

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE GEOLÓGICA, MINERA  
Y METALÚRGICA**



## **OPTIMIZACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LAS HERRAMIENTAS DE PERFORACIÓN DE ROCAS PARA PERCUSIÓN**

**INFORME DE INGENIERÍA  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERIA DE MINAS**

**PRESENTADO POR  
LUIS ENRIQUE DEL CARPIO GALLEGOS**

**PROMOCIÓN 81 – I**

**LIMA – PERÚ**

**2005**

## **Dedicatoria**

Al eterno amor de mi madre Amanda; y, al apoyo, comprensión y estímulo de mi amada esposa Virginia.

# INDICE

Introducción	
Capítulo 1: Tipos de minerales y rocas	5
1.1 La corteza terrestre	5
1.2 Minerales	5
1.3 Rocas	6
1.3.1 Clasificación por su origen	6
1.3.1.1 Rocas eruptivas	6
1.3.1.2 Rocas sedimentarias	7
1.3.1.3 Rocas metamórficas	7
1.3.2 Clasificación por su estructura	7
1.4 Penetrabilidad	8
1.5 Dureza y tamaño de los granos	8
1.6 Resistencia a la compresión	8
Capítulo 2: Principios de la perforación por percusión	10
2.1 Perforación por percusión	10
2.2 Parámetros de perforación	11
2.2.1 Percusión	12
2.2.2 Avance	13
2.2.3 Rotación	15
2.2.4 Barrido	16
Capítulo 3: Propiedades de los aceros de perforación	19
3.1 Acero de perforación	19
3.1.1 Contenido de carbono	19
3.1.1.1 Endurecimiento superficial por alta frecuencia.	20
3.1.1.2 Carburización	20
3.1.1.3 Comparación entre la carburización y templado por alta frecuencia (HF)	21
3.1.2 Chorro de perdigones	21
3.1.3 Protección contra la corrosión SR	21
3.2 Carburo cementado	22
3.2.1 Propiedades	22

3.2.2 Contenido de cobalto	23
3.2.3 Resistencia al desgaste	23
3.3 Carburo cementado DP	23
3.4 Inserción del carburo cementado	24
Capítulo 4: Componentes de una columna de perforación	25
4.1 Adaptador de culata	25
4.2 Barra MF	26
4.3 Broca de botones	26
Capítulo 5: Optimización de la vida útil de las herramientas de perforación de rocas para percusión	29
5.1 Ajuste adecuado de los parámetros de perforación	29
5.2 Uso correcto de las herramientas de perforación de roca.	33
5.2.1 Posicionamiento	33
5.2.2 Emboquillado	34
5.2.3 Perforación	35
5.2.4 Avance	36
5.2.5 Rotación	37
5.2.6 Barrido	38
5.2.7 Grasas para roscas	39
5.2.8 Barras dobladas y obstruidas	40
5.2.9 Aflojamiento de juntas roscadas	41
5.2.10 Desgaste	42
5.2.11 Transporte y almacenamiento	43
5.3 Oportuno y correcto afilado de las brocas de botones.	44
5.3.1 Desgaste del metal duro	44
5.3.2 Intervalos de afilado	45
5.3.3 Rutinas fijas de afilado	46
5.3.4 Afilado	46
Capítulo 6: Conclusiones	48
Bibliografía	49

## **INTRODUCCIÓN**

Un sistema de perforación de rocas está compuesto por la roca, la perforadora y las herramientas de perforación. El más amplio y profundo conocimiento de las características y el comportamiento de cada uno de estos elementos ayudará a alcanzar una mayor vida útil de las herramientas de perforación de rocas.

El aumento de la vida útil de las herramientas de perforación de rocas significará más metros perforados, y por lo tanto un ahorro en el costo de perforación.

Este trabajo expone el empleo de los conocimientos fundamentales de la perforación que permite alcanzar una mayor vida útil de los aceros de perforación de rocas.

# CAPÍTULO I

## TIPO DE MINERALES Y ROCAS

### 1.1 La corteza terrestre

La corteza terrestre está constituida por diferentes tipos de rocas que están formadas por uno o más compuestos químicos o elementos minerales.

La corteza terrestre tiene el siguiente esquema:

1. Fondo marino: caliza.
2. Vetas de minerales: galena, blenda, pirita.
3. Sedimentos residuales: bauxitas, lateritas, arcillas.
4. Sedimentos detríticos: cuarzo, arenisca.
5. Vetas de minerales oxidados: azurita, malaquita, cuprita.
6. Lecho de río sedimentos fluviales: (oro, platino, diamantes, casiterita, magnetita).
7. Rocas volcánicas: basalto, andesina, cuarzo, mica, feldspatos.
8. Arenisca metamórfica: cuarcita.
9. Caliza metamórfica: calcita, dolomita, mármol.
10. Pizarras metamórficas: mica, esquistos, granate, feldespatos.
11. Zona de contacto: hornablenda, sulfuros.

### 1.2 Minerales

Los minerales más comunes que forman una roca son el cuarzo, la calcita, el feldespato, la hornablenda, la mica y la clorita. Los minerales por su dureza están normalmente clasificados de acuerdo a la escala de Mohs:

1. Talco: fácilmente triturado entre los dedos.
2. Yeso: fácilmente rayado con la uña.

3. Calcita, mica: difícilmente rayada con la uña.
4. Fluorita: fácilmente rayada con una cuchilla.
5. Apatita, hornablenda: eficazmente rayada con una cuchilla
6. Feldespatos: difícilmente rayados con una cuchilla.
7. Cuarzo: raya el vidrio. Rayado con aceros especiales.
8. Topacio: raya el vidrio. Rayado con berilo (agua marina).
9. Corindón: raya el vidrio. Rayado con diamante.
10. Diamante: raya el vidrio.

## **1.3 Rocas**

### **1.3.1 Clasificación por su origen**

Las rocas son clasificadas en tres grupos según el modo en que fueron formadas: rocas eruptivas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas.

#### **1.3.1.1 Rocas eruptivas**

Las rocas eruptivas son formadas por las masas o mantos de lava (magma) solidificados y cristalizados.

Si un magma es solidificado lentamente y sometido a una presión alta, a gran profundidad, se forma una roca de cristales mayores y grano grueso como el granito, la monzonita, etc.

Cuando el magma emerge más próximo a la superficie de la tierra, en forma de lava, las masas se enfriarán más rápidamente y formarán una roca con granos más finos, como el basalto, pórfido y diabasa.

### 1.3.1.2 Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias están formadas por el material intemperizado de la corteza sólida de la tierra, el mismo que con el tiempo se ha erosionado, ha sido transportado y sedimentado en las bocas de los ríos y sobre el fondo de mares prehistóricos. Ejemplos de rocas sedimentarias son: areniscas, pizarras, calizas.

### 1.3.1.3 Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas están formadas a partir de rocas eruptivas o sedimentarias. La influencia de la presión, de la temperatura o del intercambio de elementos con el ambiente circundante transforma su estructura y composición.

<u>Rocas metamórficas</u>	<u>Origen</u>
Leptita, leptita-gneis	Lava volcánica
Gneis	Granito
Anfíboles	Diabasa, basalto
Cuarcita	Arenisca de cuarzo
Mármol o caliza cristalina	Calizas

### 1.3.2 Clasificación por su estructura

Las diferentes especies de roca pueden también ser clasificadas de acuerdo a su propia estructura. Si los granos de los minerales están mezclados en una masa homogénea, la roca es masiva o maciza, por ejemplo: el granito. En una roca de especie laminada o estratificada los granos de minerales están arreglados según capas o láminas. En las pizarras, los granos de minerales también están dispuestos en capas, pero al haber estado sometidos a la presión y quizás al calor, cada capa se compactó en forma de losa.



## **1.4 Penetrabilidad**

La penetrabilidad de una roca depende básicamente de la dureza y del tamaño de los granos de los minerales incluidos.

## **1.5 Dureza y tamaño del grano**

El cuarzo es uno de los minerales formadores de roca más común. Como el cuarzo es muy duro, un alto contenido de cuarzo (índice de dióxido de silicio) hará que la roca sea más difícil de perforar ya que ocasiona un mayor desgaste en las herramientas de perforación. La roca, en este caso, es abrasiva. En contraste, una roca con un alto contenido de calcita es fácilmente perforada y originara reducido desgaste de herramientas de perforación. La roca es poca abrasiva.

Una roca con una estructura de grano grueso resulta mucho más fácil de perforar y produce menos desgaste que otra de grano fino. Esto significa que dos rocas aproximadamente el mismo contenido de mineral pueden tener distintos grados de penetrabilidad. Por ejemplo, la cuarcita puede ser de grano fino (0.5 – 1.0 mm) o compacta (0.05 mm). El granito puede ser de grano grueso (hasta 5 mm), medio (1 – 5 mm), o fino.

## **1.6 Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión de una roca es la medida que define la capacidad de una muestra de roca para resistir a una carga estática aplicada sobre ella, hasta que la misma se quiebre. Esta magnitud a menudo es usada para medir la penetrabilidad.

En términos generales se puede decir que la penetrabilidad de una roca es inversamente proporcional a su resistencia a la compresión. Es decir, si en una roca, con una resistencia a compresión de 2000 bar, la velocidad de penetración es de 90 cm/min, en una roca más blanda, por

ejemplo, con una resistencia a la compresión de 1500 bar, la velocidad de penetración será:  $90(2000)/1500 = 120 \text{ cm/min}$ .

Si la estructura de la roca es de granos gruesos, la perforación será más fácil y habrá menos abrasividad, en comparación con una roca con una estructura de granos finos: consecuentemente, dos rocas con aproximadamente un mismo contenido de mineral pueden tener penetrabilidad completamente diferentes.

La cuarcita, por ejemplo, puede ser de granos finos (tamaño de los granos 0.5 – 1.0 mm) o densa (con granos de 0.05 mm). Y un granito puede ser de granos gruesos (5 mm), media (1 – 5 mm), o de granos finos (0.5 – 1.0 mm).

En la mayoría de los casos es difícil clasificar una especie de roca, de acuerdo a su penetrabilidad. Dependiendo muchas veces las definiciones de un criterio a otro. Una indicación razonable de penetrabilidad de roca puede ser obtenida estudiando la composición mineralógica, el tamaño de los granos y la estructura de la misma.

Para poder proporcionar recomendaciones detalladas en cuanto a perforación, normalmente es necesaria una prueba de perforación en el terreno.

## **CAPÍTULO 2**

### **PRINCIPIOS POR PERFORACIÓN POR PERCUSIÓN**

#### **2.1 Perforación por percusión**

En la perforación por percusión, la energía se transmite desde la perforadora, a través de la varillaje y los botones de carburo cementado, hasta la roca, donde se usa para el trabajo de trituración.

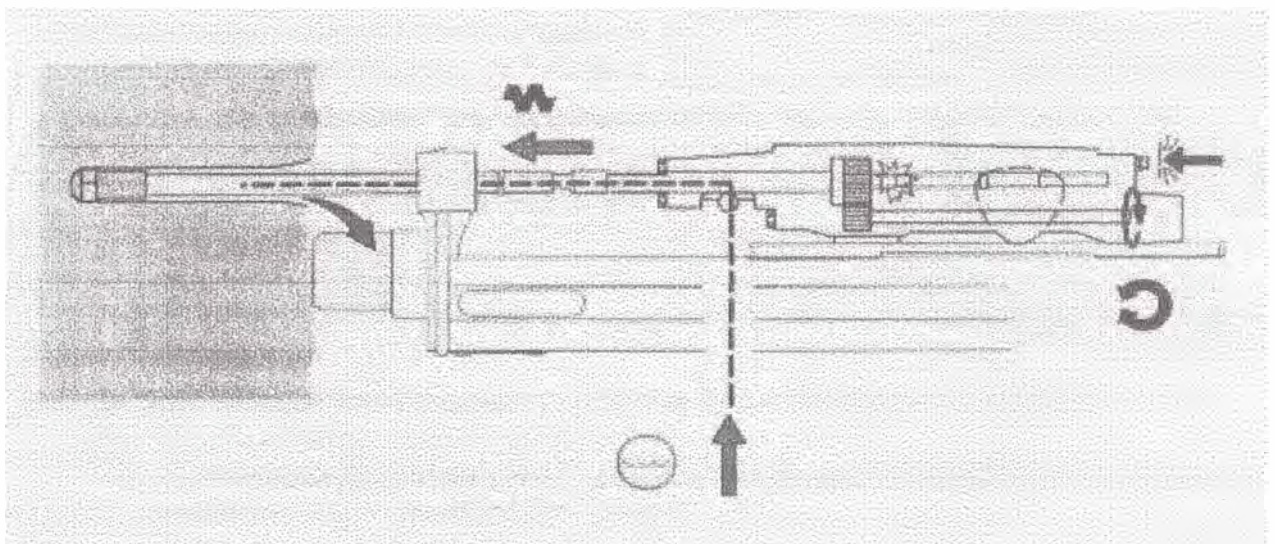
El componente principal en una perforadora es el pistón, el cual es puesto en movimiento de vaivén y golpea la culata de la barra. La energía cinética del pistón se transmite a la barra en forma de onda de choque. Si el pistón y la barra tienen la misma sección transversal, la barra se “comprimirá” una distancia equivalente al doble de la longitud del pistón. Al mismo tiempo se produce un ligero “ensanchamiento” de la barra (estas modificaciones geométricas son extremadamente pequeñas y no pueden ser vistas o sentidas). La onda de choque se desplaza por la barra a una velocidad de 5000 m/s (igual a la velocidad del sonido a través del acero). La forma de la onda de choque está determinada por la velocidad de los impactos, la geometría del pistón y de la barra. La amplitud (A) de la onda de choque depende de la velocidad de impacto.

Una elevada amplitud significa un alto nivel de tensión en la barra, lo que resulta en una vida útil más corta. Por lo tanto, para transmitir la mayor cantidad posible de energía, y mantener al mismo tiempo una larga vida útil de la barra, la onda de choque ideal debe ser “extendida”, y tener un nivel de extensión bajo y uniformemente distribuido.

Para perforar hasta la profundidad deseada, a veces puede ser necesario unir diferentes barras. Cada unión (o cualquier otro cambio en la dimensión de las barras), tiende a reflejar una parte de la onda de choque. Así mismo, el movimiento de la onda de choque a través del

varillaje produce fricción entre las roscas de las barras y las de los manguitos de acoplamiento, originando desgaste en las roscas y pérdidas de energía por generación de calor. En la primera unión, las pérdidas de energía son del orden del 5 –7 por ciento, pero disminuyen gradualmente en las respectivas uniones. La energía de la onda de choque que llega finalmente a la broca se transforma en trabajo de perforación en la superficie de contacto entre los botones de carburo cementado y la roca. La parte de energía que no se utiliza, se refleja y retrocede a través del varillaje. Normalmente es absorbida por algún dispositivo de amortiguación en la perforadora.

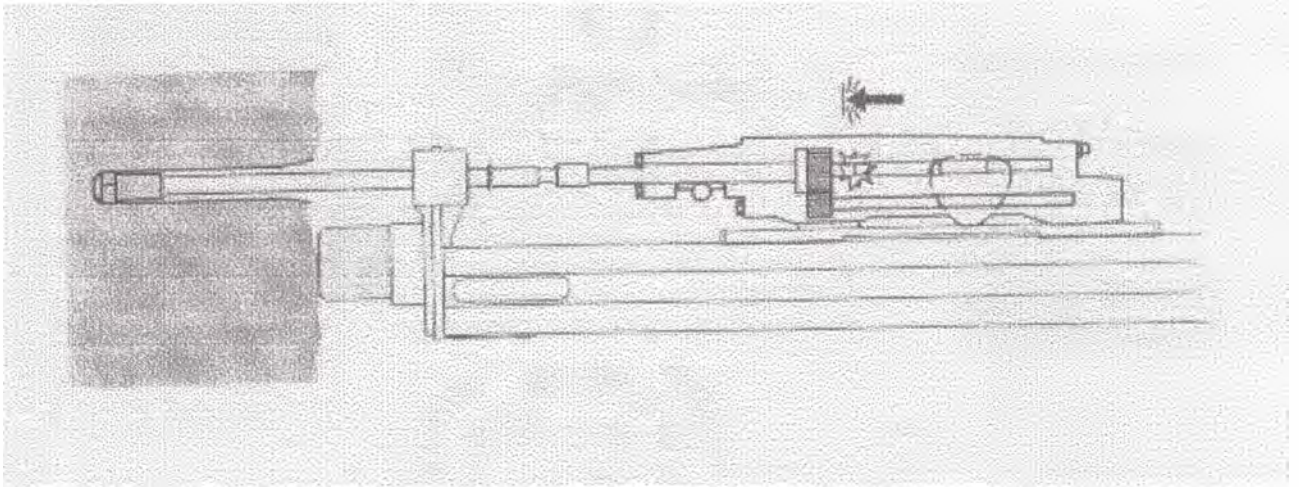
## 2.2. Los parámetros de perforación



Existen cuatro funciones principales en la perforación por percusión:

- Percusión, permite a la broca la penetración en la roca.
- Avance, mantiene a la broca en permanente contacto con la roca.
- Rotación, gira la broca en una nueva posición antes del siguiente impacto.
- Barrido, limpia el fondo de los taladros de los detritos de perforación.

## 2.2.1 Percusión



El impacto de la energía generada por el pistón de la perforadora es transmitido a la roca través del varillaje de perforación y la broca.

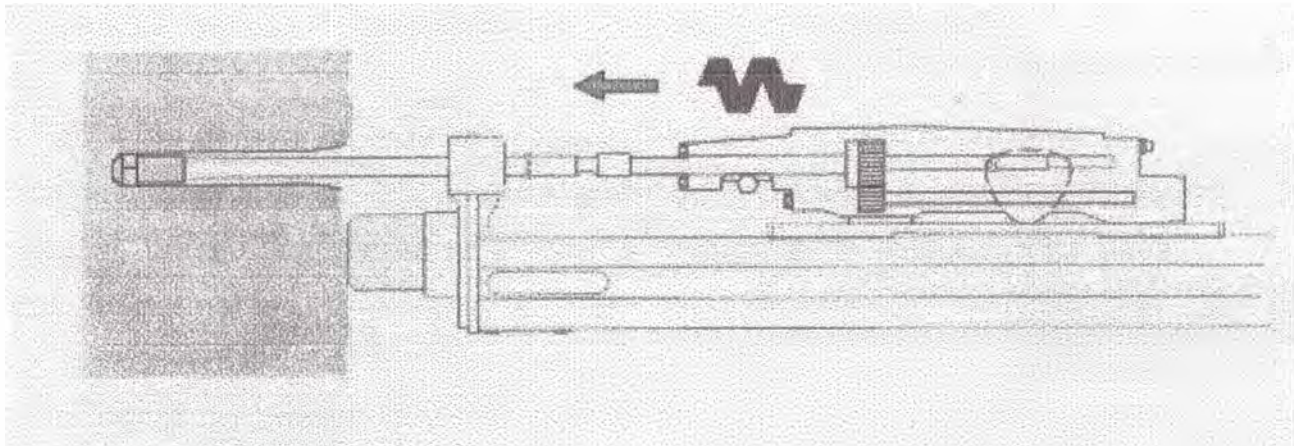
La potencia de percusión transmitida a través de las herramientas de perforación es una combinación de la fuerza de impacto y la frecuencia de impacto. Esta potencia es directamente controlada por el nivel de presión de percusión.

Uno de los elementos básicos en la perforación es la capacidad de energía transmitida del equipo de perforación. Existe una energía cinética máxima que puede ser transmitida con el equipo de perforación de un determinado tamaño. Cuando la capacidad de energía transmitida del equipo de perforación es excedida, el daño del equipo de perforación aumenta rápidamente.

La potencia de percusión empleada depende del terreno que está siendo perforado. Si la roca es suave, emplee presión en el bajo nivel del rango; si la roca es dura, puede utilizar presión desde el alto nivel del rango. La determinación de la presión de percusión es frecuentemente una combinación de la velocidad de penetración y la vida útil del equipo de perforación.



### 2.2.2 Avance



El propósito del avance es mantener el adaptador de culata en permanente contacto con la perforadora y la broca en estrecho contacto con la roca.

Cuando la presión de percusión es incrementada, la presión de avance deberá también ser incrementada. La apropiada fuerza de avance depende de la presión de percusión, el tipo de roca, la longitud del taladro, y el tamaño y el tipo del equipo de perforación.

Una roca fracturada deberá ser perforada empleando baja presión de percusión y baja presión de avance. La óptima presión de avance se determina "observando" y "escuchando".

#### OBSERVANDO:

- Suave movimiento de la perforadora hacia delante (sin saltos o sacudidas de la cadena de avance).
  - Suave rotación de los aceros de perforación (RPM constante).
  - Estrecha unión del adaptador de culata (acople no sobre calentado/tornándose azul/humeando).
- Velocidad de penetración estable.

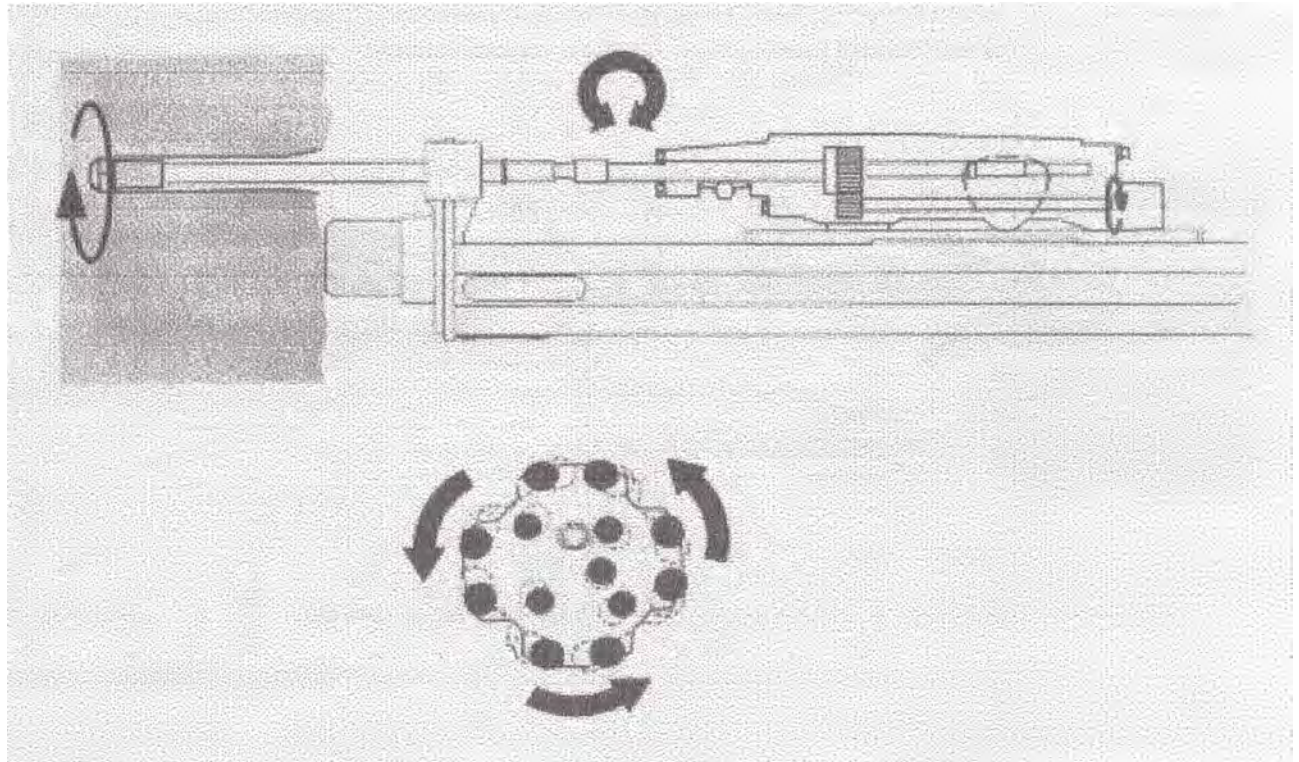
## ESCUCHANDO:

- “sólido” sonido de percusión (sin un sonido de “cascabeleo”).

Una fuerza de avance muy alta no aumenta la velocidad de penetración – sólo incrementará el desgaste de la broca y causará la desviación del taladro, barras flexionadas y producirá presiones de rotación más altas que las normales.

Una fuerza de avance muy baja ocasionará que la broca no permanezca en contacto con la roca que está siendo perforada. Si esto es permitido que ocurra, la energía de percusión reflejará hacia las herramientas de perforación (en vez de ir hacia la roca) causando daño a los aceros de perforación, la perforadora y al avance.

### 2.2.3 Rotación



La función principal de la rotación en la perforación por percusión es girar la broca a una nueva posición después de cada golpe desde el pistón. La óptima velocidad de rotación depende de la geometría y el tamaño de la broca, la penetrabilidad de la roca (dureza, abrasividad, etc.), y las otras funciones principales de la perforación.

Una velocidad de rotación muy baja ocasiona pérdida de energía debido a la trituración de los detritos y a las bajas velocidades de penetración.

Una velocidad de rotación muy alta produce excesivo desgaste de broca porque la roca es triturada por rotación en lugar de percusión. Más altas velocidades de rotación que las necesarias también conducen a acoplamientos excesivamente ajustados, causando problemas de desacople.



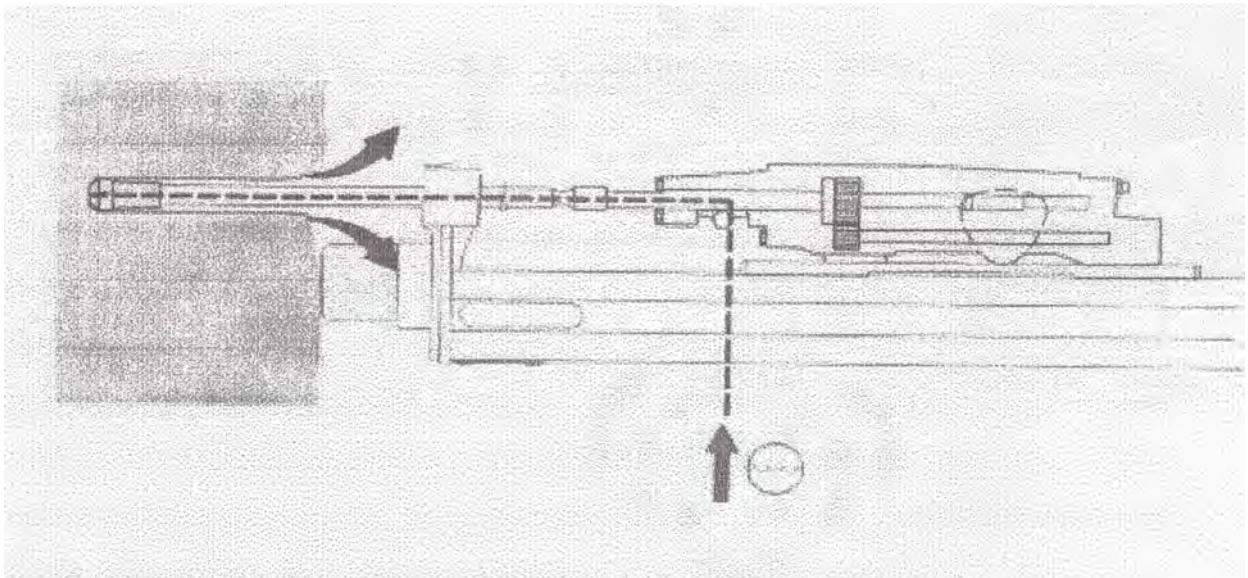
La velocidad de rotación de la broca entre cada impacto se ha de ajustar de tal modo que se obtenga una rotura óptima de la roca en el taladro, impidiendo que los botones de la broca golpeen varias veces en el mismo punto de la roca.

Para las combinaciones normales de broca/energía de percusión, el recorrido  $b$  de 9 a 10 mm ofrece una rotura óptima de la roca. Si el diámetro de la broca es  $D$ , y  $f$  es la frecuencia de percusión, la velocidad de rotación  $n$  se expresa con la fórmula:

$$N = (60 \times f \times b) / (\pi \times D)$$

Por tanto, si  $f = 10$  Hz y el diámetro de barreno  $D = 102$  mm,  $n$  será aproximadamente 90 rpm.

#### 2.2.4 Barrido



El propósito del barrido es remover los detritos desde el fondo del taladro. El agua de barrido viaja hasta el fondo del taladro a través de la barra y los orificios de la broca. La roca triturada se mezcla con el agua de barrido

y es evacuada del taladro a través del espacio entre la barra y las paredes del taladro.

Un pobre barrido conduce a una baja velocidad de penetración (aumenta la molienda o trituración), disminuyendo la vida de los aceros de perforación, aumentando del desgaste de la broca e incrementando el atasco de las barras.

Para que se lleve a cabo la perforación, es necesario mantener limpio el fondo del taladro, es decir, los trozos de roca se deben evacuar de forma continua. Esto se consigue con un agente de barrido – aire, agua o espuma – que se inyecta a presión hasta el fondo del taladro a través de un orificio central en la barra y los conductos de barrido que tiene la broca.

Los detritos – partículas de roca mezclada con el agente de barrido – se evacua a través del espacio anular entre las paredes del taladro y la barra de perforación.

El barrido por agua se utiliza en las perforaciones subterráneas, ya que elimina eficazmente el polvo que se genera durante la perforación.

Para que la evacuación del detritus sea eficaz, el agente de barrido debe desplazarse a cierta velocidad entre el anillo que forman las paredes de taladro y las barras. Un aumento del espacio anular se traduce en una menor velocidad, si la presión del agente de barrido permanece inalterada. Cuando la perforación es vertical descendente y se utiliza agua como agente de barrido, la velocidad puede ser de sólo 0.4 a 1 m/s. En el caso de barrido por aire, la velocidad debe oscilar entre 10 y 30 m/s. La densidad de la roca determinará la velocidad de barrido necesaria para una eficaz evacuación del detritos desde el fondo del taladro.

Al ser fijas las dimensiones de los tubos y de los orificios de barrido, la única forma de aumentar la velocidad de barrido es incrementar la presión de entrada, aumentando así el volumen de barrido por unidad de tiempo. Para el barrido por aire o por agua se utilizan normalmente presiones de 5 – 12 bar.

## **CAPITULO 3**

### **LAS PROPIEDADES DE LOS ACEROS DE PERFORACIÓN**

#### **3.1 Aceros de perforación**

El acero de las herramientas de perforación de rocas debe poseer las siguientes propiedades básicas:

- alta resistencia a la fatiga
- alta resistencia a la flexión
- alta resistencia al desgaste en las roscas y culatas

En las roscas, el acero normalmente está expuesto al desgaste debido a pequeños movimientos entre el manguito y la barra causados por la onda de choque a su paso. Las culatas sufren un desgaste mecánico y abrasivo como resultado de la percusión directa del pistón y la fuerza de torsión transmitida por la bocina de rotación. Si la resistencia al desgaste del acero usado para esto es alta, el desgaste será menor. Si la superficie es demasiado dura, se volverá muy frágil y se reducirá su resistencia a la fatiga.

El rendimiento óptimo se obtiene con un acero que tenga un núcleo tenaz (que confiera una alta resistencia a la fractura por fragilidad) y una superficie más dura. Esta combinación proporciona una elevada resistencia tanto al desgaste como a la fatiga, y se puede lograr en dos formas:

#### **3.1.1 Contenido de carbono**

1. El acero con alto contenido de carbono se usa para barrenos integrales. La temperatura usada en el proceso siderúrgico de estas barras está ajustada para dar al acero la dureza deseada. La

parte de la culata es tratada térmicamente por separado para resistir las cargas de los impactos del pistón.

2. El acero con bajo contenido de carbono se usa para barras de extensión, culatas, manguitos y brocas. Después de ser mecanizados, se otorga a los productos una superficie resistente al desgaste mediante una capa endurecida por la temperatura de un horno de alta frecuencia o por el proceso de carburización gaseosa.

### **3.1.1.1 Endurecimiento superficial por alta frecuencia**

En el endurecimiento superficial HF (alta frecuencia), la superficie se calienta rápidamente hasta aproximadamente 900 grados centígrados y después se sumerge inmediatamente en agua. Esto produce una superficie dura, e introduce una resistencia a la compresión en la capa exterior del acero, que aumenta la resistencia a la fatiga. El método de endurecimiento superficial HF se aplica en las roscas de las barras, manguitos y ciertos tipos de brocas.

### **3.1.1.2 Carburización**

La dureza del acero endurecido depende del contenido de carbono. Mediante la carburización, que se realiza en un horno con un gas rico en carbono a una temperatura de aproximadamente 925 grados centígrados, se aumenta el contenido de carbono en la capa superficial.

En el proceso de endurecimiento posterior, se confiere un elevado grado de dureza a la capa exterior del acero y se introduce la resistencia a la compresión. El objetivo principal de la resistencia a la compresión es el de aumentar la resistencia a la fatiga del acero, mientras que el aumento de la dureza hace que mejore su resistencia al desgaste. Se obtiene una

zona externa carburizada, tanto en la superficie exterior de la barra como en el orificio de barrido. La carburización se aplica en las barras roscadas, adaptadores, manguitos de acoplamiento y en ciertas brocas.

### **3.1.1.3 Comparación entre la carburización y templado por alta frecuencia (HF)**

La carburización da una superficie más dura y consecuentemente más resistente al desgaste en las roscas. Produce también tensión de compresión a lo largo de toda la superficie incluyendo el orificio de barrido, aumentando así la resistencia a la fatiga y la flexión. La carburización aumenta la resistencia contra la corrosión. La menor dureza superficial, resultado del templado por alta frecuencia, reduce el riesgo de "pitting" (fisuras superficiales) al perforar con barrido por aire comprimido. Los productos templados por alta frecuencia son menos sensibles a choques o golpes en su superficie.

### **3.1.2 Chorro de perdigones**

El método de bombardeo con perdigones de acero se emplea para aumentar la resistencia a la fatiga del acero. Bombardeando la superficie con pequeñas bolas de acero se incrementa la resistencia a la compresión en la capa superficial. Este método también se aplica a los productos que no han sido carburizados ni endurecidos por alta frecuencia.

### **3.1.3 Protección contra la corrosión SR**

Cuando se administra el tratamiento contra la corrosión SR, se fosfatizan primero tanto la superficie externa de la barra como el orificio de barrido, y después se aplica una capa protectora de cera. La capa de cera en el orificio de barrido permanece intacta durante toda la vida útil de la barra.

Es esencial una protección eficaz, ya que el menor ataque de corrosión crea un punto de partida para una rotura por fatiga. Como forma alternativas de protección contra la corrosión se puede emplear grasa o pintura.

### **3.2 Carburo cementado**

El carburo cementado que se emplea en la perforación de rocas se compone de una mezcla sintetizada de carburo de tungsteno y cobalto. El carburo de tungsteno confiere a los botones o plaquitas la dureza y la resistencia al desgaste, mientras que el cobalto imprime la tenacidad.

El carburo cementado se produce mediante un proceso de polvo metalúrgico. Los ingredientes, en forma de polvo, se compactan hasta adquirir la forma correcta, a alta presión. A continuación se sintetizan a alta temperatura, mediante lo cual los granos de polvo se amalgaman y el botón o plaquita se contrae hasta su tamaño final.

#### **3.2.1 Propiedades**

El carburo cementado posee las siguientes propiedades:

- Alta resistencia al desgaste, una dureza de 1100 – 1500 H (aproximadamente 9 en la escala de Mohs)
- Una resistencia a la compresión más alta que el acero.
- Alta densidad, 14500 kg/m<sup>3</sup>.
- Una conductividad térmica más elevada que el acero.
- Un coeficiente de expansión térmica más bajo que el acero (aproximadamente 50%).

La resistencia al desgaste (dureza) y la tenacidad (una combinación de resistencia a la compresión y a la tracción) son las características más

importantes en la perforación de rocas. Estas dos propiedades están influenciadas por:

### **3.2.2 Contenido de cobalto**

1. El contenido de cobalto, que normalmente se encuentra entre 6 y 12% por peso.
2. El tamaño de grano del carburo de tungsteno normalmente 2 – 5  $\mu\text{m}$ .

### **3.2.3 Resistencia al desgaste**

Rigen las siguientes relaciones:

- Menor contenido de cobalto, mayor resistencia al desgaste.
- Menor tamaño de grano, mayor resistencia al desgaste.
- Mayor resistencia al desgaste, menor tenacidad (material más frágil).

### **3.3 Carburo cementado DP**

No obstante, las citadas relaciones no son válidas para un nuevo tipo de carburo cementado recientemente desarrollado. El nuevo producto se conoce como carburo cementado DP, que deriva de las letras iniciales de los términos ingleses “Dual Property” (Doble Propiedad). Mediante la tecnología DP se puede aumentar tanto la resistencia al desgaste como la tenacidad del carburo cementado. Alternativamente, también es posible aumentar una de las propiedades al margen de la otra. El carburo cementado DP resulta especialmente adecuado para las brocas de botones. Un botón fabricado con carburo cementado DP se compone de un determinado número de zonas con distinto contenido de cobalto. Estas zonas se pueden cambiar a fin de adecuarlas a las características de desgaste de las diferentes formaciones de roca.



La posibilidad de conferir al carburo cementado DP diferentes combinaciones de resistencia al desgaste y tenacidad ofrece un potencial único en el desarrollo de las brocas de botones. Las brocas DP pueden perforar mucho más rápido que las brocas actuales, y ofrecer una vida útil considerablemente más larga en diferentes aplicaciones.

### **3.4 Inserción del carburo cementado**

Los botones se fijan por contracción o presión en frío. Cuando se fijan por contracción, se taladran unos orificios en el cuerpo de la broca, la cual se calienta y se colocan los botones en su posición mientras aún está caliente. Cuando el acero se enfría, los orificios se contraen, fijando los botones firmemente.

Las tolerancias entre los botones de carburo cementado y el cuerpo de la broca son muy importantes. Todos los orificios donde irán alojados los botones se miden uno por uno, con una precisión de tan solo unas milésimas de milímetro. Los botones se rectifican hasta obtener su redondez exacta y a continuación se miden con el mismo grado de precisión.

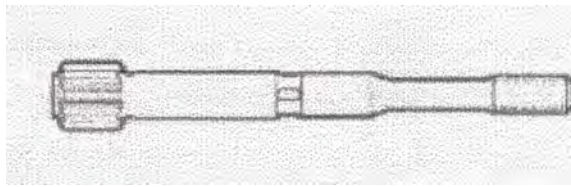
## CAPÍTULO 4

### LOS COMPONENTES DE UNA COLUMNA DE PERFORACIÓN

Una columna de perforación puede estar compuesta de los siguientes elementos:

- un adaptador de culata
- una barra MF
- una broca de botones

#### 4.1 El adaptador de culata



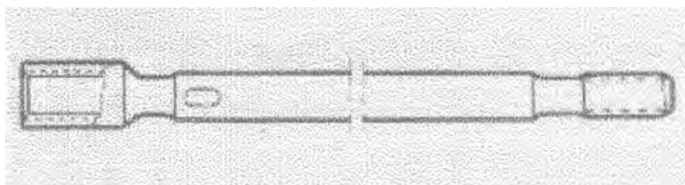
El adaptador de culata es fijado a la perforadora y transmiten la energía de impacto y la rotación de ésta a la columna de perforación. La superficie de impacto, estrías y roscas deben ser muy resistentes al desgaste. Los adaptadores por esto se someten a endurecimiento superficial a través de carburización.

La forma de la culata depende del diseño de la bocina de rotación de la perforadora.

En muchas perforadoras modernas se usan culatas de diseño esbelto, significando con esto que la parte entre la rosca y las estrías es de una sección menor. Esto hace que el adaptador sea más elástico y capaz de absorber mejor las tensiones de flexión.

El tubo de barrido entra en el adaptador pasando por una empaquetadura o sello.

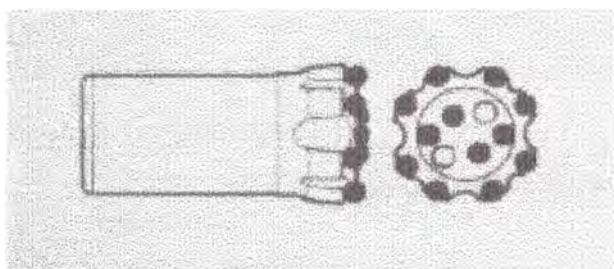
#### 4.2 La barra MF



Las barras MF tienen una rosca hembra en un extremo y una rosca macho en el otro.

La sección de la barra puede ser redonda o hexagonal. El ancho de las barras hexagonales (cotas medidas entre caras) es equivalente al diámetro de la correspondiente barra de sección redonda. Esto quiere decir que las barras hexagonales tienen una mayor superficie transversal y por lo tanto una mayor cantidad de material: son más fuertes y más rígidas que las barra de sección redonda del mismo tamaño, y además pesan algo más.

#### 4.3 La broca de botones



La broca es elemento de la columna de perforación que realiza el trabajo de trituración. La parte de la broca que está en contacto con la roca está conformada por metal duro en forma de botones.

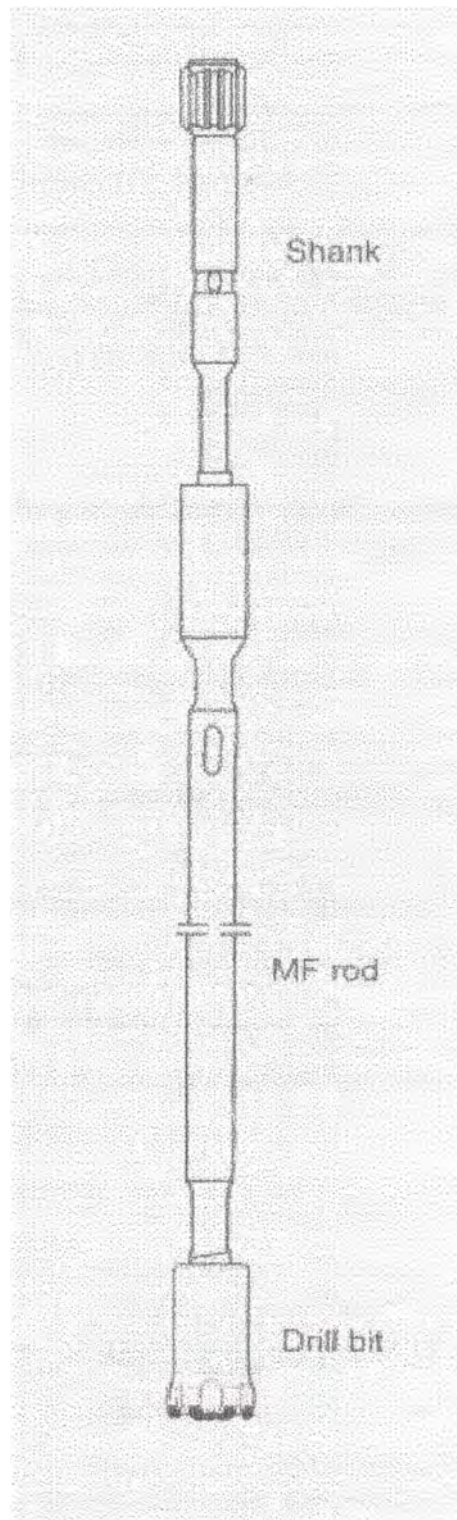
La barra roscada normalmente se atornilla hasta el fondo de la rosca de la broca. La energía de impacto es transmitida por entre la punta de la barra y el fondo de la rosca de la broca.

El agente de limpieza es introducido a través del orificio de barrido de las barras y es distribuido a través de los orificios de barrido central y laterales en el frente de la broca.

El frente de la broca necesita tener espacio para el barrido. Con este fin se han hecho pasajes por donde pueden pasar los detritos.

Para que la perforación prosiga sin interrupciones, la broca requiere tener su mayor diámetro el frente. La parte frontal de la broca es, por este motivo, fabricada con un cierto ángulo de conicidad. Si la broca está sujeta a desgaste lateral, se forma un contra cono. Consecuentemente, la conicidad normal desaparece y la broca empieza a ajustarse demasiado en el taladro aumentando el riesgo de atascamiento.

Este un ejemplo de una columna de perforación compuesta por un adaptador de culata (Shank), una barra MF (MF rod) y una broca de botones (drill bit).



## **CAPÍTULO 5**

### **OPTIMIZACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LAS HERRAMIENTAS DE PERFORACIÓN DE ROCAS PARA PERCUSIÓN**

En la perforación de rocas por percusión, la vida útil de las herramientas de perforación de rocas pueden mejorarse básicamente realizando las siguientes actividades:

- ajuste adecuado de los parámetros de perforación
- uso correcto de las herramientas de perforación de roca
- oportuno y correcto afilado de las brocas de botones

#### **5.1 Ajuste adecuado de los parámetros de perforación**

La relación entre la presión de percusión, la presión de avance, la velocidad de rotación y el necesario flujo de barrido también como sus ajustes correctos dependen de varios factores tales como la condición de la roca, el tipo de broca y el diámetro del taladro.

Los parámetros de perforación tienen que ser ajustados siempre de acuerdo a las reales condiciones de perforación. La siguiente tabla presenta los parámetros de perforación que son empleados en pruebas de perforación de fábrica en granodiorita homogénea. La tabla 5.1 “Reconociendo parámetros de perforación incorrectos” puede ser usada como una guía para ajustar los parámetros apropiados para las reales condiciones de perforación.

Un ejemplo de parámetros para una perforación normal con broca de 9 botones y 45 milímetros de diámetro.

	Percusión (bares)	Avance (bares)	Rotación (bares)	Barrido (bares)	Velocidad de rotación (rpm)
Emboquillado	90	45	50	12	190
Perforación	175	90	85	12	190

La velocidad de rotación puede ser medida con un tacómetro.

Durante la perforación, el operador puede controlar la presión de avance y la potencia de percusión con las perillas de ajuste.

**Tabla 5.1 Reconociendo los parámetros de perforación incorrectos**

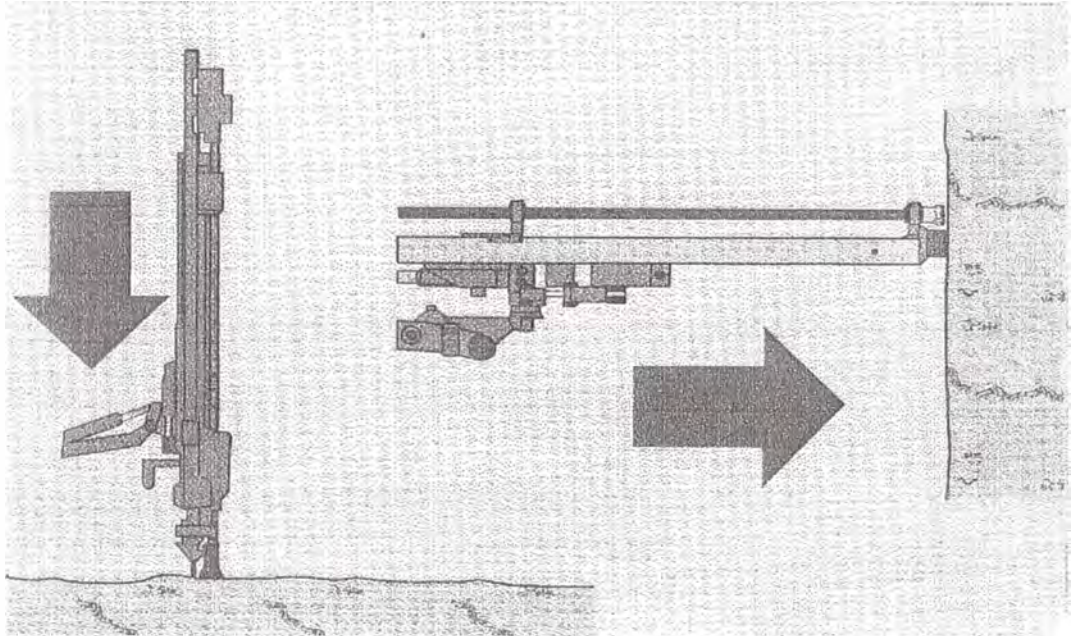
	<b>Falla</b>	<b>Causas</b>
<b>PERCUSIÓN</b>	Presión de percusión muy alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mayor desgaste de la broca.</li> <li>– Menor vida útil de la perforadora y las herramientas de perforación.</li> <li>– Mayor riesgo de atasco de la barra.</li> </ul>
	Presión de percusión muy baja	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Menor velocidad de penetración (Cuando se perfora en roca suave, la mejor velocidad de penetración y la más larga vida del equipo de perforación se logra empleando presión de percusión muy baja que cuando se perfora en roca dura.)</li> </ul>
<b>ROTACIÓN</b>	Velocidad de rotación muy alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mayor desgaste de la periferia de la broca (riesgo de broca obstruida).</li> <li>– Detritos de perforación muy molidos.</li> <li>– Mayor desgaste de la perforadora y de los componentes del mecanismo de rotación.</li> </ul>
	Velocidad de rotación muy baja	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Anormal rotación de la barra.</li> <li>– Menor velocidad de penetración.</li> <li>– Altas tensiones en la barra y en el mecanismo de rotación.</li> </ul>



	<b>Falla</b>	<b>Causas</b>
<b>AVANCE</b>	Fuerza de avance muy alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Anormal rotación (la presión de rotación fluctúa).</li> <li>– Mayor resistencia a la rotación (la presión de rotación se eleva), causando sobre carga en el equipo de perforación y en el mecanismo de rotación de la perforadora. Nota: El aumento en la presión de rotación puede también ser causada por la barra flexionada u otra resistencia anormal a la rotación.</li> <li>– Barra flexionada, muy rápido desgaste de los centralizadores y la bocina, aumenta el riesgo de que el pistón golpee en ángulo el adaptador de culata.</li> <li>– Sonido variable de la perforadora.</li> <li>– Aumentando la fuerza de avance sobre un cierto límite no eleva la velocidad de penetración.</li> </ul>
	Fuerza de avance muy baja	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La perforadora salta y sacude.</li> <li>– Mayor desgaste en el frente externo de la bocina y la barra.</li> <li>– Menor velocidad de penetración. El adaptador de culata no está en una posición correcta cuando el pistón golpea. Insuficiente fuerza de percusión es transmitida a la roca.</li> <li>– Menor vida útil del equipo de perforación (grandes esfuerzos de tensión sobre el equipo de perforación).</li> </ul>
<b>BARRIDO</b>	Presión de barrido muy alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mayor desgaste de la broca.</li> <li>– Menor vida útil de los sellos del adaptador de culata.</li> </ul>
	Presión de barrido muy baja	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mayor riesgo de atasco.</li> <li>– Mayor desgaste de la broca.</li> <li>– Menor velocidad de penetración.</li> <li>– Detritos de perforación muy molidos.</li> </ul>

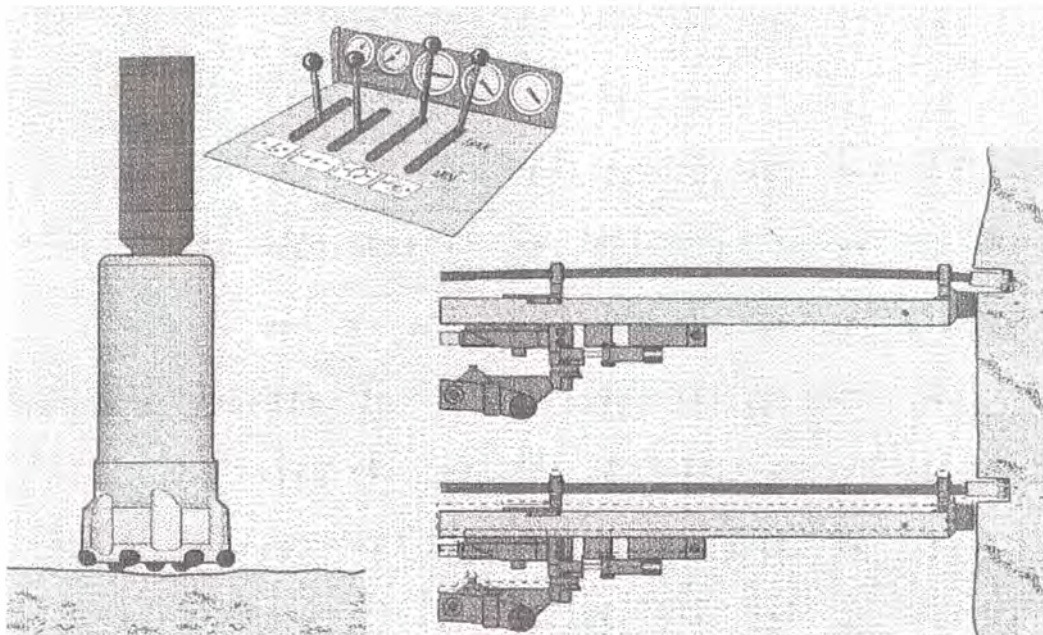
## 5.2 Uso correcto de las herramientas de perforación de roca

### 5.2.1 Posicionamiento



La deslizadera de avance debe ser apoyada firmemente contra la roca, para que no mueva durante la perforación. Si se mueve durante la perforación se doblará la barra, lo que podría resultar en una fractura. Una deslizadera posicionada de forma estable hace que se pueda utilizar la fuerza de avance para obtener un máximo de velocidad de perforación.

## 5.2.2 Emboquillado



Poner en marcha el barrido y colocar la broca contra la roca sin percusión de la perforadora. Si se hace funcionar la percusión demasiado temprano se aflojan las roscas del varillaje y se puede dañar la broca. Con la broca presionada suavemente contra la roca, aplicar fuerza de avance y percusión reducidas y rotación normal. Hay que asegurarse que el barrido sea eficaz. Los emboquillados sin barrido hacen que la temperatura de la broca aumente rápidamente. El enfriamiento rápido cuando se hace funcionar el barrido puede dañar el metal duro. Además aumenta el riesgo de quedar atascado en el taladro, o que los orificios de barrido de la broca queden obstruidos.

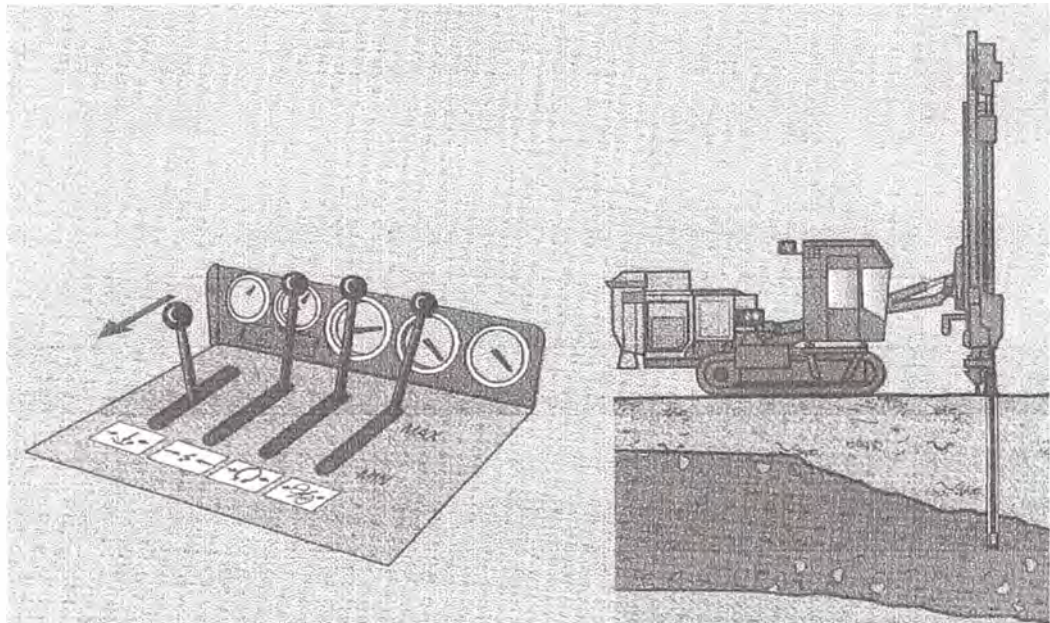
Aumentar la energía de percusión una vez que la broca tome posesión de la roca. En perforación de galerías a veces es necesario volver a alinear la deslizadera de avance, después de unos centímetros de perforación, de manera que el avance y la barra estén paralelas. Esto corrige cualquier flexión de la barra y minimiza la desviación del taladro. En perforación en

galerías no se debe permitir excesivo juego entre la barra y la guía del centralizador.

Inspeccionar regularmente la guía del centralizador y cambiarlo tan pronto como se desgaste.

Si se continúa perforando con esfuerzos de flexión en la barra, aumentará considerablemente el riesgo de roturas.

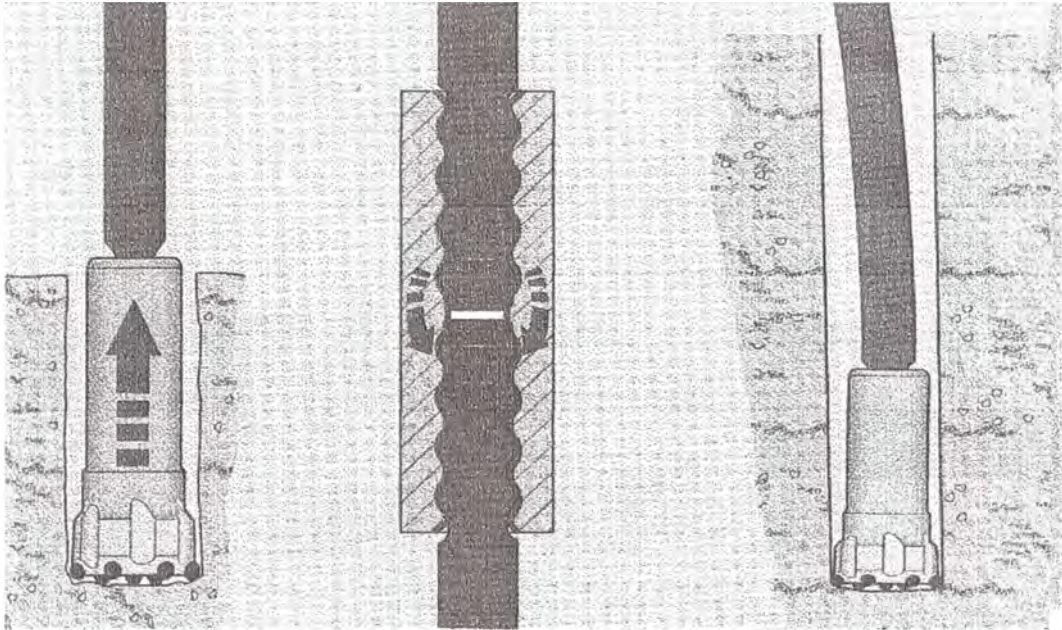
### 5.2.3 Perforación



Ajustar siempre la energía de percusión para que sea apropiada a la roca que se está perforando. Si la roca es blanda o fracturada se debe reducir la presión del mecanismo de percusión.



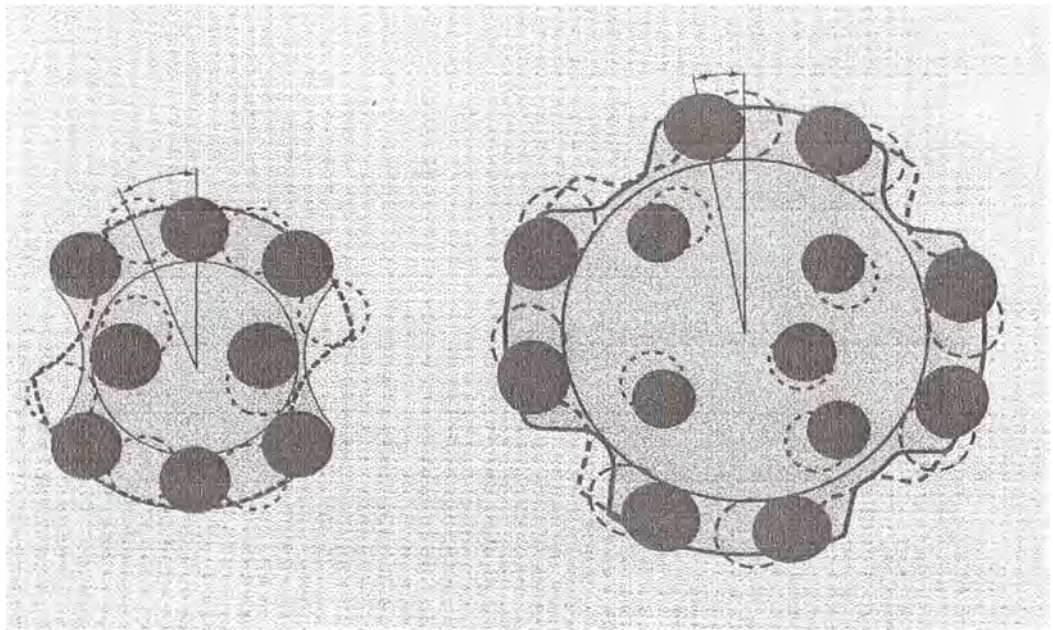
## 5.2.4 Avance



Por aplicación de la correcta presión de avance obtendrá la mejor economía de perforación. Si la fuerza de avance es demasiado baja lo será también la velocidad de penetración y las roscas en el varillaje se soltarán. La perforación con coplas roscadas sueltas dificulta la transmisión de energía por el varillaje y causa altos esfuerzos que pueden resultar en la fatiga prematura del equipo de perforación. También el metal duro puede llegar a tener daños de fatiga. Las señales de un mal avance son acoples calientes y con traqueteos. La alta temperatura hace que las roscas en las coplas, barras y adaptadores de culatas se desgasten muy rápidamente.

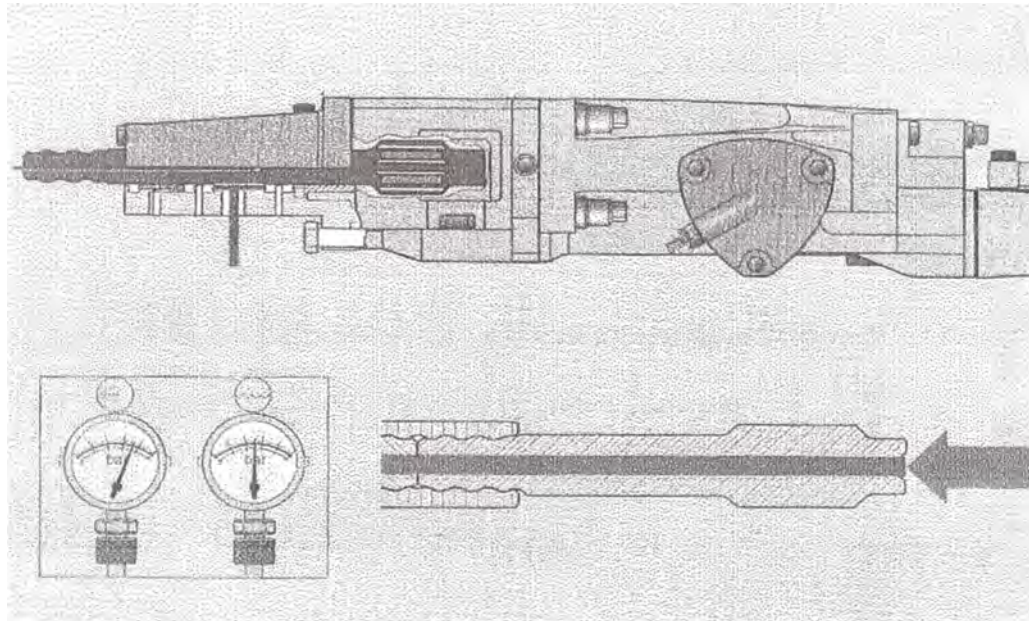
El avance puede ser también demasiado alto, de tal manera que se reduce la velocidad de rotación de la broca. El riesgo de atascos aumenta al mismo tiempo que disminuye la velocidad de perforación. También aumenta el esfuerzo de flexión en el varillaje.

### 5.2.5 Rotación



La velocidad de rotación debe ser adaptada al diámetro de la broca y a la frecuencia de impactos de la perforadora. Los botones de la broca deben desplazarse un tramo apropiado entre cada golpe para romper continuamente roca fresca. Cuando mayor sea el diámetro de la broca, a menor velocidad debe girar. Si la velocidad de rotación es demasiado alta, el botón se desgastará rápidamente, particularmente los de la periferia de la broca. Para brocas de 51 y 102 mm de diámetros, la velocidad de rotación normal es de 160 a 80 rpm (la rotación más rápida para brocas de diámetros más pequeños). Esto equivale a un desplazamiento de los botones de la periferia de 9 a 10 mm entre cada golpe. En las brocas de mayor tamaño la rotación deberá ser incluso a 80 rpm, especialmente en roca abrasiva.

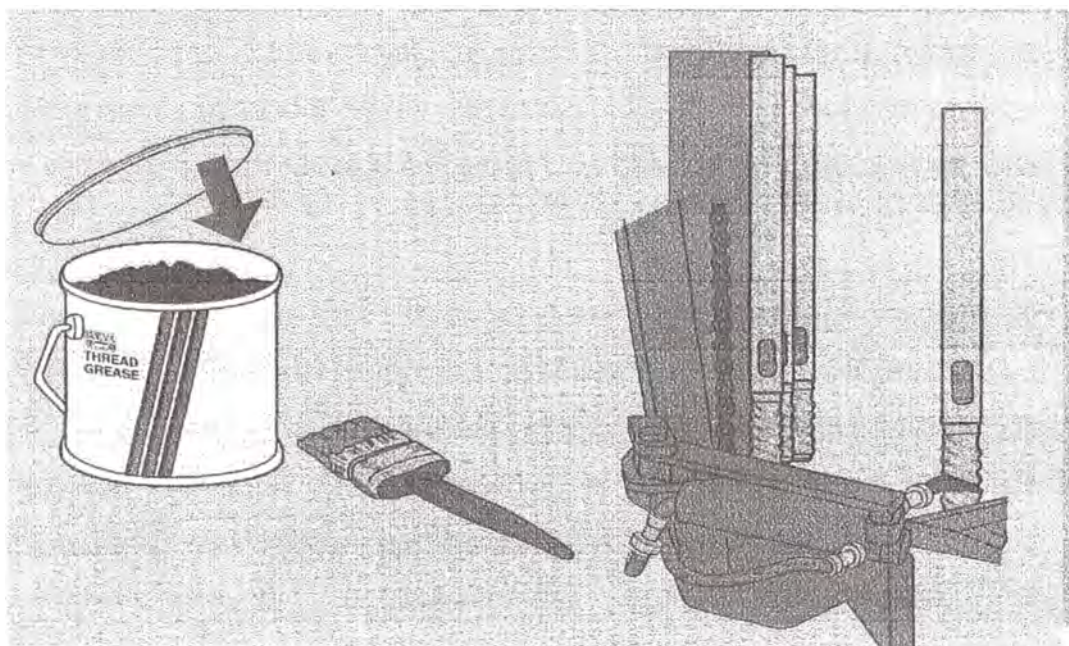
### 5.2.6 Barrido



El fondo del taladro deberá estar siempre limpio de detritos de roca. Un buen barrido da una rápida remoción de los detritos, y mantiene abierto el taladro. Un barrido insuficiente reduce la velocidad de penetración y aumenta el riesgo de atascos. La presión de barrido excesiva puede causar un desgaste anormalmente alto del acero, y reducir la vida útil de la perforadora.



### 5.2.7 Grasa para roscas



Las roscas deben mantenerse limpias para que tengan una mayor vida útil. La grasa para roscas reduce el desgaste y facilita el desacoplado. Pero la grasa debe mantenerse limpia de polvo de perforación para que no funcione como abrasivo en lugar de lubricante. Por esta razón debe taparse la lata de grasa cuando no se usa.

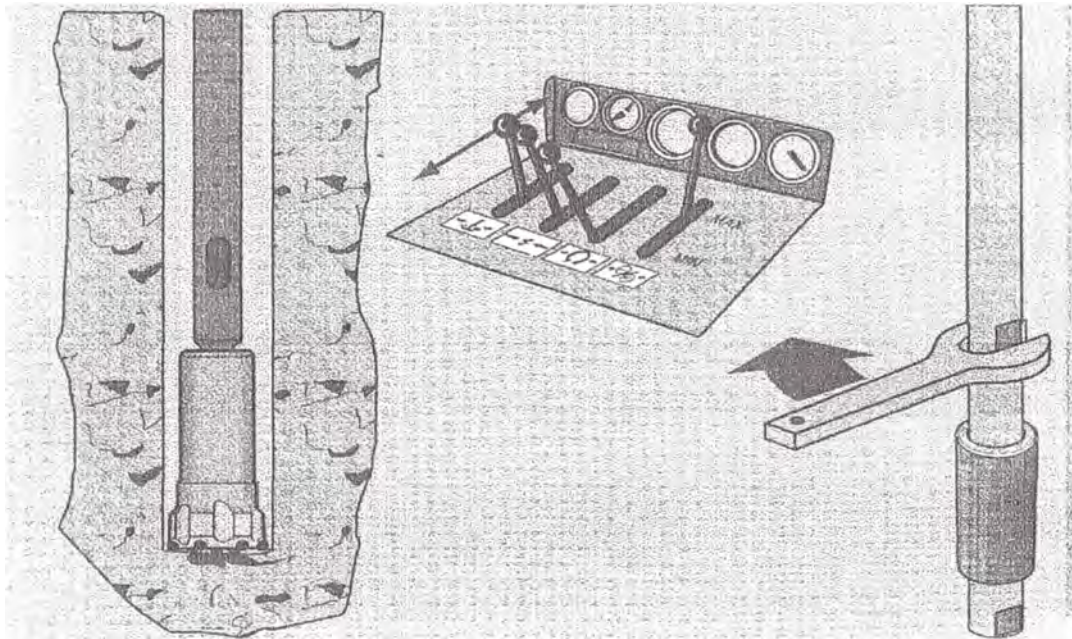


### **5.2.8 Barras dobladas y obstruidas**

No es necesario desechar todas las barras que estén dobladas. Frecuentemente se pueden enderezar, o en el taladro o con la ayuda de una sencilla prensa de enderezado. No obstante, hay que recordar que de una barra enderezada no puede esperarse la misma vida útil que de una barra intacta.

Puede darse el caso de barras obstruidas debido a un barrido insuficiente. Si se puede limpiar la obstrucción, es posible continuar empleándola. La obstrucción se puede eliminar normalmente con la ayuda de un tubo de cobre y barrido por agua. Se recomienda el uso de un tubo de cobre debido al peligro que hayan explosivos. La limpieza puede dañar la película antioxidante en el interior del agujero de barrido. Por consiguiente, las barras desatascadas no deberán almacenarse, sino utilizarse tan pronto como sea posible.

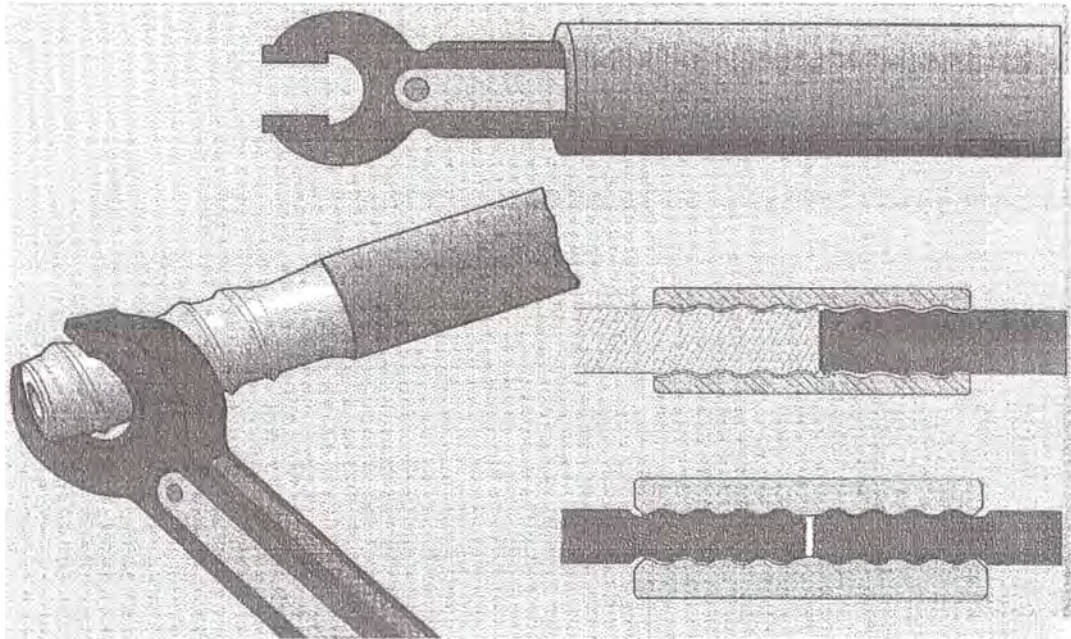
### 5.2.9 Aflojamiento de juntas roscadas



La manera más fácil de aflojar una broca es mediante el mecanismo de percusión de la perforadora. Presionar la broca contra la roca, por ejemplo en el fondo del taladro, y se hace funcionar el mecanismo de percusión durante unos segundos sin rotación y con muy poco avance. Si esto no funciona se deben usar llaves de brocas y barras. Nunca un combo.

Hay que tener en cuenta que el sistema de percusión no deberá utilizarse si se ha colocado una llave en la barra. Esto dañaría la barra. A menudo, las barras difíciles de desacoplar suelen estar muy desgastadas.

## 5.2.10 Desgaste



Es importante comprobar el desgaste de las roscas a fin de sustituir los componentes de la columna de perforación cuando están desgastados. El perforar con roscas desgastadas implica un gran riesgo de paradas innecesarias y de alto costo de producción. Se deben utilizar siempre calibre de rosca. Se considera que las roscas machos están desgastadas cuando el calibre puede pasar por la parte superior de la rosca sin que se quede atascado. La comprobación se ha de efectuar en la parte más desgastada de la rosca. El extremo interior de la rosca a menudo puede estar menos desgastado, por ejemplo si ha trabajado en el extremo hacia la broca. Se considera que las roscas hembras están desgastadas cuando se puede insertar todo el calibre.

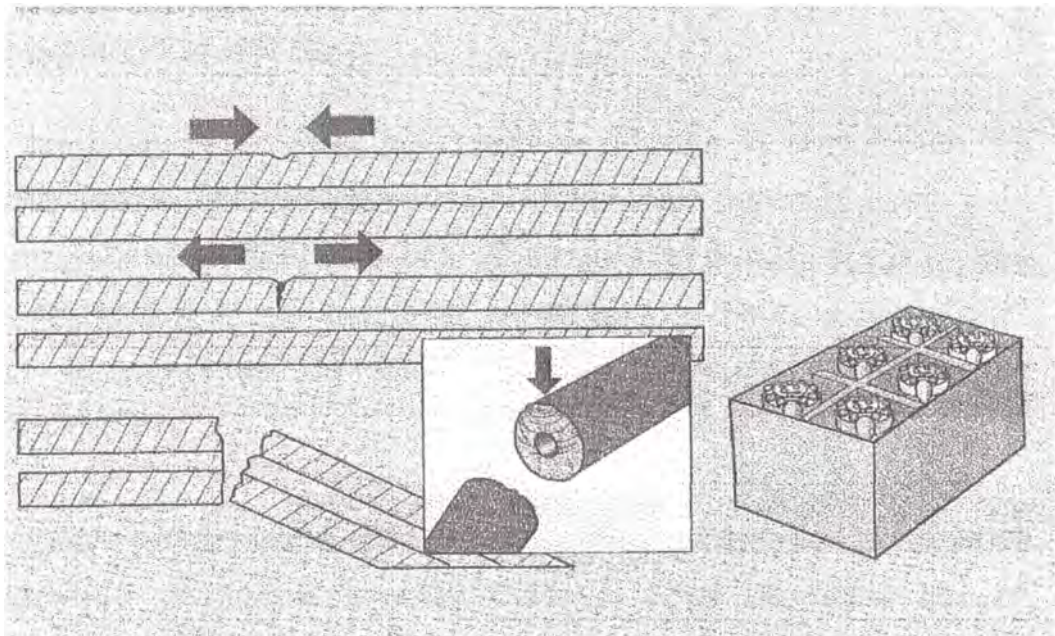
Cuando se cambian los adaptadores de culata, hay que recordar que suele ser más económico cambiar las barras, El mezclar roscas usadas con roscas nuevas hacen que se desgasten estas últimas mucho más rápido.



El desgaste de la bocina de la perforadora también se comprueba con un calibre especial. Si la perforación se efectúa con una bocina desgastada, producirá un fuerte desgaste en las estrías del adaptador de culata.

Igualmente, una holgura excesiva entre la bocina y el adaptador de culata hará que el pistón golpee sobre este último oblicuamente. El resultado será un fuerte desgaste, quedando aplastada la superficie de impacto tanto del adaptador de culata como del pistón. Los daños en el adaptador de culata acaban frecuentemente en rotura.

### 5.2.11 Transporte y almacenamiento



Un daño o golpe en la superficie del acero de un componente de la columna de perforación suelen ser el punto de partida de una rotura, ya que el acero queda expuesto a altos esfuerzos por la onda de choque del pistón de la perforadora. Por esto se deben tratar con cuidados los adaptadores de culata, las barras y las brocas, ya que frecuentemente tienen una capa superficial dura pero frágil, sensible a los golpes.

Las llaves que se usan para aflojar las roscas deben estar siempre en buenas condiciones, sin amolladuras o rebabas. Frecuentemente es fácil determinar el punto de inicio de una rotura, es decir, el daño original, por el centro de lo que se conoce como “rosa de fatiga”.

Conservar siempre las brocas y los componentes de metal duro de forma tal que el metal duro no se dañe durante el transporte. A pesar de que el metal duro es muy resistente a golpes contra todos los otros materiales, es fácil dañarlos si se golpea contra otro metal duro.

### **5.3 Oportuno y correcto afilado de las brocas de botones**

#### **5.3.1 Desgaste del metal duro**

El metal duro de los botones se desgasta durante la perforación. La mayor parte del desgaste es causado por la abrasión contra el fondo y las paredes del taladro al girar la broca. Si se permite que el desgaste sea excesivo, disminuirá la velocidad de penetración y tanto el metal duro como los componentes de acero quedan expuestos a esfuerzos anormalmente altos.

Por este motivo es necesario afilar el metal duro a intervalos apropiados para restablecer su forma original. Distintos tipos de rocas causan distintos grados y formas de desgaste.

El desgaste frontal ocurre cuando se perfora en roca dura, como el granito o el gneis. La altura del metal duro se desgasta y llega a tener una forma plana. En las brocas, los botones diametrales se desgastan más que los botones centrales, debido a la mayor distancia recorrida durante la rotación.

El desgaste diametral (o desgaste periférico) ocurre en las rocas abrasivas con un alto contenido de cuarzo. El metal duro de la periferia de

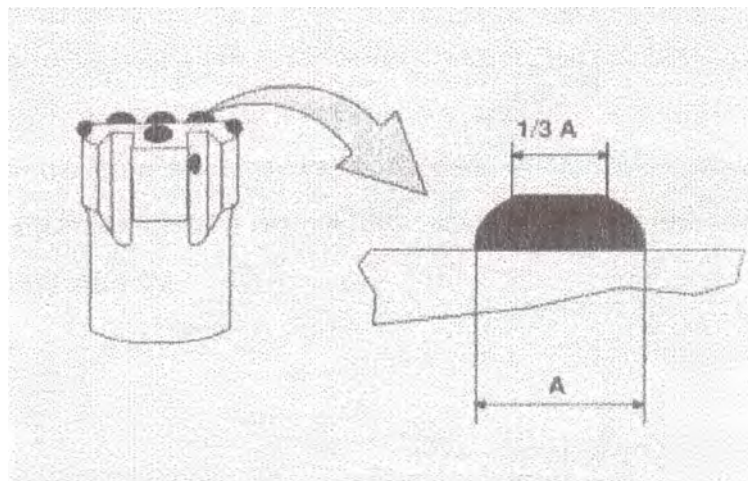
la broca experimenta un desgaste anormalmente alto, formándose un contra cono y la broca pierde su ángulo de incidencia.

La piel de serpiente ocurre cuando se perfora rocas suaves y no abrasivas, tal como la caliza. La superficie del metal duro sufre esfuerzos de fatiga y se forma un entretejido de fisuras muy finas con un gran parecido a la piel de serpiente (especialmente en los extremos de los botones). El metal duro debe ser afilado tan pronto como se descubre los signos de piel de serpiente, de lo contrario estas microfisuras penetrarán a mayor profundidad y ocasionan la rotura de pedazos gruesos de metal duro.

En ciertos tipos de roca no ocurre ningún desgaste visible. A pesar de ello debe afilarse el metal duro para que no ocurran daños de fatiga. En tales casos, el intervalo de afilado recomendado es de 300 metro para botones.

### 5.3.2 Intervalos de afilado

Las brocas de botones sólo necesitan ser afiladas si la velocidad de penetración es demasiada baja o si empiezan a producirse daños en el metal duro. La velocidad de penetración disminuye normalmente cuando los botones presentan un desgaste frontal equivalente a la mitad de su diámetro. Sin embargo, el afilado será más fácil, más rápido y más económico si los botones se afilan cuando el desgaste alcanza un tercio de su diámetro.



### **5.3.3 Rutinas de afilado fijas**

Frecuentemente no es posible medir el desgaste de cada componente de las brocas en el lugar de trabajo. Por consiguiente, es esencial establecer unas rutinas de afilado fijas. Por ejemplo, se afilan los botones de las brocas al término de cada turno de trabajo. El afilar antes de tiempo no es necesariamente antieconómico, ya que en cada afilado se eliminará una menor cantidad de metal duro.

### **5.3.4 Afilado**

Para comprobar el resultado del afilado resultan muy útiles las plantillas o calibres que existen para este fin. Los botones de metal duro se deben afilar hasta restablecer su forma original. La forma más sencilla de hacerlo es utilizar una copa de afilado recubierta con diamantes sintéticos.

El contra cono se debe eliminar lo más rápido posible mediante un afilado frontal. Si esta operación se efectúa con regularidad, a intervalos cortos, se puede impedir que se forme un contra cono" excesivo. El afilado de la periferia de la broca (para restablecer la holgura) sólo se debe realizar si el afilado frontal no soluciona el problema. De este modo se evitará una reducción prematura del diámetro de la broca.

Es muy importante para la economía de perforación que las copas de afilado que emplean para afilar las brocas sean adecuadas para usar con el carburo cementado. Las copas de afilar deben ser de carburo de silicio (carborundum), con aglomerante cerámico y del tipo autoafilante, con la dureza y tamaño de granos correctos. Todas las copas de afilado son marcadas por el fabricante con un código alfanumérico para identificar su composición y propiedades.

Es especialmente importante evitar el uso de copas de afilado demasiado duras ya que, aunque pueden ofrecer una buena economía de afilado, tienden a dañar el carburo cementado, lo cual al final se traducirá en una mala economía global.

Como es obvio, se deben emplear copas de afilado al agua cuando se utiliza agua, y copas de afilado en seco cuando se emplea aire como refrigerante.



## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES**

Para lograr el mayor rendimiento de las herramientas de perforación de rocas es muy importante tener en cuenta lo siguiente:

1. La capacitación a los supervisores, los capataces y los perforistas del uso y cuidado de los aceros de perforación de roca.
2. La supervisión constante de operación de la perforadoras de los perforistas durante el emboquillado y la perforación.
3. El control de los parámetros de perforación: la presión de percusión, la presión de avance, la presión y la velocidad de rotación y la presión de agua durante el emboquillado y la perforación.
4. Evitar la perforación con brocas cuyos botones alcancen una superficie plana mayor a un tercio de su diámetro (brocas sobre perforadas). Es necesario determinar el intervalo de afilado o número de taladros por broca de acuerdo a la dureza de la roca. Una broca sobre perforadora ocasiona la disminución de la velocidad de penetración, la desviación del taladro y la reducción de la vida útil del adaptador de culata, la barra y la perforadora.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Manual de perforación de rocas, Teoría y técnica  
Sandvik Coromant – Atlas Copco
2. Mechanics of Rock Drilling  
Sandvik Rock Tools
3. Herramientas de perforación Sandvik Coromant  
Sandvik Rock Tools
4. Axera D07S Operator's Manual  
Sandvik Tamrock Corp.