

---

## INTRODUCCIÓN AL ARRANQUE DE MATERIALES



---

Como ya fue explicado en la introducción general al curso, el proceso extractivo de una faena minera consiste en lo esencial en la ejecución secuencial de dos operaciones básicas: **arranque** del mineral o **excavación** de la roca y **manejo** del material.

Se denomina **arranque** al proceso de separar y/o arrancar físicamente los minerales o rocas de la corteza terrestre. Esta operación es la que da inicio al proceso productivo en una faena minera. Salvo algunas excepciones, en la gran mayoría de los casos esta operación se realiza haciendo detonar cargas explosivas emplazadas en huecos cilíndricos perforados en el macizo rocoso.

Se distinguen por lo tanto dos sub-operaciones:

- Perforación
- Tronadura

### **Métodos de perforación**

En la práctica minera se requiere crear o perforar huecos cilíndricos en la roca con diferentes objetivos:

- Exploración y reconocimiento de yacimientos o depósitos minerales → *cantidad y calidad*.
- Estudios geotécnicos → propiedades de la roca.
- Inserción y detonación de cargas explosivas con fines de *fragmentación*.
- Colocación de elementos de *refuerzo*

Consideraremos en este curso comprenden la perforación destinada a los dos últimos propósitos indicados anteriormente.

Para crear un hueco cilíndrico en un sólido es necesario aplicar energía. En un sentido amplio y según el principio físico utilizado para aplicar la energía requerida, un sólido puede ser horadado recurriendo a diferentes métodos de perforación. Se pueden distinguir así los siguientes:

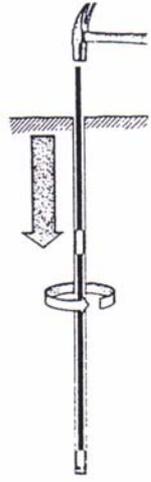
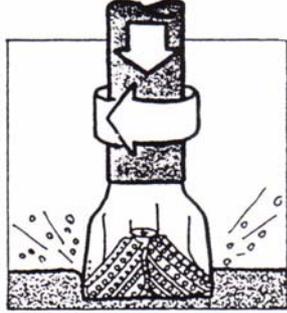
- Mecánicos
- Térmicos

- Hidráulicos
- Ondas (sonoras o luminosas)
- Otros

En los trabajos concernientes a la excavación de rocas, hoy en día se utilizan exclusivamente sistemas de perforación que se basan en la aplicación de energía mediante métodos mecánicos.

### Sistemas mecánicos de perforación

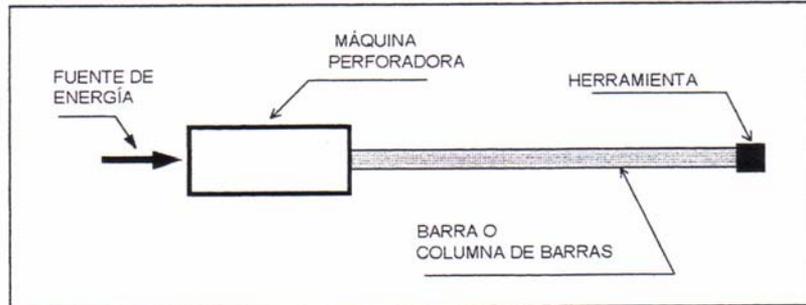
La aplicación de energía mecánica para horadar la roca se puede efectuar básicamente mediante dos acciones:

<p><b>PERCUSIÓN</b></p> <p>La herramienta horada la roca por el efecto de impactos sucesivos de alta frecuencia y gran energía, combinados con un giro o rotación entre golpe y golpe de modo que la roca presente siempre una superficie nueva al impacto y evitar así que la herramienta se entierre o atasque. La rotación, en este caso, no contribuye mayormente al proceso de fracturamiento de la roca.</p>	
<p><b>ROTACIÓN</b></p> <p>La herramienta penetra la roca por la acción conjunta de un torque de rotación y de una gran fuerza de empuje aplicada sobre la superficie rocosa.</p>	

Se diferencia así entre sistemas de perforación por *PERCUSIÓN* y sistemas de perforación por *ROTACIÓN*.

## Sistemas de perforación por percusión

Un **sistema de perforación por percusión** consiste en lo esencial de tres componentes funcionales:



- **MAQUINA PERFORADORA:** La *máquina perforadora* es la que genera las fuerzas de penetración; vale decir, convierte la energía original que alimenta a la máquina en energía mecánica de impacto.
- **BARRA O COLUMNA DE BARRAS:** Transmite la energía de impacto desde la máquina perforadora al macizo rocoso.
- **HERRAMIENTA DE PERFORACIÓN:** Es el elemento o componente que aplica la energía a la roca. En la terminología minera se le denomina *BROCA* o *BIT*.

En la actualidad, atendiendo a la fuente de energía utilizada y según el orden como se acoplan estos componentes, se pueden identificar tres **sistemas de perforación por percusión**.

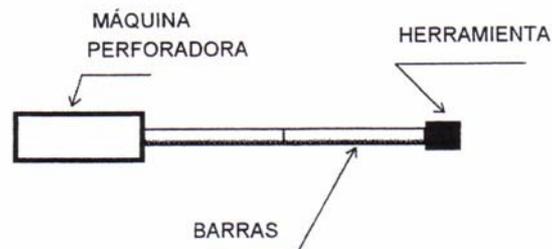
### Sistemas de percusión neumáticos

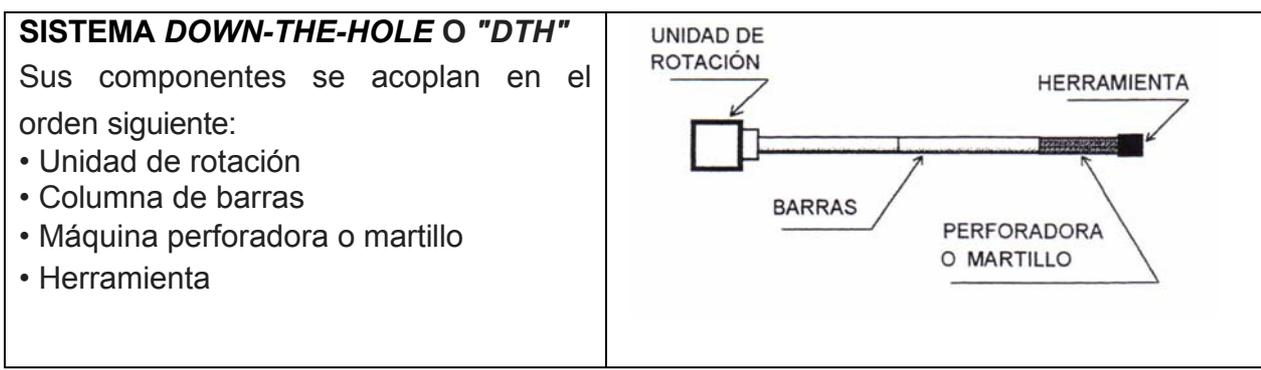
Son aquellos que utilizan como fuente de energía el *AIRE COMPRIMIDO* para el accionamiento de la máquina perforadora. Se distinguen básicamente dos sistemas o modalidades funcionales según el orden de acoplamiento de sus componentes esenciales:

#### **SISTEMA CONVENCIONAL O TOP-HAMMER**

Sus componentes se acoplan en el orden siguiente:

- Máquina perforadora
- Columna de barras
- Herramienta





**Sistema de percusión hidráulico**

En este caso se utiliza como fuente de energía un fluido hidráulico (aceite a presión) para el accionamiento de la máquina perforadora. Su modalidad funcional es exclusivamente del tipo **CONVENCIONAL O TOP-HAMMER**.

También algunos hablan de **ROTOPERCUSIÓN**, en el sentido de que este sistema combina el efecto de los impactos con un torque de rotación más energético, acción esta última que contribuye parcialmente en el proceso mismo de ruptura y penetración de la roca. No obstante, el efecto del impacto es predominante.

**Sistemas de perforación rotativos**

Los sistemas de perforación rotativos no poseen una **MÁQUINA PERFORADORA** propiamente tal, sino que de preferencia utilizan directamente la energía eléctrica (motores) o combinaciones electro-hidráulicas para el accionamiento de los diferentes mecanismos que intervienen en el proceso: rotación, fuerza de empuje y otros.

Asimismo, también es frecuente el uso de un motor diesel como unidad de potencia en combinaciones diesel-hidráulico y diesel-eléctrico.

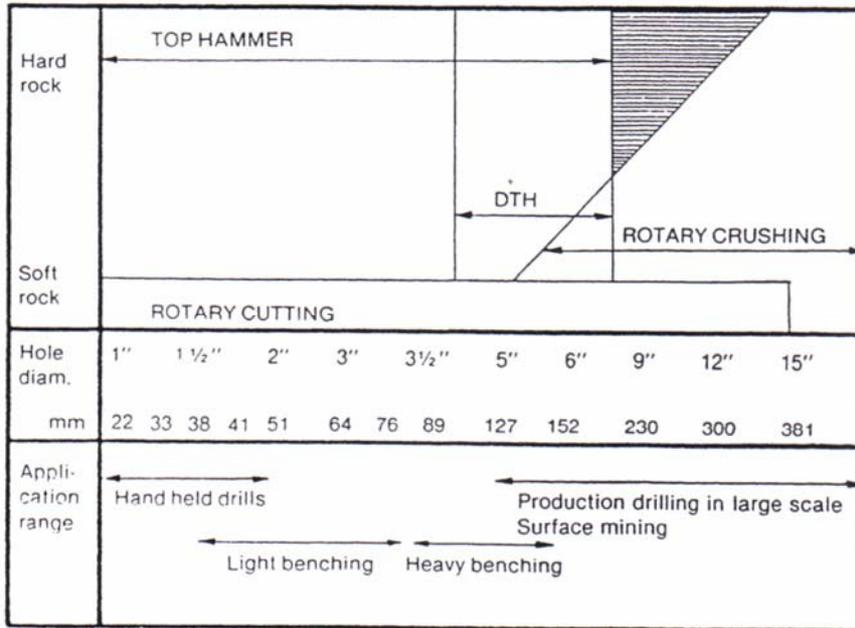
---

**Campo de aplicación****Según diámetro de perforación**

SISTEMA DE PERFORACIÓN	TIPO DE ACCIONAMIENTO	MODALIDAD FUNCIONAL	CAMPO DE APLICACIÓN
PERCUSIÓN	Neumático	Convencional (Top-hammer)	Minería subterránea Diám = 27 a 41 mm Minería a rajo abierto Diám = 35 a 127 mm
		Down-the-hole	Minería a rajo abierto Diám = 89 a 200 mm Minería subterránea Diám = 89 a 165 mm
	Hidráulico	Convencional (Top-hammer)	Minería subterránea Diám = 35 a 89 mm Minería a rajo abierto Diám = 51 a 127 mm
ROTACIÓN	Eléctrico Diesel - hidráulico Diesel - eléctrico		Minería a rajo abierto Diám = 150 a 381 mm

En la última columna se indica el rango de diámetros de perforación correspondiente a cada sistema, diferenciando entre *minería subterránea* y *minería a rajo abierto*. El orden de precedencia, en cada caso, indica aplicación preferente en la primera situación anotada con respecto a la segunda.

**Según dureza de la roca**



---

## PERFORACIÓN POR PERCUSIÓN



---

Como ya fue señalado en el capítulo introductorio, la perforación por percusión se utiliza tanto en *minería subterránea* como a *rajo abierto*, para barrenar rocas compactas de dureza mediana a alta, de preferencia en el rango de diámetros menores y medianos; lo que explica su presencia prácticamente exclusiva en las faenas subterráneas.

En la actualidad coexisten tres **sistemas** de perforación por percusión, que en orden de aparición en el tiempo son los siguientes:

- Accionamiento neumático convencional o top-hammer.
- Accionamiento neumático down-the-hole (DTH)
- Accionamiento hidráulico, sólo top-hammer

A su vez, para cubrir la diversidad de situaciones que se presentan en la práctica, cada **sistema** ha dado origen al desarrollo de variados **equipos**, tanto neumáticos como hidráulicos. La correcta selección del equipo adecuado para una determinada aplicación, requiere de un conocimiento y análisis cuidadoso de sus características funcionales, de las especificaciones técnicas que controlan su eficiencia y del diseño y condiciones operacionales de la excavación a realizar.

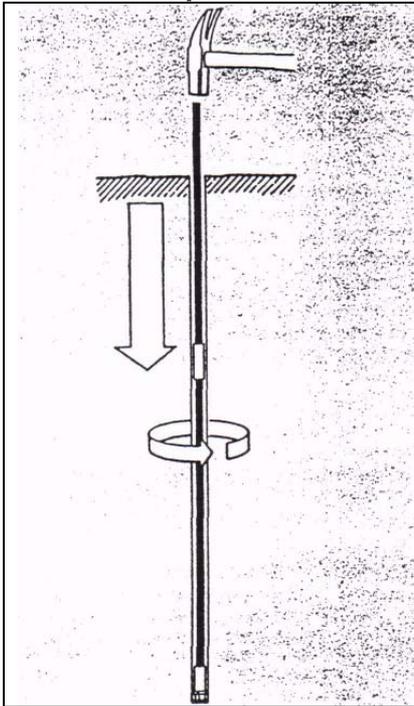
Atendiendo a lo anterior, el contenido o los temas a tratar en este punto se han ordenado de modo de cubrir justamente los aspectos consignados más arriba, según el ordenamiento siguiente:

- Descripción y funcionamiento
- Principios de perforación
- Prácticas de perforación

En suma, se trata de definir-a nivel académico- el marco teórico y práctico respecto a los principales criterios que es necesario considerar para seleccionar el equipo de perforación adecuado para la ejecución de una determinada excavación.

### Descripción y funcionamiento

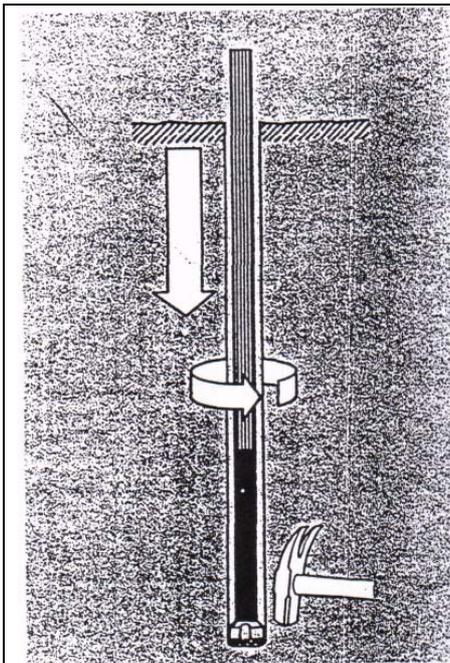
#### Sistema Top-Hammer



En la modalidad funcional convencional o top-hammer la energía de impacto, generada por la máquina perforadora, se transmite por la barra o columna de barras. Esta energía se transfiere o aplica a la superficie rocosa a través de la herramienta, conocida con el nombre de "broca" o "bit".

En la medida que aumenta la longitud de la perforación, disminuye la cantidad de energía que se transfiere a la roca, debido a las pérdidas que se producen especialmente en el acoplamiento o uniones entre las barras que conforman la columna.

#### Sistema Down-The-Hole



En la modalidad funcional DTH, el mecanismo de percusión, conocido con el nombre de *martillo*, se ubica en el fondo de la perforación. La energía de impacto se aplica directamente a la herramienta, sin pérdidas en las uniones de las barras. El aire comprimido se inyecta por el interior de la columna de barras.

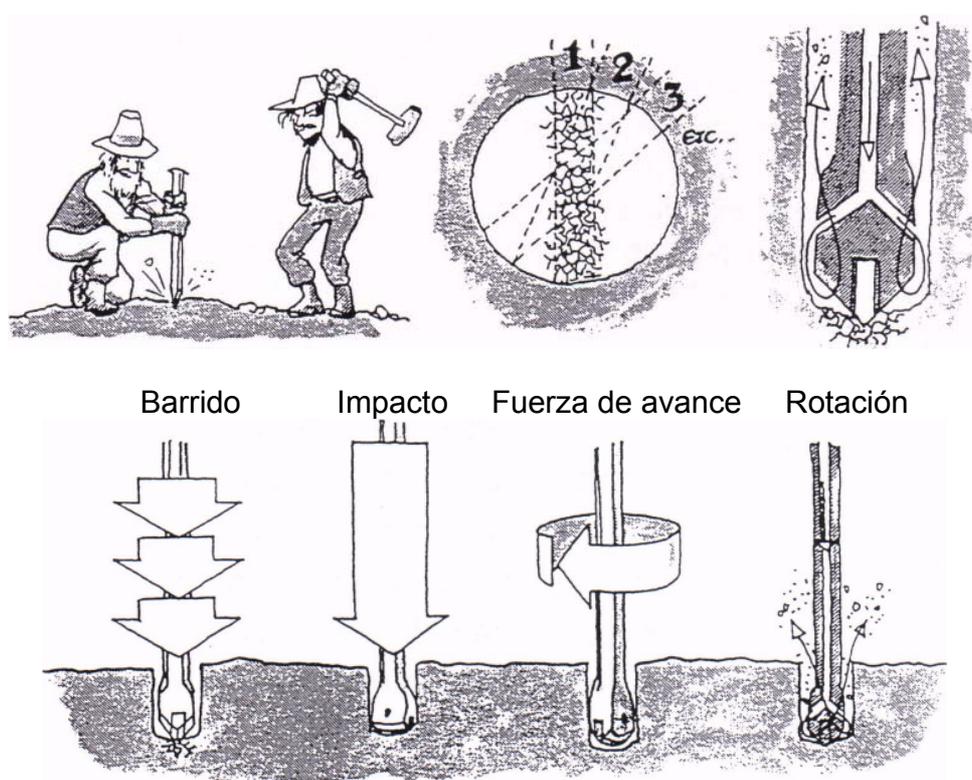
En este caso, teóricamente al menos, la eficiencia del proceso es independiente de la longitud de la perforación, principal fortaleza de este sistema.

## Sistema y equipos neumáticos de percusión versión TOP-HAMMER

La aplicación de un sistema mecanizado de perforación, utilizando aire comprimido como fuente de energía, se inicia a partir de los años 1860 en Europa (Suiza) en la versión convencional o **top-hammer**, manteniéndose como el único hasta principios de la década de los '50 del siglo pasado, cuando aparece el sistema DTH. Con posterioridad, a mediados de los años 70, aparecen las primeras máquinas perforadoras accionadas hidráulicamente.

En la actualidad, el accionamiento neumático en su versión convencional, sólo se utiliza casi exclusivamente con perforadoras livianas, hasta 40 kilos, que pueden ser operadas manualmente.

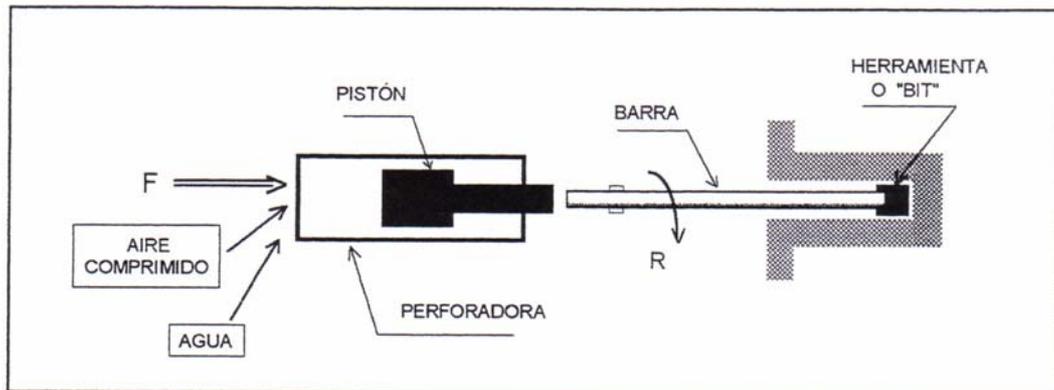
Así es como trabajan las perforadoras neumáticas de percusión



### Principios de funcionamiento

La máquina perforadora consiste en un cilindro al interior del cual se desplaza un *martillo-pistón* alternativamente en ambos sentidos. Este pistón, accionado por aire comprimido a una **presión de 6 a 7 [bar]**, golpea en su recorrido hacia adelante la parte posterior de la barrena o columna de barras.

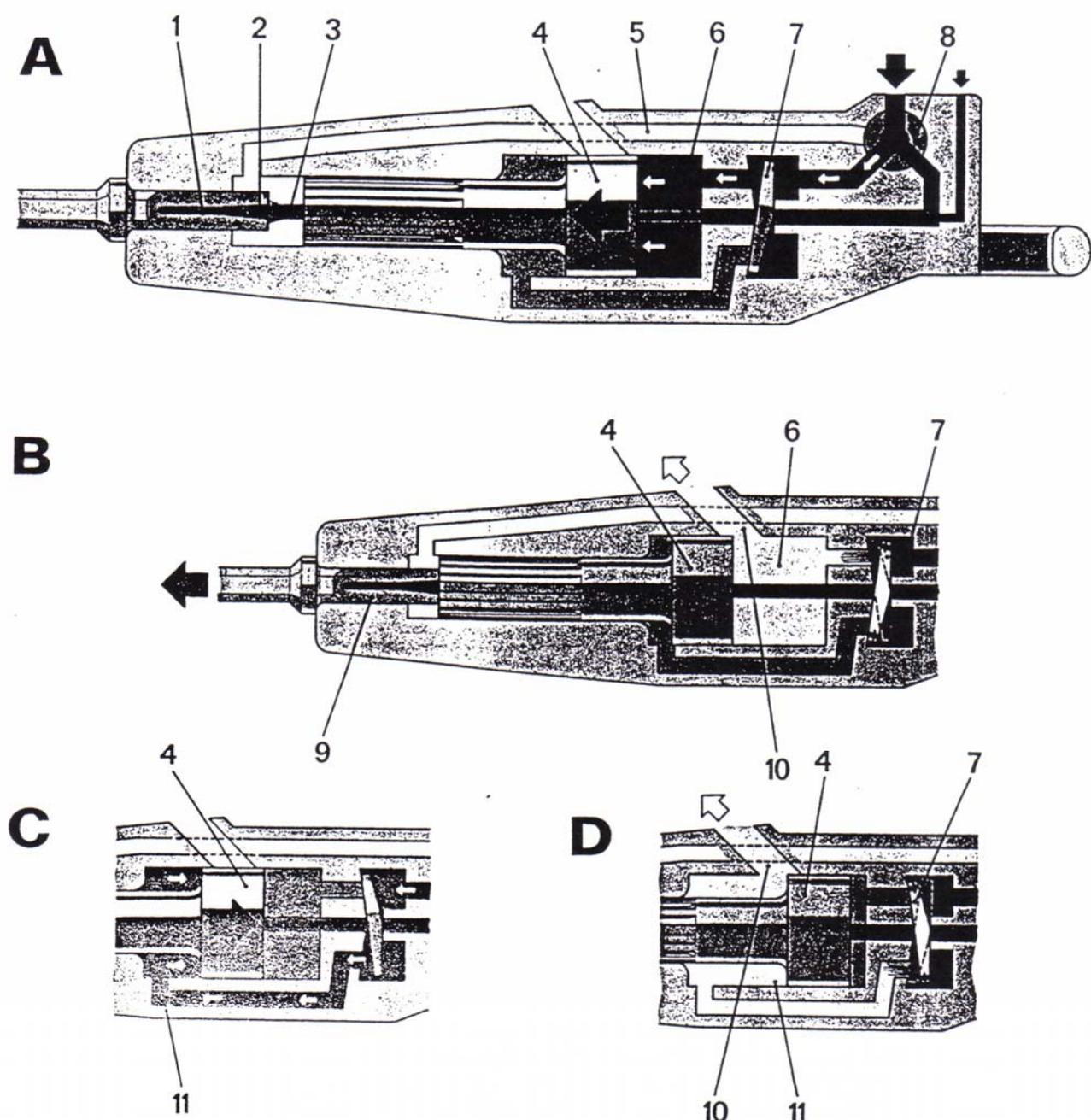
Entre golpe y golpe es necesario imprimir un pequeño giro (R), de modo que los filos de la herramienta golpeen siempre sobre una nueva superficie y evitar así que se atasque. Adicionalmente, es necesario también imprimir una fuerza de empuje (F) a todo el sistema, con el propósito de optimizar el proceso de transmisión y aplicación de la energía de impacto a la roca. Por último, el sistema debe incluir un dispositivo que permita la eliminación del material o detritus producto de la trituración de la roca.



### Principales componentes

- Mecanismo de percusión
- Dispositivo de distribución del aire
- Mecanismo de rotación
- Mecanismo de empuje o avance
- Dispositivo de barrido del detritus
- Dispositivo de lubricación

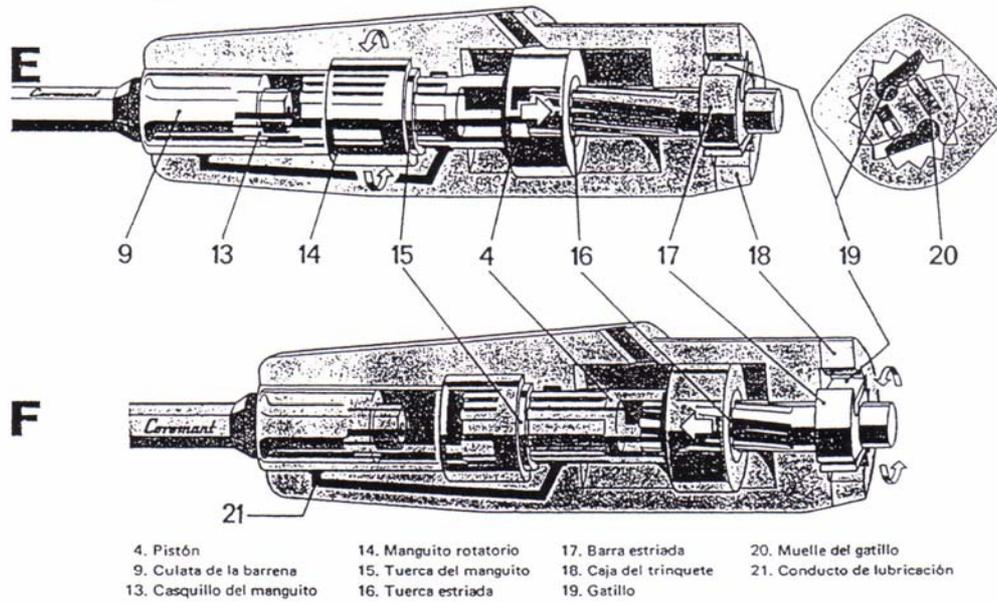
Mecanismo de percusión y dispositivo de distribución del aire



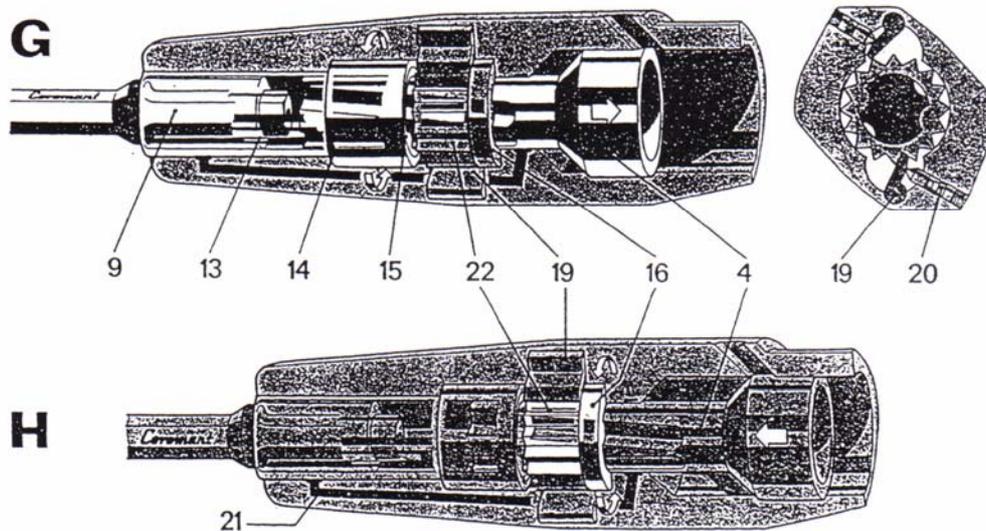
- |                                 |   |                                   |
|---------------------------------|---|-----------------------------------|
| 1. Orificio de barrido          | 5. Conducto de aire para el barrido adicional | 9. Culata de la barrena           |
| 2. Tubo de barrido, agua o aire | 6. Cámara trasera del cilindro                | 10. Orificio de escape de aire    |
| 3. Tubo de barrido aire         | 7. Válvula oscilante                          | 11. Cámara delantera del cilindro |
| 4. Pistón                       | 8. Válvula de mando                           |                                   |

Mecanismo de rotación

PERFORADORA  
con rotación por barra estriada



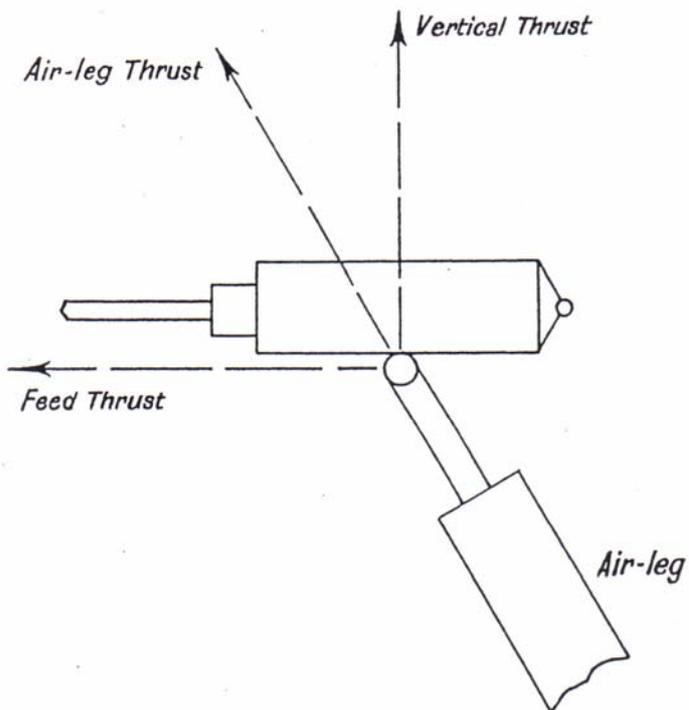
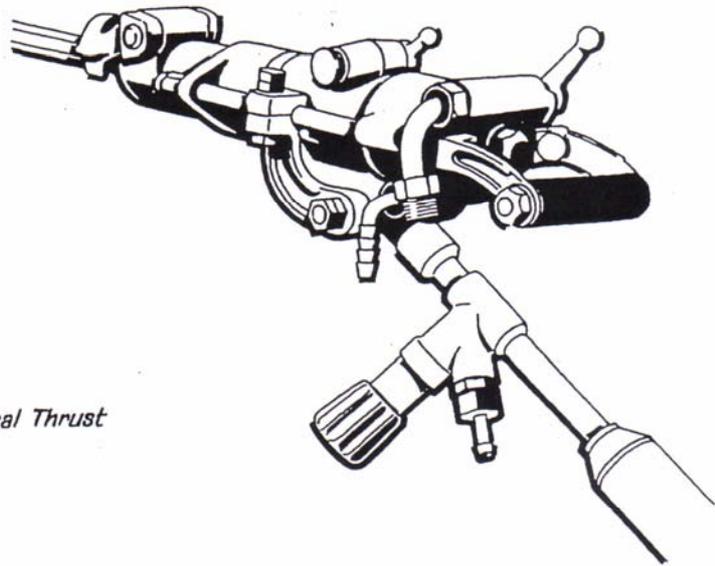
PERFORADORA  
con rotación por rueda de trinquete



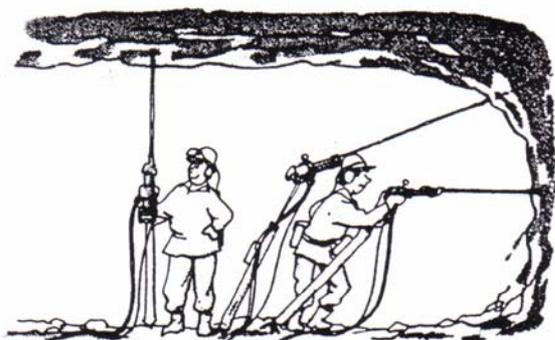
# Mecanismos de empuje o avance perforadoras manuales

Airlegs

S

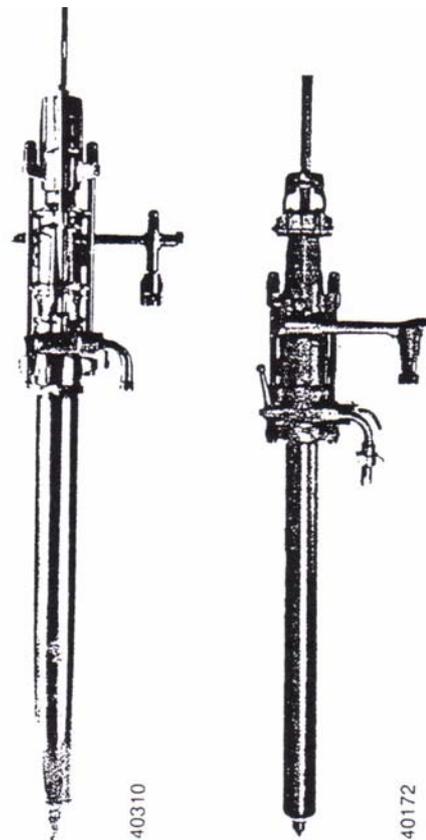


## Mecanismos de empuje o avance perforadoras livianas



Para perforación horizontal el avance está montado en la perforadora y en los stopers en la parte trasera de la misma. El movimiento de avance de los empujadores se produce por el aire comprimido que fuerza el pistón fuera del cilindro. En los avances de doble acción el aire comprimido se aplica directamente al lado superior del pistón.

Las perforadoras para profundización obtienen su fuerza de avance del peso de la máquina y del perforista.



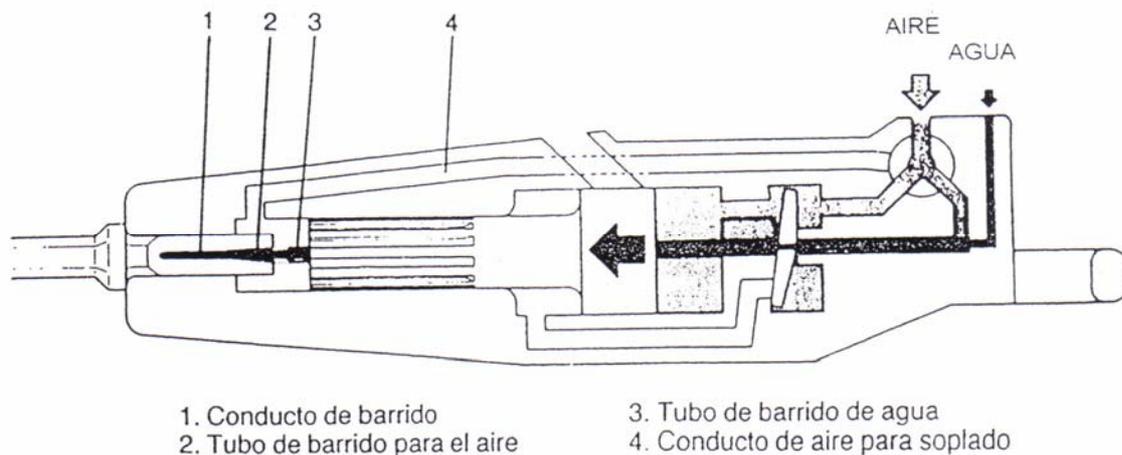
BBC 34WS

BBD 46WR

### Dispositivo de barrido – Perforadoras manuales

A medida que la perforación avanza, es indispensable eliminar el detritus que se va generando por la acción percusiva de la herramienta sobre la roca. De lo contrario, gran parte de la energía de impacto se perdería en sobre-fragmentar inútilmente los trocitos de roca, además del efecto amortiguante del material acumulado que termina anulando totalmente la eficiencia del sistema.

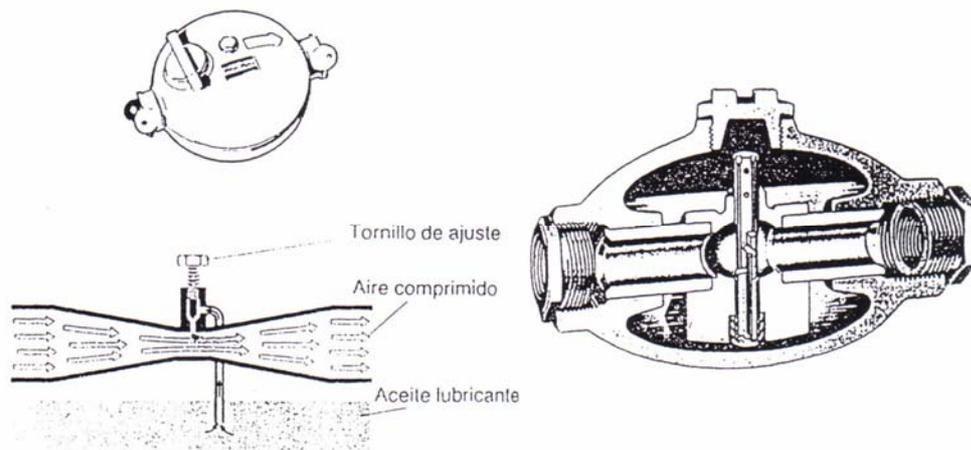
La eliminación de este material se efectúa inyectando aire o agua. En minería subterránea, por razones obvias, sólo se permite el barrido con agua. En las perforadoras manuales el agua se introduce por un tubo central de acero que recorre longitudinalmente la máquina, que aquí en Chile los mineros denominan "*bombilla*". Este tubo encaja en la parte posterior de la barra, y el agua sigue su recorrido por un conducto interior hasta alcanzar el fondo del tiro a través de unos orificios especialmente dispuestos en la herramienta de perforación o "*bit*".



Para evitar los escapes, las máquinas que utilizan este sistema se construyen de modo que la presión del aire comprimido actúe también sobre aquellos lugares que recorre el agua. Mientras la presión del aire sea mayor que la presión del agua, no hay problemas; de lo contrario, el agua inundaría la máquina lavando el aceite de lubricación con las consecuencias fáciles de imaginar.

### Dispositivo de lubricación – Perforadoras livianas

El sistema utilizado consiste en incorporar aceite finamente pulverizado en la corriente de aire comprimido. En las máquinas manuales, el aparato para inyectar el aceite consiste en un pequeño depósito de lubricante que se intercala en la manguera de aire que alimenta a la máquina. Los mineros aquí en Chile lo conocen con el nombre de "*pato*". El sistema opera según el principio del "tubo de venturi", de modo que el aceite es succionado por efecto de la depresión generada al paso del chorro de aire por un tubo de menor diámetro. El aceite se atomiza y es transportado en suspensión a la máquina.



El depósito debe ubicarse a una distancia no mayor a 3 m de la perforadora; de lo contrario, el aceite lubricante tiende a depositarse en la manguera y el suministro se hace intermitente. Se debe verificar periódicamente el nivel del aceite en el depósito, como asimismo comprobar que el "pato" esté entregando aceite colocando la mano en el escape de la máquina.

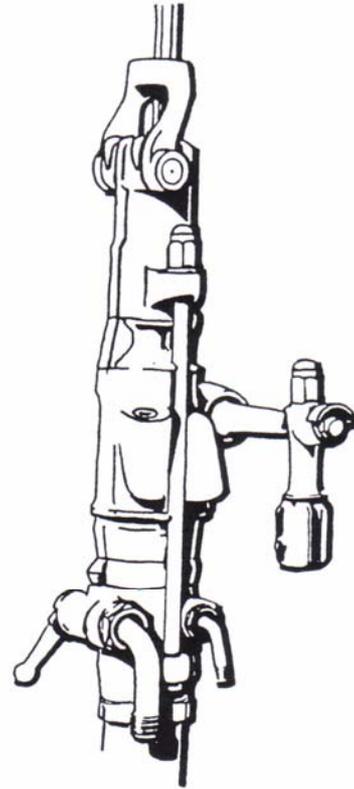
## Perforadoras livianas o manuales – Características técnicas

### LEOPARD, BBC 34/35 WS (Versión Stoper)

Este es el más poderoso y más grande stoper de rotación a barra estriada. Apropiado para trabajo duro y perforación de taladros largos con alta eficacia de penetración. El stoper "Leopardo" es una máquina de carrera larga y pistón pesado, lo que le da una gran energía de impacto, la que es preferible al perforar en roca dura.

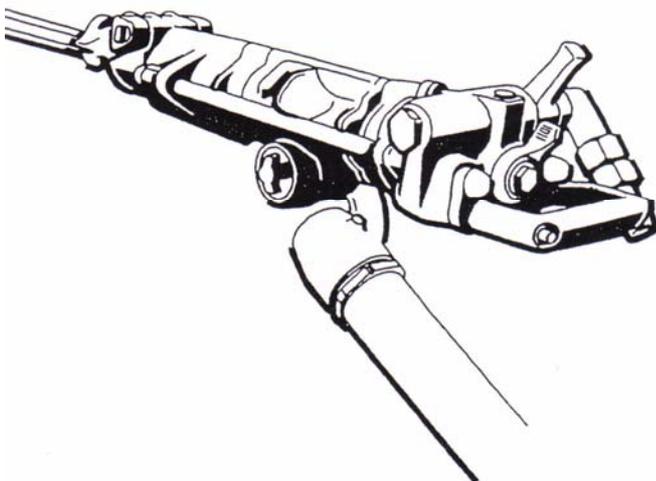
#### Datos técnicos

Consumo de aire	105 l/s
Diámetro del pistón	80 mm
Carrera	70 mm
Frecuencia impacto	38 Hz
Nivel de ruido	110 dB (A)
Longitud total, WS6	1570 mm
WS8	1770 mm
Peso	43 kg
Diámetro barrenos	27 - 41 mm
Escariadores hasta	89 mm
Casquillo	22 x 108 mm



### Lion, BBC 24 W

Para trabajo duro con alta capacidad de perforación en roca dura. Diseñada con control centralizado tanto para la perforación como para control de la fuerza de avance.



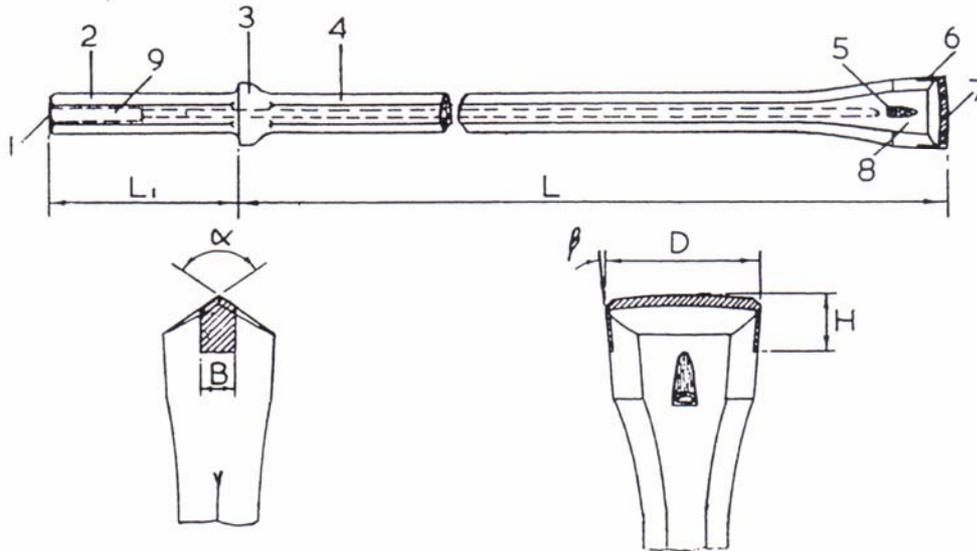
#### Datos técnicos

Consumo de aire	75 l/s
Diámetro de pistón	70 mm
Carrera	70 mm
Frecuencia impacto	33 Hz
Nivel de ruido	113 dB (A)
Longitud total	770 mm
Peso	29,5 kg
Diámetro barrenos	27 - 64 mm
Escariadores hasta	89 mm
Casquillo	
Standard	22 x 108 mm
Opcional	25 x 108 mm 25 x 159 mm
Empujadores	BMT 51, BMT 51-3

## Herramientas de perforación – Perforadoras livianas o manuales

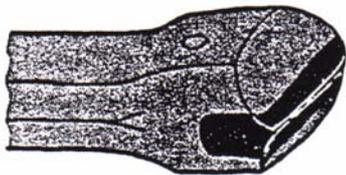
### TIPPED STEMS – MONOBLOC – INTEGRAL DRILL STEELS

The tipped stem was first introduced in 1947 and has proved extremely popular. Some of the reasons for its popularity are that it is easy to sharpen, it is efficient when drilling small holes and it is cheap. Tipped stems are used with hand held drills, airleg drills and light jumbo mounted drifters.

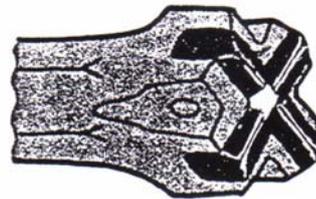


- 1 Striking face.
- 2 Shank.
- 3 Collar.
- 4 Body.
- 5 Flushing hole.
- 6 Insert.
- 7 Cutting edge.

- 8 Head.
- 9 Counter bore.
- B Insert width.
- D Bit gauge.
- H Insert height.
- $\alpha$  Cutting edge angle.
- $\beta$  Clearance angle.

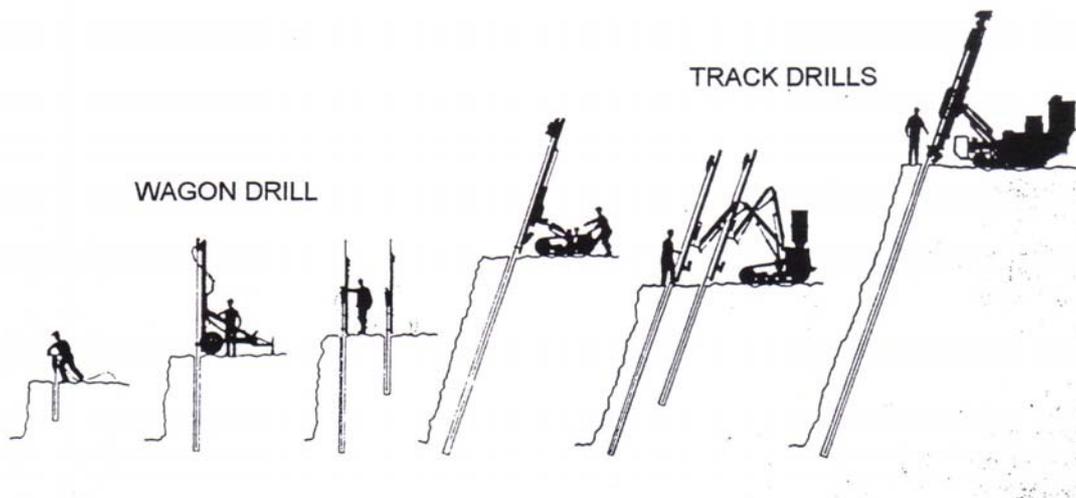


Barrena tipo cincel

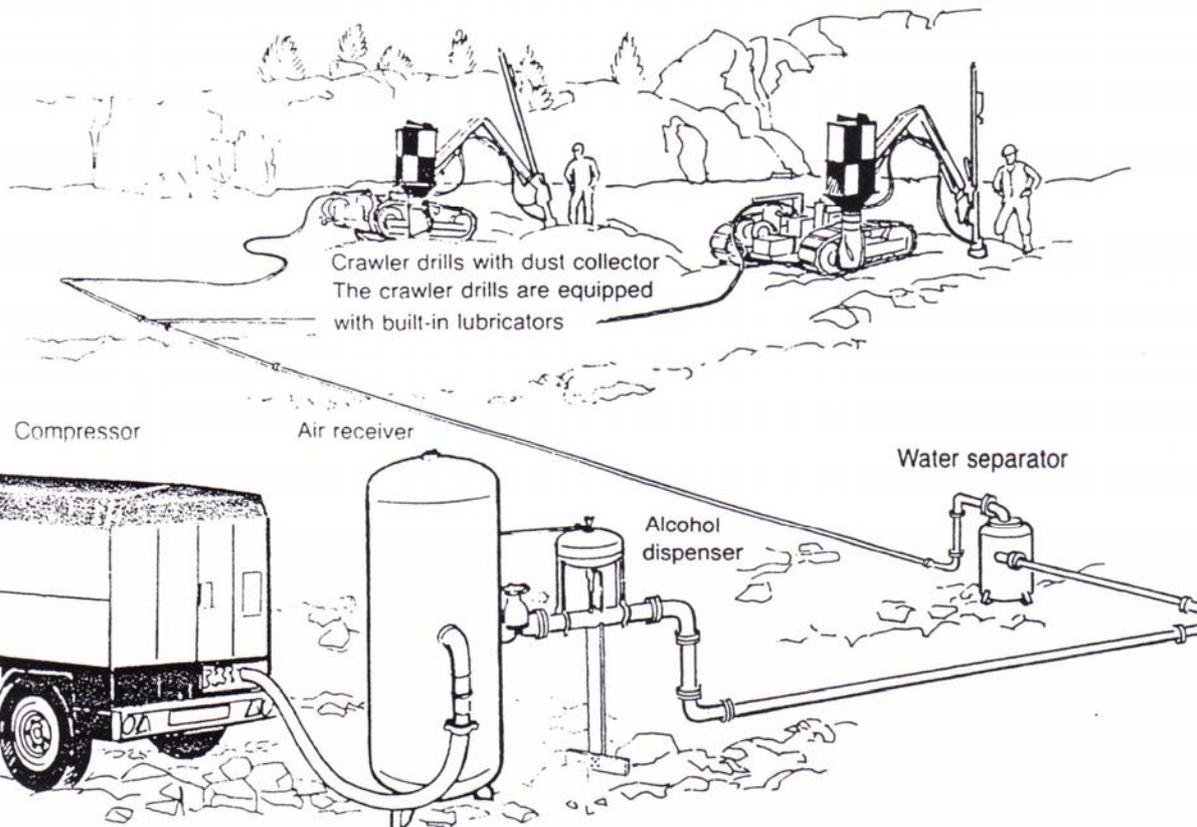


Barrena de inserto múltiple

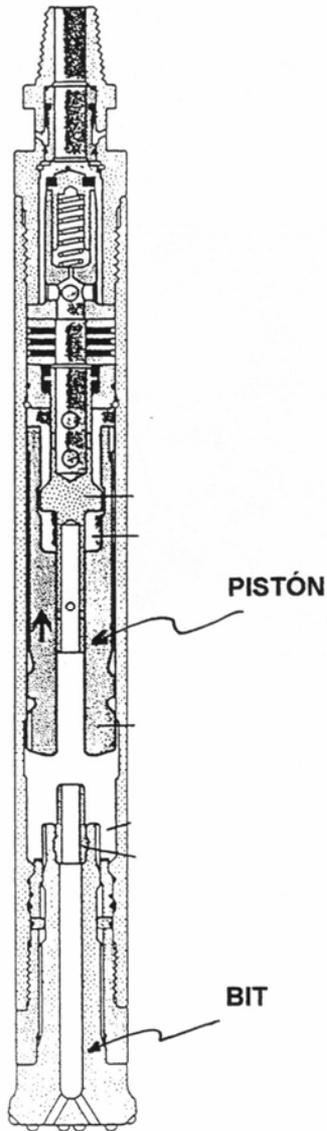
## Equipos de perforación neumáticos – Minería a rajo abierto



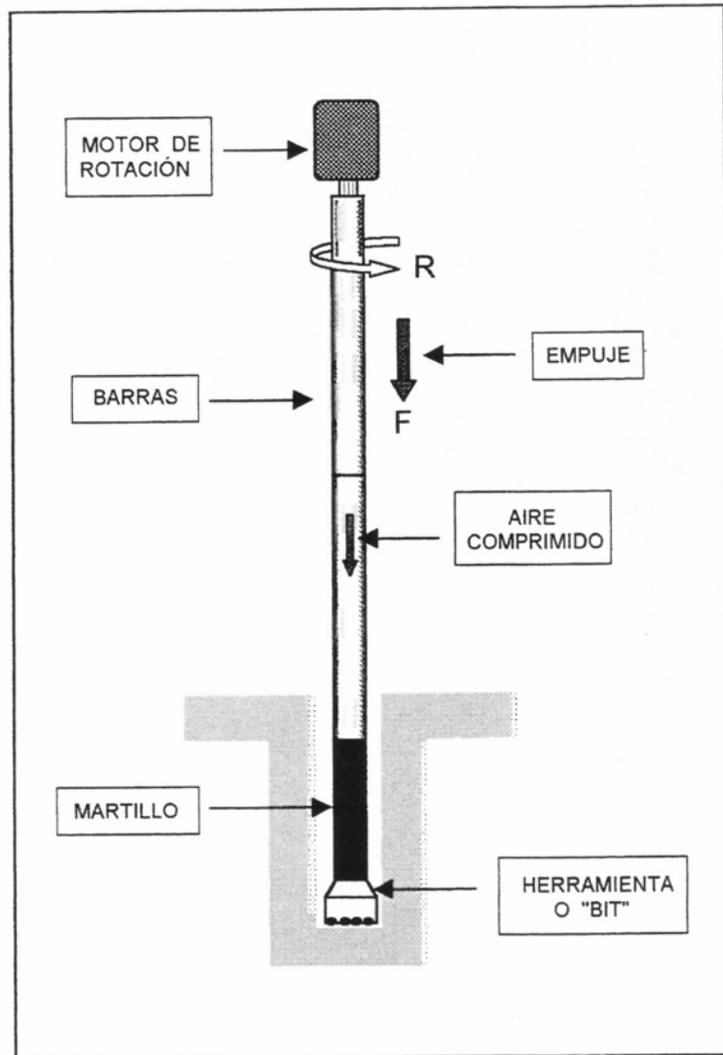
Año	1935	1950	1960	1965	1973	1977
Tipo de máquina	RH 65	BVB 23 con BBC 100	BMP 32 (dos) con BBC 21	ROC 601 con BBE 56	ROC 302 con dos BBC 24	ROC 810 H con COP 1038HB
Metros perforados por hombre y relevo	65	80	150	150	250	250
Diámetro de perforación en mm	35	51	35	76	35	76



## Sistema y equipos neumáticos de percusión versión DTH



MARTILLO



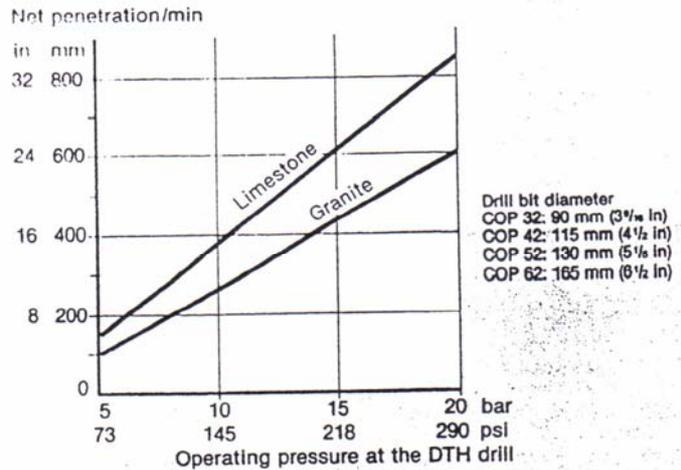
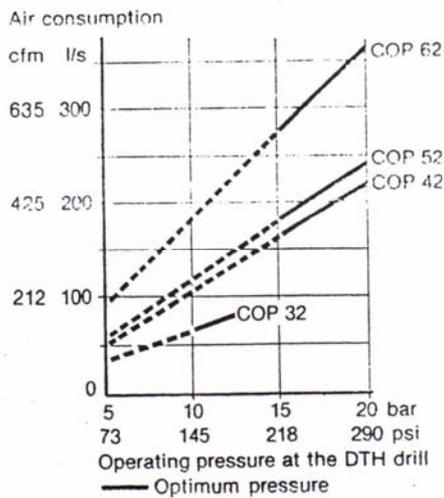
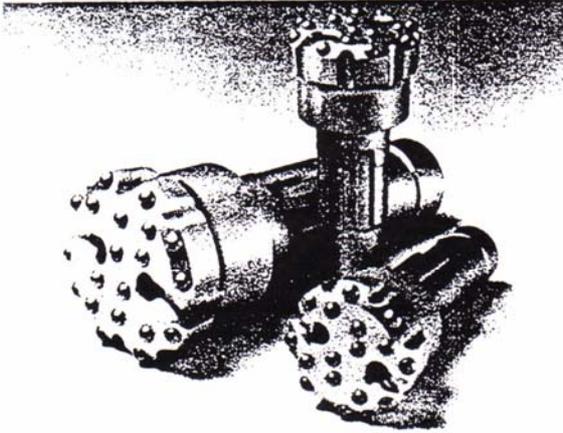
## Martillos y herramientas de perforación

### Down-the hole drills for 85–165 mm (3<sup>3</sup>/<sub>8</sub>–6<sup>1</sup>/<sub>2</sub> in) hole diameters

The combination of well-matched impact rate, large piston area and heavy impact piston, give Atlas Copco down-the-hole drills high output capacity.

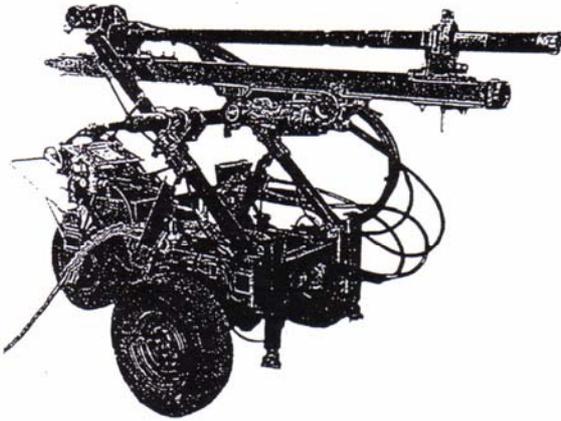
Operating pressures extend from 6 to 25 bar (87–360 psi). For reasons of capacity and related economy, the optimum operating pressure at the DTH drill should be between 15–20 bar (220–290 psi).

All the drills in the range are capable of booster flushing



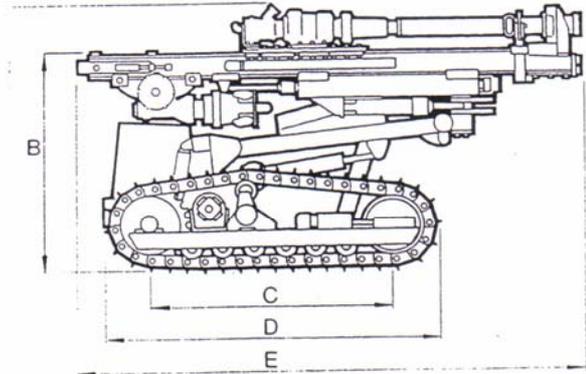
Cont'd

Equipos de perforación DTH – Minería subterránea



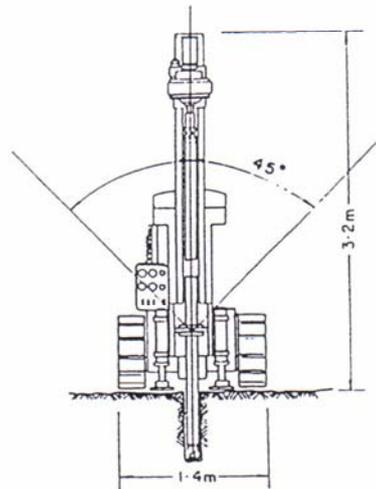
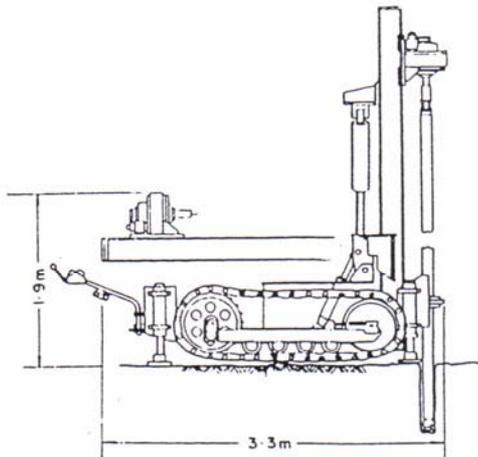
WAGON DRILL

Diámetro de perforación: 105 a 125 mm  
 Longitud de los tiros : hasta 40 m



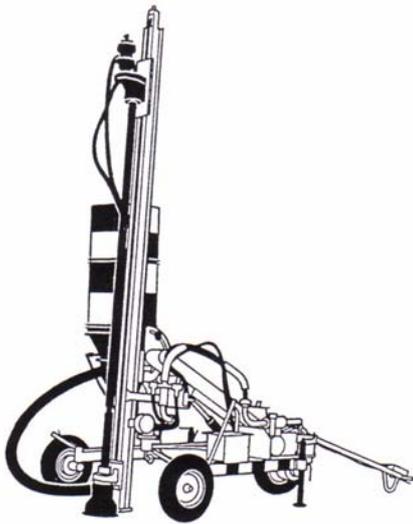
TRACK DRILL

Diámetro de perforación: 105 a 165 mm  
 Longitud de los tiros : hasta 80 m



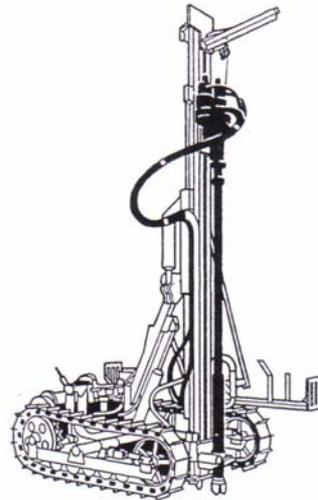
Equipo subterráneo de perforación con martillo en fondo (Ingersoll Rand).

Equipos de perforación DTH – Minería a rajo abierto



WAGON DRILL

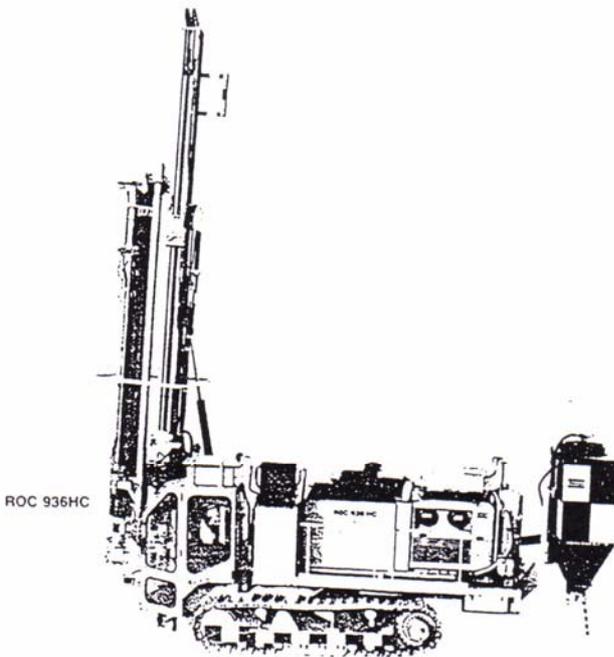
Diámetro de perforación: 105 a 155 mm



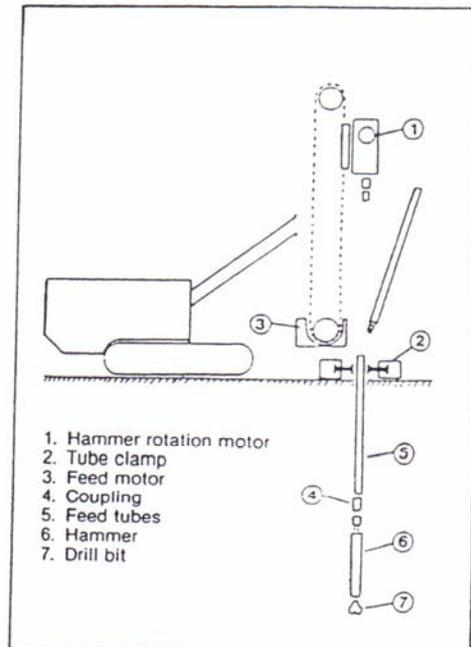
ROC 601-01

TRACK DRILL

Diámetro de perforación: 115 a 165 mm



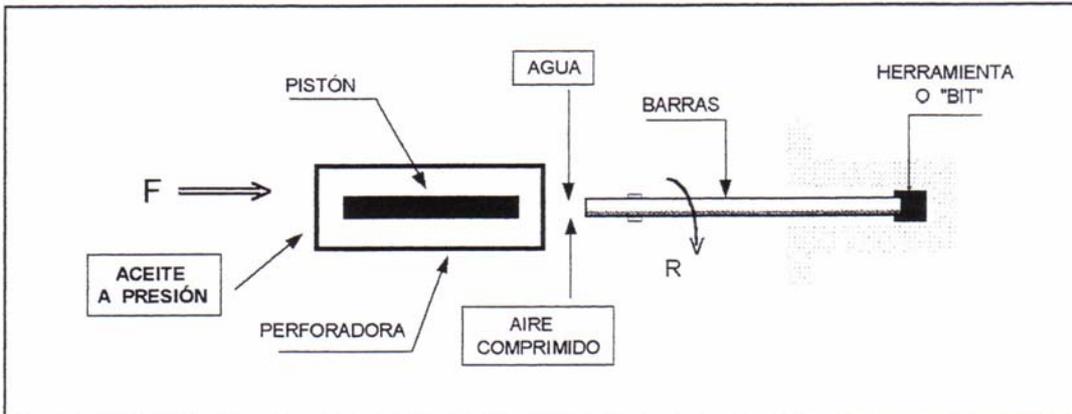
Diámetro de perforación: 115 a 165 mm



Principales componentes

## Sistema y equipos hidráulicos de percusión (sólo top-hammer)

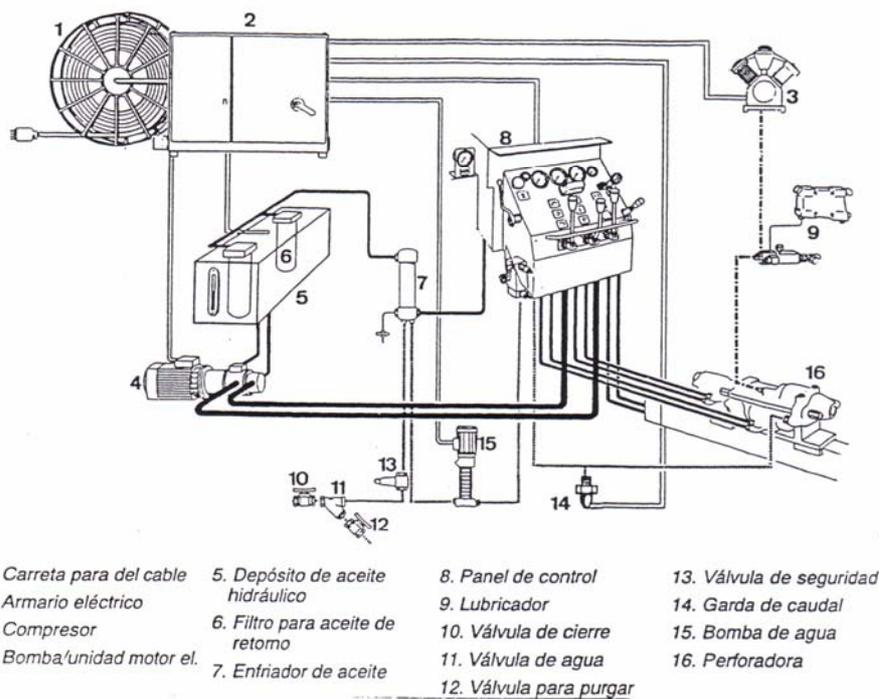
### PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO



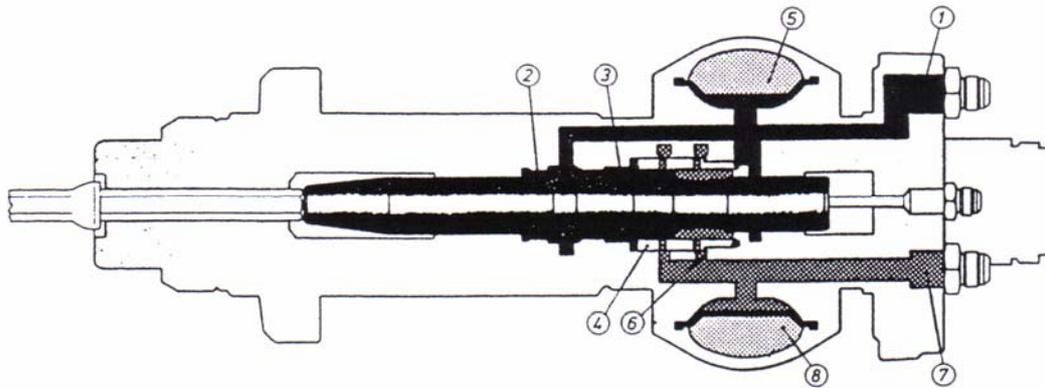
### Accionamientos y/o dispositivos principales

- Mecanismo de percusión
- Dispositivo de distribución del aceite a presión, permite regular la carrera del pistón
- Mecanismo de rotación
- Dispositivo de absorción de la fuerza de reacción del impacto (acumuladores de nitrógeno)
- Dispositivo de barrido del detritus
- Dispositivo de lubricación

### Sistema de perforación electro-hidráulico

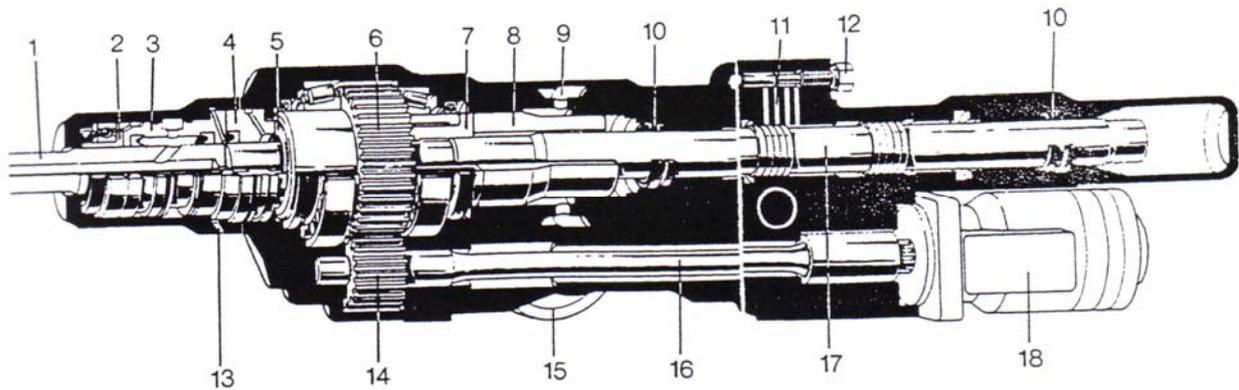


## Máquina de perforación hidráulica



- |                          |                                     |                         |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 1. Adaptador de culata   | 7. Casquillo del manguito rotatorio | 12. Tapón regulador     |
| 2. Casquillo desgastable | 8. Pistón amortiguador              | 13. Orificio de vaciado |
| 3. Cabezal de barrido    | 9. Conducto de presión              | 14. Piñón del engranaje |
| 4. Anillo de tope        | 10. Juntas                          | 15. Acumulador          |
| 5. Cilindro de guía      | 11. Conductos de regulación         | 16. Eje de rotación     |
| 6. Manguito rotatorio    | 17. Pistón                          | 18. Motor de rotación   |

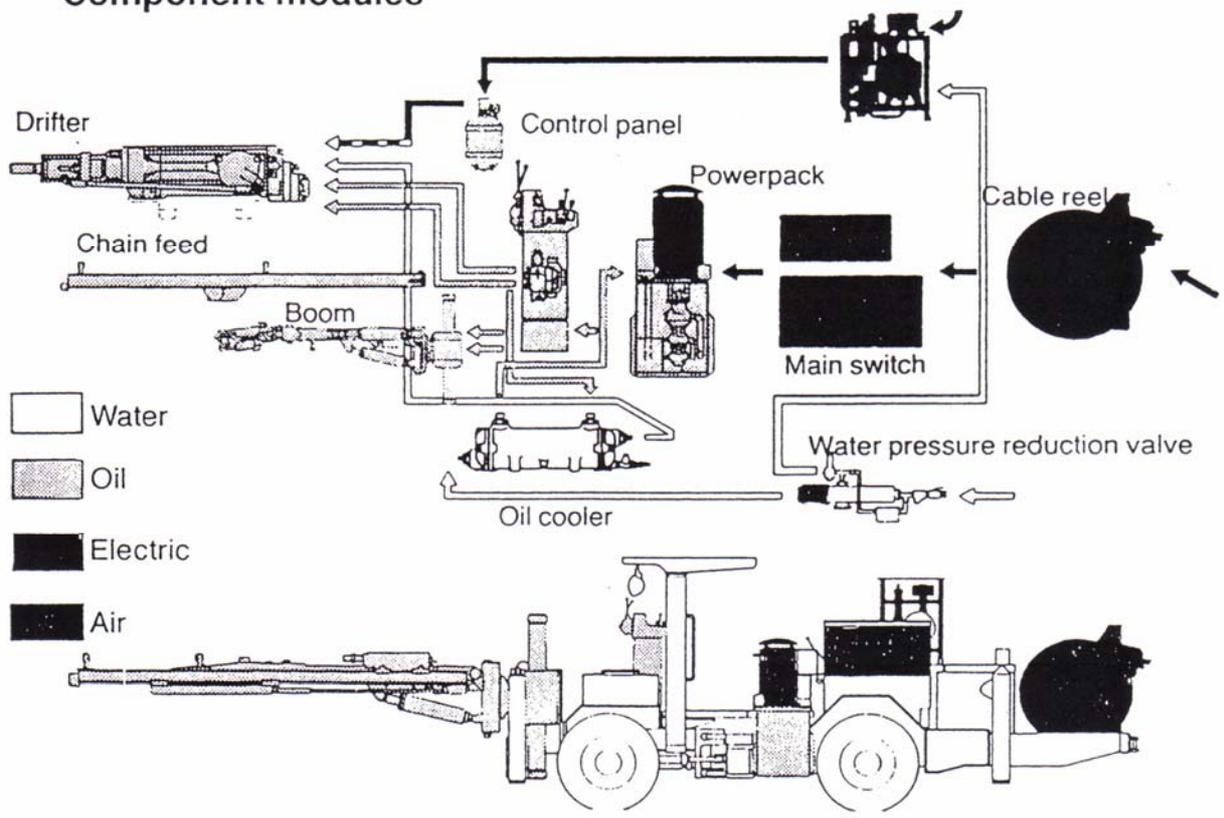
Fig. 7. Dibujo en corte de la perforadora



# Equipo electro-hidráulico – Perforación frontal para galerías y túneles

## Principales componentes

### Component modules



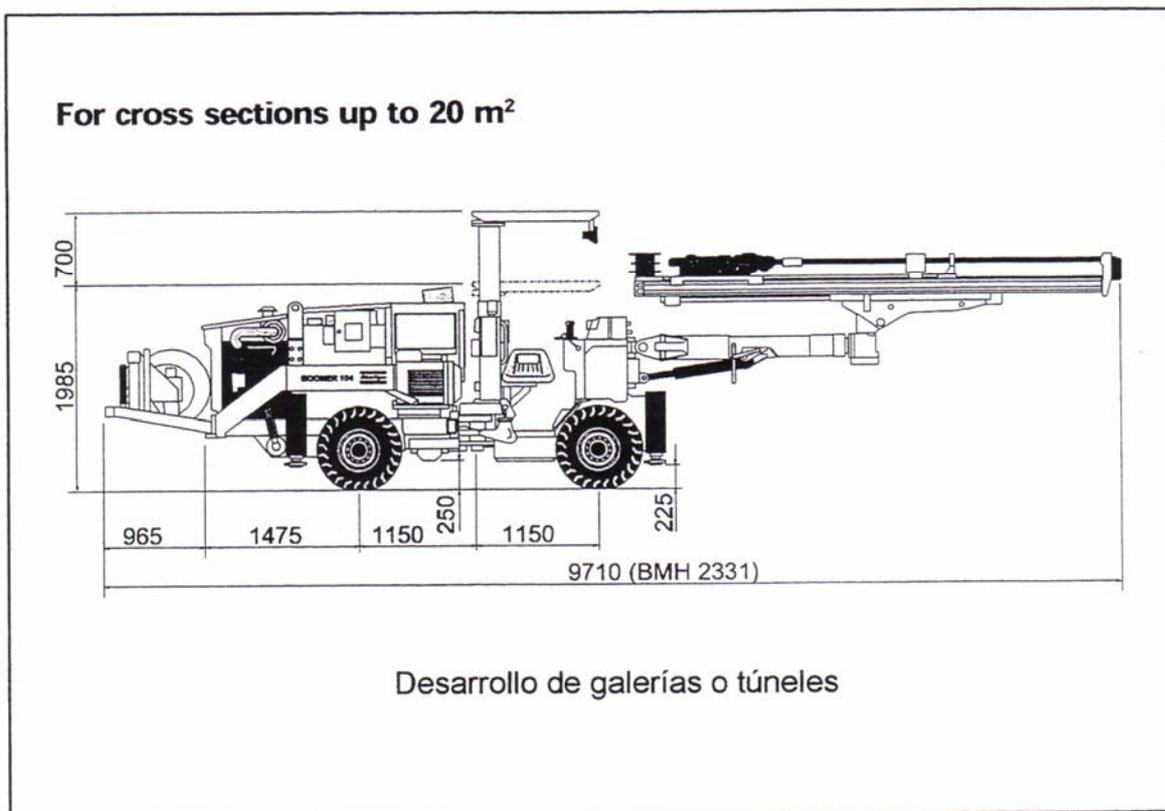
# Atlas Copco

## Technical Specification

### Boomer 104

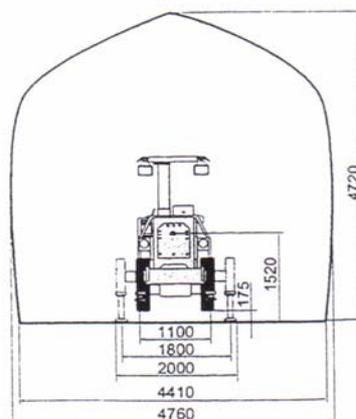
Direct controlled hydraulic drill rig with COP 1238 for high speed drilling in narrow vein mining.

### Dimensions in mm



### Main components

Rock drill	1x COP 1238ME
Feed	1 x BMH 2300-series
Boom	1 x BUT 4
Drilling system	DCS12-45-1
Carrier	DC 4



Área de cobertura

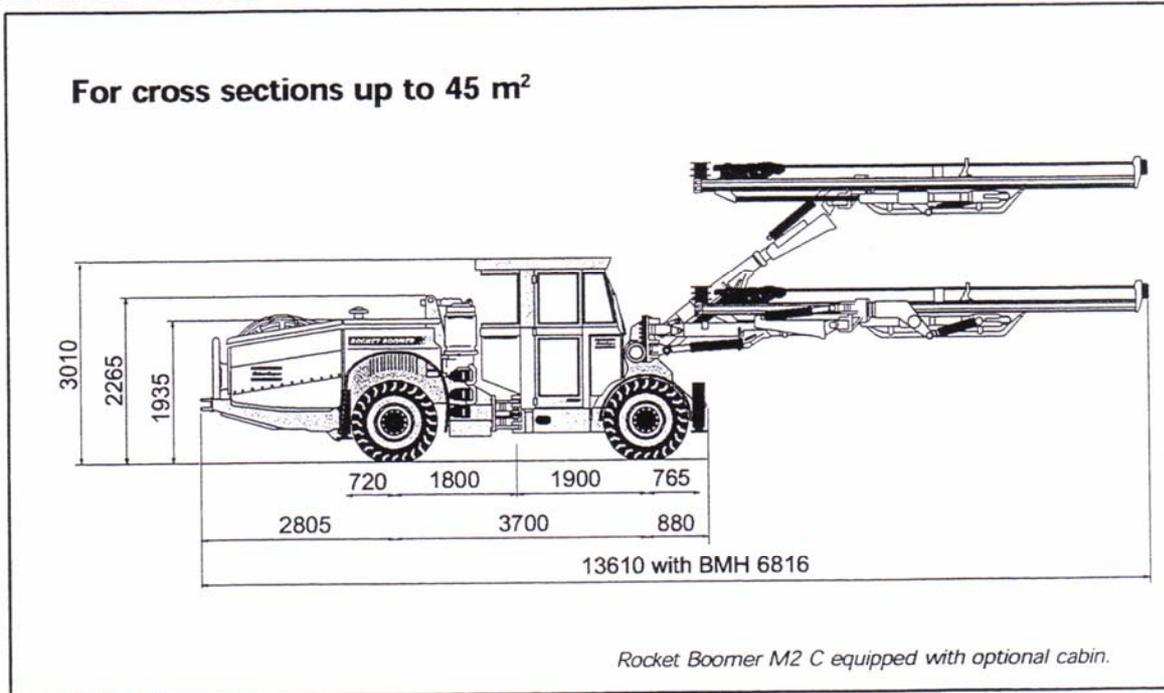
# Atlas Copco

## Technical Specification

### Rocket Boomer M2 C

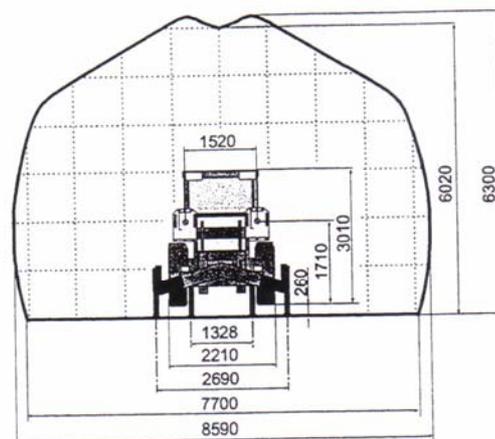
Hydraulic tunnelling and mining rig with computer-based drilling system for high accuracy and productivity

### Dimensions in mm



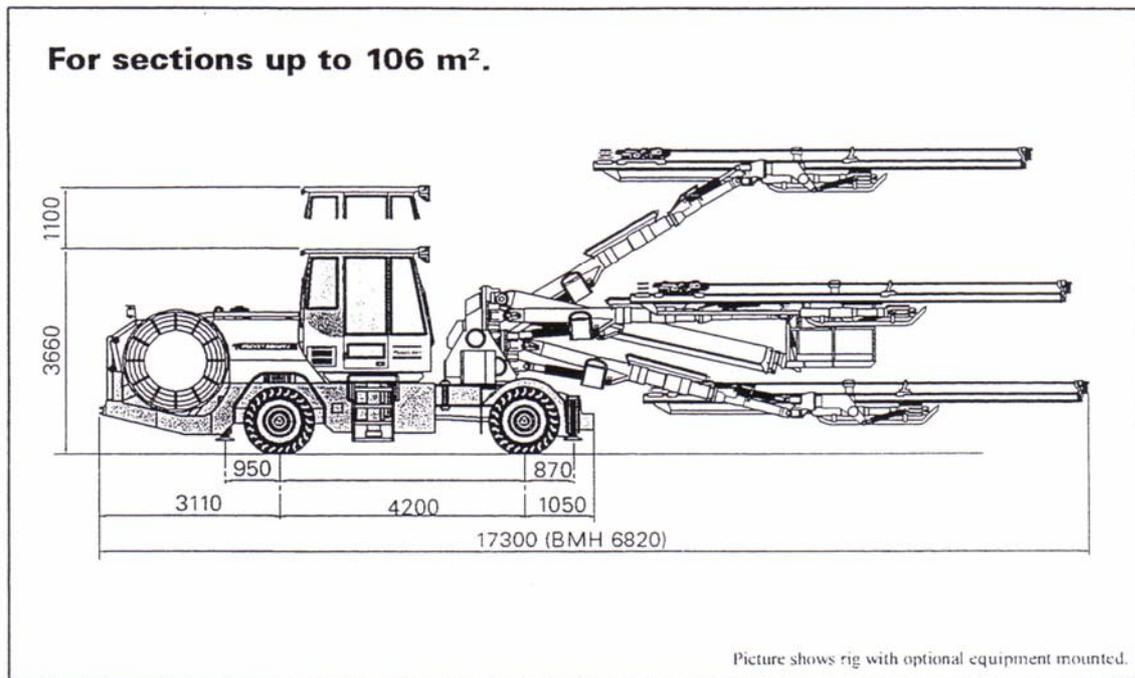
### Main components

Rock drill	2 x COP 1838ME
Feed	2 x BMH 6800-series
Boom	2 x BUT 32E
Drilling system	RCS
Carrier	DC M2



Área de cobertura

## Desarrollo de túneles de gran sección – Jumbo de perforación electro-hidráulico



### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

#### Features

- Electro-hydraulic drilling with COP 1440
- Four wheel traction
- Articulated steering
- Accurate, rapid and simple positioning with BUT 35
- Precise parallel holding
- No blind spots in the coverage area

#### Main components

Carrier	DC 26
Boom	3×BUT 35
Power pack	BHU 40-2
Feed	3×BMH 600-series
Rock drill	3×COP 1440

#### Carrier

Type	DC 26
Engine, Deutz F6L 413 FW	102 kW (139 hp) at 2300 rpm
Electrical system	24 V

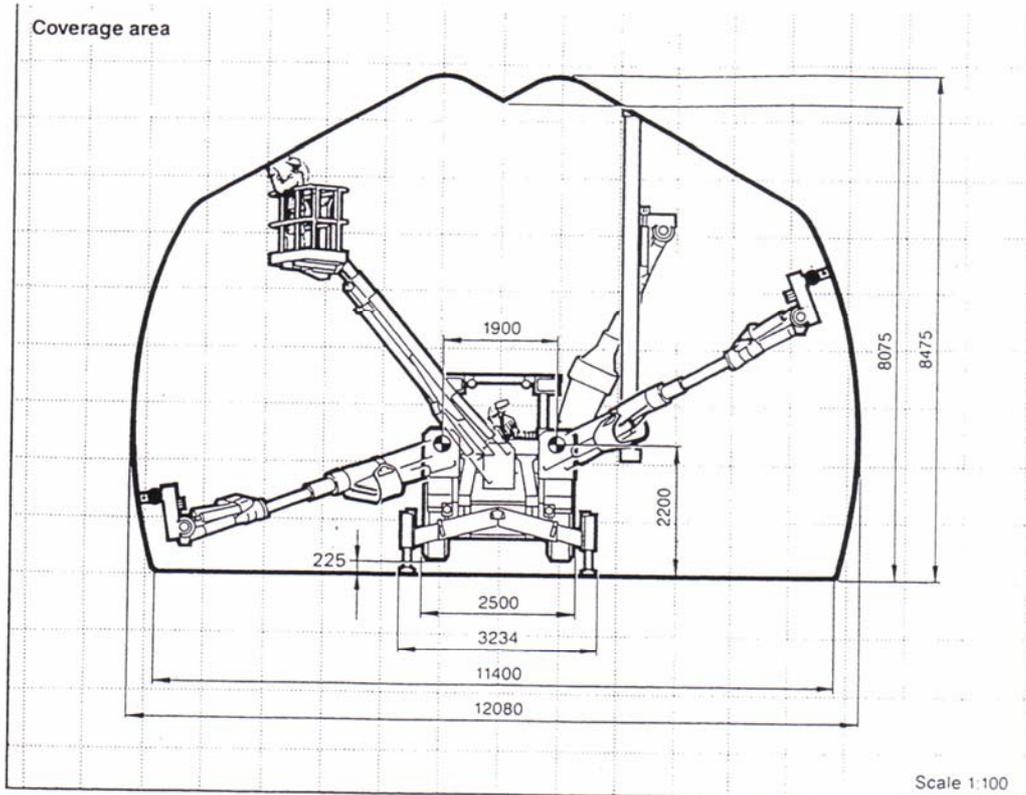
#### Boom BUT 35

Weight boom only	2700 kg
Feed extension	1800 mm
Boom extension	1600 mm
Feed roll-over	360°
Parallel holding	Complete
Printed Matter No.	9851 1553 01

#### Power pack BHU 40-2

Electrical pump motors	2×75 kW
Voltage	380—660V
Frequency	50 or 60 Hz
Hydraulic pumps	2×triple axial piston pumps
System pressure, impact mechanism	150—250 bar
Hydraulic oil tank, volume	350 litres
Hydraulic oil types	mineral

## Desarrollo de túneles de gran sección – Área de cobertura



### Rock drill COP 1440

Drill steel	T38
Impact power, max	22 kW
Impact rate	60—70 Hz
Lub. air consump. (at 2 bar)	2.5 l/s
Water requirement (at 12 bar)	2×1.1 l/s
Rotation system	separate rotation
Rotation speed	0—350 rpm
Weight	151 kg
Sound level	106 dB(A)

### Electrical system

Total el. power cons.	160 kW
Voltage	380—660 V
Frequency	50 or 60 Hz
Rec. size of el. cable (RDOT) 380—660 V	4×120 mm <sup>2</sup>

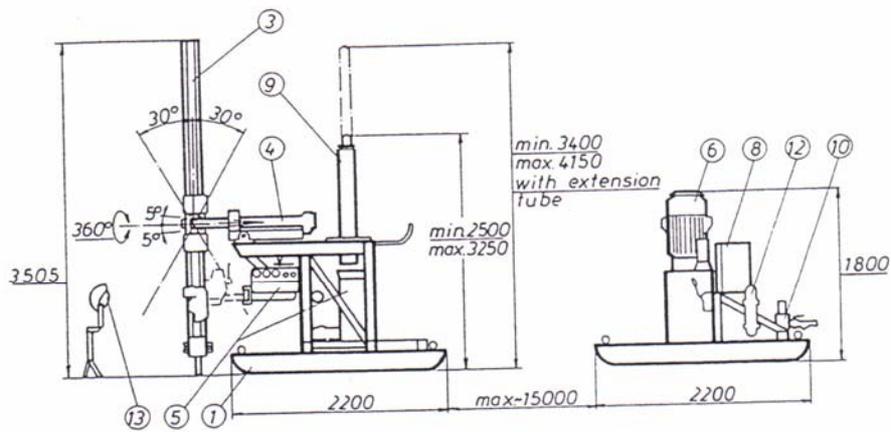
### Dimensions and weights

Height with protective roof, transp.	2400 mm
Height with protective roof, drilling	3100 mm
Width	2500 mm
Length (with 18 fts feeds)	15030 mm
Turning radii	
Outer (with booms & feeds)	7100 mm
Inner	4400 mm
Gross weight	
— excl. service platform	25.5 tons
— incl. service platform	27.0 tons

### Optional equipment

- Protective roof
- Silenced operators cabin
- Hose and cable reel
- Water booster pump (for flushing)
- Service platform HL-75
- Exhaust scrubber
- Exhaust catalyzer
- Extra working lights 2×1500 W

Equipos electro-hidráulicos – Perforación radial de producción



Diámetro de perforación : 48 a 57 mm  
 Longitud de los tiros : hasta 25 m

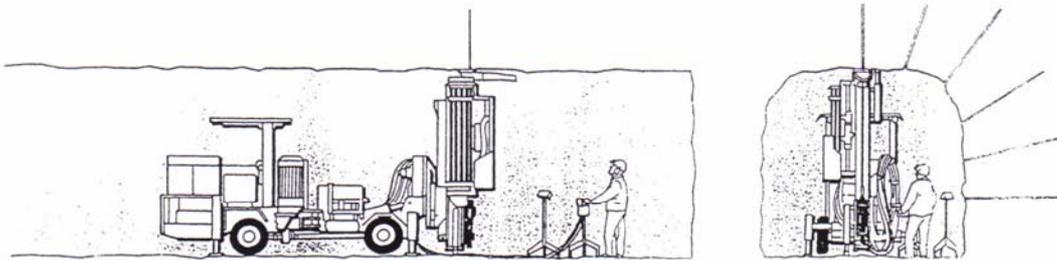
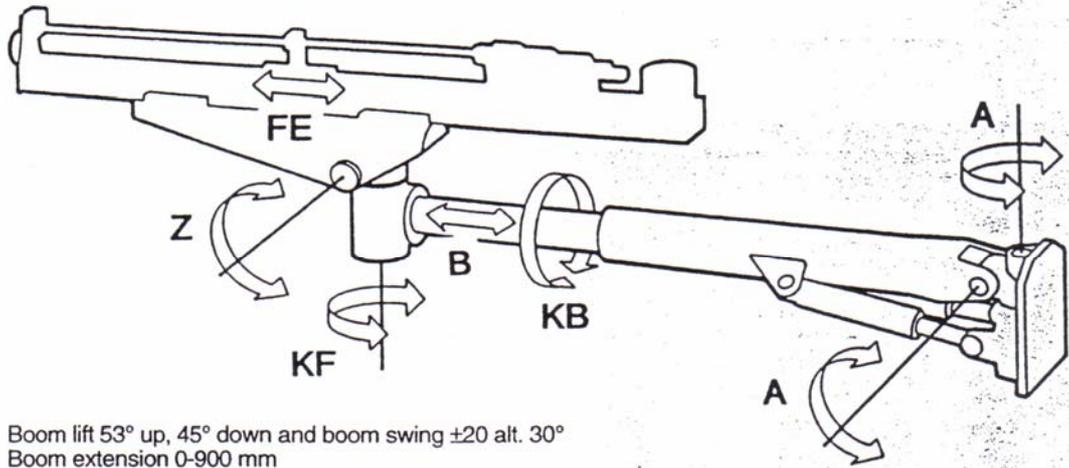


Fig. 44. El equipo de perforación de barrenos largos es de control remoto y está frecuentemente provisto con un manejo mecanizado de barras.

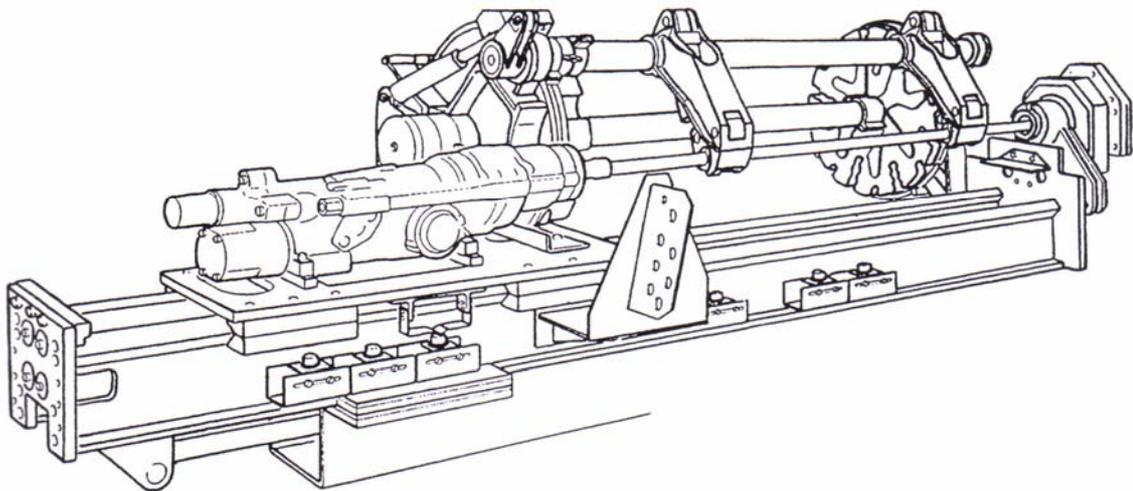
Diámetro de perforación : 51 a 89 mm  
 Longitud de los tiros : hasta 40 m

## Equipos hidráulicos de perforación – Brazo (boom) y avances (feed)

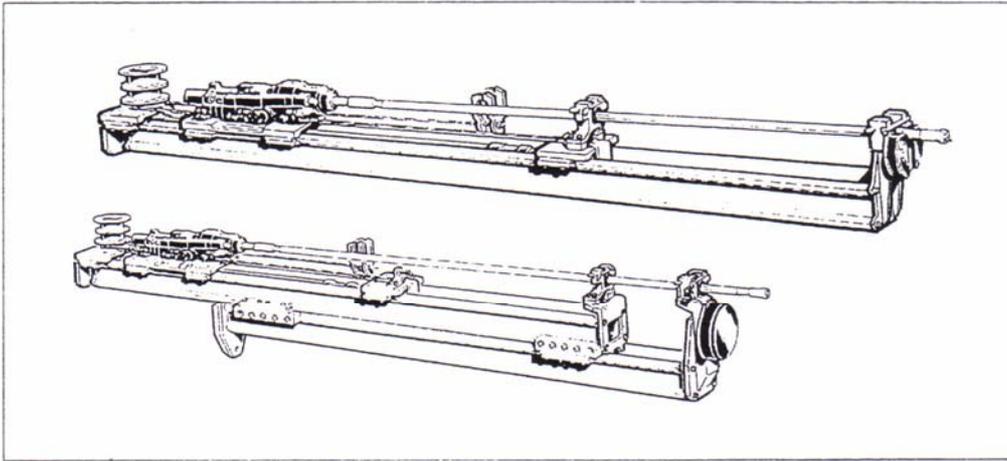
### BUT 4 boom movements



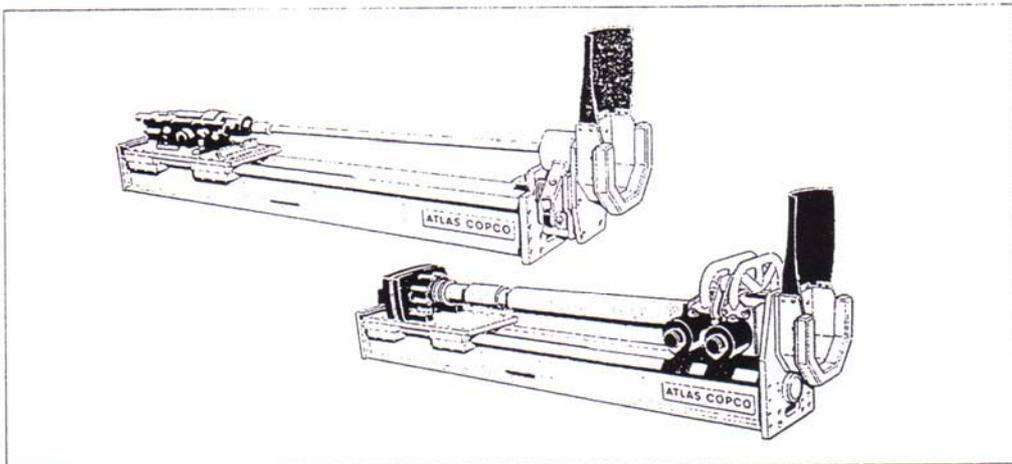
- A. Boom lift 53° up, 45° down and boom swing  $\pm 20$  alt. 30°
- B. Boom extension 0-900 mm
- KB. Boom rotation 360°
- Z. Look-out 20° up, 100° down
- KF. Feed rotation  $\pm 98$ °
- FE. Feed extension 0-1500 mm



## Equipos hidráulicos de perforación



**AVANCES PARA DESARROLLO  
DE GALERÍAS O TÚNELES CON BARRAS EN SERIE**



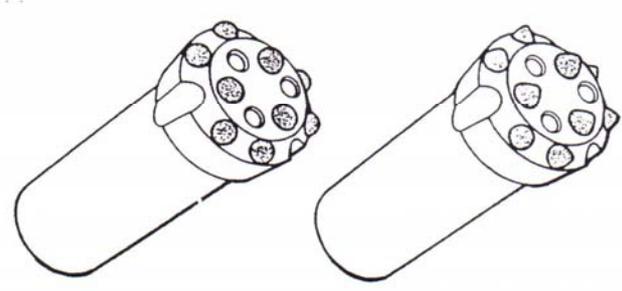
**AVANCES PARA PERFORACIÓN  
DE PRODUCCIÓN CON BARRAS EXTENSIBLES**

# Herramientas o aceros de perforación

		Dim. mm	in
Cross		48	1 7/8
		51	2
		57	2 1/4
		64	2 1/2
Retrac		51	2
		57	2 1/4
		64	2 1/2
Guide retrac		51	2
Button		51	2
		57	2 1/4
		64	2 1/2



Shank adapter



77 Botones esféricos

77 Botones balísticos

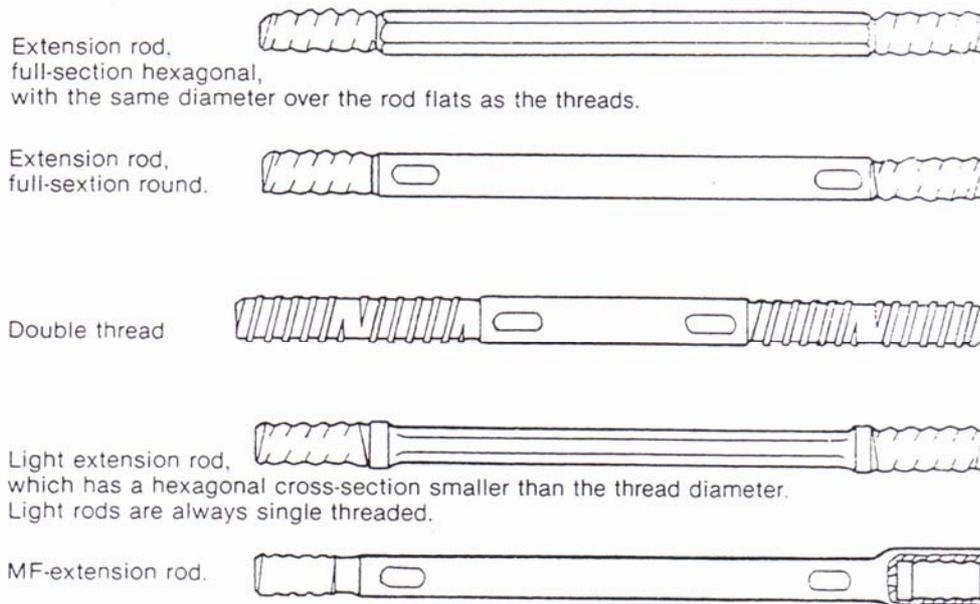


Coupling sleeve

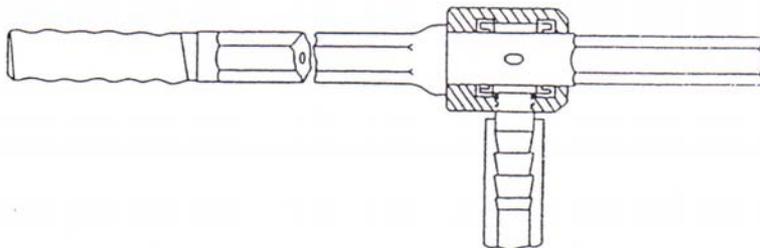


Drill bit

## Barras de perforación



*Figure 49. Different extension rod types.*

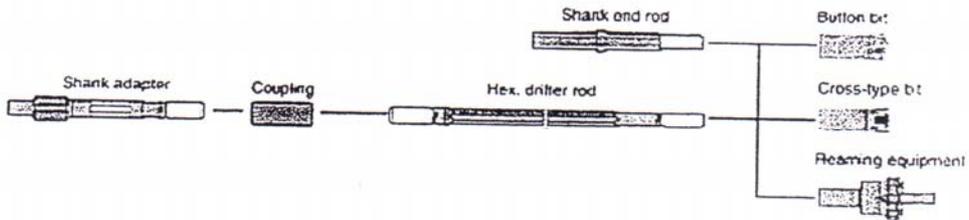


## INYECCIÓN DE AGUA PARA EL BARRIDO

## Combinaciones de aceros de perforación

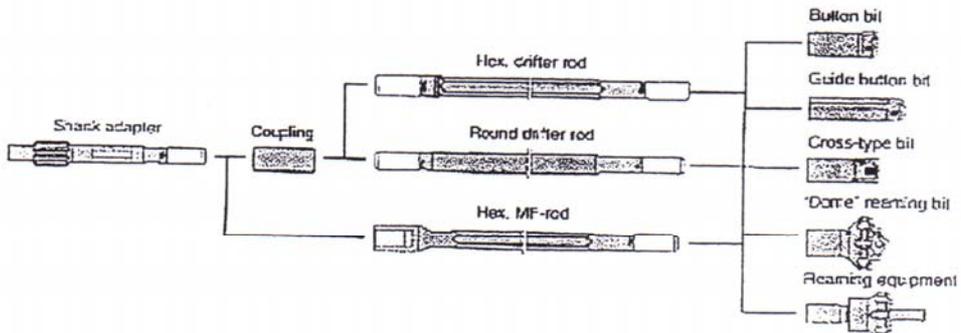
### R25 - Drifting equipment (1")

You are here: Home > Rock Drilling Tools > Drifting equipment > R25



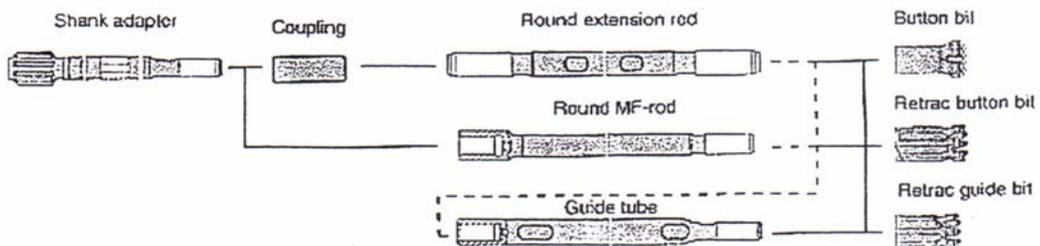
### R32 - Drifting equipment (1 1/4")

You are here: Home > Rock Drilling Tools > Drifting equipment > R32

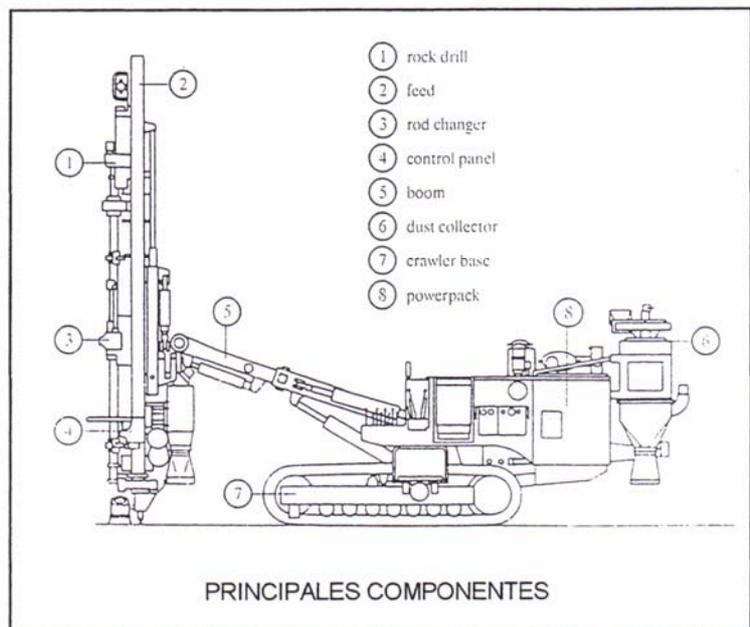
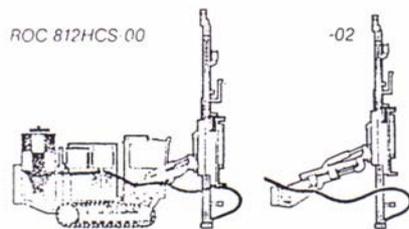
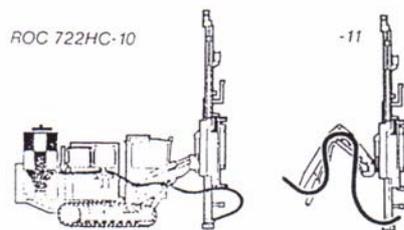
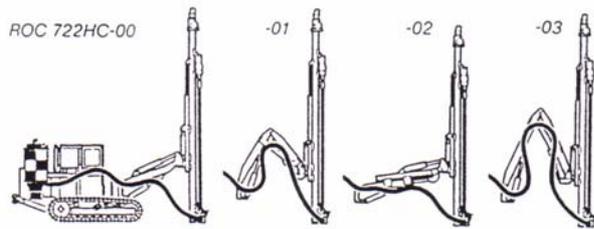
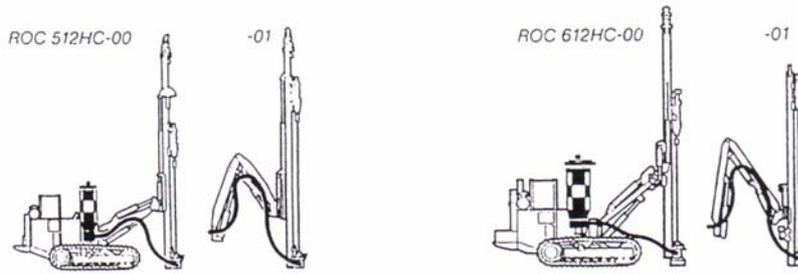


### T51 - Bench and production drilling (2")

You are here: Home > Rock Drilling Tools > Bench and production drilling > T51



## Equipos de perforación hidráulicos – Minería a Rajo Abierto



### HOLE DIAMETER (MM)

64    76    89    102    115    127

---

## PERFORACIÓN POR PERCUSIÓN

### Eficiencia y Rendimientos del Sistema



---

La eficiencia de un sistema de perforación se evalúa o expresa en términos de la velocidad de avance o velocidad instantánea de penetración, entendiéndose por velocidad instantánea a aquella que se mide en un intervalo de tiempo pequeño, por ejemplo: 60 [cm/min].

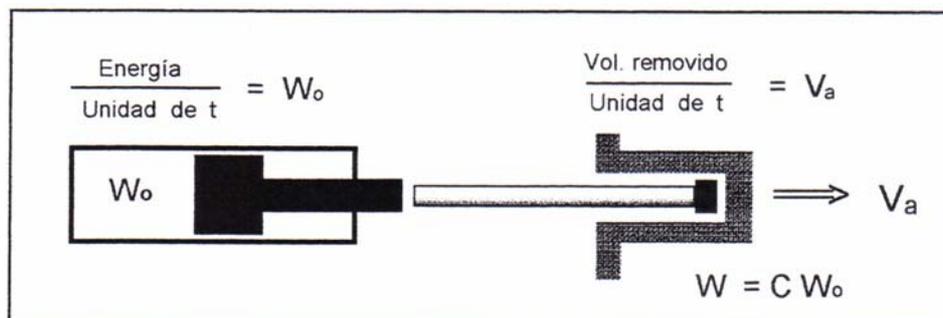
Si se trata de períodos más largos, por ejemplo 1 hora, se debe utilizar más bien el concepto de rendimiento, que involucra además otros factores relacionados con las condiciones locales y/o particulares de cada excavación o faena, que escapan por ahora a los alcances de este análisis.

### **Factores principales**

Para un mismo diámetro de perforación los factores que controlan la eficiencia del sistema son los siguientes:

- Características de potencia de la máquina perforadora
- Transmisión de la energía a la roca
- Aplicación de la energía a la roca

La velocidad de penetración ( $V_a$ ) representa en última instancia el volumen de roca que puede ser removido por unidad de tiempo para un determinado diámetro del "bit". Este volumen removido depende a su vez de la cantidad de energía que se transmite desde el pistón a la barrena durante esa misma unidad de tiempo.



**Características de potencia de la máquina**

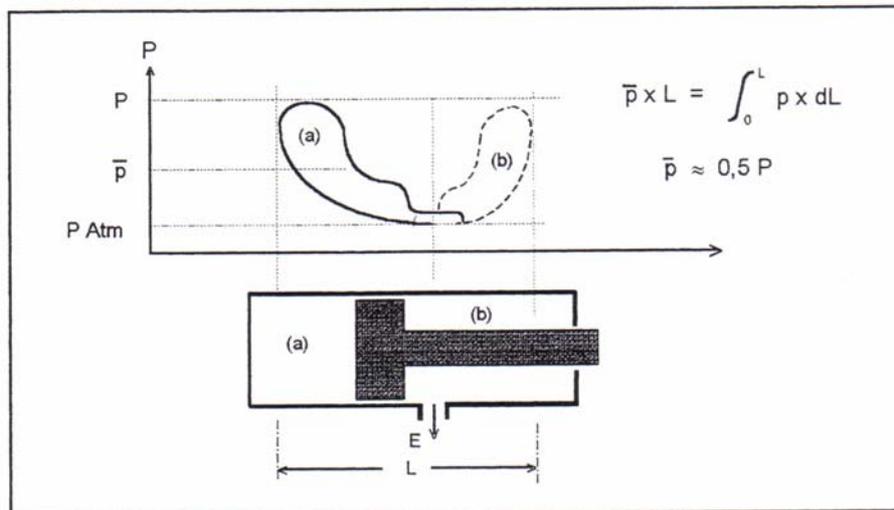
La velocidad de avance o velocidad instantánea de perforación es directamente proporcional a la potencia de la máquina.

$$V_a = K W_o \quad [\text{cm/min}]$$



La evaluación de la energía de impacto del pistón al final de su carrera hacia adelante (carrera útil), puede obtenerse matemáticamente a partir de la ecuación general que describe su movimiento.

Para una perforadora neumática, aceptando algunas simplificaciones, se supone que la presión del aire comprimido se mantiene constante durante la carrera útil del pistón, asignándole un valor promedio. La figura siguiente muestra la evolución real que experimenta la presión del aire en ambos lados del cilindro.



Además, se hace la suposición que la aceleración del pistón es también constante durante su carrera, e igual en ambos sentidos.

De este modo, la energía de impacto ( $w_0$ ) queda dada por la siguiente expresión:

$$w_0 = 0,5 P A L \quad [\text{kgm/golpe}]$$

Luego, la potencia:

$$W_o = 0,5 P A L N \quad [\text{kgm/min}]$$

Donde:

- P es la presión manométrica del aire a la entrada del cilindro, equivalente 6 [kgp/cm<sup>2</sup>]
- A es el área de la cara frontal del pistón o área del cilindro de la máquina [cm<sup>2</sup>]
- L es la carrera del pistón [m]
- N es la frecuencia de impactos [golpes/min]

Los manuales y catálogos de los fabricantes incluyen las características constructivas de sus equipos en cuanto a diámetro del pistón (D), carrera (L) y frecuencia de impactos (N).

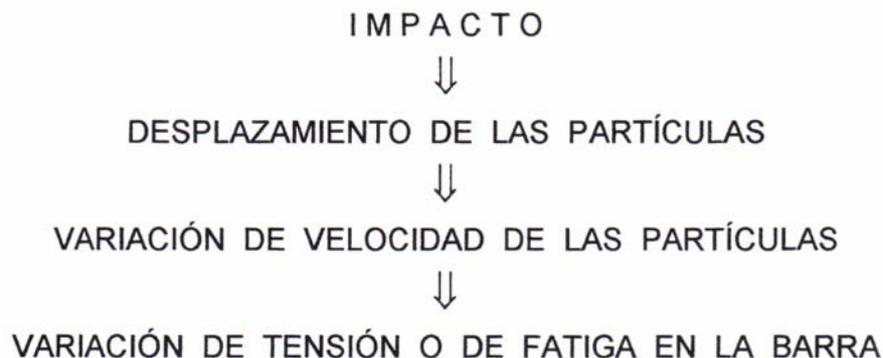
Cuando se trata de perforadoras accionadas hidráulicamente, los fabricantes indican en sus manuales y catálogos lo que en inglés denominan impact power expresada en [KW], y también la frecuencia de impactos expresada en (Hz). Para evitar confusiones, es preciso aclarar que la expresión impact power corresponde a la energía que desarrolla la máquina por unidad de tiempo [seg] -1 [Watt] = 1 [Joule/seg] - y no a la energía por golpe [kgm/golpe] como se acostumbra expresarla en el caso de las perforadoras neumáticas.

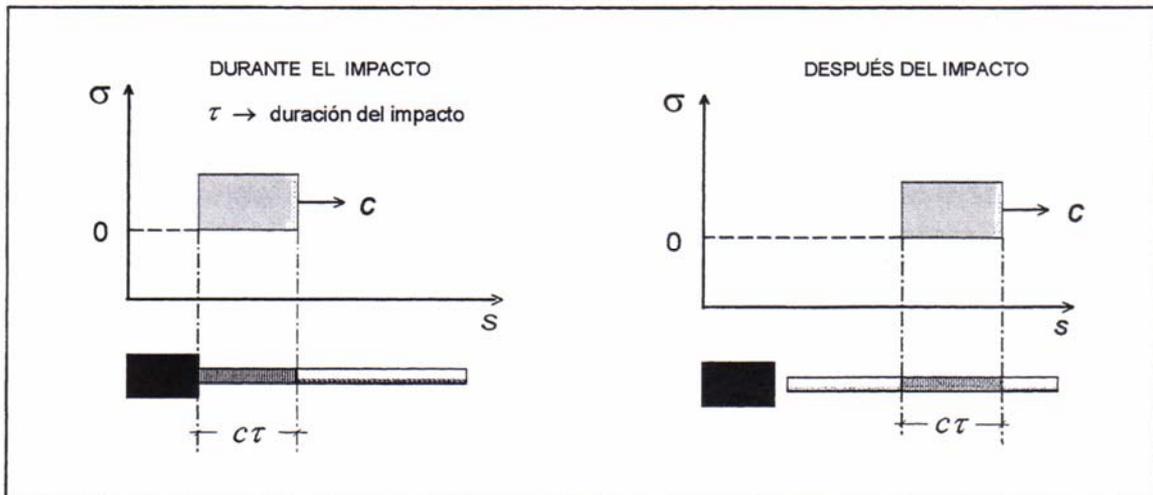
Por otra parte, cabe señalar, además, que en el caso de las perforadoras hidráulicas el fluido que acciona la máquina (aceite) trabaja a presiones del orden de los 150 a 250 [kgp/cm<sup>2</sup>].

### **Transmisión de la energía**

La energía se transmite por la columna de barras en la forma de una onda de fatiga u onda de compresión. Parte de esta energía se pierde en este proceso, aproximadamente un 30 % en condiciones normales de operación.

Al producirse el impacto del pistón contra la parte posterior de la barrena se crea en ella una perturbación. Las partículas del sólido que reciben el golpe experimentan un desplazamiento o, dicho en otra forma, experimentan una variación de velocidad ( $\Delta V$ ). Por otra parte, una variación repentina de la velocidad de las partículas en un sólido genera una variación de tensión ( $\Delta T$ ) o de la fatiga ( $\Delta \sigma$ ). El sólido se deforma y dicha deformación se propaga progresivamente a todas sus partículas.





La energía asociada a una onda de fatiga en un sólido elástico tiene dos componentes:

- Energía cinética de las partículas que se desplazan al paso de la onda con velocidad "v":

$$E_k = \frac{1}{2} A c \tau \rho v^2$$

- Energía elástica o de deformación almacenada en la onda.

$$E_e = \frac{1}{2} A c \tau \rho \sigma^2 / E$$

- Energía total:

$$E_T = E_k + E_e$$

Por otra parte, resulta fácil demostrar que  $[E_k = E_e]$ , luego:

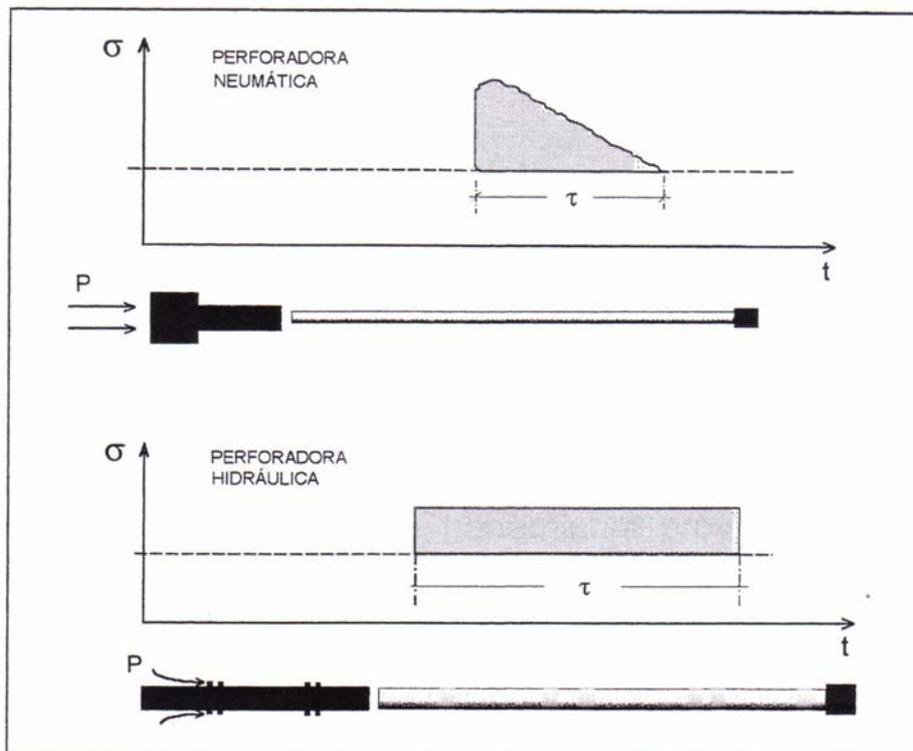
$$E_T = \frac{A c \tau \sigma^2}{E} \quad [\text{kgm/golpe}]$$

Donde:

A	→	sección transversal de la barra	[cm <sup>2</sup> ]
c	→	velocidad de propagación de la onda	[m/seg]
σ	→	fatiga de compresión	[kgp/cm <sup>2</sup> ]
E	→	Módulo de Young	[kgp/cm <sup>2</sup> ]
τ	→	período de la onda	[seg]

La forma de la onda de fatiga depende de la geometría del pistón, y en lo esencial - simplificando mucho las cosas- de la relación entre el área del pistón ( $A_p$ ) y el área de la barrena ( $A_b$ ).

En el caso de las perforadoras neumáticas  $A_p > A_b$ , y la onda de fatiga (compresión) que se transmite por la barra tiene un perfil triangular con un pea/c de fatiga alto. En cambio, en las perforadoras hidráulicas,  $A_p \approx A_b$  y la longitud del pistón es bastante mayor, de modo que la onda de fatiga toma una forma rectangular plana y alargada, de bajo perfil.



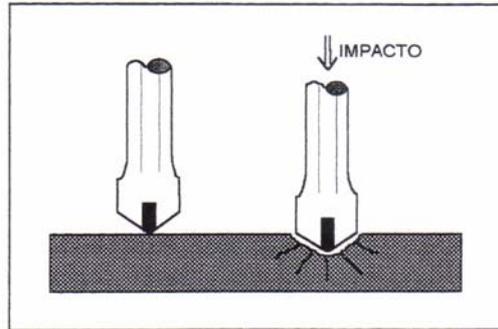
El área achurada representa la energía que se trasmite en cada impacto. Al comparar las áreas correspondientes, se concluye que una perforadora hidráulica puede transmitir una energía por golpe bastante mayor, sin sobrepasar el límite de resistencia a la fatiga de las barras, lo que se traduce en una velocidad de penetración muy superior.

### **Aplicación de la energía**

No existe en la actualidad un modelo satisfactorio y coherente que simule el fenómeno de interacción entre la herramienta y la roca. El proceso mismo de penetración o de fragmentación de la roca por efecto de la aplicación de un pulso de fatiga a través de una herramienta de geometría compleja, es un fenómeno demasiado aleatorio o caótico, imposible de modelar con un grado de fidelidad confiable.

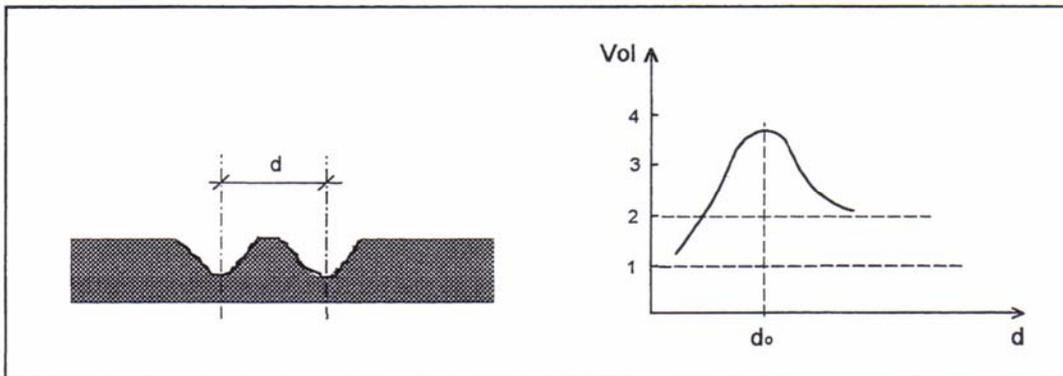
En consideración a lo anterior, se tratará de explicar cualitativamente al menos algunos conceptos y principios que intervienen o inciden en el fenómeno.

## Indentación

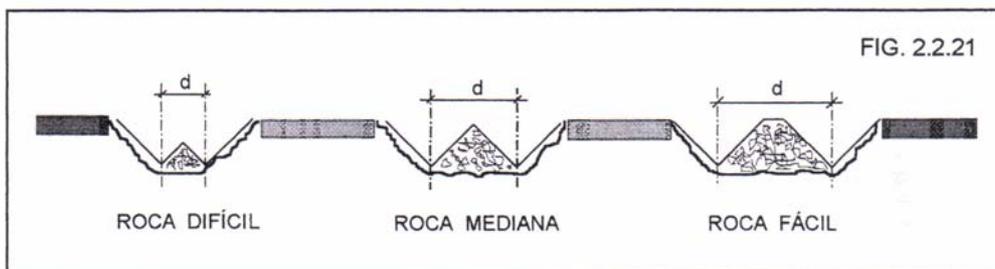


Se llama **indentación** al proceso de fracturamiento de la roca por el efecto de penetración de una herramienta con forma de cuña mediante la aplicación de golpes sucesivos.

Para una aproximación al menos cualitativa al problema, supongamos que se realiza una experiencia consistente en golpear sucesivamente una superficie rocosa mediante una simple traslación paralela de una herramienta provista de un solo filo. Como resultado de esta experiencia, es posible obtener un gráfico que representa el volumen de roca removido por dos golpes sucesivos en función de la distancia entre dichos golpes. La unidad de medida corresponde al volumen removido por un golpe aislado.



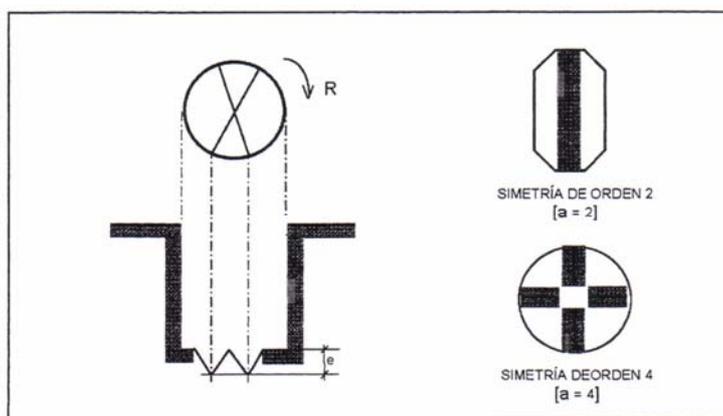
Si la distancia tiende a cero, significa que el filo golpea dos veces en la misma posición, y el volumen removido es solamente un poco mayor que 1. En el otro extremo, si la distancia es muy grande, no existe interacción entre los golpes y el volumen removido tiende a 2. Sin embargo, si los golpes son cercanos, se produce interacción y el núcleo central de roca se rompe, resultando un volumen removido que podría incluso ser mayor de 3.



La situación descrita depende en lo esencial de las propiedades de la roca; vale decir, de la mayor o menor resistencia que oponga al proceso de penetración. En rocas que presentan mayor resistencia a fragmentarse, la ruptura del núcleo central sólo ocurrirá cuando la distancia entre los golpes es pequeña; por el contrario, en rocas que ofrecen menor resistencia, se obtiene ese mismo efecto con golpes más distanciados.

### Grado de rotación

En la situación real la aplicación de los impactos sucesivos corresponde a una rotación en torno a su punto central y no a una traslación paralela del filo. Se define como grado de rotación óptimo o ideal a aquél que permite avanzar una profundidad "e" cuando el filo barre o recorre una sola vez el fondo del tiro, con un mínimo de golpes. Este giro se puede expresar en grados ( $\alpha_0$ ) o también como fracción de vuelta ( $x_0$ ).



En los sistemas neumáticos de percusión, el grado de rotación óptimo se ubica en un rango entre 1/40 y 1/20 de vuelta; vale decir, entre 9 y 18 grados según las características de la roca.

### Fuerza de empuje

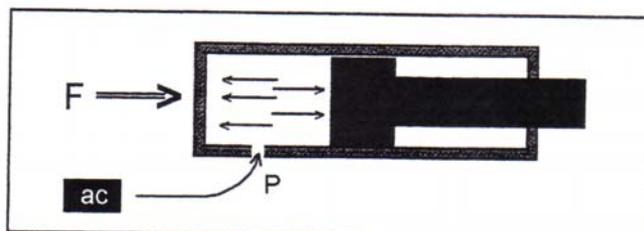
La fuerza de empuje que es necesario aplicar al sistema cumple básicamente las siguientes funciones:

1°) Contrarrestar la fuerza que ejerce el fluido a presión en la parte posterior del cilindro de la máquina. Así, en el caso de una perforadora neumática, la situación sería la mostrada en la figura.

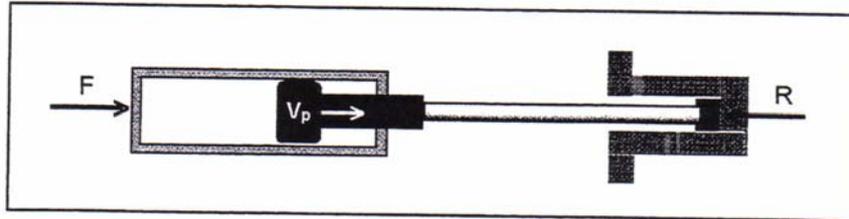
$$F \approx 0,5 P A \quad [\text{Kg-p}]$$

$P \rightarrow$  presión del aire a la entrada  $[\text{kgp/cm}^2]$

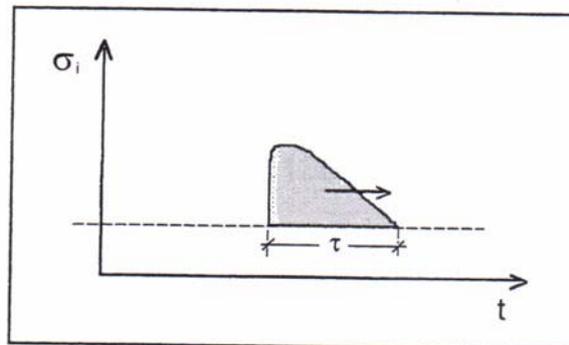
$A \rightarrow$  área del pistón  $[\text{cm}^2]$



2°) Contrarrestar la fuerza de reacción de la roca, de acuerdo con el principio acción - reacción.



La fuerza de empuje (F) se aplica en forma permanente; en cambio, la reacción (R) actúa durante un intervalo de tiempo muy pequeño, equivalente al período o duración del pulso de fatiga (i) que se propaga por la barra y se transfiere a la roca.



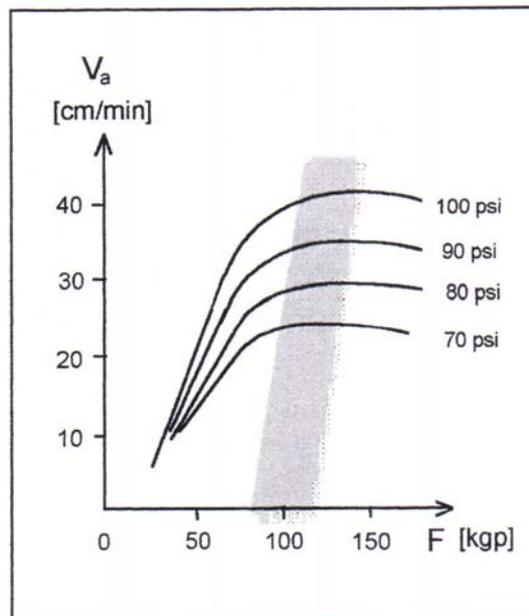
3°) Optimizar el proceso de aplicación de la energía.

Según el modelo aceptado en la actualidad, la energía de impacto se transmite por la barra en la forma de un pulso de fatiga (compresión). Dicha energía se aplica por intermedio de la herramienta, la cual debe mantenerse permanentemente presionada contra la roca para que el proceso de transferencia de la onda de fatiga resulte eficiente.

En tal sentido, los ensayos demuestran que cuando la fuerza de empuje es demasiado baja, se produce una sobre-rotación de la herramienta ( $\alpha \gg \alpha_0$ ) lo que incide negativamente en la velocidad de penetración. Por el contrario, si la fuerza aplicada es muy grande, la rotación tiende a reducirse, situación que también puede conducir a una operación ineficiente; incluso la herramienta podría atascarse, con la consiguiente pérdida de tiempo y eventualmente la pérdida de la herramienta.

En suma, para cada combinación perforadora-roca, existe una fuerza de empuje óptima que maximiza la velocidad de penetración. En la figura se muestran los resultados obtenidos de ensayos realizados en una roca de mediana dureza, con una perforadora neumática manual de las siguientes características:

- Masa del pistón : 2,015 [kg]
- Carrera nominal : 6,67 [cm]
- Diámetro del pistón : 6,67 [cm]
- Grado de rotación ( $x_0$ ) : 1/30
- Frecuencia (100 psi) : 35 [Hz]
- Diámetro del bit : 38 [mm]



La observación del gráfico permite apreciar -para este caso en particular- que la velocidad de avance ( $V_a$ ) máxima se obtiene para una fuerza de empuje ( $F$ ) comprendida aproximadamente entre 70 y 130 [kgp], dependiendo de la presión de trabajo del aire comprimido.

### **Velocidad de avance vs. propiedades de la roca**

La velocidad de penetración o velocidad de avance depende de la "dureza" de la roca. Por lo tanto, es preciso definir qué se entiende por dureza de la roca para los efectos del proceso que aquí se analiza.

En una primera aproximación, parece obvio caracterizar la dureza de la roca por alguna de sus propiedades físico-mecánicas, tales como densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, módulos elásticos u otras. Sin embargo, lo observado en la práctica indica que en el caso de un sistema de perforación por percusión, ninguna de estas propiedades correlaciona de modo confiable con la velocidad de avance.

Una metodología que permite una estimación bastante aceptable se basa en el ensayo conocido con el nombre de coeficiente de resistencia de la roca (CRS), conjuntamente con el concepto de energía específica.

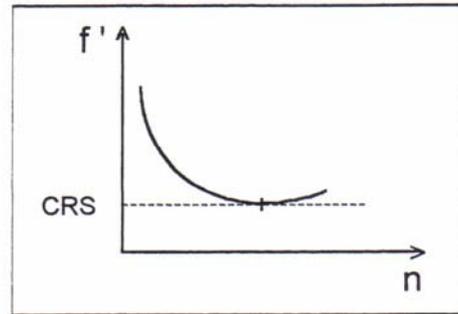
## Coeficiente de resistencia de la roca (CRS)

Se trata de un ensayo que consiste en impactar trozos de la roca ( $\approx 15 \text{ cm}^3$ ) con un número variable de impactos (3 a 40), dejando caer sobre ellos una masa de 2,4 kg desde una altura de 0,6 m.

El producto resultante, correspondiente a cada número de impactos, se pasa por un tamiz de 0,5 mm (35 mallas) y se pesa la fracción menor a 0,5 mm. Conocida la densidad de la roca se determina el volumen, y se gráfica el resultado del modo siguiente:

$$f' = \frac{n}{(\text{Vol})_{<0,5}}$$

$n \longrightarrow$  número de impactos



Lo observado en la práctica indica que existe una buena correlación entre la velocidad de avance y el índice CRS. Según la dureza de la roca, el CRS alcanza valores comprendidos entre 0,5 a 2,5.

## Energía específica (Ev)

La energía que se trasmite y aplica a la roca se consume en remover un cierto volumen de material. Se define así el concepto de energía específica ( $E_v$ ) como la energía requerida para remover la unidad de volumen de roca y se expresa en  $[\text{kgm}/\text{cm}^3]$ . Se puede establecer por lo tanto la siguiente relación:

$$W_o C = A V_a E_v \quad [\text{kgm} / \text{min}]$$

Donde:

- $W_o \Rightarrow$  Potencia de la máquina  $[\text{kgm} / \text{min}]$
- $C \Rightarrow$  Coeficiente de pérdida (0,6 a 0,8)
- $A \Rightarrow$  Area de la sección transversal de la perforación  $[\text{cm}^2]$
- $V_a \Rightarrow$  Velocidad de penetración  $[\text{cm} / \text{min}]$
- $E_v \Rightarrow$  *ENERGÍA ESPECÍFICA*  $[\text{kgm} / \text{cm}^3]$

Despejando  $E_v$  se obtiene:

$$E_v = \frac{W_o C}{A V_a} \quad [\text{Kgm/cm}^3]$$

Para las rocas de mayor ocurrencia en las faenas mineras  $E_v$  alcanza valores comprendidos entre 10 a 40 [kgm/cm<sup>3</sup>].

### Correlación entre el CRS y $E_v$

Investigaciones realizadas han demostrado experimentalmente que existe una buena correlación entre el Coeficiente de Resistencia de la Roca (CRS) y la Energía Específica ( $E_v$ ), la cual puede ser expresada por intermedio de la siguiente relación empírica:

$$E_v = 9,77 \text{ CRS} + 10,90 \quad [\text{kgm/cm}^3]$$

De este modo, para fines de proyecto, cuando todavía no resulta posible acceder al yacimiento y medir directamente la velocidad de perforación, se pueden someter al ensayo CRS muestras de testigos de los sondajes de reconocimiento realizados durante la etapa de estimación de reservas del yacimiento.

Luego, a partir de la expresión del balance de energía, ya formulada anteriormente,

$$W_o C = A V_a E_v \quad [\text{Kgm/min}]$$

y determinando  $E_v$  por su correlación con el CRS, se puede estimar la velocidad de penetración despejando ( $V_a$ ) de la expresión anterior:

$$V_a = \frac{W_o C}{A E_v} \quad [\text{cm/min}]$$

Donde:

$W_0$	$\Rightarrow$	Potencia de la máquina [kgm/min]
$C$	$\Rightarrow$	Coefficiente de pérdida (0,6 a 0,8)
$A$	$\Rightarrow$	Area de la sección transversal de la perforación [ $\text{cm}^2$ ]
$E_v$	$\Rightarrow$	<i>ENERGÍA ESPECÍFICA</i> , se expresa en [ $\text{kgm}/\text{cm}^3$ ]

### **Rendimientos**

A partir de la velocidad instantánea de penetración ( $V_a$ ) se pueden estimar los rendimientos posibles de alcanzar; vale decir, los metros perforados en una unidad de tiempo igual o mayor a una hora. Tales rendimientos son en definitiva los que determinan el costo del metro barrenado (US\$ / m). El tratamiento del tema no se puede conceptualizar dado la gran diversidad de situaciones que se presentan en la práctica. Se debe analizar caso a caso, atendiendo a las condiciones particulares de la faena y a las características específicas de cada excavación.

- **VELOCIDAD DE AVANCE**

$$V_a \longrightarrow [\text{cm} / \text{min}] \longrightarrow 30 - 200$$

- **RENDIMIENTO EN METROS / HORA**

$$\text{Factor Operacional (FO)} \longrightarrow \text{Min / Hora} \longrightarrow 30 - 50$$

$$V_a \left[ \frac{\text{metros}}{\text{min}} \right] \times \text{FO} \left[ \frac{\text{min}}{\text{hora}} \right] \rightarrow R \left[ \frac{\text{metros}}{\text{hora}} \right]$$

- **RENDIMIENTO EN METROS / TURNO**

$$\text{Factor Tiempo Efectivo (TE)} \longrightarrow \text{Horas / Turno} \longrightarrow 4 - 7$$

$$R \left[ \frac{\text{metros}}{\text{hora}} \right] \times \text{TE} \left[ \frac{\text{horas}}{\text{turno}} \right] \rightarrow R \left[ \frac{\text{metros}}{\text{turno}} \right]$$

- **RENDIMIENTO EN METROS / MES**

$$\text{Factor Disponibilidad Mecánica (DM)} \longrightarrow 0,75 - 0,85$$

$$R \left[ \frac{\text{metros}}{\text{turno}} \right] \times \left[ \frac{\text{turnos}}{\text{día}} \right] \times \left[ \frac{\text{días}}{\text{mes}} \right] \times \text{DM} \rightarrow R \left[ \frac{\text{metros}}{\text{mes}} \right]$$

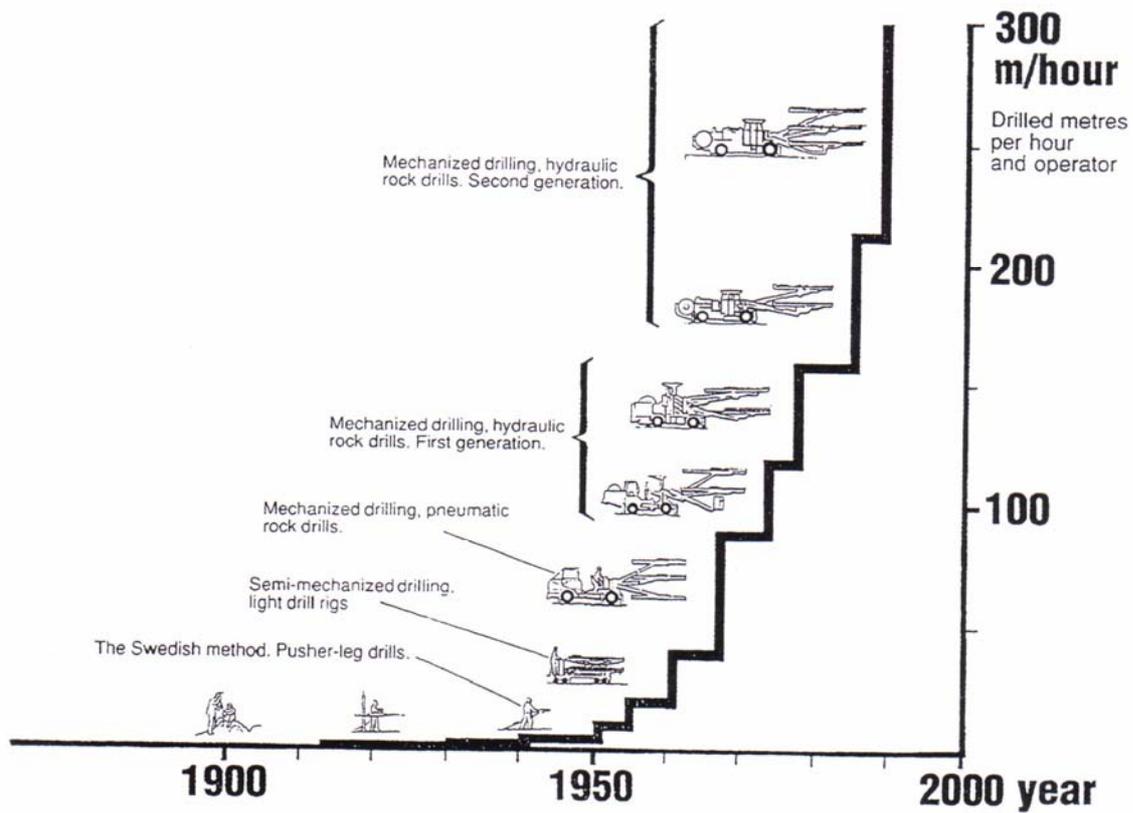
---

## PRÁCTICAS DE PERFORACIÓN



---

### Desarrollo de galerías y/o túneles



GALERÍAS DE SECCIÓN PEQUEÑA

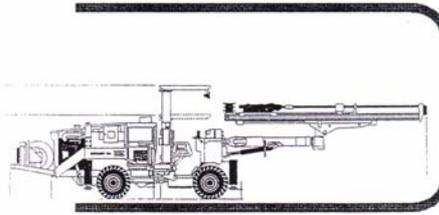


Ø → 27 a 41 mm



L → 800 a 2.400 mm

GALERÍAS O TÚNELES DE SECCIÓN PEQUEÑA A MEDIANA

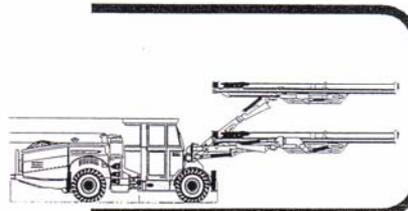


Ø → 38 a 45 mm

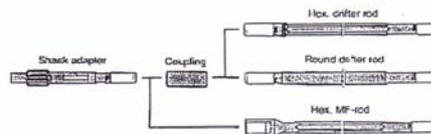


L → 2.500 a 4.300 mm

GALERÍAS O TÚNELES DE SECCIÓN GRANDE



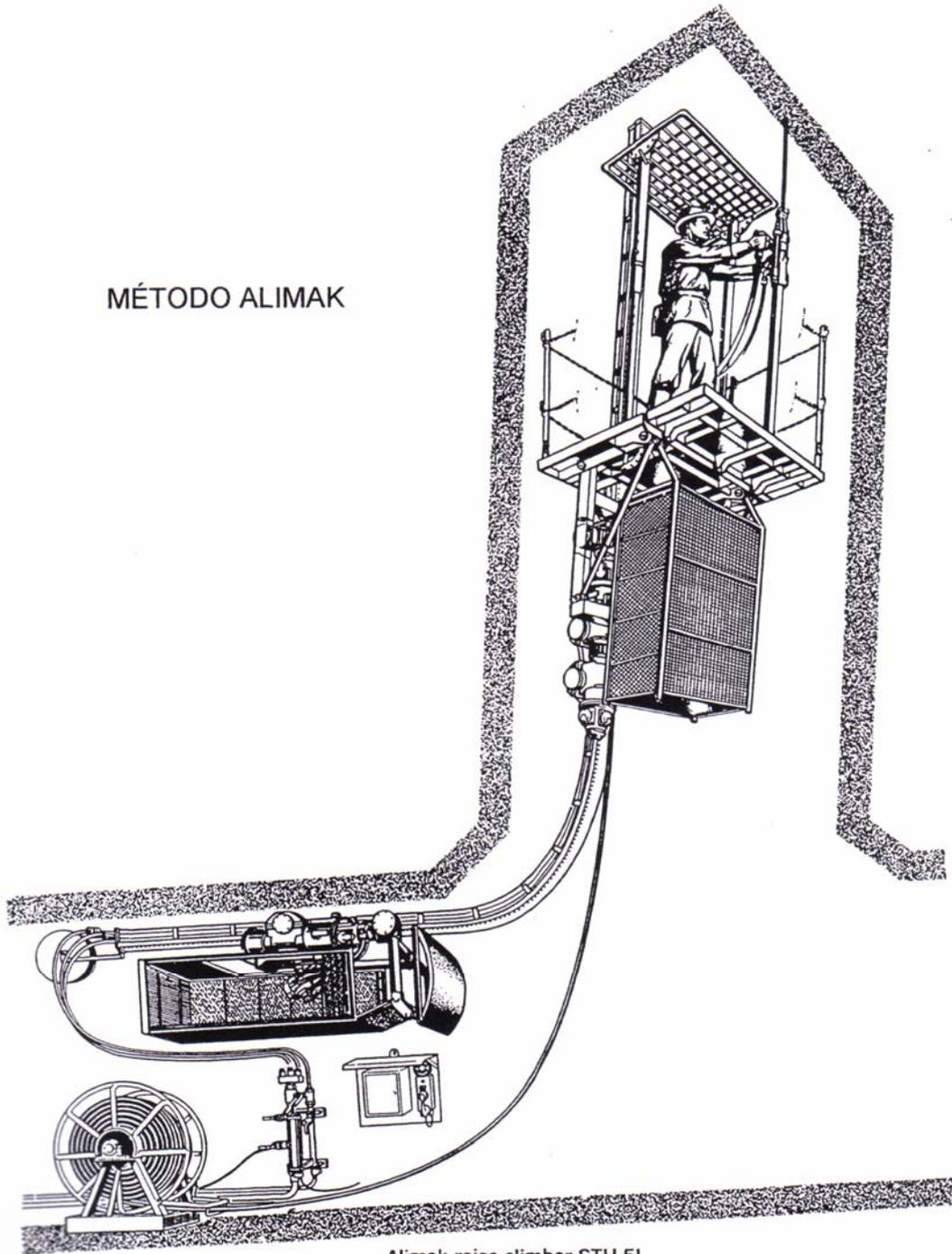
Ø → 45 a 51 mm



L → 2.500 a 6.100 mm

**Excavación de chimeneas**

MÉTODO ALIMAK

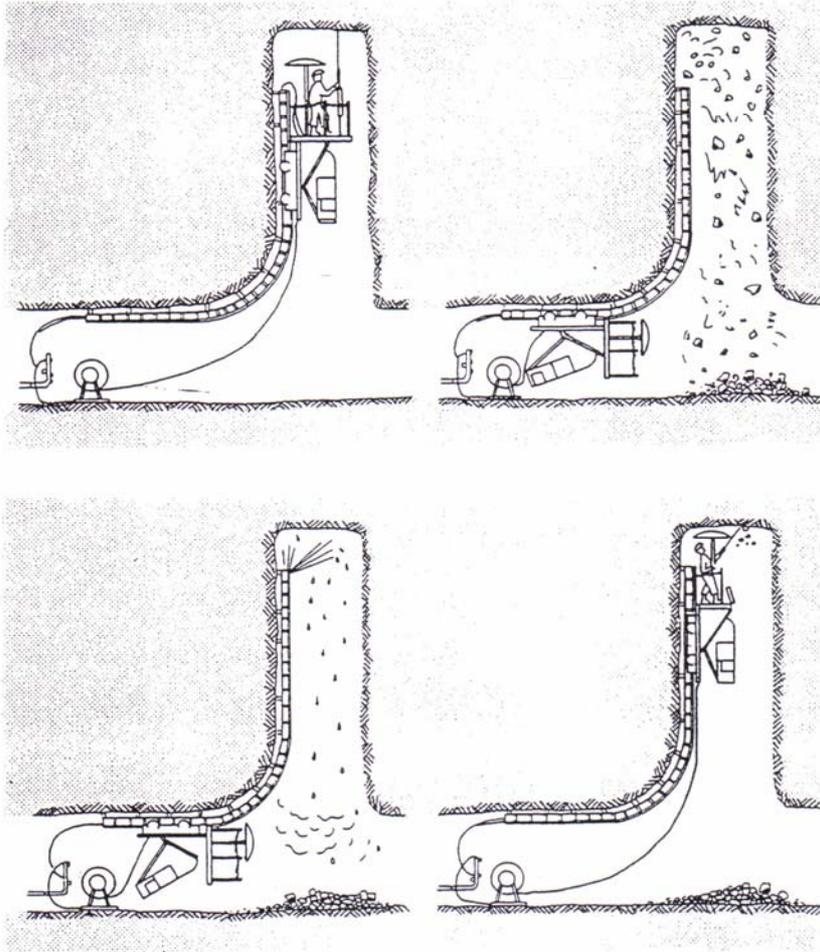


Alimak raise climber STH-5L.

### Alimak method

This is a method suitable for fissured or unhomogeneous rock conditions. The Alimak raise climber includes a safety canopy, working platform, lift basket, drive motor, and rack-and-pinion rail. The working platform can be inclined to conform to the raise, so the method suits all raise inclinations.

The lift is driven along the rail either by an air motor, electric motor or diesel engine. Rail sections are attached to the wall or roof by expansion shell bolts. The compressed air and water lines required for drilling and ventilation are installed inside the rail sections for protection. The drillers travel up the raise protected in the raise lift and carry out drilling, charging and scaling under the safety canopy.

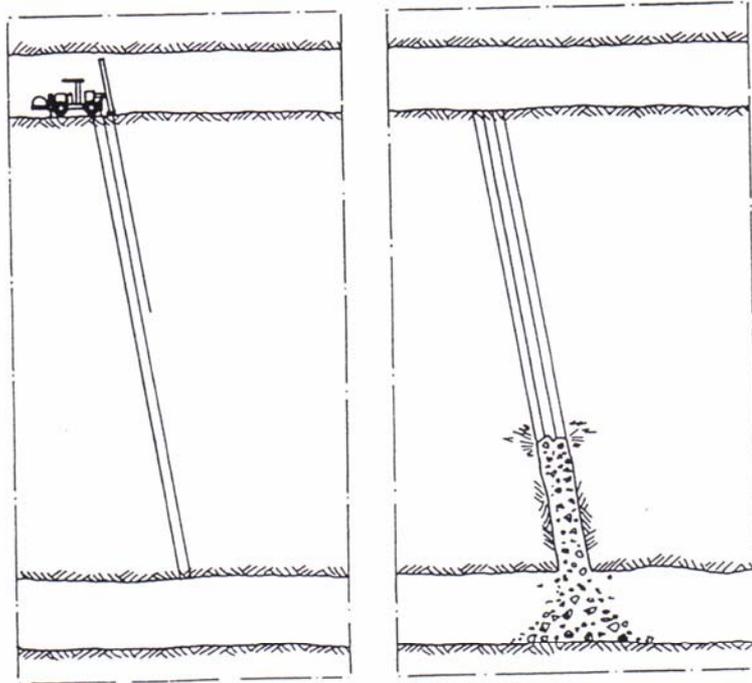


## EXCAVACIÓN DE CHIMENEAS MÉTODO TIROS LARGOS O "VCR"

### Long-hole method

This method suits raises with an inclination in excess of 45°. The maximum length of raises drilled with the long-hole method depends mainly on the drilling accuracy and alignment of the holes. This in turn is determined by such factors as weatheredness and schistosity of the rock, the direction of the hole, rigidity and sturdiness of the drill rig, stiffness of the drill string, the use of guide rods and bushings, feed force, flushing capacity and the inclination of the raise. To achieve an acceptable result a maximum hole deviation of 20...25 cm is permitted.

Before selecting the size of large reaming holes and blasting order, the ends of the holes should be mapped out if possible. The blasting order of the holes may vary in different sections of the raise as a result of hole bending or deviation. The pilot opening is generally blasted in 2...4 m rounds and this is slashed (widened) in 5...8 m rounds.

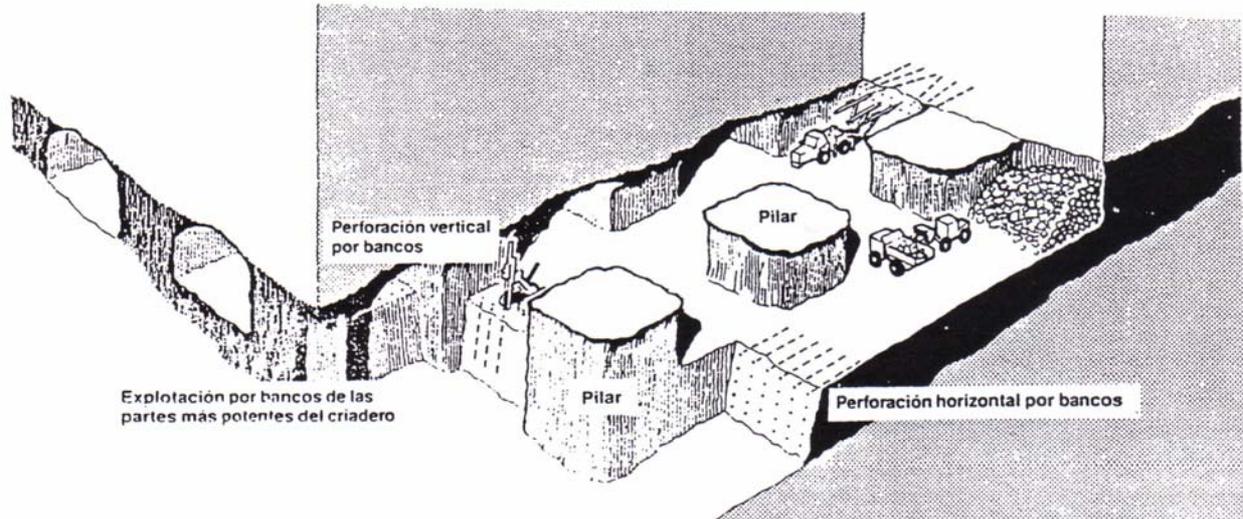


### EQUIPO DE PERFORACIÓN "DTH"

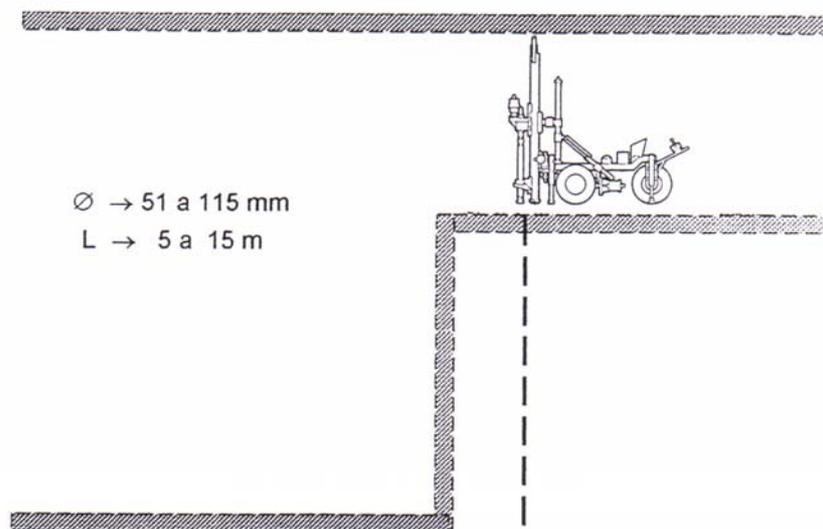
[ $\varnothing \rightarrow 4 \frac{1}{2}''$  a  $6 \frac{1}{2}''$ ]

## Arranque en minas subterráneas

### MÉTODO DE EXPLOTACIÓN POR ROOM AND PILLAR

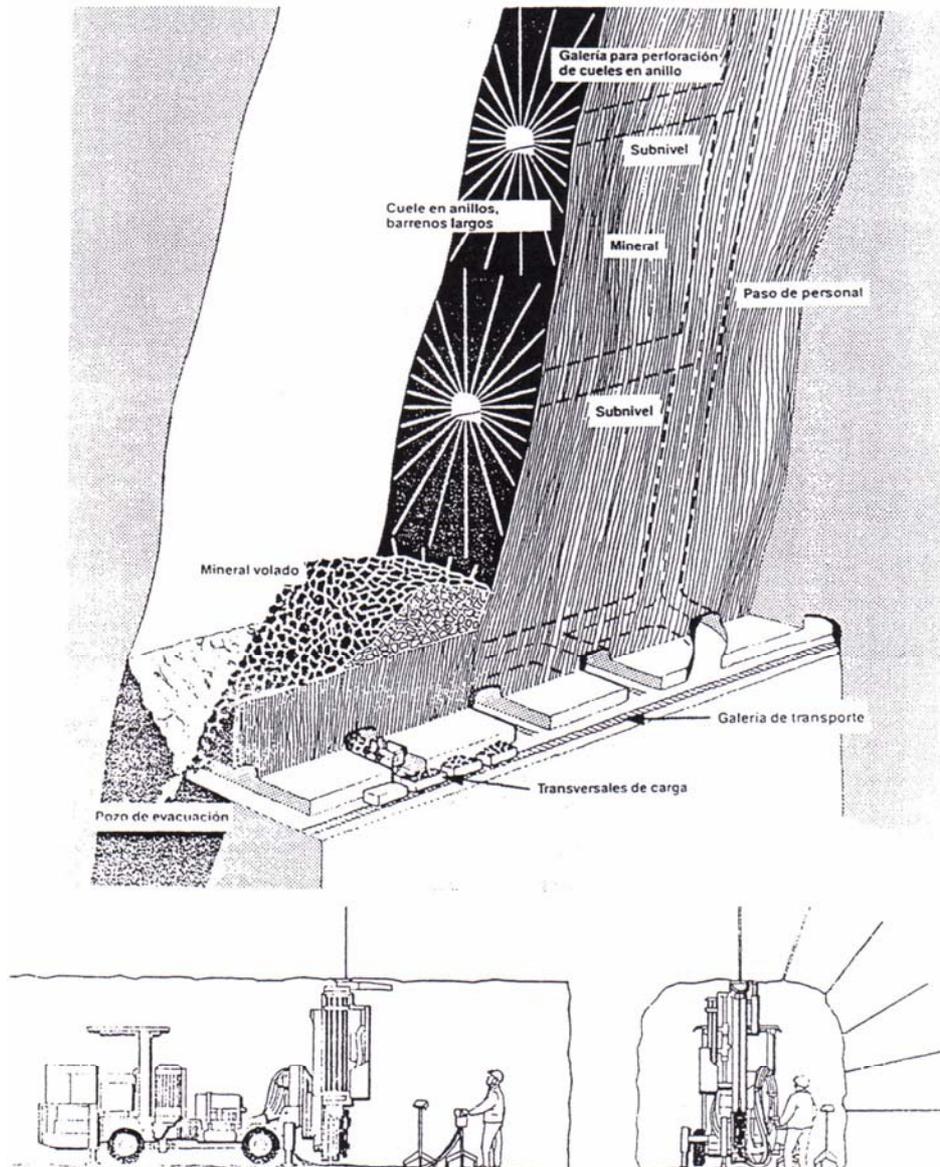


### BANQUEO



**EQUIPO :** Wagon-drill o Track-drill  
Top-hammer o DTH

## MÉTODO DE EXPLOTACIÓN SUB-LEVEL STOPING (SLS)

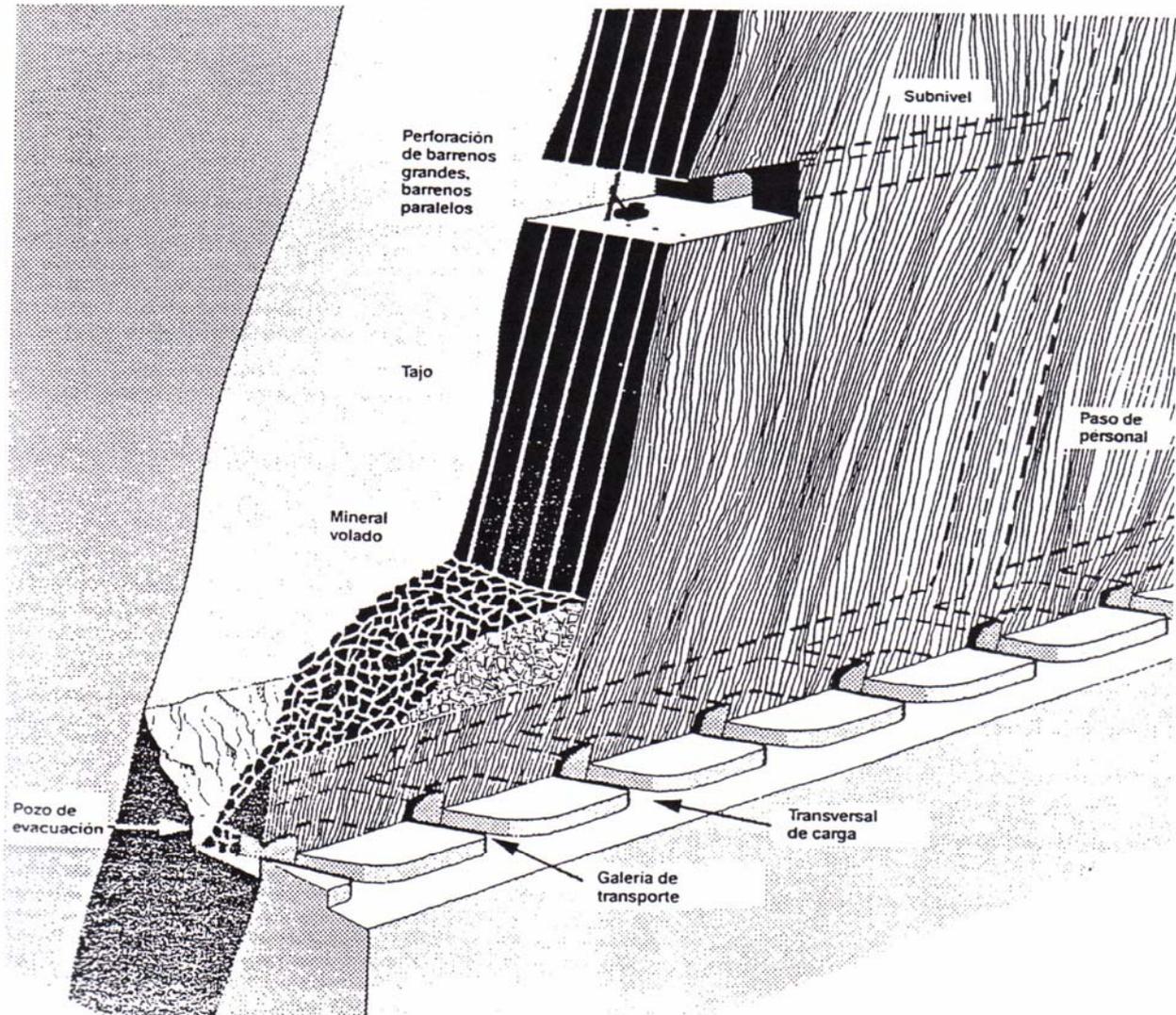


**EQUIPO : Jumbo radial electro-hidráulico**

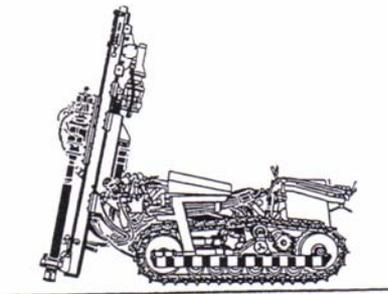
Ø → 48 a 76 mm

L → hasta 40 m

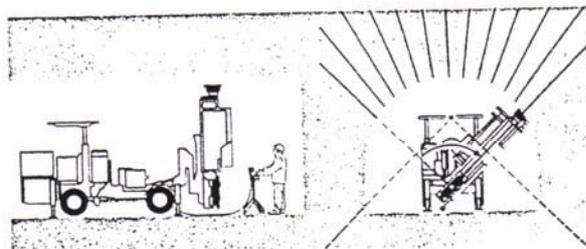
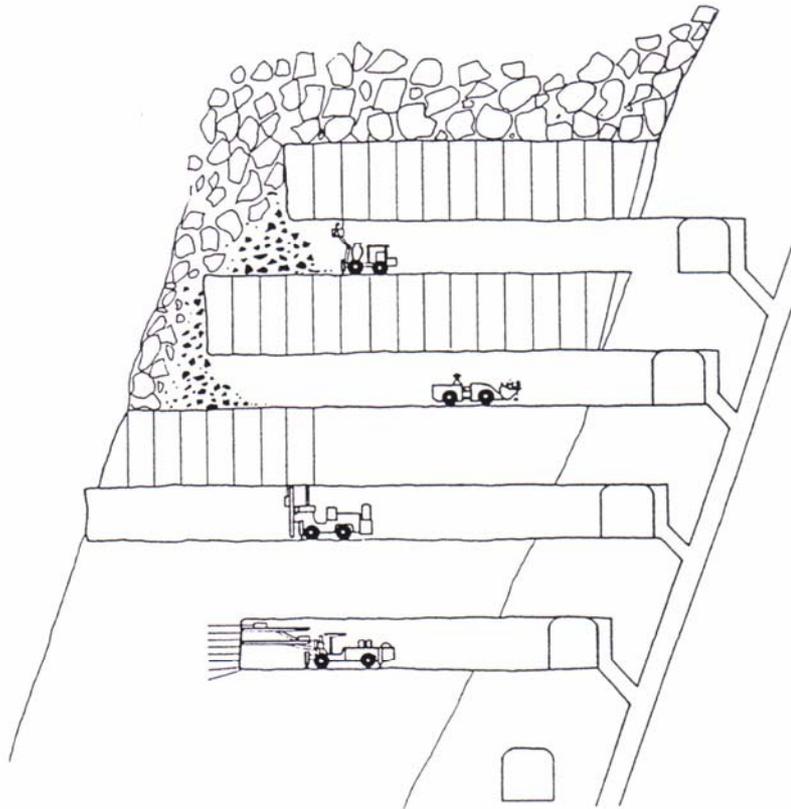
MÉTODO DE EXPLOTACIÓN SUB-LEVEL STOPPING  
VERSIÓN LONG-BLAST-HOLE (LBH)



EQUIPO : Track-drill (u otro) DTH  
Ø → 115 a 165 mm  
L → 30 a 80 m



## MÉTODO DE EXPLOTACIÓN SUB-LEVEL CAVING (SLC)



Simba H252/H1252 In drilling position. Tilt angle 20° forward (45° optional) and 80° backwards.

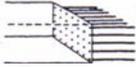
Simba H250, H1250, H350, H1350, H4350 Fan-drilling in 90° section; feed beam re-positioned at 20° intervals.

**EQUIPO :** Jumbo radial electro-hidráulico

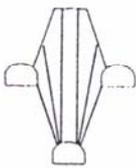
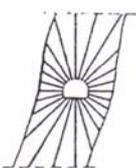
Ø → 48 a 76 mm

L → hasta 40 m

## ARRANQUE EN MINAS SUBTERRÁNEAS

Mining Method	Room- and- Pillar Mining		Cut- and -Fill Stopping		Shrinkage Stopping	
<b>Drilling and Blasting Technique</b>	 Drifting and slashing	 Vertical or downward benching	 Roof-drilling or overhand stopping	 Frontal stopping, breasting	 Overhand stopping	 Frontal stopping, breasting
<b>Applicable Drilling Equipment</b>	 Mechanized Drifting Jumbo	 Mechanized Airtrack drill	 Mechanized Light Wagon Drill	 Mechanized Drifting Jumbo	 Hand-held Stoper Drill	 Hand-held Airleg Drill
<b>Drilling Data</b>	 Hole diameter, mm 38 – 48 Hole depth, m 3.0 – 5.5	 Hole diameter, mm 64 – 76 Hole depth, m as required	 Hole diameter, mm 33 – 38 Hole depth, m 3.0 – 4.0	 Hole diameter, mm 38 – 48 Hole depth, m 3.0 – 4.0	 Hole diameter, mm 29 – 33 Hole depth, m 2.0 – 2.5	 Hole diameter, mm 29 – 33 Hole depth, m 2.0 – 3.5
<b>Drilling Equipment Performance:</b>						
With pneumatic rock drill m/h	60 – 75	15 – 25	20 – 40	60 – 70	8 – 12	10 – 15
With hydraulic rock drill m/h	90 – 110	(25 – 35)	na	90 – 110	na	na
<b>Drilling – blasting</b>						
Production, m <sup>3</sup> rock per drilled metre	1.5 – 2.0	3.0 – 4.0	0.9 – 1.2	1.0 – 1.4	0.7 – 0.9	0.7 – 0.9

## ARRANQUE EN MINAS SUBTERRÁNEAS

Mining Method	Sublevel Caving	Sublevel Stopping		Sublevel Stopping	
Drilling and Blasting Technique	 Fan drilling	 Ring drilling	 Parallel drilling		
Applicable Drilling Equipment	 Mechanized Fandrill	 Bar-and-arm rigging	 Mechanized Ring drill rig	 Mechanized Airtrack with DTH hammer and high pressure	
Drilling data					
Hole diameter, mm	48 – 51 (64)	48 – 51	48 – 51 (64)	105 – 115	152 – 165
Maximum hole length, m	12 – 15	15 – 20	15 – 25	50 – 60	50 – 60
Drilling Equipment Performance:					
With pneumatic rock drill m/shift	200 – 240	50 – 60	100 – 120	50	50
With hydraulic rock drill m/shift	240 – 300	na	120 – 180	na	na
Drilling – Blasting Production, m <sup>3</sup> rock per drilled metre	1.8 – 2.3	1.5 – 2.5	1.5 – 2.5	8 – 10	14 – 18

## Arranque en minas a cielo abierto

### CONCEPTO GENERAL

The size and the schedule of the operation usually determine the hole size and size of equipment to be used, whereas the drilling method (principle) is mainly dependent on the physical and geological properties of the rock type to be excavated. Figure 1 presents the principle of drilling used in different types of surface drilling operations as function of drill hole diameter and hardness of the rock.

