



Departamento de Ingeniería Minas  
Universidad de Santiago de Chile

# Curso: Perforación Tronadura



**PROFESOR:**

**Sr. Humberto Henríquez A.**

**2008**

**INDICE****Capítulo 1 PERFORACION**

1.0.	Introducción	CAP 1-4
2.0	Historia	CAP 1-4
3.0	Clasificación de rocas y propiedades físicas principales	CAP 1-6
3.1	Clasificación de las rocas por su origen	CAP 1-7
3.1.1	Rocas ígneas	CAP 1-7
3.1.2	Rocas metamórficas	CAP 1-8
3.1.3	Rocas sedimentarias	CAP 1-8
4.0	Propiedades de las rocas que afectan a la perforación	CAP 1-9
4.1	Dureza	CAP 1-9
4.2	Resistencia	CAP 1-10
4.3	Elasticidad	CAP 1-11
4.4	Plasticidad	CAP 1-12
4.5	Abrasividad	CAP 1-12
4.6	Textura	CAP 1-12
4.7	Estructura	CAP 1-12
5.0	Perforación fundamentos teóricos	CAP 1-12
5.1	Métodos de perforación de rocas (Introducción)	CAP 1-13
5.2	Perforación minera	CAP 1-14
5.2.1	Perforación por percusión	CAP 1-14
5.2.1.1	Factores que afectan la relación trituración astillamiento	CAP 1-16
5.2.1.2	Magnitud de las presiones en el fondo	CAP 1-17
5.2.1.3	Esfuerzo mínimo	CAP 1-17
5.2.1.4	Indexing	CAP 1-18
5.2.2	Perforación por rotación	CAP 1-18
5.2.3	Perforación rotatoria percusiva	CAP 1-21
5.2.3.1	Ventajas principales	CAP 1-22
5.2.4	Perforación abrasivo rotativo	CAP 1-23
6.0	Factores y parámetros que influyen en la perforación	CAP 1-25
6.1	Factores y parámetros dependientes	CAP 1-25

**Capítulo 1 PERFORACION**

6.1.1	Factores de perforabilidad	CAP 1-25
6.1.2	Factores Operacionales	CAP 1-25
6.1.3	Factores de servicio	CAP 1-26
6.1.4	Factores geométricos	CAP 1-26
6.2	Factores y parámetros independientes	CAP 1-26
6.2.1	Propiedades de las rocas que afectan a la perforación	CAP 1-826
7.0	Perforadoras neumáticas manuales	CAP 1-27
7.1	Mecanismo de percusión	CAP 1-27
7.2	Mecanismo de rotación	CAP 1-29
7.2.1	Rotación por el pistón	CAP 1-30
7.2.2	Mecanismo con eje de trinquete	CAP 1-31
7.3	Perforadoras Atlas Copco	CAP 1-33
7.4	Empujadores neumáticos	CAP 1-36
8.0	Perforadoras montadas en carros de avance	CAP 1-41
9.0	Barrido	CAP 1-42
9.1	Barrido lateral	CAP 1-42
9.2	Circulación reversa	CAP 1-42

**Capítulo 2 ACEROS DE PERFORACIÓN**

1.0	Tratamiento térmico de los aceros	CAP 2-44
1.1	Contenido de carbono	CAP 2-45
1.1.1	Culatines	CAP 2-45
2.0	Carburo cementado	CAP 2-46
2.1	Soldadura	CAP 2-47
2.2	Encaje por contracción	CAP 2-47
3.0	Adaptadores de culata	CAP 2-47
3.1	Adaptadores flexibles de culatas	CAP 2-48
3.2	Adaptadores con roscas macho y hembra	CAP 2-48
4.0	Tipo de roscas	CAP 2-48
4.1	Rosca R, o tipo cordel	CAP 2-49
4.2	Rosca T	CAP 2-49

4.3	Rosca C	CAP 2-49
4.4	Rosca GD	CAP 2-49
5.0	Manguitos de acoplamientos o coplas	CAP 2-49
5.1	Coplas retráctiles	CAP 2-50
5.2	Coplas guías	CAP 2-50
5.3	Coplas con aletas	CAP 2-50
5.4	Coplas adaptadoras	CAP 2-50
6.0	Barras roscadas	CAP 2-50
6.1	Tipos de barras	CAP 2-51
6.1.1	Barras con culata integral	CAP 2-51
6.1.2	Barras para avance de galerías horizontales	CAP 2-51
6.1.3	Barras ligeras de extensión	CAP 2-51
6.1.4	Barras de extensión	CAP 2-51
6.1.5	Tubos de perforación	CAP 2-51
6.1.6	Barras guía	CAP 2-51
7.0	Brocas o bits	CAP 2-52
7.1	Tope en el fondo de la broca	CAP 2-52
7.2	Orificio de barrido	CAP 2-52
7.3	Ranuras de evacuación	CAP 2-52
7.4	Holgura	CAP 2-52
7.5	Brocas de botones	CAP 2-52
7.5.1	Tipo normal	CAP 2-53
7.5.2	Reforzadas(HD)	CAP 2-53
7.5.3	Extra reforzada	CAP 2-53
7.6	Retractable	CAP 2-53
7.7	Brocas guías	CAP 2-53
7.8	Brocas con botones cónicos	CAP 2-53
7.9	Brocas de plaquitas	CAP 2-54
7.9.1	Brocas en cruz	CAP 2-54
7.9.2	Brocas en X	CAP 2-54
7.9.3	Brocas reforzadas	CAP 2-54
7.10	Comparaciones entre las brocas de plaquitas y botones	CAP 2-54
8.0	Vida útil de los aceros	CAP 2-55

9.0	Precios de los aceros	CAP 2-56
10.0	Fallas en barras	CAP 2-56
<b>Capítulo 3 TRONADURA</b>		
1.0	Objetivos de tronadura	CAP 3-57
2.0	Características y propiedades de los explosivos	CAP 3-57
3.0	Propiedades de los explosivos	CAP 3-57
3.1.1	Potencia	CAP 3-58
3.1.1.1	Características energéticas	CAP 3-58
3.1.2	Volumen de gases	CAP 3-59
3.1.3	Características prácticas	CAP 3-59
3.1.4	Velocidad de detonación	CAP 3-60
3.1.5	Densidad	CAP 3-60
3.1.6	Resistencia al agua	CAP 3-61
3.1.7	Humos o gases	CAP 3-61
3.1.8	Presión de detonación	CAP 3-62
3.1.9	Presión del barreno	CAP 3-63
3.1.10	Sensibilidad	CAP 3-63
3.1.11	Diámetro crítico	CAP 3-63
3.1.12	Sensitividad	CAP 3-64
3.1.13	Balance de oxígeno	CAP 3-64
3.1.13.1	Mezclas pobres	CAP 3-64
3.2	Termoquímica de los explosivos	CAP 3-65
3.2.1	Deflagración y detonación	CAP 3-65
3.2.1.1	Deflagración	CAP 3-65
3.2.1.2	Detonación	CAP 3-65
3.2.2	Proceso de detonación de un explosivo	CAP 3-66
4.0	Accesorios de tronadura	CAP 3-67
4.1	Accesorios	CAP 3-67
4.2	Objetivos de los detonadores	CAP 3-68
5.0	Explosivos en mal estado	CAP 3-69
	Fotografías de dinamitas, anfo, pentolitas y detonador	CAP 3-69,71

## CAPITULO I. PERFORACION

### 1.0. Introducción:

En la minería y en todos aquellos trabajos de Construcción en que se debe extraer rocas, la primera fase de las operaciones a realizar es la perforación de las rocas y que consiste en taladrar las rocas de acuerdo a un sistema predeterminado de ubicación de cada uno de los taladros, los cuales posteriormente son cargados con una cierta cantidad de explosivos escogidos, calculados previamente, y tronados para el quebrado de la roca.

La perforación se sigue utilizando en el mundo moderno, el empleo de ella impacta el desarrollo económico de un País, se utiliza preferentemente en la explotación de las minas metálicas y no metálicas (subterráneas y a cielo abierto), existentes en el mundo, como también en la construcción de proyectos tales como : Construcción de caminos, grandes carreteras vías de ferrocarriles (por superficies y subterráneos), represas hidroeléctricas, canales para regadío, canales para la navegación, en la excavación de fundaciones de grandes edificios, en la exploración petrolera y minera en la captación de aguas subterráneas en la construcción de muelles, etc.

Para perforar se necesitan varios componentes siendo los principales la máquina perforadora, los aceros de perforación, accesorios, y equipos que generan energía (aire comprimido o energía óleo-hidráulica, energía eléctrica) además de un liquido barredor para extraer los detritus que origina la herramienta de corte al perforar.

Hay diferentes tipos de máquinas perforadoras partiendo desde las manuales hasta las montadas en grandes estructuras que pueden ser camiones, carros especiales montados sobre orugas, jumbos de diferentes tipos de acuerdo a la operación a que estarán destinados y eso dependerá a la dirección de cada taladro a perforar.

### 2.- Historia

Antiguamente, los aborígenes de nuestro País horadaban las rocas con otras de mayor dureza, empleándolas como mazo, posteriormente con la invasión de los Incas, ocuparon las nuevas herramientas que ellos introdujeron, principalmente barrenos como los actuales cinceles y otras en forma de martillo todas hechas en cobre metálico las cuales tenían un tratamiento térmico que endurecían el cobre y que actualmente aún es desconocido, no se sabe, como llegaron a lograr ese resultado.

Las máquinas perforadoras manuales, recién se empezaron a utilizar a mediados del siglo 19, anteriormente se usaban barrenas, las cuales eran golpeadas con

martillos. Se utilizó bastante en la perforación descendente barrenos de mayor peso y tamaño los cuales eran alzados con algún sistema dejándolos caer libremente.

En Estados Unidos durante la excavación del canal de Michigan en Illinois en el año 1838, el señor Isaac Singer ideó y construyó varias perforadoras, para aplicarlas solamente en los sistemas descendentes de perforación, en otras palabras las barras de gran peso y tamaño eran levantadas por un pistón accionado con vapor, pero Su caída era libre.

En 1849 un señor de apellido Caugh de Filadelfia, patentó una perforadora que tenía una válvula automática que controlaba el recorrido del pistón, con esto la máquina eliminaba la gravedad para golpear la barrena-

En 1851 J.M. Fowle, fabricó la primera máquina con rueda de trinquete. El mismo año un señor de apellido Cave fabricó un máquina perforadora que podía ser accionada con vapor o también con aire, pero la rotación de esta máquina era controlada manualmente.

En 1856 se inició el primer túnel ferroviario en Estados Unidos, en Su construcción se utilizaron máquinas perforadoras y como explosivo dinamita, elemento recién conocido en esa época. El túnel fue bautizado como Hoosac en el Estado de Massachussets y fue terminado en el año 1873 con un desarrollo de 8.802 mts. Se emplearon perforadoras recién salidas al mercado de la época, proveniente de la fábrica Burleigh Rock Drill Co.

Años antes, en 1868 el señor Charles Burleigh le compró la patente al señor Fowle, creando de esta manera la primera fábrica de perforadoras.

En 1871, don Simón Ingersoll desarrolló una máquina montada sobre un trípode, permitiendo con facilidad perforar en cualquier dirección, teniendo movimientos horizontal y vertical.

Posteriormente George Lyner introdujo el martillo perforador, produciendo un rechazo de los mineros por la gran cantidad de polvo que producía, en 1887 hizo varias modificaciones pero tuvo que realizar experimentaciones con barras huecas entre 1894 y 1898 a las cuales le introdujo aire y agua solucionando el problema del polvo.

El primer soporte neumático lo creó C. H. Shaw y lo adaptó a las máquinas Lyner en la ciudad de Denver, para aplicarlos en algunas minas de Colorado para trabajos de realce en caserones. A este conjunto se le llamó stoper

Las máquinas perforadoras habían evolucionado enormemente y ya contaban con características técnicas avanzadas, como rotación automática por aire, lubricación automática, aumentaron el número de golpes del rango 300-400 golpes por minuto, al rango de 1600 a 2000 golpes por minuto. Las perforadoras eran más livianas, por lo cual las podía maniobrar un solo hombre

En 1912 la compañía Ingersoll Rand compró las patentes a George Lyner que estaban vigentes hasta 1914.

Posteriormente salieron al mercado otras marcas. Por ejemplo Atlas Copco fabricó sus primeras máquinas perforadoras por el año 1917, ellos antes habían importado máquinas neumáticas de Estados Unidos en 1888.

Las perforadoras han seguido evolucionando, aprovechando nuevos materiales en su construcción para hacerla más livianas y también más económicas.

Actualmente existen diferentes tipos y marcas de perforadoras manuales, cuyo tamaño depende del trabajo a realizar, pueden ser neumáticas, o eléctricas y en algunos casos accionadas mecánicamente. También existen máquinas perforadoras de mayor tamaño que van montadas en deslizadores y carros especiales, predominando actualmente las máquinas hidráulicas que utilizan aceites especiales y que son bombeados desde estanques ubicados estratégicamente por bombas accionadas eléctricamente.

### **3.- Clasificación de las rocas y propiedades físicas principales.**

La perforación de barrenos se realiza, casi en la totalidad de los casos, en masa rocosas, por lo que es interesante antes de iniciar una obra conocer los diferentes tipos de materiales que se presentan y sus propiedades básicas.

Estas características de las rocas dependen en gran medida de su origen, por lo que a continuación se describen los tres grandes grupos de que existen.

#### **3.1 Clasificación de las rocas por su origen**

##### **3.1.1. Rocas Ígneas**

Las rocas ígneas son las formadas por la solidificación de una masa fundida, mezcla de materiales pétreos y de gases disueltos, denominada magma. Si la roca se ha enfriado en contacto con el aire o el agua de la superficie terrestre, se la clasifica como roca ígnea extrusiva o volcánica. Cuando el magma se enfría por debajo de la superficie terrestre se forma una roca ígnea intrusiva o plutónica.

La velocidad de enfriamiento del magma da lugar a que los minerales cristalizados tengan tamaños de grano grandes si es lenta y pequeños si es rápida. En el primer caso se forma una roca denominada pegmatita y en el segundo una aplita. Un caso intermedio lo constituye el pórfido, en el que se observan grandes cristales dentro de una masa o matriz de grano fino. Los tres tipos se encuentran generalmente en forma de diques con potencias de no a decenas de metros. El caso más normal es el de una velocidad de enfriamiento moderada, que da lugar a una roca masiva con un tamaño de grano medio, de 1 a 5 mm.

Durante el proceso de enfriamiento de un magma su composición varía, pues se produce una cristalización fraccionada, de acuerdo con la presión y temperatura de cada momento. También, el líquido residual puede reaccionar con los minerales ya solidificados y con rocas alteradas y mineralizadas, metasomáticas hidrotermales. Además, la composición química original de los magmas puede haber sido muy distinta.

Las diferentes condiciones físicas y químicas que se dan durante la solidificación de un magma hacen que exista una gran variedad de rocas ígneas. Ellas están formadas por diferentes minerales, de diversos tamaños y agrupados de distintas formas, dando por resultado que sus características físicas y químicas sean muy heterogéneas. Por lo tanto, su comportamiento ante la fragmentación, corte, desgaste y meteorización puede ser variado; aunque las rocas ígneas sin meteorizar, a efectos de perforación, son competentes o de gran cohesión

Si la roca tiene un contenido en  $\text{SiO}_2$  superior al 66% geoquímicamente se la denomina ácida, entre ese valor y el 52% de le denomina intermedia, entre 45 y 52% básica, y finalmente con valores menores a 45% es ultrabásica. En el mismo sentido que las rocas ígneas son más pobres en sílice, a la vez son más ricas en silicatos ferromagnesianos. Las ácidas son más abrasivas y duras que las básicas; pero estas últimas son más densas y resistentes al impacto que las primeras.

### **3.1.2. Rocas Metamórficas.**

Las rocas metamórficas son las originadas por importantes transformaciones de los componentes mineralógicos de otras rocas preexistentes, endógenas o exógenas. Estos grandes cambios se producen por la necesidad de estabilizarse sus minerales en unas nuevas condiciones de temperatura, presión y químicas.

Estas rocas son intermedias en sus características físicas y químicas, entre las ígneas y las sedimentarias, pues presentan asociaciones de minerales que se forman a temperaturas y presiones intermedias y pertenecen a los dos tipos. Así se encuentran en ellas minerales, como el cuarzo, los feldespatos, las micas, los anfíboles, los piroxenos y los olivinos, esenciales en las rocas ígneas, pero no tiene feldespatoides. Como en las rocas sedimentarias, pueden tener calcita, dolomita, sílices y hematitas; pero no tiene minerales evapóricos. También aparecen en ellas

minerales comunes a los dos tipos, como son: la turmalina, el circón, la magnetita, el topacio y el corindón; todos ellos son minerales muy estables en cualquier medio exógeno o endógeno.

Existe una serie de minerales, que son muy específicos de las rocas metamórficas, pudiendo formar parte de los granos de las rocas detríticas, debido a su estabilidad en los ambientes exógenos y otros son a la vez productos de alteración meteórica de minerales de rocas endógenas. Realmente la meteorización es un proceso de transformación mineralógica con carácter físico y químico, pero a temperatura y presión baja, dando origen al suelo no cohesivo (no es roca).

### **3.1.3. Rocas Sedimentarias**

Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de restos de detritus de otras rocas preexistentes, por la precipitación química de minerales solubilizados o por la acumulación de restos de animales o vegetales.

En el primer caso se producen los sedimentos detríticos como lo son las gravas, conglomerados y arenas en cuya sedimentación, o asentamiento interviene la gravedad. El segundo se encuentran, por ejemplo, las evaporitas rocas salinas precipitadas por la sobresaturación de una salmuera sometida a una intensa evaporación. Las terceras son las acumulaciones de conchas, esqueletos de animales o restos de plantas, como son las calizas conchíferas, los corales y el carbón. Este último grupo se subdivide en bioquímicas organogéneas y bioquímicas minerales, según que sus componentes sean de la química orgánica o de la inorgánica. En el primer caso están los carbones y el petróleo (no es roca ni mineral, más bien está asociado a las rocas sedimentarias, porque ahí lo encontramos), y en el segundo las calizas, dolomitas y rocas fosfáticas.

En una primera clasificación de las rocas sedimentarias se tiene en cuenta su proceso de formación, después se consideran los tamaños de los granos, las características de la unión de los mismos, además de los tipos y cantidades de sus minerales componentes, también los detritus o cristales cementados a bajas temperaturas siendo ellos los de menor cohesión.

## **4.- Propiedades de las rocas que afectan a la perforación.**

Las principales propiedades físicas de las rocas que influyen en los mecanismos de penetración y consecuentemente en la elección del método de perforación son:

- Dureza
- Resistencia
- Elasticidad
- Plasticidad
- Abrasividad
- Textura
- Estructura

- Características de rotura.

#### 4.1. Dureza

Se entiende por dureza la resistencia de una capa superficial a la penetración en ella de otro cuerpo más duro.

En una roca es función de la dureza y composición de los granos minerales constituyentes, de la porosidad de la roca, del grado de humedad, etc.

La dureza de las rocas es el principal tipo de resistencia a superar durante la perforación, pues cuando se logra la penetración del útil el resto de las acciones se desarrollan más fácilmente.

Las rocas se clasifican en cuanto a su dureza por medio de la "escala de Mohs", en la que se valora la posibilidad de que un mineral pueda rayar a todos los que tienen un número inferior al suyo. Tal como se detalla en la siguiente tabla existe una cierta correlación entre la dureza y la resistencia a la compresión de las rocas

CLASIFICACIÓN	DUREZA MOHS	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa.)
Muy dura	+7	+200
Dura	6-7	120-200
Medio Dura	4.5-6	60-120
Medio Blanda	3-4.5	30-60
Blanda	2-3	10-30
Muy Blanda	1-2	-10

#### 4.2. Resistencia

Se llama resistencia mecánica de una roca a la propiedad de oponerse a su destrucción bajo una carga exterior, estática o dinámica.

Las rocas oponen una resistencia máxima a la compresión; comúnmente, la resistencia a la tracción no pasa de un 10 a un 15% de la resistencia a la compresión. Eso se debe a la fragilidad de las rocas, a la gran cantidad de defectos locales e irregularidades que presentan y a la pequeña cohesión entre las partículas constituyentes.

La resistencia de las rocas depende fundamentalmente de su composición mineralógica. Entre los minerales integrantes de las rocas el cuarzo es el más sólido, su resistencia supera los 500Mpa, mientras que los silicatos ferromagnésicos y los aluminosilicatos varían de 200 a 500 Mpa, y la calcita de 10 a 20 Mpa. Por eso, conforme es mayor el contenido de cuarzo, por lo general la resistencia aumenta.

La resistencia de los minerales depende del tamaño de los cristales y disminuye con el aumento de estos. Esta influencia es significativa cuando el tamaño de los cristales es inferior a 0.5 mm.

En las rocas la influencia del factor tamaño en la resistencia es menor, debido a que también intervienen las fuerza de cohesión intercristalinas.

Entre las rocas sedimentarias las más resistentes son las que tienen cemento silíceo. En presencia de cemento arcilloso la resistencia de las rocas disminuye de manera brusca.

La porosidad en rocas con una misma litología conforme aumenta hace disminuir la resistencia, puesto que simultáneamente disminuye el número de contactos de las partículas minerales y las fuerzas de acción recíprocas entre ellas.

En la resistencia de las rocas influye la profundidad a la que se formaron y el grado de metamorfismo.

Por otro lado, la resistencia de las rocas anisotrópicas depende del sentido de acción de las fuerzas. La resistencia a la compresión de las rocas en el sentido perpendicular a la estratificación o esquistosidad es mayor que en un sentido paralela a éstas. El cociente que suele obtenerse entre ambos valores de resistencia varía entre 0.3 y 0.8, y solo para las rocas isotrópicas es igual a 1.

### 4.3 Elasticidad

La mayoría de los minerales constituyentes de las rocas tienen un comportamiento elástico-frágil, que obedece a la ley de Hooke, y se destruyen cuando las tensiones superan el límite de elasticidad.

Según el carácter de deformación, en función de las tensiones provocadas para cargas estáticas, se consideran tres grupos de rocas:

- 1.- Elasto-frágiles o que obedecen la Ley de Hooke.
- 2.- Plástico-frágiles, a cuya destrucción precede la deformación plástica.
- 3.- Las altamente plásticas o muy porosas, cuya deformación elástica es insignificante.

Las propiedades elásticas de las rocas se caracterizan por el módulo de elasticidad "E" y el coeficiente de Poisson "v". El módulo de elasticidad es el factor de proporcionalidad entre la tensión normal en la roca y la deformación relativa correspondiente, su valor en la mayoría de las rocas varía entre  $0.03 \times 10^4$  y  $1.7 \times 10^5$  Mpa, dependiendo fundamentalmente de la composición mineralógica, porosidad, tipo y magnitud de la carga aplicada.

Los valores de los módulos de elasticidad en la mayoría de las rocas sedimentarias son inferiores a los de los minerales correspondientes que los constituyen. También influyen en dicho parámetro la textura de la roca, ya que el módulo de elasticidad en la dirección de la estratificación o esquistosidad es generalmente mayor que en la dirección perpendicular a ésta.

El coeficiente de Poisson es el factor de proporcionalidad entre las deformaciones longitudinales relativas y las deformaciones transversales. Para la mayoría de las rocas y minerales está comprendido entre 0.2 y 0.4, y sólo el cuarzo lo tiene normalmente bajo, alrededor de 0.07.

#### **4.4 Plasticidad**

Como se ha indicado anteriormente, en algunas rocas, a la destrucción le precede una deformación plástica. Esta comienza en cuanto las tensiones de la roca superan el límite de elasticidad. En el caso de los cuerpos idealmente plásticos tal deformación se desarrolla con una tensión invariable. Las rocas reales se deforman consolidándose al mismo tiempo: para el aumento de la deformación plástica es necesario incrementar el esfuerzo.

La plasticidad depende de la composición mineral de las rocas y disminuye con el aumento del contenido de cuarzo, feldespato y otros minerales duros. Las arcillas húmedas y algunas rocas homogéneas poseen altas propiedades plásticas.

La plasticidad de las rocas pétreas (granitos, esquistos cristalinos y areniscas) se manifiesta sobre todo a altas temperaturas.

#### **4.5 Abrasividad**

La Abrasividad es la capacidad de las rocas para desgastar la superficie de contacto de otro cuerpo más duro, en el proceso de rozamiento durante el movimiento.

Los factores que elevan la capacidad abrasiva de las rocas son las siguientes:

- La dureza de los granos constituyentes de la roca. Las rocas que contienen granos de cuarzo son sumamente abrasivas.
- La forma de los granos. Los más angulosos son más abrasivos que los redondeados.
- El tamaño de los granos.
- La porosidad de las rocas. Da lugar a superficies de contacto rugosas con concentraciones de tensiones locales.
- La heterogeneidad. Las rocas poliminerales, aunque estos tengan igual dureza, son más abrasivas, pues van dejando superficies ásperas con presencia de granos duros.

#### **4.6. Textura**

La textura de una roca se refiere a la estructura de los granos de minerales constituyentes de ésta. Se manifiesta a través del tamaño de los granos, la forma, la porosidad, etc. Todos estos aspectos tienen una influencia significativa en el rendimiento de la perforación.

Como los granos tienen forma lenticular, como en un esquisto, la perforación es más difícil que cuando son redondos, como en una arenisca.

También influye de forma significativa el tipo de material que constituye la matriz de una roca y que une los granos de mineral.

En cuanto a la porosidad, aquellas rocas que presentan una baja densidad y son consecuentemente más porosas tienen una menor resistencia a la trituración y son más fáciles de perforar.

#### **4.7. Estructura.**

Las propiedades estructurales de los macizos rocosos, tales como esquistosidad, planos de estratificación, juntas, diaclasas y fallas, así como el rumbo y el buzamiento de éstas afectan a la linealidad de los barrenos, a los rendimientos de perforación y a la estabilidad de las paredes de los taladros.

### **5.- PERFORACION FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **5.1. Métodos de Perforación de Rocas**

##### **Introducción**

En la mayor parte de las industrias en que se requiere utilizar explosivos, para volar rocas u otro material, debe recurrirse a la operación de perforación, que consiste en taladrar estratégicamente el material a tronar, utilizando esquemas de perforación, donde se alojan las cargas explosivas adecuadas y obtener el éxito deseado.

Los sistemas de penetración de rocas que han sido desarrollados y clasificados por orden de aplicación son:

- A.- Mecánicos: Percusión  
Rotación  
Rotopercusión  
Rotoabrasivo
- B.- Térmicos: Soplete o lanza térmica  
Plasma  
Fluido Caliente  
Congelación
- C.- Hidráulicos: Chorro de agua  
Erosión  
Cavitación.

- D.- Sónicos: Vibración de alta frecuencia
- E.- Químicos: Micro voladura  
Disolución
- F.- Eléctricos: Arco eléctrico  
Inducción Magnética
- G.- Sísmicos: Rayo láser
- H.- Nucleares: Fusión  
Fisión

A pesar de la enorme variedad de sistemas posibles de penetración de la roca, en Minería y Obras Civiles la perforación se realiza actualmente, de una forma casi general, utilizándola energía mecánica.

Los componentes principales de un sistema de perforación mecánica son: la perforadora que es la fuente de la energía mecánica, el varillaje que es medio de transmisión de la energía, el bit que es útil que ejerce sobre la roca dicha energía y el fluido de barrido que efectúa la limpieza y evacuación del detrito producido.

## 5.2. PERFORACION MINERA

La perforación se basa en concentrar una cantidad de energía en una pequeña superficie, para vencer la resistencia de la roca, aprovechando el comportamiento a la deformación de elástico - frágil que ellas presentan.

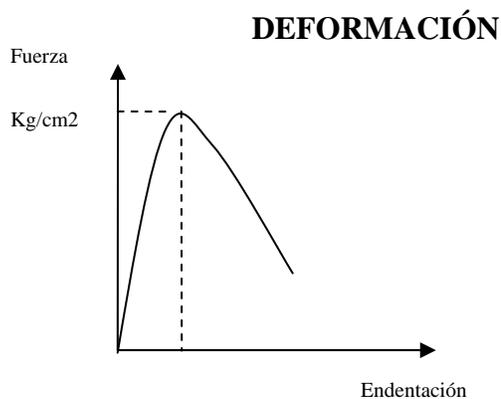


Diagrama de deformación elástico - frágil, al romperse una roca utilizando una broca tipo cincel.

En esta curva podemos observar que tiene una pequeña deformación cayendo rápidamente producto del quiebre de la roca, originando el diagrama elástico - frágil.

Los sistemas de perforación que se utilizan en la industria minera son los siguientes:

**5.2.1.- Perforación por Percusión.** Consiste en golpear la roca con una herramienta la cual tiene un bit en el extremo y en cada golpe que da, ejerce una fuerza constante sobre la superficie de la roca formando un cráter para luego penetrarla y lograr de esta manera la perforación deseada.

La Drilling Research Inc., utilizando una cámara de alta velocidad y medidores de tensión muy cerca del filo del bit, logró establecer los siguientes pasos en el mecanismo del fracturamiento de la roca.

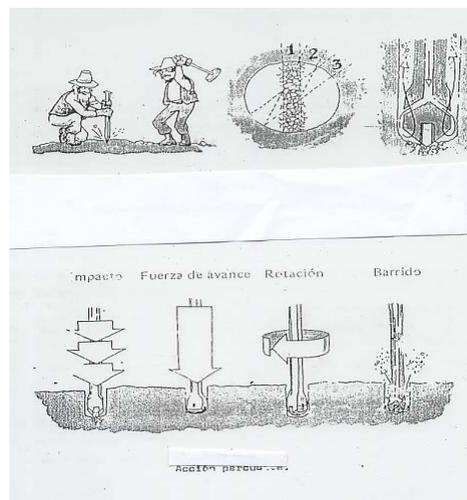
- a) Deformación elástica de la roca, con trituración de las irregularidades.
- b) Formación de grietas principales, con trituración de la cuña central de la roca ubicada bajo el filo del bit. La transmisión radial de la fuerza, produce tensiones tangenciales que aumentan con la presión del filo, hasta llegar a superar la resistencia de la roca, generando grietas a partir del filo.
- c) Propagación de grietas secundarias con formación de astillas.
- d) La secuencia se repite una y otra vez hasta que se disipa toda la energía del impacto.
- e) Desplazamiento de los detritus con formación de cráter expulsados por el rebote del bit y por la acción del flujo barredor.

La energía cinética es transmitida desde la perforadora a través de la barra hasta el inserto fabricado de carburo de tungsteno y de este a la roca, produciendo los diferentes pasos ya explicados anteriormente. El pistón de la perforadora al golpear la espiga del barreno, produce una onda de choque que se transmite por la barra.

La velocidad de la onda de choque es de aproximadamente de 5000 mts/seg (Igual a la velocidad del sonido en el acero). Generalmente las perforadoras neumáticas tienen una frecuencia de impactos de alrededor de 3000 golpes/min., lo que significa que la distancia entre las ondas de choque es de 100 mts.

La forma de la onda de choque está determinada por la velocidad de impactos, forma del pistón y la geometría de la barrena. La amplitud de la onda de choque también depende de la velocidad de impacto. Todo esto significa que si la cabeza del pistón tiene un diámetro grande, la Amplitud también será grande por lo tanto el nivel de trabajo también será alto y esto se traducirá en una menor duración del barreno.

## Percusión



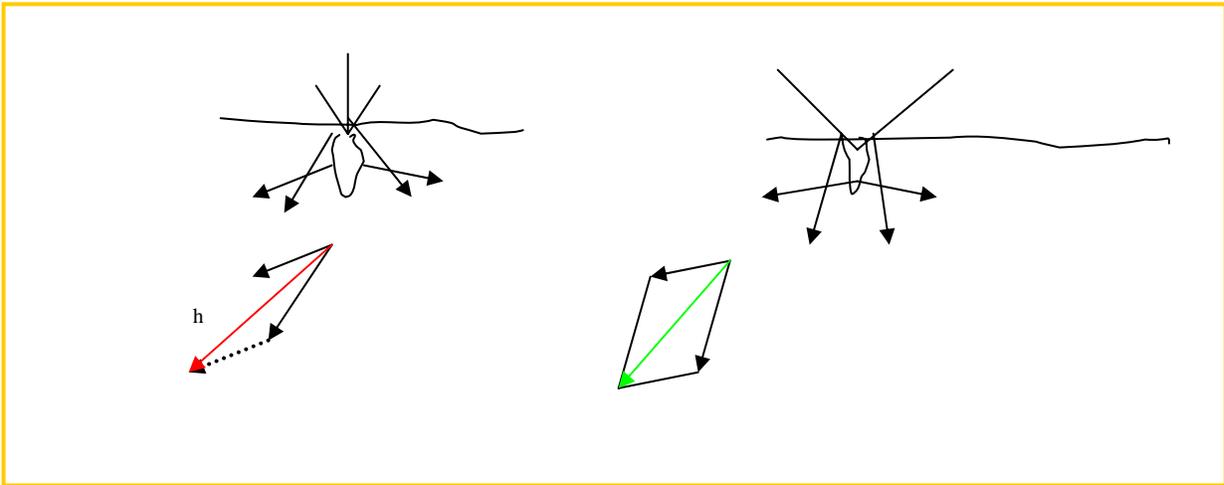
Cuando hay que perforar tiros largos, es necesario utilizar juegos de barras que se unen con acoplamientos, en los cuales la onda de choque se refleja o en aquellas partes que existen diferencias de diámetros. En los acoplamientos se producen pérdidas de energía que se puede apreciar físicamente por el calor generado en estas piezas. Según estudios de Sandvic Coromant, en el primer acoplamiento se produce una pérdida de alrededor de 8 a 10% pero esta pérdida va disminuyendo a medida que pasa por los otros acoplamientos. Por tanto toda la energía de la onda de choque llega al inserto del bit transformándose en trabajo de perforación.

En la perforación por percusión utilizamos máquinas perforadoras manuales y también máquinas montadas en carros. Se emplean en todas las actividades de construcción y minería.

### 5.2.1.1. Factores que afectan la relación Trituración Astillamiento.

- Angulo del filo del trépano, **Fairhurst** y **Labacanne** establecieron que mientras mayor es el ángulo Beta, mayor es el tamaño de la cuña de roca triturada, menor los esfuerzos de compresión entre la roca pulverizada y roca sólida,  $f$ , y mayor la inclinación de los esfuerzos de compresión del bit, aplicados directamente sobre la roca insitu,  $g$ , dando como resultante,  $h$ ,

más cercano a la vertical, fig. N° . Como los esfuerzos de cizalle interceptan la resultante  $h$ , en un ángulo de más o menos  $30^\circ$ , la inclinación, de la superficie de cizalle, variará en la misma magnitudes que lo hace el ángulo de inclinación de la componente  $h$ , de donde se puede deducir que a mayor verticalidad de  $h$ , como resultadote un incremento en el ángulo del filo del trépano, Beta, se tendrá una menor inclinación de la superficie de cizalle, requiriéndose por lo tanto, un mayor esfuerzo para el astillamiento, hasta llegar ser infinito cuando alcanza un valor igual o menor que cero



Para comprender mejor la trascendencia de estas variaciones se debe tener presente que mientras mayores el tamaño de los detritus, menor es el consumo de energía por unidad de volumen de roca desprendida. La experiencia ha permitido establecer que el óptimo de Beta, varía entre  $55^\circ$  y  $60^\circ$ , debido a que estas condiciones se alcanza un adecuado equilibrio entre su velocidad de perforación, su rapidez de desgaste y esfuerzo mínimo requerido para vencer la resistencia de la roca que se expone en los otros siguientes parámetros:

#### 5.2.1.2. Magnitud de las presiones en el fondo de la perforación:

El tamaño del cráter disminuye sensiblemente, debido a que si bien las astillas se siguen produciendo en la forma descrita anteriormente por la Drilling Research, la alta fricción,  $f$ , originada entre la superficie de contacto astillas- astillas o / y astillas - roca insitu, producto de la alta presión en el fondo, impiden sus desplazamientos. En otras palabras se podría decir que, la falla de la roca se ha producido en forma pseudo plástica, constituyendo el cráter plástico, en oposición al cráter frágil que se forma cuando no existen estas condiciones externas.

### 5.2.1.3. Esfuerzo Mínimo:

Es la mínima energía requerida para superar la resistencia a la perforación de la roca, en caso contrario, el bit se limitará a rebotar, produciendo solamente ruido y vibraciones. Su magnitud depende directamente del tamaño de la superficie de contacto roca- bit y por lo tanto mientras mayor es el ángulo Beta mayor será el esfuerzo requerido. Esta superficie de contacto, resulta muy grande en los triconos, debido a su gran número de dientes, es por esto que estas brocas requieren que se le aplique una gran fuerza de empuje, y un fuerte torque.

**5.2.1.4. Indexing:** Se define como la distancia entre el punto de impacto del bit y el cráter más cercano, hacia el cual se produce la fractura del astillamiento. Si esta última no se produce, no hay distancia indexing.

Hartman efectuó numerosas experiencias en superficies parejas e irregulares; con diferentes tipos de brocas y grados de desgastes, magnitudes de energía y distancias indexing, estableciendo que para una determinada cantidad de energía al incrementar sistemáticamente la distancia **Index**, el volumen del cráter pasa por un máximo. Este máximo se obtiene a una menor distancia Index en rocas lisas que en rocas irregulares, siendo en general similares los cráteres máximos.

Además estableció que el volumen de un cráter a una distancia Index óptima, es aproximadamente proporcional a la energía de impacto, y que existe una rotación óptima mínima donde se alcanza el máximo efecto, sino se producen pérdidas de energía.

Si la velocidad es muy grande no se produce rotura a cráter adyacente, produciéndose cráteres individuales, pero en las vueltas posteriores esto es compensado por la propagación de fracturas a cráteres ubicados a ambos lados. Drillings Research Inc, experimentando con probador de caída vertical obtuvo una curva, llamándola "CURVA INDEXING UNIVERSAL", estableciendo que el volumen promedio del cráter por impacto, es independiente de la distancia "Indexing", siempre que esta exceda un valor mínimo

**5.2.2. Perforación Rotatoria.** La penetración en la roca se debe al fracturamiento de ella originado por una fuerza sobre el bit, acompañado de un par que lo hace girar, quebrando la roca que está en contacto bajo la herramienta de corte.

La energía es transmitida por los tubos hasta el bit, que puede ser de botones (trépano) o de insertos de carburo de tungsteno. En el primer caso la perforación se le denomina Rotación - Trituración, y en el segundo caso la perforación se le denomina perforación Rotación - Corte.

El motor de rotación de una máquina para perforar con tricono debe ser accionada hidráulicamente, que regula velocidades en forma continua y escalonada. Las velocidades normales de trabajo fluctúa entre 50 a 90 r.p.m.

Cuando se trabaja con bit de plaquitas la velocidad de rotación más empleada es de 80 r.p.m., dependiendo exclusivamente de la naturaleza de la roca

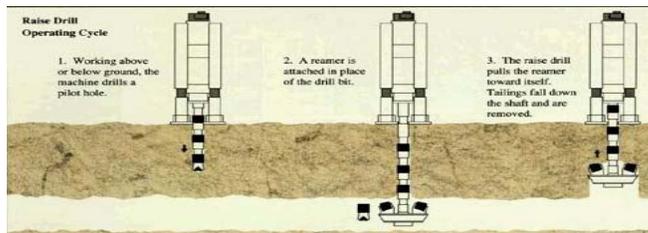
El mecanismo básico del fracturamiento de la roca observado durante la Perforación rotatoria utilizando un bit tipo cincel o drag bit, fue el siguiente: 1

- a) Deformación elástica.
- b) Trituración: pulverización de la roca en contacto con el bit
- c) Astillamiento y trituración: Al superarse la resistencia de la roca al cizalle se desprenden astillas, permitiendo un rápido giro de la broca para impactar violentamente contra la roca sólida, repitiéndose el ciclo.
- d) Astilla mayor: poco a poco se forma una gran mordedura que termina por ceder bruscamente, dando origen a una gran astilla, que deja prácticamente libre por un buen trecho al bit, volviendo a reiniciarse un nuevo ciclo semejante al anterior.

Cuando se perfora con triconos de botones, se requiere una gran fuerza de avance de alrededor entre 2 a 3,5 Ton/pu1g.

Se utiliza en la perforación de bancos en minas Rajo Abierto

## Raise Bore



## TBM





FOTO: Perforadora que emplea sistema de rotación y empuje

**5.2.3. Perforación Rotatoria - Percusiva:** Es una combinación de las dos anteriores.

En la perforación de roca existen las fases de:

- Destrucción de la roca
- Barrido. Extracción de las partículas o detritus por medio de un flujo barredor, que puede ser aire, agua, o un fluido especial preparado, de acuerdo al sistema de perforación empleado.

Un ejemplo de perforación roto-percusiva es el empleo de DTH.(Down The Hole)., en el cual el movimiento de rotación y empuje lo entrega, la máquina que está en superficie (Truck drill) y la percusión lo entrega (el DTH) la máquina que está en las barras en el fondo de la perforación.

El principio de perforación de estos equipos se basa en el impacto de una pieza de acero (pistón) que golpea a un útil que a su vez transmite la energía al fondo del barreno por medio de un elemento final (Bit o inserto). Los equipos rotopercutivos se clasifican en dos grandes grupos, según donde se encuentre colocado el martillo\_

- Martillo en cabeza (Top Hammer). En estas perforadoras, dos de las acciones básicas, rotación y percusión, se producen fuera del barreno, transmitiéndose a través de una sarta de aceros hasta el bit o al inserto que está en contacto con la roca en el fondo del tiro o pozo de perforación. Los martillos pueden ser de accionamiento mecánico u óleo hidráulico.
- Martillo en el fondo (DTH). La percusión se realiza directamente sobre el bit de perforación, mientras que la rotación se efectúa en el exterior del barreno. El accionamiento del pistón se lleva a cabo neumáticamente, o bien con agua (hidráulica) mientras que la rotación puede ser neumática hidráulica.

#### 5.2.3.1. Las ventajas principales, que presenta la perforación rotopercutiva, son:

- Es aplicable a todos los tipos de roca, desde blandas a duras.
- La gama de diámetros de perforación es amplia. desde 4 ½" a 26 ó más pulgadas
- Los equipos son versátiles, pues se adaptan bien a diferentes trabajos y tienen una gran movilidad.
- Necesitan un solo hombre para su manejo y operación
- El mantenimiento es fácil y rápido
- El precio de adquisición no es elevado.

Los tipos de obras donde se utilizan son:

- En obras públicas subterráneas: túneles, cavernas de centrales hidráulicas, depósitos de residuos, etc. Y de superficie; carreteras, autopistas, excavaciones industriales, etc.
- En minas subterráneas y en explotaciones a cielo abierto de tamaño medio y pequeño.
- Perforación para captar aguas subterráneas

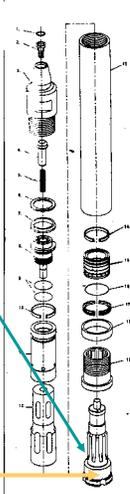


# Rotopercusión

Martillo DTH



26"



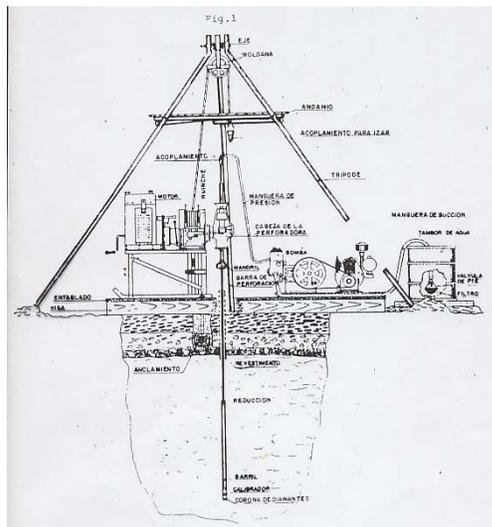
5 1/2"

ITEM QTY.	DESCRIPTION	PART NUMBER
	COMPLETE HAMMER STANDARD CYLINDER	41801008
	COMPLETE HAMMER HARDENED CYLINDER	41801008
1	CAPSCUP	41802000
2	AIR SCREEN	41802000
3	TOP SUB-BEARING	41801000
4	CHECK VALVE PLUNGER	41801000
5	CHECK VALVE SPRING	41802000
6	PISTON WAKE-UP RING	41802000
7	LOCK RING	41804011
8	DISTRIBUTOR	41804000
9	TOP RING	41802000
10	INNER CYLINDER RETAINING RING	41801700
11	INNER CYLINDER	41801000
12	PISTON	41801000
13	STANDARD CYLINDER	41801000
14	FULLY REDUCION HARDENED CYLINDER	41801001
15	PISTON RETAINING RING	41801700
16	DRIVE SUB BUSH	41801000
17	TOP RING	41802000
18	DRIVE RETAINING RING	41801000
19	BREAK OUT RING	41802100
20	DRIVE SUB	41802000
	MAKE-UP KIT	41802000
	TOP RING KIT	41802000

**PREMIER** Rock Tools  
 11450 14th St. NE, Everett, WA 98203  
 Phone: (425) 335-1111 Fax: (425) 335-1111  
 Email: premier@rocktools.com

**5.2.4.- Perforación Abrasivo - Rotativa:** Es un sistema de perforación rotativa, lo que cambia es el tipo de máquinas, aceros y herramientas de corte. Estas herramientas reciben el nombre de coronas, las cuales pueden estar con insertos de acero de Tugsteno o bien estar impregnadas con diamantes industriales. Estos sistemas de perforación son muy empleados en la prospección de yacimientos minerales, con el objeto de obtener testigos de roca de la columna del macizo perforado.

## Perforación rotoabrasiva



Los bits o herramientas de corte son totalmente diferentes a los empleados en percusión y rotación tradicional, aquí son coronas con diamantes, los que se encuentran ubicados en la superficie que está cortando la roca. Hay coronas con diferentes formas y la masa o material donde van incrustados los diamantes se denomina matriz

## Coronas



## 6.- Factores y Parámetros que Influyen en la Perforación

Muchos son los parámetros que afectan a la Perforación y Tronadura, algunos de estos son controlables dentro de ciertos rangos y otros son independientes.

### 6.1. Factores y parámetros dependientes:

Factores operacionales  
Factores de servicio  
Factores geométricos  
Paralelismo entre tiros

#### 6.1.1. Factores de perforabilidad

Estructuras presentes en la roca (planos de fallas, estratificación, bloques preformados, etc.

El estudio que se ha llevado a cabo, tiene como objetivo principal mejorar los parámetros controlables, sin cambiar los insumos o herramientas que están usando en la actualidad; para ello modificar el diagrama tendrá como finalidad mejorar el avance del disparo, mantener en el rango de fragmentos que requiere el material para ser procesado (60 cm máximo), controlar la sobreexcavación, mejorar los rendimientos operacionales de la perforación y Tronadura, y bajar los costos.

Factores y Parámetros Controlables

**6.1.2. Factores Operacionales:** son controlables dentro de ciertos límites y su diseño y elección dependen también de los otros factores que afectan la perforación. Dentro de estos tenemos:

Perforadora: transforma en mecánica las energías, neumática, hidráulica, óleo-hidráulica, y eléctrica. Su velocidad de perforación depende de su tamaño, potencia, grado de desgaste, etc.

Barra: aceros altamente resistentes que transmiten la energía mecánica desde la perforadora hasta la roca. Su eficiencia es afectada por el maltrato, exceso de uso, mala elección, etc. o sus formas o dimensiones no son las adecuadas.

**6.1.3. Broca o Bit:** existen de variadas formas y diámetros, sus filos de carburo tungsteno están destinados a aplicar la energía a la roca. Su pérdida de filo y desgaste diametral afectan la eficiencia de la perforación.

Fluido barredor: flujo de aire, agua o barro destinado a extraer los detritos, refrigerar el bit y en ocasiones mantener la estabilidad de las paredes del tiro. Si el flujo barredor es deficiente podría provocar una remolienda de detritos, atascamiento de barra o desgastes diametrales de las brocas que afectarían negativamente la velocidad de perforación.

### 6.1.4 Factores de Servicio

**Mano de Obra:** juega un papel muy importante en la velocidad de penetración y en la vida útil de los equipos y accesorios, puesto que mientras más experto, responsable y trabajador sea el personal.

**Ubicación de Faena:** es un factor importante en las posibilidades de seleccionar o no al personal, con todas las consecuencias que esto significa en el rendimiento y vida útil de las perforadoras, sus accesorios y otros equipos. En efecto, resulta mucho más fácil, a igualdad del resto de los factores que afecta la selección del personal, contar con operadores eficientes en una faena que tenga por ejemplo, una buena ubicación respecto de una gran ciudad, de una hermosa playa, etc.

**6.1.5. Factores Geométricos:** son variables independientes no controlables por el operador, determinadas por la granulometría deseada, sección del desarrollo, de la potencia del cuerpo mineralizado, etc.

**Diámetro de Perforación:** la velocidad de perforación es inversamente proporcional al cuadrado de los diámetros.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{D_2^2}{D_1^2}$$

**Profundidad de la perforación:** a medida que se profundiza, se pierde efectividad en el barrido ya que se incrementa la pérdida de energía de reflexión

## 6.2.- Factores y parámetros independientes:

Son absolutamente independientes, y por lo tanto no se puede cambiar, regular, controlar, etc. entre estos tenemos:

### 6.2.1. Propiedades de Las rocas que afectan a la perforación.

Las principales propiedades físicas de las rocas que influyen en los mecanismos de penetración y consecuentemente en la elección del método de perforación son:

Dureza

Resistencia

Elasticidad

Plasticidad

Abrasividad

Textura

Estructura

Características de rotura.

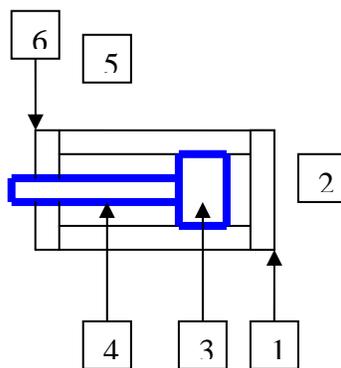
## 7.0.- PERFORADORAS NEUMATICAS MANUALES.

Las perforadoras manuales externamente constan de tres partes: la culata o cabezal, el cuerpo o cilindro y la trompa de la máquina donde se introduce el culatín de la barra, justo en el porta brocas. Estas tres partes están unidas firmemente con dos pernos tensores.

### 7.1. Mecanismo de percusión.

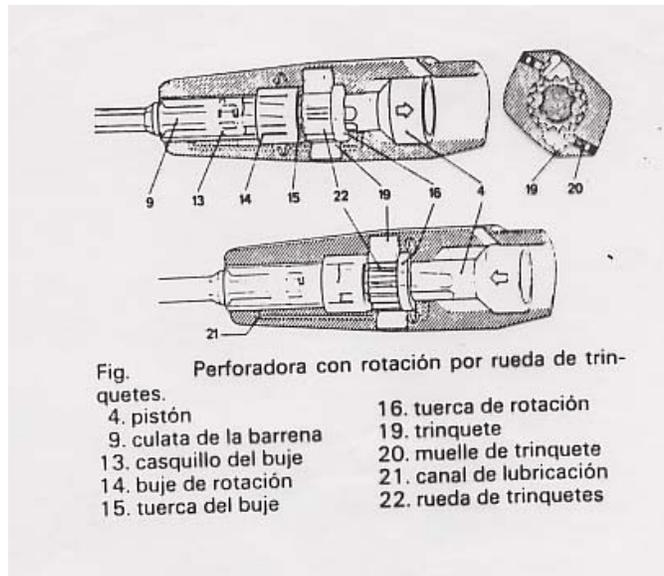
Su función es convertir la energía neumática en hidráulica y para ello, necesita un conjunto de piezas móviles y fijas, complementados con algunas perforaciones milimétricas ubicados estratégicamente en el interior de estas piezas.

- **Cilindro.-** Consiste en un tubo sellado en ambos extremos, cuyas tapas reciben el nombre de culatas. En sus paredes laterales existen perforaciones para conducir el aire comprimido con aceite pulverizado a las diferentes cámaras. La cámara inferior está diseñada para retener una cantidad de aire residual con dos objetivos, uno de impedir que el pistón golpee a la culata inferior y el otro objetivo es darle al pistón un impulso adicional para que se desplace hacia la culata superior.



1. Culata superior
2. Cámara superior
3. Cabeza de pistón
4. Vástago del pistón
5. Cámara inferior
6. Culata inferior

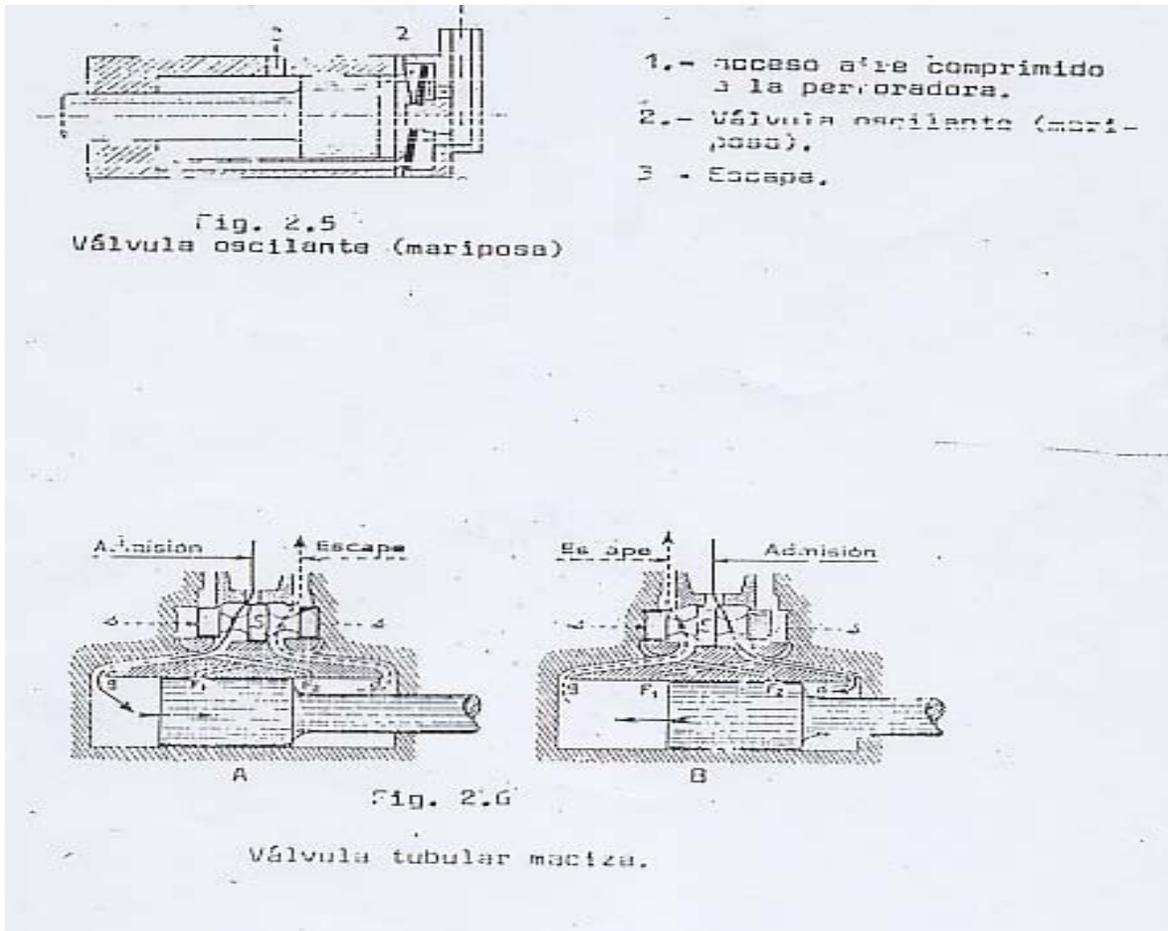
- **Pistón.-** Es una pieza cilíndrica con dos diámetros, el diámetro mayor es la cabeza del pistón y el menor corresponde a su vástago, que generalmente tiene nervaduras helicoidales en su largo, con el objeto de transmitir el movimiento de rotación del sistema al portabroca que hace girar la barra, y además golpear la cabeza de la barra



- **Válvulas principales o de distribución.-** Tienen como objetivo de permitir el paso del aire comprimido de una cámara a otra con el propósito de hacer recorrer el pistón a través del cilindro, para que este actúe al igual que un mazo golpeando la cabeza de la barra de perforación para transmitir toda la energía mecánica.

Existen varios tipos de válvulas.

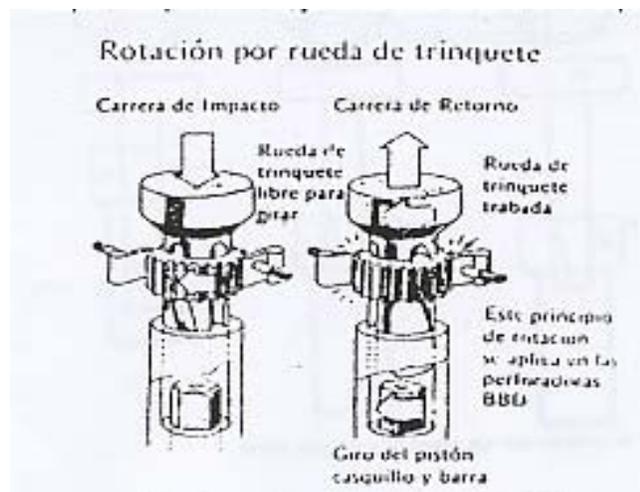
- Válvulas oscilante o de mariposa
- Válvulas cilíndricas o macizas
- Válvulas de bolitas ( no se utilizan en las máquinas actuales)



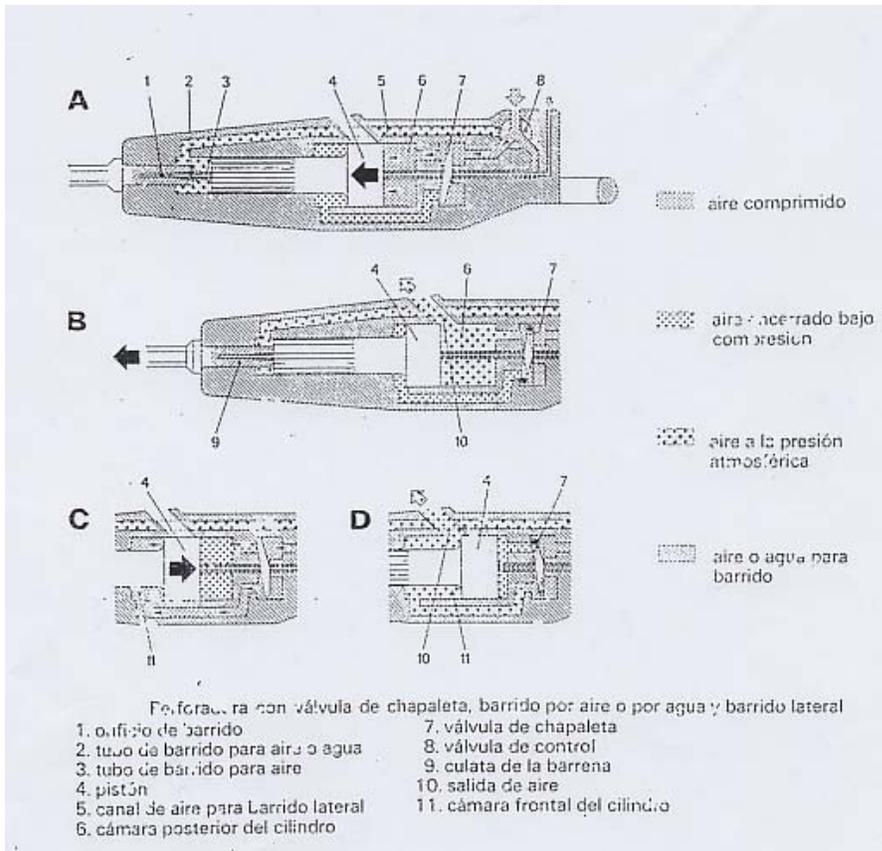
**7.2. Mecanismo de rotación.-** Son dispositivos que proporcionan el movimiento rotatorio al sistema de barras.

Existe un mecanismo de rotación por rueda de trinquete y otro de rotación por barra estriada.

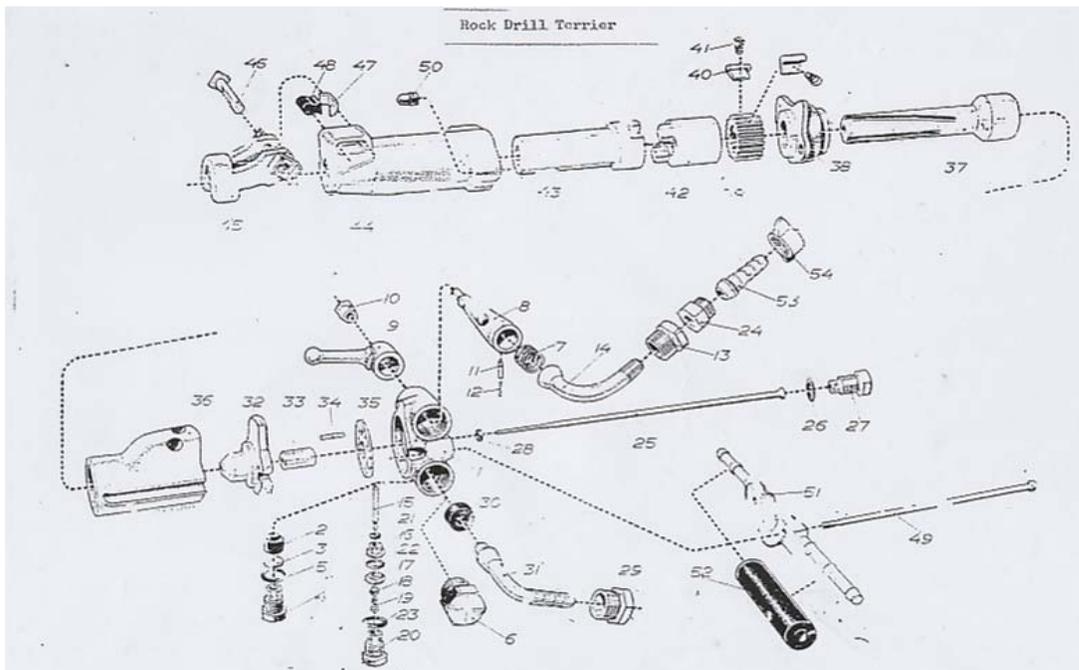
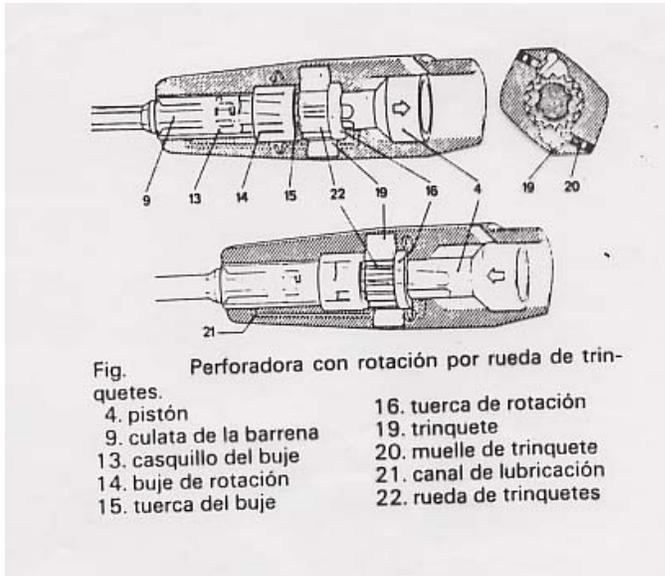
En máquinas grandes montadas en carros, generalmente su sistema de rotación es independiente a la percusión de la perforadora, se utilizan motores de rotación.



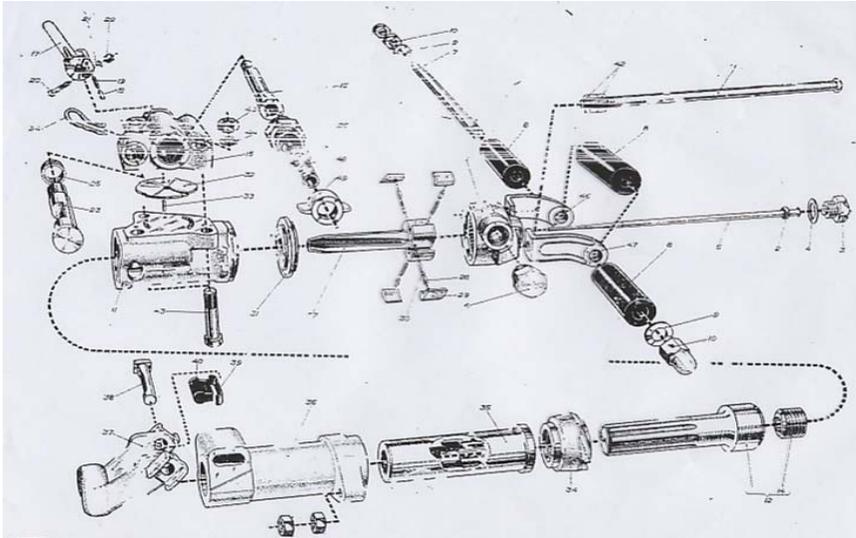
**7.2.1. Rotación por el pistón:** Básicamente consiste en hacer que el émbolo en su trayectoria de retroceso, se desplace a lo largo de una nervadura helicoidal forzándolo a dar un pequeño giro, y como el vástago del pistón tiene nervaduras axiales, el giro se transmite mediante estas nervaduras al porta broca. Cuando el pistón recorre hacia adelante no gira, solamente se desplace rectilíneamente golpeando a la barra



**7.2.2. Mecanismo, con eje trinquete:** Consta de un eje provisto de nervadura helicoidales, a lo largo de las cuales se desplaza una tuerca atornillada en la cabeza con un número determinado de dientes por lo tanto, al cambiar de dirección, la uñeta 2 impedirá todo movimiento del eje trinquete, obligando al pistón a desplazarse inmediatamente a lo largo de las nervaduras helicoidales, y por lo tanto, a dar un giro angular equivalente a 4,5 dientes. Comparando los resultados obtenidos en ambos casos, se puede establecer que con el solo hecho de aumentar de uno a dos el número de uñetas, se obtuvo una variación de medio diente en la magnitud del giro del pistón, pero no siempre sucede.



## Perfo RH 571 - 3L



### 7.3. Perforadoras Atlas Copco

#### Puma, BBC 16/17 W

Para trabajo duro, eficaz perforación frontal de todo tipo de roca. Muy versátil. Esta diseñada con un control centralizado tanto para perforación como para control de la fuerza de avance.

Datos técnicos

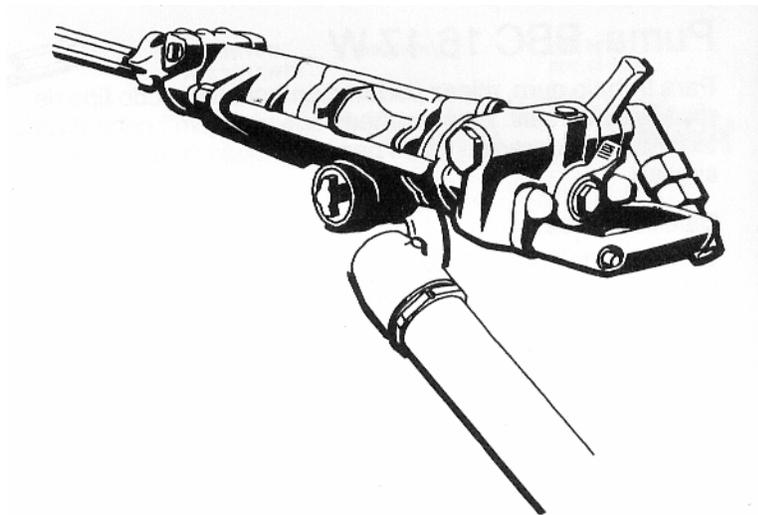
Consumo de aire	63 l/s
Diámetro del pistón	70 mm
Carrera	55 mm
Frecuencia de impacto	37 Hz
Nivel de ruido	110 dB
Longitud total	710 mm
Peso aproximado	27 Kg
Diámetros barrenos	27 - 40 mm

**Lion, BBC 24 W**

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

## Datos técnicos

Consumo de aire	75 l/s
Diámetro del pistón	70 mm
Carrera	70 mm
Frecuencia de impacto	33 Hz
Nivel de ruido	113 dB
Longitud total	770 mm
Peso aproximado	29,5 Kg
Diámetros barrenos	27 - 64 mm

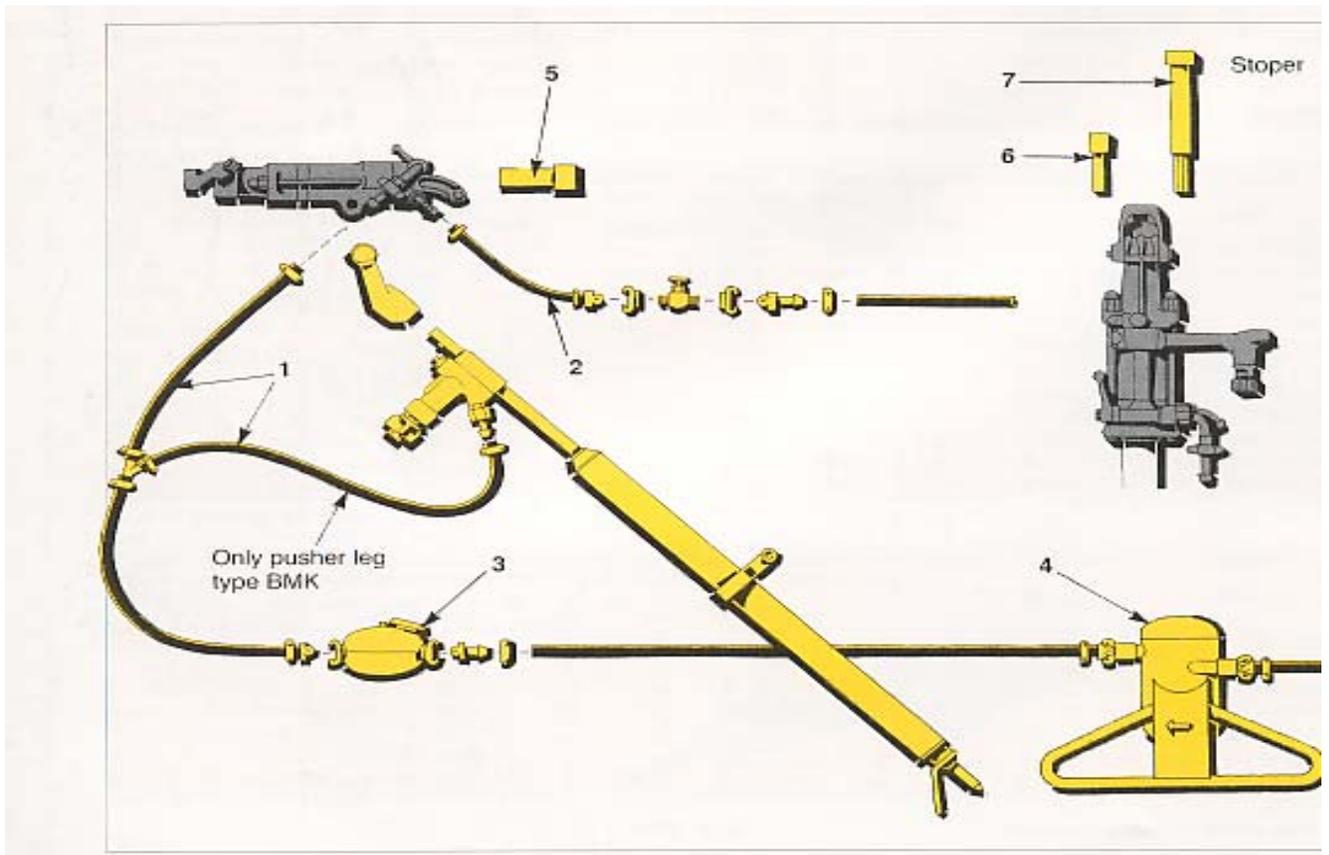


**Leopard, BBC 34/35**

Perforadora para trabajo duro con poderosa rotación apropiada para taladros largos con diámetros mayores a 41 mm, diseñada con control central tanto para perforación como para la fuerza de avance.

Datos técnicos

Consumo de aire	90 l/s
Diámetro del pistón	80 mm
Carrera	70 mm
Frecuencia de impacto	38 Hz
Nivel de ruido	110 dB
Longitud total	750 mm
Peso aproximado	32 Kg
Diámetros barrenos	27 - 41 mm

**Jackleg , Stopper y Accesorios**

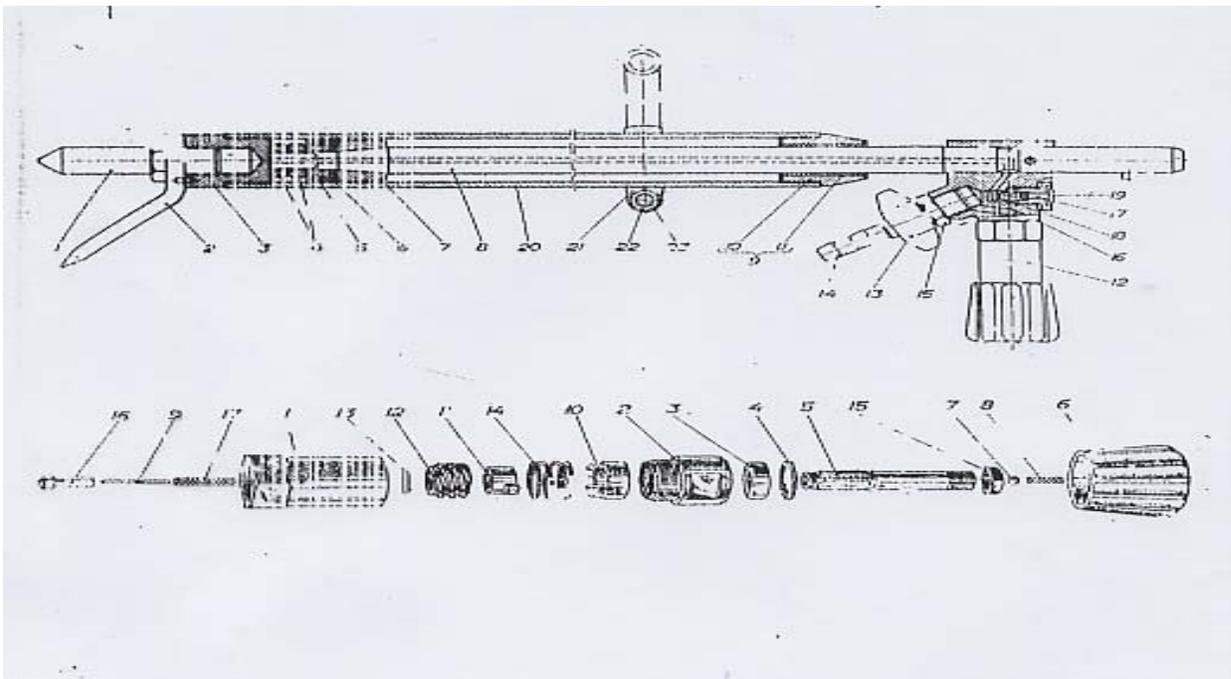
#### 7.4. Empujadores o patas neumáticas.

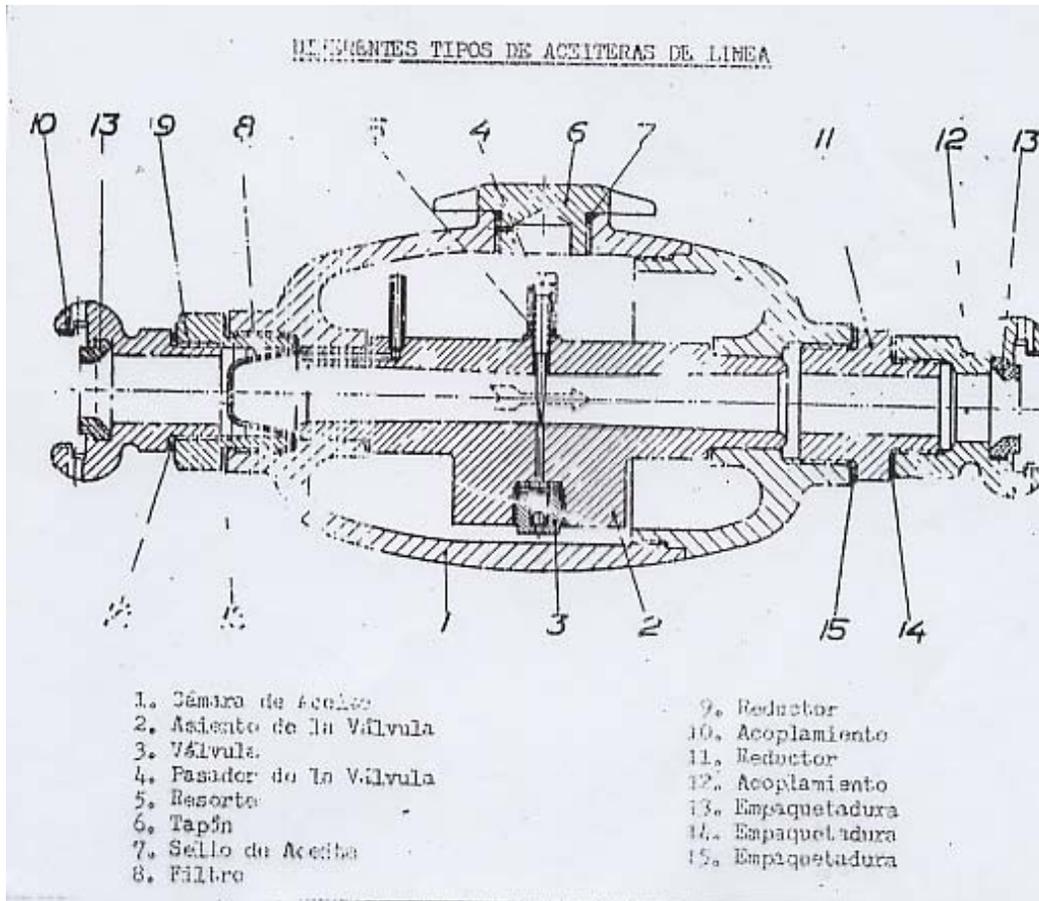
Es fundamental el trabajo de los empujadores, ya que ellos cumplen funciones de ayuda a una mejor operación durante la perforación:

- Facilita el trabajo del perforista, porque ayuda a mantener la posición de trabajo de la perforadora.
- Empuja la máquina con la ayuda del perforista para que el bit tenga buen contacto con la roca, para transmitir toda la energía que genera la máquina y así penetrar la roca.
- Ayuda a evitar que la perforadora tienda a retroceder cuando el pistón impacta.

El empujador debe estar dimensionado a la máquina a utilizar. Si el tamaño es menor, es probable que no exista un buen contacto entre bit y roca, produciendo un rápido deterioro de los aceros de perforación y también una penetración deficiente.

Si usamos un empujador de mayor envergadura tendríamos empujes muy altos que perjudican la perforación





### Dosificador de aceite o pato lubricador

#### 8.0. Perforadoras montadas en carros de avance

Existen perforadoras de gran tamaño y peso, que se utilizan en perforaciones para conseguir diferentes objetivos, que pueden ser tiros de mayor longitud, o de mayor diámetro, dependiendo exclusivamente del trabajo a desarrollar. Estas máquinas deben ir montadas en carros especiales que a su vez se deslizan por correderas suaves pulidas y lubricadas. Estos carros de avance, pueden ser accionados por sistemas de:

- Cable
- Cadenas
- Tornillo
- Hidráulico



El principal objetivo de los sistemas de avance es permitir un buen contacto del bit con la roca, facilitando la transmisión de la fuerza o potencia que origina la perforadora y es transmitida por la sarta de aceros. Cumpliendo estas condiciones, podemos lograr una perforación exitosa.

Cuando no existe un buen contacto entre bit y roca, toda la energía que está transmitiendo el acero no se aprovecha en perforar la roca. Esa energía se manifiesta como calor aumentando la temperatura de la sarta y en muchos casos se deteriora el bit por pérdidas de botones.

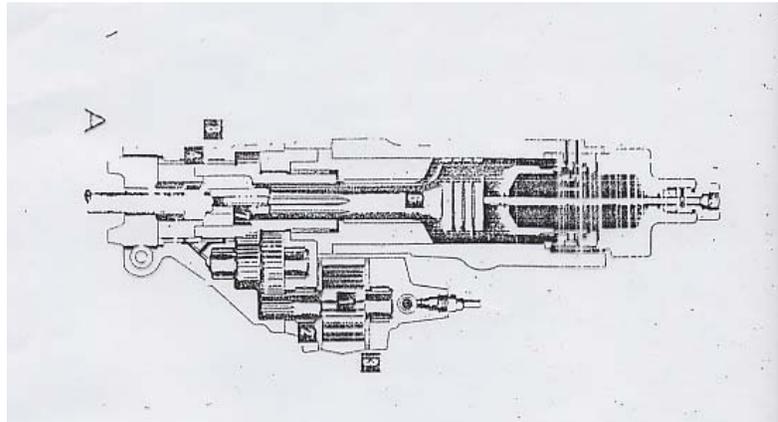
Por estas razones la fuerza de empuje debe estar dimensionada a la máquina a utilizar. Si el empuje es menor, es probable que no exista un buen contacto entre bit y roca, produciendo un rápido deterioro de los aceros de perforación y también una penetración deficiente.

Si usamos una empuje mayor, la penetración puede ser deficiente, porque el sistema de rotación puede desgastarse prematuramente.

Existe el peligro que la sarta de barra se pegue, o sufra daños de curvatura.

Si ocurre cualquier acontecimiento anunciado anteriormente, se traducirá en baja penetración de la herramienta en la roca.

También puede suceder por un empuje alto un desequilibrio en la torre de perforación,

**Perforadora neumática, para montarla en carro de avance**

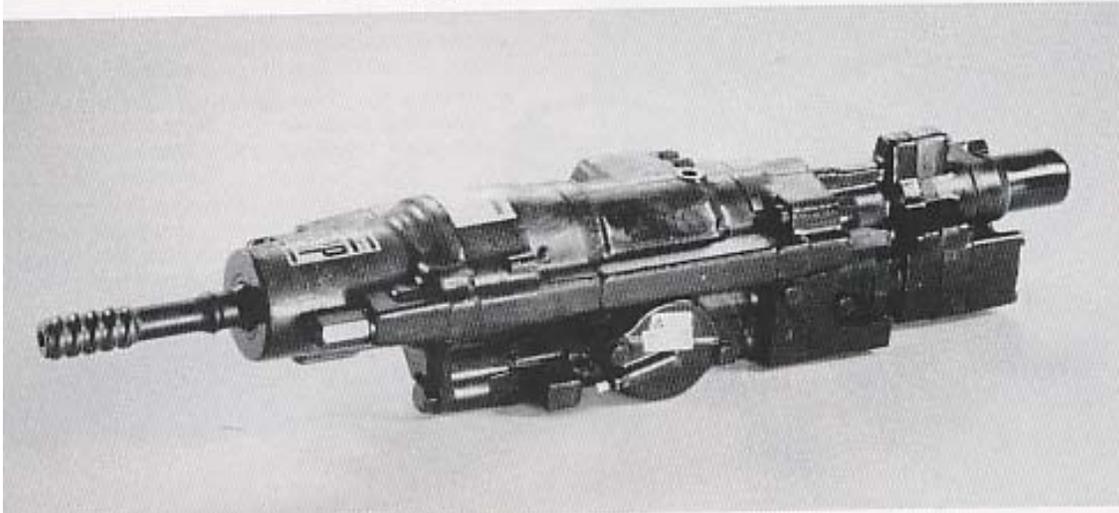
Perforadora PR55 Atlas Copco

**Perforadora Tamrock , para el nuevo jumbo AXERA 6**



## COP 1838

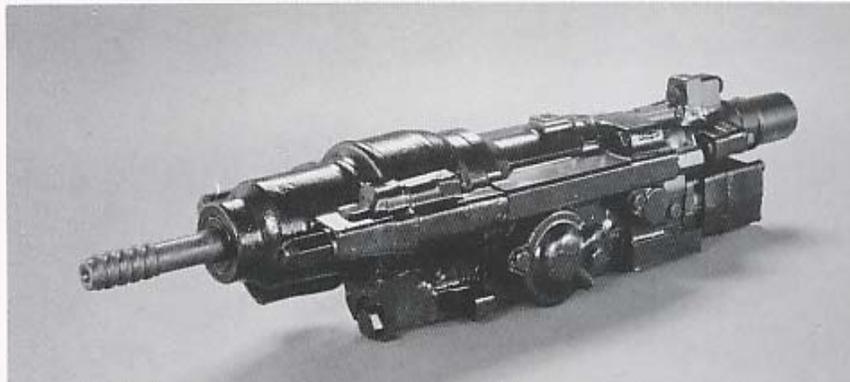
High-speed, hydraulic rock drill for tunnelling, drifting and production drilling  
38 - 64/51 - 102 mm hole diameters

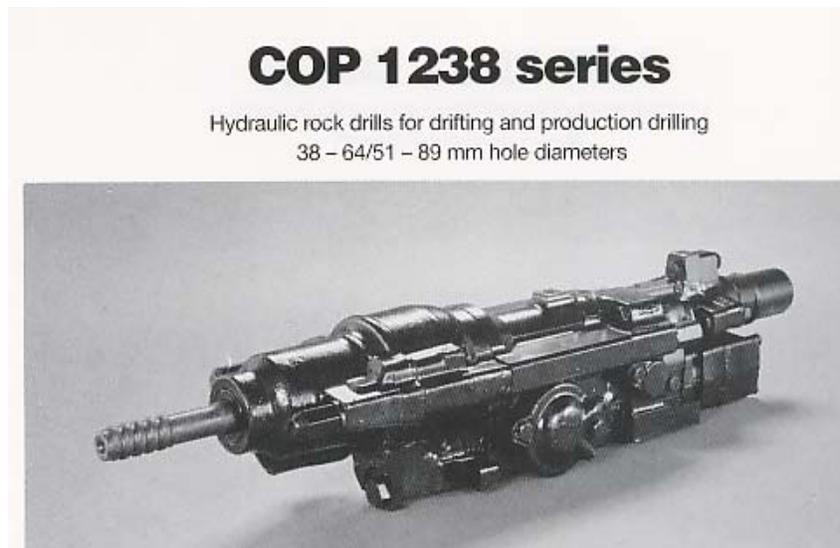


42113

## COP 1238 series

Hydraulic rock drills for drifting and production drilling  
38 - 64/51 - 89 mm hole diameters





## 9. Barrido.-

Cualquier tipo de perforación que se realice utilizando diferentes tipos de máquinas perforadoras con distintas sartas de barras y herramientas de corte. Para que la perforación resulte eficaz, es necesario que el fondo de los barrenos se mantenga constantemente limpio evacuando el detrito justo después de su formación. Si esto no se realiza, se consumirá una gran cantidad de energía en la trituración de esas partículas traduciéndose en desgastes y pérdidas de rendimientos, además de riesgos de atascos.

El barrido de los barrenos se realiza con un fluido - aire, agua o espuma - que se inyecta a presión hacia el fondo a través de un orificio central del varillaje y de unas aberturas practicadas en el bit de perforación.

**Las partículas se evacuan por el hueco anular comprendido entre el varillaje y la pared de los barrenos.**

El barrido con aire se utiliza en trabajos a cielo abierto, donde el polvo producido puede eliminarse por medio de captadores.

El barrido con agua es el sistema más utilizado en perforación subterránea que sirve además para suprimir el polvo, aunque generalmente supone una pérdida de rendimiento del orden del 10 al 20%.

La espuma como agente de barrido se emplea como complemento al aire, pues ayuda a la elevación de las partículas gruesas hasta la superficie y ejerce un efecto de sellado sobre las paredes de los barrenos cuando se atraviesan materiales sueltos.

En pozos de sondajes a medida que se profundiza la perforación, el levantar el cutting necesita un lodo de barrido con características especiales, este lodo debe

considerar las características de la roca y se prepara teniendo en cuenta la densidad y viscosidad necesaria , para sacar el detritus, además debe estudiarse el grado de filtración y el grado de resistencia a la solidificación.

Existe toda una ciencia que estudia los flujos y la deformación de la materia, esto se llama **Reología** .

Las perforadoras manuales o montadas en carros de avance y que utilizan energía neumática llevan un tubo que las atraviesa desde el cabezal donde se conecta al fluido barredor hasta la trompa de la perforadora, el extremo del tubo queda insertado en el culatín de la barra. El líquido barredor pasa a través de esta bombilla a la sarta de barras y herramienta de corte.

**La presión del agua debe estar regulada y no debe sobrepasar a la presión de trabajo de la perforadora, menos diez libras por pulgada cuadrada, por ej.** Si en la red de aire tenemos 95 lbs/pulg<sup>2</sup> le restamos 10 y tenemos que el agua no debe sobrepasar a 85 lbs/pulg<sup>2</sup> , la razón es, si utilizamos una mayor presión se puede reventar la bombilla que atraviesa la máquina, produciendo un deterioro de ella.

### 9.1. Barrido lateral

Cuando uno debe perforar una mayor longitud y la presión del agua permitida, en el caso del ejemplo no es capaz de sacar el cutting, se puede agregar una pieza adicional al culatín que permite introducir el fluido barredor a la sarta de barras directamente, y se puede aumentar la presión y la cantidad necesaria para sacar el detritus a superficie, esto se llama barrido lateral.

Actualmente todas las perforadoras hidráulicas traen un barrido lateral incluido, es decir, no hay que agregar una pieza adicional como se hacía en las máquinas neumáticas.

### 9.2. Circulación reversa

Es una técnica diferente de extraer el cutting. En los casos anteriores siempre introducíamos el fluido barredor a través del interior del acero de perforación y retornaba a la boca del tiro por el anillo anular formado por la barra y la pared del tiro. En este caso se utiliza un sarta totalmente diferente a las anteriores. Son dos tubos concéntricos separados entre sí quedando un espacio anular entre ellos, por donde se introduce el fluido barredor, saliendo el cutting por el tubo central

## 10. Transmisión de energía.

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

El componente principal de la perforadora es el pistón, el cual, al ser empujado hacia delante golpea el culatín. La energía cinética del pistón se transmite a la barra en forma de onda de choque. La onda de choque se desplaza a una velocidad de 5000m/s (velocidad del sonido a través del acero), La forma de la onda de choque

está determinada por la geometría del pistón y de la barra. La amplitud (f) de la onda de choque esta determinada, a su vez, por la velocidad de impacto.

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

Para perforar hasta la profundidad deseada, a veces puede ser necesario unir diferentes barras, cada unión 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 las coplas, originando desgastes en las roscas y pérdidas en energía en 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 al bit se transforma en trabajo de perforación en la superficie de contacto entre los botones o plaquitas 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 de la perforadora.

## Capítulo II.-

### ACEROS DE PERFORACION

Para realizar un trabajo de perforación específico pueden elegirse diversas combinaciones de accesorios. Los factores que hay que considerar en la selección de sus componentes son: el diámetro que depende del tipo de aplicación para la que se utiliza el barreno. En la perforación para voladura hay muchos factores que influyen en la elección del diámetro del barreno, por ejemplo la fragmentación que se desea después de la voladura, el tipo y los tamaños de los explosivos a utilizar, la "calidad" de los fragmentos volados (la necesidad de obtener una frente uniforme y sin fisuras), las vibraciones permitidas del terreno durante la voladura etc., longitud donde la profundidad del barreno puede influir hasta cierto punto, en la elección del equipo de perforación.

Las sargas de perforación están constituidas generalmente por los siguientes elementos: culatín o adaptador de culata, coplas, barras y bit. La cantidad de coplas y barras dependerá exclusivamente del destino que se le dará a la perforación, por ejemplo tiros largos para un sistema de explotación por hundimiento, desarrollo de túneles, tiros de producción en minas rajos, en exploración de yacimientos, etc.

Los aceros empleados en la fabricación de estas herramientas deben de ser resistentes a la fatiga, a la flexión, a los impactos y al desgaste

En las roscas o hilos de acoplamiento, el acero se ve sometido a desgastes por los pequeños movimientos entre la copla y la barra, producidos por la onda de choque:

El culatín sufre desgaste como resultado de la percusión directa del pistón, y la fuerza de torsión transmitida por el buje de rotación.

#### 1.0. Tratamiento térmico de los aceros.

Con el tratamiento térmico, los aceros cambian su estructura molecular, para ello, es necesario calentarlo a una temperatura adecuada dependiendo el objetivo deseado, se pone en contacto con elementos que pueden endurecerlos o ablandarlos

Endureciendo la superficie de desgaste se puede minimizar éste, mediante el mismo procedimiento también se puede mejorar la resistencia a la fatiga. No obstante si la superficie es demasiado dura, se volverá 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 de dos formas.

### **1.1.Contenido de Carbono.**

El acero con alto contenido de carbono se usa para las barrenas integrales: la temperatura durante el laminado en caliente se ajusta para imprimir al acero la dureza adecuada.

#### **1.1.1. Los culatines**

Reciben un tratamiento térmico por separado que les permite resistir los impactos del pistón.

El acero con bajo contenido de carbono se usa para las barras de extensión, culatines, coplas y bit. Después del mecanizado, se confiere una superficie resistente al desgaste mediante los procesos de endurecimiento a alta frecuencia, en el cual la superficie se calienta hasta aproximadamente 900 °C 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 se aplica en las roscas, culatines y ciertos tipos de bit o por carburización gaseosa; o mediante la carburización, en el cual la dureza del acero depende de su contenido de carbono. Mediante la carburización, que se realiza en un horno con gas rico en carbono a una temperatura de aproximadamente 925 °C, se aumenta el contenido de carbono 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 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 a las barras roscadas, culatines, coplas y en ciertos bit..

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

Para la protección contra la corrosión se fosfatiza primero la superficie externa de la barra como el orificio de barrido, y después se aplica una capa protectora de cera. Es esencial una protección eficaz, ya que el menor ataque de corrosión crea una rotura por fatiga. Como formas alternativas de protección se puede emplear grasa o pintura.

## 2.0. Carburo Cementado.

El carburo cementado que se emplea en la perforación de roscas se compone de una mezcla sinterizada de carburo de tungsteno y cobalto. El carburo de tungsteno confiere a los botones o plaquitas la dureza y 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 sinteriza a alta temperatura, mediante lo cual los granos de polvo se amalgaman y el botón o plaquita se contrae hasta su tamaño final.

El carburo cementado posee las siguientes propiedades:

Alta resistencia al desgaste, una dureza de 1100-1500 Hv (esto es 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.

Y 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 propiedades están influenciadas por el contenido de cobalto que normalmente se encuentra entre el 6 y el 12 % del peso y el tamaño de grano del carburo de tungsteno - normalmente 2-5.

La resistencia al desgaste es regida por 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).

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 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 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

diferentes combinaciones de resistencia al desgaste y tenacidad ofrece un potencial único en el desarrollo de los bit de botones. Los bit DP pueden perforar mucho más rápido que los bit actuales, y ofrecen una vida útil considerablemente más larga en diferentes aplicaciones.

El acero y el carburo cementado se pueden unir el uno al otro de formas distintas:

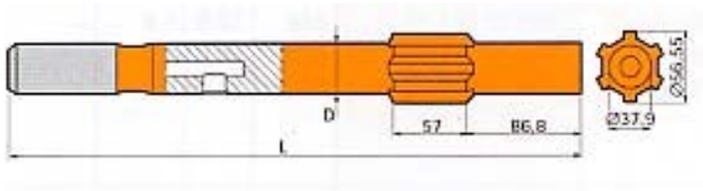
**2.1. Soldadura:** Las plaquitas se sueldan en una ranura fresada en el acero . Como material de soldar se utiliza normalmente la plata o una aleación con base de bronce. El agente de soldadura debe de adherirse bien tanto al carburo cementado como al acero. El material también debe ser suficientemente elástico para compensar la diferencia de expansión térmica entre el acero y el carburo cementado, así como poseer una alta resistencia a la fatiga. Es importante que la junta de soldadura tenga un cierto grosor, por cuyo motivo las plaquitas de carburo cementado se miden con una precisión de centésimas de milímetros antes de ser soldadas.

**2.2. Encaje por contracción:** Los botones se fijan por contracción o presión en frío. Cuando se fijan por contracción, se taladran unos orificios en el cuerpo del bit, la cual se calienta y se colocan los botones en su posición mientras aún están en 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 del bit son muy importantes. Todos los orificios donde irán alojados los botones se miden uno por uno, con una precisión de tan sólo unas milésimas de milímetro: los botones se rectifican hasta obtener su redondez exacta y a continuación se miden con el mismo grado de precisión.

### **3.0. Adaptadores de Culata o Culatín.**

El adaptador de culata se inserta en la perforadora y transmite la energía de impacto y la rotación desde ésta hasta el tren de varillaje. La superficie de impacto, estrías y roscas debe de tener una alta resistencia al desgaste, por cuyo motivo a los culatines se les imprime una dureza superficial mediante un proceso de carburización.

El diseño del culatín debe de adaptarse al buje de la perforadora con la que se va a utilizar, por lo cual cada tipo de perforadora tiene un modelo de culatín en particular.



### 3.1. Adaptadores flexibles de culata:

En este tipo de culatines, la zona entre la rosca T las estrías tiene un diámetro menor. De este modo, el culatín es más elástico y tolera mejor los esfuerzos de flexión: los adaptadores flexibles se fabrican para muchos tipos de perforadoras.

### 3.2. Adaptadores con Roscas Macho y Hembra:

Lo más común es la utilización de adaptadores machos, pero también se utilizan adaptadores con hilos hembras, generalmente se usan en perforaciones de banqueo para aumentar la vida útil de la rosca y eliminar una copla o manguito que podrían soltarse si se trancan las barras

### 4.0. Tipos de roscas

La función de las roscas es unir el culatín, las barras y en algunos casos el bit, Es esencial un apriete eficaz de las roscas durante la perforación, de modo que los diferentes componentes del tren de varillaje, se mantengan en contacto y permitan una transmisión directa de la energía. No obstante el apriete no debe de ser excesivo ya que al añadir o retirar las barras, las juntas se deben de aflojar con facilidad.

El grado de apriete de las uniones roscadas durante la perforación depende de diversos factores. Una elevada energía de impacto, junto con un alto par de rotación contra la resistencia de la roca, darán como resultado un apriete sustancial de las roscas. Es importante que haya una fuerza de avance suficiente, ya que de lo contrario se reflejará una gran parte de la onda de choque, aflojando las uniones roscadas. Es importante que haya una fuerza de avance suficiente, ya que de lo contrario se reflejará una gran parte de la energía de la onda de choque, aflojando las uniones roscadas. La energía no utilizada se transforma en calor en las juntas del tren de varillaje. En determinadas circunstancias, el aumento gradual del calor puede llegar a tal extremo que se "suelden" las roscas de las barras y coplas. Una consecuencia menor, aunque también seria, de este sobrecalentamiento es que las superficies de las roscas se vuelvan muy duras y frágiles, dando lugar a desprendimientos de esquirlas, pequeños hoyos o cráteres en la superficie del acero.

Las propiedades de desconexión de una rosca están influenciadas por el paso y el ángulo entre sus flancos. Un paso amplio junto con un ángulo reducido proporcionan una rosca fácil de aflojar.

La vida útil de una rosca depende de su resistencia y volumen de desgaste; la resistencia al desgaste se obtiene imprimiendo a la rosca una capa superficial dura mediante un proceso de carburización o de temple a alta frecuencia. El volumen de desgaste depende de la geometría de la rosca.

Los tipos más comunes de rosca son:

#### **4.1. Rosca R o hilo cordel**

La rosca R tiene un paso pequeño de  $\frac{1}{2}$ " (12,7mm) y un ángulo amplio entre los flancos. Está disponible en tamaños de 22 a 38 mm. En la perforación por bancos, utilizando barridos por aire y perforadoras con rotación independiente, la rosca R38 se aprieta frecuentemente demasiado y es difícil aflojarla. En tales circunstancias resulta más adecuada la rosca T38

#### **4.2. Rosca T:**

Con respecto a la rosca R, la rosca t tiene un mayor paso y un menor ángulo entre flancos, lo cual confiere unas mejores características de aflojado, resultando así adecuada para la mayoría de las condiciones de perforación. La rosca T se fabrica en tamaños 38, 45 y 51 mm. y tienen un mayor volumen de desgaste que la rosca R.

#### **4.3. Rosca C:**

Tienen un paso menor que la rosca T, pero el mismo ángulo entre flancos. Esto hace que tenga unas mejores características de apriete durante la perforación y, al mismo tiempo, que sea fácil de aflojar. La rosca S está disponible solamente en tamaño de 51 mm.

#### **4.4. Rosca GD**

La rosca GD (High Lead) tiene un perfil asimétrico (llamado diente de sierra) con características de desacoplamiento entre aquellas de las roscas R y T. Se usa en dimensiones de 32 a 57 mm.

#### **5.0. Manguitos de acoplamiento o Coplas**

Las coplas se emplean para mantener las barras unidas, de modo que la transmisión de energía sea eficaz. Las coplas tienen tope central para evitar que se deslicen las barras



### 5.1. Coplas retráctiles:

Las coplas con estrías helicoidales externas se utilizan en combinación con las brocas retráctiles. Estas coplas facilitan la extracción del varillaje en los barrenos que tienden a colapsarse por hundimiento o por acumulación de detritus.

### 5.2 Coplas guías:

Estas coplas tienen estrías longitudinales y se utilizan en combinación con las bocas guía, para mejorar la alineación del barreno en la perforación de producción.

### 5.3. Coplas con aletas:

Las coplas con aletas de gran diámetro se utilizan para estabilizar el tren de varillaje cuando se perforan grandes barrenos, por ejemplo en la perforación y escariado de pozos de agua.

### 5.4. Coplas adaptadores:

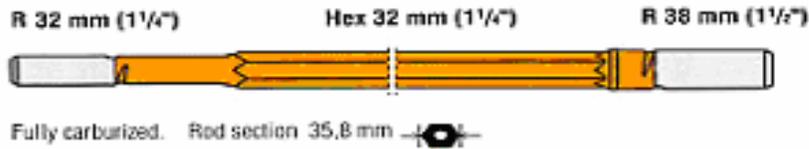
Las coplas adaptadores se pueden usar ocasionalmente cuando las dimensiones de rosca del tren de varillaje son distintas de las del culatín.

### 6.0. Barras roscadas

Las barras roscadas se utilizan para perforar barrenos largos, cuya profundidad es mayor que la longitud de una barra y también en la perforación de avance de galerías (donde la longitud de la perforación es igual al largo de la barra) Se emplean tanto en perforaciones de superficie como subterránea,

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 hexagonales tienen una mayor superficie transversal y por lo tanto una mayor cantidad de

material: son más fuerte y más rígidas que las barras de sección redonda del mismo tamaño, pero también pesan algo más.



## 6.1. Tipos de barras

### 6.1.1. Barras con culata integral:

Estas barras tienen una culata integral en uno de sus extremos y una rosca para el bit en el otro

### 6.1.2. Barras para avance de galerías:

En estas barras, un extremo (el lado hacia la perforadora ) tiene un extremo mayor que el lado donde se instala el bit. La rosca hacia la perforadora puede ser macho o hembra. La barra tiene por lo general una sección hexagonal.

### 6.1.3. Barras ligeras de extensión:

El cuerpo de la barra tiene una sección generalmente hexagonal), más pequeña que las zonas roscadas, que se forjan antes de formar las roscas.

### 6.1.4. Barras de extensión:

Las barras de extensión normales tiene el mismo tamaño de roscas en ambos extremos. Hay diseños disponibles: roscas machos en los dos extremos, o roscas hembra en un extremo y rosca macho en el otro. Estas barras tienen por lo general una sección transversal redonda.

### 6.1.5. Tubos de perforación:

Se emplean en la perforación de barrenos de gran diámetro, o cuando las barras convencionales ofrecen un barrido insuficiente.

### 6.1.6. Barras guía:

Estas barras están disponibles solamente con el diseño de rosca macho hembra, e incorporan dos guías. La alineación del barreno mejora notablemente si se utiliza una barra guía como primera barra, junto con una broca guía o retráctil.

### 7.0. Brocas o bits.

El bit es el componente del varillaje que realiza el trabajo de trituración. El frente del bit va provisto de botones o plaquitas de carburo de tungsteno.



**Bit de botones**

#### 7.1. Tope en el fondo de la broca.

Las brocas tienen generalmente una rosca hembra en cuya base hay un tope que transmite la energía desde el extremo de la barra al frente de la broca. Algunas brocas tienen una rosca macho.

#### 7.2. Orificios de barrido:

El agente de barrido se suministra a través del orificio de barrido de la barra y se distribuye por los orificios de barridos frontales y/o laterales de la broca.

#### 7.3. Ranuras para la evacuación de detritus:

El frente de la broca debe tener espacio para evacuar el detritus del fondo del barreno. Por este motivo, dicho frente va provisto de unas ranuras fresadas por donde pasa el detritus y sale del barreno.

#### 7.4. Holgura (conicidad):

Para que la perforación se pueda realizar de forma eficaz, la broca debe tener su mayor diámetro en el frente, lo cual confiere cierta holgura o conicidad detrás del citado frente.

## **7.5. Brocas de botones:**

Las brocas de botones se fabrican en tamaños de 35 mm en adelante. El diseño de la broca varía, dependiendo del diámetro y de la aplicación a que va destinada.

### **7.5.1. Tipo normal:**

En las brocas de tipo normal, los botones frontales y diametrales tienen generalmente las mismas dimensiones. Estas brocas están concebidas para formaciones de roca moderadamente abrasivas.

### **7.5.2. Reforzadas (HD):**

En estas brocas, los botones diametrales son más grandes que los frontales, lo cual las hace apropiadas para usar en las formaciones de roca que producen un fuerte desgaste diametral. (periférico).

### **7.5.3. Extra reforzadas (XHD):**

Las brocas XHD tienen unos botones periféricos aún mayores, por lo que están concebidas para formaciones de roca que producen un desgaste diametral extremadamente fuerte.

## **7.6. Brocas retráctiles:**

Tienen un cuerpo largo, cuyo diámetro es sólo un poco menor que el del frente de la broca. El gran diámetro del cuerpo de la broca confiere a ésta un buen efecto de guía, lo que contribuye a conseguir unos barrenos más rectos. Así mismo, los filos de corte dirigidos hacia atrás permiten “perforar” en esta dirección, lo cual ayuda a extraer el tren de varillaje si se produce un hundimiento parcial de las paredes del barreno detrás de la broca. Para una evacuación eficaz del detritus, hay unas grandes ranuras en toda la longitud del cuerpo de la broca.

## **7.7. Brocas guías:**

Estas brocas están diseñadas especialmente para obtener los barrenos más rectos posibles. Los insertos periféricos tipo bisel, junto con el largo cuerpo de la broca, permiten perforar unos barrenos aceptablemente rectos, incluso en formaciones de roca extremadamente difíciles de perforar.

## **7.8. Brocas con botones cónicos:**

Las brocas roscadas con botones cónicos, resultan adecuadas para perforar en formaciones de roca blanda que producen poco o ningún desgaste. La formación

cónica de los botones, y el hecho de sobresalir más de la broca, ofrece una mayor velocidad de penetración con respecto de los botones esféricos.

### **7.9. Brocas de plaquitas:**

Existen dos tipos de brocas de plaquitas; en cruz y en X. Ambos tipos están disponibles en versión normal y HD.

#### **7.9.1. Brocas en cruz:**

Las plaquitas de las brocas en cruz están dispuestas en ángulo recto unas con otras. Las brocas de este tipo están normalmente disponibles en diámetros de esta 64 mm. Merced a su forma simétrica son las más fáciles de afilar.

#### **7.9.2. Brocas en X:**

Las brocas en X tienen unos ángulos de 75° y 105°, respectivamente, entre cada par de plaquitas. Se utilizan para grandes diámetros ( $\Rightarrow$  64 mm) para obtener barrenos cilíndricos, ya que en determinadas circunstancias las brocas en cruz tienden a producir barrenos pentagonales.

#### **7.9.3. Brocas reforzadas:**

Tienen unas plaquitas o botones más grandes que las brocas del tipo normal, ya que están concebidas para perforar en roca dura y abrasiva.

### **7.10. Comparaciones entre las brocas de botones y las de plaquitas:**

Las brocas de botones ofrecen un intervalo de afilado 4 o 5 veces mayor que las brocas de plaquitas. El resultado es un menor costo de afilado, una menor pérdida de tiempo para cambiar la broca y un menor número de unidades en circulación por el lugar de trabajo. Además, las brocas de botones tienen frecuentemente una vida útil más larga y ofrecen una mayor velocidad de penetración. En determinadas condiciones, las brocas de plaquitas producen unos barrenos más rectos que las brocas de botones

### **8.0. Vida útil de los aceros**

A continuación se presenta una tabla con algunos aceros y su vida útil promedio

# Vida útil de los aceros

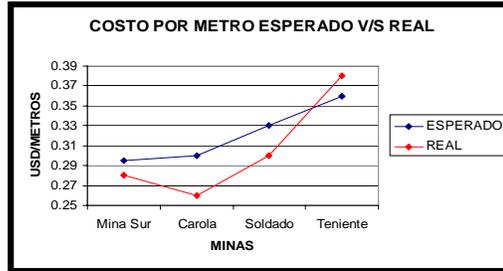
## Afiladora para Bit de Botones



Accesorios	Vida Util mts Perforados
Bit 45 mm	500 Mts
Copla R38	2000 Mts.
Culatin R38	3000 Mts
Barra 14 pies	2000 Mts.
Corona 4"	400 Mts.
A.Piloto R32	400 Mts.

## Precios de aceros y algunos costos de Minas

- **Accesorios Precio (usd)**
- Bit 45 mm 50
- Copla R38 50
- Culatín R38 195
- Barra 14" 125
- Corona 4" 125
- A.Piloto R32 215



## Fallas en barras de 4,3 mt

Causa	N° de Casos								Diagnóstico	Corrección
	E	F n	M e	Ab a	M r	Ju a	Ju n	l		
Quiebre de Hilo	-	-	1	2	-	-	-	1	Desalineamiento de la columna de perforación y sobre esfuerzo de flexión para desacople de barras	Realizar operación adecuada de desacople
Desgaste de Hilo	3	2	2	1	3	4	-	-	Avance y rotación insuficientes	Regular las presiones de avance y rotación
									Grasa insuficiente	Engrasar siempre antes de acoplar
									Copla con rosca desgastada	Usar aceros con el mismo grado de utilización
Trizadura o Quebradura	-	1	-	2	2	3	6	-	Centralizador desgastado	Recambio oportuno de repuestos
									Lubricación deficiente	Lubricar adecuadamente

## Capítulo III

### TRONADURA

#### 1.0. Objetivos de la Tronadura.

- a.- Lograr un adecuado tamaño de fragmentación que permita minimizar el costo global de las operaciones de carguío, transporte, chancado y molienda de la roca.
- b.- Minimizar el daño al macizo rocoso en su entorno, protegiendo la integridad de los bancos y la estabilidad de los taludes, para hacer viable las operaciones mineras en el corto y largo plazo.

#### 2.-Características y propiedades de los explosivos.

El objetivo esencial en la elección de un explosivo en el arranque de rocas consiste en poseer una energía concentrada químicamente, situada en un espacio adecuado y en cantidad suficiente, de manera que liberada de una forma controlada en tiempo y espacio pueda fragmentar el macizo rocoso.

Los explosivos comerciales no son otra cosa que una mezcla de sustancias, unas combustibles y otras oxidantes, que iniciadas en forma adecuada, dan lugar a una reacción exotérmica muy veloz, que genera una serie de productos gaseosos a alta temperatura, químicamente más estables, y que utilizan un mayor volumen.

#### 3.0. Propiedades de los explosivos

Los explosivos y los agentes de tronadura se caracterizan por varias propiedades que determinan su funcionamiento bajo las condiciones en que son utilizados. Siendo especialmente importantes:

- Potencia
- Velocidad
- Densidad
- Resistencia al agua
- Humos
- Presión de detonación
- Presión de barreno
- Sensibilidad.
- Sensitividad.

### 3.1.1. Potencia.

Se refiere al contenido de energía que posee un explosivo, además es la medida de la fuerza que puede desarrollar y su habilidad para efectuar un trabajo. Comúnmente se ha clasificado según potencia en peso y en volumen. No existe un método único para cuantificar la potencia, por lo que la definición de potencia puede ser engañosa y no compara de manera certera, la capacidad de fragmentar la roca de con algún tipo de explosivo. En general se puede decir que la clasificación de potencia, es sólo una herramienta para identificar los resultados finales y asociarlos a un producto específico. Originalmente se definía según el porcentaje de nitroglicerina, cuando era el principal componente de los explosivos, pero ya no lo es, quedando de manifiesto su inexactitud actual.

Actualmente, para calcular la fuerza de los explosivos se compara con la energía producida por el ANFO, al que se le asigna un valor de 1, como base. Es así como un explosivo con una relación potencia - peso superior a 1, indica que tiene más energía por unidad de peso que el ANFO.

#### 3.1.1.1. Características Energéticas

Se refieren o determinan la capacidad del explosivo para fragmentar o remover un volumen de roca por efecto de la acción (presión) expansiva de los Gases generados por la reacción química. Este trabajo de expansión se expresa por lo general según el concepto denominado trabajo máximo disponible en términos prácticos de la fuerza o potencia del explosivo, se considera también al volumen de Gases y a la presión de detonación. Ver tabla 3.1

Tabla 3.1 Características Rompedoras

Características Energéticas	
3.1.1.	Fuerza o Potencia
	a) Potencia relativa en Peso b) Potencia relativa en Volumen
3.1.2	Volumen de Gases
3.1.7.	Presión de Explosión

Es desde el punto de vista de aplicación industrial, una de las propiedades más importante, ya que define la energía disponible para producir efectos mecánicos, hoy se habla de Potencia relativa en Peso y Potencia relativa por Volumen.

**a) Potencia relativa por Peso (RWS) :** Se refiere al rendimiento de la energía de un peso conocido de explosivo (Mj/Kg) expresado como porcentaje del rendimiento de la energía del mismo peso de Anfo.

**b) Potencia relativa por Volumen (RBS) :** Se refiere a la energía producida por un explosivo expresada como un porcentaje de la energía producida por un volumen igual de Anfo.

La potencia relativa en volumen (RBS) se relaciona a la potencia relativa en peso (RWS) por la ecuación

$$RBS = RWS \times \frac{\rho_e}{\rho_{anfo}}$$

### 3.1.2. Volumen de Gases

Se define como el volumen que ocupan los Gases producidos por la detonación de 1 Kg de explosivo referido a las condiciones normales de presión y temperatura, correspondientes a 1 atm y 0° C respectivamente. El volumen o mol de la molécula-gramo de cualquier gas en condiciones normales es 22,4 litros (Ley de Avogadro).

### 3.1.3. Características Prácticas

El conocimiento y manejo informado de estos conceptos permite la correcta selección del explosivo adecuado atendiendo al tipo de tronadura que se desea realizar y a las condiciones prácticas inherentes a cada aplicación que es necesario tener en cuenta según las circunstancias.

Se refieren en general a ciertos aspectos que describen el comportamiento de los explosivos en relación a sus condiciones reales de manejo operacional, sus aplicaciones técnicas y las restricciones de seguridad. Simplificando estas características se pueden resumir en las siguientes, ver tabla 3.3

**Tabla 3.2 Características Prácticas**

Características Prácticas		
Sensibilidad	a) Acción controlada	a1) Sensibilidad a la iniciación primaria
		a2) Sensibilidad a la iniciación por simpatía
	b) Acción incontrolada	b1) Al calor
		b2) Impacto o choque
b3) Fricción		
3.1.6.	Gases Tóxicos	
3.1.5.	Resistencia al agua	
3.1.11.	Estabilidad Química	
3.1.11	Balace de Oxígeno	
3.1.9.	Diámetro Critico	
3.1.4.	Densidad	

### 3.1.4. Velocidad de detonación.

La velocidad de detonación, es la velocidad a la cual el frente de detonación se desplaza a través de la columna de explosivo. Tiene un rango que oscila entre los 1.600 m/s y los 7.600 m/s. La velocidad de detonación es igual o ligeramente superior a la velocidad del sonido

La velocidad de detonación puede utilizarse como una herramienta para determinar la eficiencia de una reacción explosiva.

Los factores que afectan la velocidad de detonación son la: densidad de carga, el diámetro, el confinamiento, la iniciación y el envejecimiento. Para los tres primeros, al aumentar los parámetros aumenta la velocidad de detonación Figura 3.1.

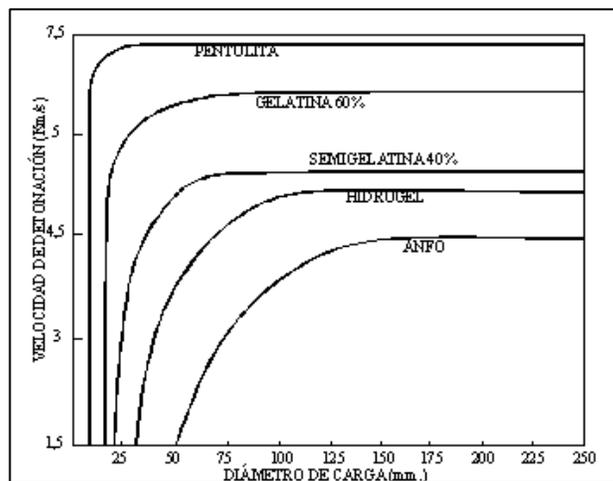


Figura 3.1. Influencia del diámetro de carga sobre la velocidad de detonación

Las velocidades de detonación, particularmente en ANFO y emulsiones, pueden variar considerablemente dependiendo de las condiciones en terreno. Más que ningún otro explosivo, la velocidad de detonación del anfo está fuertemente afectada por el diámetro de carga. El diámetro crítico del Anfo es cercano a 25mm, con mezcla normal de nitrato de amonio y petróleo.

### 3.1.5. Densidad.

La densidad normalmente se expresa en términos de gravedad específica. La densidad del explosivo determina entre otras cosas cuantos kilogramos de explosivo deberán ser cargados en un barreno.

La densidad de la mayoría de los explosivos normalmente varía entre 0.8 y 1,6 gr / cm<sup>3</sup>, y al igual que con la velocidad de detonación, cuanto mayor es, más intenso es el efecto rompedor que proporciona.

En los agentes explosivos la densidad puede ser un factor crítico, pues si es muy baja se vuelven sensibles al cordón detonante que los comienza a iniciar antes de la detonación del cebo, de lo contrario, si es muy alta, pueden hacerse insensibles y no detonar, esta densidad límite es denominada densidad de muerte.

Por regla general, en el fondo de los barrenos es donde se necesita mayor concentración de energía para el arranque de la roca, utilizándose explosivos más densos, mientras que en la carga de columna se requieren explosivos menos densos.

La concentración lineal de carga en [Kg/m] está dada por

$$de = 0.5067 \times SG \times (De)^2$$

donde.

de = Concentración lineal de carga (Kg / m)

SG = Densidad del explosivo (gr/cm<sup>3</sup>)

De = Diámetro del explosivo (inch)

### 3.1.6. Resistencia al agua.

Es la capacidad de un explosivo para resistir la exposición al agua sin perder su sensibilidad ni su eficiencia. Varía de acuerdo a su composición y está vinculada a la proporción de nitroglicerina o aditivos especiales que contengan, así los hidrogeles y las emulsiones son muy resistentes al agua. Las sales oxidantes, como el nitrato de amonio en el ANFO, disminuyen intensamente la resistencia al agua; la humedad afecta adversamente la velocidad, sensibilidad, humos y rendimiento del ANFO.

La escala de medición generalmente aceptada va desde, nula, limitada, buena, muy buena y excelente. En la primera, el explosivo no tiene ninguna resistencia al agua, mientras que en la última, garantiza una exposición superior a las 12 horas. (12)

### 3.1.7. Humos.

Los explosivos producen vapor de agua, nitrógeno, dióxido de carbono y eventualmente sólidos y líquidos. Entre estos gases inocuos existe cierto porcentaje de gases tóxicos como monóxido de carbono y óxido de nitrógeno. La mayoría de los productos detonantes comerciales, poseen oxígeno balanceado tanto como para minimizar los humos como para optimizar la energía por unidad de costo de los componentes.

De acuerdo con proporción de gases nocivos se ha establecido una escala de clasificación por grado de toxicidad, para la exposición de los operadores después de la tronada.

Tabla N° 3.3.-Categoría de los gases según volumen de gases nocivos.

Categoría	Volumen de gases nocivos (CO - NO <sub>2</sub> ) dm <sup>3</sup>
1 <sup>a</sup>	0 - 4.53
2 <sup>a</sup>	4.53 - 9.34
3 <sup>a</sup>	9.34 - 18.96

Estas cifras se refieren a los gases producidos por el disparo de una carga de 200 gr de explosivo, con su envoltura de papel denominada "Bomba Bichel"

Los agentes explosivos como el ANFO, son más tóxicos que las dinamitas, pues generan mayor proporción de óxidos de nitrógeno.

### 3.1.8. Presión de detonación.

La presión de detonación está en función de la velocidad de detonación al cuadrado por la densidad. Es la presión que va a la cabeza de la onda que se propaga través de la columna explosiva, medida en el plano Chapman - Jouguet (plano en el límite que define el término de la zona de reacción primaria en una reacción explosiva)

Aunque la velocidad de detonación en un explosivo, depende además de la velocidad de detonación y de la densidad, de los ingredientes de que este compuesto, una forma que permite estimar dicho parámetro es:

$$PD = 432 \times 10^{-6} \times SG \times \frac{VD^2}{1 + 0.8 \times SG}$$

donde.

PD = Presión de detonación (Mpa)

SG = Densidad del explosivo.

VD = Velocidad de detonación.

Los explosivos comerciales tienen una presión de detonación, que varía entre los 500 y 1500 Mpa. Generalmente en rocas duras y competentes la fragmentación se efectúa más fácilmente con explosivos con alta presión de detonación, debido a la directa relación que existe entre esta variable y los mecanismos de rotura de la roca.

### 3.1.9. Presión en el barreno.

La presión de barreno o presión de explosión, es la presión ejercida sobre las paredes del barreno por la expansión de los gases de explosión después que se ha completado la reacción química. Esta presión está en función del confinamiento, las cualidades y temperatura de los gases producidos por la reacción explosiva. Se considera en general que esa presión juega un rol predominante en la fracturación y el desplazamiento de la mayoría de las rocas. Esto explica el éxito del ANFO y de los productos aluminizados que producen baja presión de detonación pero una alta presión de barreno.

### 3.1.10. Sensibilidad.

Se define como la susceptibilidad de un explosivo a su iniciación y usualmente se expresa en la potencia del fulminante. Esta característica engloba varios significados, dependiendo del tipo de acción exterior que se produzca sobre el explosivo.

**Acción controlada.** La sensibilidad aquí es equivalente a la aptitud de detonación por un iniciador.

**Acción incontrolada.** La sensibilidad es una medida de la facilidad con que un explosivo puede ser detonado por calor, fricción, impacto o choque.

**Sensibilidad a la iniciación.** Los explosivos deben ser lo suficientemente sensibles como para ser detonados por un iniciador adecuado. Esta capacidad varía según el tipo de producto.

**Sensibilidad al choque y a la fricción.** Algunos explosivos pueden detonar producto de estímulos subsónicos, tales como choque o fricción. Por seguridad es importante conocer su grado de sensibilidad frente a estas acciones, especialmente durante su manipulación y transporte.

**Sensibilidad al calor.** Los explosivos al ser calentados en forma gradual, llegan a una temperatura en que se descomponen repentinamente con desprendimiento de gases, aumentando poco a poco, hasta que al final se produce una deflagración o una pequeña detonación. A esta temperatura se le llama "punto de ignición" Esta característica es diferente a la sensibilidad al fuego, que indica su facilidad de inflamación.

### 3.1.11. Diámetro crítico.

Las cargas de explosivo con forma cilíndrica tiene un diámetro por debajo del cual, la onda de detonación no se propaga o si lo hace, es con una velocidad muy por debajo de la de régimen; a dicha dimensión se le llama "diámetro crítico".

Los principales factores que influyen en el diámetro crítico son: el tamaño de las partículas, la reactividad de sus componentes, la densidad y el confinamiento de los mismos.

### 3.1.12. Sensitividad.

Es la capacidad de propagación de la detonación de un explosivo, una vez iniciada. Normalmente se expresa en función de la distancia entre el medio cartucho con fulminante y el medio cartucho que detonará sin fulminante.

Los explosivos, extremadamente sensibles, bajo ciertas condiciones pueden propagarse desde un tiro a otro y contrariamente, un explosivo insensible puede fallar en propagarse a lo largo de su carga si su diámetro es muy pequeño.

Uno de los métodos para medir la capacidad de la propagación por simpatía, definido también como el "coeficiente de auto excitación", consiste en determinar la distancia máxima a la que un cartucho cebado hace explotar a otro cartucho receptor, sin cebar, estando ambos dispuestos en línea según su eje y apoyados bien sobre una superficie de tierra o metálica.

### 3.1.13. Balance de oxígeno

Todos los explosivos están compuestos por sustancias reductoras y oxidantes con alto contenido de oxígeno, en alguno casos los fabricantes mezclan otras sustancias que les permite manejar las propiedades de los explosivos.

El Balance de Oxígeno **puede definirse** como la diferencia entre los átomos de oxígeno entregados por los oxidantes y los requeridos por los reductores, para poder generar los compuestos que liberen el máximo de energía y de volumen gaseoso.

Cuando la diferencia se hace Cero, se dice que ha alcanzado un balance de oxígeno perfecto, y de esta manera se mezclarán los componentes de un explosivo con el objeto de obtener el máximo de energía.



#### 3.1.13.1. Mezclas pobres.

Son aquellas que tienen un déficit o exceso de oxígeno y las consecuencias son distintas para ambas.

Si hay exceso de oxígeno se forman gases nitrosos, la energía liberada disminuye con respecto al balance perfecto. Los gases se reconocen por los humos que son de color rojizo.

Si hay déficit de oxígeno se forman gases como monóxido de carbono. El color del humo es grisáceo

### 3.2.0 Termoquímica de los explosivos.

Se describirá a continuación, el mecanismo de detonación de los explosivos y algunos conceptos básicos de termoquímica.

#### 3.2.1. Deflagración y detonación.

Según las condiciones a que estén sometidos, los explosivos químicos, pueden generar un comportamiento distinto del propio de su carácter explosivo. Los procesos de descomposición de una sustancia explosiva son: la combustión, deflagración y detonación. La naturaleza del explosivo, la forma de iniciación y condiciones externas afectan significativamente el desarrollo de la descomposición.

**Combustión.** Puede definirse como toda reacción química capaz de desprender calor.

##### 3.2.1.1 Deflagración.

Proceso exotérmico en que la transmisión de la reacción de descompresión se basa principalmente en la conductividad térmica. Fenómeno superficial en el que el frente de deflagración se propaga por el explosivo en capas paralelas a una velocidad baja que, en general no supera los 1.000 m/s.

##### 3.2.1.2 Detonación.

Es un proceso físico químico caracterizado por su gran velocidad de reacción y formación de gran cantidad de compuestos gaseosos a elevada temperatura que adquieren una gran fuerza expansiva. En los explosivos detonantes, la velocidad de las primeras moléculas es tan grande que no ceden su calor por conductividad a la zona inalterada de la carga, sino que la transmiten por choque deformándola y produciendo su calentamiento y explosión adiabática con generación de nuevos gases. El proceso se repite con un movimiento ondulatorio que afecta a toda la masa explosiva y se denomina onda de choque.

La energía de iniciación puede suministrarse de varias formas, según el explosivo de que se trate. En los explosivos deflagrantes basta con la energía de una llama y en los detonantes se necesita generalmente una energía de onda de choque.

Una vez iniciado el explosivo, el primer efecto que se produce es la generación de una onda de choque, presión que se propaga a través de su propia masa. Esta onda es portadora de la energía necesaria para activar las moléculas de la masa del explosivo alrededor del foco inicial energizado, provocando así una reacción en cadena. A la vez que se produce esta onda, la masa del explosivo que ha reaccionado produce una gran cantidad de gases a una alta temperatura. Si esta presión secundaria actúa sobre el resto de la masa sin detonar su efecto se suma al de la onda de presión primaria, pasando de un proceso de deflagración a uno de detonación,

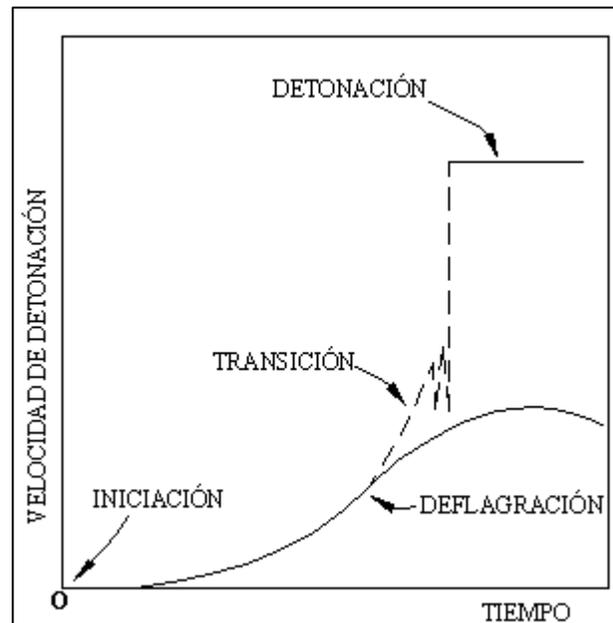


Figura 2.2. Desarrollo de una detonación.

En el caso de que la onda de presión de los gases actúe en sentido contrario a la masa del explosivo sin detonar, se produce un régimen de deflagración lenta, demorándose la reacción explosiva, de forma que al ir poniendo energía la onda de detonación primaria, llega incluso a ser capaz de energizar al resto de la masa de explosivo, produciéndose la detención de la detonación.

### 3.2.2. Proceso de detonación de un explosivo.

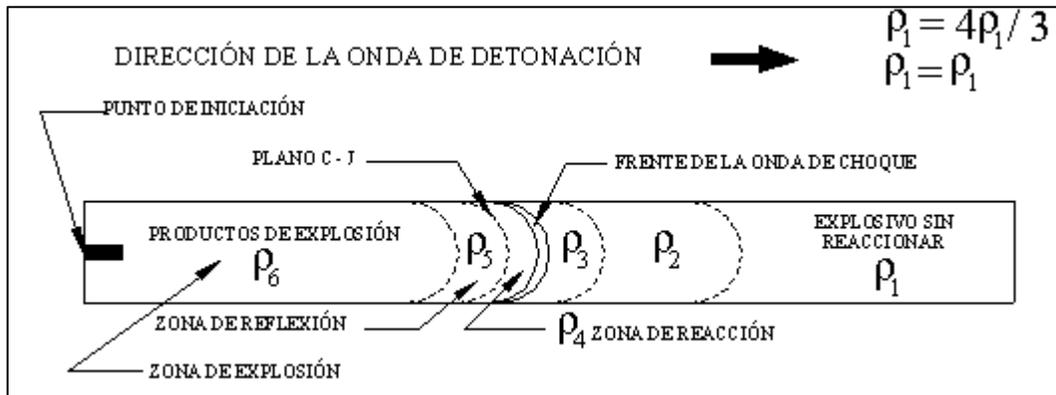
A la cabeza de la reacción viaja una onda de choque pura que inicia la transformación química del explosivo, que tiene lugar a través de la zona de reacción, para terminar en el plano llamado de Chapmant Jouguet (C - J) donde se admite el equilibrio químico en detonaciones ideales.

Detrás del plano (C -J), en los explosivos comerciales se producen importantes reacciones de los ingredientes en forma de partículas de gran tamaño y de los combustibles metálicos. Estas reacciones pueden afectar el rendimiento del explosivo pero no su estabilidad y velocidad de detonación.

La zona de reacción primaria en los explosivos potentes es muy estrecha, mientras que en explosivos de baja densidad y potencia esta zona es más ancha, como es el caso del ANFO.

Por detrás del plano C - J se encuentran los productos de reacción y en algunos casos las partículas inertes. Los gases alcanzan temperaturas entre 1.500 a 4.000°C y

presiones entre 2 a 10 Gpa. Los gases se expanden rápidamente y producen un choque u onda de tensión alrededor del medio circundante.



La Figura 2.3. presenta la reacción de la onda de detonación en una columna con explosivos

#### 4.0. Accesorios de tronadura

##### 4.1. Accesorios

Desde que se inventaron los explosivos fue preocupación preferente, la búsqueda de un sistema que por lo menos los iniciara adecuadamente y sin riesgos para el personal, pero con el transcurso del tiempo la evolución de estas mezclas explosivas y su empleo en la industria minera, vinieron a incrementar estos requerimientos con nuevas exigencias, propias de la gran diversificación de sus nuevas aplicaciones, que evolucionaron desde un alegre fuego artificial hasta llegar a constituirse en una poderosa herramienta de trabajo.

A medida que se ha ido evolucionando, los explosivos se están haciendo menos insensibles con el fin de incrementar la seguridad en su manipulación, donde las dinamitas requieren de un potente detonador, hasta los agentes explosivos que necesitan de una carga explosiva adicional de una alta presión detonante.

Para garantizar la detonación oportuna de las secuencias de salida a la o las caras libres que deben salir, se utiliza la exactitud de los retardos, para evitar traslapes que generen excesivas sobrecargas, que dificulten el desplazamiento del material arrancado, afectando negativamente su granulometría. A su vez esto permite un mejor control de las vibraciones, de las proyecciones y de la onda de choque.

Junto con esto las medidas de seguridad y la exposición del personal a riesgos innecesarios han ido disminuyendo con el avance e invención de productos nuevos. Antiguamente el personal debía utilizar mechas mineras de diferentes medidas para dar una secuencia de salida a cada tiro y prender una por una para luego retirarse del área a tronar, lo que era un gran riesgo en su seguridad, hoy día se utilizan los detonadores, cordones detonantes, mecha minera y thermolita, esta última es un gran aporte, ya que no hace mucho tiempo atrás el personal debía estar expuesto a los humos y llama que emanaban de la mecha, lo que le producía un gran daño en su salud.

En general los accesorios de tronadura son dispositivos o productos empleados para cebar cargas explosivas, suministrar o transmitir una llama que inicie la explosión, llevar una onda detonante de un punto a otro o de una carga explosiva a otra y los necesarios para probar las conexiones y disparar los explosivos para que pueda llevarse a cabo una tronada.

#### **4.2. Objetivo de los Detonadores**

El disparo con detonadores de retardo tiene por objeto mejorar la fragmentación y el desplazamiento de la roca, así como proporcionar mayor control de vibraciones, ruido y proyecciones. Si se usan adecuadamente pueden reducir los costos. Estos detonadores tienen una etiqueta de color que muestra el número de período de retardo y que sirve para su identificación.

La aplicación de detonadores, distribuye el explosivo en el tiempo, para conseguir la secuencia de salida definida, esta tiene incidencia en el resultado global de la tronadura, consiguiéndose la detonación de todo el disparo con la granulometría y distribución de la saca requerida y para obtener un bajo nivel de vibraciones, esta tiene relación con el efecto de daño en el entorno inmediato y cercano del sector tronado.



**Cargador de Anfo**

### **5.0. Explosivos en mal estado-**

En todas las minas se producen deterioros en los productos explosivos, ya sea por mal manejo en Operaciones o por existir malas condiciones de almacenamiento en polvorines, también puede ser que los explosivos envejecen, por quedar rezagados y no entregarlos para consumirlos cuando corresponde.

Para destruir estos explosivos en mal estado existen protocolos, donde la autoridad militar competente debe estar presente

### **Dinamitas en mal estado**



Anfo en mal estado



Pentolitas y detonador en mal estado



## Transporte de explosivo

