



TRONADURA DE PRECORTE

Mauricio Garrido A.
Profesor: Rafael Fonseca

Voladuras Controladas

El objetivo de la voladura controlada es evitar el rompimiento de la roca fuera de límites previamente establecidos, es decir evitar la sobre rotura (*overbreak*).

Es un método especial que permite obtener superficies de corte lisas y bien definidas, al mismo tiempo que evita el agrietamiento excesivo de la roca remanente, con lo que contribuye a mejorar su estabilidad, aspecto muy importante en trabajos subterráneos de orden permanente, para prevención de desplome de techos y otros riesgos, y en superficie para la estabilidad de taludes en cortes de laderas.

Voladuras Controladas

Entre sus condiciones fundamentales tenemos:

- Relación de espaciamiento a burden inversa a la normal; es decir menor espaciamiento que burden, usualmente:
 $E = 0,5 \text{ a } 0,8 B$.
- Explosivo de mucho menor diámetro que el del taladro
- Carga explosiva lineal distribuida a todo lo largo del taladro
- Taco inerte solamente para mantener el explosivo dentro del taladro, no para confinarlo.
- Empleo de explosivo de baja potencia y velocidad,
- Mantener el alineamiento y paralelismo de los taladros, de acuerdo al diseño del corte a realizar, de lo contrario no hay buen resultado.

Ventajas Voladuras Controladas

- Produce superficies de roca lisas y estables.
- Contribuye a reducir la vibración de la voladura principal y la sobre excavación, con lo que se reduce también la proyección de fragmentos y los efectos de agrietamiento en construcciones e instalaciones cercanas a la voladura.
- Produce menor agrietamiento en la roca remanente. contribuyendo a mejorar el autosostenimiento de las excavaciones.
- Puede ser una alternativa para la explotación de estructuras débiles e inestables.

Desventajas Voladuras Controladas

- Mayor costo que la voladura convencional por requerir más perforación y empleo de explosivos especiales o acondicionados a propósito.
- Mayor demora en la obra, por el incremento del trabajo de perforación.
- En algunos tipos de terreno no llega a dar los resultados esperados, como por ejemplo en material detrítico o incompetente. Mejores resultados por lo general se obtienen en rocas homogéneas y competentes

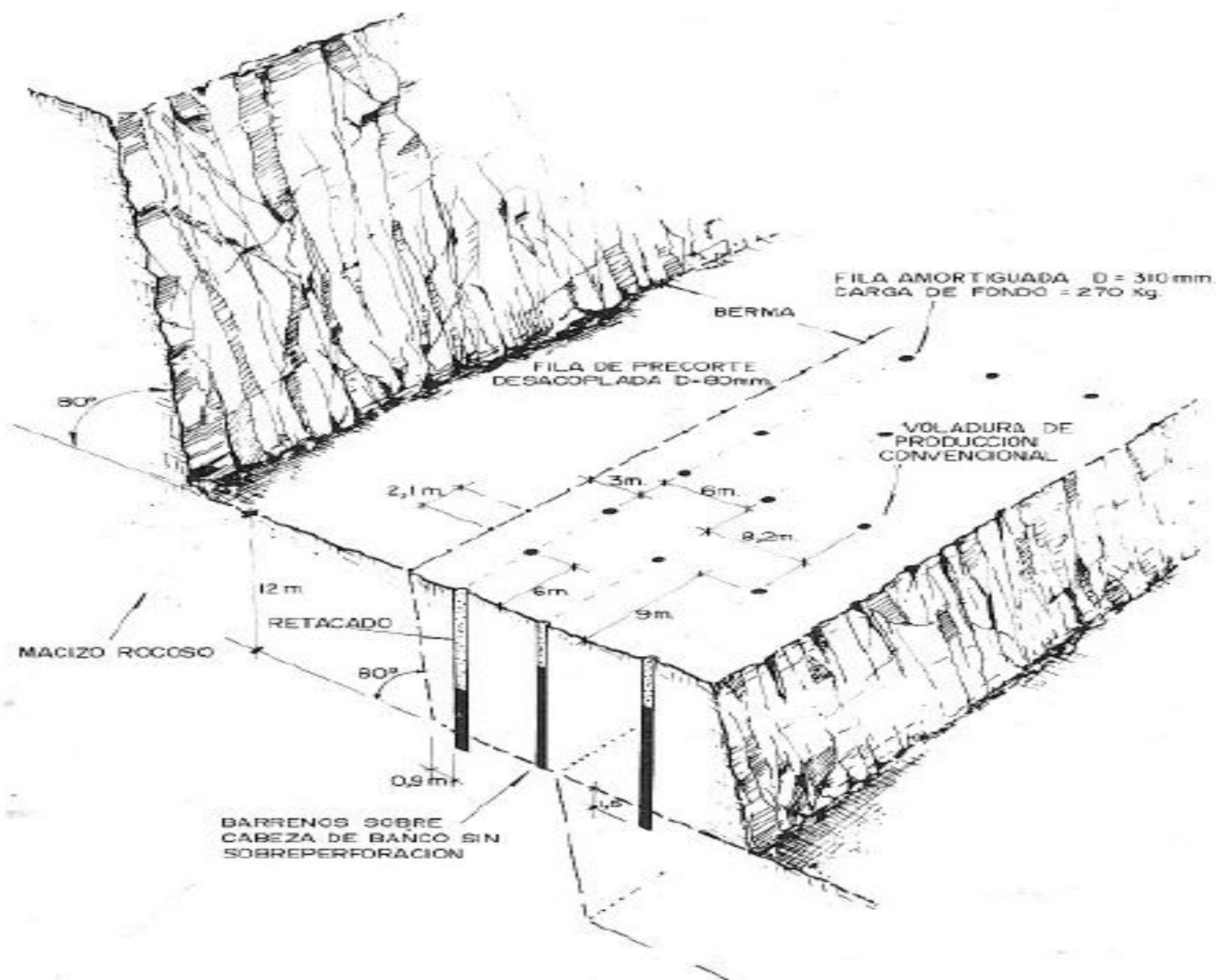
Las técnicas de voladuras controladas son las siguientes:

- Voladuras de precorte
- Voladura de recorte
- Voladuras amortiguadas

Estas técnicas se efectúan tanto para trabajos subterráneos como en superficie.

VOLADURAS DE PRECORTE

- Consiste en crear en el macizo rocoso una discontinuidad o plano de fractura antes de disparar las voladuras de producción, mediante una fila de barrenos, generalmente de pequeño diámetro, y con cargas de explosivo desacopladas. El disparo de los barrenos de precorte se puede realizar simultáneamente con los de destroza pero adelantándose un intervalo de tiempo de 90 a 120 ms.
- Por lo general son utilizados para controlar el exceso de sobre quiebre y ayudar a la estabilidad de la pared



VOLADURAS DE PRECORTE

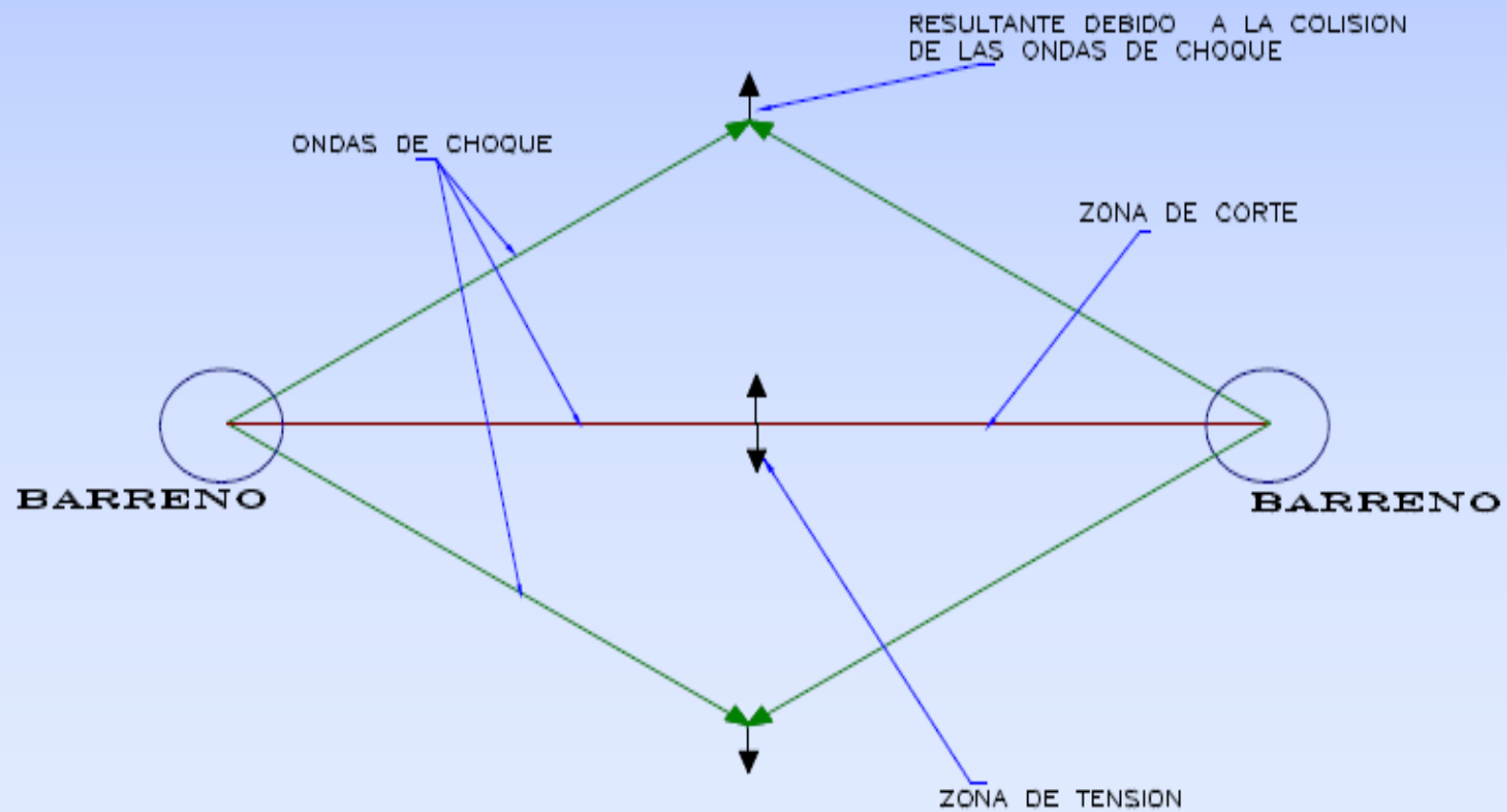
El desarrollo de un precorte tiene por finalidad generar una línea de debilidad tras la tronadura, cuyos beneficios pueden ser los siguientes:

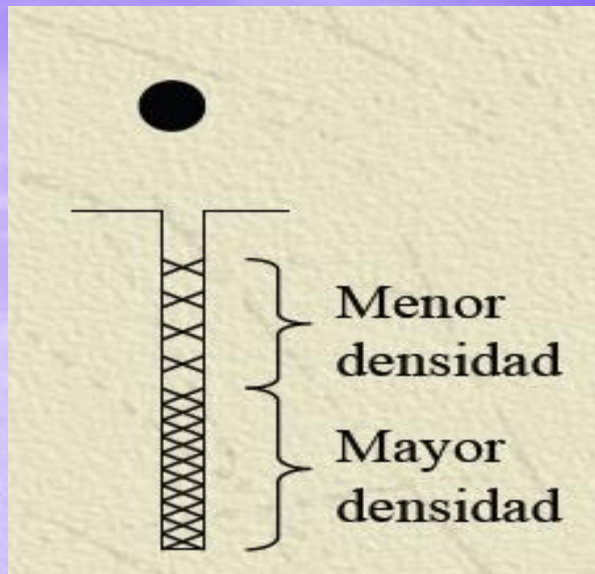
- Formación de una pared de banco más estable.
- Generar el límite de penetración de la pala.
- Obtener las bermas programadas.
- Crear una percepción de seguridad.

TEORÍA DEL MÉTODO

El objetivo de un precorte es minimizar las presiones en el pozo, lo suficiente para generar grietas entre pozos adyacentes de la línea del precorte. Para obtener buenos resultados, tres requerimientos deben tomarse en cuenta:

- Una línea de pozos con pequeño espaciamiento
- Una baja densidad lineal de carga de explosivo
- Una simultaneidad en la iniciación de los pozos.

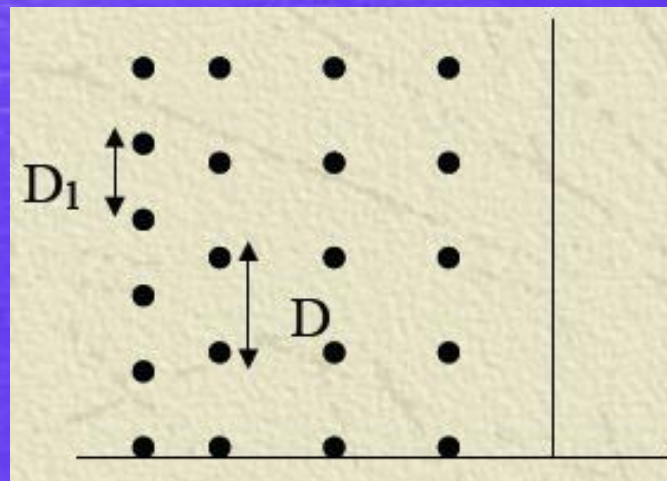




PRODUCCION



PRECORTE



VOLADURAS DE PRECORTE

En el Precorte, se debe tener las siguientes consideraciones técnicas para el diseño:

- Ángulos de caras de banco e inter - rampas.
- Perforación.
- Sobre rotura en la cresta
- Diámetro de perforación.

DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DEL PRECORTE

Presión de detonación.

- Es una indicadora de la habilidad de un explosivo sin desacople para fragmentar la roca. La ecuación matemática es la siguiente:

$$P_{bi} = 110 * \delta_{exp} * VOD^2$$

- P_{bi} : Presión en las paredes del taladro (Mpa).
- δ_{exp} : Densidad del explosivo (g/cc).
- VOD : Velocidad de Detonación (Km/s)

Cargas Desacopladas, y Cargas Distribuidas

- La presión del taladro, se pueden reducir mediante cargas desacopladas a través de la siguiente relación matemática.

$$f = \frac{D_e^2}{D_h^2} * \frac{l}{H}$$

- f : Razón de desacoplamiento.
- D_e^2 : Diámetro del explosivo (Pulg.)
- D_h^2 : Diámetro del taladro (Pulg.)
- l : Longitud del explosivo (m)
- H : Longitud del taladro (m).

Reducción de la Presión de Detonación

Para generar el plano de corte, es necesario minimizar las presiones en el taladro, con el empleo de explosivos de baja velocidad de detonación, y desacoplando las cargas en relación al diámetro del taladro:

$$P_b = 110 * f^n * \delta_{\text{exp}} * VOD^2$$

- *P_b : Presión de detonación desacoplada o reducida (Mpa).*
- *n : Exponente, 1.25 para taladros sin agua y 0.9 para taladros con agua.*
- *VOD : Velocidad de Detonación (Km/s)*

Espaciamiento entre taladros

- Deben ser relativamente cortos, el empleo de mayor número de cargas pequeñas hace decrecer el radio de fracturas alrededor del taladro.

$$S = D_h * \frac{(P_b + T)}{T}$$

- S : Espaciamiento entre taladros (mm)
- T : Resistencia a la tracción de la roca (Mpa)
- P_B : Presión de detonación en el barreno
- D_h: Diámetro del taladro (mm)

Propiedades de la roca

Parámetros Resistivos

- Para minimizar el daño tras la fila del precorte, el esfuerzo inducido por el precorte no debiera exceder en el plano la resistencia a la tracción de la roca.
- Se ha llegado a establecer que la presión de detonación que se debiera alcanzar en el pozo debe estar en el orden de 1 a 2 veces la resistencia a la compresión de la roca.

Propiedades de la roca

Control Estructural

- La naturaleza y orientación de las discontinuidades en el macizo rocoso son críticas en el resultado del precorte.
- Si existe un aumento de la frecuencia de fracturas entre los pozos del precorte, disminuye la posibilidad de formar un plano de debilidad con la tronadura de precorte.
- Los tres principales factores geoestructurales que afectan el resultado del precorte son:
 - La frecuencia de fractura a lo largo de la línea de precorte.
 - El ángulo formado entre la línea de precorte y las estructuras.
 - El relleno de las fracturas.

Diámetros de perforación

- Es ampliamente reconocido que los mejores resultados de precorte se obtienen con diámetros pequeños de perforación.

Espaciamiento entre pozos

- El espaciamiento entre los pozos del precorte se reduce, si éste lo comparamos con el espaciamiento en una fila amortiguada. Esta disminución de espaciamiento se debe principalmente para que exista una interacción entre los pozos, debido a que a éstos se les ha reducido la carga considerablemente con el objeto de generar bajas presiones en las paredes de ellos

Factor de carga

- El término factor de carga definido en gr/ton no es aplicable para el precorte, puesto que su finalidad no es fragmentar un volumen de roca, sino que generar un plano de fractura, por lo que el factor carga para un precorte se define en kg/m^2 .

Factor de carga

$$\gamma = \frac{\pi}{4} * \frac{D_h}{(12R + 1)} * \left[\frac{R^{1/n} * \delta_{\text{exp}}^{(1-\frac{1}{n})} * UCS^{1/n}}{110^{1/n} * VOD^{2/n}} \right]$$

Donde:

- γ = Factor de carga en kg/m²
- n = índice de acoplamiento Pozo seco 1.25
Pozo con agua 0.9
- R = relación Pb/UCS
- VOD = Velocidad de detonación (km/s)
- d_h = diámetro de perforación (mm)
- UCS = Resistencia a la compresión no confinado (Mpa)
- δ_{exp} = densidad del explosivo (g/cm³)

Secuencia de salida

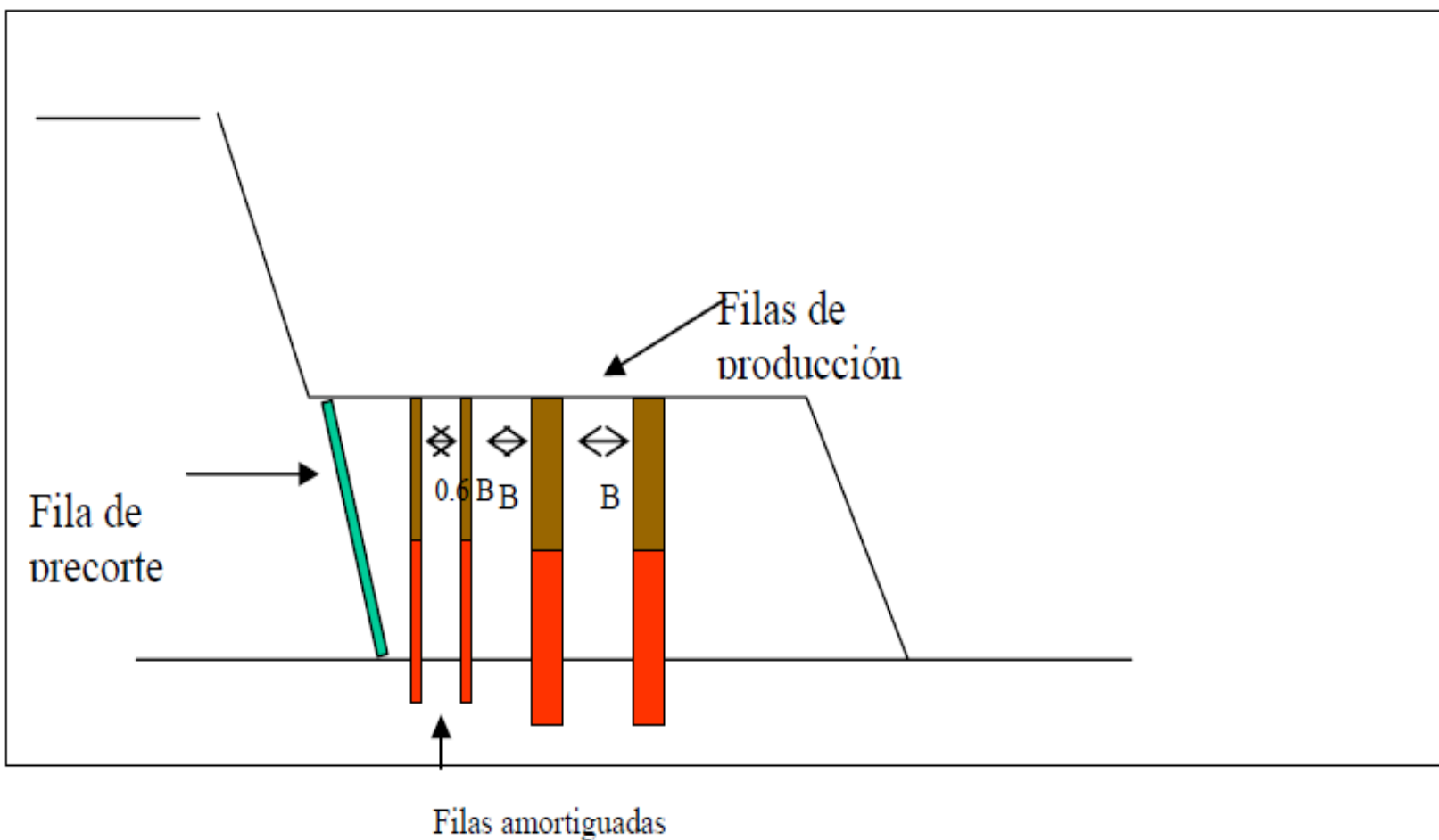
- El precorte debe ser iniciado en forma separada o en conjunto con la tronadura de producción, pero con una diferencia de a lo menos 100 ms previo a la tronadura de producción.
- Con respecto a los intervalos entre pozos del precorte, la teoría de formar una grieta de tensión entre dos pozos implica una detonación simultánea de ellos. A modo de referencia, Ouchterlony (1995) reportó que si existen diferencias de tiempo de 1ms entre pozos de precorte, esta generaría mayores daños alrededor de un pozo. Por tal motivo el autor del estudio recomienda el uso de cordón detonante para la iniciación del precorte. Idealmente debieran ser detonados todos los pozos del precorte en forma simultánea, pero como medida de precaución en lo que es vibraciones, estos debieran ser detonados en grupos de 20 a 30 pozos.

Efectos de la exactitud de la perforación

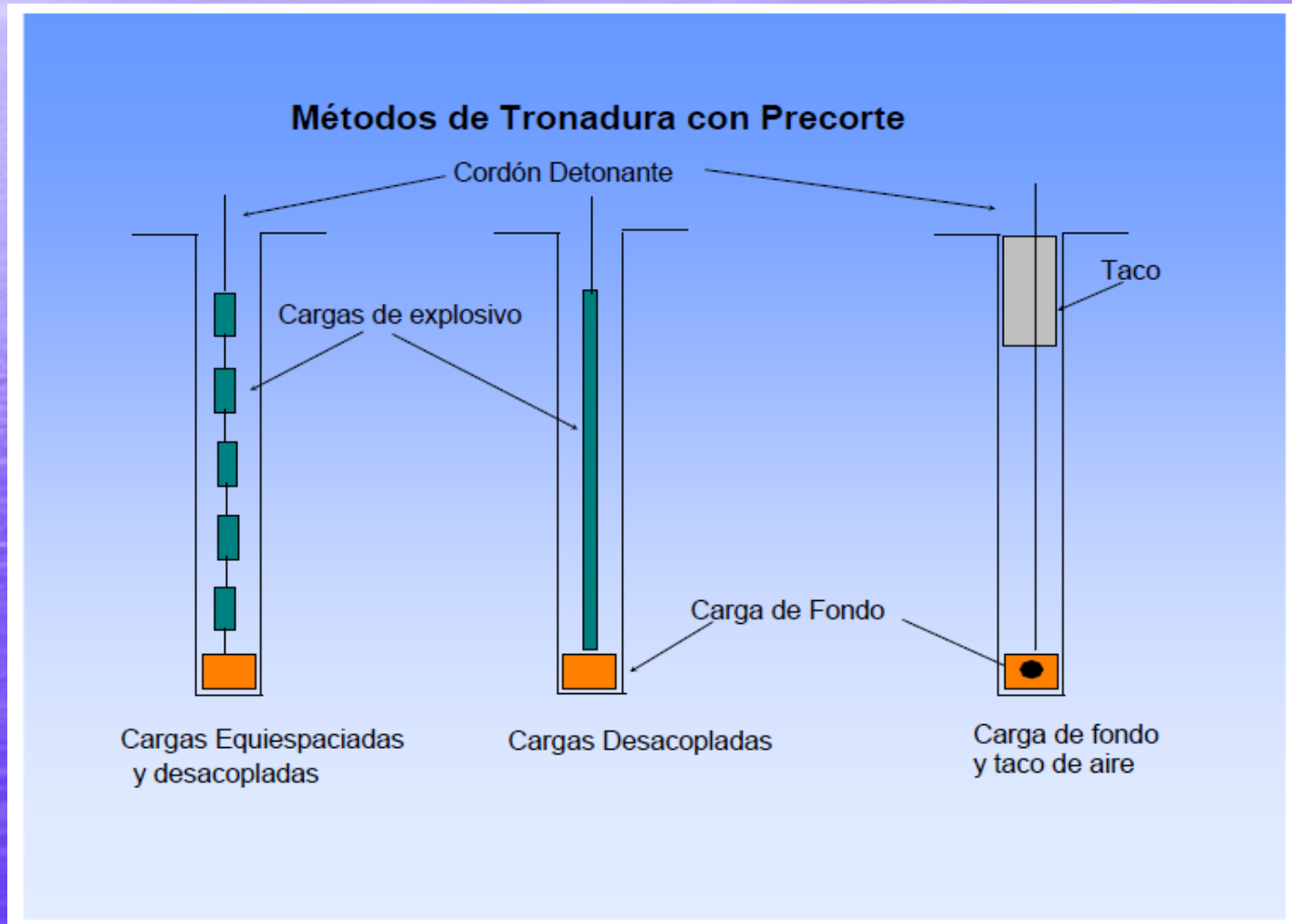
- La importancia de la exactitud de la perforación puede no ser considerada cuando se diseña un precorte, pero esta tiene una gran importancia debido al paralelismo que debiera existir entre los pozos, ya que su no paralelismo puede ser la causa de perfiles irregulares.

Inclinación del precorte

- Los máximos beneficios en términos de mejorar la estabilidad de los taludes, se obtienen cuando el precorte es perforado inclinado. Estas inclinaciones fluctúan en el rango de 15 a 30 grados, siendo mejores los resultados a medida que se utiliza una mayor inclinación, aumentando ciertamente la dificultad en la perforación.

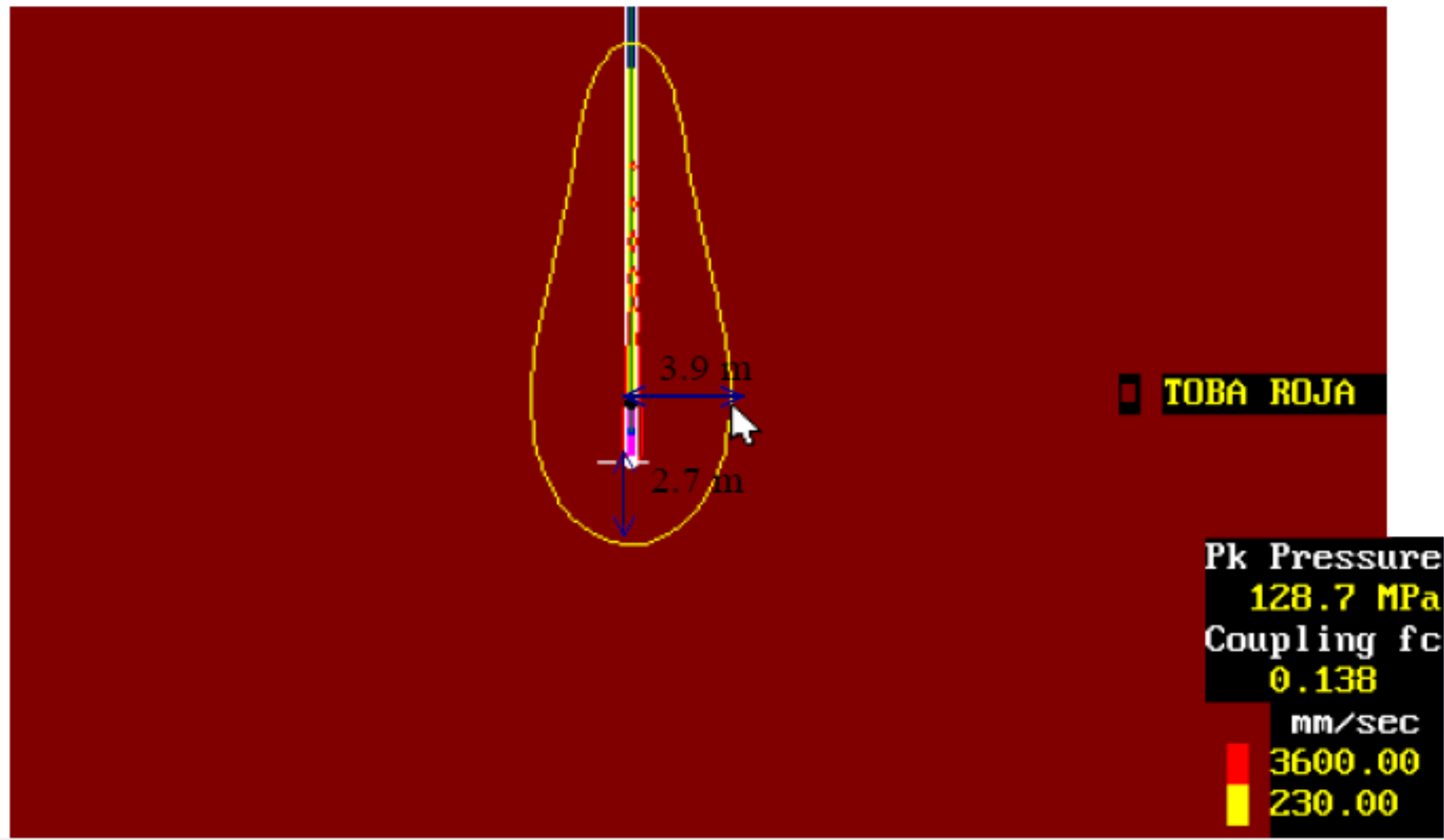


ESQUEMAS DE TRONADURA CON PRECORTE



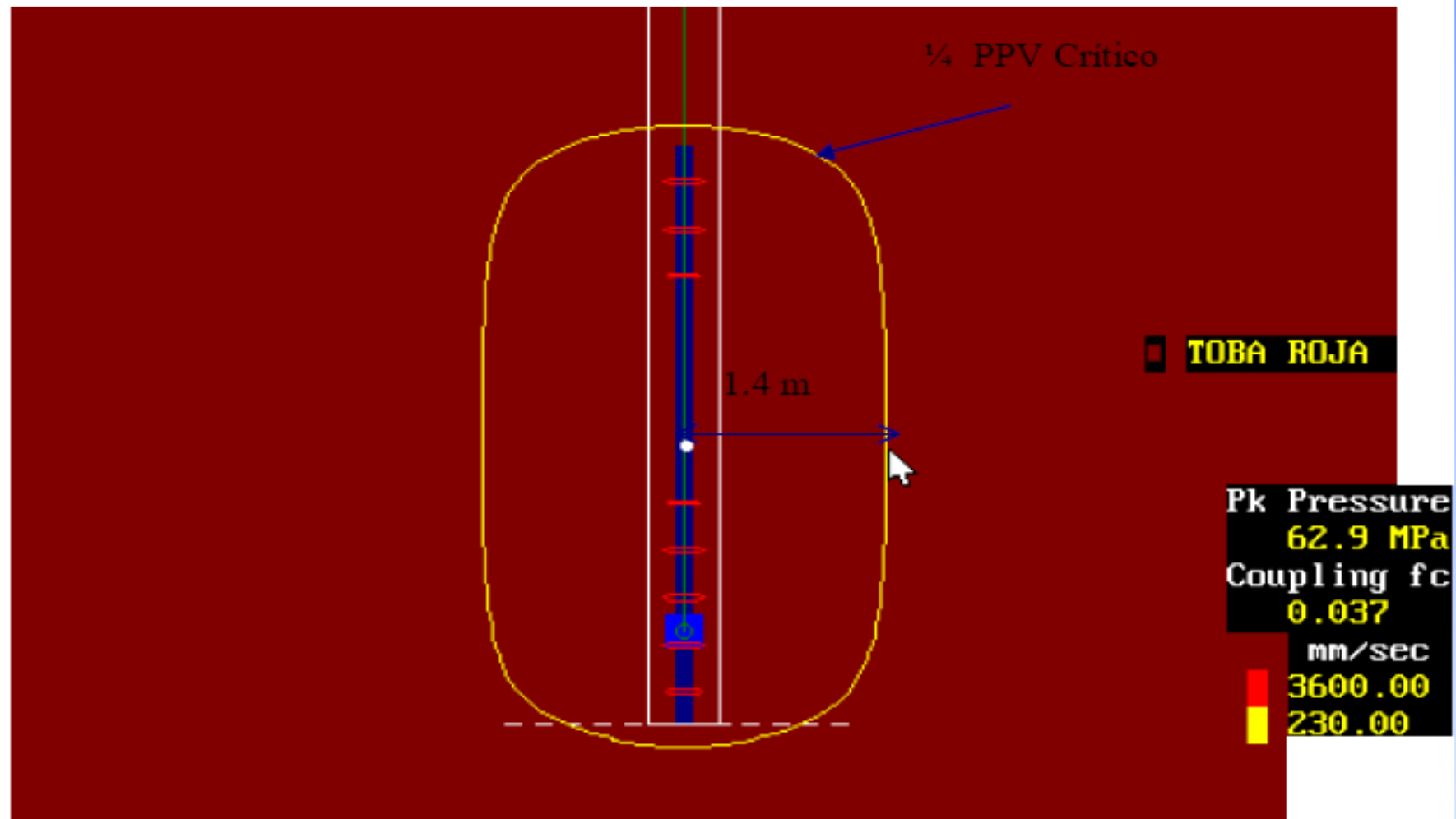
Análisis de daño

Precorte con taco de aire



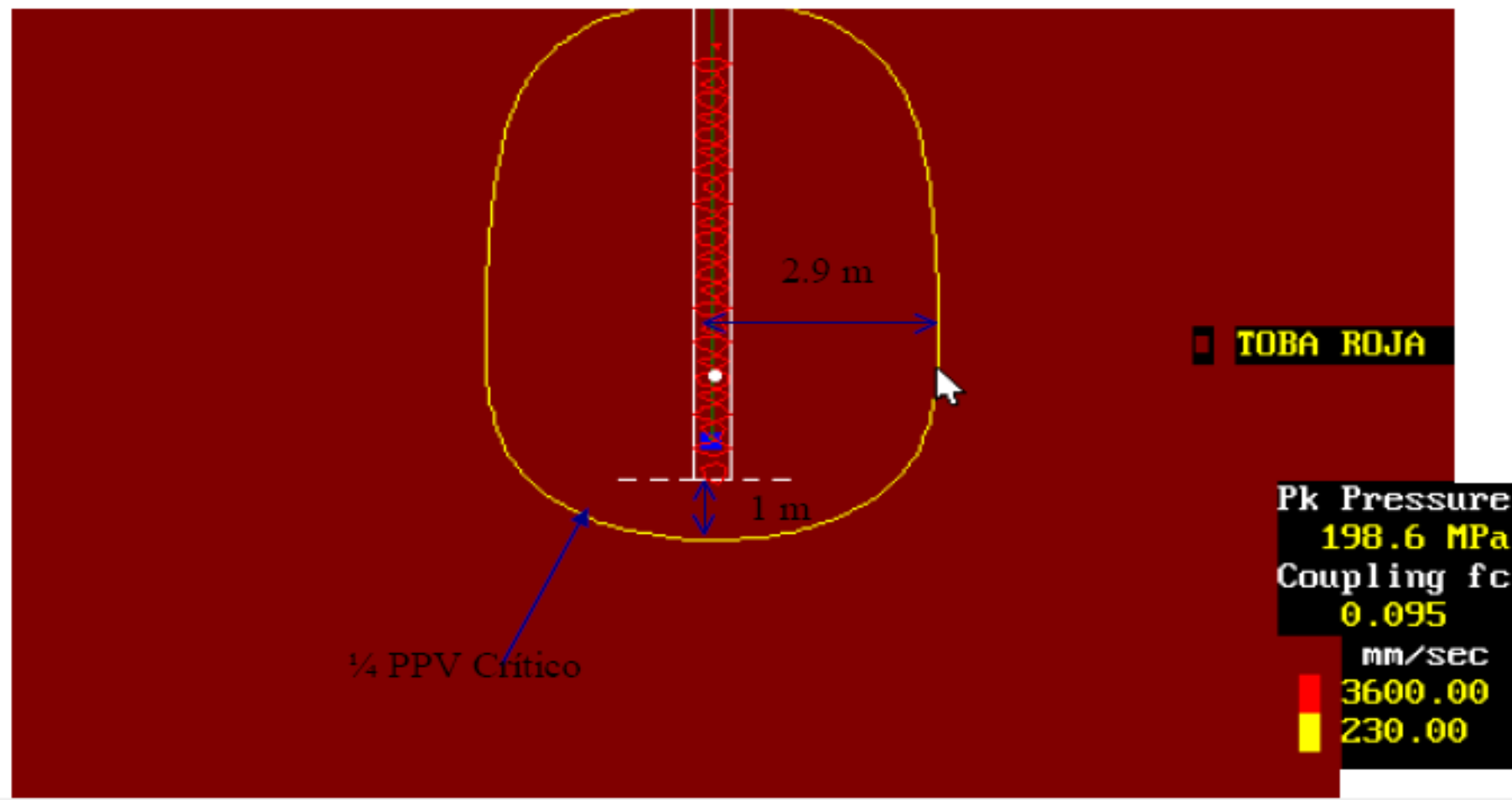
Análisis de daño

Precorte con Enaline



Análisis de daño

Precorte con Tronex



EVALUACION DE LOS RESULTADOS DEL PRECORTE

- Existen dos formas: Cuantitativa y Cualitativa. La primera, se basa en el factor de cañas visibles, y la segunda, define la calidad de la voladura, donde la media caña no es un fin en sí, lo que manda es obtener taludes estables.



EVALUACION DE RESULTADOS DEL PRECORTE

RESULTADO DE LA VOLADURA

SOLUCION

PERFIL DE EXCAVACION

FALLA

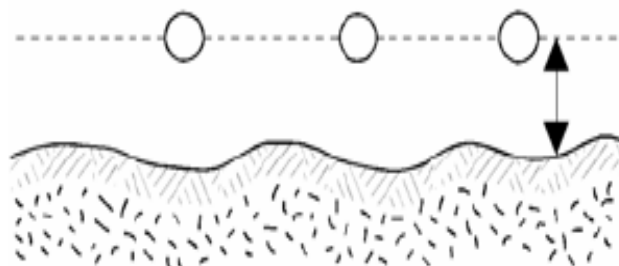
MOTIVO



Ninguna

Ninguno

Ninguna



Sobreexcavación general

Sobrecarga
Fila anterior de taladros
sobrecargados

Disminuir carga
Aumentar el espaciamiento
Distanciar fila anterior
Aumentar tiempo de retardo
entre filas de voladura
primaria

EVALUACION DE RESULTADOS DEL PRECORTE

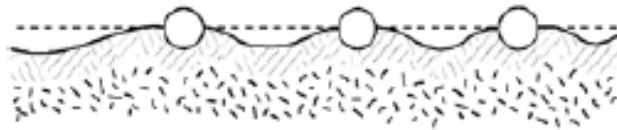
RESULTADO DE LA VOLADURA

SOLUCION

PERFIL DE EXCAVACION

FALLA

MOTIVO



Sobreexcavación
alrededor de los taladros

La presión de taladro es superior a la resistencia dinámica a compresión de la roca

Disminuir la densidad linear de carga y aumentar el desacoplamiento



Sobreexcavación entre
los taladros

Espaciamiento entre
taladros demasiado
pequeño

Aumentar el espaciado
entre taladros



Roca sobresaliente entre
los taladros

Espaciamiento excesivo
entre los taladros

Reducir el espaciado entre
taladros y aumentar
ligeramente la carga

VIBRACIONES EN EL PRECORTE

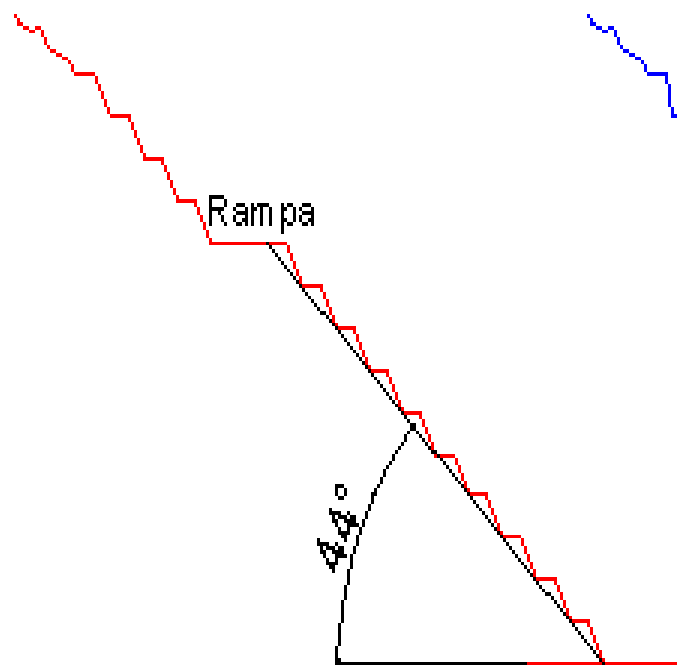
- Otra forma de evaluación, es mediante la generación de las vibraciones a través del macizo rocoso. La transmisión de ondas varía según la velocidad de propagación, puesto que cada roca posee diferente velocidad de las ondas sísmicas, definidas por superficies de separación donde las mismas experimentan cambios significativos. Con la aplicación del precorte, se minimiza el daño al macizo rocoso por vibración, debido a que la grieta producida atenúa o amortigua la Velocidad Pico Partícula generada por la voladura primaria.

ALGUNAS VENTAJAS DE UTILIZAR PRECORTE

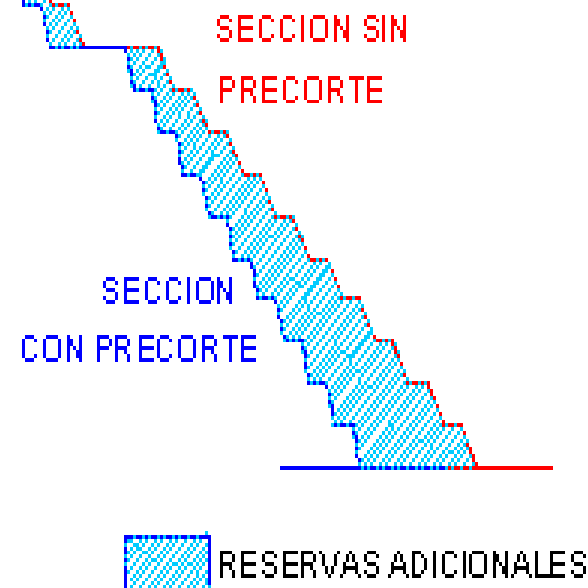
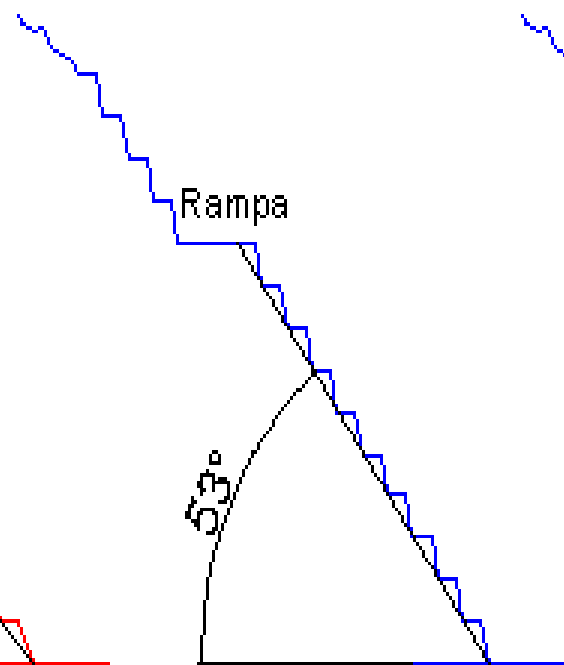
- Seguridad: Implica desarrollar una operación productiva, con taludes estables y definidos
- El obtener taludes definidos y estables: Nos permiten incrementar los ángulos de banco, y ángulos Inter - rampas, los cuales reflejaran la magnitud de movimientos de materiales (mineral + estéril), evaluando el beneficio económico asociado al menor movimiento de materiales producto del incremento angular en los distintos sectores de la mina que a su vez será función del costo de mina.

Montaje de secciones en un ángulo inter-rampas

DISEÑO SIN PRECORTE



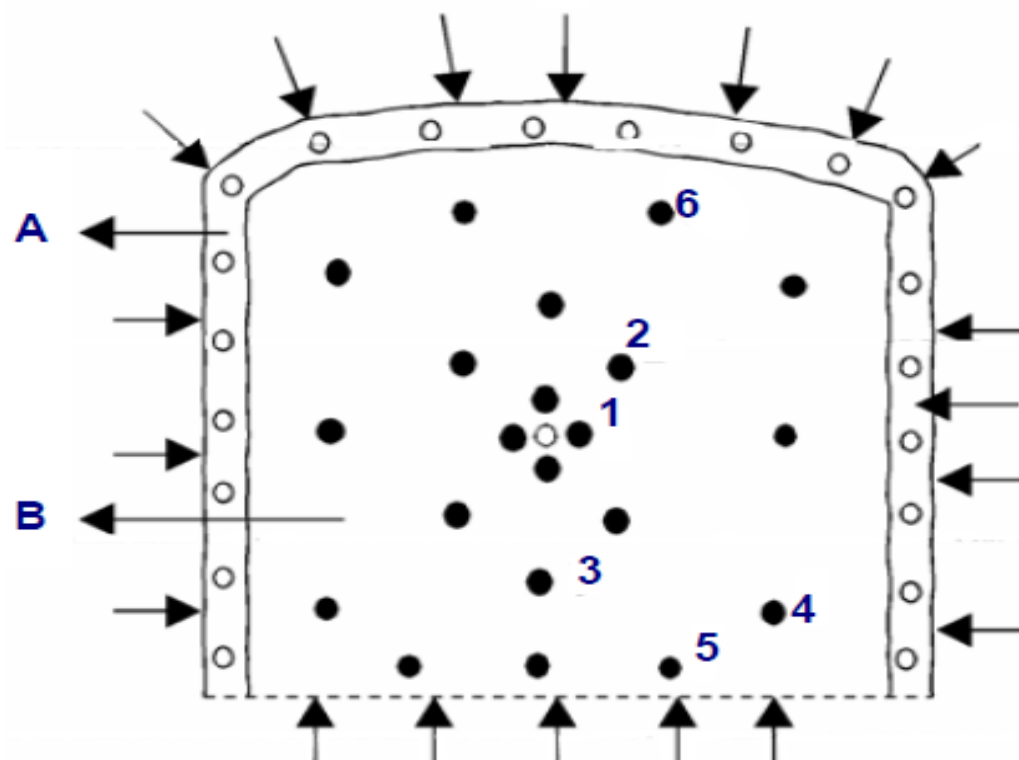
DISEÑO CON PRECORTE



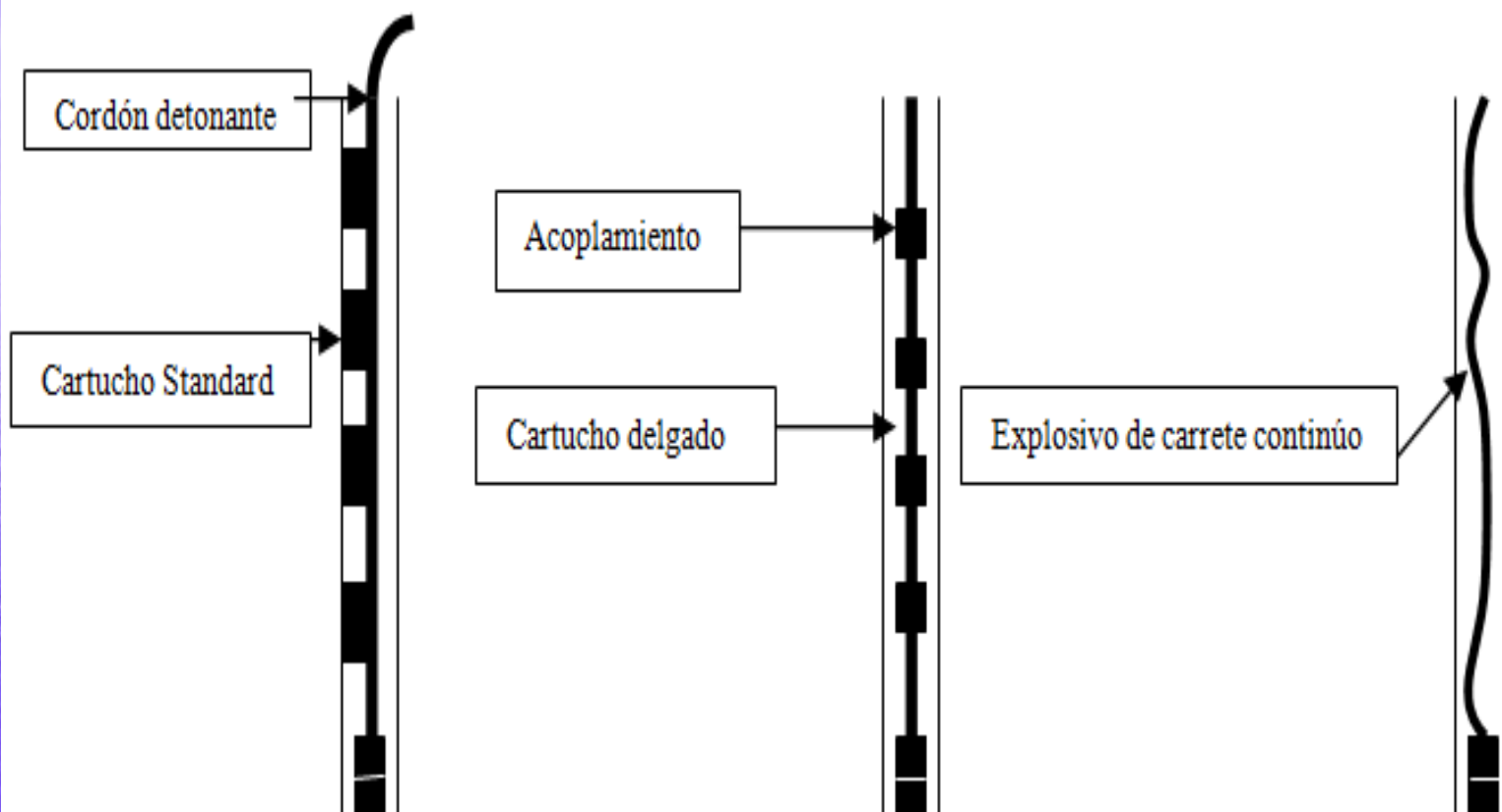
TRONADURA EN MINAS SUBTERRANEAS

- El pre-corte involucra una hilera de hoyos perforados que delimita claramente la línea de excavación. Los hoyos son por lo común del mismo diámetro, cargados livianamente con explosivos y disparados antes que la ronda principal. El anillo en hilera formando con tiros que no son compactados en sus barrenos, amortiguan la onda de choque de la tronadura y por lo tanto reducen la quebradura y las partiduras radiales de la roca alrededor de la excavación.

Disparo de la periferia antes que el núcleo



- A** : Fase 1 – Disparada, excavación de precorte.
- B** : Fase 2 – Núcleo, por salir.
- C** : Fase 3 – Eliminación de tensiones con el recorte efectuado.



- El pre-corte, cuando se aplica a frentes o paradas para controlar la sobreexcavación, puede mejorar la estabilidad del fondo y costados y reduce las necesidades de concretadura.
- Si bien la técnica de pre-corte tiene una base teórica, no se emplea por lo general en frentes subterráneas debido a problemas de cortes con los espaciados cercanos y con las cargas que se requieren en la tronadura primaria.

- Los espacios entre los hoyos pre-cortes normalmente deben ser entre 8 y 15 veces el diámetro de los barrenos, siendo lo más común 10 diámetros, lo que dependerá del diámetro del hoyo y de la geología de la roca. Es importante recordar que rocas con muchas juntas necesitaran de espaciado más cercano que la roca más masiva. La tabla muestra las dimensiones de espaciado para varios diámetros de hoyos pre-cortes.

Espaciado promedio de los hoyos con pre-corte

Diámetro del hoyo (mm)		Espaciado		
(m)				
38-	45	0.3	-	0.5
51-	63	0.5	-	0.6
76-	89	0.5	-	0.9
	102			1.2

