

# MAGNA

INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

CURSO DE FORMACIÓN



# SUPERVICIÓN DE PERFORACION Y VOLADURA SUPERFICIAL Y SUBTERRANEA

Presentado por:

M.Sc. Ing. Robert G. Santiago Lucas

Cip: 169493

# Módulo 6

**PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN MINERÍA A CIELO ABIERTO**

# índice

## 6. PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN MINERÍA A CIELO ABIERTO

### Introducción

- Prácticas Operativas en Perforación.
- Prácticas Operativas en Voladura.
- Seguridad en la Manipulación de Explosivos.
- Normativas y Aspectos Generales.
- Prevención de Proyecciones de Rocas



# INTRODUCCIÓN

La perforación y voladura es una técnica aplicable a la extracción de roca en macizos rocosos competentes, donde los medios mecánicos no son aplicables de una manera rentable. Así, partiendo de esta definición, este método es aplicable a cualquier método de explotación, bien en minería, bien en obra civil, donde sea necesario un movimiento de tierras.

La técnica de perforación y voladura se basa en la ejecución de perforaciones en la roca, donde posteriormente se colocarán explosivos que, mediante su detonación, transmiten la energía necesaria para la fragmentación del macizo rocoso a explotar.

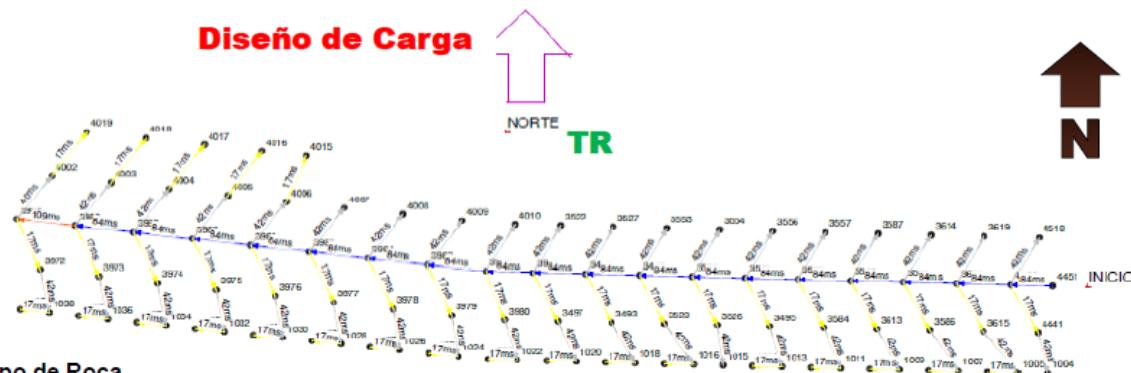
De esta forma, se tienen dos tecnologías claramente diferenciadas: la tecnología de la perforación y la tecnología de diseño y ejecución de voladuras.

La perforación en roca ha ido evolucionando con el tiempo con la incorporación y empleo de diferentes tecnologías, aunque muchas han ido cayendo en desuso, bien por la eficiencia conseguida, o bien por otros condicionantes externos (económicos, medioambientales, etc.). Las más empleadas y desarrolladas se basan en sistemas de perforación mecánicos, conocidos como sistemas de perforación “*a rotación*” y “*a percusión*”. Son estos métodos, cuya eficacia se enmarca en energías específicas por debajo de los 1.000 J/cm<sup>3</sup>, los que serán más ampliamente descritos y desarrollados.

Una buena fragmentación esta influenciada por numerosos factores, incluyendo el diseño de los parámetros geométricos de un disparo primario, colocación de los retardos y las condiciones del lugar de la voladura; pero quizá el factor mas importante lo constituye el tipo de MEC utilizada en la misma de acuerdo al tipo de roca.

TALADROS (Producción)			
D(in)	E(ms)	B(m)	9.1
Ikon ms	600 ms	5.5	
HA 30 70		3.0	m
HA 30 70		3.5	
		4.0	m
<hr/>			
Tipo Roca	TR	WI	-
D Roca	2.33	FP	0.146
d <sub>real</sub>	0.98 g/cm <sup>3</sup>	F <sub>c</sub>	0.34 kg/m <sup>3</sup>
C <sub>lava</sub>	74.56 kg/m		

### Diseño de Carga



## INTRODUCCIÓN

Las mezclas explosivas comerciales son materiales capaces de detonar con la introducción de un accesorio de voladura como iniciador, gracias al cual el frente de reacción se desplaza a través del explosivo a una velocidad superior a la velocidad del sonido de este material.

Con la detonación de un explosivo se liberan grandes volúmenes de productos gaseosos y energía en la roca circundante, lo que causa la fragmentación de la misma.

# 6.1. PROCESO DE PERFORACIÓN

La secuencia se cumple hasta que hayan sido perforados todos los sectores programados.

El proceso de perforación se describe a continuación.

## **¿Cuándo se lleva a cabo?**

Una vez que se han definido los puntos a perforar y se tiene acceso al sector de trabajo. Cumplido con esto el equipo toma posición para iniciar la operación.

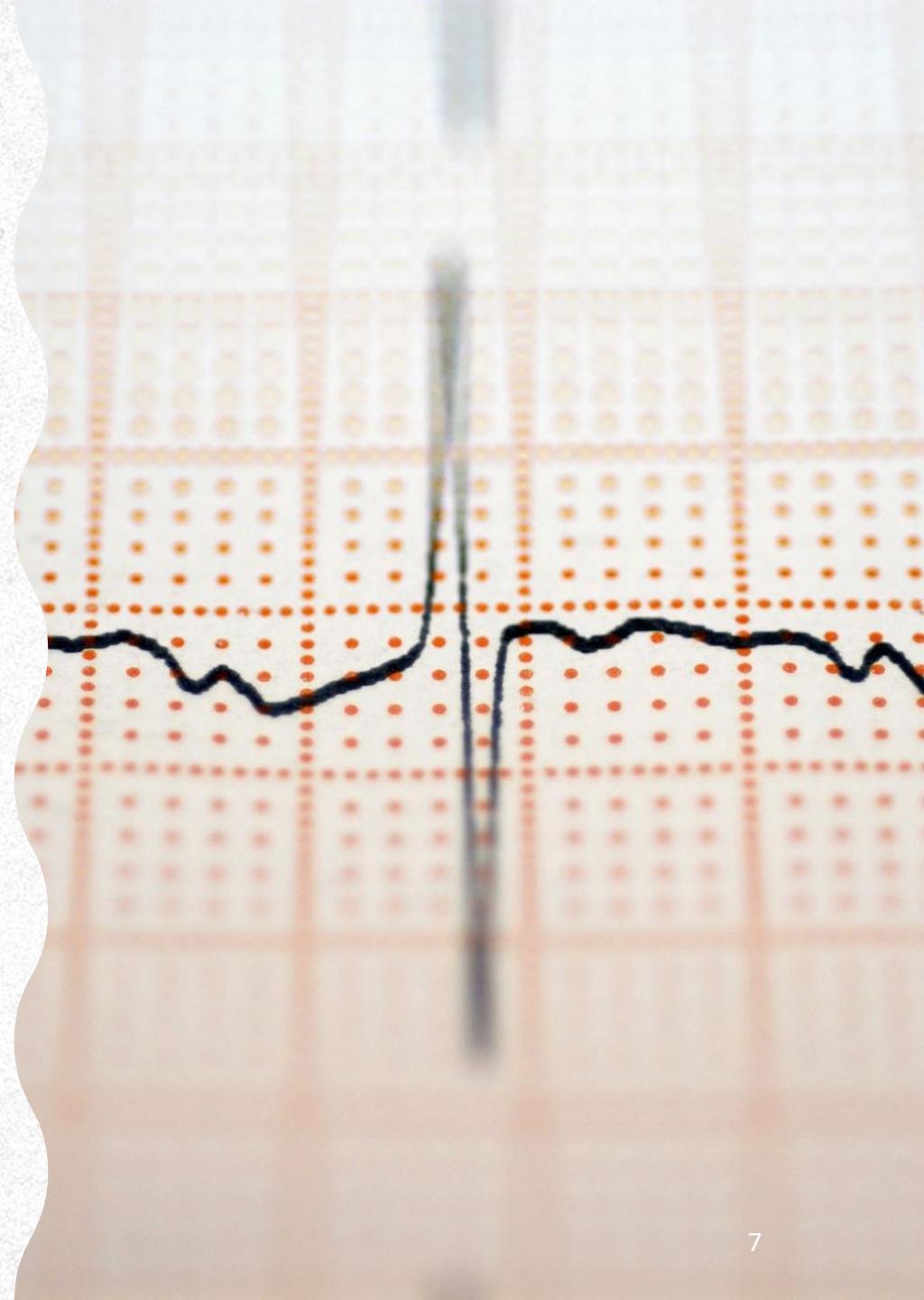
## **¿Qué se hace?**

Fundamentalmente lo que se hace es agujerear la roca que será removida por la voladura, según las especificaciones técnicas de operación (malla, profundidad, diámetro, inclinación).

## **¿Con qué se hace?**

La operación de realiza con equipos diseñados para este fin como perforadoras (rotativas, DTH) y equipos auxiliares (compresores, captadores de polvo). (Ver texto Maquinarias y Equipos Mineros para la Explotación de un Rajo Abierto).

Las características de la flota de perforadoras seleccionada tendrá relación directa con las características de la mina, tanto físicas, geométricas y operacionales (rendimientos exigidos, envergadura de las Voladuras, sectores especiales).



# 6.1. PROCESO DE PERFORACIÓN

## ¿Cómo se hace?

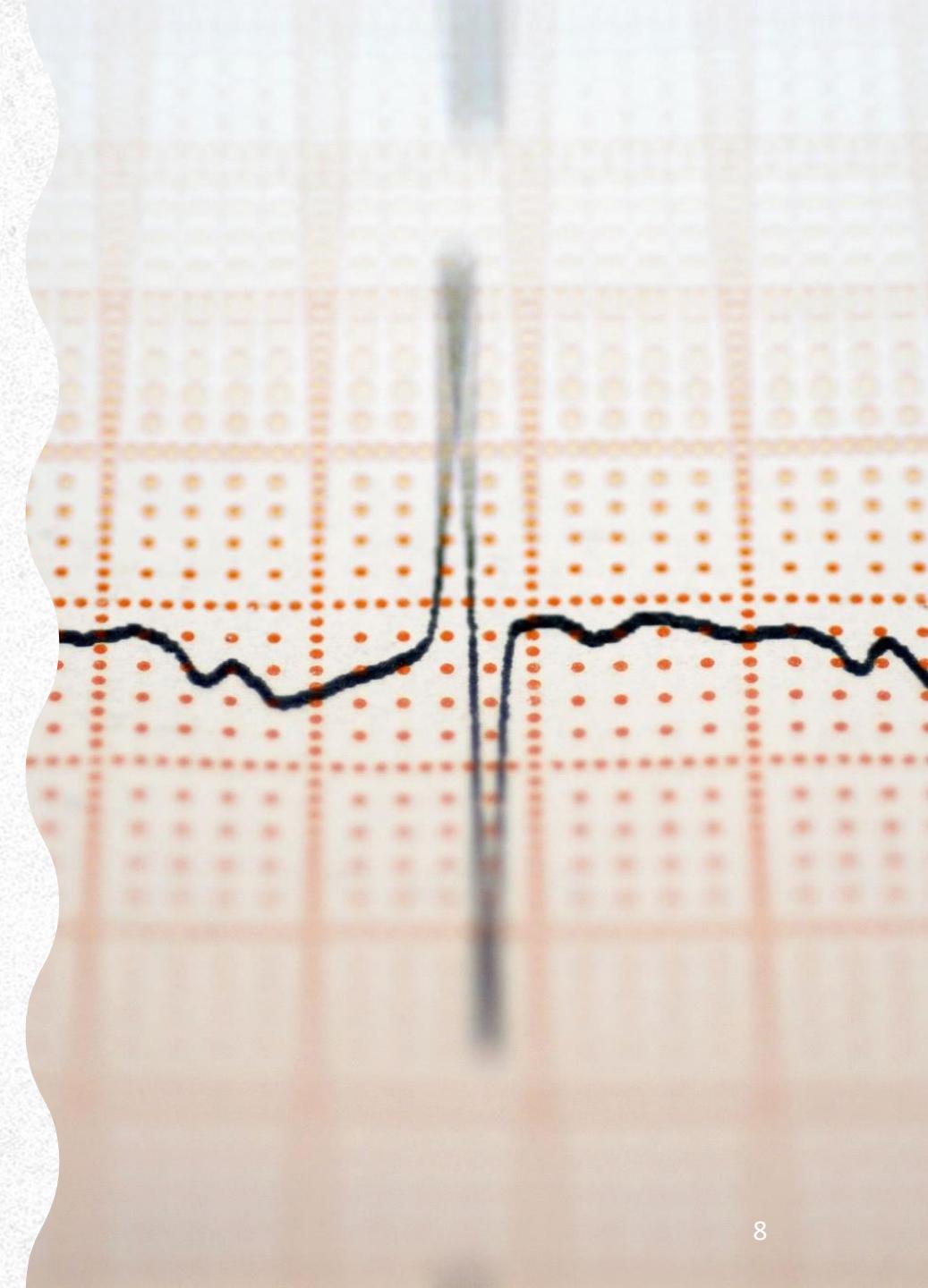
El operador posiciona su equipo en los puntos especificados en el diagrama de perforación, fija el equipo y comienza la operación, la cual básicamente consta del apoyo del bit o trícono sobre el terreno e inicia la perforación con las especificaciones de velocidad de rotación, pulldown (empuje) y velocidad del aire de barrido en función de las características de la roca a perforar. A medida que el taladro se construye llega un momento en que debe realizarse la adición de una nueva barra (barra larga si es que la longitud del taladro así lo requiere), lo cual se realiza por medio de la misma máquina (carrusel de barras). Una vez finalizada la perforación se procede a retirar el set de aceros desde el agujero (izamiento), y finalmente el equipo se retira del lugar hacia otro punto.

## ¿Cuál es el costo de perforar?

El costo de perforación que se obtenga en una operación en particular, dependerá de varios factores, entre ellos: Dureza de la roca, presencia de estructuras geológicas, calidad de los aceros, mantenimiento de los equipos y calidad de los operadores.

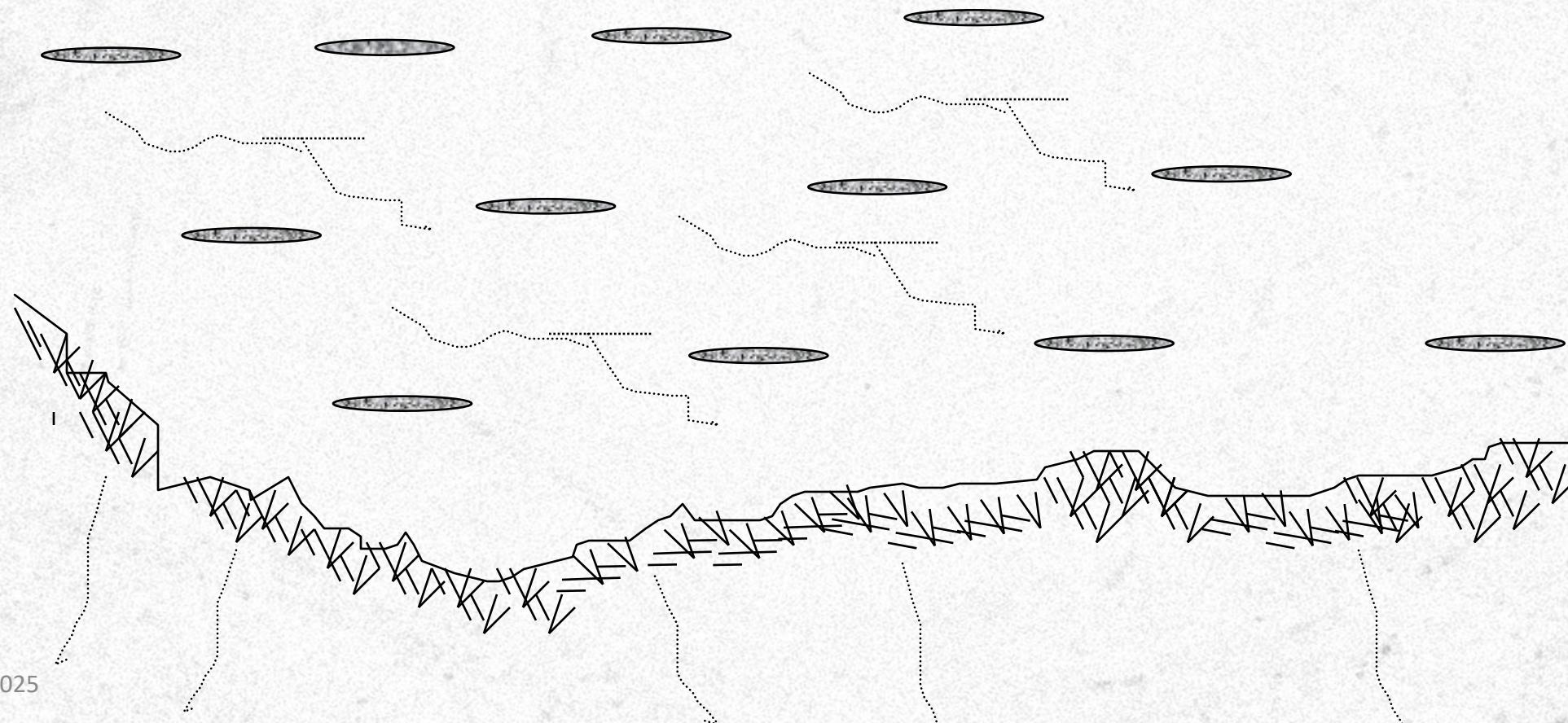
De acuerdo a la experiencia práctica podemos indicar que los costos de perforación (incluyendo los de operaciones y mantenimiento), fluctúan entre un 10% y un 15% del costo global de la operación de la mina, esto es, normalmente el costo del metro perforado se ubica entre 6 a 15 US\$/ mp dependiendo del tipo y de la edad de los equipos disponibles.

En cuanto al precio de las perforadoras se aprecian montos del orden de los US\$ 400.000 a US\$ 1.600.000 (dependiendo de los potenciales de la máquina y de sus prestaciones). Este amplio rango de precios que se encuentran en el mercado obedece a que es posible diferenciar tres segmentos distintos de perforadoras: DTH (4.5" a 7": 250.000 a 450.000 dólares), Rotativa sobre neumáticos (6" a 12": 500.000 a 900.000 dólares) y Rotativa sobre orugas (8" a 12": 600.000 a 1.600.000 dólares).



# DURANTE LA EJECUCIÓN DE MALLA DE PERFORACIÓN

- La perforación debe realizarse cumpliendo los estándares geométricos de perforación
- Realizar la medición de los taladros perforados, comprobando la longitud, temperatura, inclinación, presencia de agua etc.
- Limpieza de plataforma de perforación (Ver PETs)
- La seguridad es importante, cumplir los PETs (Ver PETs crítico de proceso)



# CALIDAD DE LA PERFORACIÓN

Este punto será tocado en el tema 1, por lo que podemos revisar lo relativo a los errores a que se incurre en la perforación tales como:

1. Errores en el replanteo de los barrenos.
2. Errores de inclinación y de dirección.
3. Errores de desviación.
4. Errores en la profundidad de los barrenos.
5. Efectos de la desviación de los barrenos en la práctica: para determinar estos valores se puede tomar como criterio guía la siguiente ecuación, para estimar la precisión de la perforación cuando se utilizan accesorios adecuados a las longitudes de los barrenos:

$$s = \left( \frac{2\Phi b}{1.000} \right) + (r + L)$$

Donde:

s = Desviación típica (mt) de la desviación del barreno de longitud L (mt)

r = 0,03 para barrenos verticales  
0,04 para barrenos inclinados

L = Longitud del barrenos (mt)

Øb = Diámetro del barrenos (mm)

# Proceso de Perforación en Campo

MAGNA  
ALIZACIÓN PROFESIONAL



## 6.2. PROCESO DE VOLADURA

### **¿Cuándo se lleva a cabo?**

Una vez que todos los taladros han sido perforados y cumplan con los requisitos de calidad y cantidad. Cumplido con esto se inicia la operación.

### **¿Qué se hace?**

Fundamentalmente lo que se hace es introducir el explosivo en los taladros de perforación, con sus respectivos accesorios y realizar el amarre para dar la secuencia de la salida de cada columna explosiva.

### **¿Con qué se hace?**

La operación se realiza con equipos adecuados y personal calificado, según la descripción del proceso, y con la supervisión permanente sobre la operación (por ser ésta una operación de alto riesgo).

En el caso de que se contara con una flota de equipos, dicha flota tendrá relación directa con las características de la mina, tanto físicas, geométricas y operacionales (rendimientos exigidos). (Ver texto Maquinarias y Equipos Mineros para la Explotación de un Rajo Abierto).

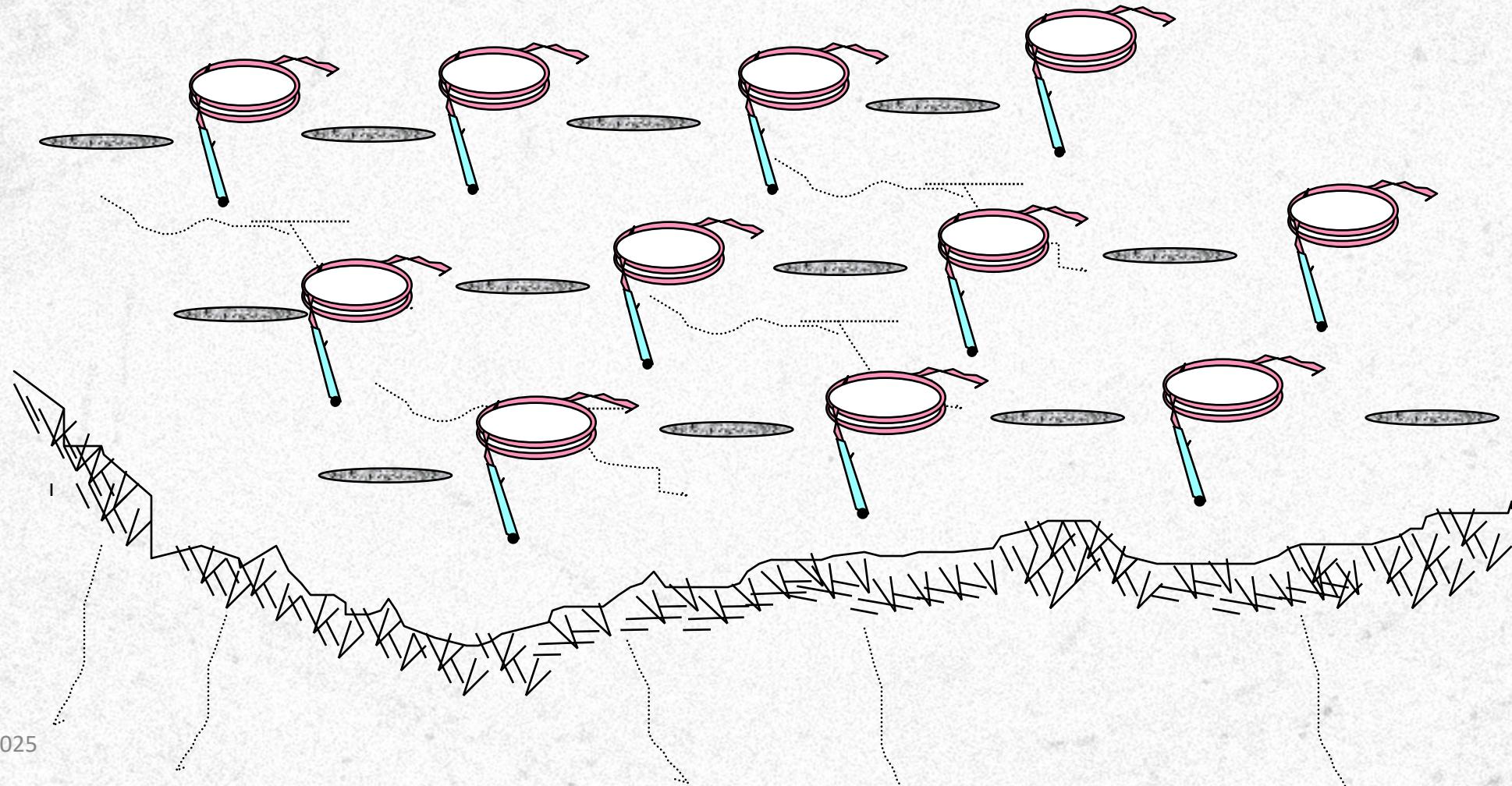
## 6.2. PROCESO DE VOLADURA

### ¿Cuál es el costo de disparar?

En función de los rendimientos exigidos y alcanzados, las características de la explotación, los equipos, la operación y el mercado, se puede obtener costos de operación que fluctúan entre un 8 % a un 14 % del costo global de la operación de la mina, pudiendo ser mayores o menores dependiendo de las condiciones de operación en la jornada. El costo de los insumos dependerán de las características de ellos y de la necesidad de su utilización en la voladura. Dentro de este grupo se puede destacar que una tonelada de ANFO cuesta alrededor de los US\$ 650. El costo de los accesorios puede alcanzar entre un 5 y un 8% del costo global de la tronadura.

## 1º. Repartir **Detonadores** y proceder a cargar los taladros

Ver PETs de transporte de accesorios y Explosivos

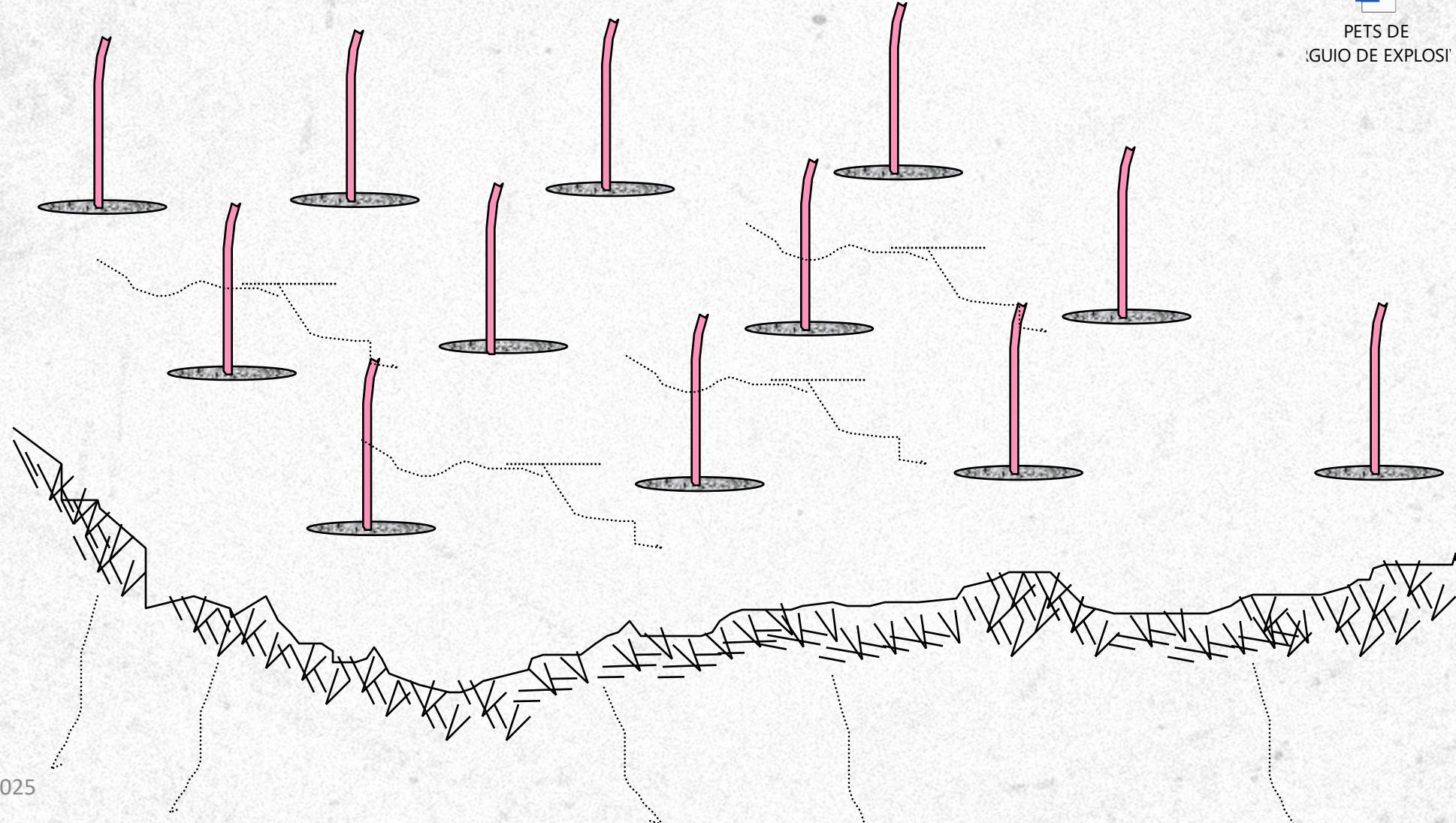


# **Colas de los detonadores no eléctricos fuera de los taladros cargados**

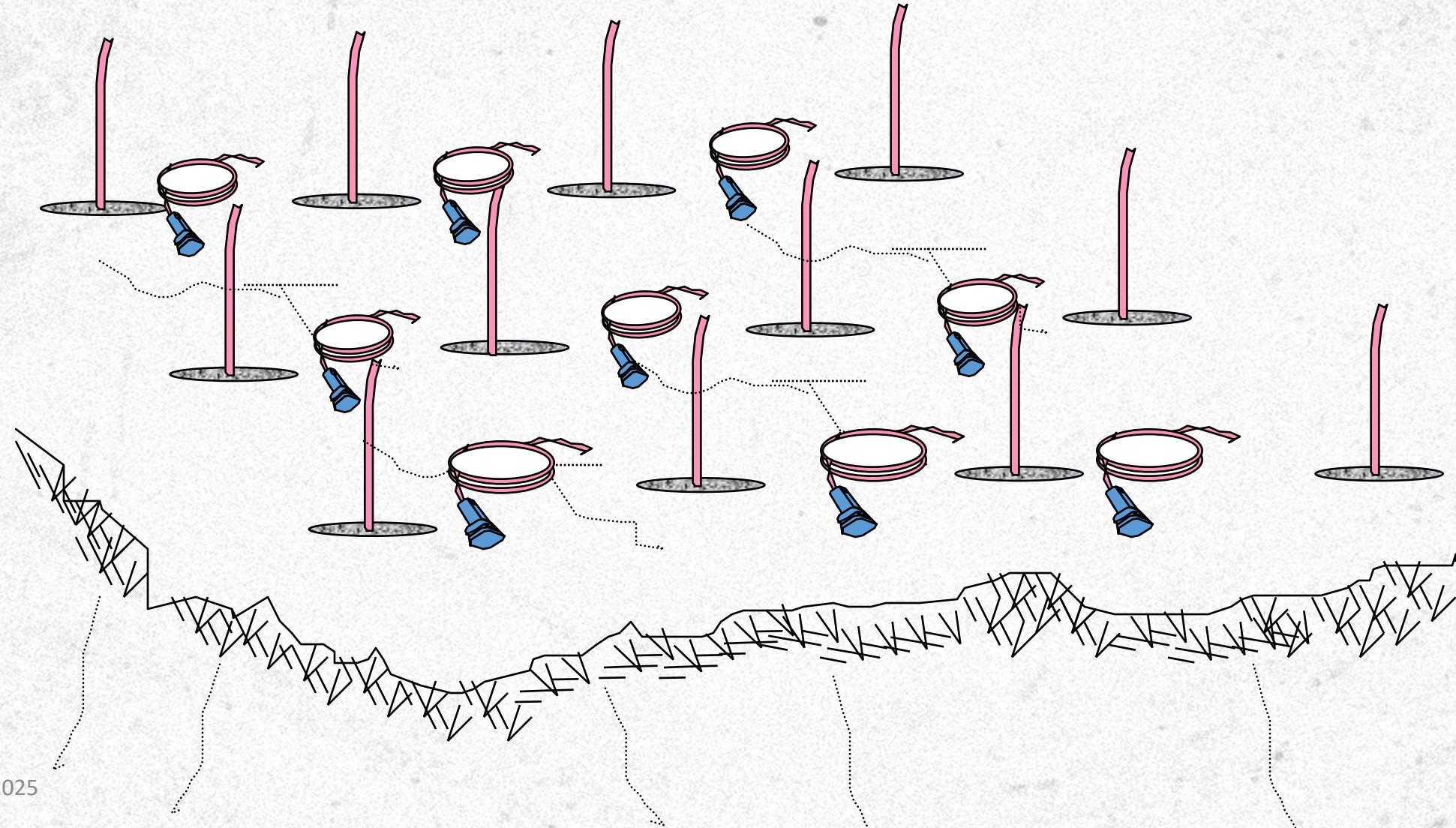
Ver PETS de Medida, Primado, Carguio y Tapado de Taladros

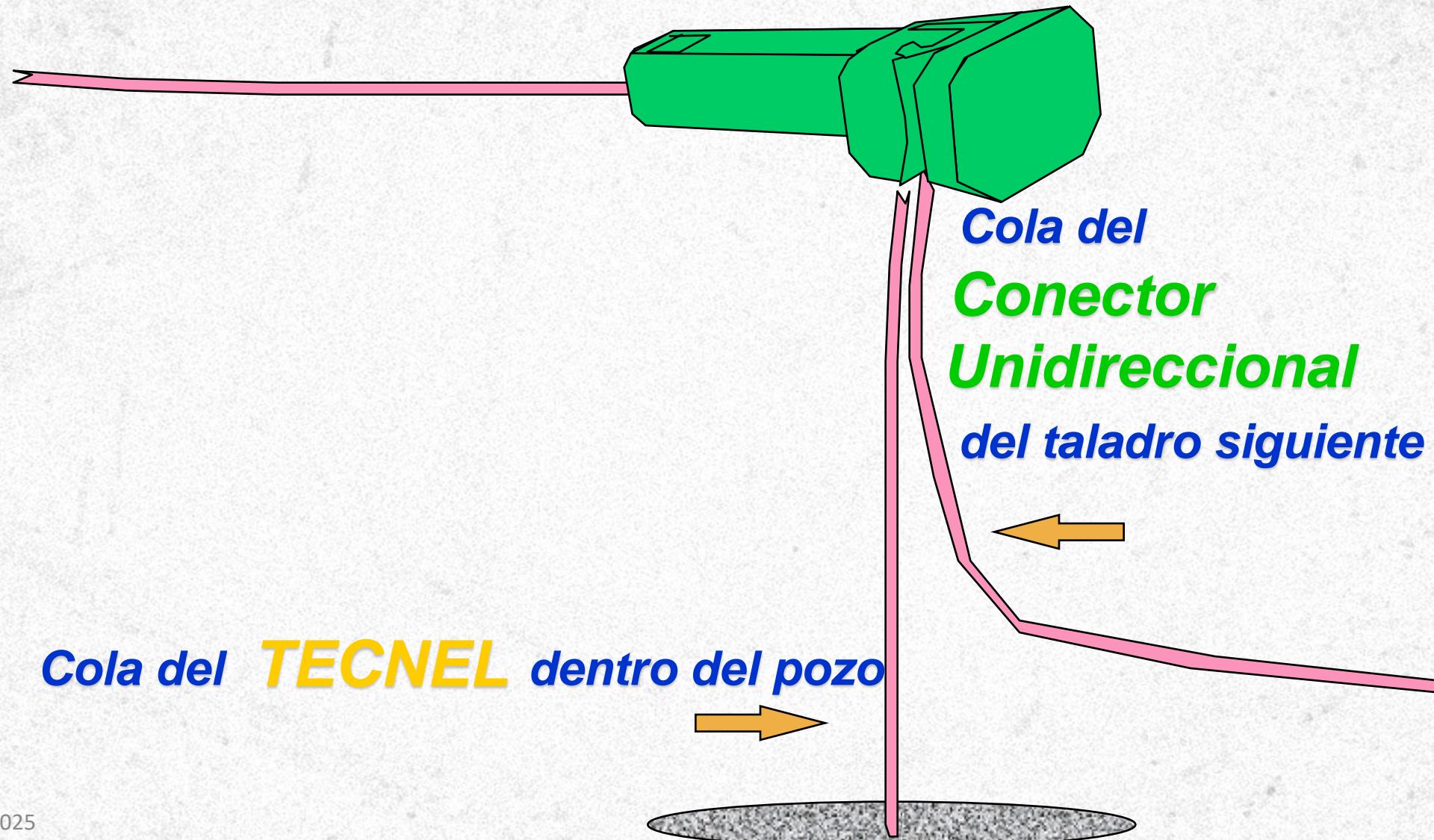


PETS DE  
CARGUJO DE EXPLOSIVOS

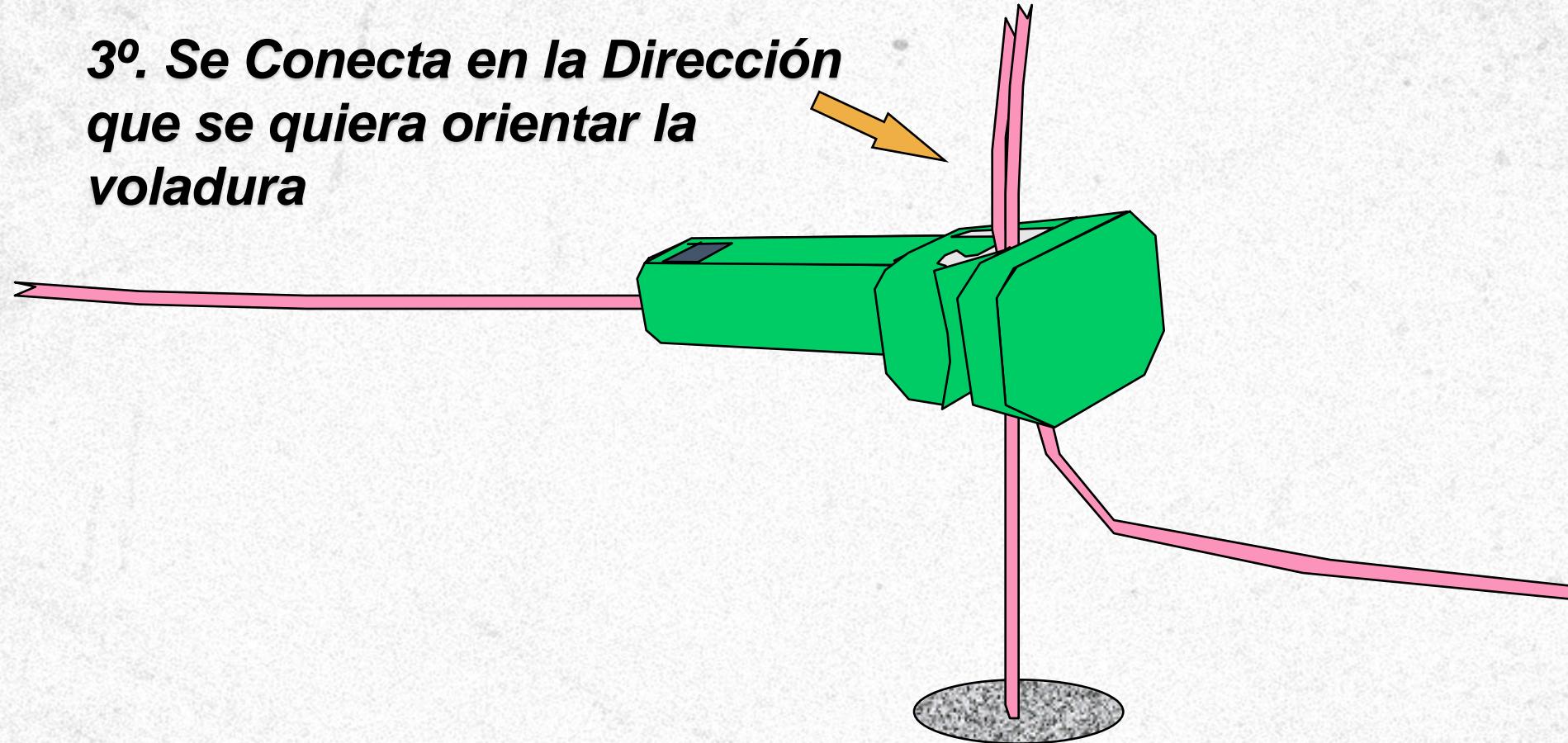


**2º. Repartir CONECTORES UNIDIRECCIONALES**

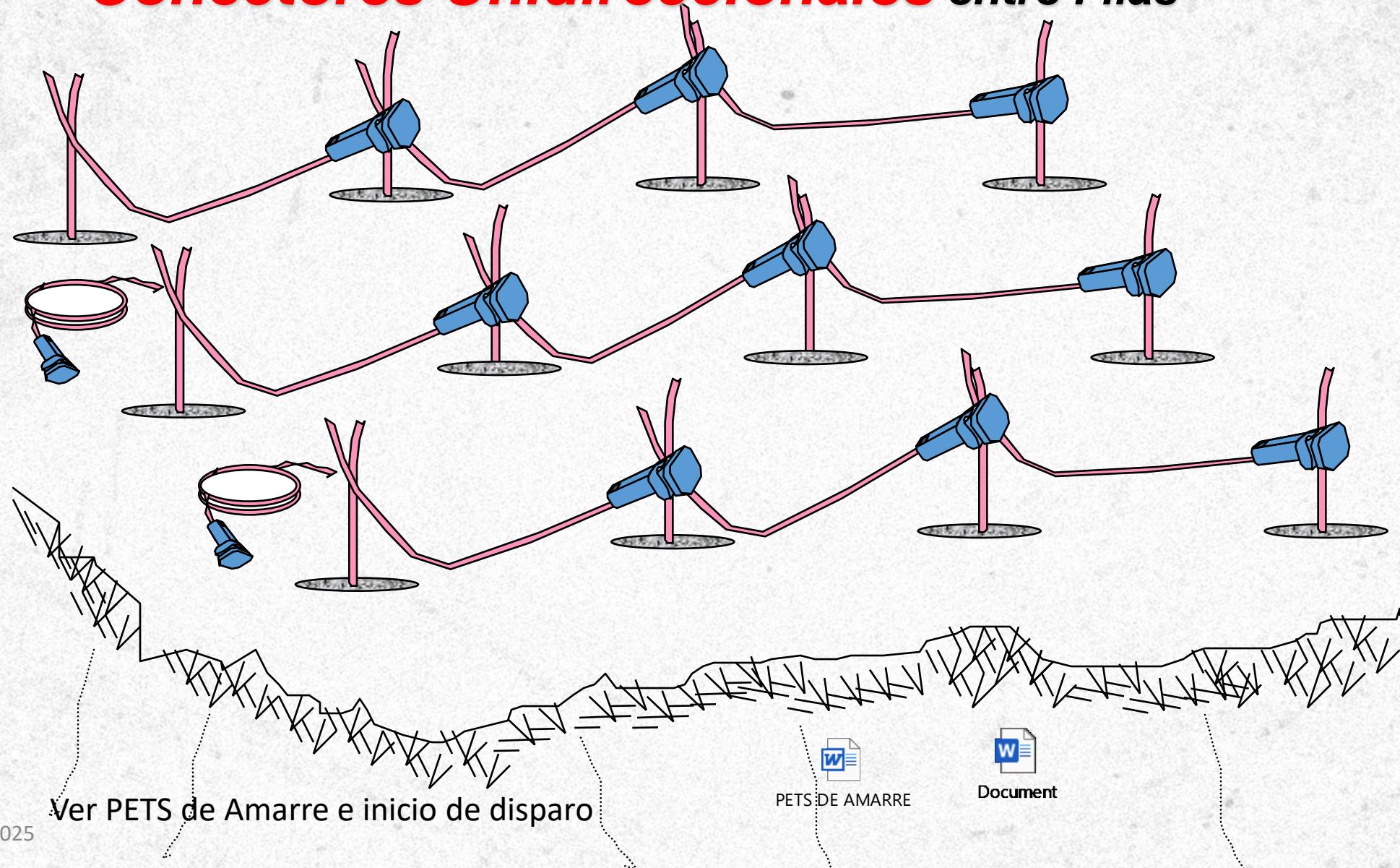




**3º. Se Conecta en la Dirección  
que se quiera orientar la  
voladura**

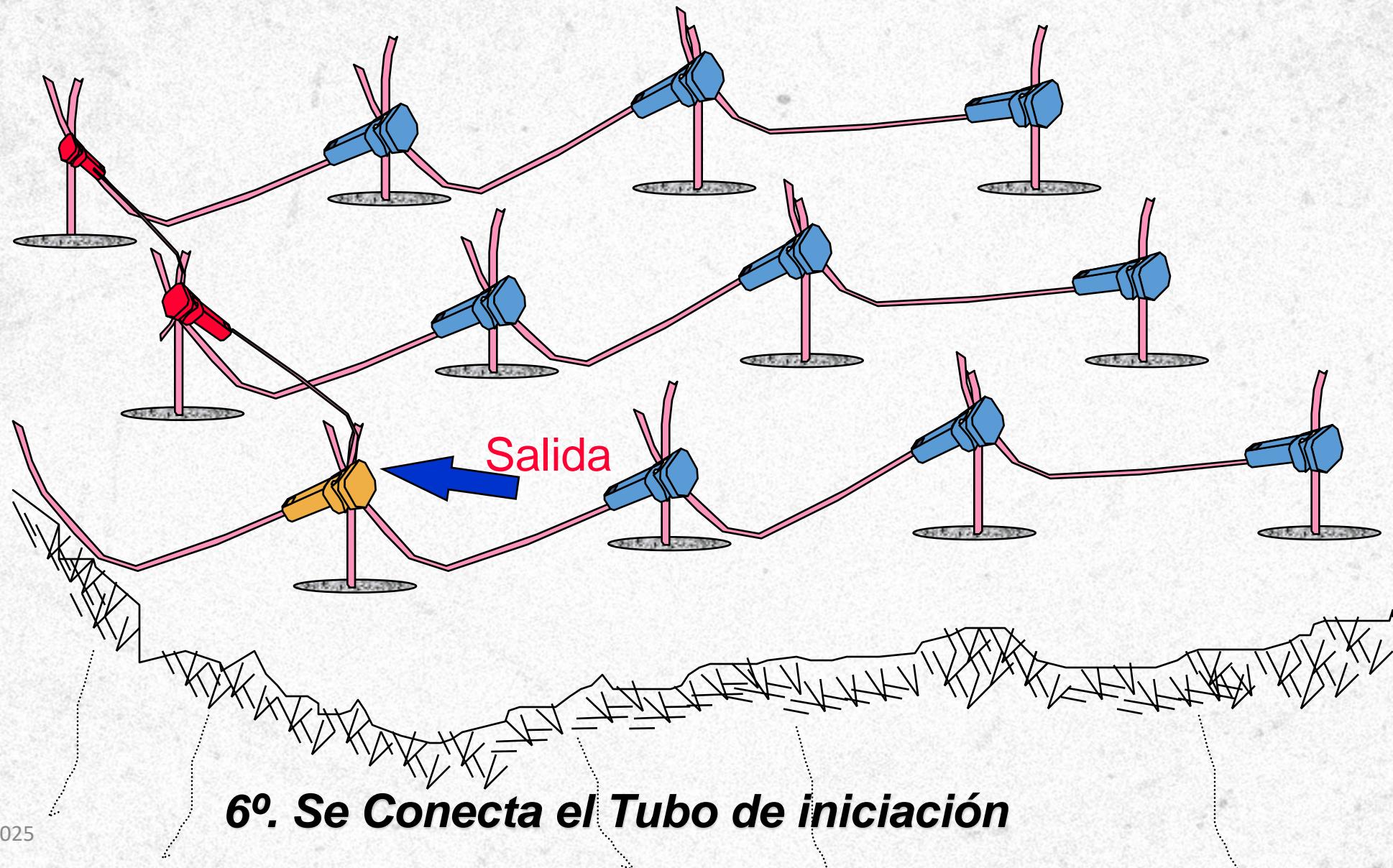


**4º. Se pueden repartir los  
Conectores Unidireccionales entre Filas**

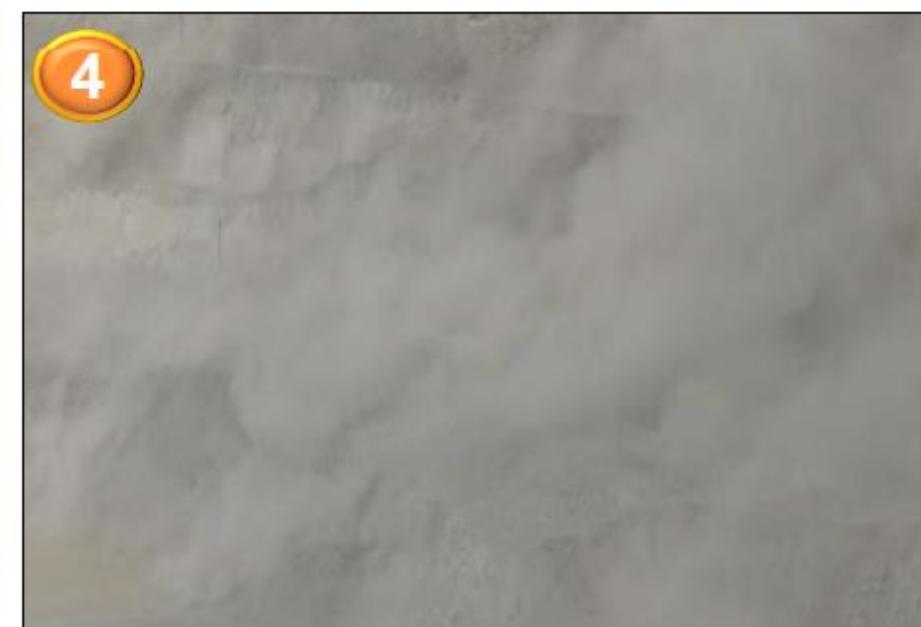


## **5º. Se cierra el Disparo.**

Ver PETs de despeje de mina



## Proceso de voladura de rocas



# VOLADURA EN MINERÍA



## 6.3. SEGURIDAD EN LOS TRABAJOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

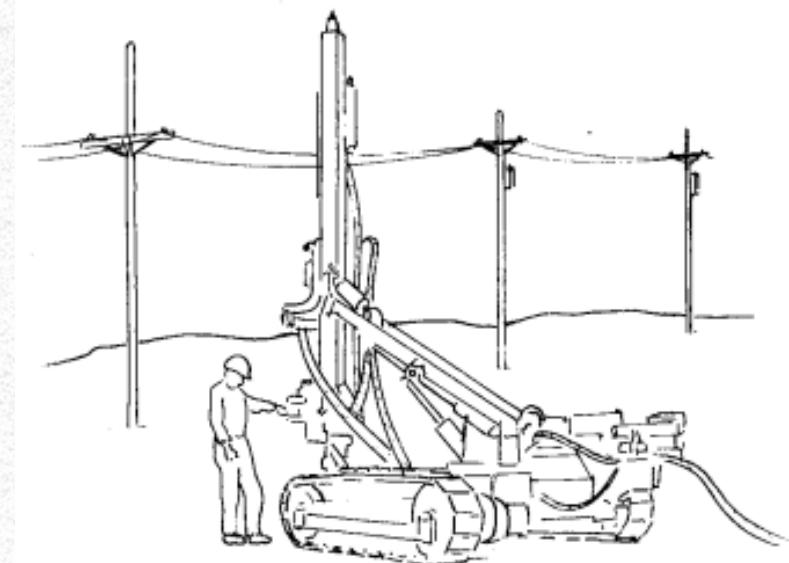
Para que los trabajos de perforación y voladura de rocas se realicen en condiciones de seguridad, es preciso que en tales operaciones se observen los siguientes aspectos:

1. Cumplimiento de las Normas y Reglamentaciones vigentes.
2. Formación técnica de los operadores, artilleros y personal manipulador de explosivos con cursos periódicos adecuados.
3. Utilización de máquinas, explosivos, accesorios y sistemas de iniciación en condiciones de seguridad.

### 1. PERFORACION DE BARRENOS

Antes de iniciar los trabajos de perforación en un área determinada, deben comprobarse los siguientes puntos:

- El terreno está en condiciones para trasladar con seguridad el equipo. En caso contrario, se debe proceder a la preparación del mismo con las máquinas auxiliares disponibles: tractores, palas de orugas, etc.
- Presencia de tuberías o conducciones enterradas bajo el camino que recorre la máquina.
- Existencia de líneas eléctricas aéreas, superficiales o subterráneas.



- Condiciones de estabilidad de los taludes cercanos al área de trabajo.
- Pendientes de los tajos destinados a los equipos de perforación. Si fuera necesario, se procederá al amarre de las máquinas mediante cables y trácteles.
- Seguimiento meticoloso de los manuales de operación de las máquinas.
- Utilización adecuada de los sistemas de captación y control del polvo de que dispongan los equipos.

## 6.3. SEGURIDAD EN LOS TRABAJOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

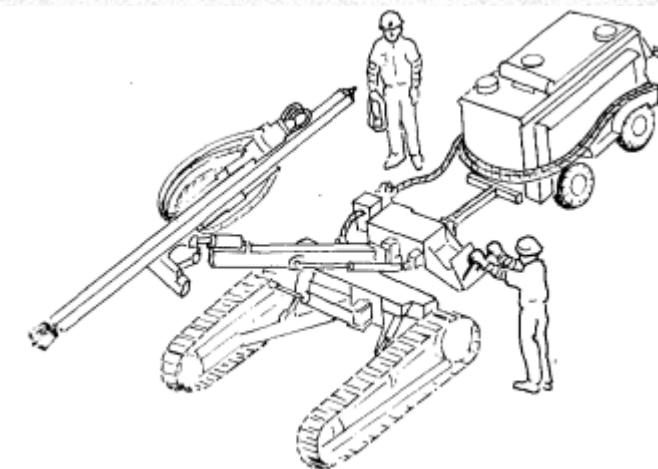
- Durante las maniobras, colocación de los ayudantes en puntos visibles por el maquinista.
- Verificación del apriete de las roscas y elementos de unión. - Comprobación del estado de limpieza y engrase de la máquina.
- Sustitución de los accesorios de perforación desgastados.
- Utilización del material de seguridad personal adecuado. casco. botas. guantes, protectores contra el ruido. el polvo, etc.



- Empleo de señales para advertir de la necesidad de las protecciones personales.

### 2. SEGURIDAD CON PERFORADORAS ROTOPERCUTIVAS

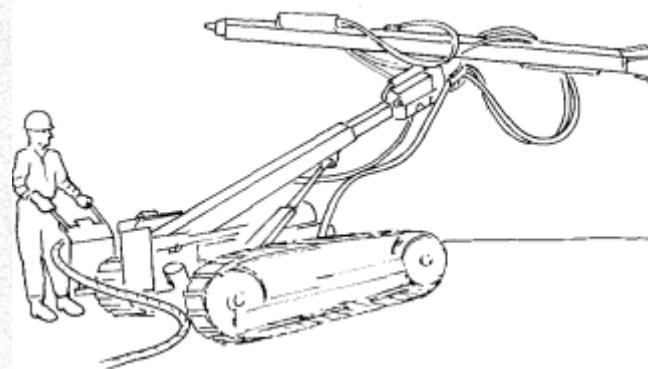
- Cortar el suministro de aire comprimido a la perforadora cuando se añade aceite y lubricantes o se procede a cualquier labor de mantenimiento del equipo.
- Disponer las mangueras de aire principales con amarres de sujeción.
- No interponerse nunca entre la perforadora y el compresor cuando se remolque éste.



Situación de los operadores durante el traslado de las perforadoras

## 6.3. SEGURIDAD EN LOS TRABAJOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

- Mantenerse separado a una distancia adecuada cuando se muevan las cadenas de traslación, la cadena de avance del martillo y las barras de perforación.
- Cuando se trasladen los equipos, mantener la deslizadera horizontal levantada del suelo y en una posición que contribuya a aumentar la estabilidad al vuelco.



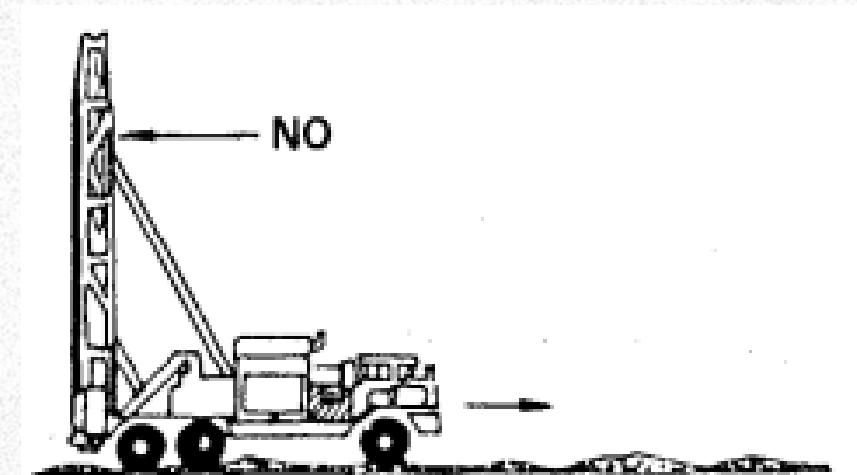
Posición de las deslizaderas durante los desplazamientos de las perforadoras.

- En terrenos escarpados y con compresores portátiles, mantener éstos en lugar seguro.
- Efectuar el accionamiento de los mandos desde posiciones correctas.

- Tomar precauciones al tocar el varillaje y los manguitos recién utilizados, pues se corre el riesgo de quemaduras.
- Almacenar los útiles de perforación en lugares adecuados protegidos del polvo y los golpes.
- Retirar los equipos a un lugar seguro durante la ejecución de las voladuras.

### 3. SEGURIDAD CON PERFORADORAS ROTATIVAS

- Efectuar los desplazamientos de largo recorrido con el mástil bajado.



## 6.3. SEGURIDAD EN LOS TRABAJOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

- En las maniobras entre barrenos, auxiliarse de un ayudante para:
  - ✓ Emboquillar los taladros correctamente.
  - ✓ Controlar la situación de los cables eléctricos de alimentación.
  - ✓ Evitar que se pase por encima de barrenos perforados.
  - ✓ Impedir que la máquina se aproxime a los bordes de los taludes o pies de bancos inestables.
  - ✓ Comprobar que los gatos hidráulicos de nivelación estén levantados.
- Anotar los valores indicados por los controles durante la perforación y recoger en los partes las incidencias producidas.
- Antes de comenzar la perforación nivelar la máquina mediante los gatos hidráulicos.
- No introducirse debajo de la perforadora con los gatos levantados si previamente no se han acoplado topes fijos.
- Asegurarse cuando se meta o se saque una barra del carrusel de que está bien orientada.
- Observar durante el trabajo el descenso de la cabeza de rotación.
- Controlar el desgaste de los triconos, estabilizadores y bocas de los martillos en fondo.
- Situar los equipos con la orientación y a la distancia adecuada durante la realización de las pegas

## 6.3. SEGURIDAD EN LOS TRABAJOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

### 4. SEGURIDAD EN VOLADURAS

#### a. Medidas al transportar explosivos dentro de las explotaciones

- Asegurarse de que todo vehículo destinado a transportar explosivos reúne las condiciones exigidas por el organismo competente.
- Verificar el buen funcionamiento del vehículo. Impedir que la carga sobresalga y disponer de lonas para la cubrición del explosivo en caso de lluvias.
- Llevar en los vehículos extintores de incendios, en lugares apropiados y de fácil acceso, debiendo conocer obligatoriamente el chófer y ayudantes su uso.
- Tener apagado el motor del vehículo durante las operaciones de carga y descarga de explosivos.
- Verificar que la plataforma del vehículo sea compacta sin huecos o fisuras.
- Efectuar las operaciones de carga y descarga de explosivos durante las horas del día y nunca cuando haya tormentas eléctricas, de arena o nieve.

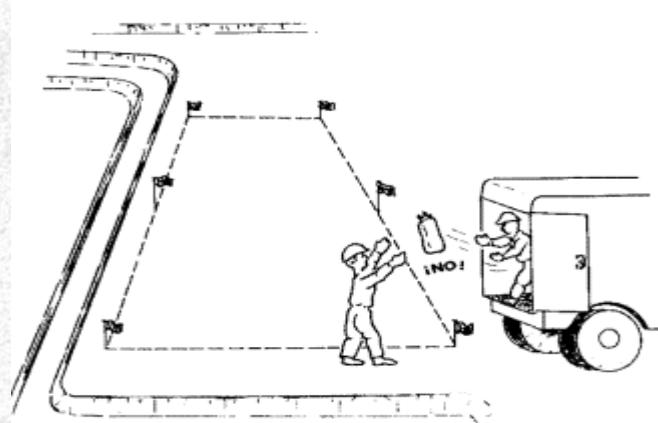
- Durante la carga y descarga de explosivos, sólo podrán permanecer en las inmediaciones el personal autorizado para tal efecto, prohibiéndose cualquier otra actividad en un radio de 50 m.
- Nunca transportar conjuntamente con explosivos materiales metálicos, combustibles o corrosivos.
- No permitir fumar en el vehículo ni la presencia en él de personas no autorizadas e innecesarias.
- Prohibir abrir las cajas que contienen explosivos sobre las plataformas del vehículo o en el área de descarga, sin antes haber terminado ésta.
- No transportar los accesorios de voladuras conjuntamente con los explosivos. El cordón detonante se considera incluido dentro de los explosivos industriales.
- Transportar los explosivos en sus envases y embalajes de origen o en útiles preparados para tal fin.
- Nombrar a una persona responsable del movimiento y expedición de explosivos y accesorios.

## 6.3. SEGURIDAD EN LOS TRABAJOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

### 4. SEGURIDAD EN VOLADURAS

#### a. Medidas al transportar explosivos dentro de las explotaciones

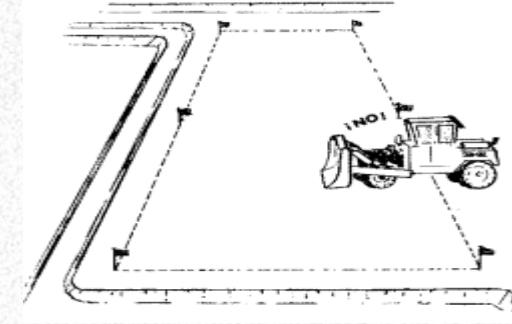
- En la descarga no golpear los explosivos, detonantes, mechas detonantes, etc.



- Distribuir el explosivo a utilizar en la voladura y evitar la creación de pilas con grandes cantidades.
- Usar itinerarios de transporte con poco movimiento de personal y maquinaria.
- Colocar los detonadores en lugar alejado de la zona de carga.
- Vigilar la zona de descarga de explosivos hasta su colocación en los barrenos y conexión de la pega.

#### b. Medidas en el área de la voladura

- Limpiar el área de la voladura retirando las rocas sueltas, la maleza, los metales y otros materiales.
- Delimitar con estacas o banderines de colores llamativos la zona a volar e impedir el paso de maquinaria sobre la misma.



- A la entrada del relevo anunciar al personal de operación de la realización de voladuras ese día.
- Impedir el acceso a la zona señalizada y proximidades al personal ajeno a las labores de manipulación de los explosivos.
- Reducir al máximo el equipo de personal de carga, y nombrar a un responsable y supervisor.
- Señalizar correctamente la ubicación de todos los barrenos.

## 6.3. SEGURIDAD EN LOS TRABAJOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

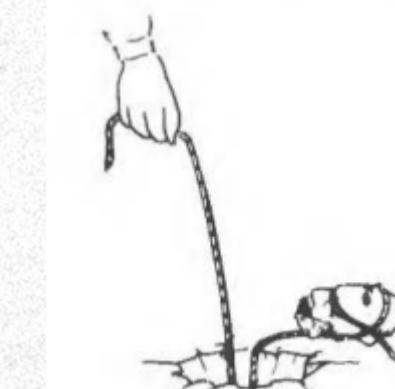
### 4. SEGURIDAD EN VOLADURAS

#### c. Medidas durante la carga de taladros

- Examinar cada barreno cuidadosamente antes de cargarlo para conocer su longitud y estado. usando para ello un atacador de madera. una cucharrilla extractora o incluso una cinta métrica.
- Prever siempre la posibilidad de peligro de electricidad estática cuando se efectúa la carga neumáticamente y tomar todas las medidas de precaución necesarias. como la de colocar una línea a tierra. Recordar que una baja humedad relativa en la atmósfera aumenta el riesgo de electricidad estática.
- Cortar del carrete el trozo de cordón detonante una vez que haya penetrado en el barreno y antes de introducir el resto de la carga explosiva.



- Evitar que las personas dedicadas a la operación de carga, tengan expuesto parte de su cuerpo sobre el barreno que está cargándose o estén colocadas en la dirección del mismo.
- Fijar el extremo del cordón detonante a una estaca de madera o roca para impedir su calda dentro de los barrenos.
- Comprobar la elevación de la carga de los explosivos a granel. y tomar las medidas pertinentes en caso de presencia de huecos o coqueras en los barrenos que han podido ser detectados durante la perforación o incluso durante la carga.

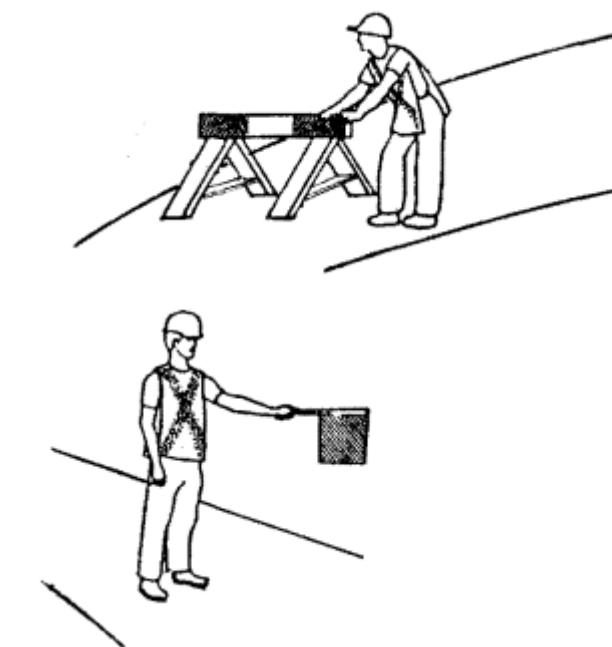


## 6.3. SEGURIDAD EN LOS TRABAJOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

### 4. SEGURIDAD EN VOLADURAS

#### d. Medidas antes y después de la voladura

- Cerciorarse de que todos los explosivos excedentes se encuentran en un lugar seguro y que todas las personas y vehículos estén a una distancia segura o debidamente resguardados.
- Impedir los accesos al área de las voladuras disponiendo del personal y medios adecuados.



- No disparar sin una señal de autorización de la persona encargada y sin haber dado el aviso adecuado.
- Disparar desde lugares seguros, campanas de protección, cazos de excavadoras, etc.
- No regresar al área de la voladura hasta que se hayan disipado los humos y los gases.
- No investigar un eventual fallo de las voladuras demasiado pronto. Cumplir los reglamentos y disposiciones establecidas para este fin, o en su defecto esperar un tiempo prudencial.
- En caso de fallo, no perforar o manejar una carga de explosivo sin la dirección de una persona competente y experimentada, que tenga autorización para ello.
- Organizar los trabajos de tal forma que el horario de voladuras coincida con el momento de menos personal presente, y procurar que se realice siempre a la misma hora.

## 6.4. NORMATIVAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN EL PERÚ

- Máximo representante en regular la manipulación, almacenamiento y distribución de explosivos es el SUCAMEN.
  - Directiva que regula las condiciones y medidas de seguridad de las instalaciones de almacenamiento de explosivos y materiales relacionados y disposiciones para la presentación de la solicitud de autorización de almacenamiento de explosivos y materiales relacionados 123-2020-sucamec
- 
- Decreto Legislativo N° 1127, que crea la Superintendencia Nacional de Control de Servicios de Seguridad, Armas, Municiones y Explosivos de Uso Civil–SUCAMEC.
  - Ley N° 30299, Ley de armas de fuego, municiones, explosivos, productos pirotécnicos y materiales relacionados de uso civil (en adelante, la Ley).
  - Decreto Supremo N° 010-2017-IN, a través del cual se aprueba el Reglamento de la Ley N° 30299 (en adelante, el Reglamento).
  - Decreto Supremo N° 009-2018-IN, que aprueba el TUPA de la SUCAMEC.
  - Decreto Supremo N° 024-2016-EM, a través del cual se aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.
  - Decreto Supremo N° 021-2008-MTC, a través del cual se aprueba el Reglamento Nacional de Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.

## 6.4. NORMATIVAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN EL PERÚ

- Decreto Supremo N° 032-2004-EM, a través del cual se aprueba el Reglamento de las Actividades de Exploración y Explotación de Hidrocarburos.
- Decreto Supremo N° 117-2019-PCM, que ratifica procedimientos administrativos de las entidades del Poder Ejecutivo como resultado del Análisis de Calidad Regulatoria de conformidad con lo dispuesto en el artículo 2 del Decreto Legislativo N° 1310, Decreto Legislativo que aprueba medidas adicionales de simplificación administrativa.
- Resolución Ministerial N° 1063-2019-IN, que dispone la eliminación, simplificación y reemplazo de requisitos, así como la adecuación de procedimientos administrativos en el TUPA de la SUCAMEC.
- Resolución de Superintendencia N° 005-2014/SUCAMEC, que aprueba la Directiva N° 001-2014-SUCAMEC, “Lineamientos para la formulación y uso de documentos oficiales en la Superintendencia Nacional de Control de Servicios de Seguridad, Armas, Municiones y Explosivos de Uso Civil.
- Resolución de Superintendencia N° 470-2019-SUCAMEC, que aprueba la Directiva N° 04-2019-SUCAMEC que regula el proceso de formulación, revisión, aprobación, codificación, registro y difusión de Directivas de la SUCAMEC en el marco de la gestión de procesos.
- Resolución de Superintendencia N° 1385-2017-SUCAMEC, que aprueba la Directiva 010-2017-SUCAMEC “Disposiciones sobre el procedimiento de expedición, contenido de las guías de tránsito y custodia para el traslado de explosivos y materiales relacionados de uso civil”.

## 6.5. PROYECCIÓN DE ROCA

Las proyecciones son lanzamientos incontrolados de fragmentos de roca que se producen en las voladuras y que constituyen una de las fuentes principales de daños materiales y lesiones a personas. Las condiciones que favorecen la aparición de proyecciones son las siguientes:

### A. La Geología

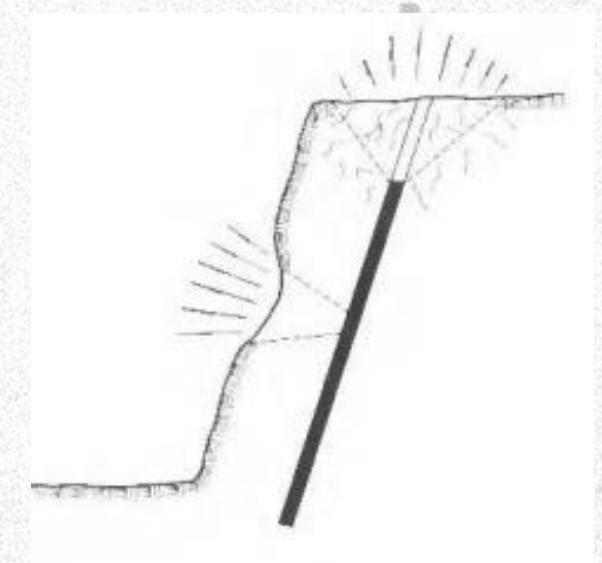
Las rocas intensamente fracturadas y diaclasadas presentan una mayor facilidad para dar lugar a proyecciones que las rocas masivas y homogéneas. Sin embargo, como estas últimas precisan de grandes cantidades de energía para obtener el grado de fragmentación requerido, es generalmente con este tipo de rocas con las que estas perturbaciones son más frecuentes.

### B. El explosivo y su distribución

En cuanto a la distribución del explosivo, es preciso comprobar que las variables geométricas de la voladura coinciden con las de diseño, especialmente en los siguientes casos:

- Cuando la parte superior del banco se encuentra fracturada como consecuencia de una sobreperforación excesiva de los bancos del nivel anterior o no se dispone de un retacado suficiente para eliminar el riesgo de bocazas.
- Cuando el frente de la voladura es muy irregular, y existen zonas a lo largo de la columna de explosivo con un valor de la piedra muy reducido

### C. El diseño de la voladura



# 6.5. PROYECCIÓN DE ROCA

## 1. MODELOS DE ALCANCE DE LAS PROYECCIONES

### A. Modelo Sueco

$$v_o = \frac{10 D \times 2600}{T_b \times \rho_r}$$

siendo:

$v_o$  = Velocidad inicial (m/s).

$D$  = Diámetro del barreno (pulg.).

$T_b$  = Tamaño de los trozos de roca (m).

$\rho_r$  = Densidad de la roca ( $\text{kg/m}^3$ ).

### B. Modelo americano

$$v_o = \sqrt{2E} \times f(q_i/m_i)$$

donde:

$v_o$  = Velocidad inicial.

$\sqrt{2E}$  = Constante de Gurney, función del explosivo.

$q_i$  = Concentración de explosivo por unidad de longitud.

$m_i$  = Masa total de material por unidad de longitud.

$$L_{\max} = 260 \times D^{2/3}$$

$$T_b = 0,1 \times D^{2/3}$$

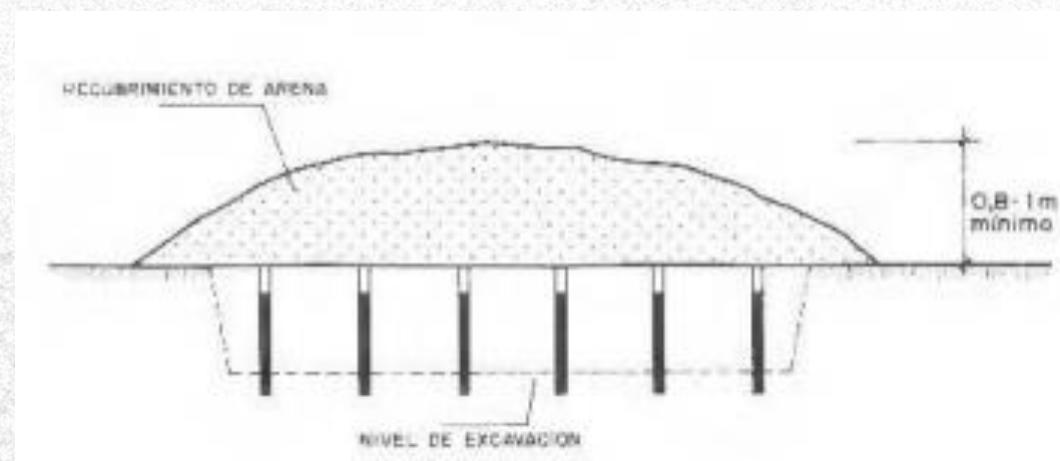
# 6.5. PROYECCIÓN DE ROCA

## 2. TÉCNICAS PARA MINIMIZAR LAS PROYECCIONES

Los sistemas de protección, de forma general, deben cumplir las siguientes características:

- Peso reducido y alta resistencia.
- Facilidad de unión o entramado de elementos.
- Permeabilidad a los gases.
- Facilidad de colocación y retirada.
- Económicos y recuperables para otras pegas.
- Alta capacidad para cubrir grandes superficies, etc

### 1. Protección de una voladura en zanja mediante una cubierta de arena.



### 2. Sistema de protección con neumáticos entramados.



### 3. Protección de voladura en banco

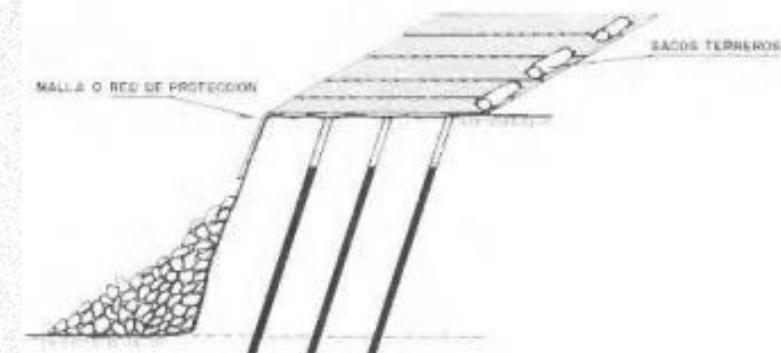


Figura 34.8. Protección de voladura en banco

# 6.5. PROYECCIÓN DE ROCA

## 2. TÉCNICAS PARA LA EJECUCIÓN DE VOLADURAS EN OPEN PIT

Para controlar las proyecciones producidas en las voladuras en banco, además de utilizar los elementos de protección adecuados, deben seguirse las siguientes recomendaciones:

- Perfecto replanteo de los esquemas de perforación, sobre todo en terrenos con perfil irregular.
- Control de las desviaciones y profundidades de los barrenos.
- Medida de la piedra de los barrenos de las primeras filas.
- Comprobación de existencia de coqueras en el macizo rocoso.
- Control de la carga del explosivo y su distribución a lo largo del barreno.
- Ejecución cuidadosa del retacado, midiendo su longitud y empleando el material adecuado.
- Elección de una secuencia de encendido que proporcione una buena salida de la voladura.

