



# DISEÑO DE VOLADURAS A CIELO ABIERTO

Ing. César Ayabaca P.



## VOLADURAS A CIELO ABIERTO

- ✓ Muy utilizadas en explotación minera de canteras de caliza para la industria del cemento, algunas minas de materiales de construcción y en minas de otros minerales.
- ✓ En Obras civiles muchos tipos de trabajos involucran el uso de explosivos como carreteras, presas, polductos, y canales de riego.



# EXPLOTACION MINERA A CIELO ABIERTO



# CARRETERA BAÑOS PUYO



# EXPLOSION



1 kiloton = energía liberada  
por 1.000 tn de TNT

1 tn de TNT libera 4000  
veces más energía que  
la necesaria para  
levantar un auto de 1 tn  
a 100m.

Detonación nuclear  
libera de 1000  
1'000.000 veces mayor  
energía que una  
detonación química.

# DEFLAGRACION

- Es una reacción química que se mueve rápidamente a través del material explosivo y libera calor o flama vigorosamente la reacción se mueve demasiado lenta para producir ondas de choque significativas y fracturación de la roca. Ejemplo encendido de una mecha de seguridad. Una VOD de 1000 m/s es límite entre detonación y deflagración.

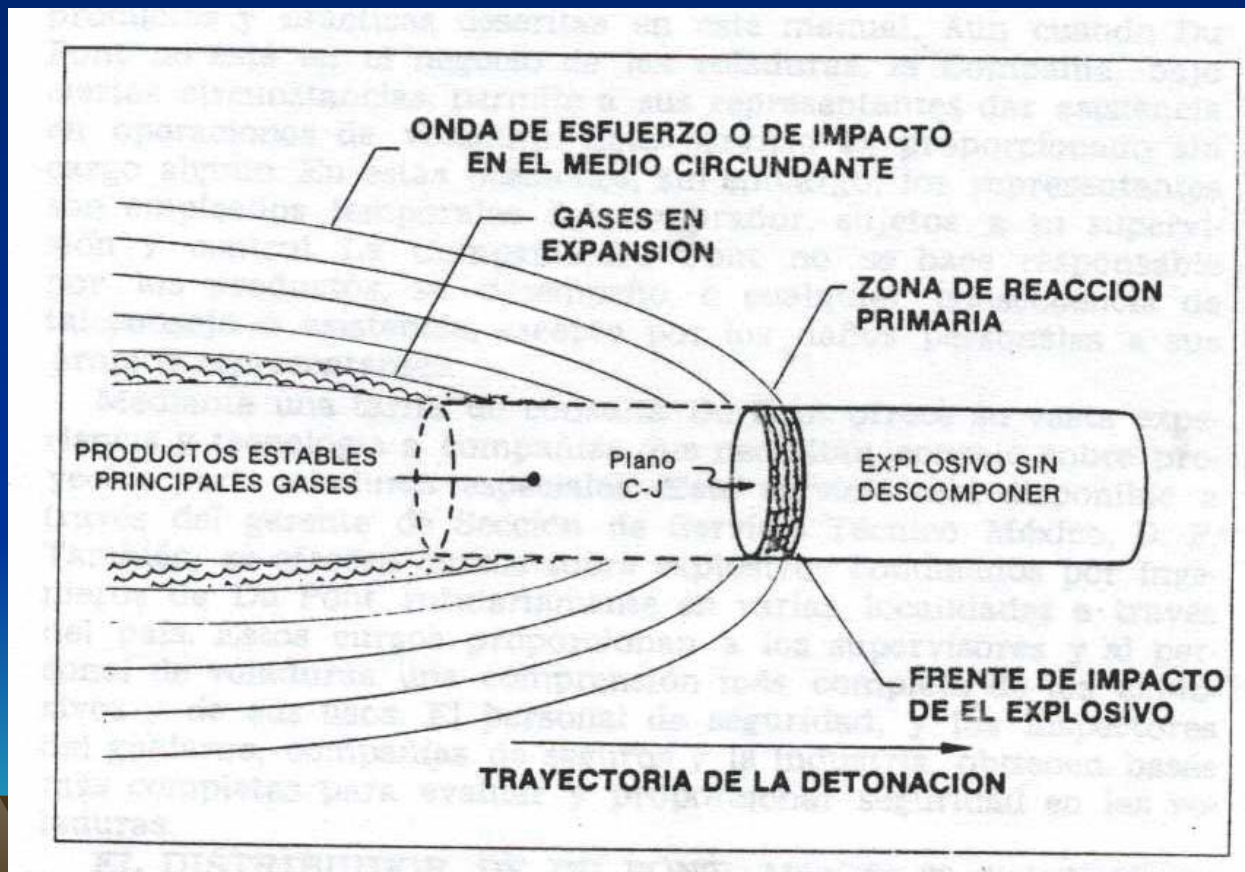


# DETONACION

- En una detonación la reacción química se mueve a través del material explosivo a una velocidad mayor que aquella del sonido a través del mismo material. Se forma una onda de choque supersónica a través del explosivo. Los gases tienen temperaturas de 3000 a 7000 F y presiones altas de rango de 20 a 100 Kbars 100.000 atmósferas o 1.5 millones de libras/pul<sup>2</sup>. Estos gases se expanden rápidamente, producen onda de choque en el medio circundante.

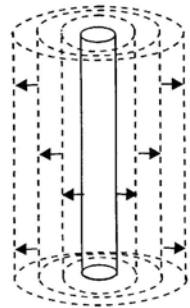


- Zona de reacción primaria es el área en la cual empieza la descomposición química y es limitada por el plano de Chapman-Jouquet.



### FASES DE ROTURA EN UN TALADRO CON "CARA LIBRE"

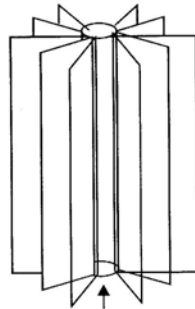
#### 1. EXPANSIÓN



Expansión del taladro por los gases a alta presión

#### 2. ROTURA RADIAL

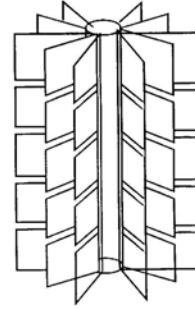
Grietas radiales en la superficie



Planos de rotura paralelos al eje del taladro (verticales)

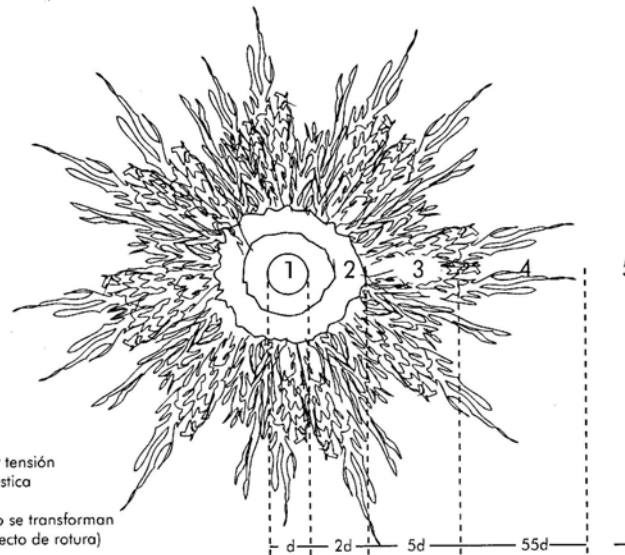
#### 3. ROTURA FLEXURAL

Plano de rotura horizontal desde la cara libre



Planos de rotura transversales al eje del taladro

### ROTURA RADIAL COMO EFECTO DE LA TRANSFERENCIA DE LA ONDA DE DETONACIÓN A LAS PAREDES DEL TALADRO, COMO CONSECUENCIA DEL IMPACTO Y DEL GRADO DE CONFINAMIENTO

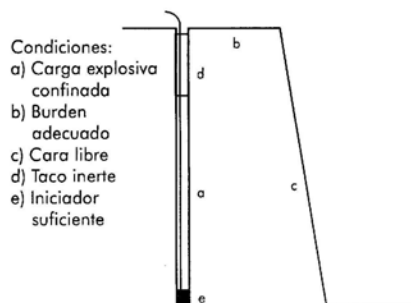


1. Diámetro del taladro
2. Zona pulverizada
3. Zona altamente triturada
4. Zona de fisuramiento por tensión
5. Zona de deformación elástica

(Las vibraciones por impacto se transforman en ondas sísmicas, ya sin efecto de rotura)

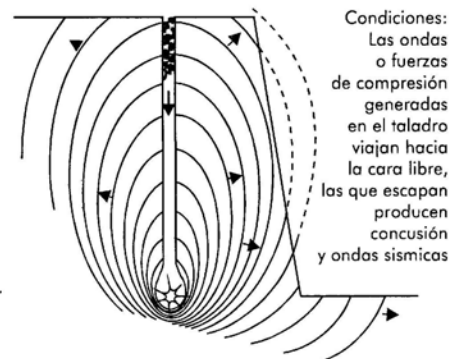
## FASES DE LA MECÁNICA DE ROTURA DE UN TALADRO CON CARA LIBRE

### 1. COLUMNA EXPLOSIVA

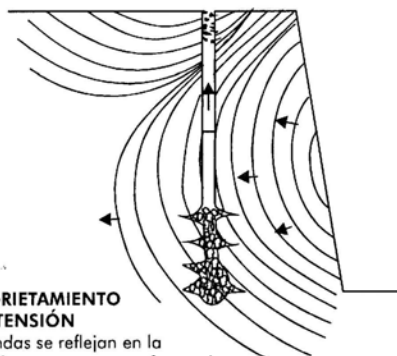


Condiciones:  
 a) Carga explosiva confinada  
 b) Burden adecuado  
 c) Cara libre  
 d) Taco inerte  
 e) Iniciador suficiente

### 2. PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE CHOQUE

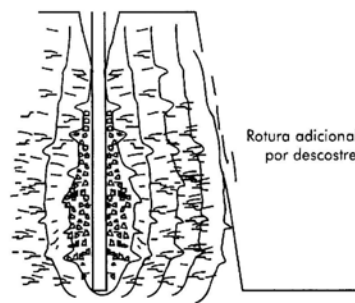


Condiciones:  
 Las ondas o fuerzas de compresión generadas en el taladro viajan hacia la cara libre, las que escapan producen concusión y ondas sísmicas



### 3. AGRIETAMIENTO POR TENSIÓN

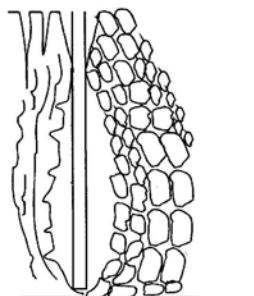
Las ondas se reflejan en la cara libre y regresan en forma de fuerzas de tensión que agrietan a la roca. Se nota ya la expansión de los gases



Rotura adicional por descofre

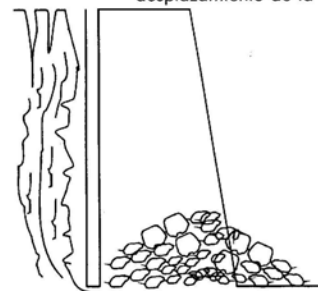
### 4. ROTURA DE EXPANSIÓN

Los gases a alta presión se expanden rápidamente penetrando en las grietas de tensión iniciando la rotura radial y el desplazamiento de la roca



### 5. EXPANSIÓN MÁXIMA (Rotura flexural)

Los gases presionan al cuerpo de roca entre el taladro y la cara libre, doblándola y creando planos de rotura horizontales adicionales



### 6. FASE FINAL: FORMACIÓN DE LA PILA DE ESCOMBROS

Los gases en contacto con el medio ambiente pierden fuerza y el material triturado cae al pie de la nueva cara libre

## DISEÑO DE VOLADURAS

- *Tipo de roca y condiciones geológicas.*
- *Propiedades físico-mecánicas de la roca.*
- *Volumen de roca a ser volada.*
- *Trabajos de perforación.*
- *Tipo de explosivo y propiedades.*
- *Sistema de iniciación.*
- *Parámetros dimensionales de la voladura.*



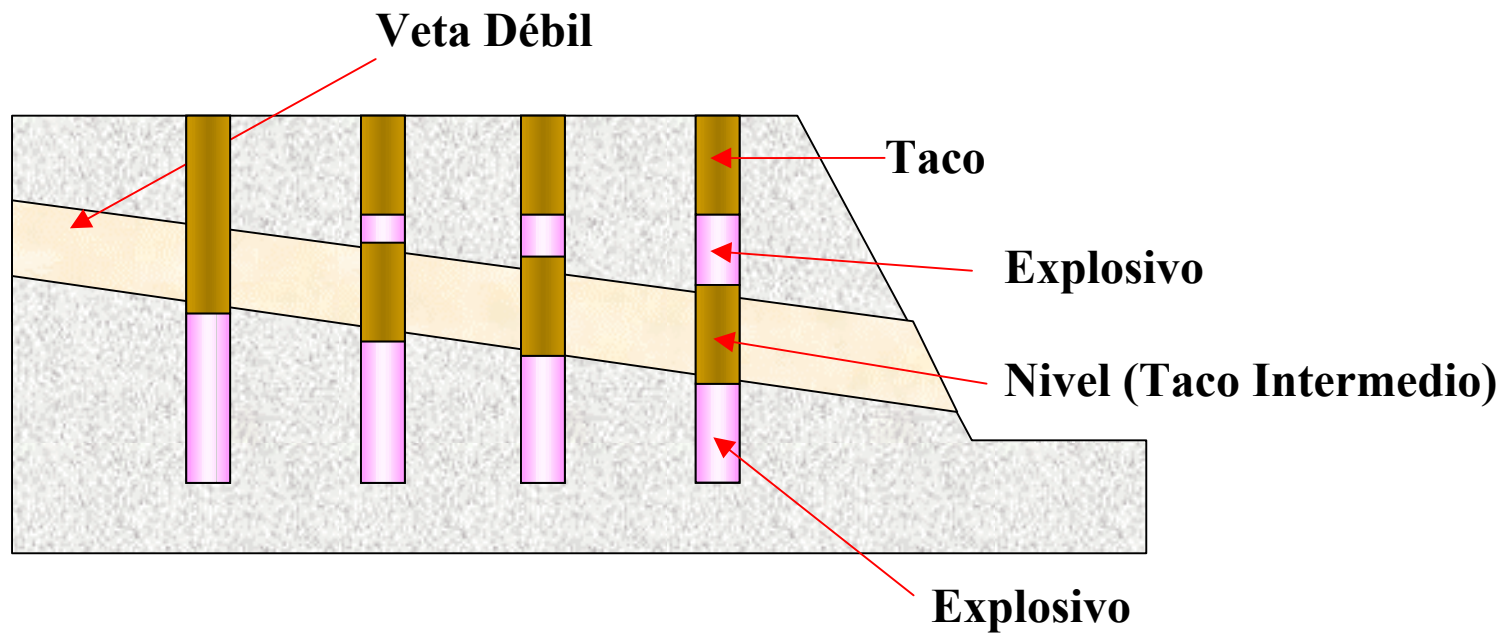
# TIPO DE ROCA Y CONDICIONES GEOLÓGICAS

- Estratificación y bandeamiento
- Esquistocidad
- Fracturamiento
- Fallas
- Contactos
- Azimut de buzamiento



- ***Condiciones Geológicas :***

- Estructuras:

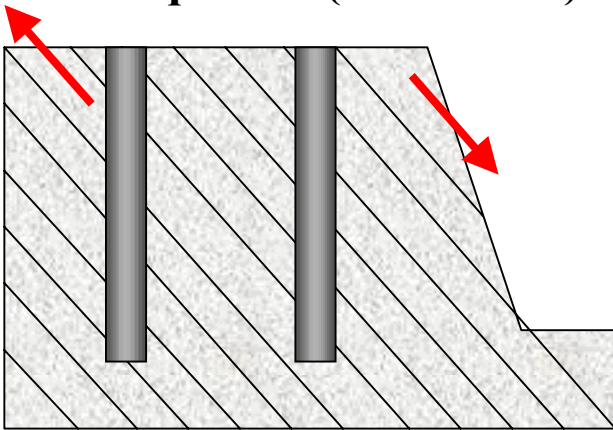


## • *Condiciones Geológicas :*

### –Estructuras:

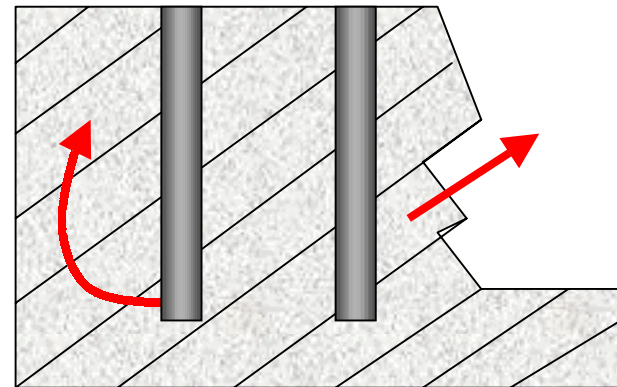
**Estratos o Fracturas hacia el tajo:**

- Paredes Inestables
- Sobrequebre (Backbreak) excesivo



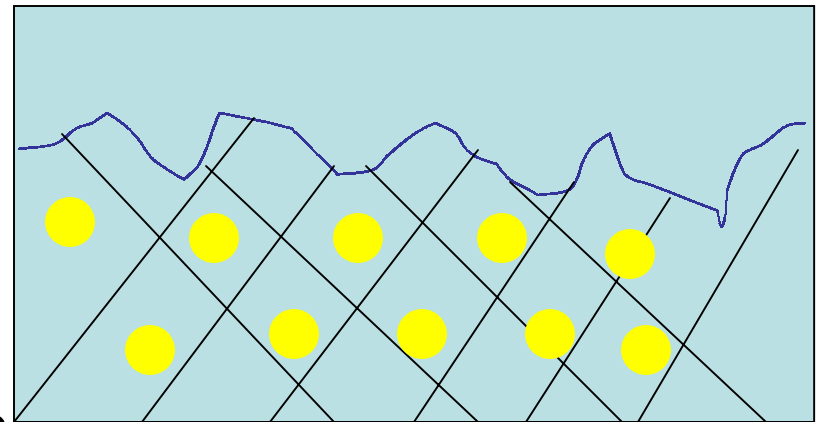
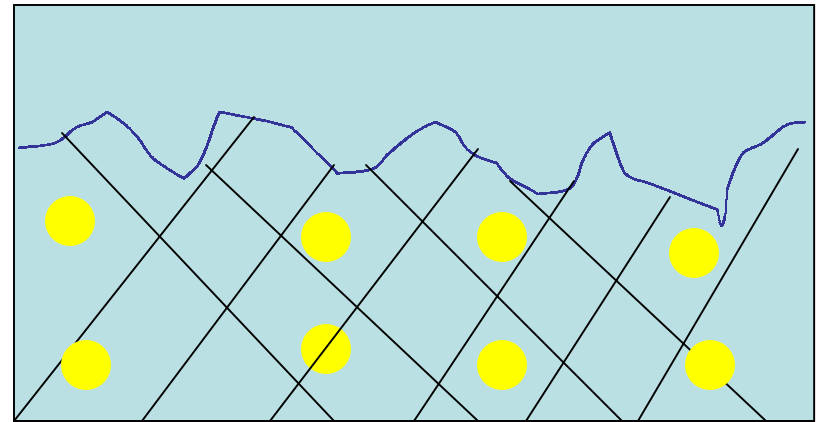
**Estratos inclinados hacia masa rocosa:**

- Pata sin romper
- Potencial para sobresaliente



# Efectos de la Geología

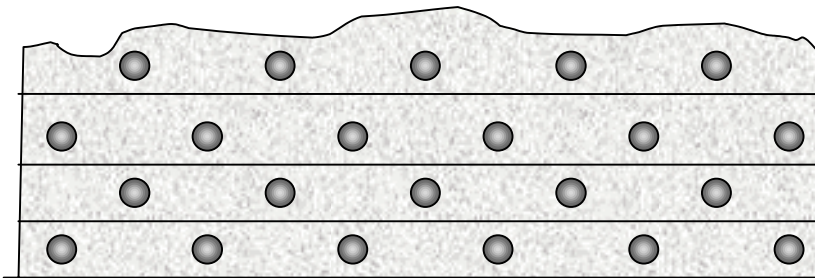
- **La Fragmentación será controlada por las fracturas existentes.**
- **Los patrones de perforación más pequeños minimizan los efectos adversos de las grietas y fracturas.**
- **Tener presente que patrones de perforación mejoran o empeoran la distribución de la energía.**



• **Condiciones Geológicas :**  
–Estructuras Cont.

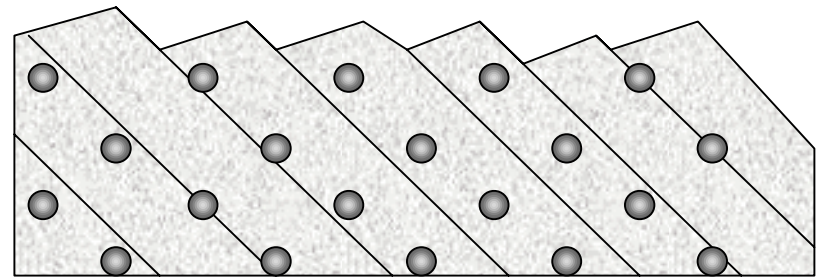
**Juntas paralelas a cara libre:**

- Buen control de talud
- Puede ser mejor orientación para control de talud.



**Juntas anguladas a cara libre:**

- Cara libre blocosa
- Quebrado al final excesivo



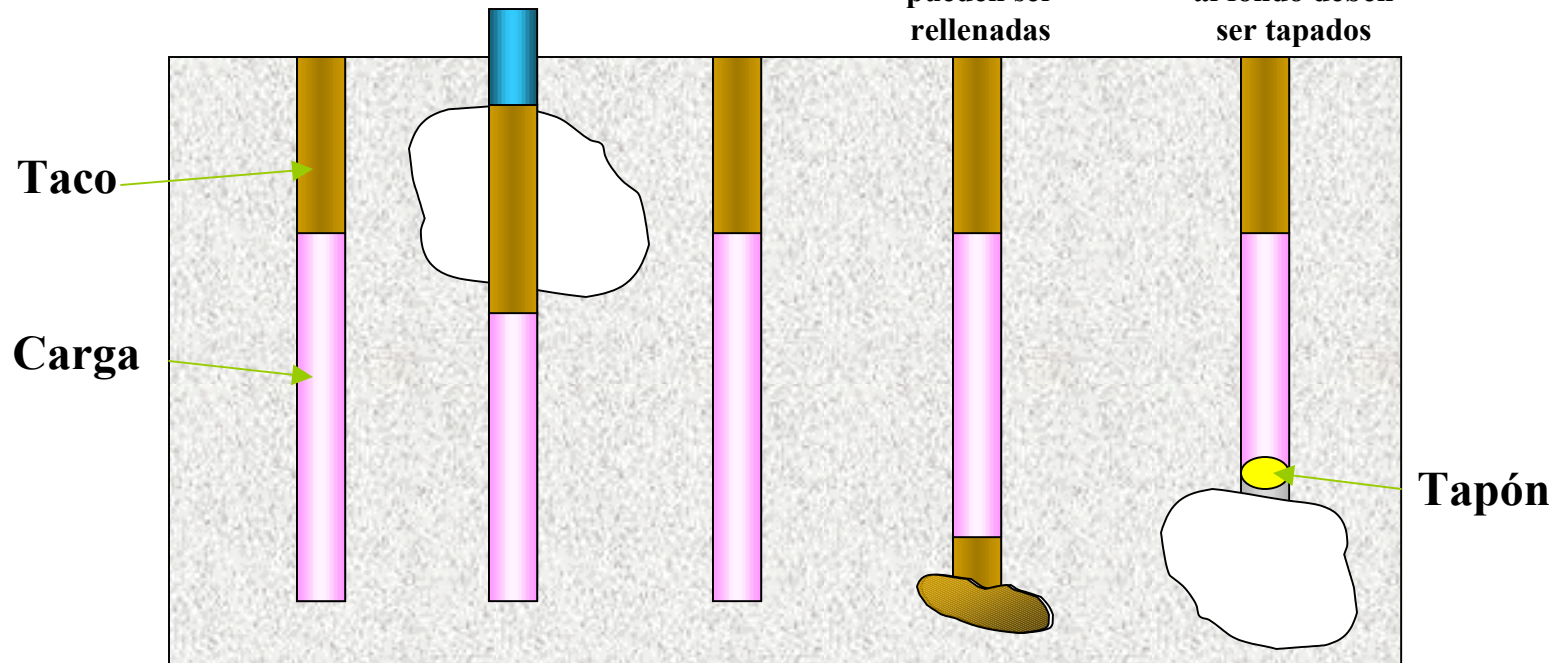
# • *Factores Geológicos :*

## –Estructuras:

Cavidades cerca de la superficie  
use tubo de carga y reducir  
patrón contiguo.

Cavidades  
Profundas y  
pequeñas  
pueden ser  
rellenadas

Vacíos grandes  
al fondo deben  
ser tapados



# PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA ROCA

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la tensión
- Frecuencia sísmica



# FRECUENCIA SISMICA

CLASE DE FORMACION	VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA SISMICA LONGITUDINAL ( m/s)
CAPA METEORIZADA	300 – 900
ALUVINES MODERNOS	350 – 1500
ARCILLAS	1000 – 2000
MARGAS	1400 – 4500
CONGLOMERADOS	2500 – 5000
CALIZAS	4000 – 6000
DOLOMITAS	5000 – 6000
SAL	4500 – 6500
YESO	3000 – 44000
ANHIDRITA	3000 – 6000
GNEIS	3100 – 5400
CUSRCITAS	5100 – 6100
GRANITOS	4000 – 6000
GABROS	6700 – 7300
DUNITAS	7900 – 8400
DIABASAS	5800 – 7100

# FRECUANCIA SISMICA

CLASE DE FORMACION	VELOCIDAD SISMICA ( m/s)
DURA	> 4000
MEDIA	2000 – 4000
BLANDA	< 2000

## VELOCIDAD SISMICA Y CONSUMO ESPECIFICO DE EXPLOSIVOS

POTENCIA DEL TRACTOR kw	VELOCIDAD SISMICA (m/s)	CONSUMO ESPECIFICO kg ANFO/m <sup>3</sup>
575	3.000	0,230
343	2.500	0,130
250	2.000	0,130
160	1.200	0, 080

# VOLUMEN DE ROCA PARA LA VOLADURA

- Comprende al área superficial delimitada por el largo de frente, el ancho, y multiplicado por la altura del banco, se obtiene el volumen de roca a ser volado.
- El volumen de roca a producirse por voladura estará en dependencia del régimen de trabajos de explotación que requiere la cantera para cumplir la producción establecida. Considerando en todo momento la maquinaria a ser utilizada.



# TRABAJOS DE PERFORACION

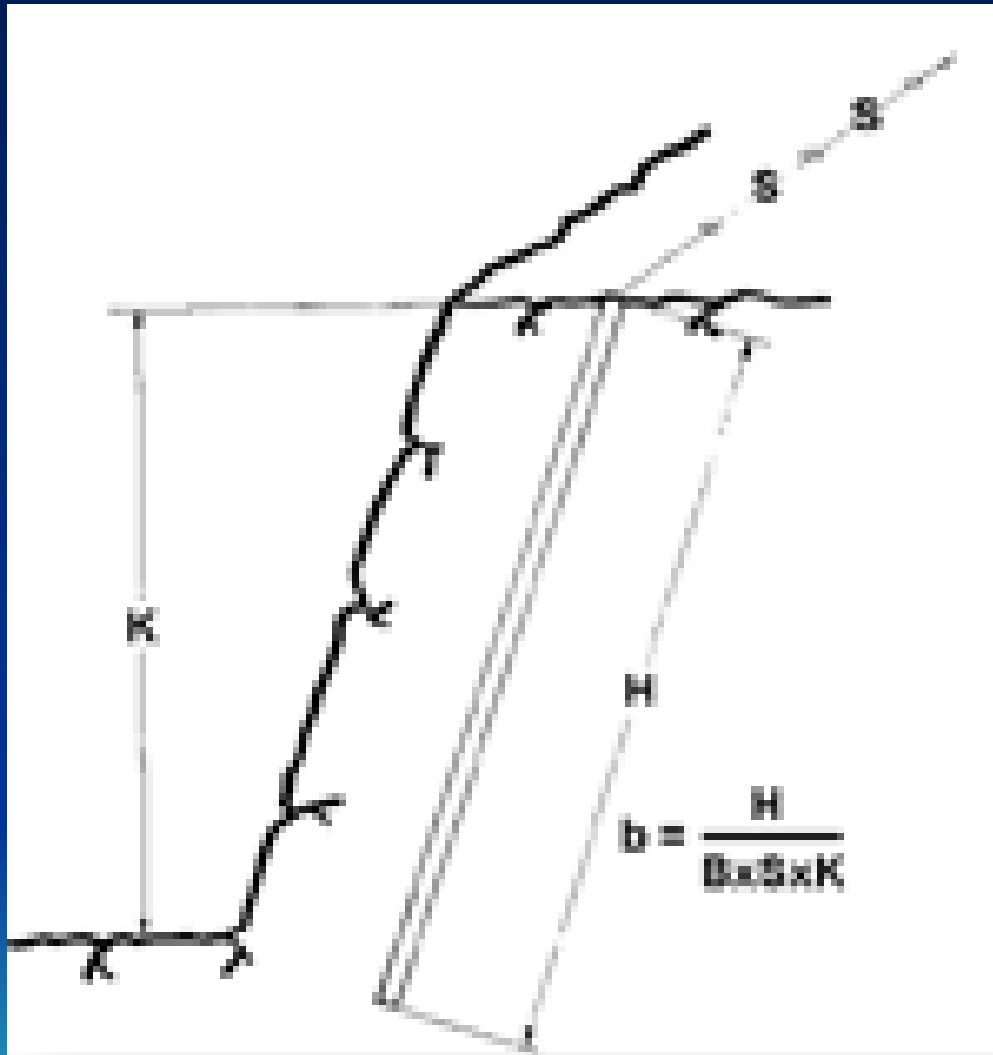
La perforación es la primera operación en la preparación de la voladura.

Para lo cual se deben tomar en cuenta las condiciones de perforación:

- Diámetro de perforación
- Longitud de perforación
- Rectitud
- Estabilidad



# PERFORACION ESPECIFICA

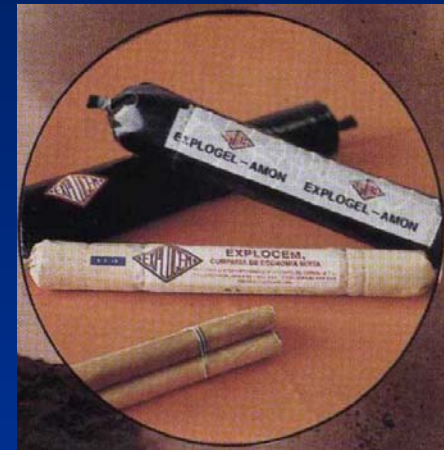


Es el número de metros que se tiene que perforar por cada metro cúbico de roca volada.

# EXPLOSIVOS

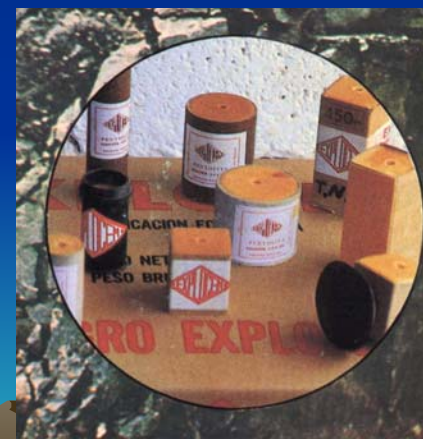
## DINAMITAS

- Eplogel I
- Explogel III
- Explogel Amon



## PENTOLITAS

- Booster de iniciación
- Pentolita Sísmica
- Cargas diédricas



# AGENTES DE VOLADURA

## EMULSIONES

- Emelgrel 3000
- Emulsen 910
- Emulsen 720



NITRATO DE AMONIO +  
HIDROCARBURO +  
EMULSIFICANTE



## ANFOS

- Anfo normal
- Anfo Alumizado



NITRATO DE AMONID + DIESEL



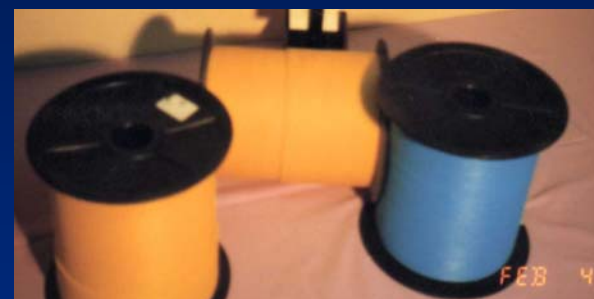
# ACCESORIOS DE VOLADURA

## CORDON DETONANTE

- Cordón detonante de 5 gr.
- Cordón detonante de 10 gr.



PENTRITA



## MECHA DE SEGURIDAD



POLVORA NEGRA



## FULMINANTES

- Fulminantes N° 8
- Fulminantes eléctricos
- Fulminantes no eléctricos



PENT

AZIDA DE PLOMO

HMX

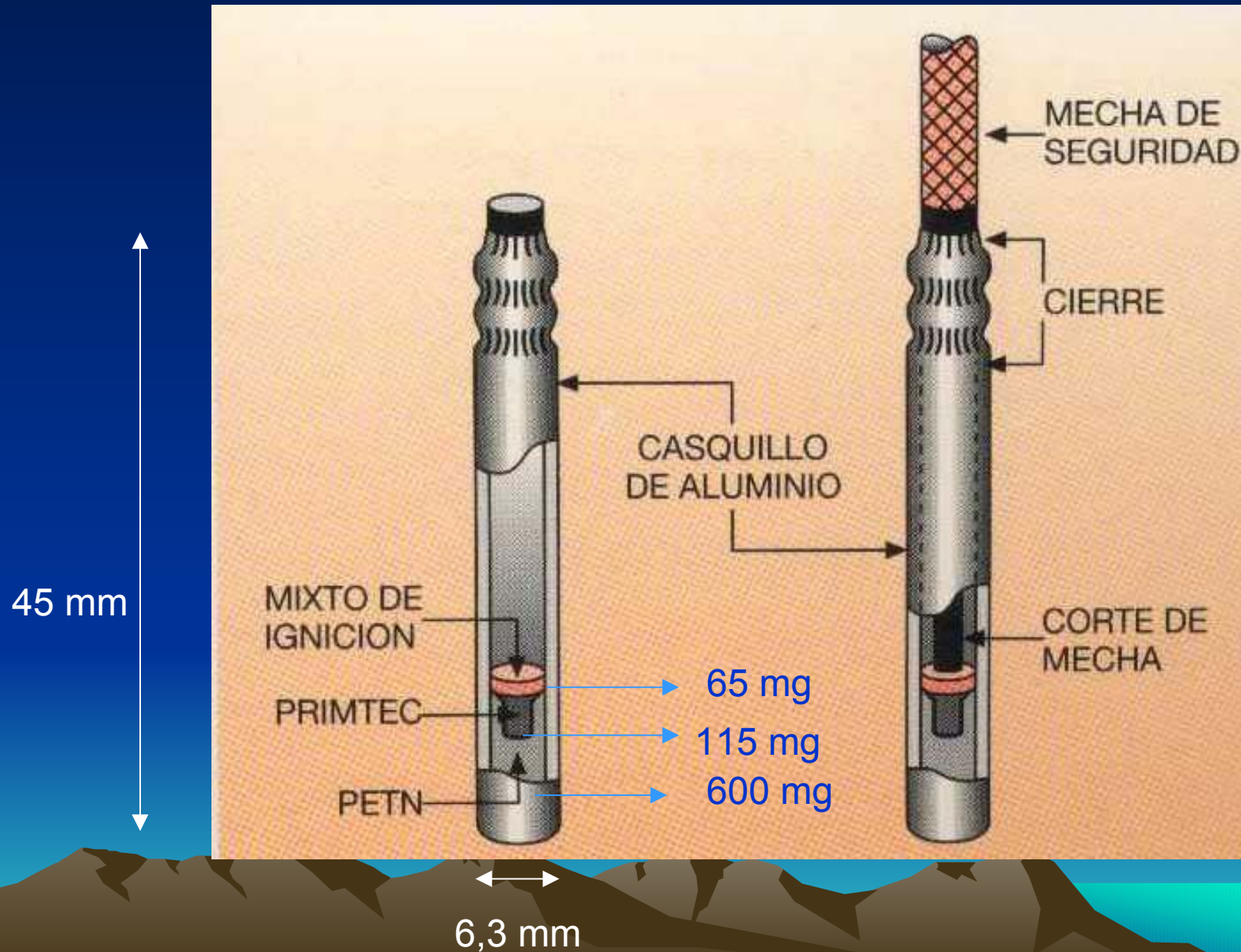


# METODOS DE INICIACION

- Iniciación con mecha de seguridad
- Iniciación con cordón detonante
- Iniciación no eléctrica
- Iniciación eléctrica



# INICIACION CON FULMINANTE Y MECHA



# INICIACION CON CORDON DETONANTE

## TIPOS DE NUDOS DE CORDON DETONANTE

- UNION DE CORDON
- MANTENER EL ANGULO EXTENDIDO

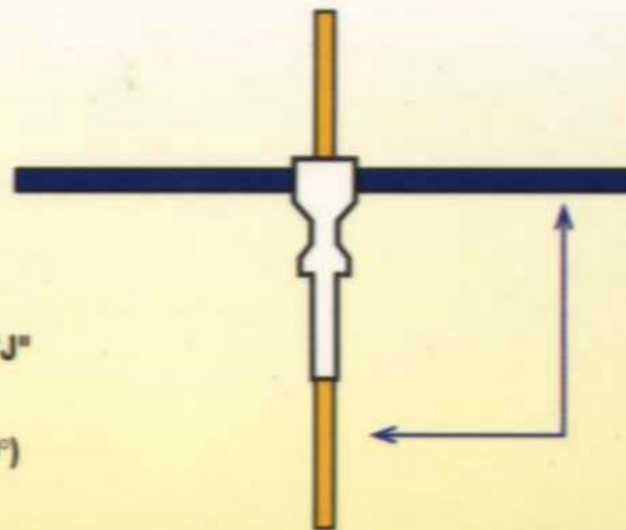


- CONEXION A LINEA TRONCAL
- MANTENER UN ANGULO RECTO EN LA CONEXION



CONEXION CORRECTA DE TUBO A CORDON

- UTILIZAR EL CONECTOR "J"
- MANTENER LA PERPENDICULARIDAD (90°)



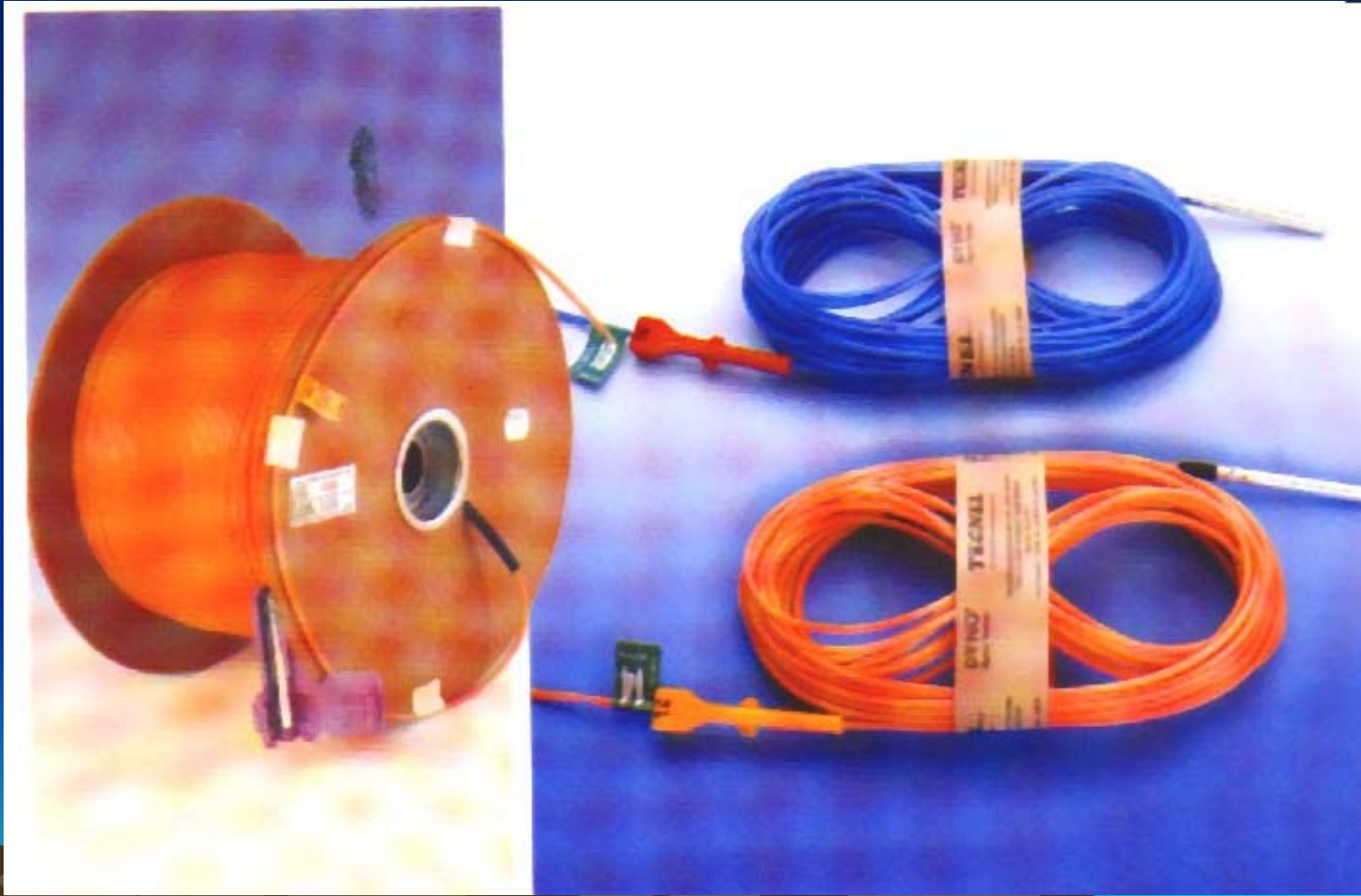
# CONEXION DE HUESO DE PERRO



**TABLA DE TIEMPOS PARA CONECTOR  
PARA CORDON DETONANTE  
(Conector Bisagra paralelo)**

<b>RETARDO (MS)</b>	<b>COLOR DEL CONECTOR</b>
5	VIOLETA
9	VIOLETA
17	ROJO
25	ROJO
35	AMARILLO
42	NEGRO
65	NARANJA
75	NARANJA
100	AZUL
130	AZUL
150	AZUL
200	VERDE
250	VERDE
300	VERDE

# SISTEMA DE INICIACION NO ELECTRICA



# SERIE DE MILISEGUNDO (MS)

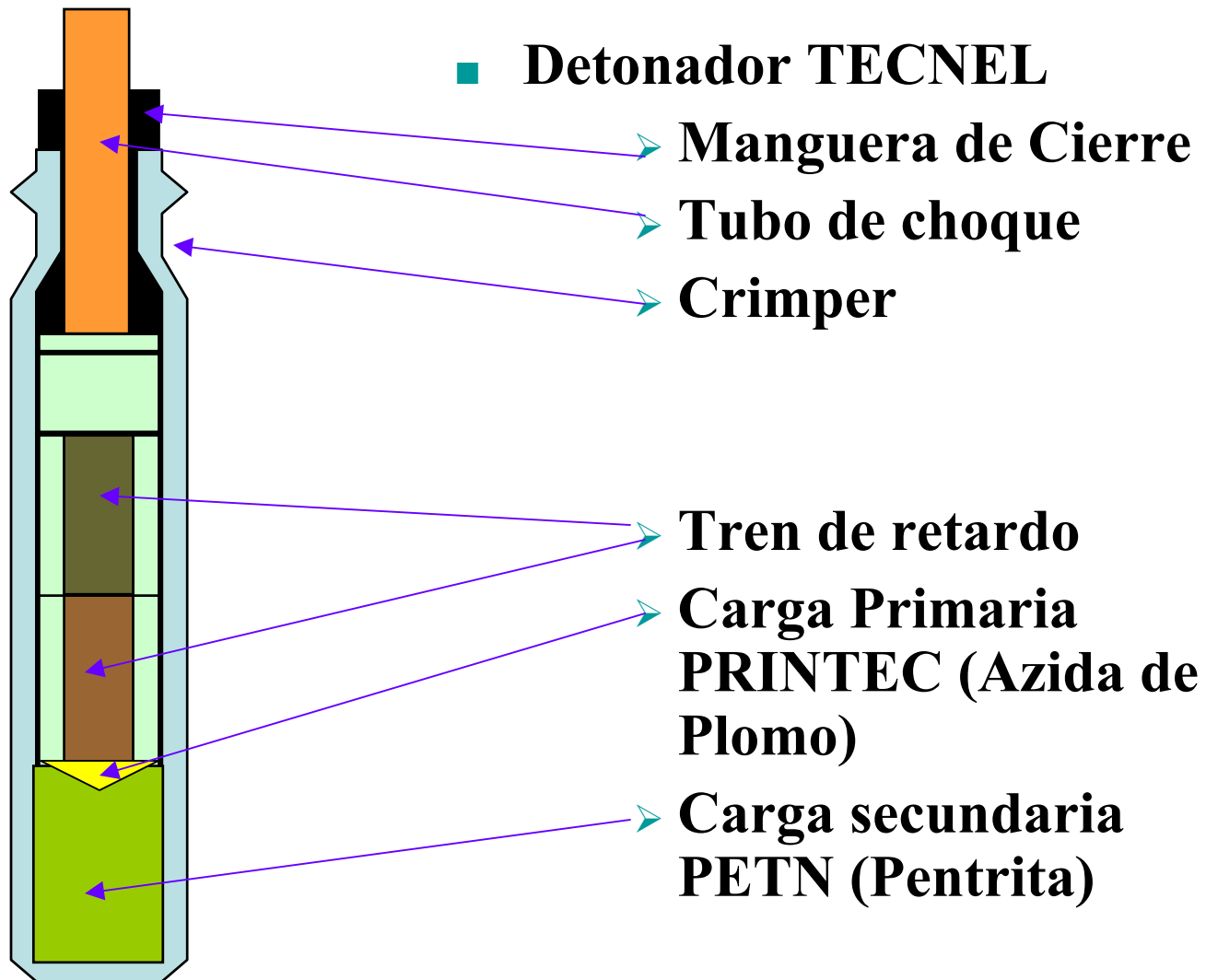
<b>N° DE RETARDO</b>	<b>SERIE MS (Milisegundos)</b>	<b>N° DE RETARDO</b>	<b>SERIE MS (Milisegundos)</b>	<b>N° DE RETARDO</b>	<b>SERIE MS (Milisegundos)</b>
0	4	10	300	20	1100
1	25	11	350	21	1200
2	50	12	400	22	1300
3	75	13	450	23	1400
4	100	14	500	24	1500
5	125	15	600	25	1600
6	150	16	700	26	1700
7	175	17	800	27	1800
8	200	18	900	28	1925
9	250	19	1000	29	2050

# **SERIE DE RETARDOS**

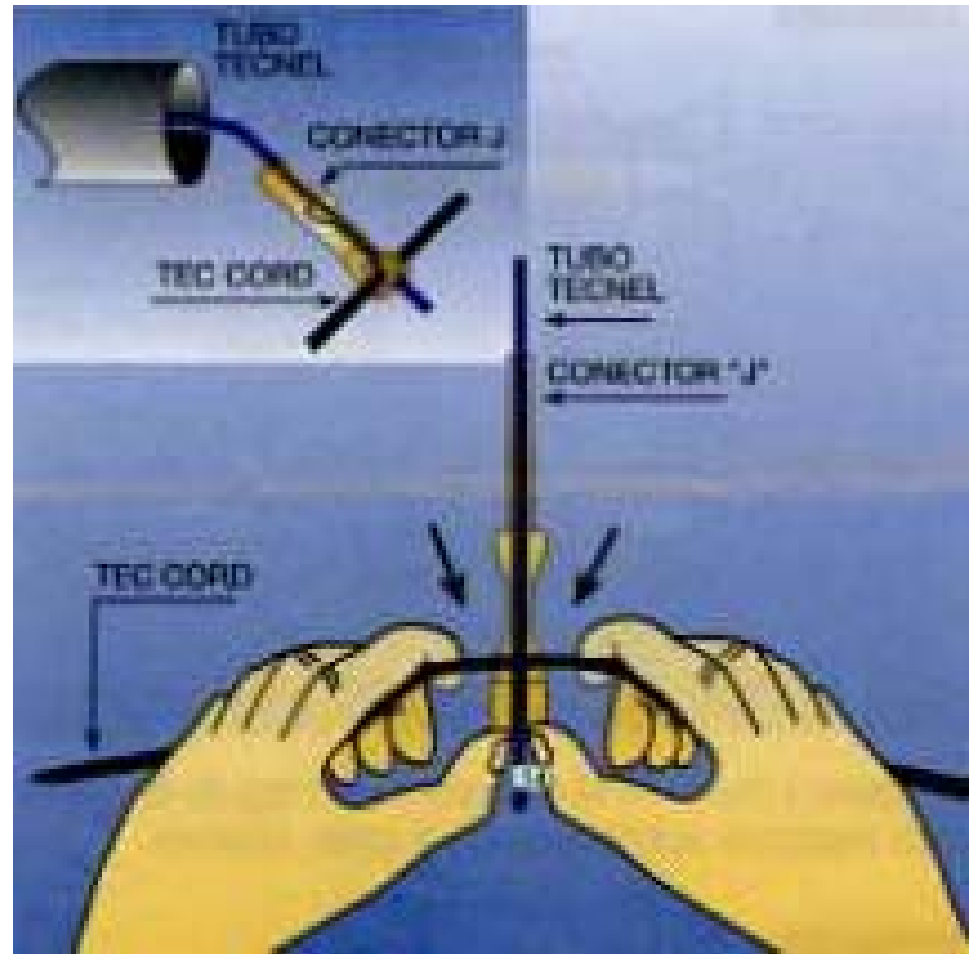
## **LP**

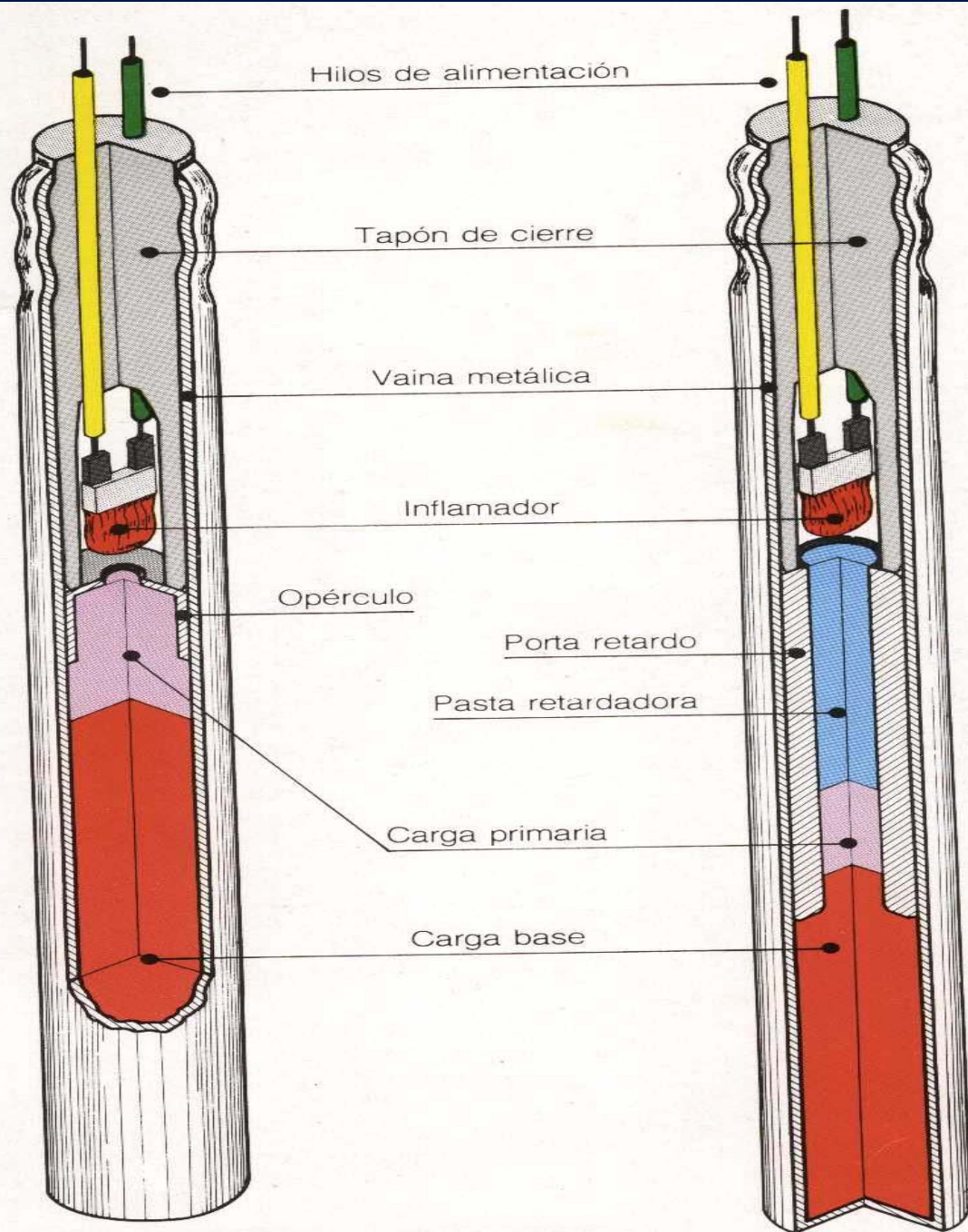
<b>N° DE RETARDO</b>	<b>SERIE LP (Milisegundos)</b>	<b>N° DE RETARDO</b>	<b>SERIE LP (Milisegundos)</b>
<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>4.600</b>
<b>1</b>	<b>200</b>	<b>11</b>	<b>5.500</b>
<b>2</b>	<b>400</b>	<b>12</b>	<b>6.400</b>
<b>3</b>	<b>600</b>	<b>13</b>	<b>7.450</b>
<b>4</b>	<b>1.000</b>	<b>14</b>	<b>8.500</b>
<b>5</b>	<b>1.400</b>	<b>15</b>	<b>9.600</b>
<b>6</b>	<b>1.800</b>	<b>16</b>	<b>10.700</b>
<b>7</b>	<b>2.400</b>		
<b>8</b>	<b>3.000</b>		
<b>9</b>	<b>3.800</b>		

# SISTEMA NO-ELECTRICO



# USOS DEL TECNEL





Detonador Instantáneo

Detonador Temporizado

## INICIACION ELECTRICA

### DETONADORES ELECTRICOS

*Inflamador electro pirotécnico* va alojado en un dispositivo antiestático y soldado a dos alambres conductores.

*Carga Primaria:*  
Nitruro de plomo.

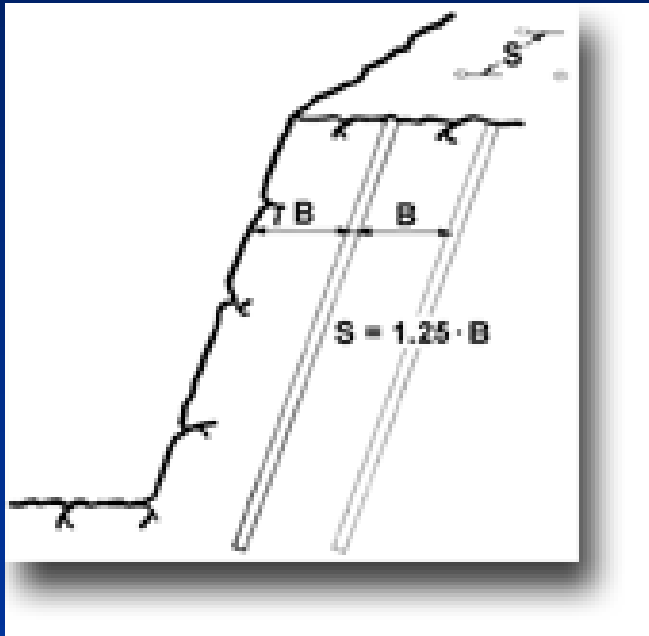
*Carga Base:*  
Pentrita.

# PARAMETROS DE VOLADURA

<b>DATOS DEL PROYECTO</b>	
Tipo de roca	Caliza
Densidad de la roca	2,3 g / cm <sup>3</sup>
Volumen de roca	10000,0 m <sup>3</sup>
<b>PERFORACION</b>	
Diámetro de perforación	3 pulgadas = 7,62 cm = 76,2 mm
<b>EXPLOSIVOS</b>	
Booster pentolita de 450 g	1,6 g / cm <sup>3</sup>
Anfo normal	0,88 g / cm <sup>3</sup>
<b>ACCESORIOS</b>	
Cordón detonante 5 g	
Fulminantes no eléctricos ms	
Fulminantes N° 8	



# BORDO Y ESPACIAMIENTO



✓ **B = BURDEN, BORDO O PIEDRA.**

$$B = 0,012 \left( \left( \frac{2d_x}{d_{ro}} \right) + 1,5 \right) D_e$$

$$B = m$$

$d_x$  = Densidad explosivo  $g/cm^3$

$d_{ro}$  = Densidad de la roca  $g/cm^3$

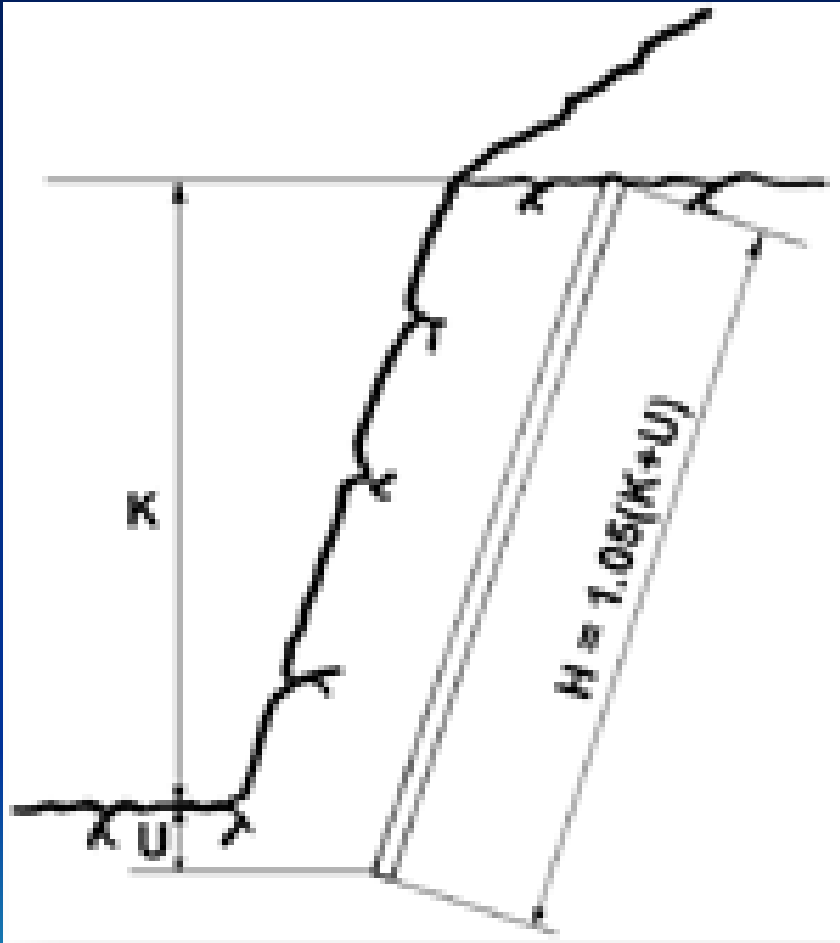
$D_e$  = Diámetro del explosivo (mm)

✓ **S = ESPACIAMIENTO**

$$S = 1,4 \times B$$

Se aplica para bancos altos y con retardos.

# LONGITUD DE PERFORACIÓN



- $H = (k + U) / \text{Cos } i$

H = longitud de perforación (m)

K = altura del banco ( m )

Se aplica la relación de rigidez óptima en la que:

$$K / B \geq 4$$

$$K = 4 \times B$$

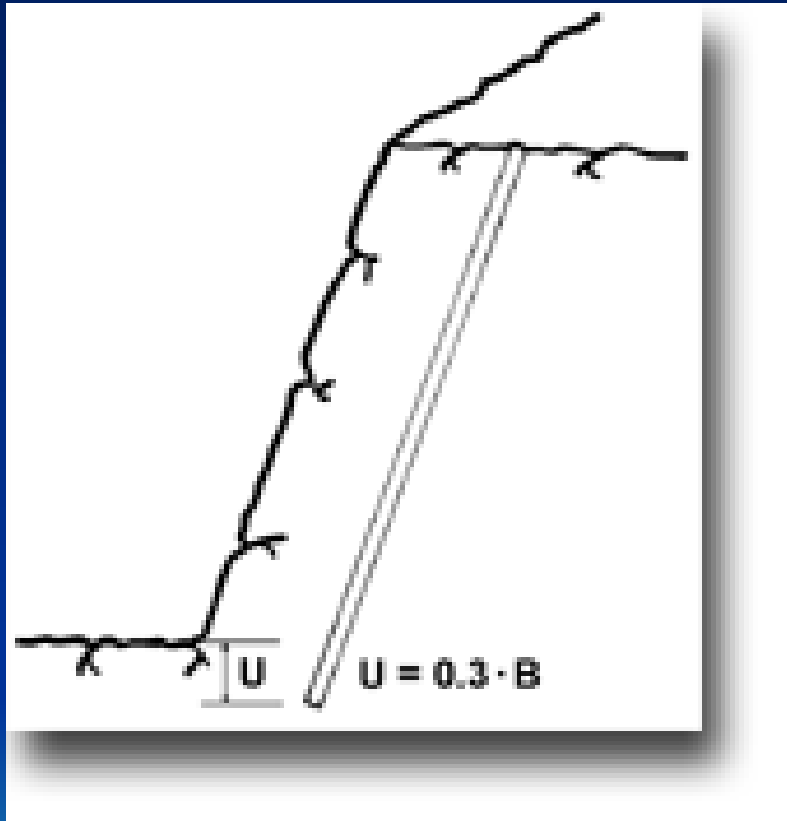
U = Sobre perforación (m)

# RELACION DE RIGIDEZ

- Se define como la relación entre la altura del banco y la distancia del bordo.

Relación de Rigidez	1	2	3	4
Fragmentación	Pobre	Regular	Buena	Excelente
Sobrepresión de aire	Severa	Regular	Buena	Excelente
Roca en vuelo	Severa	Regular	Buena	Excelente
Vibración del terreno	Severa	Regular	Buena	Excelente
Comentarios	Rompimiento trasero severo y problemas de piso. No se dispare vuelva a diseñar	Rediseñe si es posible	Buen control y fragmentación	No hay mayores beneficios con el incremento de la relación de rigidez arriba de cuatro

# SOBRE-PERFORACION



Es la profundidad a la cual se perfora el barreno por debajo del nivel del piso. Para asegurarse que el rompimiento ocurra a nivel.

$$U = 0,3 \times B$$

U = Sobreperforación (m)

B = Burden (m)

# FORMULARIO

PARAMETRO	KONYA	KONYA	TECNICA SUECA		
BORDO	$B = 0,012 \left( \left( \frac{2dx}{dro} \right) + 1,5 \right) De$	$B = 8 \times 10^{-3} De \left[ \frac{Prv}{Dro} \right]^{1/3}$ <p style="font-size: small;">Prv = Potencia relativa en volumen Dro = Densidad de la roca g/ cm3 </p>	$B = 45 \times De$		
ESPACIAMIENTO	$1,4 \times B$ <p style="font-size: small;">Iniciación retardada y bancos altos</p>	$\frac{L + 2 B}{3}$ <p style="font-size: small;">Iniciación instantánea y bancos bajos</p>	$\frac{2B}{8}$ <p style="font-size: small;">Iniciación instantánea y bancos altos</p>	$\frac{L + 7 B}{8}$ <p style="font-size: small;">Iniciación retardada y bancos bajos</p>	$1,25 \times B$
SOBRE BARRENACION	$0,3 \times B$	<p>Los barrenos por lo general no rompen la profundidad total, por lo que es necesario perforar mas allá del nivel del piso o cota a la cual se quiere llegar.</p>		$0,3 \times B$	

## FORMULARIO

PARAMETRO	KONYA		TECNICA SUECA
MODULO DE RIGIDEZ	H / B		
LONG. TACO	0,7 x B	<p>El taco es un material inerte y sirve para el confinamiento de los gases de la explosión, controla la sobrepresión y la roca en vuelo. Si las distancias de los tacos son excesivas , se obtendrá una fragmentación muy pobre en la parte superior del banco y el rompimiento posterior a la última fila se incrementará.</p> <p>La longitud del taco es igual a la longitud del Bordo solamente cuando se utiliza polvo muy fino como material de retacado.</p>	B
Material del Taco	De (mm) ----- 20	<p>El material más común utilizado para el taco son las astillas de la perforación, sin embargo este material no es recomendado puesto que el polvo de barrenación muy fino no se mantendrá en el barreno durante la detonación. En cambio el material muy grueso tiene la tendencia a dejar huecos de aire que también pueden ser expulsados fácilmente.</p>	

## CONCENTRACIÓN LINEAL DE CARGA

$$Qbk = 0,078539 \times d \times De^2$$

$Qbk$  = Concentración de carga (kg / m)

$d$  = densidad del explosivo (gr/cm<sup>3</sup>)

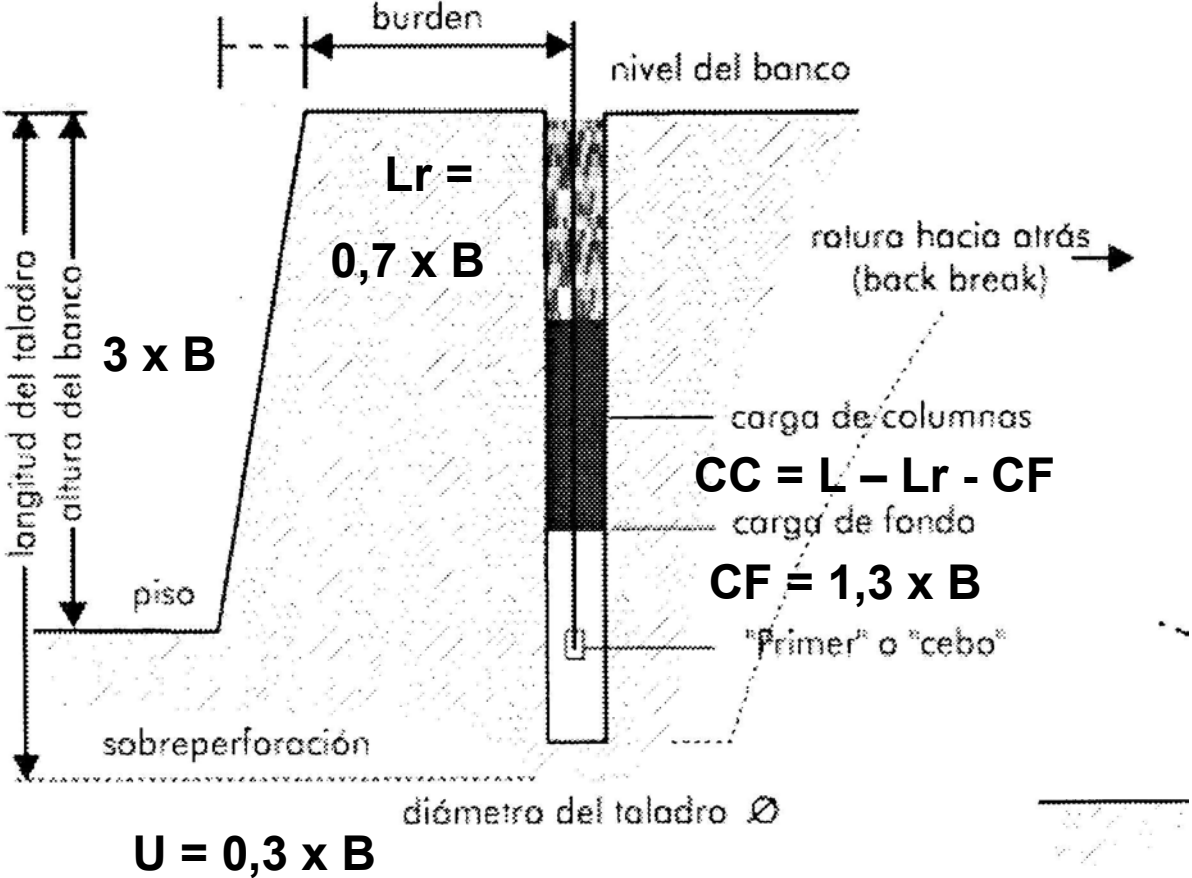
$De$  = diámetro del explosivo (cm)



# CONCENTRACION LINEAL DE CARGA (kg/m)

Diámetro barreno			Anfo normal	Anfo AI	Emulsen 910	Emulsen 720	Emulgrel 3000	Nuevo Explogel III	Explogel I	Explogel Amon	unidades
Pulgadas	mm	cm	<b>0,88</b>	<b>0,89</b>	<b>1,17</b>	<b>1,17</b>	<b>1,21</b>	<b>1,33</b>	<b>1,37</b>	<b>1,39</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
1	25,40	2,54	0,45	0,45	0,59	0,59	0,61	0,67	0,69	0,70	kg/m
2	50,80	5,08	1,78	1,80	2,37	2,37	2,45	2,70	2,78	2,82	kg/m
3	76,20	7,62	4,01	4,06	5,34	5,34	5,52	6,07	6,25	6,34	kg/m
4	101,60	10,16	7,13	7,22	9,49	9,49	9,81	10,78	11,11	11,27	kg/m
5	127,00	12,70	11,15	11,27	14,82	14,82	15,33	16,85	17,35	17,61	kg/m
6	152,40	15,24	16,05	16,23	21,34	21,34	22,07	24,26	24,99	25,36	kg/m
7	177,80	17,78	21,85	22,10	29,05	29,05	30,04	33,02	34,02	34,51	kg/m
8	203,20	20,32	28,54	28,86	37,94	37,94	39,24	43,13	44,43	45,08	kg/m
8 1/8	206,38	20,64	29,44	29,77	39,14	39,14	40,48	44,49	45,83	46,50	kg/m
8 1/4	209,55	20,96	30,35	30,69	40,35	40,35	41,73	45,87	47,25	47,94	kg/m
8 3/8	212,73	21,27	31,28	31,63	41,58	41,58	43,00	47,27	48,69	49,40	kg/m

# ESQUEMA DE CARGA



# Tiempos de retardo

## –*Diseño básico de Tiempos de Retardo:*

- Selección de retardos :
  - Retardo entre filas
  - Retardo entre pozos

# RETARDOS DE BARRENO A BARRENO

$$t_h = T_h \times S$$

$t_h$  = Retardo barreno a barreno (ms)

$T_h$  = Constante de retardo barreno a barreno

$S$  = Espaciamiento ( m )

Roca	Constante $T_H$ (ms/m)
Arenas, margas, Carbón	6,5
Algunas calizas y esquistos	5,5
Calizas compactas y mármoles, algunos granitos y basaltos, cuarcita y algunas gneis.	4,5
Feldespatos porfíricos, gneis compactos y mica, magnetitas.	3,5

# CALCULO DE RETARDO ENTRE FILAS

$$t_R = T_R \times B$$

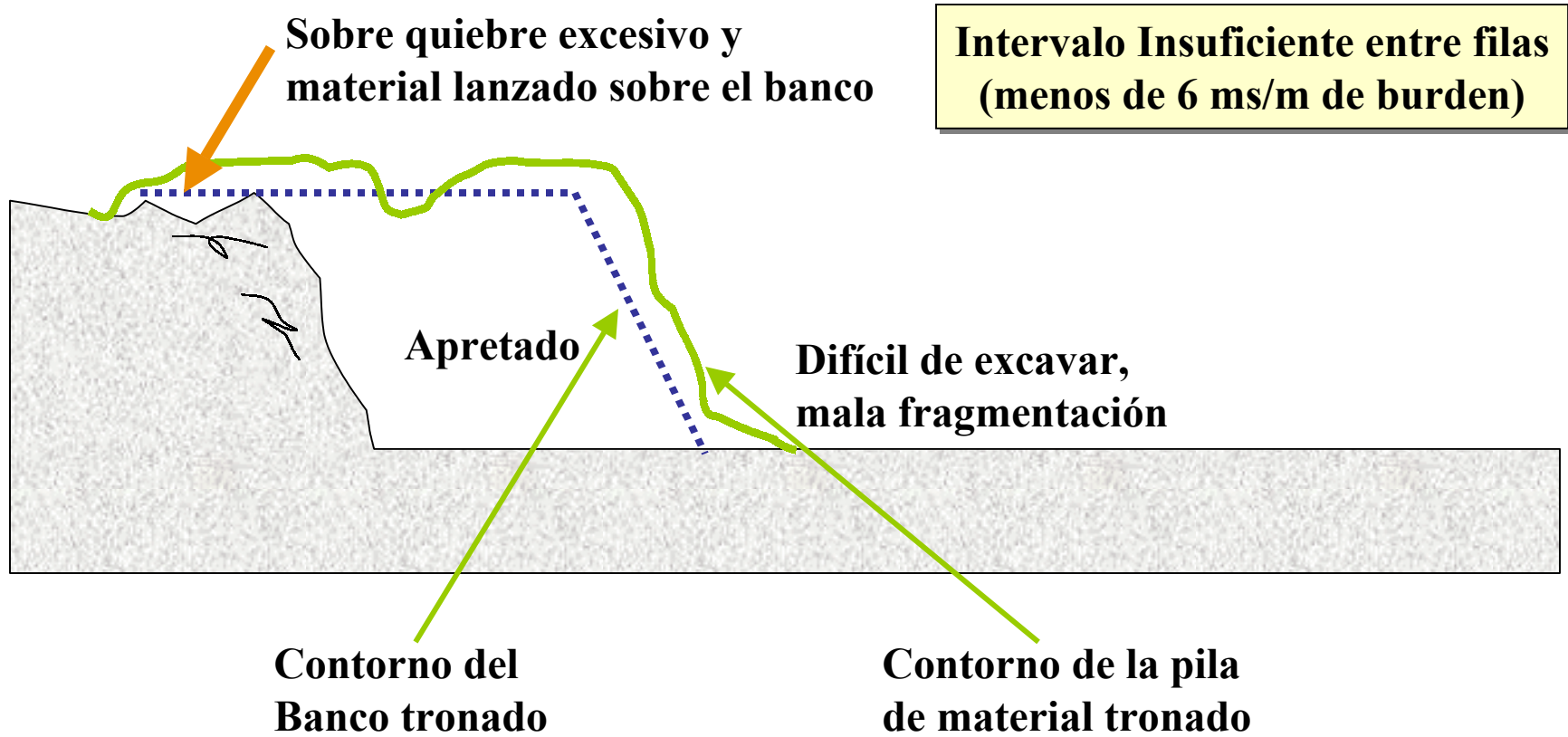
$t_R$  = Retardo entre filas (ms)

$T_R$  = Factor de tiempo entre filas ( ms / m )

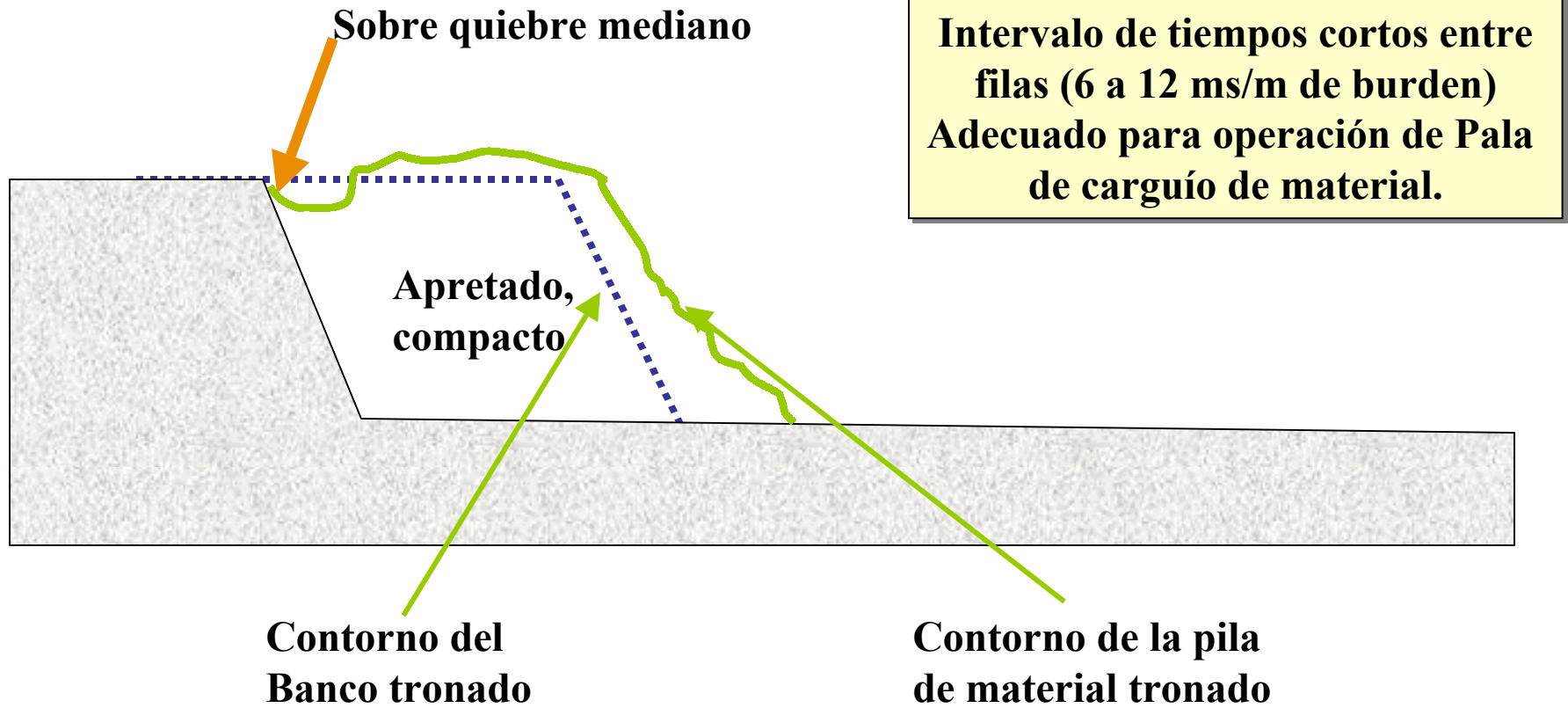
B = Bordo ( m )

Constante $T_R$ (ms/m)	Resultado
6,5	Violencia, sobrepresión de aire excesiva, rompimiento trasero, etc.
8,0	Pila de material alta cercana a la cara sobrepresión y rompimiento moderados.
11,5	Altura de pila promedio, sobrepresión y rompimiento promedio.
16,5	Pila de material disperso con rompimiento trasero mínimo.

# Tiempos de retardo



# Tiempos de retardo



# Tiempos de retardo

