

# Laboreo I

## Bloque III. Rotura y Cálculo de Voladuras



**Rubén Pérez Álvarez**  
**Noemí Barral Ramón**

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES Y TECNOLOGÍA DE  
PROYECTOS Y PROCESOS

Este material se publica con licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



## **BLOQUE TEMÁTICO 3: ROTURA Y CALCULO DE VOLADURAS.**

- 3.1. Voladuras en banco**
- 3.2. Voladuras de contorno**
- 3.3. Voladuras subterráneas**
- 3.4. Otras voladuras y voladuras especiales**

#### DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Aquellas en que la roca presenta dos caras libres (paralela y perpendicular al barreno), sobre las que el explosivo puede ejercer su acción.

El banqueo es la forma más sencilla de ejecución de voladuras de exterior (canteras, cortas, excavaciones,...). La aplicación de esquemas y cargas prefijados facilita la automatización.

Consume entre el 80% y el 90% de los explosivos industriales.

#### \*TAMAÑOS DE PERFORACIÓN

$\Phi$ pequeño	33-50 mm	Pequeños desmontes, túneles, minería subterránea
$\Phi$ medio	65-165 mm	Canteras, explotaciones medianas, excavaciones de obra civil
$\Phi$ grande	180-450 mm	Gran minería a c.a., alguna explotación de áridos para cemento

#### ALGUNOS ASPECTOS INDICATIVOS DE UNA BUENA VOLADURA

El objetivo es la homogeneidad y correcta fragmentación, que facilite las operaciones posteriores.

Si no aparecen bolos en la parte alta del escombro, tampoco los habrá por debajo (la zona superior lleva menos explosivo).

Si el material queda próximo al frente, a poyado en este, la voladura se calculó bien (no exceso de explosivo)

**TAMPOCO CONVIENE REDUCIR EN EXCESO**

Fuente: Adaptado de "MANUAL DE PERFORACION Y VOLADURA DE ROCAS". CARLOS LOPEZ JIMENO, EMILIO LOPEZ JIMENO y PILAR GARCIA BERMUDEZ (2003)

#### FACTORES TÉCNICOS ESENCIALES

**Diámetro de perforación** (en base a la altura de banco, tamaño óptimo de bloques; coste, calidad y velocidad de perforación de la máquina)

**Tipo de explosivo** (deberá ser el que aporte mejor rendimiento con la perforación efectuada)

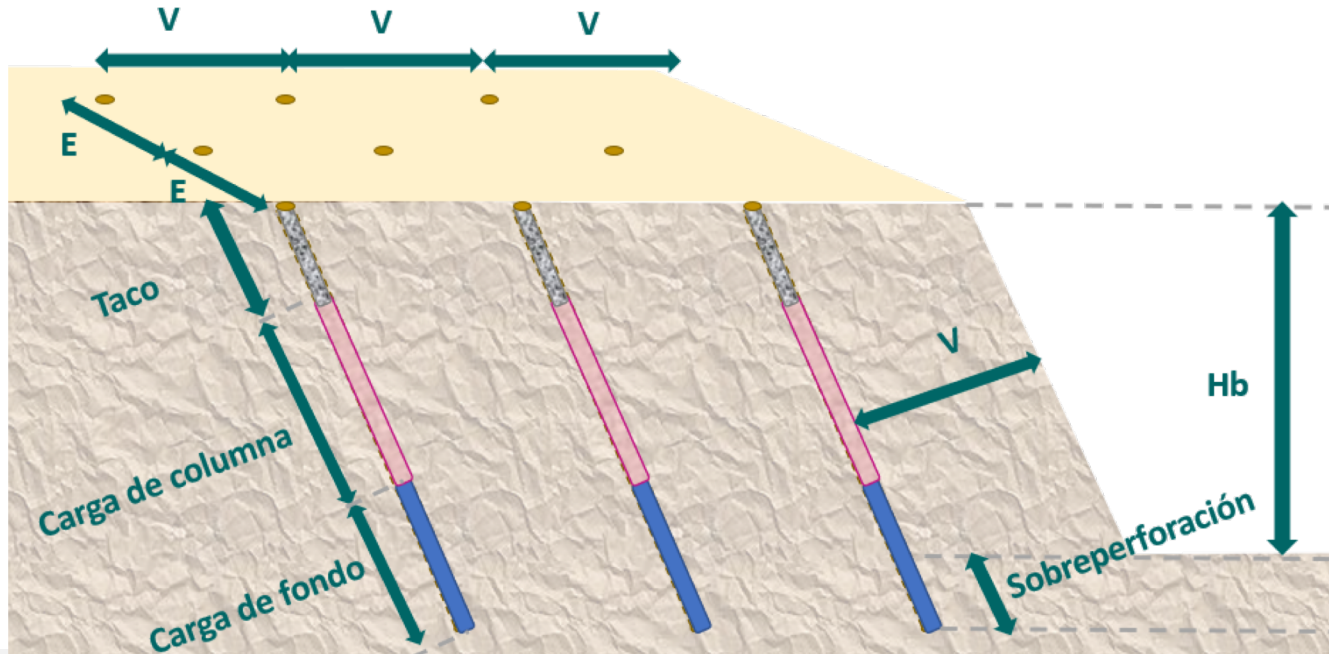


De acuerdo con ello debe diseñarse el esquema de perforación (piedra, separación, pendiente y profundidad). Otro factor importante es la SECUENCIACIÓN.

*\*Los diámetros límites pueden diferir en función de la fuente. Ciertos autores designan la voladura de diámetro medio como de diámetro pequeño o diámetro pequeño-medio*

#### PARÁMETROS

Fuente: Adaptado de "MANUAL DE PERFORACION Y VOLADURA DE ROCAS".  
CARLOS LOPEZ JIMENO, EMILIO LOPEZ JIMENO y PILAR GARCIA BERMUDEZ (2003)

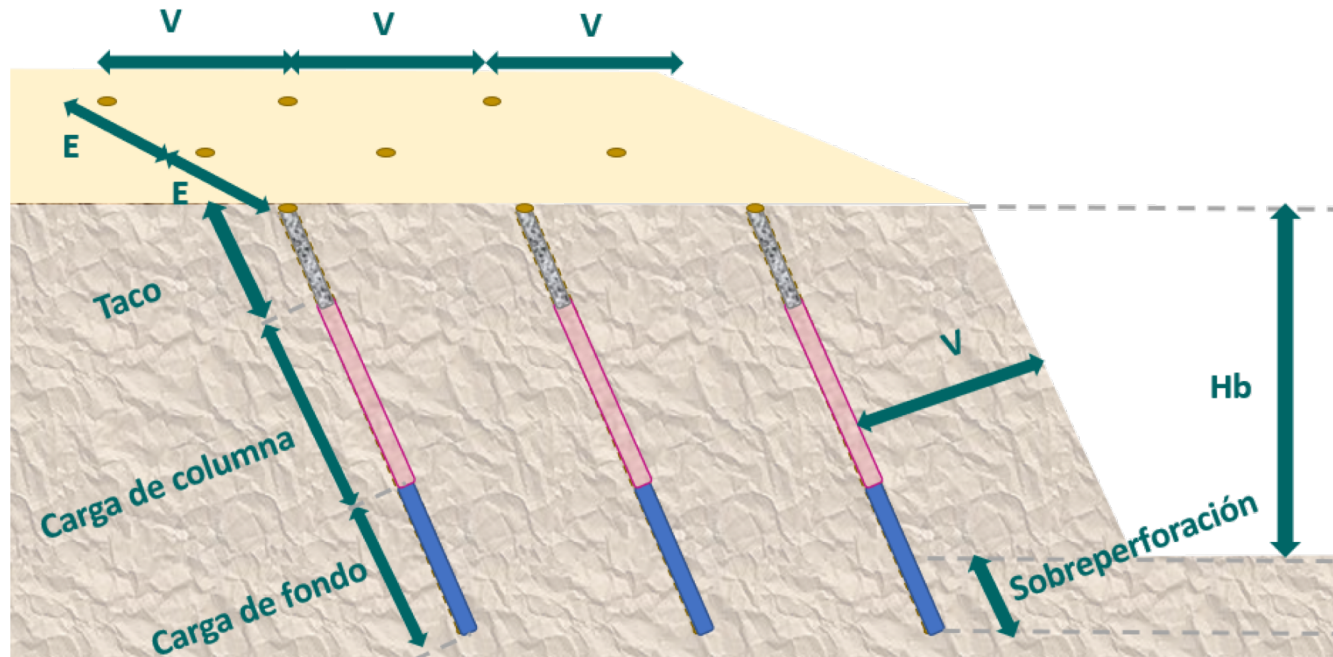


- **F**=Diámetro de perforación del barreno (en pulgadas o milímetros)
- **V=B=P**= "Piedra", Distancia que hay del barreno a la cara / Mínima distancia del fondo del barreno a la cara libre del banco.
- **E**= Espaciamiento o distancia que hay entre barrenos de una misma fila (m).
- **Hb**= Altura de banco (m).
- **Sp=J**= Sobreperforación, longitud de barreno perforada por debajo de la línea del piso de la cantera (m), necesario para cortar por la rasante el piso de la voladura. Si es escasa genera "repiés", si es excesiva, puede "atronar" el terreno subyacente y ocasionar socavones.

Los parámetros a los que acompañan más de una designación son aquellos que reciben diversas notaciones en función del criterio o autor

**PARÁMETROS**

Fuente: Adaptado de "MANUAL DE PERFORACION Y VOLADURA DE ROCAS". CARLOS LOPEZ JIMENO, EMILIO LOPEZ JIMENO y PILAR GARCIA BERMUDEZ (2003)



- $r = T$  = Retacado, representa la longitud de barrenos que queda sin carga
- $L_b = K$  = Longitud total del barrenos, función de la inclinación, de la sobreperforación y la altura de banco (m).
- $Q_f = C_f$  = carga de fondo, cantidad de explosivo en Kg que se introduce en el fondo del barrenos.
- $Q_c = C_c$  = carga de columna, es el resto de explosivo en Kg que se introduce sobre la carga de fondo.
- Inclinación de los barrenos o pendiente de los mismos, siendo las más comunes 3:1 ó 1:1. Puede expresarse también en grados sexagesimales.

Los parámetros a los que acompañan más de una designación son aquellos que reciben diversas notaciones en función del criterio o autor

### INFLUENCIA DE LOS FACTORES ADOPTADOS EN LA VOLADURA

Fuente: Adaptado de "MANUAL DE PERFORACION Y VOLADURA DE ROCAS".  
CARLOS LOPEZ JIMENO, EMILIO LOPEZ JIMENO y PILAR GARCIA BERMUDEZ (2003)

#### DIÁMETRO

##### DIÁMETRO PEQUEÑO

###### VENTAJAS

Puede propiciar una mejor distribución del explosivo (Menor consumo específico)

###### DESVENTAJAS

Encarecimiento de costes de perforación, cebado e iniciación. Mayor tiempo requerido en carga, retacado y conexión

##### GRAN DIÁMETRO

###### DESVENTAJAS

Aumento del consumo específico y el retacado requerido.  
La granulometría puede ser inadecuada (Ej: Esquemas de perforación más grandes, pudiendo existir bloques formados por diaclasas y discontinuidades de amplio espaciamiento no atravesados por barrenos. Se aconseja que el espaciamiento entre barrenos sea menor que el existente entre fracturas)

###### VENTAJAS

Elevación de la velocidad de detonación de los explosivos.  
Reducción del coste global de perforación y voladura.  
Posibilidad de mecanizar la carga de explosivo,  
Mayor rendimientos de perforación (m<sup>3</sup> volados/m lineal perforado)  
Incremento de los rendimientos de las excavadoras.

#### INFLUENCIA DE LOS FACTORES ADOPTADOS EN LA VOLADURA

Fuente: Adaptado de "MANUAL DE PERFORACION Y VOLADURA DE ROCAS".  
CARLOS LOPEZ JIMENO, EMILIO LOPEZ JIMENO y PILAR GARCIA BERMUDEZ (2003)

#### ALTURA DE BANCO

Por delante de los barrenos, existe un paralelepípedo de roca que incluye sobre el resultado de las voladuras.

$1 \leq H/B < 2$

Fragmentación gruesa, sobreexcavación y repiés.

RATIO ALTURA/PIEDRA

SI  $H/B \geq 3$

Desaparecen esos efectos (SUELE APLICARSE EN CANTERAS Y DESCUBIERTAS)

H PEQUEÑA

Voladuras muy sensibles a la variación de B (Piedra) y S (Espaciamiento.)

H GRANDES

Posibles problemas de desviación de los barrenos (Afectan a la fragmentación, y pueden inducir vibraciones, proyecciones y sobreexcavaciones por no mantenerse la malla constante en todo el barreno).

**INFLUENCIA DE LOS FACTORES GEOMÉTRICOS ADOPTADOS EN LA VOLADURA** adaptado de "MANUAL DE PERFORACION Y VOLADURA DE ROCAS".  
LOPEZ JIMENO, EMILIO LOPEZ JIMENO y PILAR GARCIA BERMUDEZ (2003)

### INCLINACIÓN DEL BARRENO

#### VENTAJAS DE LA PERFORACIÓN INCLINADA

- Mejor fragmentación, desplazamiento y esponjamiento del material (B se mantiene más uniforme, se incrementa el ángulo de trayectoria de proyección).
- Menores problemas de posibles descabezamientos de barrenos por otros barrenos anteriores, reduciendo cortes y fallos posibles.
- Taludes más sanos.
- Mayor rendimiento de palas cargadoras (menor altura de pila de escombros, y mayor esponjamiento)
- Menor sobreperforación, mejor rendimiento de la perforación, mejor aprovechamiento energético, reducción de vibraciones.
- Menor consumo específico de explosivo.

#### INCONVENIENTES DE LA PERFORACIÓN INCLINADA

- Mayor desviación en barrenos largos.
- Incremento en la longitud de perforación.
- Dificultades de posición y emboquille de equipos de perforación.
- Requiere supervisión cuidadosa.
- Reduce el empuje disponible en las perforadoras.
- Mayor desgaste de fungibles.
- Mayores esfuerzos en el mástil y la traslación.
- La reducción de la altura de la pila es negativo en caso de trabajar con excavadoras de cables.
- Dificultades de barrido.
- Problemas para la carga del explosivo.



#### INFLUENCIA DE LOS FACTORES GEOMÉTRICOS ADOPTADOS EN LA VOLADURA

##### RETACADO

Relleno de la parte superior del barreno con material inerte, con objeto de confinar los gases de explosión para que fragmenten debidamente la roca. Debe considerarse el tipo y tamaño del material, y la longitud de retacado.

##### RETACADO INSUFICIENTE

Escape prematuro de gases  
(onda aérea y proyecciones)

##### RETACADO EXCESIVO

Bloques de la parte alta del barreno,  
vibraciones y poco espojamiento

- Es frecuente el empleo del detrito de perforación (disponible en gran cantidad).
- En teoría materiales angulosos (ej: de machaqueo) y con escasa humedad dan mejor respuesta.
- El tamaño adecuado de partícula se considera entre  $1/17$  y  $1/25$  del diámetro de perforación.
- Longitudes comunes de retacado son las comprendidas entre 20D y 60D, si bien es aconsejable recurrir en la medida de lo posible de las superiores a 25 D.
- En voladuras de varias filas, debe prestarse especial atención al retacado de la primera, sobre todo con frente irregular.
- Al cebar en cabeza, ha de considerarse el efecto negativo del cordón detonante en el taco (lo comprime, y posibilita el escape prematuro de los gases).
- Es posible recurrir a retacados intermedios de barrenos para reducir el consumo específico (cargas fragmentadas), salvar coqueras (huecos o cavidades), o garantizar la no iniciación por simpatía o la desensibilización por compresión.

#### INFLUENCIA DE LOS FACTORES GEOMÉTRICOS ADOPTADOS EN LA VOLADURA

#### SOBREPERFORACIÓN

Longitud del barreno por debajo del nivel del piso, necesario para romper la roca a la altura del banco y lograr fragmentación y desplazamiento adecuado para el equipo de carga. Si no es suficiente, aparecerán repiés que encarecerán la carga.

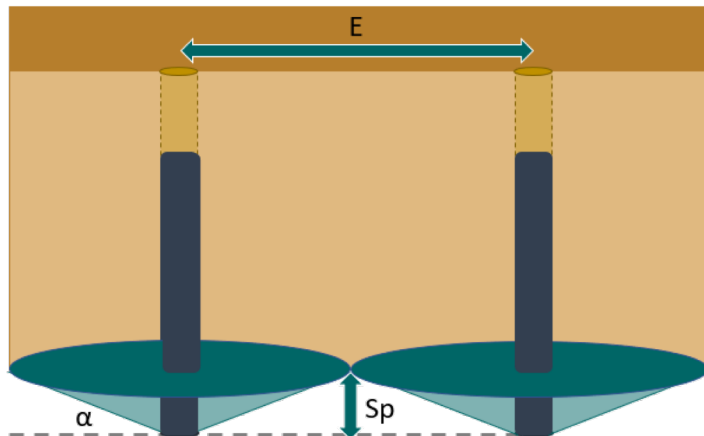
#### SOBREPERFORACIÓN INSUFICIENTE

#### REPIÉS (Encarecimiento de la carga)

#### SOBREPERFORACIÓN EXCESIVA

- Incremento de costes de perforación y voladura.
- Incremento de vibraciones.
- Fragmentación excesiva en la zona inferior del banco, problemas de estabilidad en taludes finales de corta.
- Aumento del riesgo de descabezamiento y sobreexcavación.

El corte del fondo del barreno se produce en conos de entre 10 y 30º de ángulo con la horizontal. Un valor habitual para que se produzca la intersección de esos conos suele ser de  $J=0.3B$  para rocas medias



Relación J/B	Terreno
0.5-0.4	Roca dura. Repiés de difícil gestión.
0.3	Rocas medias. Repiés normales.
0.2 - 0.1	Rocas blandos. Escasa probabilidad de repiés.
0	Estratificación horizontal. Planos de discontinuidad ubicados en el pie del banco

**INFLUENCIA DE LOS FACTORES GEOMÉTRICOS ADOPTADOS EN LA VOLADURA** adaptado de "MANUAL DE PERFORACION Y VOLADURA DE ROCAS".  
CARLOS LOPEZ JIMENO, EMILIO LOPEZ JIMENO y PILAR GARCIA BERMUDEZ (2003)

### PIEDRA Y ESPACIAMIENTO

La **pedra (B)**, es la distancia mínima existente entre el eje de un barreno y el frente libre. El **Espaciamiento (S)**, es la distancia entre barrenos de una misma fila. Dependen del tipo de roca, los explosivos, la altura de banco y el grado de fragmentación deseado.

Existen numerosas fórmulas de cálculo, proporcionando por lo general valores comprendidos entre 25 y 20 veces el diámetro de perforación, en función del macizo rocoso a volar.

#### PIEDRA EXCESIVA

Exceso de vibraciones (mucha resistencia a que los gases agrieten y desplacen la roca)

Proyecciones y onda aérea por el excesivo escape de los gases de la voladura

#### PIEDRA ESCASA

El **Espaciamiento** generalmente se establece en base a la piedra. Puede considerarse dependiente además de la secuenciación.

#### ESPACIAMIENTO ESCASO

Puede producir fragmentación inadecuada o rotura en cráter de la zona superior de los barrenos con proyecciones.

#### POSIBLES CAUSAS DE FALTA DE CONCORDANCIA ENTRE EL ESQUEMA TEÓRICO Y EL REAL

- Error de posicionamiento
- Falta de paralelismo entre barreno y cara del banco
- Desviaciones en perforación
- Irregularidades del frente del talud.

**INFLUENCIA DE LOS FACTORES GEOMÉTRICOS ADOPTADOS EN LA VOLADURA** Adaptado de "MANUAL DE PERFORACION Y VOLADURA DE ROCAS". CARLOS LOPEZ JIMENO, EMILIO LOPEZ JIMENO y PILAR GARCIA BERMUDEZ (2003)

### ESQUEMA DE PERFORACIÓN

Los esquemas comúnmente empleados son cuadrados o rectangulares (FACILITAN EL REPLANTEO).

Los esquemas a tresbolillo son sin embargo más efectivos, siendo el mejor entre ellos el que forma triángulos equiláteros.

#### VENTAJAS DEL TRESBOLILLO

- Optimiza la distribución de energía
- Posibilita una mayor flexibilidad en la secuencia de encendido y la dirección de salida de la roca.

La caída de tensión de la onda de choque es función del cuadrado de la distancia (al ser menor la distancia al barreno del punto más alejado posible, se puede incrementar la energía de rotura que le llegue empleando un esquema en tresbolillo en un 23% respecto al esquema cuadrado equivalente (que por otro lado ofrece buenos resultados en roca blanda)

#### VOLADURAS DE DIÁMETRO MEDIO

#### TEORÍA DE LA CARGA SELECTIVA

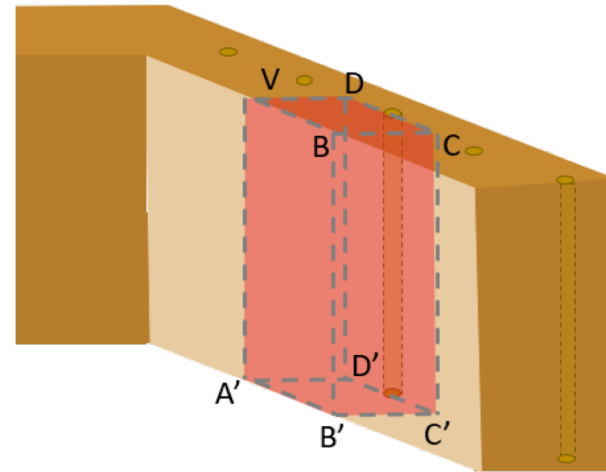
Para un tipo de roca homogéneo, la energía necesaria para el arranque de una voladura de banco es mayor en su zona inferior: el barreno ha de superar la resistencia a tracción de la roca en la sección CDD'C', y romper por cizallamiento la superficie A'B'C'D' en el fondo (la resistencia de la roca a esfuerzo cortante >> que a tracción).

La energía específica para la rotura del fondo se ha calculado 2,5 veces mayor que en la columna (zona central del barreno).

$$\frac{\rho_c \cdot S_c}{\rho_f \cdot S_f} = \frac{1}{4}$$

El explosivo empleado para la carga de fondo debe ser de gran potencia y densidad, y estar bien compactado, mientras que para la carga en columna basta un explosivo de baja densidad y media potencia.

En las voladuras en banco y cuando se utilicen diámetros medios de perforación (entre 50 y 150-165 mm), la carga debe ser selectiva, constituida por dos explosivos de distintas características (**fondo** y **columna**).



Ámbito de rotura de un barreno concreto. Fuente: : Adaptado de "Curso Básico de Explosivos". Jaime Ríos Vázquez (2009).



Imagen: Blasting near e75, Vantaa, Finland, photo 2/6. By halen [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)], from Wikimedia Commons

#### VOLADURAS DE DIÁMETRO MEDIO

#### DETERMINACIÓN DE LA PIEDRA

La piedra (V) y la separación de barrenos (E) máximas están limitadas por la carga de fondo, y una vez definida ésta, será fácil obtener la carga de columna por metro de barreno, a partir de la relación siguiente:

$$\frac{\rho_c \cdot S_c}{\rho_f \cdot S_f} = \frac{1}{4}$$

#### FÓRMULA DE LANGEFORS Y KHILSTROM PARA DETERMINAR LA PIEDRA (V)

- V= PIEDRA MÁXIMA en m
- D= Diámetro de perforación en mm.
- S<sub>f</sub>= Potencia relativa del explosivo de carga en fondo.
- ρ<sub>f</sub>=Densidad del explosivo de fondo.
- C= Factor de la roca.
- f= Grado de fijación (coeficiente dependiente del grado de inclinación de los barrenos.
- E/V= Relación entre la separación de los barrenos (E) y la piedra (V). Debe determinarse experimentalmente, aunque suele tomarse E=1,25 V con buenos resultados.

Para compensar los defectos de emboquillado y desviaciones de perforación, por las exigencias de una mayor proyección en el caso de efectuar varias filas de barrenos, este valor debe reducirse en un 10%.

FÓRMULA DE LANGEFORS Y  
KHILSTROM PARA DETERMINAR LA  
PIEDRA (V)

$$V = \frac{d}{33} \sqrt{\frac{\rho_f \cdot S_f}{c \cdot f \cdot \frac{E}{V}}}$$

Carga de fondo (encartuchada)	ρ <sub>f</sub>	S <sub>f</sub>
Emulsión	0.95	0.9
Hidrogel	0.9	0.95
Dinamita goma	1-1.1	1

$$V_{práctica} = 0.9 \cdot V_{teórica}$$

#### VOLADURAS DE DIÁMETRO MEDIO

#### DETERMINACIÓN DE LA PIEDRA

FÓRMULA DE LANGEFORS Y  
KHILSTROM PARA DETERMINAR LA  
PIEDRA (V)

$$V = \frac{d}{33} \sqrt{\frac{\rho_f \cdot S_f}{c \cdot f \cdot \frac{E}{V}}}$$

#### C, FACTOR DE ROCA:

El factor de roca c, aún variando con los diversos tipos de roca, no suele influir decisivamente. Si se supone a priori un c=0,4 (valor correspondiente a un granito del Escudo Báltico), en el caso de trabajar con una caliza estará sobredimensionando, trabajando del lado de la seguridad. En el caso de trabajar con peridotita, me quedaré corto. En cualquier caso suelen obtenerse errores de +-10% en el cálculo de V, subsanable en subsiguientes voladuras

Consumo de explosivo tipo para arrancar un metro cúbico de un determinado tipo de roca. Puede oscilar entre 0,2 y 0,6.

#### F, GRADO DE FIJACIÓN:

Dependerá de la inclinación de los barrenos, debe tenerse en cuenta ya que con pendientes 3:1 y 2:1 se obtienen arranques y rendimientos mejores.

Inclinación del barreno	2:1	3:1	Vertical
f	0.85	0.9	1

**NOTA IMPORTANTE:** La inclinación consigue mejor fragmentación, proporciona taludes más sanos, reduce la sobreexcavación, reduce la transmisión de vibraciones al entorno, proporciona escombros más esponjados y dado el mejor aprovechamiento de la energía del explosivo de fondo origina menores repiés, pero ofrece mayor riesgo de desviación de barrenos, mayor dificultad de alineación de los barrenos, mayor longitud de perforación por m3 excavado, pérdida del empuje de la perforadora, peor barrido de detritus, y carga más laboriosa.

### VOLADURAS DE DIÁMETRO MEDIO

#### SOBRE EL ESQUEMA DE PERFORACIÓN

##### SOBREPERFORACIÓN

Los barrenos suelen perforarse generalmente bajo el piso del banco inferior (rasante), en una longitud igual a  $0,3 V$ . Esto se realiza con objeto de disponer mayor cantidad de explosivo en el fondo del barreno, que facilite el arranque en esa zona.

Se realiza para compensar los efectos de la carga alargada (cilíndrica). En la teoría general de la voladura se considera la carga como una masa puntual, pero en el barreno no sucede, se distribuye repartidamente en un cilindro, por lo que no incide en la roca de manera uniforme como si se tratase de una esfera.

Tras comparar los efectos de una carga puntual y cilíndrica, se vio que si la carga cilíndrica no era excesivamente larga, el efecto práctico apenas se desvía del de carga puntual . (Hasta longitud de cilindro de explosivo= $0,3 V$ ).

Si se estima el efecto de una carga repartida en longitud  $L=V$  en base a la aplicación de la teoría de la carga puntual, el resultado práctico obtenido será el calculado para una carga repartida de longitud  $L= 0,7 V$ . ES POR ELLO QUE SE APLICA UNA CARGA DE FONDO DE LONGITUD  $V=V+0,3V$ , por lo que en estas voladuras se sobreperfora  $0,3 V$ .



#### VOLADURAS DE DIÁMETRO MEDIO

#### SOBRE EL ESQUEMA DE PERFORACIÓN

#### LONGITUD DEL BARRENO

BARRENO VERTICAL

$$L = H_{banco} + Sp = H_{banco} + 0.3 \cdot V$$

BARRENO INCLINADO 3:1

$$L = \frac{H_{banco}}{\cos(\text{atg} \frac{1}{3})} + Sp = \frac{H_{banco}}{0.95} + Sp = 1.053 \cdot H_{banco} + 0.3 \cdot V$$

BARRENO INCLINADO 2:1

$$L = \frac{H_{banco}}{\cos(\text{atg} \frac{1}{2})} + Sp = \frac{H_{banco}}{0.894} + Sp = 1.12 \cdot H_{banco} + 0.3 \cdot V$$

Otra posibilidad de cálculo la ofrece la siguiente expresión, en la que se corrige la sobreperforación en base a la inclinación: al aumentar el ángulo, se incrementa la longitud de perforación, pero se reduce la sobreperforación.

$$L = \frac{H_{banco}}{\cos(\beta)} + \left(1 - \frac{\beta}{100}\right) \cdot Sp$$

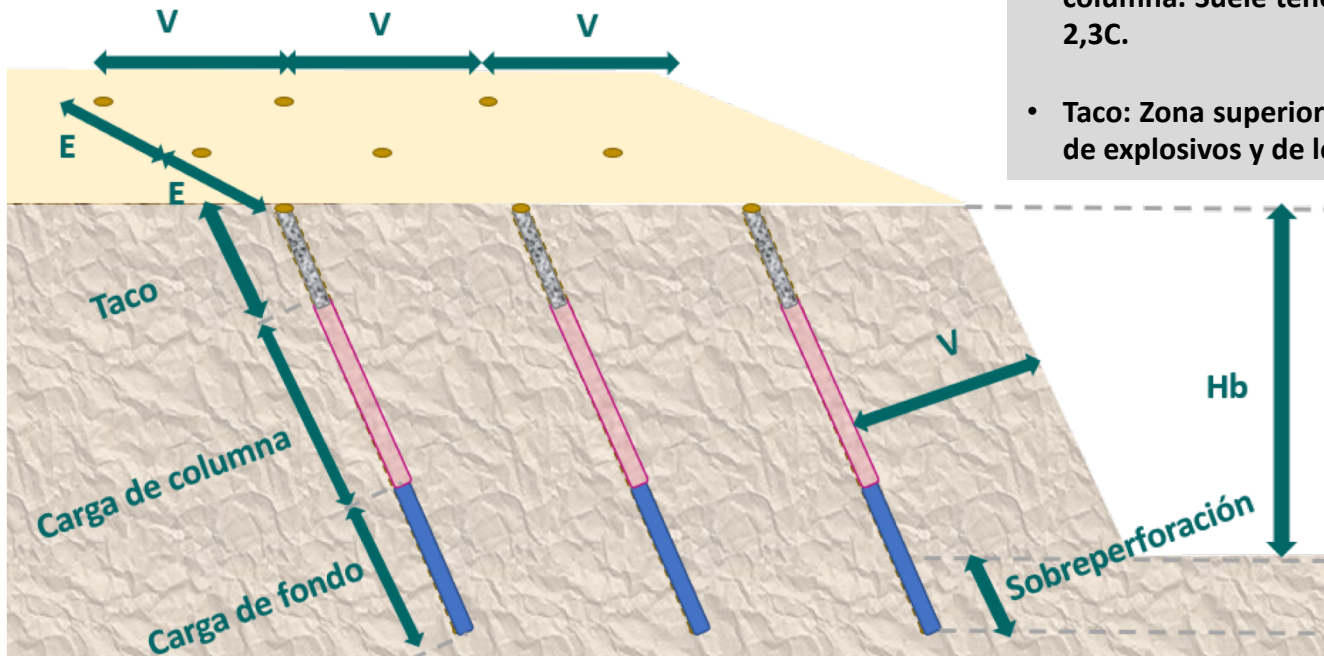
En la expresión anterior,  $\beta$  se corresponde con el ángulo de inclinación medido desde la vertical.

#### VOLADURAS DE DIÁMETRO MEDIO

#### CARGA EXPLOSIVA

La carga total de ese explosivo del barreno se divide en carga en fondo (constituida por un explosivo denso y potente), y otra en la zona central del mismo (columna), de explosivo de menor densidad y potencia. En el barreno se podrá distinguir por tanto entre tres zonas

- Fondo: Donde se aloja la carga explosiva de fondo:  $LF=1,3 v$
- Columna: Donde se aloja la carga explosiva en columna. Suele tener longitud total de  $Lc=L-1,3V-V= L-2,3C$ .
- Taco: Zona superior del barreno, retacada, desprovista de explosivos y de longitud=  $V$  m.



**OTRA POSIBLE FORMULACIÓN A APLICAR**

**METODOLOGÍA ALTERNATIVA PARA VOLADURAS DE DIÁMETRO MEDIO (65-165 mm)**

Diámetro del barreno Db(mm)	Producción horaria media m <sup>3</sup> b/h	
	Rocas blandas/medias	Rocas duras/muy duras
65	190	60
89	250	110
150	550	270

Altura de banco	Diámetro del barreno	Equipo de carga más adecuado
8 a 10	65 a 90	Palas cargadoras frontales
10 a 15	100 a 150	Excavadoras hidráulicas/de cables

Geometría de la voladura	Resistencia a la compresión simple			
	Blanda <70 Mpa	Media 70-120	Dura 120-180	Muy dura >180
Piedra V(m)	39D	37D	35D	33D
Espaciamiento E(m)	51D	47D	43D	38D
Retacado T(m)	35D	34D	32D	30D
Sobreperforación Sp(m)	10D	11D	12D	12D
Longitud de la carga de fondo Lf(m)	30D	35D	40D	46D

Parámetro	Expresión de cálculo
Longitud de barreno L(m)	$L=H/\cos \beta +(1-\beta/100)\cdot Sp$
Volumen arrancado Vr ( $m_{\text{banco}}^3$ )	$V_R=V\cdot E\cdot H/\cos \beta$
Rendimiento de la perforación ( $m/m_{\text{banco}}^3$ )	$R_p=V_R/L$
Concentración lineal de la carga encartuchada de fondo (Kg/m)	$q_f= \pi\cdot(D_f\cdot 1.1)^2\cdot\rho_f\cdot 2.5\cdot 10^{-4}$
Carga de fondo (Kg)	$Q_f=q_f\cdot L_f$
Longitud de carga de columna (m)	$L_c=L-L_f\text{Taco}$
Concentración lineal de la carga a granel/bombeable de columna (Kg/m)	$q_c= \pi\cdot(D_c)^2\cdot\rho_c\cdot 2.5\cdot 10^{-4}$
Carga columna (Kg)	$Q_c=q_c\cdot L_c$
Carga barreno (Kg)	$Q_b=Q_f+Q_c$
Consumo específico ( $Kg/m_{\text{banco}}^3$ )	$CE= Q_b/V_R$
Diámetro de la carga explosiva (mm)	Fondo: $D_f$ (encartuchado) Columna: $D_c$ (Barreno)
Densidades ( $g/cm^3$ )	Fondo: $\rho_f$ (encartuchado) Columna: $\rho_c$ (granel)

Nota: El 1.1 introducido en la fórmula de la distribución lineal de la carga en fondo,  $q_f$ ; es debido al ensanchamiento que experimenta el cartucho en diámetro como consecuencia de su achatamiento.

#### VOLADURAS CON GRANDES DIÁMETROS DE PERFORACIÓN

En la gran minería a cielo abierto es frecuente utilizar diámetros de perforación superiores a 150 mm. La teoría de carga selectiva no da resultados satisfactorios, siendo mejor aplicar LA TEORÍA DEL CRÁTER ( de Livingston\*).

#### FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DEL CRÁTER

Dada la geometría de la voladura, la rotura de la roca por acción del explosivo se produce en forma de cráter, actuando tanto sobre la cara libre del banco (paralela al barreno), como sobre la superficie. En principio los frentes no quedan tan sanos como en la voladura de diámetro medio.

#### FORMULACIÓN

##### 1.-CÁLCULO DE LA PIEDRA (V)

Emplea la expresión de Ash:  
(La más usada habitualmente)

$$V = K \cdot D/12$$

V: Piedra en pies.

D: Diámetro de perforación en pulgadas.

K: Coeficiente dependiente de la presión de explosión y la resistencia de la roca, oscilando entre 20 y 40.

Tipo de Explosivo	Clase de Roca		
	Blanda	Media	Dura
Baja densidad (0.8-0.9 g/cm <sup>3</sup> ) y baja potencia	30	25	20
Media densidad y potencia (1-1.3 g/cm <sup>3</sup> ) y media potencia	35	30	25
Alta densidad (>1.3 g/cm <sup>3</sup> ) y alta potencia	40	35	30

Fuente: Adaptado de "Curso Básico de Explosivos". Jaime Ríos Vázquez (2009).

\*Para aplicar la Teoría de Livingston, las cargas cilíndricas deben cumplir que Longitud/Diámetro<50

#### VOLADURAS CON GRANDES DIÁMETROS DE PERFORACIÓN

##### 1.- CÁLCULO DE LA PIEDRA (V)

Otra expresión común es la de Ash—Konya (Basada en la de Ash)

$$V = 3.5 \cdot De(SGe/SGr)^{1/3}$$

V: Piedra en pies.

De: Diámetro del explosivo en pulgadas.

SGe: Densidad del explosivo empleado.

SGr: Densidad de la roca.

##### 2.- RESTO DE PARÁMETROS DE LA VOLADURA

**SOBREPERFORACIÓN**

$$Sp = 0.3 \cdot V$$

**LONGITUD DE BARRENO**

$$L = HB \cdot + Sp$$

**BARRENOS VERTICALES**

$$L = \frac{H_B}{\cos \beta} + Sp$$

**BARRENOS INCLINADOS, SIENDO  $\beta$  EL ÁNGULO FORMADO CON LA VERTICAL .**

**LONGITUD TOTAL DE TACO**

$$T = 0.7 \cdot V$$

#### VOLADURAS CON GRANDES DIÁMETROS DE PERFORACIÓN

#### FORMULACIÓN

#### 2.- RESTO DE PARÁMETROS DE LA VOLADURA

#### CÁLCULO DEL ESPACIAMIENTO ENTRE BARRENOS

#### OPCIÓN A

Espaciamiento  $E = K_e \cdot V$

$K_e$	Secuenciación
1,0	1
1,2-1,8	Barrenos secuenciados con retardos pequeños
2,0	Barrenos iniciados de forma simultánea

#### OPCIÓN B (Basada en Ash-Konya)

Será la opción que se aplique para la resolución de supuestos

Tipo de bancos	Secuenciación	
	Voladura instantánea	Voladura secuenciada
Altos ( $H/V > 4$ )	$E = 2V$	$E = 1.4V$
Bajos ( $H/V \leq 4$ )	$E = (H + 2V) / 3$	$E = (H + 5V) / 6$

#### VOLADURAS CON GRANDES DIÁMETROS DE PERFORACIÓN

#### FORMULACIÓN

#### 3.- CÁLCULO DE LA CARGA DE EXPLOSIVO

A diferencia de lo visto en la Teoría de las Cargas Selectivas, se recomienda el empleo de un único explosivo

##### a) LONGITUD DE LA CARGA EXPLOSIVA

$$L_E = L - T$$

##### b) DISTRIBUCIÓN LINEAL DE LA CARGA DE EXPLOSIVO

Lo normal es emplear explosivos a granel.

$$q_E = \pi \cdot \left( \frac{D^2}{4 \cdot 1000} \cdot \rho \right)$$

##### c) CARGA EXPLOSIVA ( $Q_e$ )

$$Q_E = q_E \cdot L_E$$

D del barreno en mm, densidad en g/cm<sup>3</sup>, consumo kg/m

*Fuente: Adaptado de "Curso Básico de Explosivos". Jaime Ríos Vázquez (2009).*

En las grandes explotaciones a cielo abierto se ha venido utilizando regularmente ANFO como carga única por sus diversas ventajas:

Bajo coste, elevada energía de burbuja, seguridad en el manejo, facilidad de mecanización de la carga.

Los hidrogeles se reservan para aquellos casos en que no resulta posible el empleo del ANFO o para su empleo como simple cebo.

#### VARIANTE:

(SEGUNDA METODOLOGÍA DE CÁLCULO QUE SE ESTUDIARÁ)

El desarrollo de las emulsiones y la posibilidad de generar desde el propio camión mezclas de ANFO y emulsión (ANFO pesado), ha posibilitado la implantación de cargas selectivas. El método adaptado para gran diámetro, consiste en la creación de una carga de fondo con explosivo denso de entre 8 y 16D, según el tipo de roca, y cargando el resto del barreno con ANFO.

*Fuente: IGME*



#### VOLADURAS CON GRANDES DIÁMETROS DE PERFORACIÓN. OTRA POSIBLE FORMULACIÓN

#### METODOLOGÍA RECOMENDADA PARA DIÁMETROS COMPRENDIDOS ENTRE LOS 180 Y LOS 450 mm

Diámetro del barreno $D_b$ (mm)	Producción horaria media $m^3_b/h$		
	Rocas blandas	Rocas medias/duras	Rocas muy duras
200	600	150	50
250	1200	300	125
311	2050	625	270

Variable de diseño		Blanda Rc<70 Mpa	Media-Dura Rc 70-180	Muy dura Rc 120-180
Altura de banco (m)		52D	44D	37D
Piedra V(m)	Carga de columna ANFO	28D	23D	21D
	Carga de columna HIDROGEL	38D	32D	30D
Espaciamiento E(m)	Carga de columna ANFO	33D	27D	24D
	Carga de columna HIDROGEL	45D	37D	34D
Retacado (m)		40D	32D	25D
Longitud de la carga de fondo $L_f$ (m)		8D	12D	16D

Variable	Diámetro del barreno $D_b$ (mm)	
	180 – 250	250 - 450
Sobreperforación	8D a 7D	6D a 5D

A pesar de que la a priori la aplicación de la Teoría del Cráter considera la aplicación de un único explosivo, en la práctica también es posible encontrar empleo de explosivos de fondo en cantidad variable. (Ej: Mina de Reocín). Se acompaña formulación orientativa.

**VOLADURAS CON GRANDES DIÁMETROS DE PERFORACIÓN. OTRA POSIBLE FORMULACIÓN**

Parámetro	Expresión de cálculo
Longitud de barreno L(m)	$L=H/\cos \beta +(1-\beta/100)\cdot Sp$
Volumen arrancado Vr ( $m_{\text{banco}}^3$ )	$V_R=V\cdot E\cdot H/\cos \beta$
Rendimiento de la perforación ( $m/m_{\text{banco}}^3$ )	$R_p=V_R/L$
Concentración lineal de la carga encartuchada de fondo (Kg/m)	$q_f= \pi\cdot(D_B)^2\cdot\rho_f\cdot 2.5\cdot 10^{-4}$
Carga de fondo (Kg)	$Q_f=q_f\cdot L_f$
Longitud de carga de columna (m)	$L_c=L-L_f\text{-Taco}$
Concentración lineal de la carga de columna (Kg/m)	$q_c= \pi\cdot(D_B)^2\cdot\rho_c\cdot 2.5\cdot 10^{-4}$
Carga columna (Kg)	$Q_c=q_c\cdot L_c$
Carga barreno (Kg)	$Q_b=Q_f+Q_c$
Consumo específico ( $Kg/m_{\text{banco}}^3$ )	$CE= Q_b/V_R$
Diámetro de la carga explosiva (mm), en caso de trabajar con graneles y explosivos bombeables, diámetro del barreno.	Fondo: $D_B$ (bombeada) Columna: $D_B$ (Granel/bombeada)
Densidades ( $g/cm^3$ )	Fondo: $\rho_f$ (bombeada) Columna: $\rho_c$ (granel)

### ALGUNAS CONSIDERACIONES ADICIONALES...

Las longitudes de retacado aplicadas por lo general suelen variar entre  $0,7V$  y  $V$ , siendo preferible asegurarse de su longitud suficiente, aplicando  $V$ .

La máxima altura de banco para trabajo con explosivos es de 20 m. Con autorización pertinente por parte de la Autoridad Minera Competente podrá llegarse a los 30 m, conforme a lo dispuesto en la ITC 7.01.03.

Las metodologías basadas en la obtención de los parámetros geométricos para voladuras con diámetros medio y grande, en función del diámetro estudiadas en el presente curso, no se establece la distinción entre piedra práctica y piedra teórica que sí puede verse en la aplicación de la fórmula de Langefors. Se considera por tanto a todos los efectos que la piedra obtenida en dicha aplicación es práctica (A aplicar en la geometría).

Pueden señalarse como valores habituales en las canteras cántabras los diámetros de perforación de 4 a 4,5 pulgadas para diámetro medio.

Como valores orientativos habituales de perforación de gran diámetro, cabe señalar los comprendidos entre 7 y 7,5 pulgadas (17,8 y 19 cm). Dichos barrenos suelen practicarse mediante perforación rotativa con tricono.

### GENERALIDADES

Pueden definirse como labores especiales de perforación y carga que buscan la obtención de un frente limpio de la roca, mediante la generación de un plano de corte en el macizo. Se caracterizan porque la roca remanente se ve muy poco afectada por la detonación de los barrenos. Se emplea frecuentemente en túneles, obras públicas y minería de interior, dado que reduce el exceso de fracturación del macizo circundante a la labor, ofreciendo un corte limpio y un menor consumo de gunita. Disminuirá además el tiempo de saneo, incrementará el grado de seguridad, y reducirá la transmisión de vibraciones producidas por la voladura principal, permitiendo además la modificación del diseño de taludes.



*Talud ejecutado mediante voladura de precorte (Autovía E70).  
Fuente: Google Street View*

### RECORTE

Los barrenos de contorno se disparan con posterioridad a la pega principal, aún formando parte de la misma pega.

Los barrenos que forman el contorno de la excavación se dispararán con anterioridad a la pega principal, aún formando parte de la misma pega. <https://www.youtube.com/watch?v=G51e6uHWJUA>

### PRECORTE

Esta distinción da lugar a diferencias tanto en carga como en piedra y espaciamiento entre ambos sistemas. En las voladuras de recorte, la piedra debe ser mayor que la distancia entre barrenos.

En caso de requerir paredes uniformes o exactitud en contornos curvos, pueden emplearse uno o dos barrenos guías sin carga entre los cargados. En tal caso, se reduce el espaciado a  $\frac{1}{2}$  o  $\frac{1}{3}$  para reducir la sobreexcavación.

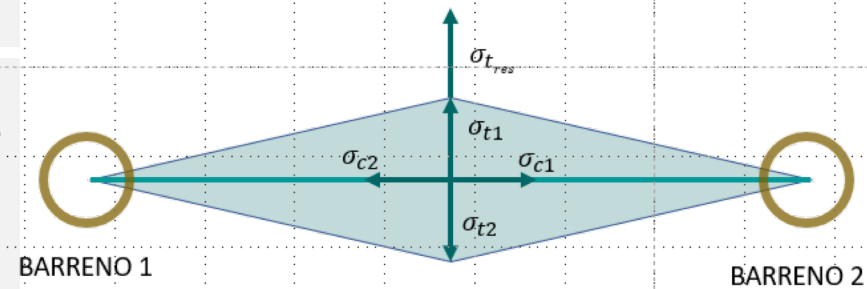
### TEORÍA DE LA VOLADURA DE CONTORNO

Una carga que llena por completo un barreno genera durante la detonación una zona en que la resistencia dinámica a compresión es ampliamente superada, por lo que la roca es triturada y pulverizada. Fuera de dicha zona transicional, los esfuerzos de tracción asociados a la onda generan un esquema de grietas alrededor de todo el barreno.

Cuando dos cargas se disparan a la vez, las grietas radiales se tienden a propagar en todas las direcciones, hasta que por colisión de las dos ondas en el punto medio entre barrenos, se producen unos esfuerzos complementarios de tracción perpendicular al plano axial de los barrenos. En dicho plano las tracciones superan la resistencia dinámica a tracción, dando un nuevo agrietamiento y favoreciendo la propagación de las grietas radiales en la dirección del corte proyectado.

Para evitar que la roca circundante se pulverice, se desacoplan las cargas, siendo el DESACOPLAMIENTO un factor característico en las voladuras de contorno.

La extensión de las grietas se produce por la acción de cuñas de los gases, que es preferencial en el plano axial, favoreciendo la apertura del plano de fractura conforme al corte diseñado.



*Estado tensional debido a la superposición de ondas de choque por el disparo simultáneo de dos cargas*

*Fuente: Adaptado de "MANUAL DE PERFORACION Y VOLADURA DE ROCAS". CARLOS LOPEZ JIMENO, EMILIO LOPEZ JIMENO y PILAR GARCIA BERMUDEZ (2003)*

### CARACTERÍSTICAS

Interesa que todos los barrenos de la voladura de contorno detonen simultáneamente o con la mayor proximidad temporal posible. Es por ello que conviene iniciar mediante un ramal de cordón detonante, o con detonadores eléctricos instantáneos o electrónicos.

#### DESACOPLAMIENTO EXPLOSIVO BARRENO

En la voladura de contorno los cartuchos de explosivo utilizados deben tener un diámetro muy inferior al del barreno, recomendándose una relación de diámetros  $D_b/D_c$  comprendida entre 2 y 3. El objeto de dicho desacoplamiento es reducir lo más posible la fisuración de la roca residual.

#### EXPLOSIVO

Por lo general no tiene excesiva importancia, buscándose como condición que su velocidad de detonación no sea inferior a 3000 m/s. Suelen emplearse Gomas en calibres 26, 29, 32 y 40 mm, Dinamitas pulverulentas en diámetros de 26 y 32 mm, hidrogeles en manguera de 17 y 22 mm y cordón detonante, principalmente de 100 g/m (especialmente diseñado para dicha aplicación).

#### ESPACIADO

Suele disponerse separación entre barrenos muy pequeña, por lo que se exige gran precisión en la perforación.

PRECORTE:  $E = (8-11) \cdot D$ , normalmente  $E=10 \cdot D$

RECORTE:  $E = (13-16) \cdot D$ , normalmente  $E=15 \cdot D$

Siendo D el diámetro de la perforación en mm

### VOLADURAS DE CONTORNO

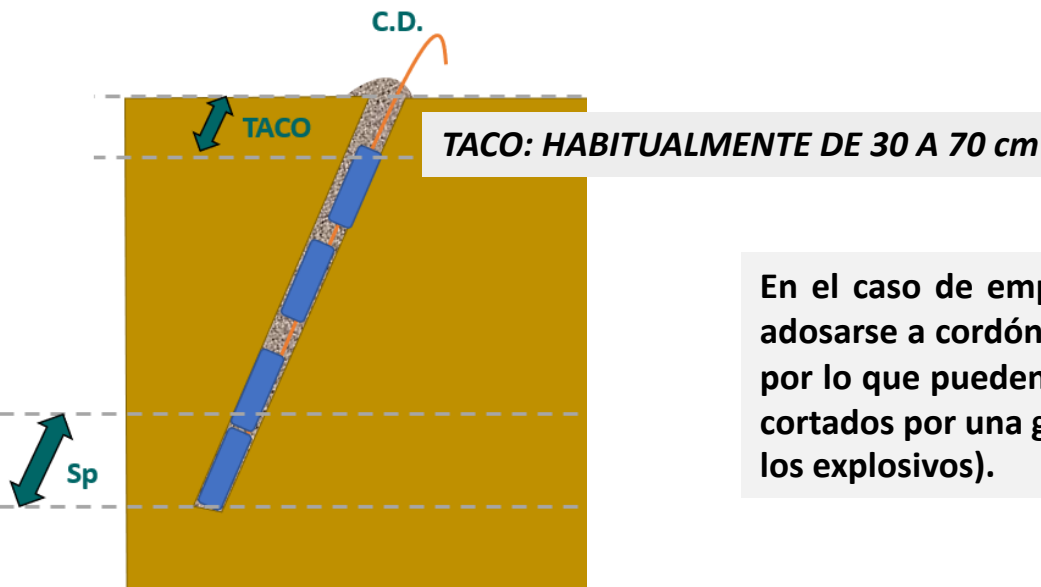
#### DIMENSIONAMIENTO DE LA CARGA EXPLOSIVA

La carga explosiva por metro de barreno es muy débil, y coincide en ambos tipos de voladuras

$$Q_L(\text{g/m}) = D^2 / 12$$

QL: Carga explosiva en g/m del barreno

D: Diámetro de perforación en mm



En el caso de emplear cartuchos espaciados, deben adosarse a cordón detonante. Esto complica la carga, por lo que pueden emplearse tubos omega (cilindros cortados por una generatriz, que alojan en su interior los explosivos).

*Carga arrosariada. Fuente: Adaptado de "Curso Básico de Explosivos". Jaime Ríos Vázquez (2009).*

En voladuras de contorno en banco, la longitud de los barrenos deberá ser la del corte que quiera obtenerse, más una ligera sobreperforación, oscilante por lo general entre 30, 40 y 50 cm.

### GRAN DIÁMETRO. EJEMPLO DE CÁLCULO.

#### RECORTE

Procedimiento que genera un plano de corte anterior a la voladura, que podrá formarse en toda la profundidad de corte, o hasta un determinado nivel. El procedimiento consiste en la perforación de un conjunto de barrenos paralelos de gran proximidad entre sí, y la introducción de una débil carga de explosivo, de tal manera que no quede afectada la roca del hastial, pero genere una grieta a lo largo de la fila de barrenos.

Podría emplearse cualquier diámetro de perforación, pero lo normal es que esté entre 33 y 125 mm. Se requiere una perforación esmerada. La longitud de los barrenos deberá ser la del corte que quiera obtenerse, más una ligera sobreperforación, oscilante por lo general entre 30, 40 y 50 cm. Esta longitud no deberá rebasar los 15 m, con el fin de asegurar el paralelismo de los barrenos.

Las cargas dependerán de la separación entre barrenos, el tipo de roca y explosivo, y están comprendidos entre los 100 y los 900 g/m de barreno.

El retacado suele ser muy débil (0,3-0,5 m).

Diámetro del barreno (mm)	Espaciamento (cm)	Distribución lineal de carga (g/m)
32-35	22-55	80-250
50-65	45-75	150-350
65-90	60-100	250-500
100	75-120	350-900

*Carga de explosivo en función del espaciamento entre barrenos y el diámetro del barreno. Fuente: Adaptado de "Curso Básico de Explosivos". Jaime Ríos Vázquez (2009).*

Algunas de las desventajas del precorte son la gran densidad de perforación, que además por su minuciosidad es lenta, y el tiempo de carga de los barrenos.



### RECORTE

Suele emplearse en labores subterráneas (túneles y galerías), y en muchas a cielo abierto. La distribución de cargas lineales son semejantes a las vistas en el precorte, si bien las separaciones entre barrenos son mayores en el recorte.

Separación de barrenos recomendada para rocas duras o semiduras en función del diámetro de perforación. Fuente: "Curso Básico de Explosivos". Jaime Ríos Vázquez (2009).

Diámetro del barreno (mm)	Espaciamiento (cm)
33	50-60
37-44	60-80
50	80-90
50-65	80-120
65-90	120-180
100	180-200

Los barrenos del recorte se disparan posteriormente al resto de la voladura, con el fin de originar una pared lisa definitiva. La dispersión en los tiempos de salida de los barrenos debe ser la menor posible, por lo que los mejores resultados se obtienen con cordón detonante, detonadores eléctricos instantáneos (en caso de dispararse por separado de la voladura principal) o detonadores de microrretardo del mismo número. Es habitual la iniciación con detonadores de microrretardo del mismo número, que será el más alto de la serie empleada, con el fin de que salgan tras el resto de la voladura principal. No deben emplearse detonadores de retardo, dadas las elevadas dispesiones.

### VOLADURAS DE CONTORNO

Diámetro del barreno (mm)	Distribución lineal de la carga (g/m)	Tipo de Explosivo	Recorte E-V (m)	Precorte (m)
30	120	Hidrogel, Cordón detonante	0,5-0,7	0,25-0,50
37	150	Hidrogel, Cordón detonante	0,6-0,9	0,30-0,50
44	170	Hidrogel, Cordón detonante, dinamita pulverulenta, goma.	0,6-0,9	0,30-0,50
50	250	Hidrogel, Cordón detonante, dinamita pulverulenta, goma.	0,8-1,1	0,45-0,70
62	350	Dinamita pulverulenta, goma.	1-1,3	0,55-0,80
75	500	Goma	1,2-1,6	0,60-0,90

Propuesta para la selección de parámetros habituales en las voladuras de contorno. Fuente: Adaptado del "Manual de Empleo de Explosivos" de UEE (Maxam).

#### GENERALIDADES

Comprenden aquellas voladuras que se desarrollan en labores subterráneas (minería, obra pública,...). Pueden distinguirse dos tipos principales:

Con una única cara libre, perpendicular o cuasi-perpendicular al avance (túneles, galerías, pozos...).

Con dos caras libres, una prácticamente paralela a los barrenos (banqueo al piso en túneles, explotaciones por cámaras, ...).

*Este apartado se centrará en el estudio de las primeras*

#### CARACTERÍSTICAS

Sistemas específicos para la perforación.

Mayores consumos específicos.

Mayor perforación específica.

Un grupo de barrenos (cuele), creará una segunda cara libre (abrirá hueco) para los restantes barrenos).

Importancia determinante de los humos de voladura en la selección del explosivo.

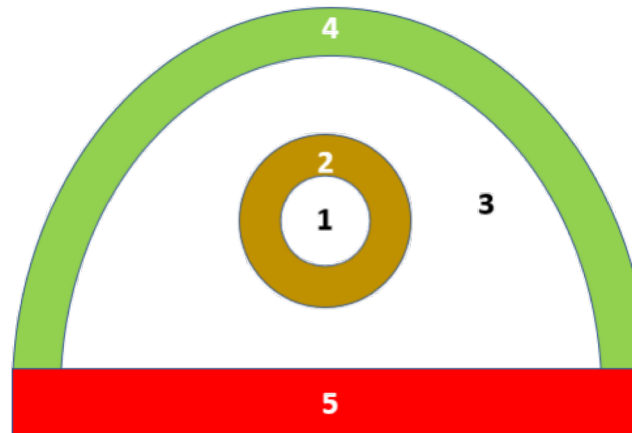
#### GENERALIDADES

Generación de un hueco en la roca, de importante longitud, con secciones variables, que se ejecuta con perforaciones de barrenos fundamentalmente paralelos a su eje.

#### ZONAS DE LA VOLADURA

**CUELE** Conjunto de barrenos que, cargados de barrenos o no, crean un hueco inicial en la galería, de tal manera que los barrenos posteriores encuentren una cara libre que facilite su acción. Comúnmente en el centro, si bien no tiene por qué ser siempre así.

**CONTRACUELE** Corona de barrenos que circundan a los del cuele. A menudo se consideran parte de los del cuele, pero merecen trato diferenciado. El contracuele ensancha el hueco creado por el cuele, y no presenta barrenos vacíos. Emplean secuencias de milisegundos en sus barrenos. Si bien son tiros sobrecargados, presentan menor consumo específico que el cuele.

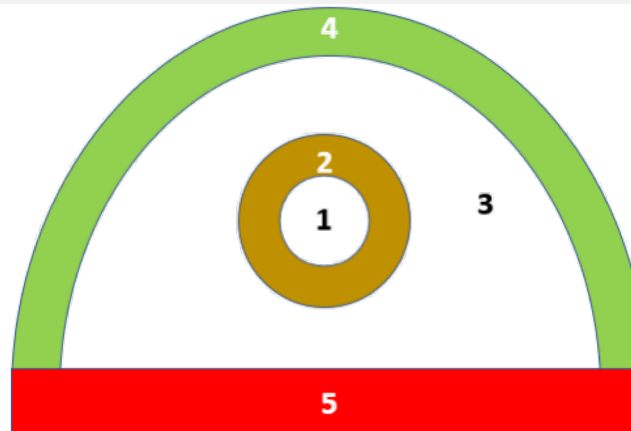


1: CUELE.  
2: CONTRACUELE.  
3: DESTROZA  
4: RECORTE  
5: ZAPATERAS

**DESTROZA** Área de barrenos comprendidos entre el contracuele y el recorte. Es la parte principal de voladura en cuanto a volumen de arranque. El esquema suele ser más abierto que en el cuele, con menores consumos específicos de explosivo, empleándose frecuentemente en los barrenos carga selectiva.

**CONTORNO** Fila de barrenos perimetrales que delimitan la sección del túnel o galería. En ocasiones se dividen en corona (techo) y hastiales (laterales, no en el piso). Los barrenos de recorte siempre se dan un poco angulados, y además de arrancar su piedra, si se disparan como recorte deben marcar el perfil final del túnel. En caso darse como voladura de contorno de recorte (habitual), deben salir con un número superior al del último de la destroza. Si se disparan como precorte, pueden utilizarse detonadores eléctricos instantáneos o maestras de cordón detonante.

Su número, carga y espaciado determinará la calidad del perfil final.



1: CUELE.  
2: CONTRACUELE.  
3: DESTROZA  
4: RECORTE  
5: ZAPATERAS

#### CONTORNO

En la zona superior y lateral del perímetro de túnel se deberá actuar con más cuidado si no se quiere correr el riesgo de generar sobreexcavaciones o agrietamientos excesivos en el resto del macizo.

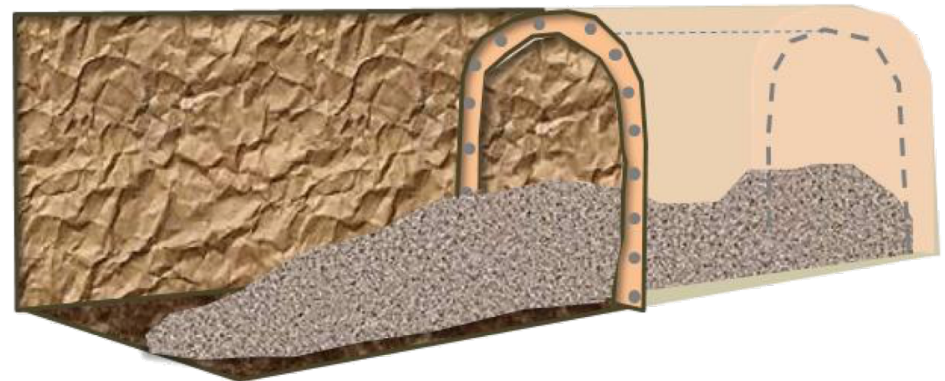
Esto obliga a reducir la carga de explosivo de los barrenos perimetrales, que al mismo tiempo deben aproximarse entre sí con objeto de ejecutar un recorte. Queda una zona de 0,6-1m de espesor de influencia de los barrenos perimetrales, cuya excavación deberán asegurar estos. Evidentemente en dicha zona no deberá haber barrenos de destroza que pudiesen comprometer en acabado del contorno.

#### PROBLEMÁTICA DEL PRECORTE

En ámbitos de excavación cercanos a la superficie, en los que las tensiones son menores, resulta relativamente fácil realizar una voladura de precorte. Sin embargo, conforme la profundidad de la labor aumenta, el éxito del precorte no está garantizado.

#### EL RECORTE

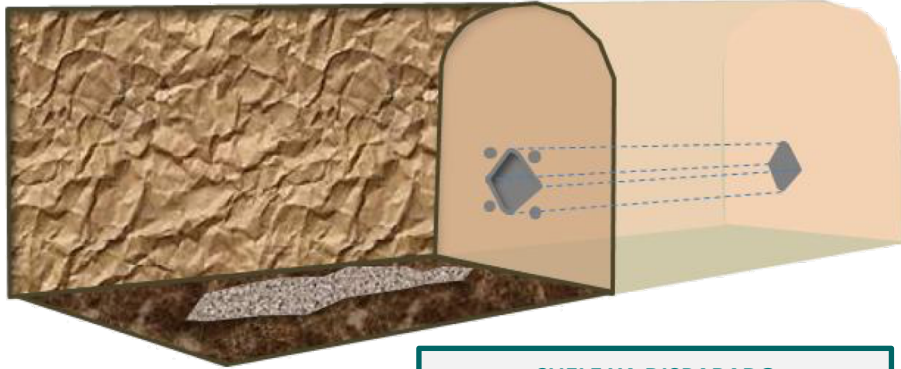
Aprovecha el campo de tensiones de compresión circundante previo a la iniciación de los barrenos de contorno (la eliminación de roca asociado a la destroza genera un campo de tensiones prácticamente uniaxial en el entorno de casi todo el perímetro de excavación, favoreciendo la generación de la grieta de corte. UN ESTADO DE TENSIONES ALTO INTENSIFICA EL EFECTO DEL RECORTE.



GENERALIDADES

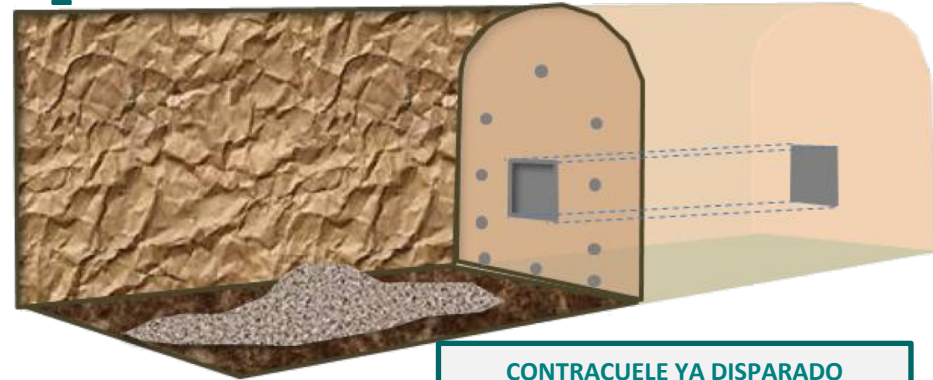
ZONAS DE LA VOLADURA

1



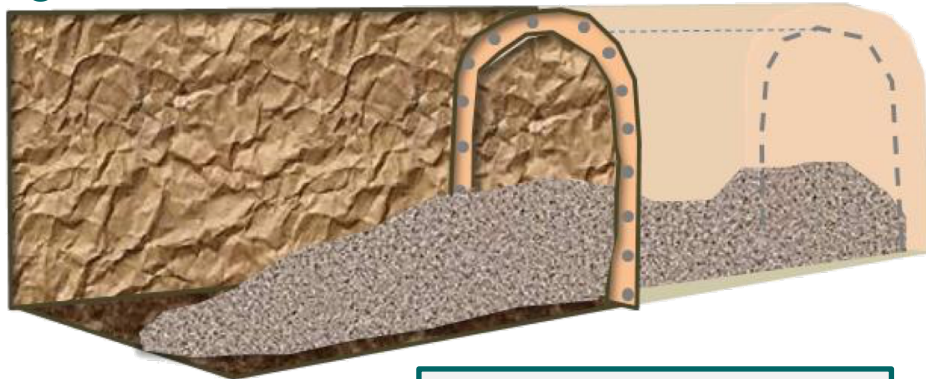
CUELE YA DISPARADO

2



CONTRACUELE YA DISPARADO

3



DESTRONZA YA DISPARADA

4



PERFIL FINAL TRAS RECORTE

GENERALIDADES

**RENDIMIENTOS**

Fuente: Adaptado del “Manual de Empleo de Explosivos” de UEE (Maxam).

Los parámetros más adecuados para medir el éxito de una voladura son:

AVANCE

AVANCE  
CONSUMO ESPECÍFICO

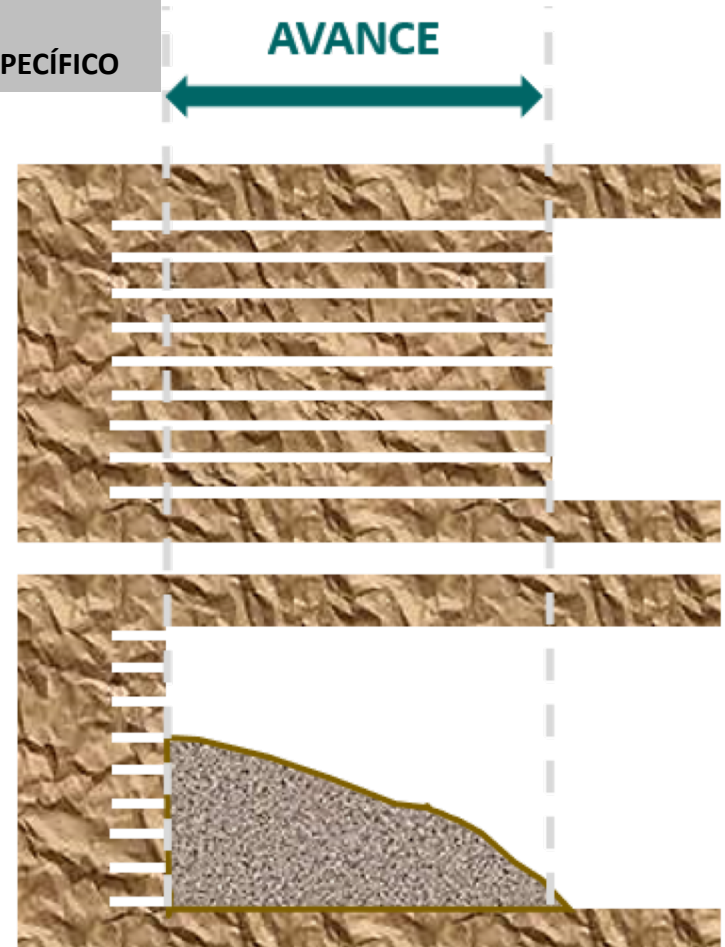
AVANCE

Puede definirse como la distancia entre dos frentes consecutivos, pudiendo expresarse en tanto por ciento de la longitud de perforación (¡No la suma de las perforaciones de todos los barrenos individuales!). Un avance del 100% se produciría cuando dicha distancia entre frentes coincidiese con la profundidad del barrenado. Se considera un avance correcto aquel del 85-90%.

Existen casos en que la presencia de diaclasas o lisos puede producir avances mayores que la longitud perforada (derrumbe, actuación de diaclasa como segunda cara libre...).

Si se alcanza un 90% de avance, quiere decir que quedará un 10% de fondo de barreno

Artículo 149, R.G.N.B.S.M. Se prohíbe terminantemente recargar fondos de barreno, reprofundizar los barrenos fallidos y utilizar fondos de barrenos para continuar la perforación.





#### GENERALIDADES

#### RENDIMIENTOS

Fuente: Adaptado del “Manual de Empleo de Explosivos” de UEE (Maxam).

#### CONSUMO ESPECÍFICO

En interior el consumo específico suele ser muy superior al asociado a voladuras a cielo abierto (entre 4 y 10 veces mayor). Se debe a:

Alto consumo de explosivo requerido en cuele y contracuele.

Cuadrículas más cerradas.

El grado de fragmentación del escombro requerido es mayor, dadas las capacidades de los elementos de carga.

Se requiere un mayor desplazamiento de la roca volada que en cielo abierto.

$$C_E = 14/s + 0.8$$

FÓRMULA PARA LA ESTIMACIÓN DEL CONSUMO ESPECÍFICO (Langefors y Kihlström)

C<sub>e</sub>: Consumo específico de explosivo (Kg/m<sup>3</sup>).  
Sección de la galería o túnel (m<sup>2</sup>).

#### PROYECCIONES

En la galería o túnel existen elementos susceptibles de sufrir daño por las proyecciones (tuberías de ventilación, aire, agua, elementos de sostenimiento, conducciones eléctricas....)

Las proyecciones pueden reducirse mediante retacados adecuados, cueles paralelos, secuencias adecuadas (las proyecciones son menores en interior con la serie de retardo que con la de microretardo, por eso es común su empleo en la destroza), y consumos específicos ajustados.

#### CLASIFICACIÓN DE LOS CUELES

Se clasifican en dos grupos principales

*CUELES DE BARRENOS OBLICUOS*

Con detonadores de tiempo  
Instantáneos

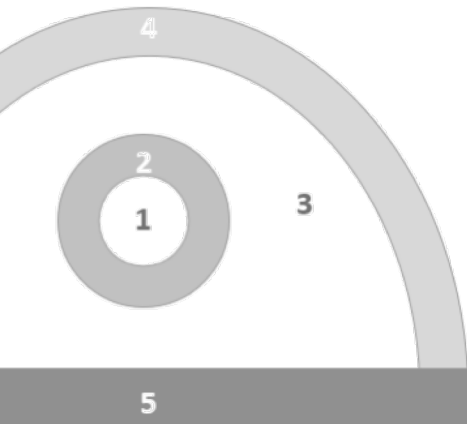
*DE BARRENOS  
PARALELOS*

Cráter  
Quemados  
Canadiense  
Cilíndricos

La clasificación se basa en los siguientes criterios:

Ángulo respecto al frente de la galería o túnel. Los barrenos paralelos son perpendiculares al frente, los oblicuos lo cortan con ángulos distintos de  $90^\circ$ .

Tiempo de encendido (barrenos oblicuos).



#### LOS CUELES

#### CUELES OBLICUOS O DE BARRENOS INCLINADOS

##### GENERALIDADES

Tipología constituida por los cueles en V, en cuña o en abanico. En ellos se perfora una cuña central y seguidamente una serie de barrenos cuya inclinación va disminuyendo en función que se aproximan hacia los hastiales, hasta disponerse en paralelo al eje de la galería.

##### DESVENTAJAS

Según se ha comprobado experimentalmente que para que este tipo de cuele produzca un adecuado arranque el ángulo de la V deberá ser como mínimo de 50-60º, para lo que es posible que deba perforarse una cuña auxiliar. Esto determina que el avance máximo por pega únicamente ascienda a  $1/3$  ó  $1/2$  del ancho de la galería.

Otro inconveniente de dichos cueles, en la actualidad prácticamente en desuso, es lo complicado que resulta realizar una perforación exacta, dado que tanto la longitud como la inclinación son variables.

##### VENTAJAS

Como ventajas puede mencionarse la menor perforación específica, y el menor consumo de específico.

#### LOS CUELES

#### CUELES PARALELOS

##### GENERALIDADES

Conjunto de barrenos cargados y vacíos dispuestos en el centro de la sección. Los barrenos cargados se disponen muy próximos entre sí, y alrededor de uno o varios barrenos de expansión de diámetro mayor. Los barrenos de destroza dispondrán de una salida de 1 ó 2 m<sup>2</sup> de sección, por lo que la separación entre barrenos en esa zona se acercará a la de una voladura con suficientes caras libres.

Los cueles de barrenos paralelos SON LOS MÁS EMPLEADOS EN LA ACTUALIDAD por su facilidad de ejecución y los mayores avances que pueden proporcionar en comparación con otros cueles. Suele considerarse como avance aceptable aquel inferior en un 5-10% a la longitud de los barrenos.

##### DESVENTAJAS

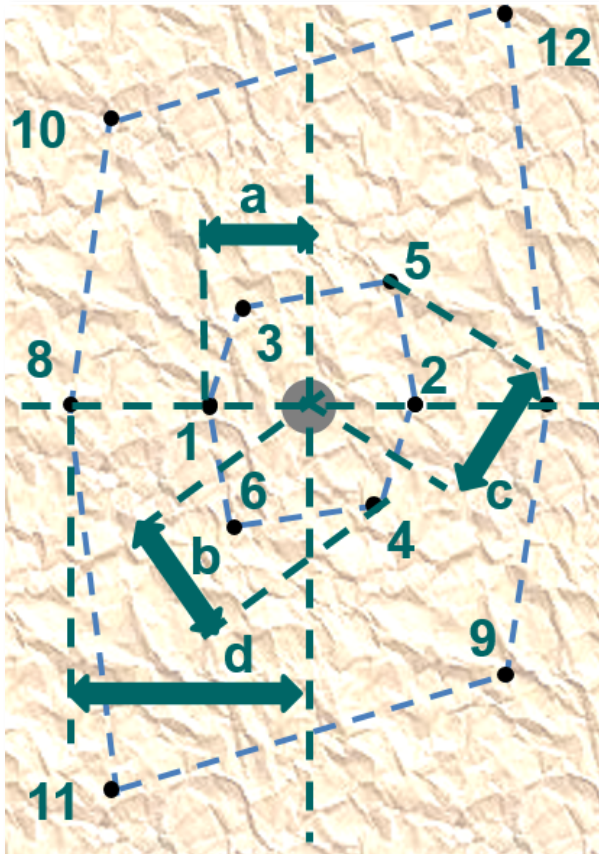
Requieren algo más de perforación y explosivo. El número de barrenos por pega es función de la sección, el diámetro de perforación y el tipo de roca.

DE BARRENOS  
PARALELOS

Cráter  
Quemados  
Canadiense  
Cilíndricos

EJEMPLOS DE CUELES CILÍNDRICOS

Otros tipos de cueles cilíndricos son el de doble espiral, el Coromant o el Fagersta.



CUELE Y CONTRACUELE DE DOBLE ESPIRAL

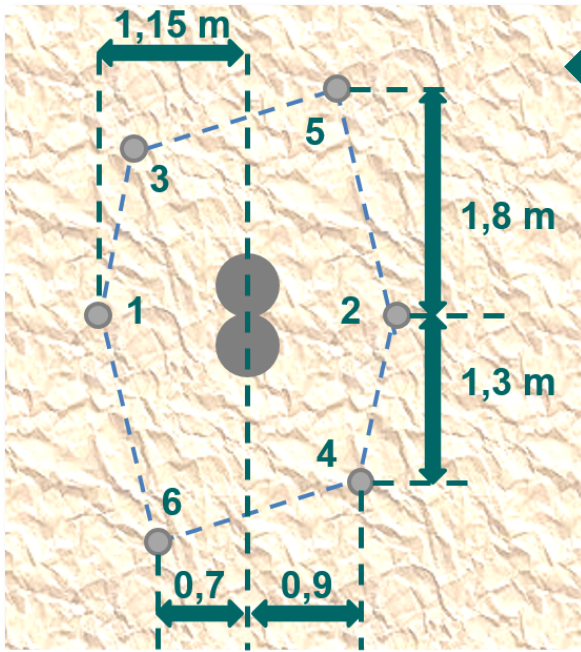
Se perfora el barreno central con  $D$  entre 75 y 200 mm, y se circunvala por espirales de barrenos de menor diámetro, constituidas por los barrenos (1-2, 3-4, 5-6).

FUENTE: López Jimeno, C, López Jimeno, (1997) Manual de Túneles y Obra Subterránea. Madrid: Entorno Gráfico.

#### CUELES PARALELOS

#### EJEMPLOS DE CUELES CILÍNDRICOS

FUENTE: López Jimeno, C, López Jimeno, (1997) Manual de Túneles y Obra Subterránea. Madrid: Entorno Gráfico.

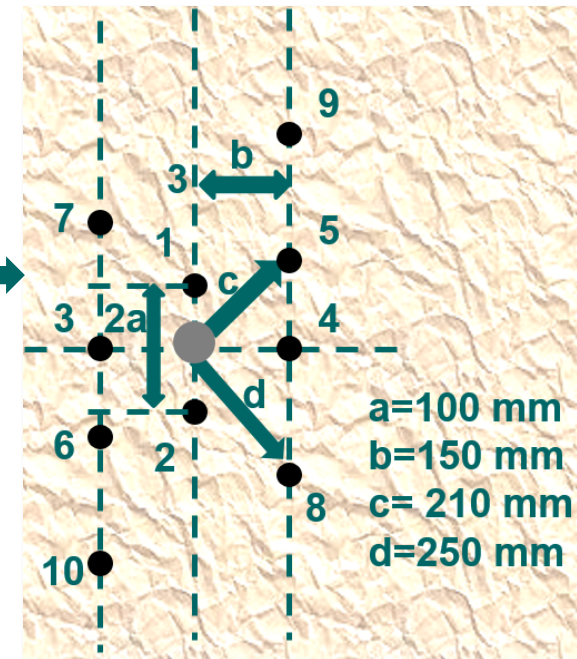


#### CUELE COROMANT

En el caso del cuele Coromant, se perforan dos barrenos secantes de 57 mm de diámetro mediante plantilla de perforación.

#### CUELE FAGERSTA

En el caso del Cuele Fagersta el barreno central presenta 64 ó 76 mm de diámetro, constituyendo un cuele mixto entre el de cuatro secciones y el cuele de doble espiral.

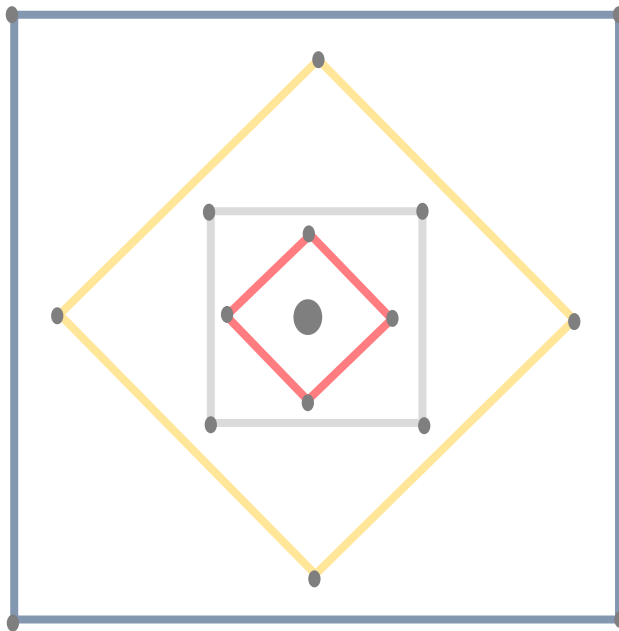


#### CUELES DE CUATRO SECCIONES

#### EJEMPLOS DE CUELES CILÍNDRICOS

Uno de los más empleados por su sencillez y rendimiento. Utiliza uno o dos barrenos centrales de mayor diámetro (3 1/2" o 4") que el resto de la pega, que no van cargados y hacen la función de primera cara libre. A su alrededor van dispuestos sucesivos grupos o secciones de cuatro barrenos cada una, formando cuadrados de lado sucesivamente mayor.

#### CÁLCULO DEL CUELE DE CUATRO SECCIONES



SECCIÓN DEL CUELE	PIEDRA	LADO DE LA SECCIÓN
Primera	$B1=1,5 \cdot D$	$B1 \cdot (2)^{1/2}$
Segunda	$B2=B1 \cdot (2)^{1/2}$	$1,5 \cdot B2 \cdot (2)^{1/2}$
Tercera	$B3= 1,5 \cdot B2 \cdot (2)^{1/2}$	$1,5 \cdot B3 \cdot (2)^{1/2}$
Cuarta	$B4= 1,5 \cdot B3 \cdot (2)^{1/2}$	$1,5 \cdot B4 \cdot (2)^{1/2}$

SECCIÓN 1ª

SECCIÓN 2ª

SECCIÓN 3ª

SECCIÓN 4ª

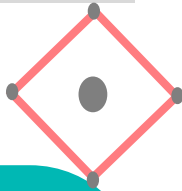
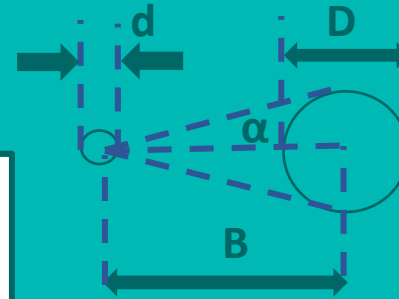
LOS CUELES

CUELES DE CUATRO SECCIONES

La distribución lineal de la carga puede ser calculada a través de varias posibilidades, derivadas todas ellas del Método de Langefors-Kihlström.

CÁLCULO DEL CUELE DE CUATRO SECCIONES

DISTRIBUCIÓN LINEAL DE CARGA DE LA SECCIÓN 1ª



$$q(\text{kg/m}) = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{B}{D}\right)^{3/2} \cdot \left(B - \frac{D}{2}\right) \cdot \left(\frac{c}{0,4}\right) \cdot \frac{1}{PRP_{anfo}}$$

Longitudes expresadas en metros.

$$PRP_{ANFO} = \frac{1}{0.84} \left( \frac{5}{6} \cdot \frac{Qe}{5} + \frac{1}{6} \cdot \frac{Vg}{0.85} \right)$$

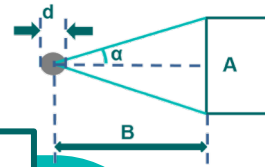


LOS CUELES

CUELES DE CUATRO SECCIONES

CÁLCULO DEL CUELE DE CUATRO SECCIONES

DISTRIBUCIÓN LINEAL DE LA CARGA DE LAS RESTANTES SECCIONES



CUMPLE

$$q(\text{kg/m}) = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{B}{D}\right)^{3/2} \cdot \left(B - \frac{D}{2}\right) \cdot \left(\frac{c}{0,4}\right) \cdot \frac{1}{PRP_{anfo}}$$

(Mismo ql)

$$B_{real} \leq 2A$$

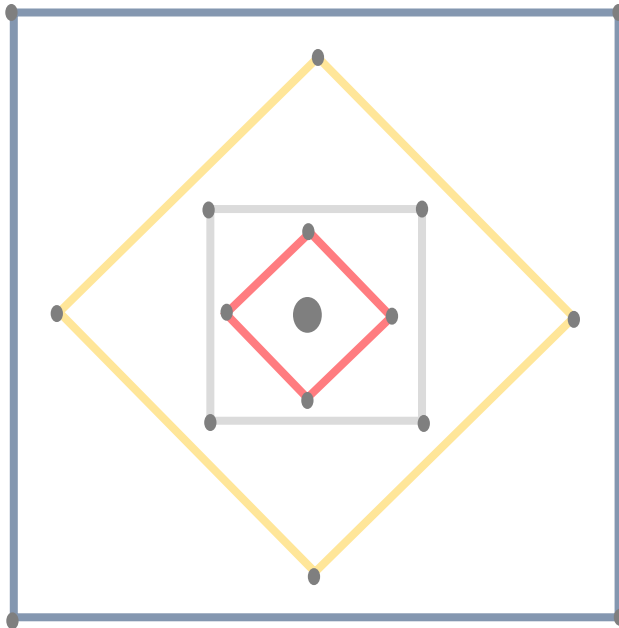
NO CUMPLE

$$q = \frac{540d \cdot c \cdot A}{PRP_{ANFO}}$$

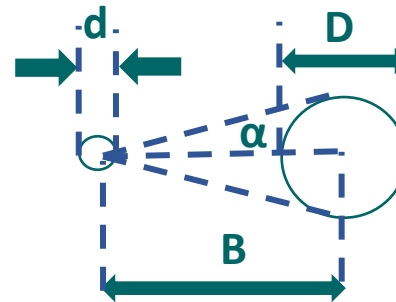
#### CUELES DE CUATRO SECCIONES

Para el cálculo rápido de voladuras en túnel empleando cueles de barrenos paralelos de cuatro secciones pueden aplicarse las tablas y expresiones siguientes:

#### CÁLCULO DEL CUELE DE CUATRO SECCIONES



$$q = 30,9 \cdot 10^{-6} \cdot d \cdot B \cdot \left( \frac{P}{A} \right)^{1,5} \cdot \frac{c}{0,4} \cdot \frac{1}{s}$$



B: Piedra (distancia entre centros o entre centro y lado, en mm)  
 D: Diámetro del barreno vacío (mm)  
 A=Ancho del hueco generado por la sección anterior (mm)  
 Q: Concentración de la carga (Kg/m)  
 C: Constante de la roca, en ppio. 0,4.  
 S=Potencia relativa del explosivo; Goma: 1, Anfo=0,88. (Respecto no a ANFO, a goma pura).

SECCIÓN 1ª

SECCIÓN 2ª

SECCIÓN 3ª

SECCIÓN 4ª

RESTO DE LA VOLADURA

A partir de la definición de la piedra y de la carga de fondo, se determina el resto de la voladura.

$$q_f = 7,85 \cdot 10^{-4} \cdot d^2 \cdot \rho_e$$

$$B = 0,88 \cdot q_f^{0,35}$$

Siendo en este caso  $d$  el diámetro del cartucho en mm, y  $\rho_e$  la densidad del explosivo en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ .

ZONA DE LA SECCIÓN	B(piedra, m)	E(espaciamiento, m)	Longitud de la carga de fondo(Lf, m)	Concentración de la carga de fondo (qf, kg/m)	Concentración carga columna (qc, kg/m)	Taco (m)
<b>PISO</b>	B	1,1B	L/3	qf	qf	0,2B
<b>HASTIALES</b>	0,9B	1,1B	L/6	qf	0,4qf	0,5B
<b>TECHO</b>	0,9B	1,1B	L/6	qf	0,36qf	0,5B
<b>DESTROZA</b>						
<b>Salida de barrenos hacia arriba</b>	B	1,1B	L/3	qf	0,5qf	0,5B
<b>Horizontal</b>	B	1,1B	L/3	qf	0,5qf	0,5B
<b>Hacia abajo</b>	B	1,2B	L/3	qf	0,5qf	0,5B

### PREVOLADURAS

Se perfora con malla cuadrada ( $S=B$ ), barrenos verticales y diámetros comprendidos entre 2 y 4 pulgadas. La sobreperforación a considerar será  $J=0,5B$  (la mitad de la piedra), y se aconseja una altura máxima de tongada inferior a 10 m. Se aplican para “aflojar” y posteriormente ripar rocas blandas (resistencia a compresión inferior a  $1000 \text{ kg/cm}^2$ ), con un consumo específico inferior a  $200 \text{ gr/m}^3$ .

#### INCISO: RIPABILIDAD VS. VOLADURA



IDF CAT D9R - rear ripper. Zahci Evenor  
<https://www.flickr.com/photos/zachievenor>  
<https://flic.kr/p/7XtggA>  
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>

FUENTE: López Jimeno, C, López Jimeno, (1997)  
Manual de Túneles y Obra Subterránea. Madrid:  
Entorno Gráfico.

Existen varias sistemáticas clásicas de estimación de la ripabilidad del terreno, como por ejemplo la de Weaver que se adjunta. Dichas estimaciones en ocasiones atribuyen condiciones de ripabilidad a terrenos en los que realmente la operación de ripado no se puede realizar en condiciones rentables de operación. (El precio pagado de metro cúbico volado puede alcanzar el doble del ripado, por lo que deberá procederse a una cuidadosa caracterización del material a volar).

#### ESCARIFICACIÓN/RIPADO

Rotura del terreno mediante ripper. El rendimiento se expresa en  $\text{m}^3/\text{h}$ .

MAXAM realiza una serie de recomendaciones a considerar a la hora de hacer una adecuada caracterización del terreno y de la operación a realizar.

Fuente: “Definición racional de ripabilidad o volabilidad de los macizos rocosos. Factores económicos y técnicos”. Luengo Rodríguez, F.J.; González Solís, S.

#### PREVOLADURAS

#### CLASIFICACIÓN DE WEAVER (1975)

El método postula que puntuaciones superiores a 75 se consideran como no ripables sin prevoladura.

Define el grado de ripabilidad de un determinado macizo en base a siete factores, dando un peso del 56% del total a los dos principales (espaciado de juntas y velocidad sísmica).

CLASE DE ROCA	I	II	III	IV	V
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Roca muy buena	Roca buena	Roca media	Roca mala	Roca muy mala
<b>VELOCIDAD SÍSMICA (m/s)</b>	>2150	2150-1850	1850-1500	1500-1200	1200-450
<b>Puntuación</b>	<b>26</b>	<b>24</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>5</b>
<b>DUREZA</b>	Roca extremadamente dura	Roca muy dura	Roca dura	Roca blanda	Roca muy blanda
<b>Puntuación</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>ALTERACIÓN</b>	Sana	Ligeramente alterada	Alterada	Muy alterada	Completamente alterada
<b>Puntuación</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
<b>ESPACIADO DE JUNTAS (mm)</b>	>3000	3000-1000	1000-300	300-50	<50
<b>Puntuación</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>5</b>
<b>CONTINUIDAD DE LAS JUNTAS</b>	Discontinuas	Poco continuas	Continuas sin relleno	Continuas con algún relleno	Continua con relleno
<b>Puntuación</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>RELLENO EN LAS JUNTAS</b>	Cerradas	Algo separadas	Separadas <1mm	Con relleno <5 mm	Con relleno > 5mm
<b>Puntuación</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
<b>ORIENTACIÓN DE LA DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO</b>	Muy desfavorable	Desfavorable	Poco desfavorable	Favorable	Muy favorable
<b>Puntuación</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>VALORACIÓN TOTAL</b>	<b>100-90</b>	<b>90-70*</b>	<b>70-50</b>	<b>50-25</b>	<b>&lt;25</b>
<b>VALORACIÓN DE LA RIPABILIDAD</b>	<b>Voladura</b>	<b>Extremadamente difícil de ripar</b>	<b>Muy difícil de ripar</b>	<b>Difícil de ripar</b>	<b>Fácilmente ripable</b>
<b>Selección de la maquinaria</b>	-	DD9G/D9G	D9/D8	D8/D7	D7
<b>Potencia (CV)</b>	-	770/385	385/270	270/180	180
<b>KW</b>	-	575/290	290/200	200/135	125

**PREVOLADURAS**

**INCISO: RIPABILIDAD VS. VOLADURA**

**1.- TOMA DE DATOS DE CAMPO**

Adecuada caracterización en base a malla idónea de muestreo, de las condiciones existentes del macizo (carga puntual, RC, Vsísmica, Densidad, índice de juntas, relleno, cohesión, orientación de diaclasas,...)

**2.- APLICACIÓN DE CRITERIOS CLÁSICOS**

Weaver, etc... SI SE SUPERAN LOS UMBRALES DE ARRANQUE MECÁNICO, ADOPTAR DIRECTAMENTE VOLADURA. SI INDICA QUE ES POSIBLE, SER CRÍTICO, NO CLASIFICAR AÚN COMO RIPABLE (SEGUIR CON LOS PASOS SIGUIENTES).

**3.- ESTUDIAR LOS COSTES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA**

Por ejemplo, costes de personal en voladura por lo general más bajos que en excavación.

**4.- CONSIDERAR LOS CONDICIONANTES GEOMÉTRICOS DE LA EXCAVACIÓN**

Desmontes bajos/excesivamente altos, muy amplios o estrechos...

**5.- ¿CUÁLES SON LAS NECESIDADES DE PRODUCCIÓN?**

El volumen y el tiempo son condicionantes. ¿Conviene hacer prevoladura? ¿Cuáles son los rendimientos de los equipos de carga y transporte? ¿Se exige una granulometría?...

**6.- ANÁLISIS AMBIENTAL Y DE SEGURIDAD**

Vibraciones, polvo, ruido, onda aérea,... Los equipos hidráulicos y de carga y transporte puede resultar más molesto que la voladura.

**7.- ESTIMACIÓN GLOBAL DE COSTES**

Hacer una estimación global permite valorar de forma más racional el coste asociado al metro cúbico.

#### VOLADURAS EN TRINCHERA

Las fórmulas de cálculo son

**PIEDRA:**  $B=K \cdot D$  (Con  $39 < K < 33$ , en base a la dureza de la roca). **ESPACIAMIENTO:**  $S= 1,2 \cdot B$ .

**SOBREPERFORACIÓN:**  $J=10 \cdot D$ . **PROFUNDIDAD MÁXIMA DE EXCAVACIÓN:** 12 m.

Los diámetros a emplear serán de 3 a 5 pulgadas, y el consumo específico deberá quedar comprendido entre 0,3 y 0,5 kg/m<sup>3</sup> (según la dureza de la roca). Los barrenos de destroza o arranque suelen ser verticales, perfilando la trinchera con coladuras de contorno. Un caso particular de voladuras en trinchera son las efectuadas en media ladera.

#### VOLADURAS EN ZANJA

Pequeñas trincheras de ancho inferior a 3 m y profundidad máxima de 5 m. Las fórmulas son  $B=25 \cdot D$ ,  $J=0,3 \cdot B$ , y espaciamento a determinar en base a la anchura. Los diámetros de perforación van de 1 ½ a 2 ½ pulgadas. Se perfora con inclinación hacia la salida. El número de hileras dependerá del ancho de la zanja, yendo de 2 a 4. El/los barreno/s centrales se carga/n algo más, debiendo obtenerse un consumo final comprendido entre 0,4 y 0,6 kg/m<sup>3</sup>.

#### VOLADURAS PARA ESCOLLERA

Destinada a la producción de piedra gruesa. A mayor sea la altura de talud, mejor (superior a 15 m). Se emplearán diámetros de entre 4 y 5 pulgadas, con perforación inclinada (8 a 10°). Los parámetros del esquema son:

**PIEDRA:**  $B=40D$ , **ESPACIAMIENTO:**  $S=B/16$ , **LONGITUD DE CARGA DE FONDO:**  $L_f=55D$ ; **SOBREPERFORACIÓN:**  $J=10D$ ; **RETACADO:**  $T=15D$ .

El consumo específico quedará comprendido entre 0,3 y 0,4 kg/m<sup>3</sup> (en base a la dureza de la roca), con mayor densidad en la zona de carga de fondo. La carga de columna irá desacoplada, con una relación de diámetros  $D/d=2$ .

#### ***VOLADURAS DE TAQUEO***

Labor habitual en la mayoría de las explotaciones, dado que cabe la posibilidad de obtener con la voladura “bolos” (bloques de tamaño excesivo). Si bien existen otros métodos, puede realizarse dicho troceo mediante perforación y colocación de explosivos (pequeñas cargas, en un número de taladros que dependerá del tamaño del bolo). Esta metodología es una voladura secundaria.

Es aconsejable el empleo de explosivos tradicionales o cordones detonantes, iniciados con detonadores eléctricos.

Si no se procede a la carga con esmero, puede provocar importantes proyecciones. Es norma general emplear 50 g de explosivo por metro cúbico de roca. Para bloques pequeños, puede aplicarse una carga formada por cordones detonantes.

#### ***POSIBILIDAD 1***

Perforación del bloque según su tamaño con uno o varios barrenos, e inserción de pequeña carga de explosivos debidamente retacada. Este método suele originar proyecciones.

#### ***POSIBILIDAD 2***

Adosar parche de carga explosiva, recubierta con barro o material similar. El método es más barato y rápido, y no produce proyecciones, pero origina onda aérea de gran intensidad. Por ello no es muy frecuente a cielo abierto, siendo más aplicado en interior, salvo en minería de carbón.



### VOLADURAS ESPECIALES

#### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

##### 1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

La presente ITC tiene por objeto:

Definir la tipología de ciertas clases de voladuras para ser consideradas como voladuras especiales.

Establecer las competencias para su autorización, tramitación y condiciones de ejecución.

Prescribir las medidas de prevención necesarias.

##### 2. DEFINICIÓN DE VOLADURAS ESPECIALES.

Se consideran voladuras especiales las siguientes:

**2.1. GRANDES VOLADURAS** Las que, por sus características geológicas locales, geometría, volumen relativo y carga máxima instantánea, requieran, a juicio de la autoridad minera competente, medidas preventivas complementarias a las exigibles en las voladuras convencionales.

**2.2. VOLADURAS BAJO EL AGUA** Las que se realizan bajo columna de agua, en cauces fluviales, lagos, embalses, o en el mar, que por su proximidad puedan afectar a núcleos habitados, edificaciones e instalaciones de cualquier tipo.

**2.3. DEMOLICIONES** La demolición de edificios, estructuras en general o cimentaciones, por su ubicación próxima a núcleos habitados, condicionantes del contorno o su dificultad técnica.

### VOLADURAS ESPECIALES

#### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

##### 2.4. VOLADURAS CON RIESGOS PECULIARES

Voladuras que puedan afectar a núcleos urbanos habitados o instalaciones industriales o de cualquier tipo, vías de comunicación, sistemas de transporte, presas y depósitos de agua y almacenamientos de materias peligrosas.

##### 2.5. VOLADURAS PRÓXIMAS A INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Próximas a centros de producción, transformación y redes de transporte y distribución de energía eléctrica, a cualquier tensión.

##### 2.6. VOLADURAS PRÓXIMAS A EMISIÓN DE ONDAS

En la proximidad de emisoras de radio, TV, radar o repetidores de alta frecuencia.

### 3. AUTORIZACIÓN.

**3.1.** Cuando por parte de la autoridad competente se tengan que autorizar consumos de explosivos en los que se contemple la realización de voladuras que, conforme al apartado anterior, tengan la condición de especiales, además de cumplir las condiciones generales para toda clase de trabajos en que se utilicen explosivos, deberán contar con la autorización previa de la autoridad competente, quien la concederá o no a la vista de un proyecto de voladura especial presentado por el peticionario, suscrito por un técnico titulado de Minas y aprobado por la autoridad minera competente, en el que figuren:

### VOLADURAS ESPECIALES

#### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

##### 2.4. VOLADURAS CON RIESGOS PECULIARES

Voladuras que puedan afectar a núcleos urbanos habitados o instalaciones industriales o de cualquier tipo, vías de comunicación, sistemas de transporte, presas y depósitos de agua y almacenamientos de materias peligrosas.

##### 2.5. VOLADURAS PRÓXIMAS A INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Próximas a centros de producción, transformación y redes de transporte y distribución de energía eléctrica, a cualquier tensión.

##### 2.6. VOLADURAS PRÓXIMAS A EMISIÓN DE ONDAS

En la proximidad de emisoras de radio, TV, radar o repetidores de alta frecuencia.

### 3. AUTORIZACIÓN.

**3.1.** Cuando por parte de la autoridad competente se tengan que autorizar consumos de explosivos en los que se contemple la realización de voladuras que, conforme al apartado anterior, tengan la condición de especiales, además de cumplir las condiciones generales para toda clase de trabajos en que se utilicen explosivos, deberán contar con la autorización previa de la autoridad competente, quien la concederá o no a la vista de un proyecto de voladura especial presentado por el peticionario, suscrito por un técnico titulado de Minas y aprobado por la autoridad minera competente, en el que figuren:

#### VOLADURAS ESPECIALES

#### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

a) Las construcciones, vías de comunicación, depósitos y conducciones de fluidos, sistemas de transporte, centros de producción o transformación de energía eléctrica, líneas de transporte y distribución de energía, y en general, cualquier instalación susceptible de influencia directa o recíproca por la voladura, cuya distancia al emplazamiento previsto para ésta esté comprendida en:

- 👑 1.000 metros alrededor, cuando se trate de grandes voladuras, si la voladura es exterior; 500 metros, si es subterránea.
- 👑 1.500 metros alrededor, cuando se trate de voladuras bajo agua en mar, y 1.000 metros en voladuras bajo agua de cualquier otro tipo.
- 👑 200 metros alrededor, en caso de demoliciones.
- 👑 500 metros en todos los tipos restantes.

No obstante, y en función de las características de cada voladura y de su entorno, se pueden modificar estas distancias.

#### *VOLADURAS ESPECIALES*

#### **ITC 10.3.01. Voladuras especiales.**

- b) Cuantas prescripciones afecten a la voladura, según lo especificado en el apartado 5. Prescripciones.**
- c) Los planes de tiro, con el detalle de la carga, retacado de barrenos, así como el sistema de encendido.**
- d) Horario y plazo previsto para las voladuras, así como las medidas de seguridad y señales de advertencia adoptadas. En el caso de empresas que habitualmente ejecuten voladuras, la exigencia anterior puede sustituirse por la Disposición Interna de Seguridad correspondiente.**
- e) En caso de proximidad a construcciones o instalaciones que pudieran ser afectadas por las vibraciones producidas por la voladura, la autoridad minera competente puede exigir la aplicación del contenido de la norma UNE 22.382 "Control de vibraciones producidas por voladuras".**

### VOLADURAS ESPECIALES

#### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

**3.2** Si durante el plazo de vigencia de la autorización de un consumo de explosivos, en la que originariamente no se preveían voladuras especiales, sobreviniese, por causas imprevistas y justificadas, la necesidad de ejecución de tal tipo de voladura, debe recabarse previamente la aprobación de la autoridad minera competente, mediante la presentación por duplicado del proyecto que se especifica en el apartado 3.1 anterior. La autoridad minera competente debe remitir un ejemplar del mismo, junto con su aprobación, a la Oficina de Industria y Energía para los efectos que procedan.

**3.3** Según lo dispuesto en el artículo 151 del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera, pueden aceptarse proyectos tipo, cuando las voladuras especiales constituyan o vayan a constituir una actividad repetitiva, respetando en todas ellas los parámetros técnicos y medidas previstas en la primera voladura.

#### VOLADURAS ESPECIALES

#### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

#### 4. EJECUCIÓN DE VOLADURAS.

Una vez que el consumo de explosivos y las voladuras hayan sido autorizados, la ejecución de cada una de ellas debe estar dirigida a pie de obra por un técnico titulado de Minas, responsable de la misma. De acuerdo con la importancia de la operación, la autoridad minera competente debe determinar la cuantía de la póliza de responsabilidad civil especificada en el apartado 6.b).

#### 5. PRESCRIPCIONES

Además de las prescripciones generales establecidas en la reglamentación vigente, deben aplicarse las prescripciones específicas siguientes:

##### 5.1. GRANDES VOLADURAS.

##### 5.1.1. INICIACIÓN DE LA EXPLOSIÓN

Para garantizar la iniciación del explosivo contenido en el barrenado, puede utilizarse cordón detonante a lo largo del mismo y, necesariamente, cuando se dispongan espaciadores inertes, dividiendo la carga de explosivo, salvo que se efectúe la iniciación secuencial en cada una de dichas cargas espaciadas.

##### 5.1.2. USO DE CORDÓN DETONANTE

No debe utilizarse el cordón detonante para el descenso de los cartuchos, cuando exista riesgo de rotura o deterioro del mismo, debido al peso de aquéllos.

### VOLADURAS ESPECIALES

#### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

##### 5.1.3. PROTECCIÓN CONTRA PROYECCIONES Y VIBRACIONES

Deben adoptarse, en su caso, las medidas pertinentes para prevenir el riesgo de proyecciones, vibraciones, onda aérea, etc., respecto al entorno.

##### 5.2. VOLADURAS BAJO EL AGUA

###### 5.1.1. PEFORACIÓN Y CARGA DE BARRENOS

Sólo pueden simultanearse las labores de perforación y carga explosiva, en aquellos casos en que los trabajos sean realizados desde pontón y la perforación realizada con doble varillaje, que permita la introducción de las cargas desde el pontón a través de dicho entubado. En los supuestos restantes, sólo puede iniciarse la operación de cargas una vez haya concluido la perforación y retirado la maquinaria correspondiente.

En cualquier caso, debe llevarse un especial control de la concentración de la carga en cada barreno, recomendándose cargas rígidas prefabricadas.

En este tipo de perforación con entubado, se permite la presencia en el pontón, durante la jornada de trabajo, del explosivo necesario para la misma, el cual debe almacenarse en cofres adecuados.



## VOLADURAS ESPECIALES

### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

#### 5.2.2. CEBADO Y DETONADORES

Sea cual fuere el sistema de perforación y el diámetro de los barrenos, debe utilizarse siempre cordón detonante a lo largo de su caña y el cebado de los barrenos debe ser exterior a los mismos.

En todos los casos, la colocación de detonadores debe realizarse con posterioridad a la carga del total de barrenos que constituyan la pega, y siempre después de retirar al personal y los equipos de perforación del lugar de trabajo.

Cuando se utilicen cargas rígidas prefabricadas, el cebado puede realizarse directamente mediante detonadores cuya conexión se efectuará en superficie.

Las conexiones entre detonadores y de éstos a la línea de tiro deben realizarse siempre mediante conectores que aseguren su aislamiento y colocados fuera del agua sobre flotadores o boyas señalizadas.

Se recomienda el empleo de detonadores y sistemas de conexión que reduzcan al mínimo las pérdidas de corriente por derivación.

### VOLADURAS ESPECIALES

#### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

##### 5.2.3. VIBRACIONES Y ONDAS DE CHOQUES HIDRÁULICAS

Debe prestarse especial atención a los posibles efectos que se puedan producir por vibraciones terrestres y ondas de choque hidráulico o de marea, empleando los procedimientos adecuados para combatirlos.

##### 5.2.4. SEÑALIZACIÓN Y EVACUACIÓN DE PERSONAS

Tanto en el caso de perforación desde pontón, como en los de perforación y carga de explosivos mediante buceadores, o campanas neumáticas, o de aplicación de cargas huecas, cargas adosadas, mangueras explosivas, etc., la zona de trabajo debe quedar perfectamente balizada, en una distancia al menos de 50 metros alrededor de su perímetro, mediante boyas con carteles de advertencia.

Con anterioridad a la ejecución de las voladuras, debe comprobarse la ausencia de bañistas, embarcaciones y toda clase de personas o cosas en un entorno tal que, de acuerdo con la cantidad de explosivo previsto, se prevengan los riesgos por las ondas de presión generadas en el agua. Estas distancias deben especificarse en el correspondiente proyecto.

### VOLADURAS ESPECIALES

#### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

##### 5.2.5. INSPECCIÓN FINAL

Con posterioridad a cada voladura, tras el oportuno lapso de tiempo para permitir la recuperación de la visibilidad de las aguas, debe inspeccionarse el fondo volado, con el fin de detectar y recuperar los posibles restos de explosivos procedentes de barrenos fallidos.

##### 5.3 DEMOLICIONES

###### 5.3.1 PRECAUCIONES GENERALES

Los trabajos de perforación, carga y disparo de las voladuras deben ser realizados bajo la dirección permanente, a pie de obra, de un técnico titulado de Minas.

Con anterioridad a la voladura, deben realizarse todas las comprobaciones necesarias para constatar que los elementos estructurales se corresponden con los previstos en los planos constructivos, eliminando, por medios mecánicos o manuales, todos aquellos elementos que pudieran significar cualquier riesgo para la seguridad del trabajo, tanto desde el punto de vista de proyecciones, como de la dirección de la caída de la estructura. Deben disponerse las adecuadas protecciones en aquellas zonas en las que fuera previsible el riesgo de proyecciones peligrosas.

### *VOLADURAS ESPECIALES*

#### **ITC 10.3.01. Voladuras especiales.**

A partir del momento de la llegada del material explosivo y accesorios de voladura al lugar de los trabajos, queda totalmente prohibida la presencia de cualquier persona ajena a los mismos, mediante una efectiva vigilancia o cierre de cualquier acceso existente.

#### **5.3.2 CALIBRE Y CARGA**

Excepto lo dispuesto por la autoridad minera competente, en general, el calibre de perforación no debe ser superior a 50,8 milímetros y la carga por barreno no debe exceder de 500 gramos. No está permitida la carga a granel del explosivo.

#### **5.3.3 CORTE DE CARTUCHOS**

En los casos en los que fuera necesario el corte de los cartuchos para conseguir las cantidades de carga adecuadas, este corte debe realizarse en un lugar alejado del resto del explosivo y con las debidas precauciones. Esta misma normativa debe aplicarse, en su caso, para la preparación de las cargas espaciadas, las cuales irán necesariamente adosadas a un cordón detonante de gramaje suficiente para asegurar su detonación.

### VOLADURAS ESPECIALES

#### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

##### 5.3.4 DETONADORES, NÚMERO Y DISPOSICIÓN

Los detonadores deben disponerse de forma que queden siempre en el interior del barreno.

Si el número de detonadores necesarios lo justifica, puede autorizarse la conexión de los mismos en series paralelas. Las diferentes series deben equilibrarse de forma que la dispersión entre ellas no sea superior a . 1 por 100 de su resistencia.

El retacado debe realizarse con materiales suficientemente plásticos y no propagadores de la llama, de forma que quede asegurada su permanencia hasta la ejecución de la voladura.

##### 5.3.5 VOLADURAS CARGADAS Y NO EXPLOSIONADAS

En el caso de que las operaciones de carga del explosivo no permitan ejecutar la voladura dentro de la misma jornada de trabajo, los barrenos cargados y el explosivo no utilizado deben quedar permanentemente bajo la debida vigilancia.

## VOLADURAS ESPECIALES

### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

#### 5.4 PROXIMIDAD A LÍNEAS ELÉCTRICAS

##### 5.4.1. DISTANCIAS DE PROTECCIÓN

Salvo en los casos en los que se autorice una normativa de actuación específica, en los trabajos de voladura con pega eléctrica en la proximidad de líneas o estaciones transformadoras, en función de la tensión, deben respetarse las distancias siguientes:

Tensión de línea (V)	Distancia (m)
Hasta 1.000	10
De 1.000 a 6.000	20
De 6.000 a 11.000	50
De 11.000 a 60.000	100
Más de 60.000	200
Líneas ferrocarril electrificadas a cualquier tensión	300

En los casos en los que la distancia prevista entre la voladura y las líneas eléctricas sea inferior a las indicadas, para la utilización del encendido eléctrico se precisa un estudio preliminar que justifique la no existencia de riesgos, tanto por derivaciones de corriente, como por inducción de corrientes sobre el circuito de voladura. Se deben utilizar al menos detonadores insensibles.

La intensidad de cortocircuito y de descarga, y la tensión de paso de los centros de transformación deben ser suministradas por la entidad propietaria.

#### VOLADURAS ESPECIALES

#### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

#### 5.4.2. LÍNEA DE TIRO, CONEXIONES

Cuando la proximidad de las líneas eléctricas a la zona de voladura sea inferior a 200 metros, la línea de tiro debe orientarse lo más perpendicular posible al tendido eléctrico y sus extremos han de mantenerse unidos en cortocircuito y aislados del terreno o de cualquier masa metálica, hasta el momento de la voladura. La línea volante de tiro no puede utilizarse más que una sola vez.

Deben anclarse al suelo los conductores del circuito de la voladura.

Todas las conexiones deben protegerse con casquillos aislantes u otro tipo de aislamiento adecuado. Los detonadores han de ser del tipo de alta insensibilidad y deben tener cortocircuitados los terminales de los hilos de alimentación hasta el momento de su conexión al circuito de voladura, salvo que, ante petición debidamente justificada, la autoridad minera autorice el empleo de otro tipo de detonadores.

## VOLADURAS ESPECIALES

### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

#### 5.5 PROXIMIDAD A RADIO-FRECUENCIA EN EMISIÓN

##### 5.5.1. DISTANCIAS DE SEGURIDAD A EMISORAS

Debe contemplarse en el proyecto: La potencia radiada, la frecuencia y la dirección de la radiación, la sensibilidad de los detonadores a utilizar, la disposición de la línea de tiro, etc., para efectuar voladuras eléctricas a distancias a emisoras de radiofrecuencia, en función de su potencia emisora, inferiores a:

Potencia emisora	Distancia (m)
Hasta 25 W	50
De 25 a 100 W	75
De 100 a 500 W	150
De 500 a 1 KW	300
De 1 a 5 KW	500
De 5 a 10 KW	750
De 10 a 25 KW	1200
De 25 a 50 KW	1700
De 50 a 100 KW	2350
De 100 a 500 KW	5000
De 500 a 1000 KW	7500

La anterior aprobación será, asimismo, preceptiva siempre que se efectúen voladuras eléctricas a menos de 300 metros de equipos de radar o militares de dirección de tiro.



#### VOLADURAS ESPECIALES

#### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

##### 5.5.2. DISTANCIAS DE SEGURIDAD A RADIO-TELÉFONOS

Debido a que los radio-teléfonos emiten en bandas de frecuencia altas ( $> 27$  MHz) y potencias bajas, las distancias de seguridad en este caso serán las siguientes:

Potencia (W)	Distancia (m)
Hasta 10	2
De 10 a 30	3,5
De 30 a 60	5
De 60 a 250	10

Las antenas de radio-teléfonos o de los vehículos dotados de emisoras deben cubrirse con una funda de plástico.

## VOLADURAS ESPECIALES

### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

#### 5.5.3 TRANSPORTES

Cuando el transporte de los detonadores eléctricos se realicen en vehículos dotados de una emisora de radio, dichos detonadores deben embalarse en una caja recubierta de chapa metálica. Las operaciones de carga y descarga han de efectuarse manteniendo la caja cerrada y la emisora desconectada.

#### 5.6 VOLADURAS EN ZONAS HABITADAS

En aquellas voladuras en zonas habitadas en las que pueda existir riesgo de daños a terceros por proyección de fragmentos de roca, deben adoptarse las precauciones siguientes:

##### 5.6.1 SUPERVISIÓN

Debe llevarse a cabo por parte del responsable de la voladura una supervisión efectiva que garantice la concordancia de todos los parámetros de la voladura con su diseño original. Debe cuidar de que los diferentes trabajos que la componen -perforación, carga de los barrenos y conexión del circuito de voladura- se ejecuten adecuadamente, con especial cuidado en los siguientes puntos:

- Correcto marcado previo de los barrenos.
- Control de posicionado y angulación del equipo de perforación.
- Comprobación de las profundidades de cada barreno.
- Detección de las coqueas o fisuras existentes en el terreno a volar.

#### VOLADURAS ESPECIALES

#### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

- ⊗ Control del proceso de carga, comprobando la cantidad de explosivo de cada barreno.
- ⊗ Control de la ejecución de los retacados.
- ⊗ Control de la conexión del circuito de voladura, con especial atención a la distribución de los detonadores para una correcta secuencia.

#### 5.6.2 CARGA DE BARRENOS

Cuando en la perforación se hayan detectado barrenos que atraviesen coqueras, fisuras o, en general, estructuras que puedan dar lugar a acumulaciones de carga, deben desecharse tales barrenos, o bien, los tramos afectados deben dejarse sin cargar, introduciendo retacados intermedios de materiales inertes.

En todo caso, debe cumplirse lo dispuesto en el apartado 2.4 de la ITC 10.2.01.

Si se comprobara que alguno de los barrenos que componen la voladura tiene un confinamiento excesivo, de forma que no tuviera posible salida, dicho barreno será desechado.

El diseño y conexión de la secuencia de iniciación deben ser los adecuados para evitar descuelgues, descabezamientos, robos de carga y/o disparos sin salida.

### VOLADURAS ESPECIALES

#### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

##### 5.6.3 RETACADO

Debe cuidarse especialmente la realización del retacado de los barrenos, debiendo adoptarse, siempre que sea posible, una longitud de barreno retacado doble de la indicada en el apartado 4.1 de la ITC 10.2.01. Para su ejecución deben utilizarse materiales inertes, preferiblemente arena fina o tacos de arcilla debidamente compactados.

##### 5.6.4 PROTECCIONES ADICIONALES

Cuando por gran proximidad a las voladuras de los bienes a proteger, o por la disposición de éstas, haya un gran riesgo de daño por proyecciones, debe procurarse el empleo de protecciones adicionales sobre la propia voladura y/o los bienes a proteger.

Los elementos utilizados como protecciones sobre las voladuras deben permitir la salida de gases de los barrenos y, al mismo tiempo, detener los fragmentos de roca proyectados. Además, deben estar adecuadamente colocados y anclados a terreno firme para evitar ser lanzados.

Se recomienda el uso de mallazos o redes tupidas y resistentes, así como bandas de goma. Estos elementos pueden utilizarse solos o en combinación con otros, como por ejemplo neumáticos.

#### *VOLADURAS ESPECIALES*

#### **ITC 10.3.01. Voladuras especiales.**

Debe evitarse el uso de elementos rígidos que no permitan el paso de los gases, tales como chapas o planchas metálicas. Si se utilizasen, deben colocarse algo separados de la boca de los barrenos y sólidamente anclados a terreno firme.

No deben situarse nunca sobre los barrenos elementos de materiales fácilmente inflamables, como pacas de paja, pudiendo utilizarse únicamente como protección contra proyecciones frontales.

#### **5.6.5 SEÑALIZACIÓN E INFORMACIÓN CIUDADANA**

El perímetro exterior de la zona de voladuras debe estar convenientemente delimitado, de manera que se impida el acceso a personas ajenas a las obras. Dicho perímetro debe señalizarse debidamente con carteles fácilmente legibles, anunciadores del empleo de explosivos.

Antes de efectuar el disparo de la voladura, debe avisarse de la proximidad del mismo mediante las oportunas señales acústicas.

Cuando, por proximidad, una voladura pudiera afectar a alguna vía abierta al tráfico, este hecho debe ponerse en conocimiento de la Policía Municipal local o de la Guardia Civil, con quien se ha de establecer el procedimiento y llevarse a cabo los cortes de tráfico, si llegaran a ser necesarios.

### VOLADURAS ESPECIALES

#### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

##### 5.7. VOLADURAS CON LARGO PROCESO DE CARGA

Cuando por causas justificadas no se pueda completar la carga, la autoridad minera competente podrá autorizar la permanencia de barrenos cargados durante el tiempo preciso para concluir la operación de carga, siempre que estos barrenos estén adecuadamente vigilados hasta su disparo, que debe efectuarse lo antes posible.

##### 5.8 TORMENTAS

Si se detectan tormentas, acústica o visualmente, deben suspenderse los trabajos de voladura, siendo aconsejable, en aquellas épocas y zonas donde sea previsible dicho riesgo, el empleo de detonadores de alta insensibilidad que deben mantenerse cortocircuitados y aislados del terreno hasta el momento de la voladura.

## VOLADURAS ESPECIALES

### ITC 10.3.01. Voladuras especiales.

#### 6. EMPRESAS AUTORIZADAS PARA LA EJECUCIÓN DE VOLADURAS ESPECIALES

Las empresas que lleven a cabo la ejecución de las voladuras especiales definidas en el apartado 2 de la presente ITC deben estar autorizadas e inscritas para tal fin en uno o varios de los tipos señalados en el citado apartado 2.

La autorización y consiguiente inscripción, que tendrá carácter nacional y validez anual, debe solicitarse a la autoridad competente de la provincia donde tenga su domicilio social la empresa, aportando certificado emitido por la autoridad minera competente de dicha provincia, de que la empresa cumple los requisitos siguientes:

- a)** Disponer de un equipamiento técnico adecuado y unas disposiciones internas de seguridad de empleo de explosivos para los tipos de voladuras en que pretendan inscribirse.
- b)** Tener cubierta su responsabilidad civil con una póliza de seguros de una cuantía mínima de 15.000.000 de pesetas por accidente. Esta cuantía mínima será revisada anualmente de acuerdo con las variaciones del Índice de Precios al Consumo, publicado por el Instituto Nacional de Estadística.
- c)** Contar en su plantilla, como mínimo, con una persona con Cartilla de Artillero, autorizada para efectuar pegadas concordantes con los tipos de voladura especial para los que se solicita inscripción. En el caso de demoliciones, se contará además, con un técnico titulado de Minas.

#### EJEMPLO DE VOLADURA ESPECIAL: LAS DEMOLICIONES

#### CONSIDERACIÓN DE ELEMENTOS

En primer lugar deberá tenerse en cuenta si la voladura se ha de desarrollar en base a elementos estructurales concretos (cimentaciones, muros, pilares, losas, cubiertas y vigas), o al total de una estructura o construcción.

#### CIMENTACIONES

Se perforan con barrenos verticales, con longitudes dependientes de las propias dimensiones de las mismas, y esquemas cuadrados. Las cargas de explosivo suelen prepararse mediante la unión de **cargas de unos 50 g a cordón detonante**, y espaciado en función de la densidad de carga calculada. La tabla siguiente recoge algunas recomendaciones en función del tipo de material

MATERIAL	CONSUMO ESPEC. CE. (Kg/m <sup>3</sup> )	ESQUEMA DE PERFORACIÓN, B=S
Hormigón en masa de mala calidad	0,30-0,25	0,80-0,70
Hormigón en masa de buena calidad y resistencia	0,40-0,30	0,70-0,60
Hormigón armado en supeficie	0,75-0,60	0,60-0,50
Hormigón con alta densidad de armaduras	1,00-0,80	0,55-0,50
Hormigón especial armado militar	2,00-1,50	0,50-0,40



#### EJEMPLO DE VOLADURA ESPECIAL: LAS DEMOLICIONES

#### CONSIDERACIÓN DE ELEMENTOS

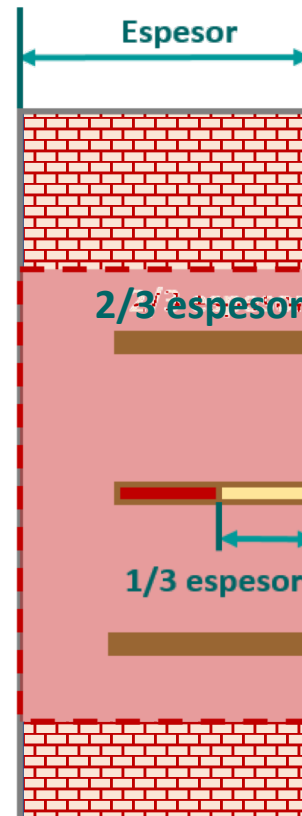
#### MUROS

Debe distinguirse entre muros de hormigón empotrados en la base, no sometidos a esfuerzos, muros de hormigón portantes y muros de ladrillo de carga.

🔍 **Muros de ladrillo:** La perforación suele realizarse a la altura de ventanas o puertas, para mejorar la rotura del material y facilitar la perforación. Mínimo dos filas, y se aumentarán si se quiere volcar el muro. **El consumo específico oscilará entre 0,5 y 1,0.** Disposiciones al tresbolillo proporcionarán una mejor distribución de la carga.



ESPESOR (cm)	B·S (cm·cm)	Nº de filas
35	30·30	2
45	35·35	2
60	45·45	2
70	55·55	3
>100	55·55	3



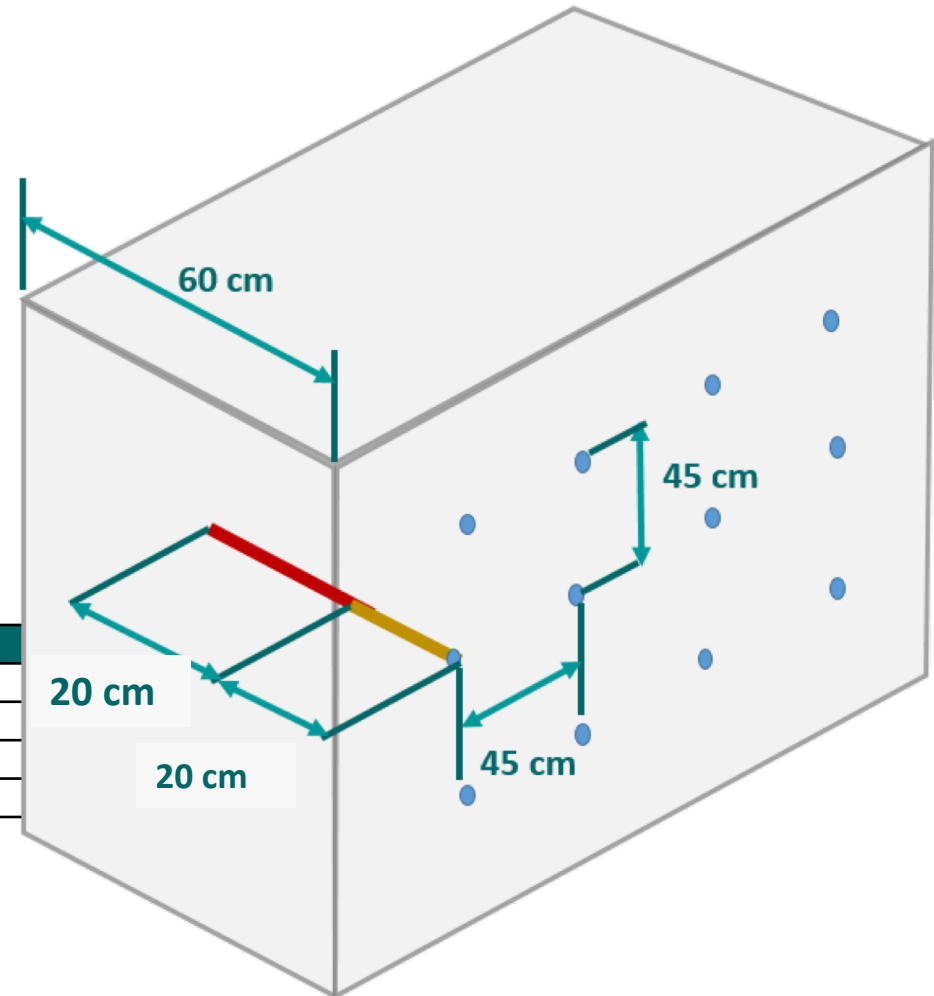
La longitud de perforación suele ir limitada por el espesor del muro, en condiciones normales se perforan 2/3 de esa longitud, reservando 1/3 para el taco y otro tercio para la carga.

#### EJEMPLO DE VOLADURA ESPECIAL: LAS DEMOLICIONES

#### CONSIDERACIÓN DE ELEMENTOS

#### MUROS

**Muros de hormigón armado:** El consumo específico oscilará entre 0,9 y 1,5. Disposiciones al tresbolillo proporcionarán una mejor distribución de la carga. La longitud de perforación suele ir limitada por el espesor del muro, en condiciones normales se perforan 2/3 de esa longitud, reservando 1/3 para el taco y otro tercio para la carga.



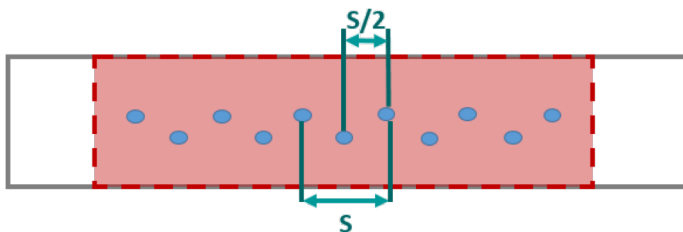
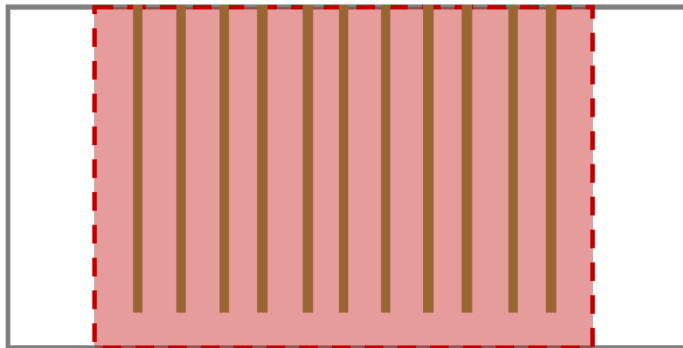
ESPESOR (cm)	B·S (cm)	Nº de filas
35	25·25	2
45	30·30	2
60	45·45	2
70	55·55	3

#### EJEMPLO DE VOLADURA ESPECIAL: LAS DEMOLICIONES

#### CONSIDERACIÓN DE ELEMENTOS

#### MUROS

- Muro de hormigón empotrado en la base:** Suelen ser altos, estrechos y empotrados en la base, se recurre a barrenos verticales para conseguir una adecuada fragmentación, con longitudes de barreno inferiores a 1,5 m con el fin de reducir las proyecciones por zonas con elevada concentración de carga. La iniciación se llevará a cabo con detonadores de microrretardo, cubriendo las superficies del muro. Se aconseja desarrollar experimentos previos en tramos concretos para adecuar los esquemas.



TIPO	ESPESOR (cm)	ESPACIAMIENTO (cm)	Nº Filas	C.E. (kg/m <sup>3</sup> )
Hormigón en masa	20	30	1	0,3-0,2
	30	30	1	0,3-0,2
	40	30	1	0,3-0,2
	50	40	1	0,3-0,2
Hormigón armado	20	30	1	0,5-0,3
	30	30	1	0,5-0,3
	40	30	1	0,5-0,3
	50	40	1	0,5-0,3
	60	40	2	0,5-0,3
	70	40	2	0,5-0,3

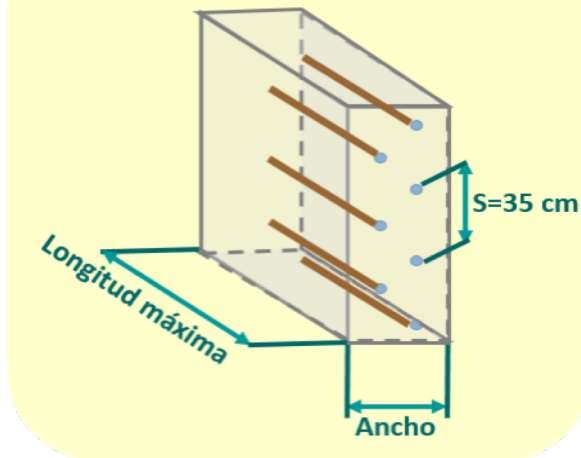
#### EJEMPLO DE VOLADURA ESPECIAL: LAS DEMOLICIONES

#### CONSIDERACIÓN DE ELEMENTOS

##### PILARES

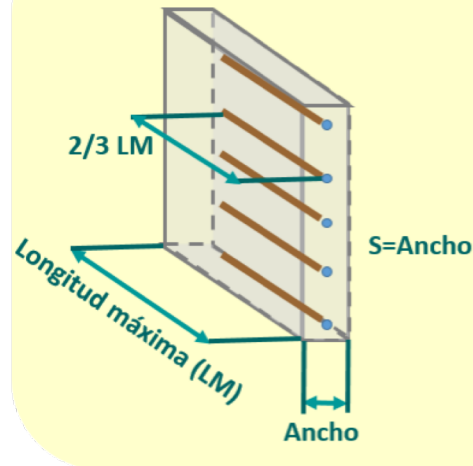
Por lo general de hormigón armado y sección variable entre circular, cuadrada o rectangular. Se ejecuta la perforación en la dirección de la cara del pilar de mayor dimensión.

ANCHO SUPERIOR A 40 cm



Para pilares ancho >40, se recurre a la disposición en dos filas a tresbolillo.

ANCHO INFERIOR A 40 cm



Si Ancho < 40 cm, una única fila coincidiendo el espaciamiento con el ancho

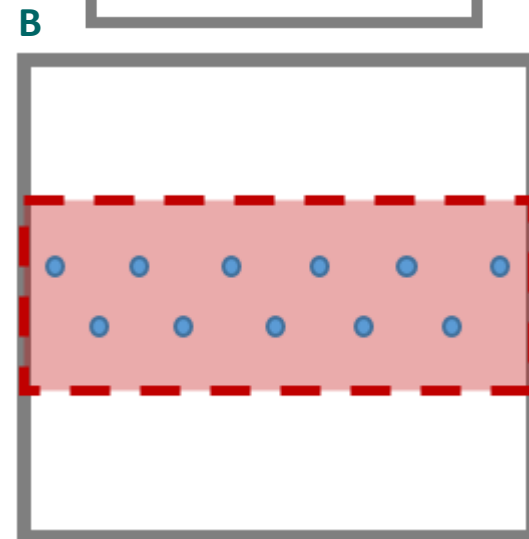
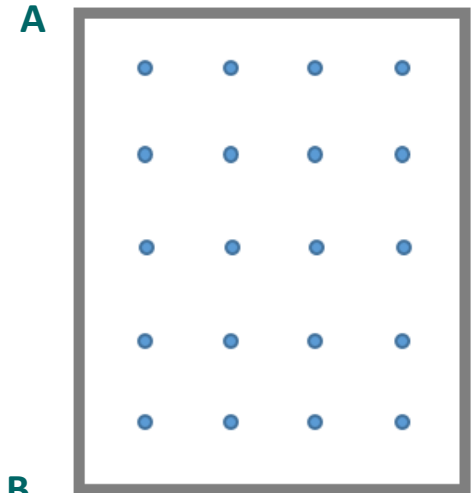
La longitud de perforación es de  $2/3$  de la dimensión de la cara mayor, con taco a  $1/3$ . La altura de corte variará entre los 1,5 m para pilares de secciones de ancho inferior a 40 cm, y 2,5 para >40 cm. Por encima de esa zona, cada dos metros podrán disponerse zonas de rotura auxiliar cada 2 m, con dos barrenos en cada una. El consumo específico oscila entre 0,7 y 1,5.

#### EJEMPLO DE VOLADURA ESPECIAL: LAS DEMOLICIONES

#### CONSIDERACIÓN DE ELEMENTOS

#### LOSAS

Existen dos criterios: de fracturación total (a), y de apertura de hendiduras (b). El primer caso es de aplicación para losas de hormigón en masa o armado, siendo el segundo más común en el caso de hormigón armado (abiertas las hendiduras, se corta la armadura con soplete), siendo en este último caso común recurrir a dos filas de barrenos, con consumos específicos de hasta  $0,8 \text{ kg/m}^3$ . El testeo previo para definir la malla es adecuado.



TIPO	ESPESOR (cm)	Longitud a perforar (cm)	B·S(cm·cm)	C.E. (kg/m <sup>3</sup> )
Hormigón en masa	30	20	30·30	0,5-0,3
	40	25	40·40	0,5-0,3
	50	35	50·50	0,5-0,3
Hormigón armado	30	20	20·20	0,7-0,5
	40	30	30·30	0,7-0,5
	50	40	35·35	0,7-0,5

#### EJEMPLO DE VOLADURA ESPECIAL: LAS DEMOLICIONES

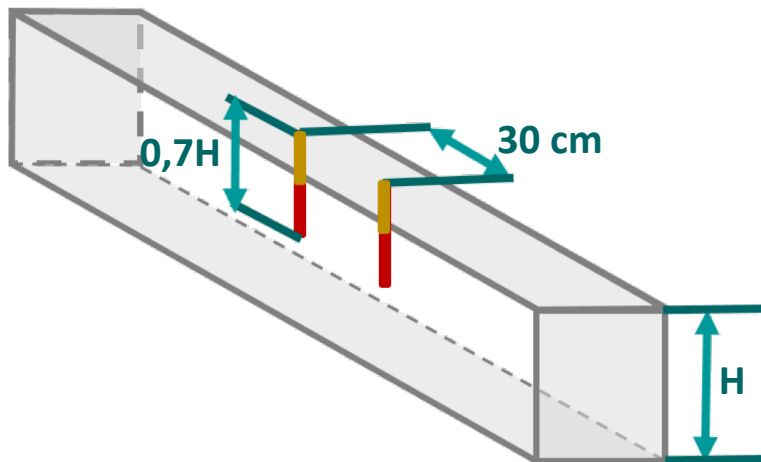
#### CONSIDERACIÓN DE ELEMENTOS

##### CUBIERTAS

A distinguir entre techos de hormigón armado y bóvedas.

ESPESOR (cm)	Longitud a perforar (cm)	B·S(cm·cm)	C.E. (kg/m <sup>3</sup> )
20	15	30·30	0,7-0,5
30	20	30·30	0,7-0,5
40	30	30·30	0,7-0,5
>50	(2/3)·espesor	50·50	0,7-0,5

##### VIGAS



Se busca transformar el punto de corte en una rótula, y conseguir la fragmentación del material para su gestión posterior. Se recurre a perforación vertical, recurriendo para ello a dos barrenos espaciados 30 cm en el punto de corte. Como longitud de perforación se toma 0,7 del canto de la viga, y la carga específica entre 0,6 y 0,8 kg/m<sup>3</sup>.

#### EJEMPLO DE VOLADURA ESPECIAL: LAS DEMOLICIONES

#### TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES PARTICULARES

##### EDIFICIOS

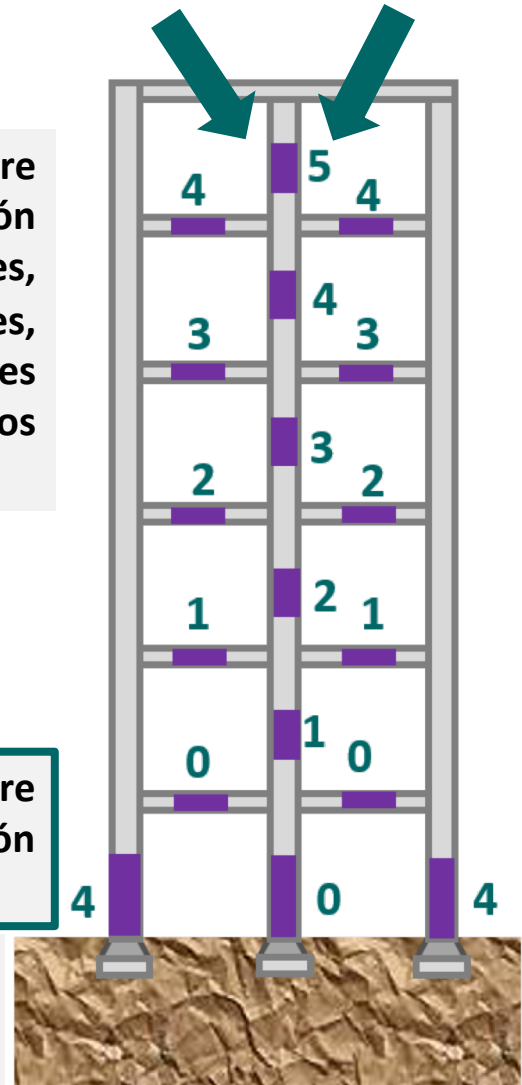
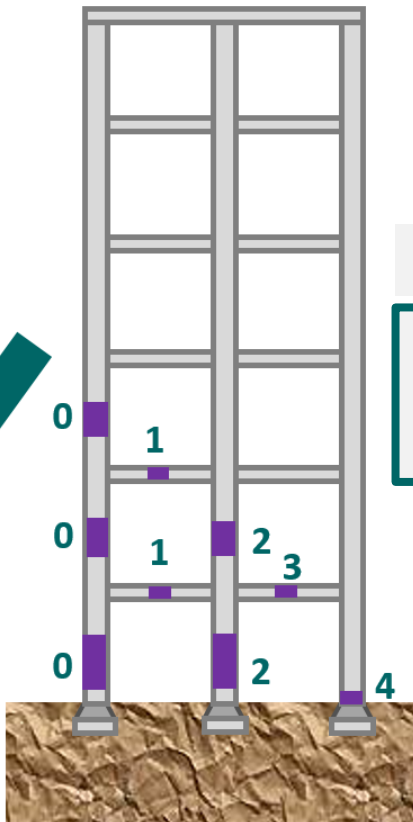
Fuente: "Demoliciones por Voladura". Langa Fuente, E. 2011.

De hormigón armado: Requiere trabajos previos: eliminación parcial de tabiques interiores, descubrimiento de pilares, apertura de rozas en tabiques de ladrillo circundantes anexos a ellos.

##### ALTERNATIVAS:

Direccionalada: generación de una cuña con frente abierto hacia la dirección de caída

De desplome: destinada a colapsar sobre su propia área, a través de la generación de una cuña implosiva.

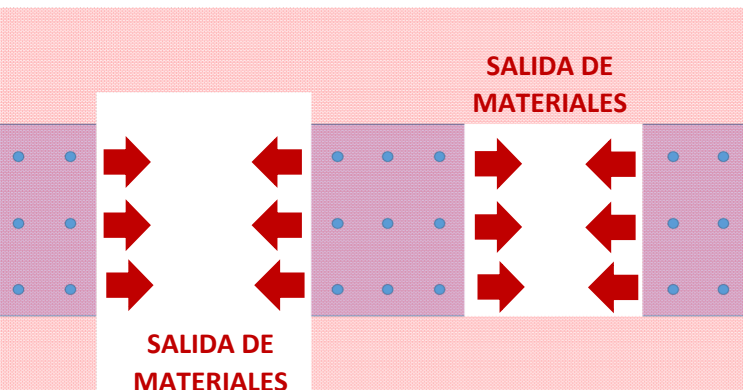


Si existen estructurales aislados que deban actuar como elementos de tiro, se establecerán los anclajes con anterioridad a la demolición. Si se requiere la independización de áreas, se cortarán elementos de unión y redondos en el caso del hormigón armado.

#### EJEMPLO DE VOLADURA ESPECIAL: LAS DEMOLICIONES

#### TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES PARTICULARES

##### EDIFICIOS



**Edificio de ladrillo:** Se deberán retirar los cercos de puertas y ventanas y destrucción parcialmente la de tabiquería interior. Seguidamente se barrenarán los muros de carga, conforme a lo estudiado anteriormente. La voladura se ubicará a la altura de las ventanas (facilita la perforación manual de barrenos, aprovecha los huecos existentes y reduce el número de barrenos). El objetivo de la voladura será el desplome completo, por lo que las secuencias han de diseñarse para que el escombros se amontone sin afectar al medio circundante.

**Mixto:** Cuentan con pilares y vigas de hormigón armado con muros de carga de mampostería, debiendo perforar en ambos según las recomendaciones vistas anteriormente. Por lo general, se recurre a caída en dirección.