidad de la sobreperforación.

La sobreperforación permite el fracturamiento de la roca del piso del banco.

La profundidad de sobreperforación se establece, tomando en cuenta la altura del banco, magnitud de la línea de resistencia por el piso del banco, resistencia de la roca y calidad de la substancia explosiva.

Generalmente la profundidad de la sobreperforación se toma de 0,5 metros hasta 3 metros y más.

En las rocas fáciles de quebrar, la sobreperforación no se realiza.

En aquellos casos, cuando en el piso del banco se encuentran rocas suaves, para un efectivo empleo de la carga de substancia explosiva, las calas no se perforan hasta el fin del banco, sino que se dejan cortas en 1 - 2 metros.

Las calas verticales son las que mayor empleo han tenido en las canteras. Las calas inclinadas, hoy en día, tienen un gran empleo debido al apareamiento de máquinas nuevas y mucho más perfeccionadas; las calas horizontales tienen muy poco empleo.

Las calas inclinadas se perforan generalmente paralelas al talud del banco con ángulos de 60° - 85° con respecto a la horizontal. Este tipo de calas son efectivas en la explotación de bancos con altura de 15 - 25 metros.

Las principales ventajas de las calas inclinadas en comparación con las verticales son la menor resistencia por el piso del banco y mejor trozamiento (fragmentación) de la roca.

Las calas inclinadas y horizontales; también se emplean con éxito en las canteras, en la explotación selectiva de minerales no ferrosos.

PARÁMETROS DE LOS DIAGRAMAS DE PERFORACIÓN PARA VOLADURAS

- Magnitud de la línea de resistencia por el piso W .
- Distancia entre calas o barrenos largos en la fila (a).
- Distancia entre filas de calas o barrenos largos (b).
- Coeficiente de acercamiento entre calas o barrenos largos $m = a/w$
- Número (n) de filas de calas o barrenos largos (Fig. II.3).

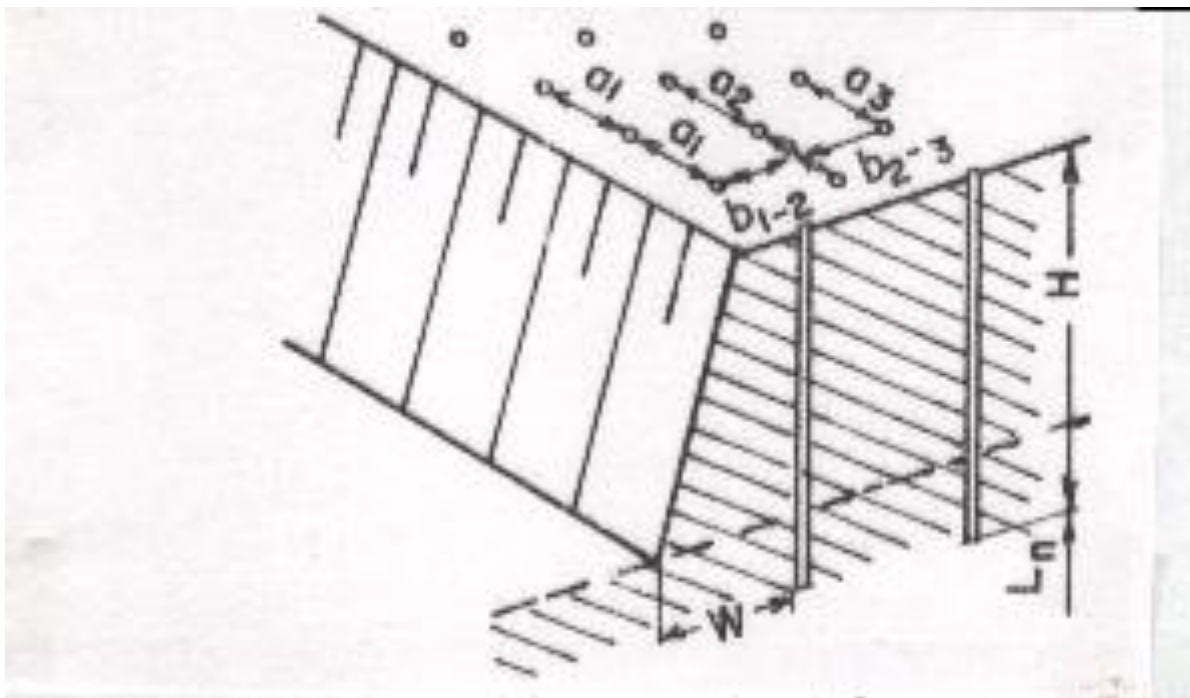


Fig.II.3. Parámetros para la disposición de filas múltiples de calas.

La magnitud de la línea de resistencia por el piso depende del diámetro de la cala o barreno largo, altura del banco y ángulo de inclinación del talud del banco, así como también de la calidad de la substancia explosiva y densidad del cargado. La línea de resistencia por el piso en gran medida influye en los resultados y calidad de la voladura y generalmente varía entre $(0,6 - 1,0) H$

MAGNITUD DE LA LÍNEA DE RESISTENCIA POR EL PISO

La magnitud de la línea de resistencia por el piso, en voladura con calas o barrenos largos aislados o en las voladuras con microretardos, se determina con la fórmula:

$$W = \sqrt{\frac{Pn}{mq}}$$

Donde:

p = Cantidad de sustancia por 1 m de cala o barreno largo , kg.

n = Coeficiente de empleo del volumen de la cala o barreno largo.

m = Coeficiente de acercamiento de las calas o barrenos largos.

q = Gasto específico de sustancia explosiva kg/m³.

Cuando se efectúan voladuras de bancos con filas múltiples de calas o barrenos largos, empleando microretardos, las cargas de S.E. trabajan, generalmente como si fueran cargas aisladas y por lo mismo, la línea de resistencia por el piso se determina como si se tratara de una cala o barreno largo aislado.

La distancia entre calas o barrenos largos en las filas y la distancia entre filas depende de la magnitud del diámetro, resistencia por el piso del banco y características físico - mecánicas de la roca.

La distancia entre calas o barrenos largos en la primera fila es:

$$a = mw_1, m$$

en la segunda y subsiguientes filas:

$$a = m_1 w_2, m$$

Donde:

m₁ = Coeficiente de acercamiento de las calas o barrenos largos en la segunda y subsiguientes filas.

El coeficiente de acercamiento de las calas o barrenos largos en las canteras varía de 0,75 a 1,5.

Cuando se realizan voladuras en masa el coeficiente de acercamiento se toma igual a 0,75 - 0,85.

Cuando se efectúa voladuras de calas o barrenos largos inclinados con microretardo en rocas resistentes el coeficiente se eleva hasta 1,4 - 1,5.

La disminución de la distancia entre calas o barrenos largos, bajo el resto de condiciones iguales, no mejora la calidad de la voladura, pero en cambio aumenta el ancho del amontonamiento y la distancia de lanzamiento de los pedazos de roca.

La distribución de las calas o barrenos largos en el banco en una o varias filas se establece en dependencia del frente de trabajo, altura del banco, necesidad y posibilidad de reservas de masa rocosa arrancada y parámetros de la maquinaria de trabajo.

La distancia entre filas de calas o barrenos largos se establece por :

$$b = (0,75 - 1,0) W.$$

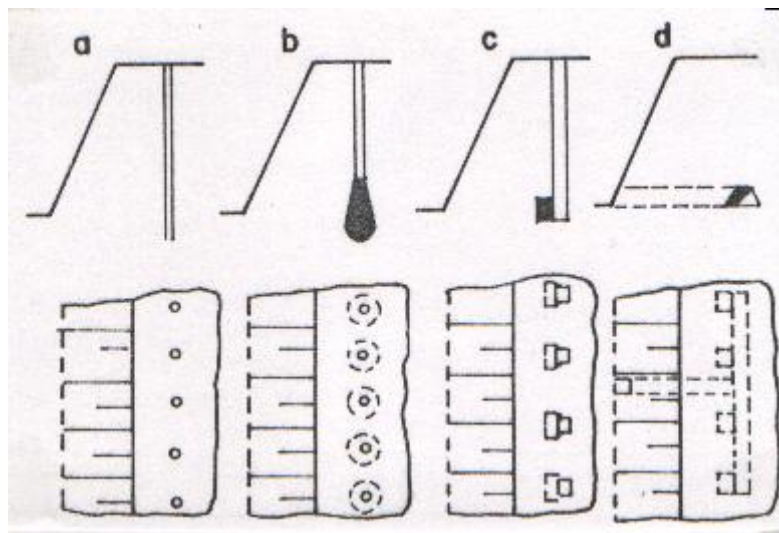
Para establecer con mayor exactitud esta distancia es indispensable conocer la cantidad de sustancia explosiva que entra en un 1 m de cala o barreno largo en la segunda y subsiguientes filas, la cual se establece experimentalmente para las condiciones concretas de la cantera.

CALCULO DE LA MAGNITUD DE CARGA DE SUSTANCIA EXPLOSIVA

Generalmente para la voladura de roca en canteras se emplea explosivos tipo dinamita; en los últimos años se ha comenzado a emplear anfo (nitrato de amonio + diesel), constituido de 95% (por peso) de nitrato de amonio granulado y 5% de diesel.

Carga, se denomina a una determinada cantidad de sustancia explosiva preparada para la voladura.

Las cargas por la forma de distribución de la sustancia explosiva en la cala o barreno largo pueden ser: continuas, discontinuas y concentradas.



MÉTODOS DE CARGAS PARA LAS VOLADURAS EN LAS CANTERAS:

a- cargas en hueco (calas o barrenos largos); - Cargas concentradas; c y d- cargas camerales.

En las cargas continuas la cantidad de sustancia explosiva dispuesta en la parte inferior de una cala o barreno largo inclinado o vertical, llamada comúnmente carga de fondo, actúa solamente en la parte inferior del banco; la carga intermedia dispuesta sobre la carga de fondo, denominada carga de columna, actúa sobre la parte media del banco; la parte superior de la cala o barreno largo, generalmente se rellena (retaquea) con arena o greda y el trozamiento de la parte superior del banco se produce básicamente por gravedad, por el peso propio de la roca. En las voladuras con frecuencia se produce la formación de trozos no condicionados.

Las cargas concentradas (puntuales) se emplean en aquellos casos, cuando en la cala o barreno largo no entra la totalidad de volumen de la carga calculada de sustancia explosiva. Esto puede suceder en la explotación de bancos con taludes acostados. La desventaja de las

cargas concentradas es la falta de uniformidad en el trozamiento de la roca y la gran cantidad de material no condicionado.

Las cargas concentradas camerales en las canteras modernas se emplea, solamente en casos aislados, en cortes de nuevos niveles en las faldas de montaña; una variante denominada **coyotera**, se emplea en canteras de materiales de construcción en nuestro país en forma antitécnica.

La magnitud de carga de sustancia explosiva depende de la resistencia y estructura de las rocas, de los parámetros de las calas o barrenos largos y de su esquema de distribución, de la construcción de la carga, método de voladura, calidad de la sustancia explosiva y de la forma y dimensiones indispensables del amontonamiento.

La magnitud de una carga continua de sustancia explosiva para la voladura de una sola fila de calas o barrenos largos se determina por la fórmula.

$$Q = q \cdot hb \cdot a \cdot w, \text{ Kg}$$

Donde:

q = Gasto específico de sustancia explosiva, kg/m^3

hb = Altura del banco, m.

a = Distancia entre calas o barrenos largos en la fila, m.

W = Línea de resistencia por el piso, m.

La longitud de retacado en cargas continuas para calas o barrenos largos, de acuerdo con datos prácticos, debe constituir el 0,50 - 0,53 de la profundidad de la cala o barreno largo. También puede partirse del hecho que no más de los 2/3 de la longitud de la cala o barreno debe ser ocupada por la carga. Para condiciones concretas, la longitud de retacado es preferible establecer mediante ensayos experimentales en la cantera.

La longitud de retacado se puede establecer, también mediante la fórmula empírica:

$$l_{ret} = u \cdot w, \text{ m}$$

Donde:

μ = Coeficiente de retacado ($\mu = 0,4 - 0,7$)

Cuando se desea obtener un suficiente trozamiento de la roca en la parte superior del banco se puede tomar la longitud de retacado igual a:

$$l_{ret} = (21 - 25) d_{cal}$$

Donde:

d_{cal} = Diámetro de la cala.

CARGAS DISCONTINUAS

Cuando se emplean cargas discontinuas la carga puede dividirse en dos o tres parte (Fig. II.4). Si la carga se distribuye en dos partes en la parte superior se coloca el 30 - 40% del peso total de la carga. Si se divide en tres o más partes la carga de S.E., en la parte inferior se coloca el 50% de la carga total y el otro 50% se divide en partes iguales para las cargas superiores.

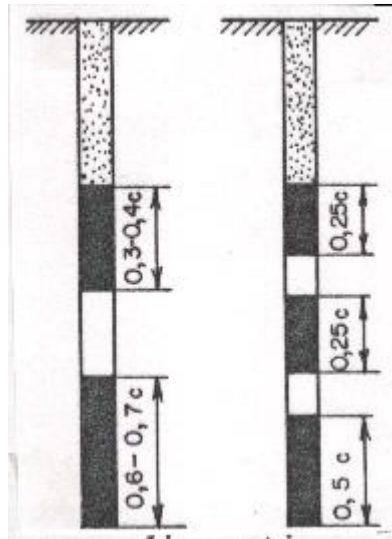


Fig.II.4. Calas con cargas discontinuas: a- carga dividida en dos partes; b- carga dividida en tres partes.

En las cargas discontinuas con intervalos vacíos de compensación la sustancia explosiva se distribuye de la siguiente manera: la magnitud de la carga superior se toma igual a 1/3 - 1/5 de la carga básica inferior, la longitud del intervalo vacío de compensación se toma 0,5 a 3 m. En estos casos la carga superior debe estar no menos de 3 m por debajo de la boca de la cala o barreno largo. l.

La magnitud de la carga concentrada (puntual) se puede determinar por la fórmula del Académico Soviético N.S. Melnikov.

$$Q = q * w_1 (w_1 + 1/2 w_1)^{2/3}$$

Donde:

q = Gasto específico de sustancia explosiva, kg.

W = línea de menor resistencia.

CARGADO Y RETACADO DE CALAS Y BARRENOS LARGOS

En las canteras el llenado de las calas y barrenos largos con sustancia explosiva y el retacado se efectúa, generalmente en forma manual por los trabajadores. En estos últimos años en muchas canteras se ha introducido el empleo de máquinas para el cargado y retacado de las calas o barrenos largos.

En la actualidad existen automotores especialmente diseñados para el cargado de las calas y barrenos largos con **anfo**. También existen automotores que tienen tanques de hasta 8 m³ con dos secciones para diferentes sustancias explosivas y con cargador y dosificador longitudinal y transversal. El automotor para el servicio ocupa un chofer y un artillero operador; el rendimiento de estos automotores es de más de 3 T por hora. Existen, también máquinas sobre orugas, tipo tractor, para este servicio, lo cual asegura un eficiente transporte en cantera sin caminos.

Se ha diseñado y construido automotores para el transporte del material de retacado (arena o grava) a la frente y el retacado mecánico de la cala o barreno largo.

La introducción de máquinas para el cargado y retacado de calas y barrenos largos ha permitido una gran disminución de la cantidad de trabajadores, elevación del rendimiento de trabajo y disminución de los gastos por explotación.

DETONACION DE CARGAS DE SUSTANCIA EXPLOSIVA EN CALAS (BARRENOS LARGOS) CON MICRORETARDOS

Las cargas en las calas (barrenos largos) se pueden detonar simultáneamente (instantáneamente) todas o con retardos de mili-segundos.

Antes de la introducción de las voladuras con microretardos la detonación de filas múltiples de calas (barrenos largos) era económicamente desventajosa, debido a la pequeña cantidad de masa rocosa trozada que se obtenía por unidad de longitud de cala o barreno largo, gran gasto específico de sustancia explosiva y limitada posibilidad de controlar la voladura, generalmente la disposición de filas múltiples de calas o barrenos largos se empleaba en el franqueo de trincheras y la explotación selectiva de yacimientos por capas horizontales.

En la voladura de calas (barrenos largos) con microretardos, las cargas de las calas o barrenos largos dispuestos en una sola fila, también pueden detonarse en serie (Fig. II.1 a) o en forma alterna, saltándose una carga (Fig. II.1 b).

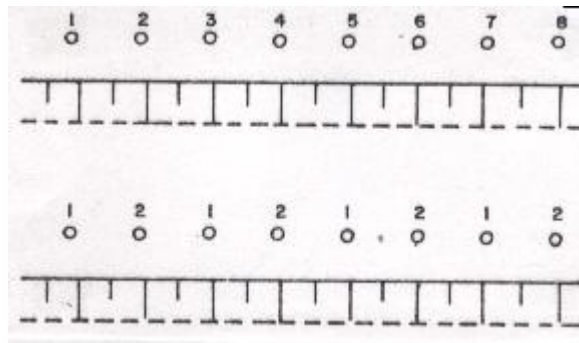


Fig.II.5- Secuencia en la voladura microretardada de cargas dispuestas en una sola fila de calas (barrenos largos).

El intervalo de retardo se determina en dependencia de la resistencia y estructura de la roca. En canteras con rocas de fracturamiento pequeño por ejemplo, se emplean los siguientes retardos (Tabla II.1)

Con el aumento del retacado disminuye el ancho del amontonamiento, pero se empeora el grado de trozamiento de las rocas.

TABLA II-2

TABLA DE MICRORETARDOS EN FUNCION DEL TIPO DE ROCAS

COEFICIENTE DE RESISTENCIA (F) DE ACUERDO A PROTODIAKONOV	RETARDO EN MILISEGUNDOS (mls)
Hasta 12	40 - 60
12 - 16	25 - 30
16 y más	20 - 25

Orientativamente el valor del intervalo de retardo se puede determinar por la fórmula:

$$t = K \cdot W, \text{ miliseg}$$

Donde:

K = coeficiente, que depende de la resistencia de las rocas (para rocas resistentes K = 3 miliseg/m, para rocas suaves K = 6 miliseg/m).

W = línea de resistencia por el piso, m.

La voladura de filas múltiples con empleo de microretardos se utiliza, especialmente con éxito en la explotación de rocas resistentes y de resistencia media, en bancos con altura de mas de 10 m y con franjas amplias.

Cuando se efectúa voladuras de filas múltiples de calas o barrenos largos en forma simultánea (sin microretardos), entonces solo las cargas de las calas o barrenos largos de la primera fila realizan el trabajo, botando el material hacia el talud del banco, o sea, hacia el lado de la línea de menor resistencia; el trabajo fundamental del resto de cargas de las calas o barrenos largos, de las subsiguientes filas, botan el material hacia arriba.

La voladura de filas múltiples de calas o barrenos largos con microretardos, permite efectuar la detonación de las filas de calas o barrenos largos exacta y rígidamente en determinada consecutividad o serie (1,2,3,4) Fig. II.6 y dirigir la energía de la detonación de las cargas de sustancia explosiva de todas las filas de calas o barrenos largos hacia el lado del talud del banco.

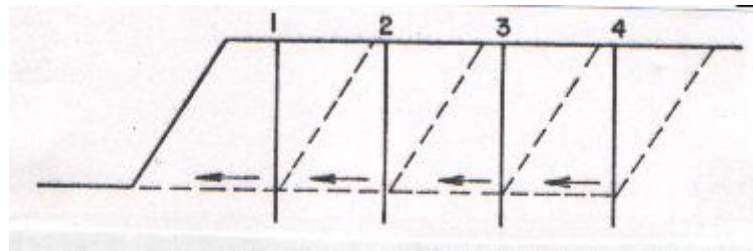


Fig.II.6. Dirección del desmenuamiento del banco en la detonación de filas de cargas de calas o barrenos largos con microretardos.

En las voladuras con microretardos, de calas o barrenos largos dispuestos en el banco en varias filas, las cargas se pueden detonar por filas en serie o formando cortes (Fig. II.7).

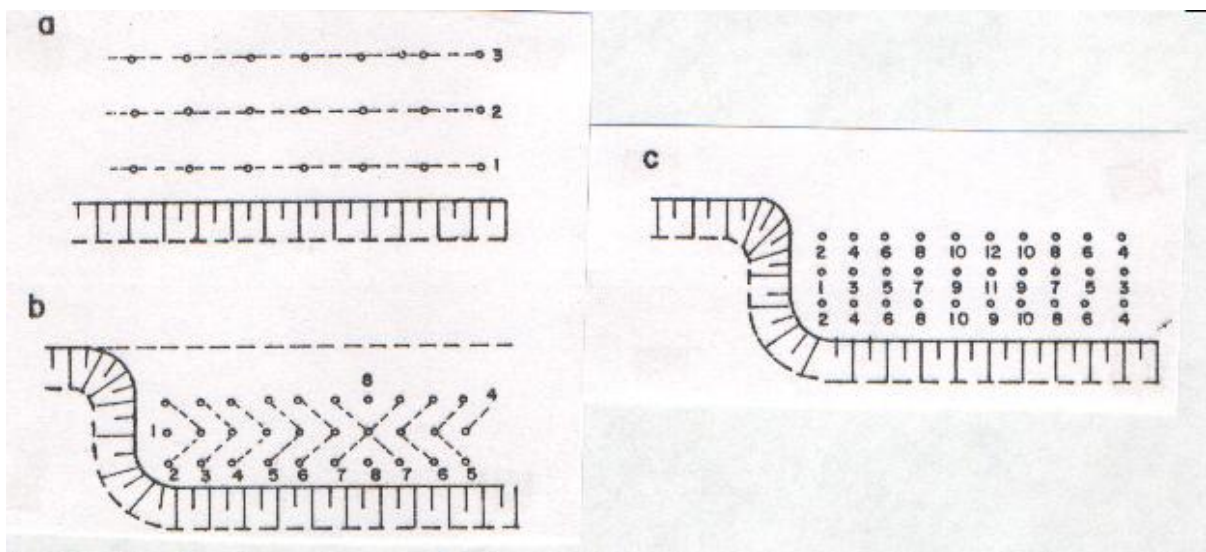


Fig.II.7. Secuencia en la voladura con microretardos de cargas dispuestas en filas múltiples de calas o barrenos largos: a- detonación por filas; b y c- con cuele lateral.

VENTAJAS DE LAS VOLADURAS FORMANDO CORTES O CUÑAS COMPLEMENTARIOS

- La detonación de calas o barrenos largos formando corte, en comparación con la detonación por filas, permite obtener un mejor trozamiento de la masa rocosa, debido a los choques complementarios al producirse el encuentro de los pedazos de la masa volada en el proceso de lanzamiento.
- El empleo del corte lateral favorece la formación de un amontonamiento con ancho mínimo. Esto se produce porque las cargas de las calas o barrenos largos de todas las filas, en este caso, trabajan hacia el costado lateral del banco.
- La práctica muestra que el ancho del amontonamiento, medido desde la línea de calas (barrenos largos) de la primera fila, es constante bajo cualquier número de filas, creciendo solamente la altura del amontonamiento.

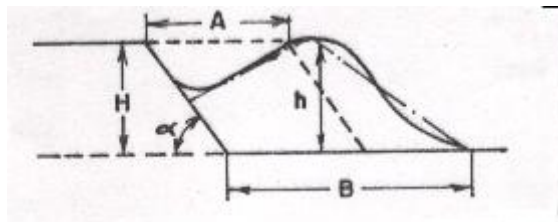


Fig.II.8. Esquema para el cálculo del ancho del bloque (franja).

Las voladuras de filas múltiples de calas (barrenos largos) con microretardos en comparación con las voladuras de una sola fila, tienen algunas ventajas:

- Trozamiento más uniforme de la roca.
- Mejor empleo del frente de trabajo de la cantera.
- Más alto rendimiento de la maquinaria básica de la cantera.

La longitud del bloque, que se somete a voladura, se determina partiendo de las condiciones de potencia de la maquinaria de cargado, altura y ancho del banco. En este caso debe tomarse en cuenta el tiempo durante el cual la masa rocosa volada no se prensa.

TROZAMIENTO DE PEDAZOS NO CONDICIONADOS

El trozamiento de los pedazos no condicionados de rocas, llamado también trozamiento secundario, en las canteras se efectúa mediante el empleo de los siguientes métodos:

- Cargas planchas (parches), denominado a veces de cargas conformadas.
- Cargas introducidas en huecos (barrenos).
- Hidrovoladura.

El trozamiento con cargas planchas (parches) se realiza mediante la detonación directa de sustancia explosiva colocada sobre la superficie superior del pedazo no condicionado en forma de capa de material inerte ya sea arcilla, arena o tierra

(Fig.II.9 a). El grosor de esta capa no debe ser inferior al grosor de la capa de sustancia explosiva.

Este método de trozamiento de pedazos no condicionados se emplea en rocas frágiles de fácil fracturamiento y cuando el volumen de salida de material no condicionado es pequeño. En estos casos el elevado gasto de sustancia explosiva se compensa por la ausencia de gastos en maquinaria de perforación y aire comprimido, así como también por la ausencia de gastos en el mantenimiento de personal de servicio.

El trozamiento de pedazos no condicionados mediante el empleo de cargas en huecos (barrenos) está muy difundido en las canteras. Generalmente la profundidad de los huecos (barrenos) no sobrepasa la mitad del grosor del pedazo.

La carga de sustancia explosiva ocupa de un cuarto a un medio de la longitud del hueco(barreno). El diámetro del hueco (barreno) para el trozamiento secundario es de 26 - 36 mm (Fig. II.9 b).

En las canteras, cuando se explota rocas resistentes con salida de un gran volumen de material no condicionado, mucho más económico es emplear en el trozamiento secundario el método de cargas en huecos (barrenos) angostos.

Las principales desventajas del trozamiento secundario con cargas en huecos y cargas planchas constituyen:

- El lanzamiento a grandes distancias de trozos de roca (200 - 400 m desde el sitio de voladura).
- Fuerte onda de choque de aire, y
- Alto costo.

El radio de lanzamiento de los trozos, en la voladura con cargas en huecos, alcanza 200 m y en las voladuras de cargas planchas (parches) no menos de 300 m. El gasto de sustancia explosiva por m³ de material no condicionado, en el método de cargas planchas, en dependencia de las dimensiones y propiedades físico mecánicas de la roca varía desde 1 hasta 2 kg y en el método de cargas en huecos desde 0,1 hasta 0,3 kg.m³.

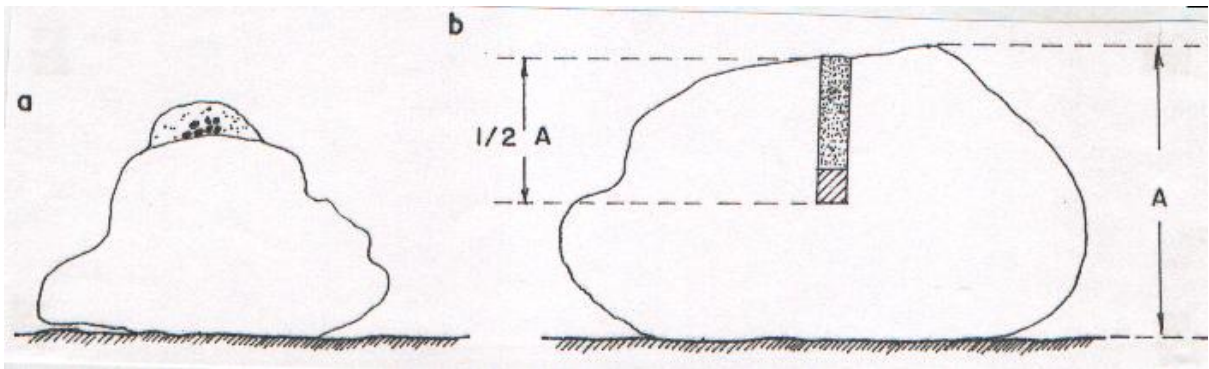


Fig.II.9. Métodos de Trozamiento secundario: a- carga plancha; b- carga en hueco.

Estas desventajas se pueden parcialmente eliminar mediante el empleo de las hidrovoliduras en el trozamiento secundario. La esencia del método consiste en la voladura de pequeñísimas cargas (8 - 12 veces menores que las cargas en huecos) de sustancia explosiva de alto brisance colocadas en huecos (barrenos) rellenos con líquido (Fig. II.10). El líquido en el hueco viene como a complementar la carga y constituye junto con ella una carga continua de sustancia explosiva.

El despedazamiento de los pedazos no condicionados de roca se produce, comúnmente por las fracturas radiales de tracción.

En estos últimos años los trabajos de perforación y voladura en el trozamiento secundario, en forma exitosa, se está reemplazando por métodos mecánicos y físicos de trozamientos: caída de pesas, combos neumáticos, métodos térmicos, eléctricos de alta frecuencia, electrotérmicos, etc.

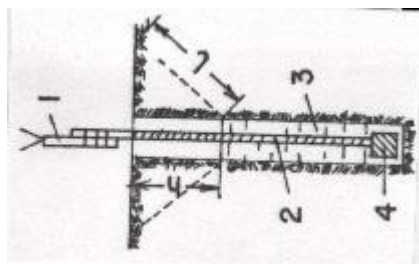


Fig.II.10. Carga para el trozamiento de pedazos no condicionados por el método de hidrovolidura: 1- detonador; 2- cordón detonante; 3- líquido; 4- carga de sustancia explosiva.

Uno de los métodos mecánicos de trozamiento secundario constituye el despedazamiento por caída de pesas. En calidad de mecanismo de levantamiento, en este caso, se emplean grúas o dragalinas, como peso sirve mazos metálicos de hasta 2 - 3 T. Las pesas más utilizadas por su forma son de tipo cilíndrico o prismas hexagonales con la relación altura - diámetro 3:1. En la parte inferior de la pesa se suelda planchas de metal de gran resistencia y durabilidad. El tiempo de servicio de una pesa de este tipo es de hasta 2 años. Para el trabajo seguro del maquinista, la cabina se cierra con escudo metálico o se monta vidrio especial.

También se han construido máquinas neumáticas para el trozamiento de pedazos no condicionados, así por ejemplo en la URSS existe la máquina BP-2 (combo - neumático) con las siguientes características:

Número de golpes por hora ----- 200 - 300
Gasto de aire comprimido m³/min ----- 4 - 6
Desplazamiento ----- sobre orugas
Motor ----- a diesel
Cantidad de pedazos no condicionados
con dimensiones 1 x 1 x 1, m que
despedaza por turno ----- 100

Este tipo de combo, con altura de colgado de la pesa de 6 m, realiza hasta 5 golpes por minuto. El tiempo del ciclo de golpe se efectúa en 60 seg.

Este tipo de trozamiento secundario tiene las siguientes desventajas:

- Gran trabajosidad en el trozamiento de pedazos piramidales.
- Bajo coeficiente de empleo de la maquinaria.
- Rápido desgaste de los cables de levantamiento.

Otro método de trozamiento mecánico de pedazos no condicionados consiste en lo siguiente: la grúa greifier de automovimiento coge los pedazos no condicionados, los levanta hasta determinada altura y luego los arroja sobre una plancha metálica, dispuesta en la frente. Cuando el peso de los pedazos es de 5 - 7 T, el peso de la plataforma de despedazamiento es de cerca de 15 T. La plataforma en forma periódica se limpia con buldócer. Este método, en cierto grado, deslinda las desventajas del primer método de trozamiento mecánico de los pedazos no condicionados.

La desventaja general de los métodos mecánicos de trozamiento de pedazos no condicionados es lo grande de la maquinaria y su empleo posible, solamente en rocas de poca resistencia.

Los métodos electrotérmicos de trozamiento secundario se basa en la creación de un campo térmico que atraviese el pedazo. Uno de estos métodos es de despedazamiento de las rocas con corrientes de alta frecuencia. La esencia de este método es la siguiente: desde un generador de alta frecuencia se hace llegar la tensión sobre el pedazo de roca por medio de dos contactos. La potencia del generador puede ser de 50 hasta 150 Kw y la tensión desde 2 hasta 10 Kv, la frecuencia de 0,2 hasta 0,5 - MH. La roca en la zona de contacto se calienta, su resistencia disminuye y se forma un canal térmico que atraviesa el pedazo. En la roca circundante del canal aparecen tensiones mecánicas que llevan al despedazamiento del pedazo de roca.

El rendimiento de una instalación de este tipo es de 10 - 15 m³/h. El gasto de energía en el trozamiento de cuarcitas de hierro es de 2 - 5 Kwh/m³.