



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN - REY BALDUINO DE BELGICA

REPARACIÓN DE MORDAZAS DE PERFORADORAS FLEXIROC D65, TEPSAC,
CENTINELA.

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Técnico Universitario en Mecánica
Industrial.

Alumnos:
Cesar Francisco Campos Vasquez
Jose Daniel Escobar Torres

Profesor guía:
Juan Jose Figueroa Cohn



RESUMEN

Ante la necesidad de todo negocio de ser rentable y disminuir los costos de operación, es que se propone la reparación de mordazas de 3 perforadoras Flexiroc D65, pertenecientes a la empresa Tepsac que realiza labores de desarrollo mina en Minera Centinela. Estas mordazas representan un gran costo debido a la cantidad (4) que se usan por máquina y a lo frecuente que se debe realizar el reemplazo de estos componentes. Lo cual siempre es motivo de cuestionamiento por parte del encargado de adquisiciones hacia el jefe de mantención del área de perforadoras. Por lo cual se desarrollarán 4 capítulos y una propuesta de un método de reparación de mordazas.

Con esta propuesta se busca conseguir una disminución en el costo de operación al reparar estas mordazas, en vez de comprarlas nuevas, sin descuidar la eficiencia que estos elementos deben tener durante la operación. Creando una comparativa, entre mordazas originales y las mordazas reparadas, tomando en cuenta costos y durabilidad.



GLOSARIO

DTH (down the hole): Martillo en fondo.

TH (top hammer): Martillo en cabeza.

Pull down: Fuerza de empuje.

Empatadura: Comienzo de un pozo de perforación.

Rod handler: Manipulador de barras.

Swivel: Conexión giratoria.

Perforación de precorte: El precorte permite fracturar un plano para atenuar vibraciones en la tronadura principal.

Perforación de producción: tiene la finalidad de generar la voladura para poder quebrar la roca y así ir avanzando con la explotación de la mina.

Banco: Unidad básica de explotación, con diferentes alturas, medidas en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m).

Pretil: Material relativamente fino que se utiliza para delimitar avance de bancos en explotación, delimitar caminos, segregar caminos, cierre de caminos, límites de descarga de botaderos, patios de perforación, etc. Tiene forma de un volumen triangular, dependiendo de su uso tiene diferentes alturas.

Cresta de Banco: Es el borde superior de un banco y que está constituido por el vértice de dos superficies libres, una horizontal y otra vertical, que se prolongan en longitud según sea el diseño de la mina.

Patio de Perforación: Superficie en donde se realizará la operación de perforación. Esta zona debe cumplir con una serie de requisitos que deben ser contralados y asegurados a través de la cartilla de verificación de entrega y recepción de áreas de perforación.

Rajo: Unidad de operaciones del área mina.

Rampas: Vías de acceso vehicular que conectan dos o más niveles. Están diseñadas de un ancho mínimo, pendientes máximas y radios de curvatura de acuerdo con envergadura de los equipos de producción.

Polígono: Área que contempla malla de perforación.

Bit / Broca: Herramienta de corte, conformada por un cuerpo de acero. La parte que está en contacto con la roca está conformada por metal duro en forma de insertos de carburo de tungsteno o botones de acero.

Malla de perforación: Replanteo de los pozos de perforación, de acuerdo a un diseño en un sector definido, las cuales indican el punto exacto donde se debe realizar cada perforación.

Pozo de perforación: Orificio circular de diámetro y largo definido.

Espaciamiento: Distancia entre filas de pozos de la malla de perforación.

Burden: Distancia del pozo a la cara libre del banco.

Cartilla de perforación: Conjunto de información escrita que contiene principalmente la cantidad de pozos identificados con número correlativo, inclinación y profundidad de éstos, incluyendo además los metros por pozos que deben ser tomadas las muestras y un plano de la malla de perforación.

Aceros de Perforación: Corresponde a todos los aceros utilizados como herramientas de perforación de rocas.

Barra de Perforación: Herramienta de la perforadora, por la cual se transmite el movimiento de rotación y empuje. Además, sirve como conducto de aire para el barrido del detritus y refrigeración del tricono.

Barra Patera: Es la barra inferior de columna donde va conectado el adaptador junto al tricono.

Tricono: Herramienta de corte, conformada por tres conos dentados que ruedan y se deslizan por el terreno, produciendo la perforación a través del empuje y rotación que le proporciona la perforadora transmitida por la sarta de perforación, en el caso de terreno relativamente blando, los insertos son agudos, largos y están separados, para terrenos duros, los insertos son cortos, obtusos y están próximos unos a otros.

por otro que se encuentra en buen estado.

Pin: Extremo macho de los aceros de perforación.

Box: Extremo hembra de los aceros de perforación.

Detritus: Material molido generado al ir perforando el pozo.

Cresta de Banco: Vértice superior de un banco definido por el ángulo entre el talud y una superficie que lo corta.

Gap: Espacio para separar tronaduras continuas y que se perfora una vez que ha sido tronado el que precede.

Pasadura: Longitud sobre perforación, bajo la altura del banco, dependerá de la calidad de la roca a perforar.

Largo de Perforación: Longitud total del pozo, incluyendo la pasadura.



ÍNDICE DE MATERIAS

Introducción	9
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES	11
1.1 Minería a cielo abierto	12
1.2 Proceso productivo.....	12
1.2.1 Exploración	12
1.2.2 Extracción	13
1.2.3 Chancado.....	13
1.2.4 Molienda	14
1.2.5 Flotación.....	16
1.2.6 Fundición	17
1.2.7 Electro-refinación.....	17
1.2.8 Lixiviación	18
1.2.9 Electro-obtención	19
1.2.10 Biolixiviación.....	19
1.3 Perforacion y tronadura.....	20
1.3.1 Descripción de perforación	20
1.3.2 Características de las rocas	21
1.3.3 Perforación de producción	22
1.3.4 Perforación de pre corte	22
1.4 Planos de perforación.....	23
1.4.1 Confección de planos y croquis	23
1.4.2 Lectura e interpretación de planos	24
1.5 Tronadura	25
1.5.1 Diseño de tronadura	25
1.5.2 Planos de diseño.....	26
CAPITULO 2: PERFORACIÓN A CIELO ABIERTO	27
2.1 Metodos de perforacion.....	28
2.1.1 Perforación down the hole (dth).....	28
2.1.2 Perforación de rotación directa	29
2.1.3 Aire reverso.....	30
2.1.4 Diamantina	31
2.1.5 Top Hammer	31
2.2 Perforadoras utilizadas en la minería a cielo abierto	32
2.2.1 Perforadoras de producción	32
2.3 Perforadoras de precorte	33
2.3.1 Flexiroc D65	33
2.3.2 Pantera™ DP1600i.....	34



2.4 Operaciones antes de la perforación	35
2.5 Operación y parámetros de perforación	35
2.6 Fluidos de perforación.....	37
2.6.1 Tipos de fluidos.....	38
CAPITULO 3: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y PROBLEMÁTICA	40
3.1 Perforadora EPIROC, FLEXIROC D65	41
3.2 Componentes principales	42
3.2.1 Sistema del brazo	43
3.2.2 Captador de polvo	43
3.2.3 Sistema eléctrico	43
3.2.4 Sistema hidráulico.....	43
3.2.5 Sistema neumático	45
3.3 Sarta de perforación	46
3.3.1 Barras de perforación	46
3.3.2 Martillo de perforación	47
3.3.3 Brocas de perforación	47
3.3.4 Partes de una broca	48
3.4 Mesa de quiebre	48
3.5 Mordazas	50
3.6 Problemática.....	52
CAPITULO 4: REPARACIÓN DE MORDAZAS	53
4.1 Durabilidad de las mordazas originales	54
4.1.1 Tabla duración de mordazas en perforadora 9234	54
4.1.2 Tabla duración de mordazas en perforadora 9274	55
4.1.3 Tabla duración de mordazas en perforadora 9275	56
4.2 Método de reparación de mordazas.....	57
4.3 Descripción electrodos a utilizar	59
4.4 Duración de mordazas reparadas	60
4.5 Fallas y mejoras del proceso	62
4.6 Costo de mordazas originales vs mordazas reparadas	63
4.6.1 Costos de mordazas originales	63
4.6.2 Costos de mordazas reparadas	63
Conclusiones	65
Bibliografía	66



ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Exploración geológica	12
Figura 2. Extracción de mineral	13
Figura 3 Chancado de mineral.	14
Figura 4 Molienda de mineral	14
Figura 5 Molino SAG	16
Figura 6 Flotación	16
Figura 7 Fundición de mineral	17
Figura 8 Electro-refinación	17
Figura 9 Lixiviación.....	18
Figura 10 Electro-obtención.....	19
Figura 11 Biolixiviación	19
Figura 12 Perforación.....	20
Figura 13 Softwares de planificación Vulcan.	23
Figura 14 Plano de perforación	24
Figura 15 Tronadura.....	25
Figura 16 Diseño de tronadura.....	25
Figura 17 Perforadora DTH.	28
Figura 18 Perforación de rotación directa.	29
Figura 19 Perforación de circulación reversa.....	30
Figura 20 Perforación diamantina.	31
Figura 21 Perforación Top Hammer	31
Figura 22 Perforadoras de producción.	32
Figura 23 Perforadora FLEXIROC D65	33
Figura 24 Perforadora Pantera DP16001.	34
Figura 25 Perforadora FLEXIROC D65.	41
Figura 26 Componentes principales de una perforadora.....	42
Figura 27 Esquema del circuito hidráulico.	44
Figura 28 Sistema neumático.	45
Figura 29 Sarta de perforación.	46
Figura 30 Barras de perforación.....	46
Figura 31 Martillo de perforación.	47
Figura 32 Broca de perforación.....	47
Figura 33 Partes de una broca.	48
Figura 34 Partes mesa de quiebre.....	48
Figura 35 Mesa de quiebre	49
Figura 36 Mesa de quiebre.....	49



Figura 37 Esquema hidráulico mesa de quiebre.	50
Figura 38 Mordaza nuevas.	50
Figura 39 Despiece conjunto de mordaza	51
Figura 40 . Despiece cilindro de mordazas.	51
Figura 41 Mordazas desgastadas.....	52

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Promedio (hrs) de duración mordazas en perforadora 9243.....	60
Gráfico 2 Promedio (hrs) de duración mordazas en perforadora 9274.	60
Gráfico 3 Promedio (hrs) de duración mordazas en perforadora 9275.	61
Gráfico 4 Promedio general duración de mordazas	61
Gráfico 5 Uso de mordazas originales.	63

INTRODUCCIÓN

La perforación es una de las operaciones más importantes dentro de la actividad minera. Sea cualquiera el método con que se lleve a cabo, la perforación se basa en el mismo principio. Es decir, en la percusión y el giro continuo de un barreno, de tal manera que cada giro produce un corte en la roca en diferente posición. La perforación en la minería es una etapa fundamental en la explotación y extracción de minerales. Se utiliza para obtener muestras de rocas y minerales, así como la instalación de explosivos en el proceso de voladura. Existen diferentes tipos de perforación y una variedad de maquinaria especializada utilizada para llevar a cabo esta tarea.

Todo proceso de operación minera comienza con la perforación del macizo rocoso, con la intención de generar un material más pequeño que permita el transporte del material a su siguiente proceso de extracción. En la minería moderna el proceso de perforación y tronadura nos permite obtener un mineral o estéril de un tamaño adecuado para el proceso de carguío que lo sigue, y nos permite minimizar la utilización de explosivos para romper la roca maciza.

En este proceso minero moderno entran en juego las máquinas perforadoras de rocas que tienen por objetivo abrir agujeros cilíndricos destinados a alojar material explosivo y sus distintos accesorios de detonación. El proceso de perforación se logra mediante una combinación de rotación y percusión que se logra a través de energías hidráulicas, eléctricas y térmicas. Que en conjunto forman una máquina de perforación.

Estas máquinas son muy importantes en la minería moderna, logran incrementar la producción y eficiencia de sus procesos. Y para que las máquinas continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan, es de vital importancia tener un proceso de mantenimiento que asegure que logren el objetivo por el cual se pusieron en marcha.

Los mantenimientos y reparaciones que se darán a conocer en el siguiente informe, están enfocados en las mordazas que utilizan estas perforadoras, en la cual se propone dar una solución, reparando las mordazas dañadas alargando su vida útil, reduciendo los costos de adquisición de mordazas nuevas y mejorando la producción para la empresa.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Generar un método de soldadura para reparación de mordazas de una perforadora Flexiroc D65.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información respecto a la durabilidad de las mordazas.
- Lograr una disminución de costos al reparar mordazas en vez de adquirir nuevas.
- Lograr una eficiencia operacional que justifique la reparación de las mordazas.
- Lograr una independencia en relación con el proveedor, disminuyendo los tiempos de espera de repuestos.



CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 MINERÍA A CIELO ABIERTO

Este tipo de minería corresponde a la obtención de recursos naturales en la superficie del terreno y no en forma subterránea. Se emplean medios mecánicos o explosivos para remover los terrenos que recubren o rodean la formación geológica que forma al yacimiento, o banco de materiales.

1.2 PROCESO PRODUCTIVO

El proceso productivo consta de varias etapas, las cuales son:

1.2.1 Exploración

En esta primera etapa de proceso de producción del cobre se inicia con la exploración geológica. En esta fase se pueden verificar los tipos de rocas presentes en el subsuelo y saber a ciencia cierta si existen minerales o no.

El cobre se encuentra diseminado en ciertos sectores por los distintos procesos geológicos que han ocurrido en la historia del planeta.

El origen de este mineral está ligado a la introducción de magma a gran temperatura y con gran presión en la corteza terrestre:

De acuerdo a las características de los procesos geológicos, el cobre está presente en la corteza terrestre en forma de minerales sulfurados y óxidos, cuyas características determinan su posterior forma de procesamiento.

- **Sulfuros:** están presentes en la zona donde ocurrió el encuentro del magma con la corteza y contienen minerales formados por combinaciones de cobre, azufre y hierro, las que les otorgan un aspecto metálico a las rocas.
- **Óxidos:** están en la superficie del yacimiento o cerca de ella y contienen óxidos de cobre los que, comúnmente, tienen un color verde o azul. Los minerales oxidados se han formado por acción del oxígeno y otros agentes.



Figura 1 Exploración geológica
Fuente: www.google.cl

1.2.2 Extracción

En esta etapa se extrae el mineral del macizo rocoso para llevarlo de forma segura a la planta donde será separado de otros minerales y se obtendrá el cobre más puro.

Esta fase se subdivide en otras 4 etapas:

- **Perforación:** consiste en realizar pozos mediante máquinas perforadoras en los cuales serán depositados explosivos.
- **Tronaduras:** los explosivos son detonados a control remoto para la fragmentación del macizo rocoso.
- **Carguío:** mediante palas y equipos de gran tonelaje se cargan los camiones de extracción que llevaran el material recolectado a las plantas de procesamiento.
- **Transporte:** los camiones llevan las rocas generalmente a los chancadores, en donde se inicia el proceso productivo.



Figura 2. Extracción de mineral
Fuente: www.adrianmercado.com

1.2.3 Chancado

El principal objetivo del Chancado es disminuir el tamaño de los fragmentos de roca mineralizada a un diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada, que equivale a 1,27 centímetros más o menos. Este procedimiento es necesario para que el material pueda ser tratado en las siguientes etapas del proceso productivo.

Para lograrlo, los chancadores, que son equipos eléctricos de grandes dimensiones, van literalmente "demoliendo" las rocas hasta lograr el tamaño deseado. Para conseguir la $\frac{1}{2}$ pulgada, el material extraído pasa por tres niveles de chancado:

- **Chancador primario:** se reduce el diámetro máximo de los fragmentos a 8 pulgadas.

- **Chancador secundario:** se reduce el diámetro máximo de los fragmentos a 3 pulgadas.
- **Chancador terciario:** se reduce el diámetro máximo de los fragmentos a ½ pulgada.

Dependiendo del tipo de cobre que se esté trabajando, óxido o sulfuro, será el próximo paso del proceso productivo. Esto, porque como se trata de minerales con características diferentes, su tratamiento también lo será.



Figura 3 Chancado de mineral.
Fuente: www.opac.pucv.cl

1.2.4 Molienda

A diferencia de los óxidos, en el caso del cobre sulfurado se necesita reducir aún más el tamaño de los fragmentos de roca. Este paso es el que se conoce como Molienda, y tal como su nombre lo indica, muele el material para que sea más fácil separar el cobre de otras sustancias y así acercarse a un mineral de mayor pureza.



Figura 4 Molienda de mineral
Fuente: www.phemtycs.com

1.2.4.1 Tipos de molienda

Molienda convencional: Se realiza en dos etapas. En la primera de ellas se utiliza un molino de barras y en la segunda, molino de bolas (aunque en las plantas modernas solo se utiliza molino de bolas). Dentro de ellos el mineral se mezcla con agua para conseguir una molienda homogénea y eficiente. La pulpa obtenida se lleva a la siguiente etapa, la Flotación.

Molienda de barras: Este equipo tiene en su interior barras de acero de 3,5 pulgadas de diámetro que sirven para moler el mineral que llega continuamente a través de cintas transportadoras desde el chancador terciario. El material se va triturando gracias al movimiento de las barras que caen libres sobre él. El resultado de este molino continúa su proceso de Molienda en el molino de bolas.

Molienda de bolas: Este molino, cuyas dimensiones son 4,9 m de diámetro por 7,3 de ancho, está ocupado en un 35% de su capacidad por bolas de acero de 3,5 pulgadas de diámetro, las cuales muelen el mineral. El 80% del mismo es reducido a un tamaño máximo de 180 micrones en un proceso que dura, aproximadamente, 20 minutos.

Molienda SAG: La instalación de un molino SAG (Semiautógeno) constituye una innovación en algunas plantas. Son equipos de mayores dimensiones (11 m de diámetro por 4,6 m de ancho) y más eficientes que los anteriores. Gracias a su sistema y gran capacidad acortan, no solo el proceso de Molienda, sino también el Chancado, ya que el mineral que muelen proviene directamente del chancador primario.

El mineral que proviene del chancador primario (no del terciario como en la Molienda convencional) con un tamaño cercano a 8 pulgadas (20 cm, aproximadamente), se mezcla con agua y cal. Este material es reducido gracias a la acción de las mismas rocas (de ahí su nombre semiautógena) que chocan con las numerosas bolas de acero presentes en el molino, de 5 pulgadas de diámetro y que ocupan el 12% de su capacidad.

Dados el tamaño y la forma del molino, estas bolas son lanzadas en caída libre cuando el equipo gira, logrando un efecto conjunto de Chancado y Molienda más efectivo y con menor consumo de energía ya que se prescinde del chancado secundario y terciario.

La mayor parte del material molido en el SAG va directamente a la etapa siguiente, la Flotación, gracias a que tiene la granulometría requerida bajo los 180 micrones.

Solo una pequeña porción debe ser enviada a un molino de bolas para continuar con la trituración.



Figura 5 Molino SAG
Fuente: www.mch.cl

1.2.5 Flotación

En este proceso, el material obtenido de la Molienda es sumergido en enormes piscinas (llamadas celdas de flotación) en las que, gracias a la acción de reactivos, el cobre emerge a la superficie dentro de burbujas.

Las burbujas que llevan el mineral deseado emergen a la superficie. Una vez ahí, rebasan las celdas de flotación (piscinas) por los costados y caen hacia canaletas que las conducen a estanques especiales, desde donde esta pulpa resultante será enviada a la siguiente etapa.

Este proceso se lleva a cabo en reiterados ciclos, por lo que cada vez se logra un producto más concentrado. Es en una de estas fases en la que se recolecta el molibdeno, cuya ley o pureza, luego de la Flotación, alcanza un 49%.

El concentrado final obtenido de la Flotación se seca mediante filtros para luego ser llevado a la siguiente etapa del proceso productivo del cobre: la Fundición.



Figura 6 Flotación
Fuente: www.emb.cl

1.2.6 Fundición

En esta etapa, el concentrado obtenido es expuesto a altísimas temperaturas para ser fundido y así separar el cobre de otros minerales e impurezas. Quedan atrás los baños de burbujas en las celdas de flotación y entran a escena los hornos y el fuego para conseguir un cobre de mayor pureza.



Figura 7 Fundición de mineral
Fuente: www.reporteminero.cl

1.2.7 Electro-refinación

Esta es la última etapa del proceso productivo del cobre sulfurado, la electro-refinación. En esta fase los ánodos, también conocidos como cobre blíster, obtenidos en la Fundición se transforman en cátodos de cobre de 99,99% de concentración, listos para ser comercializados en el mercado mundial.



Figura 8 Electro-refinación
Fuente: www.energiaenmineria.cl/

1.2.8 Lixiviación

A diferencia del cobre sulfurado, que debe atravesar por una segunda etapa de reducción de las rocas (Molienda), los óxidos pasan directamente a la Lixiviación para comenzar el proceso de separación del metal rojo de otras sustancias.

Esta fase se realiza mediante un procedimiento hidrometalúrgico. Esto quiere decir la extracción o recuperación de metales a través del uso de soluciones líquidas. Es decir, las rocas reducidas se riegan para rescatar los minerales deseados.

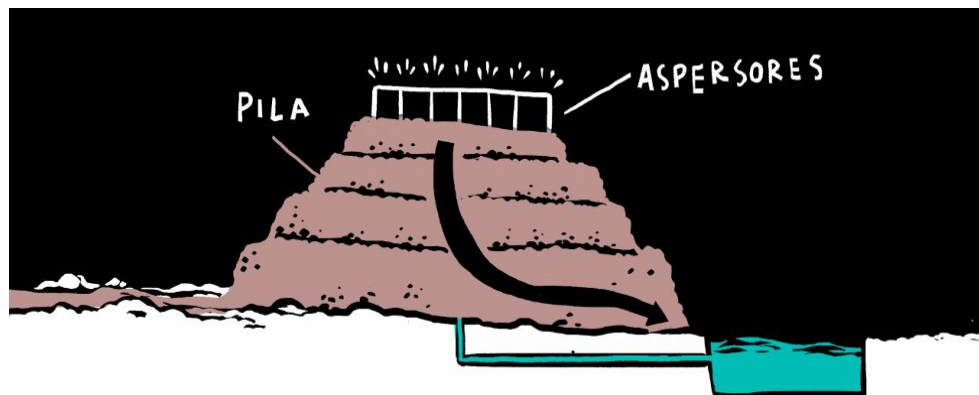


Figura 9 Lixiviación.
Fuente: www.codelcoeduca.cl

1.2.9 Electro-obtención

La electro-obtención, también conocida como electro-depositación, es uno de los procedimientos actuales más sencillos para recuperar el cobre contenido en soluciones líquidas.

Tal como la Lixiviación es un proceso hidrometalúrgico, la electro-obtención se basa en la "electrometalurgia" para recolectar el metal, es decir, utiliza la electricidad para atraer las partículas de cobre.

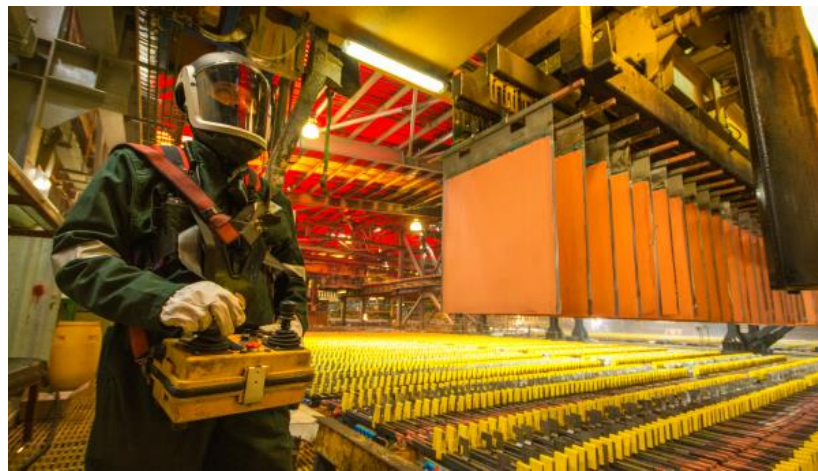


Figura 10 Electro-obtención
Fuente: www.camiper.com

1.2.10 Biolixiviación

La Biolixiviación es una tecnología que utiliza bacterias para extraer metales desde el concentrado mineralizado.



Figura 11 Biolixiviación
Fuente: www.reporteminero.cl

1.3 PERFORACION Y TRONADURA

1.3.1 Descripción de perforación

La perforación es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es abrir una roca o mineral huecos cilindros llamados pozos, que están destinados a alojar o colocar explosivos y sus accesorios en su interior. Esta perforación se realiza empleando barrenos o barras de perforación, las cuales son accionadas por máquinas perforadoras que utilizan energía hidráulica y neumática para permitir la perforación.

En general, se puede considerar la perforación de rocas como una combinación de las siguientes acciones:

Percusión: corresponde a los impactos producidos por los golpes del pistón, los que a su vez originan ondas de choque que se transmiten a la broca a través del varillaje.

Rotación: con el movimiento de rotación se hace girar la broca para que los impactos se produzcan sobre la roca en distintas posiciones.

Empuje: corresponde a la fuerza necesaria para mantener en contacto la broca con la roca.

Barrido: fluido de barrido que permite extraer el detrito del fondo de la perforación.

El proceso de perforación requiere de una fuente de energía, y de acuerdo con el tipo de energía que se utilice, se definen diferentes métodos de perforación de rocas. Por ejemplo, mecánicos, térmicos, hidráulicos, etcétera.

Bajo estos principios tenemos dos tipos de perforación generalmente utilizados en la minería a cielo abierto:

- Roto percusión.
- Rotación y peso.



Figura 12 Perforación
Fuente: www.tecnologiaminera.com

1.3.2 Características de las rocas

Dureza: Oposición de una capa superficial a la penetración de otro cuerpo más duro. La dureza de una roca depende de la composición de los granos minerales constituyentes, de la porosidad de la roca, del grado de humedad, etcétera.

Resistencia: La resistencia mecánica de una roca es la propiedad de oponerse a su destrucción frente a una carga exterior, estática o dinámica. Las rocas oponen una resistencia máxima a la compresión, y comúnmente la resistencia a la tracción no pasa del 10% al 15% de la resistencia a la compresión. La resistencia de las rocas depende fundamentalmente de su composición mineralógica. Entre los minerales integrantes se destaca la presencia del cuarzo, que es el más sólido de los minerales. Las rocas con presencia de cuarzo presentan una resistencia a la compresión que supera los 500 MPa, mientras que la calcita tiene una resistencia a la compresión de 10 a 20 MPa. En general, y por este motivo, cuando existe una mayor presencia de cuarzo en una roca la resistencia a la compresión y tracción aumenta.

Elasticidad: La mayoría de los minerales constituyentes de las rocas tienen un comportamiento elástico-frágil. Esta característica pasa por diferentes estados, hasta llegar a la destrucción cuando se supera el límite de resistencia, llamado límite de elasticidad.

Plasticidad: Cuando en las rocas se supera el límite de la elasticidad, comienza la deformación plástica (es decir, la roca se deforma, pero no vuelve a su estado original). La plasticidad depende de la composición mineral de las rocas, y disminuye con el aumento del contenido de cuarzo, feldespato y otros minerales duros.

Abrasividad: Es la capacidad de las rocas para desgastar la superficie de contacto de otro cuerpo más duro durante el proceso de rozamiento. Los factores que elevan la capacidad abrasiva de las rocas son:

- La dureza de los granos constituyentes de las rocas. Por ejemplo, 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 la roca, que da lugar a superficies de contacto rugoso con concentraciones de tensiones locales.

Textura: La textura de una roca se refiere a la estructura de los granos minerales constituyentes de ésta. Se manifiesta a través del tamaño de los granos, de la forma, de la porosidad, etcétera.

Estructuras geológicas: Las propiedades estructurales de los macizos rocosos, como diaclasas y fallas con su rumbo y manteo, pliegues y otras, tienen una influencia directa en el rendimiento de los equipos de carguío, ya que pueden favorecer la fragmentación por fractura miento preexistente y aumentar con ello el acondicionamiento para la carga.

1.3.3 Perforación de producción

Consiste en perforaciones de gran diámetro, que van desde las 7”5/8 hasta las 17” de diámetro de pozos y a una profundidad de hasta 21 metros, con el objetivo de fragmentar la roca a un tamaño idóneo para su extracción.

Para esto se utilizan perforadoras de gran envergadura, como los modelos Pit Viper 271, 351, Sandvik D75ks, D90ks, entre otros modelos de distintos fabricantes.

1.3.4 Perforación de pre corte

En minería de superficie, la Perforación de pre corte hace referencia al acto de generar pozos en diámetros de entre 5” y 8”, siendo 6 ½” el más frecuente, con inclinaciones entre los 60° y 90°, profundidades que varían entre los 8 y 35 metros, y espaciamientos entre pozos que van de 1 a 3 metros dependiendo del diseño de la mina. Dichos pozos son perforados en las tres líneas más próximas a las cajas de banco o los bordes de las rampas de diseño. Entre otros, tiene por objetivos asegurar la estabilidad de los taludes en minas a rajo abierto, reducir los riesgos de desprendimientos de rocas y/o bloques de material, y generar límites visibles de penetración para las palas que participan en el carguío del material tronado.

1.4 PLANOS DE PERFORACIÓN

Los planos de perforación son la guía para que el operador a cargo de la faena pueda realizar la tarea de perforación en forma correcta y segura. Para ello es necesario considerar aspectos de la confección de los planos o croquis y de la lectura e interpretación de los mismos.

1.4.1 Confección de planos y croquis

En la actualidad, la confección de planos de perforación es realizada en forma automática por los softwares de planificación minera (Vulcan, Datamine) o de tronadura (QED, Sabrex). La determinación de las coordenadas de cada perforación es definida por los sistemas de posicionamiento satelital (GPS), los cuales muestran la posición de cada una en forma remota, de manera que no necesiten los planos para identificarlas. No obstante, para la confección de planos se necesita información, que generalmente es proporcionada por el departamento de topografía, lugar donde se lleva el control diario de todas las zonas existentes en la faena minera. Además, el personal de este departamento es responsable de identificar con señales (monos) las perforaciones en terreno y compartir esta información con los encargados de la explotación minera, como son los departamentos de geología, de operaciones mineras y de planificación de la mina.

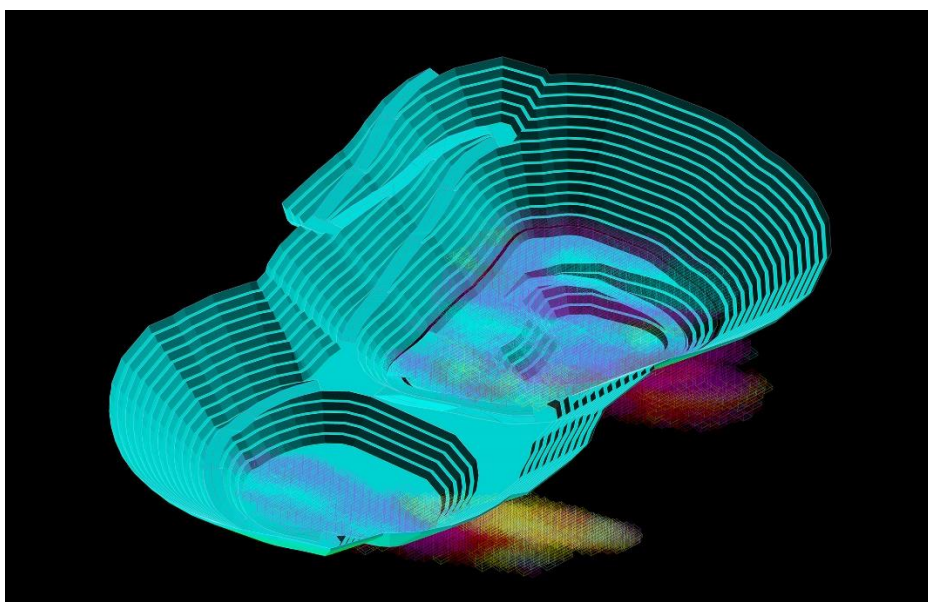


Figura 13 Softwares de planificación Vulcan.
Fuente: www.maptek.com

1.4.2 Lectura e interpretación de planos

Para la interpretación y la lectura de los planos es necesario que éstos contengan la siguiente información:

- Identificación de cada perforación.
- Identificación de la zona por perforar (mineral, estéril, rampa).
- Identificación de zonas de la mina, como crestas, patas, rampas u otras instalaciones.
- Malla de perforación (burden, espaciamiento).
- Largo y diámetro de perforación.
- Coordenadas norte y este.
- Identificación de la máquina que realizara la perforación.
- Fecha del plano y de la tronadura y cantidad de perforaciones.

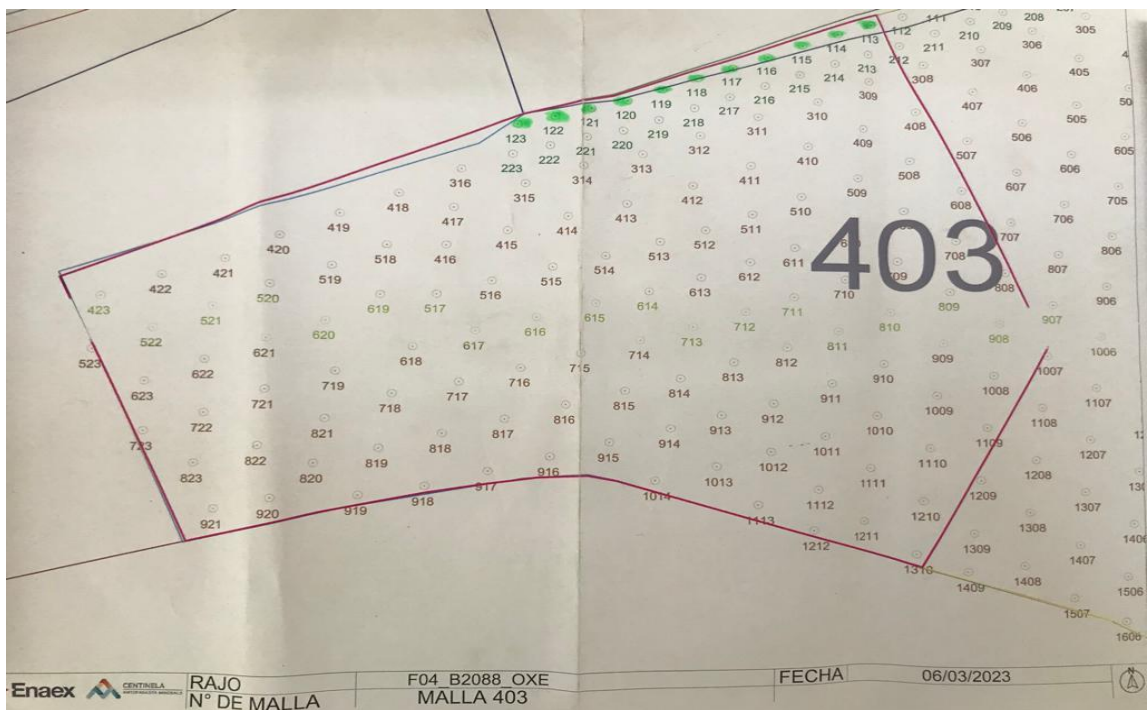


Figura 14 Plano de perforación

Fuente: Elaboración propia

1.5 TRONADURA

La tronadura es la operación que tiene por finalidad el arranque del mineral desde el macizo rocoso, aprovechando de la mejor manera posible la energía liberada por el explosivo colocado en los tiros realizados en la etapa de perforación. El mejor aprovechamiento se obtiene al aplicar la energía justa y necesaria para generar una buena fragmentación del mineral, evitando daños en las cajas y techo de la labor minera.



Figura 15 Tronadura
Fuente: www.ucecentral.cl/

1.5.1 Diseño de tronadura

El diseño del proceso de tronadura debe considerar ciertos aspectos fundamentales que permitan una correcta operación y el cumplimiento de los programas de extracción de corto plazo de manera segura, oportuna y eficiente. Para la minería a gran escala, tanto la operación de carguío de explosivos como la administración de polvorines son realizadas por empresas externas, lo que obliga a contar con los canales de comunicación adecuados.

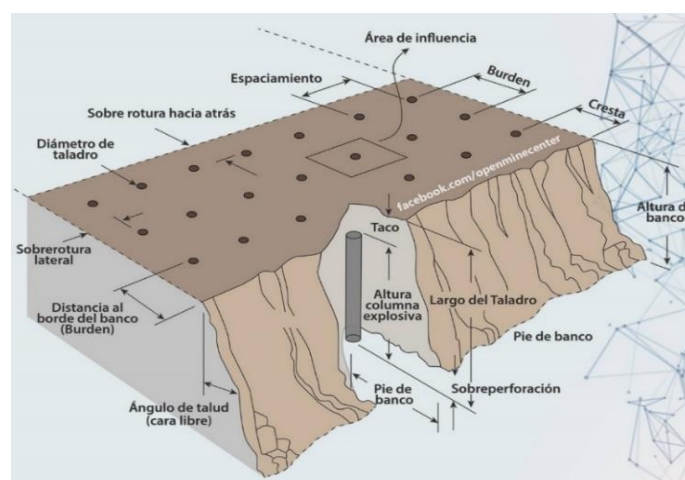


Figura 16 Diseño de tronadura
Fuente: www.eadic.com

1.5.2 Planos de diseño

Todo diseño de tronadura debe ser entregado en un plano, en el que se deben indicar a lo menos los siguientes elementos:

- Sector por tronar, identificando el número de la tronadura, el banco, el tipo de material (si se trata de mineral o estéril) y el tipo de roca, indicando sus propiedades básicas (densidad, presencia de agua, etc.).
- Tipos de explosivos que se deben utilizar y tiempos de retardo por pozo.
- Secuencia de encendido (tiempos de retardo y dirección de amarre).
- Identificación de todos los pozos por cargar, de acuerdo con códigos establecidos o numeración correlativa.
- Día y hora de la tronadura.
- Diámetro de perforación.
- Nombre del jefe de tronadura.



CAPITULO 2: PERFORACIÓN A CIELO ABIERTO

2.1 METODOS DE PERFORACION

Dentro de la industria de la minería, existen distintos métodos de perforación dentro de los cuales se encuentran:

2.1.1 Perforación down the hole (dth)

Las perforadoras DTH o con martillo de fondo en español, son ampliamente usadas en perforación de suelo rocoso o suelos mixtos con presencia de grava, lo caracteriza su gran eficiencia al golpear directamente en la boca del fondo de la perforación, evitando así pérdidas en la línea de perforación. La percusión es generada por fuerza neumática. En este tipo de perforadoras el martillo va hacia el fondo de la perforación como así lo muestra la imagen.

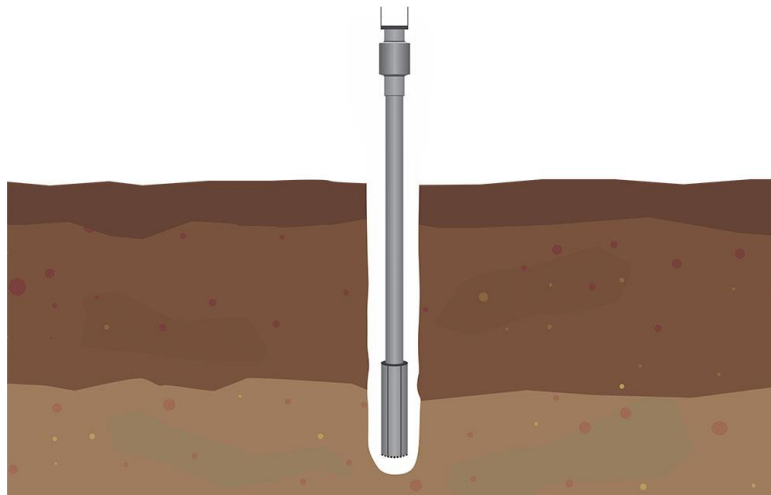


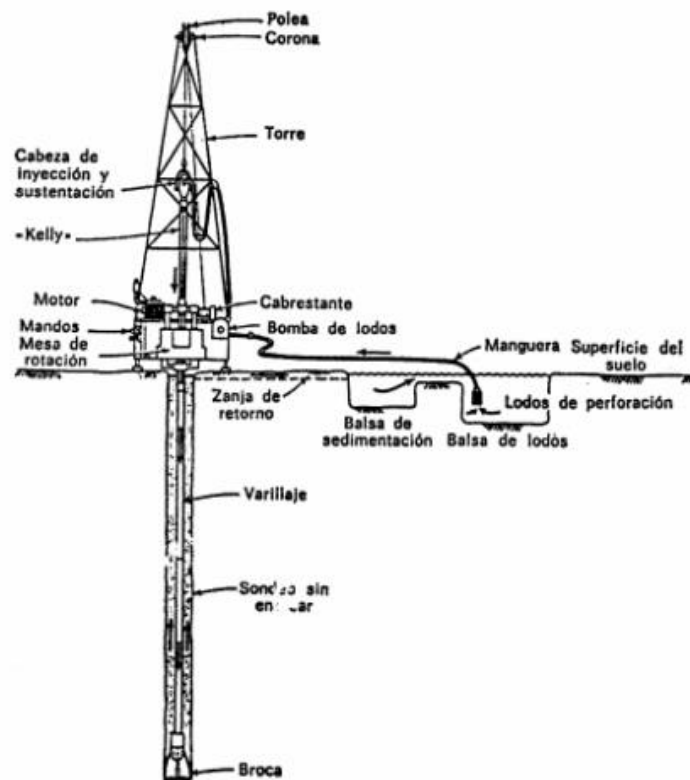
Figura 17 Perforadora DTH.
Fuente: www.ksdrillmachine.com.

Algunos de sus beneficios:

- Alta velocidad de penetración (alto rendimiento)
- Puede trabajar con o sin revestimiento de acuerdo a las exigencias tipo de suelo.
- Versatilidad, puede trabajar en roca y suelos blandos.
- Adaptable a equipos pequeños, no necesita grandes espacios para operación.

2.1.2 Perforación de rotación directa

La perforación a rotación directa empezó a utilizarse en 1860, adquiriendo un gran auge desde 1900 paralelamente al desarrollo de la industria petrolera. Este sistema de perforación está basado en la rotación del trépano o tricono y la inyección del fluido a través de las barras. La máquina genera rotación y empuje (pull down) que actúa sobre el tricono y este, por medio de sus insertos de carburo de tungsteno fractura la roca, al mismo tiempo el caudal de aire generado por el compresor de la perforadora evacua el detritus, permitiendo así la perforación.



Equipo de perforación rotativa con circulación directa.
Componentes y flujo de la inyección.

Figura 18 Perforación de rotación directa.
Fuente: www.victorypes.blogs.upv.es

2.1.3 Aire reverso

La perforación de circulación reversa o llamado comúnmente aire reverso, crea pequeños fragmentos de roca (chips) en lugar de un testigo sólido (core o núcleo). A diferencia, de la perforación diamantina, es mucho más rápida y requiere de un equipo mucho más grande, incluyendo un compresor de aire de gran capacidad.

El diseño de las barras para Perforación de Circulación Reversa permite la recuperación de muestras, por el centro de ellas debido a su doble pared. El aire o agua, que son los medios más usados para el barrido, ingresan a la columna a través de las paredes de la barra o entre el espacio anular que queda entre la funda exterior y el tubo interior por medio de una conexión lateral (swivel), bajando hasta el fondo del pozo las muestras que se están extrayendo, son dirigidos hacia el centro de la herramienta de perforación y evacuados a la superficie.

Desde allí son desviados por un conducto de descarga hasta una manguera de caucho, la cual está conectada a una unidad de desaceleración de partículas (ciclón captador de polvo) y recuperadas apropiadamente para su análisis.

Las medidas de las barras de Perforación de Circulación Reversa son por lo general de 4.5" – 7" de diámetro y 20 pies de largo (6,096 m). Cada barra es muy pesada y requiere el uso de un manipulador de barras Rod Handler, grúa o «winche» para levantarla y colocarla sobre el pozo.

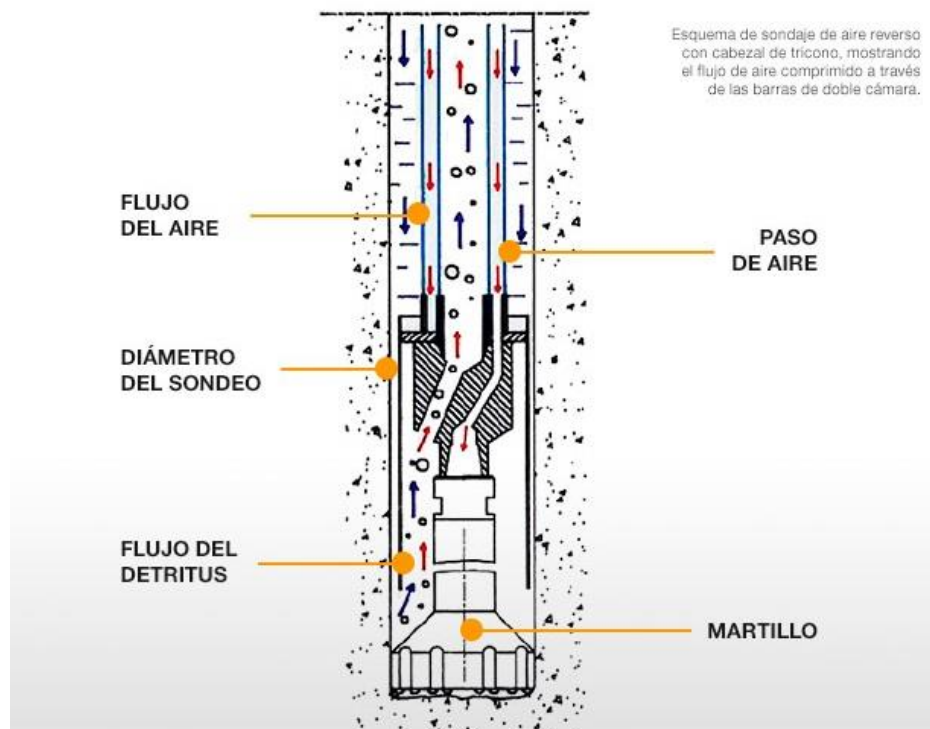


Figura 19 Perforación de circulación reversa.
Fuente: www.explomin.com

2.1.4 Diamantina

La perforación diamantina, es un método de exploración minera que permite hacer el sondaje de formaciones geológicas. Mediante la perforación de roca y suelo con el uso de brocas diamantadas de diferentes diámetros y durezas para la posterior obtención, registro, y almacenamiento de muestras llamadas testigos.



Figura 20 Perforación diamantina.
Fuente: www.explomin.com

2.1.5 Top Hammer

La fuerza de percusión de la perforación por top hammer (o martillo en cabeza) producida por el pistón de la bomba en el martillo perforador hidráulico, es transmitida al bit o broca de perforación vía el culatín (shank) y las barras de perforación. Al mismo tiempo, el sistema de percusión acciona el sistema de rotación. Cuando la energía llega al bit, se transmite hacia la roca en forma penetración. La combinación de estas funciones permite la realización de pozos en roca dura, y el aire del compresor es solo para la supresión de polvo.

La perforación con martillo en cabeza es usualmente usada para pozos de diámetros de máximo 127mm, y profundidades menores a 20 metros.

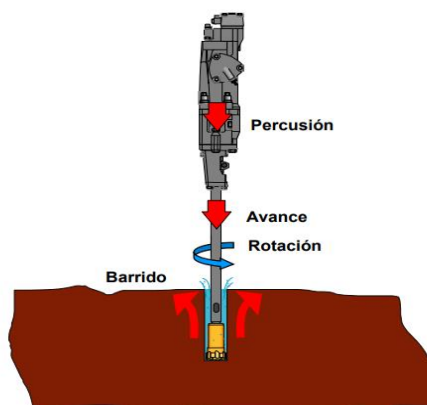


Figura 21 Perforación Top Hammer
Fuente: www.es.slideshare.net

2.2 PERFORADORAS UTILIZADAS EN LA MINERÍA A CIELO ABIERTO

2.2.1 Perforadoras de producción

Existe una infinidad de modelos de perforadoras de producción de diferentes marcas. Estas se diferencian en el diámetro máximo que pueden perforar, de este diámetro máximo depende la configuración de la máquina como, por ejemplo, la potencia del motor, el caudal de aire que entrega el compresor del equipo. A mayor diámetro de perforación, mayor potencia será necesaria que produzca el motor.

Además del diámetro de la perforación, las perforadoras se diferencian en el número de veces necesarias que debe bajar la unidad de rotación, desde su punto muerto superior hacia el punto muerto inferior, para realizar un pozo de producción. La profundidad de estos pozos va desde los 16 a los 18 metros según el diseño de la mina.

De esta manera las perforadoras se clasifican en multi pass, cuando estas deben de bajar la unidad de rotación más de una vez para llegar a la profundidad requerida. O, en single pass, cuando solo basta que la unidad de rotación baje una sola vez para conseguir la profundidad deseada.

Esta diferencia les otorga una ventaja productiva a las perforadoras single pass, debido a que a diferencia de las multi pass, no se utiliza tiempo en agregar barras a la columna de perforación.

En la siguiente imagen podremos observar cómo los mástiles de las perforadoras single pass, son de más envergadura que los mástiles de las perforadoras multi pass.

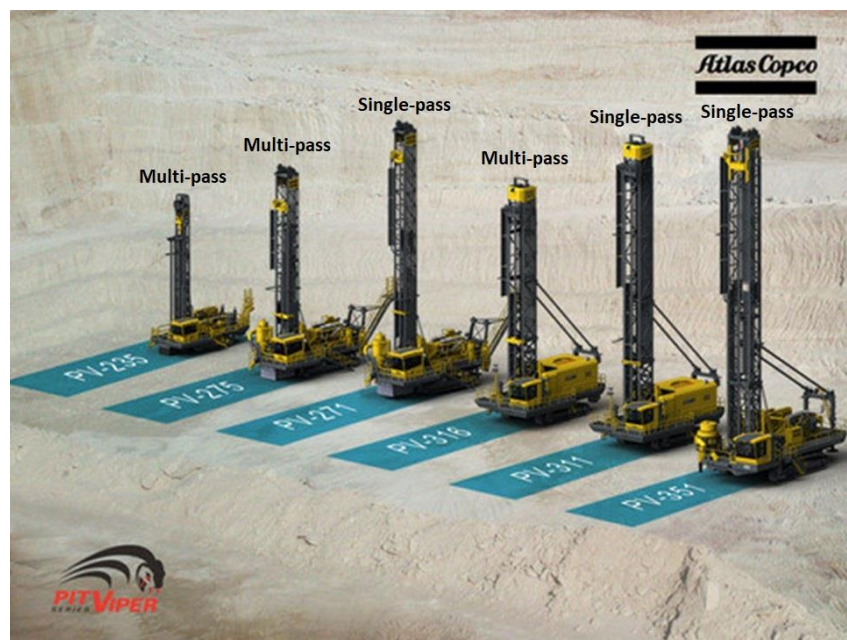


Figura 22 Perforadoras de producción.
Fuente: www.hyena.ai

2.3 PERFORADORAS DE PRECORTE

Las perforadoras de pre-corte se caracterizan por tener un tamaño mucho menor con respecto a las perforadoras de producción. Estas perforadoras realizan pozos de diámetro que van desde las 5 pulgadas hasta las 8 pulgadas, generalmente utilizan martillo de fondo.

En Chile, las perforadoras más utilizadas para pre-corte son los modelos de Epiroc.

2.3.1 Flexiroc D65

Perforadora de pre-corte con martillo de fondo.



Figura 23 Perforadora FLEXIROC D65
Fuente: www.amc.com.gt

2.3.2 Pantera™ DP1600i

Otra marca presente en el mercado es Sandvik con sus modelos Pantera para perforación de pre-corte con martillo de fondo.



Figura 24 Perforadora Pantera DP16001.
Fuente: www.rocktechnology.sandvik

2.4 OPERACIONES ANTES DE LA PERFORACIÓN

Al recibir el polígono o malla de perforación se ha de asegurar por parte del supervisor de Perforación y/o jefe turno perforación que cuenta con los accesos adecuados para realizar la actividad de marcación de la malla y perforación, el estado de la carpeta o superficie, sobre quiebre hacia zonas tronadas o cara libre, inestabilidad hacia borde rajo. No se debe autorizar la perforación si el área no es segura para el operador y su equipo de perforación. En todo polígono de perforación será obligatorio el uso de señalización, conos y letreros 20 metros al pozo perforado más cercano. El patio de perforación se debe delimitar con pretils no siendo inferior a 2/3 de la medida de rueda al equipo de mayor envergadura que transite por el sector, así poder evitar el ingreso al polígono de perforación. En la orilla de los bancos se debe confeccionar un pretil de seguridad de aproximadamente 80 cms. de altura.

El área del polígono de perforación de producción debe cumplir con las siguientes especificaciones.

Para pozos de producción:

- 1.- Ancho mínimo: 2 veces el largo de la perforadora.
- 2.- Largo mínimo: 3 veces el largo de la perforadora.
- 3.- Pendiente: No mayor al 10%

Para pozos de pre-corte:

- 1.- Ancho Mínimo: 1 ½ ancho de la perforadora
- 2.- Largo Mínimo: 1 ½ Largos de la perforadora.
- 3.- Pendiente: No mayor al 10%

2.5 OPERACIÓN Y PARÁMETROS DE PERFORACIÓN

Empuje: El empuje aplicado sobre la broca o bit debe ser suficiente para sobrepasar la resistencia a la compresión que opone la roca, pero no debe ser excesivo, puesto que puede causar fallas en todo el sistema de perforación, como el "atascamiento" de las barras. En el caso de la perforación de rocas duras, el empuje elevado sobre la roca puede producir roturas en los insertos (botones) y disminuir la vida útil de los cojinetes (triconos), pero no necesariamente aumentará la longitud de perforación.

Revoluciones por minuto: La velocidad con que se va penetrando la roca (velocidad de penetración) es directamente proporcional a las revoluciones por minuto, en una proporción algo menor que la unidad, hasta el límite impuesto por la evacuación de detritos. En el caso de la perforación rotativa, con triconos, las velocidades de rotación varían desde 60 a 120 RPM, y el límite de velocidad de rotación queda determinado por

el desgaste en los cojinetes, el que también tiene relación con el empuje y evacuación de detritos (barrido).

Velocidad de penetración: La velocidad con que se penetra la roca (perforación) depende de muchos factores externos (por ejemplo, factores geológicos), tales como las propiedades físicas de la roca y la resistencia a la compresión. Si bien es difícil determinar la velocidad de penetración, ésta define un conjunto de parámetros de rendimiento de la operación minera. Existen dos procedimientos para determinar la velocidad de penetración:

- Realizar ensayos reales con rocas representativas y perforarlas. En función de los resultados obtenidos, se determina un conjunto de parámetros de diseño, como el tipo de broca recomendado, el empuje requerido y la duración de los aceros de perforación.
- Calcular la velocidad de penetración a partir de la resistencia a la compresión de la roca, utilizando fórmulas empíricas que relacionan el avance del bit o tricono por cada revolución.

Una vez determinada la velocidad de penetración (m/h), es posible calcular la velocidad media de perforación, en cuyo cálculo se incluyen los tiempos que el equipo no está trabajando y la disponibilidad mecánica.

Desgaste de elementos de perforación: En todo procedimiento de perforación es muy relevante llevar al máximo la vida útil de todos los componentes. Considerando que ella está influida tanto por agentes externos como por internos, es importante considerar las siguientes recomendaciones:

- Desgaste uniforme de las barras de perforación: Esto se consigue alternando sistemáticamente las posiciones de las barras en la columna, de modo que si en una perforación la barra A está en el primer lugar (al lado del bit), en la siguiente perforación tendría que ser la última, y así sucesivamente. De esta forma, cada barra que es sometida a un esfuerzo fuerte y prolongado "descansará" en la siguiente perforación.
- Incorporación de barras extras: Si la profundidad de los tiros es de "n" barras, se debe tener "n+1" o "n+2" barras. Con esto se consigue prolongar la vida útil del conjunto de barras más allá de la fatiga o fractura prematura de uno de sus elementos. Esto es muy importante, ya que no es recomendable mezclar componentes nuevos con los antiguos en la operación.
- Uso de caballetes o bastidores para la ubicación de las barras: Situados cerca de la perforadora, permiten mantener las barras en posiciones determinadas de acuerdo con el orden en que se van empleando, haciendo posible además una correcta mantención.

Con el propósito de poder registrar el desempeño de los componentes y determinar posibles fallas, es conveniente llevar el control del metraje y del rendimiento de los componentes. Considerando las recomendaciones anteriores, es importante cuidar los siguientes aspectos:

- Buen apriete de las conexiones: Todas las conexiones deben estar siempre bien apretadas, puesto que con esto se evitan desplazamientos que originan desgastes prematuros y dificultades en la transmisión de energía.
- Buena alineación de la perforadora respecto de la perforación (el tiro): Esta medida evita el desgaste por roce contra las paredes, las flexiones innecesarias que disminuyen la vida útil de las barras, la desviación en las perforaciones, etcétera.
- Cuidado en la empatadura: se debe iniciar la perforación con poca presión y avance. Una vez efectuada la empatadura, ejercer el empuje necesario para perforar.
- Calentamientos por baja presión de avance: es recomendable evitar calentamientos por baja presión de avance y las flexiones por exceso de avance.
- Barrido continuo: el barrido debe ser continuo e intenso en caso de presencia de rocas fracturadas, las que pueden "atascar" las barras.
- Uso de herramientas correctas: se requiere el uso de las herramientas adecuadas para los desacoplamientos, evitando daños innecesarios, como en la penetración de los dientes de una llave inglesa, lo que puede fracturar la barra.
- Almacenamiento de barras: es imprescindible guardar las barras en lugares adecuados, de manera de evitar la corrosión, que acorta la vida útil.

2.6 **FLUIDOS DE PERFORACIÓN**

El objetivo principal que se persigue al utilizar fluidos de perforación es poder evacuar desde el fondo de la perforación los detritos o el material molido producto del vencimiento de la resistencia de la roca. Además, considerando las temperaturas a que se exponen los aceros cuando se realiza la perforación, los fluidos (especialmente el agua) cumplen la misión de enfriar (bajar la temperatura), aumentando de esta forma la vida útil del acero.

2.6.1 Tipos de fluidos

Fluido barredor: Consiste principalmente en agua o un flujo de aire, según sean las circunstancias en que se esté perforando y la disponibilidad de agua en la faena. La extracción de detritos requiere de una energía mínima suministrada por la velocidad adquirida por el medio barredor. La experiencia indica que eso se consigue con flujos de agua de 0,4 a 1 m/s y de 15 a 30 m/s en el caso de usarse aire. Ambos fluidos (agua o aire) son eficientes en la extracción de los detritos; sin embargo, el uso de agua tiende a disminuir la velocidad de penetración hasta en 10% en algunas ocasiones. La situación más adversa es aquella en que el espacio anular tiene su mayor magnitud. En este caso, la velocidad óptima del flujo barredor depende de una serie de factores, como la densidad de la roca y el tamaño de los detritos.

El agua como fluido: presenta ventajas y desventajas que se muestran a continuación:

Ventajas:

- Excelente medio para contener el polvo.
- Excelente refrigerante de barras y brocas, debido a su gran capacidad de eliminar el calor por convección, impidiendo los sobrecalentamientos, que pueden llegar a afectar las cualidades del acero y la vida útil de estos.

Desventajas:

- Congelamiento, con temperaturas bajo 0°C requiere del uso de fluidos anticongelantes.
- Disponibilidad, lo que se traduce en altos costos por el transporte y habilitación en lugares donde no existe el recurso en forma permanente.

El aire como fluido:

Ventajas:

- Sin restricciones de temperatura ambiental.
- Sin costo de transporte, requiriéndose solo equipos que lo impulsen, a través de conductos de pequeño diámetro hacia el fondo de la perforación.

Desventajas:

- Mayor velocidad de penetración.
- Alta contaminación producto del elevado desprendimiento de polvo al interior de las perforaciones, lo que se hace extremadamente crítico en presencia de rocas con contenido de sílice.

Aire comprimido: Es el fluido que se ha venido utilizando como fuente de energía en la perforación tanto en equipos manuales como mecanizados. Además, el aire comprimido se usa frecuentemente como elemento de barrido de los detritos, sobre todo en minería a cielo abierto. El uso de aire comprimido requiere de la selección de compresores, que



son las unidades que lo generan. La selección de un compresor tiene especial relevancia, ya que esta decisión repercute considerablemente en el costo del metro perforado y es relevante en el precio de adquisición de una perforadora, con un porcentaje de entre 15% a 50% del costo total de adquisición. En la selección de los compresores, además de considerar el modelo o tipo, existen dos características básicas de atender, que son el caudal de aire suministrado y la presión de salida de aire.



CAPITULO 3: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y PROBLEMÁTICA

3.1 **PERFORADORA EPIROC, FLEXIROC D65**

FlexiROC D65 es una perforadora DTH (down the hole), diseñada especialmente para producción y pre-corte, esta perforadora usa un martillo percutor accionado por el compresor del equipo, esto sumado a la acción hidráulica de la máquina, la cual proporciona rotación y empuje permite la perforación de pozos de diámetros que van desde 4" a las 6" ½.

La perforadora cuenta con un motor Caterpillar C15 de 433 kW, el cual acciona 6 bombas hidráulicas encargadas de alimentar todas las funciones de la perforadora, también acciona un compresor de doble etapa, el cual permite la acción del martillo además de evacuar el detrito desde el pozo.



Figura 25 Perforadora FLEXIROC D65.
Fuente: www.amc.com.gt

3.2 **COMPONENTES PRINCIPALES**

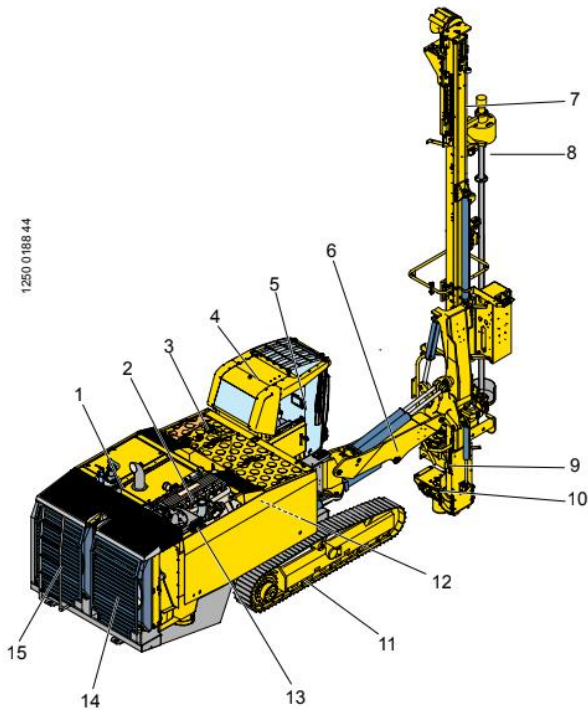


Figura 26 Componentes principales de una perforadora.
Fuente: www.pdfcoffee.com

1- Compresor	2- Motor Diesel
3- Armario eléctrico	4- Cabina
5- Panel de mandos para perforación	6- Brazo
7- Dispositivo de avance	8- Sistema de manejo de barras
9- Mesa de quiebre	10- Guía de barras
11- Bastidores de oruga	12- Bombas hidráulicas
13- Captador de polvo	14- Radiador de refrigerante de motor
15- Radiador de aceite hidráulico y compresor	

El equipo perforador de tipo hidráulico se propulsa por un motor diésel turboalimentado y refrigerado por agua. El motor diésel está equipado con un sistema de supervisión con funciones de parada automática. El equipo perforador es accionado por dos motores de desplazamiento con engranajes. Los motores de desplazamiento con engranajes están montados en los bastidores de orugas. Las bombas hidráulicas y el compresor se impulsan con el motor diésel.



3.2.1 Sistema del brazo

El sistema de brazo se compone de cuerpo de brazo, cabeza de brazo, soporte del dispositivo de avance y cilindros hidráulicos correspondientes. El sistema del brazo es controlado con válvulas de dirección para el posicionamiento del dispositivo de avance con la perforadora en distintas distancias y direcciones.

3.2.2 Captador de polvo

El captador de polvo de accionamiento hidráulico está equipado con un mecanismo de limpieza automática y se compone de una unidad de filtro, un pre captador, un ventilador de aspiración y una manguera de aspiración.

3.2.3 Sistema eléctrico

El sistema eléctrico de 24 V es alimentado por un alternador de corriente alterna y dos baterías. El sistema eléctrico está compuesto de unidad de arranque, alumbrado de trabajo, mandos de maniobra eléctricos y dispositivos de seguridad. Los botones/cable de parada de emergencia están acoplados en serie con el sistema de desconexión del motor diésel. Tan pronto se acciona uno de los botones/cable, se detiene inmediatamente el motor diésel. Antes de poder poner en marcha el motor se debe reponer el botón de parada de emergencia. El motor no puede ponerse en marcha con alguna de las paradas de emergencia activada.

3.2.4 Sistema hidráulico

El sistema hidráulico se compone de seis bombas hidráulicas, enfriador de aceite, depósito de aceite hidráulico, válvulas, mangueras, etc.

Las seis bombas hidráulicas crean presión hidráulica según lo siguiente:

Bomba 1	Avance de perforación, avance rápido, motores de desplazamiento, manipulador de barras y posicionamiento de cilindro
Bomba 2	Unidad de rotación
Bomba 3	Captador de polvo
Bomba 4	Posicionamiento de cilindro, aceite extra para rotación
Bomba 5	Motor de ventilador para aceite de compresor e hidráulico
Bomba 6	Motor de ventilador para refrigerante del motor diésel

The diagram illustrates the functional components and hydraulic circuitry of a drilling rig. The components are numbered as follows:

- 1. Tube handling
- 2. Feed cylinder
- 3. Traction motor Left
- 4. Traction motor right
- 5. ROTATION UNIT
- 7. Controls
- 8. Logic
- 9. Pilot pressure
- 10. Drill Feed
- 11. Rapid feed
- 12. Drilling / Trammig
- 13. Rotation
- 14. Fan motor Engine cooler
- 15. Fan motor hydraulics & compressor Cooler
- 16. Return oil
- 17. Refill pump
- 18. Filter
- 19. Pump 6
- 20. Pump 5
- 21. Diesel engine
- 22. Pump 1
- 23. Pump 2
- 24. Pump 3
- 25. Pump 4
- 26. HECL
- 27. Pump adjustment
- 28. DCT
- 29. Positioning
- 30. Hydraulic tank

The hydraulic circuit shows the flow of fluid from the 30. Hydraulic tank through various pumps (18-25) and filters (16, 17) to the actuators (1-13). The Diesel engine (21) is connected to Pump 1 (22). The HECL (26) is connected to Pump 1 (22). The Pump adjustment (27) is connected to Pump 1 (22). The DCT (28) and Positioning (29) are connected to Pump 1 (22). The Controls (7) and Logic (8) are connected to the actuators (1-13). The Pilot pressure (9) is connected to the actuators (1-13). The Drill Feed (10), Rapid feed (11), Drilling / Trammig (12), and Rotation (13) are connected to the actuators (1-13). The Fan motor Engine cooler (14) and Fan motor hydraulics & compressor Cooler (15) are connected to the actuators (1-13). The Return oil (16) and Refill pump (17) are connected to the actuators (1-13). The Filter (18) is connected to the actuators (1-13). The Diesel engine (21) is connected to the actuators (1-13). The HECL (26) is connected to the actuators (1-13). The Pump adjustment (27) is connected to the actuators (1-13). The DCT (28) and Positioning (29) are connected to the actuators (1-13).

1- Manipulador de barras	2- Motor de avance/ cilindro de avance
3- Motor de desplazamiento, izquierda.	4- Motor de desplazamiento, derecha
5- Unidad de rotación	6-
7- Mando de maniobra	8- Válvulas lógicas
9- Presión piloto	10- Avance de perforación
11- Avance rápido	12- Perforación / desplazamiento
13- Rotación	14- Motor ventilador, radiador del motor
15- Motor ventilador, enfriador aceite	16- Aceite retorno
17- Bomba de llenado	18- Filtro
19- Bomba 6	20- Bomba 5
21- Motor Diesel	22- Bomba 1
23- Bomba 2	24- Bomba 3
25- Bomba 4	26- Depósito de aceite hidráulico

3.2.5 Sistema neumático

El compresor es de tornillo de doble etapa con inyección de aceite. La presión de trabajo normal se ha ajustado a 30 bar, que también es la presión máxima. El flujo máximo de aire libre (FAD) es de 434,2 l/seg. a una presión de trabajo de 30 bar con 20°C de temperatura ambiente.

El elemento del compresor contiene dos rotores, uno hembra y otro macho, montados sobre rodamientos de bobinas y bolas. El rotor hembra es accionado por el motor diésel, y acciona el rotor macho. Los rotores son lubricados por aceite, inyectados y mezclados con el aire. Esto también aumenta la eficiencia, ya que el aceite sella entre las puntas del rotor y el alojamiento. Los elementos del compresor son del tipo OIS J-33 y OIS N-02 de Atlas Copco. La relación de transmisión es de 2,195.

El aire de admisión se aspira a través del filtro de aire y la válvula de admisión al elemento compresor. El aire se mezcla con el aceite inyectado y después de la compresión se pasa a través de la válvula check en el tanque de aire. La válvula check impide que el aire comprimido fluya hacia atrás cuando el compresor se detiene. En el tanque de aire, la mayor parte del aceite se extrae de la mezcla aire/aceite mediante el separador de aceite. El flujo de aire comprimido entonces pasa a través de la válvula de presión mínima hacia el sistema de aire de los equipos de perforación. La válvula de presión mínima impide que la presión en el depósito de aire descienda por debajo de la presión de trabajo mínima del compresor antes de liberar el aire, con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del sistema de aceite.

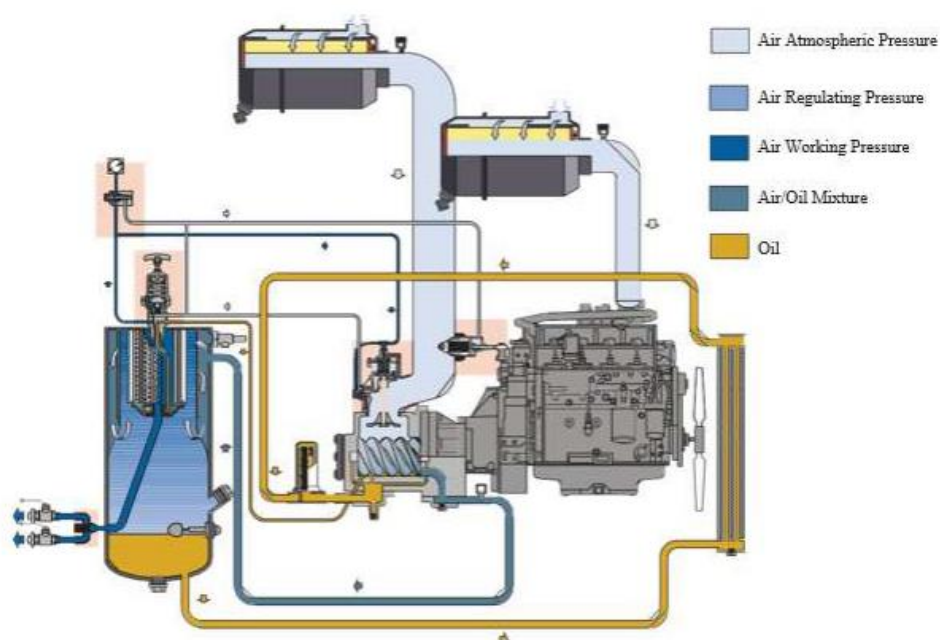


Figura 28 Sistema neumático.
Fuente: www.onlinestores.factorysale2023outlet.ru

3.3 SARTA DE PERFORACIÓN

Se llama sarta de perforación a un conjunto de herramientas y tubos unidos, la cual se diseña tomando en cuenta aspectos geológicos, condiciones de presión y temperatura, condiciones mecánicas, resistencia de materiales, profundidad y diseño del pozo.

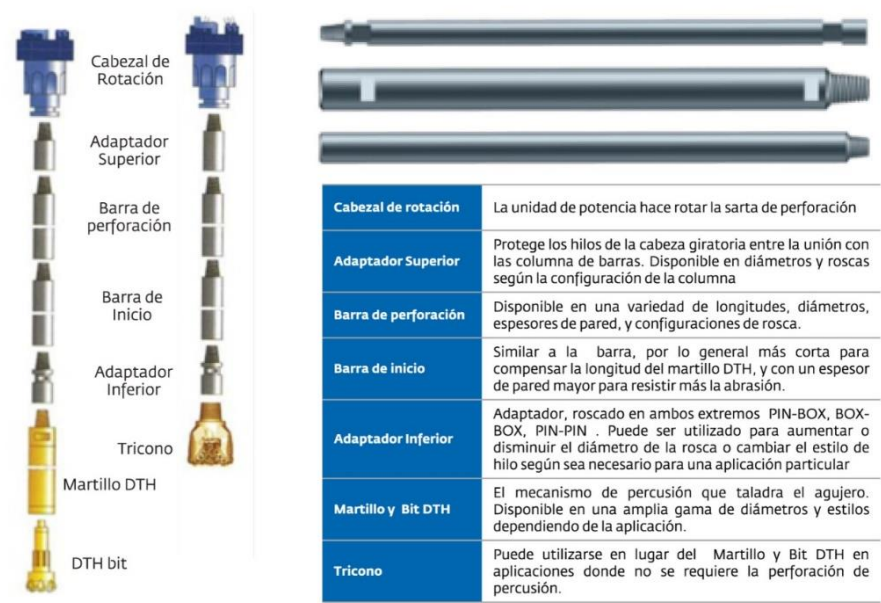


Figura 29 Sarta de perforación.
Fuente: www.tassaroli.com.ar

3.3.1 Barras de perforación

Las barras de perforación son las encargadas de transmitir el empuje y la rotación de la unidad de rotación hacia la broca. Y de dar el largo necesario para la profundidad del pozo. Los extremos de las barras son más duros que el resto de la barra para poder resistir el esfuerzo al cual son sometidas por las mordazas.



Figura 30 Barras de perforación.
Fuente: www.drillchile.cl/

3.3.2 Martillo de perforación

El martillo funciona por medio de energía neumática, la cual es transformada en percusión, mediante la acción de un pistón interno.



Figura 31 Martillo de perforación.
Fuente: www.karoc.com

3.3.3 Brocas de perforación

Las brocas, más conocidas como bits en el área de perforación, es una herramienta de contacto que se compone de una matriz de acero (aleación), en la cual se insertan un conjunto de elementos que sobresalen de su extensión, denominados insertos, los cuales se componen de una aleación de carburo de tungsteno, siendo estos insertos los que generan la fragmentación de la roca mediante indentación producida por los ciclos de impacto directos de un pistón percutor proveniente del martillo DTH a una frecuencia de unos 2.280 golpes por minuto a una presión de aire de 20 bares.



Figura 32 Broca de perforación.
Fuente: www.epiroc.com

3.3.4 Partes de una broca

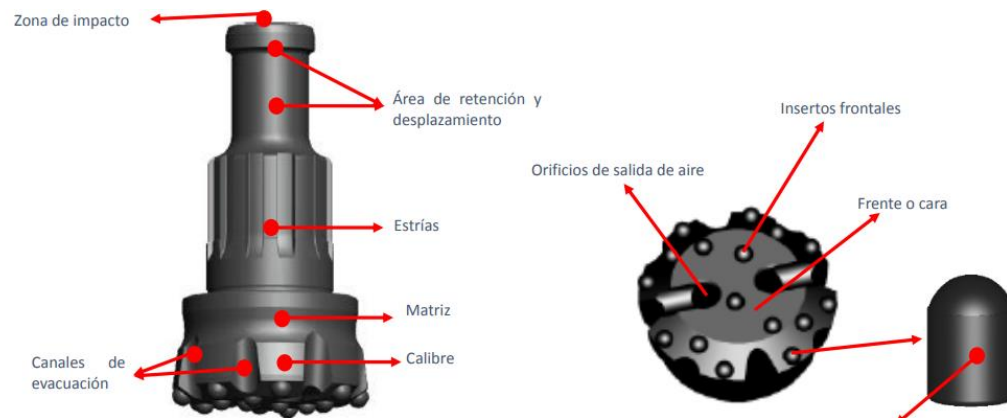


Figura 33 Partes de una broca.
Fuente: www.mschilespa.cl

3.4 MESA DE QUIEBRE

La mesa de quiebre tiene como función el desenrosque de los aceros de perforación, barras, adaptadores, martillos y brocas. Estos están sometidos a un alto torque durante la perforación, por lo cual es necesaria la mesa de quiebre para el desenrosque de estos elementos. Esta, transforma la energía hidráulica (limitada a 180 bares) proveniente de las bombas a energía mecánica, y así, permitir una continuidad en el proceso de perforación. La mesa de quiebre se compone de dos pares de cilindros hidráulicos, un juego inferior y un juego superior, equipados con mordazas las cuales presionan los aceros de perforación, un quinto cilindro ubicado en la parte superior realiza el giro en sentido horario y anti horario de los cilindros de mordazas superiores permitiendo soltar los aceros para su posterior desenrosque con la unidad de rotación.

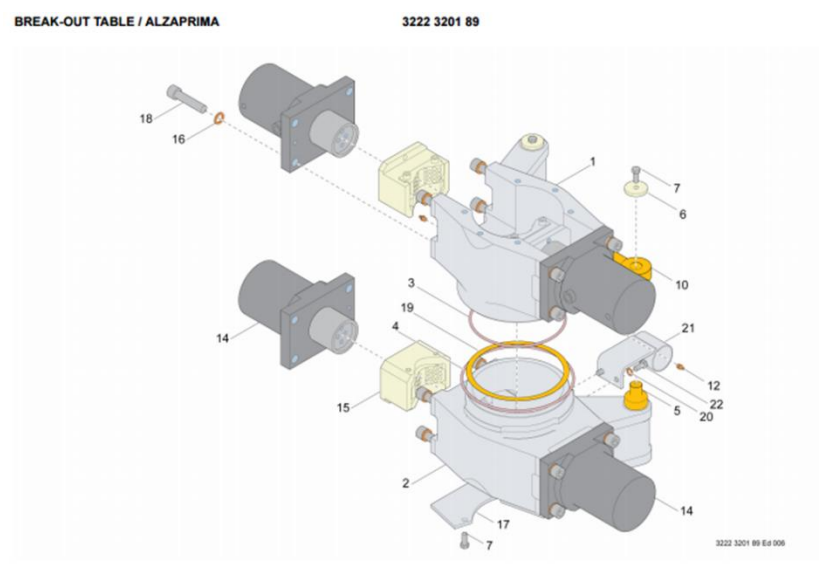


Figura 34 Partes mesa de quiebre
Fuente: manual de partes

El proceso para desenroscar una barra es el siguiente, se debe posicionar las barras de manera que los cilindros inferiores (cilindros fijos) aprieten la barra inferior y que los cilindros superiores (los cuales giran por acción de otro cilindro) estén posicionados sobre la barra que se desea desenroscar. Esto se puede hacer de manera automática ya que el quipo cuenta con un sensor de longitud el cual se puede configurar para que la unidad de rotación se detenga justo en esta posición, aunque la mayoría de los operadores realizan esta acción solo por experiencia y no se apoyan en el sensor.



Figura 35 Mesa de quiebre
Fuente: elaboración propia

Una vez estén los cilindros en la posición correcta, y las mordazas presionando las barras, el operador deberá accionar desde la cabina la función de quiebre. En la cual un quinto cilindro realizara el giro de los cilindros superiores, en el sentido que indica la imagen, y de esta manera quebrar el torque de las barras y seguir soltando con la unidad de rotación para posteriormente guardar la barra en el carrusel de barras y así continuar con las demás barras.



Figura 36 Mesa de quiebre
Fuente: Elaboración propia

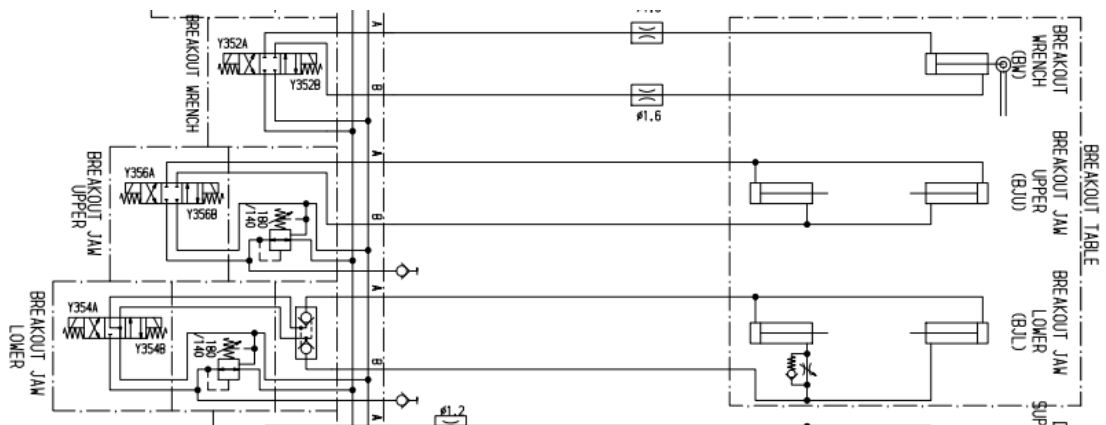


Figura 37 Esquema hidráulico mesa de quiebre.
Fuente: Plano hidráulico de equipo

3.5 MORDAZAS

Las mordazas son piezas de acero con botones de acero endurecido, las cuales son los encargados de presionar firmemente las barras y los aceros de perforación para realizar el desenrosque de estos.



Figura 38 Mordaza nuevas.
Fuente: www.ingesemaq.cl/

PISTON ROD END / TERM-VAST-PISTO

3222 3113 63

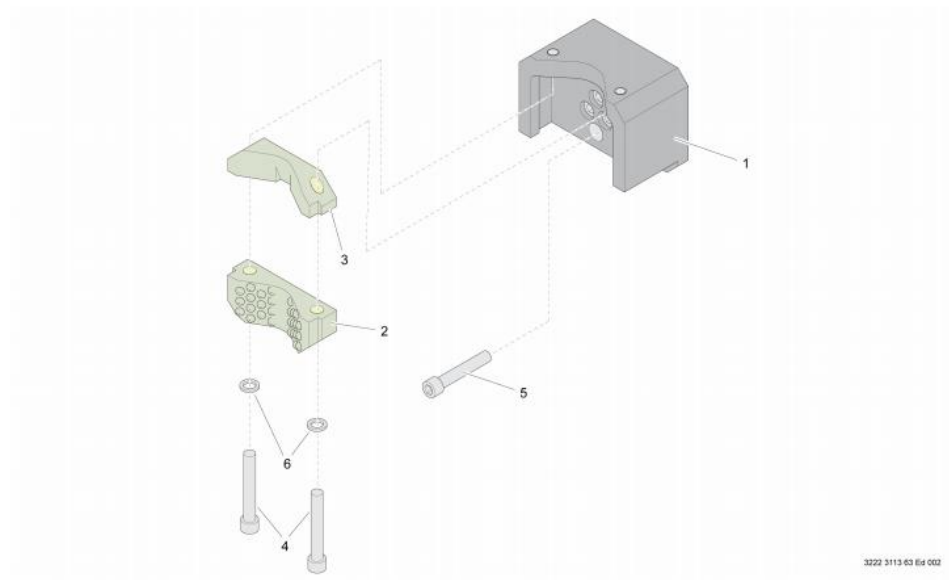


Figura 39 Despiece conjunto de mordaza
Fuente: Manual de partes

- 1- Pistón
- 2- Mordaza
- 3- Espaciador
- 4- Pernos MC6S M 12 X 80 - 12.9
- 5- Pernos M12X70 - 12.9 FLZNNC-480H
- 6- Arandelas

HYDR. CYLINDER / CILINDRO HIDRA.

3222 3215 29

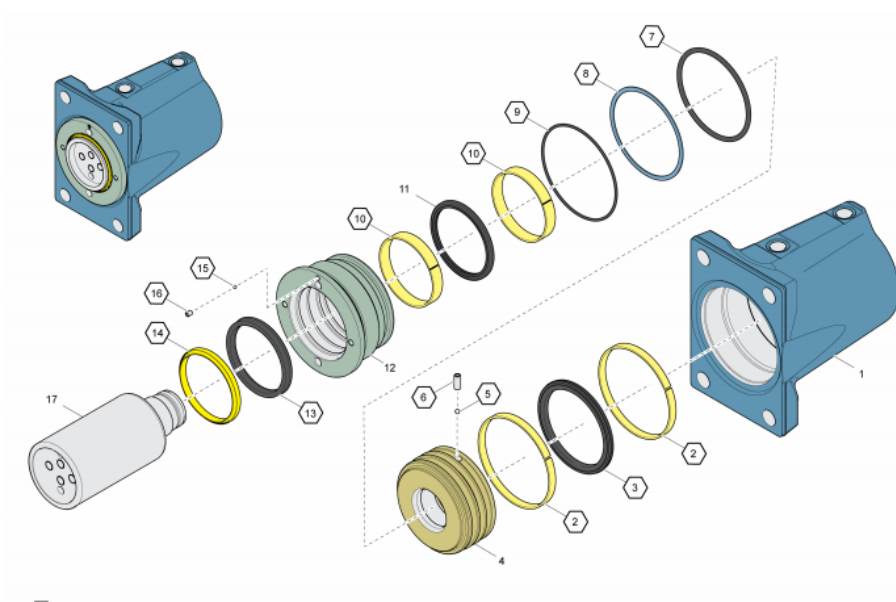


Figura 40 . Despiece cilindro de mordazas.
Fuente: Manual de partes

3.6 **PROBLEMÁTICA**

Las barras de perforación y los demás aceros suelen apretarse debido a la falta de utilización de grasa para hilos por parte del operador y/o la dureza del terreno a perforar, lo que implica un mayor torque en la perforación. Esta condición dificulta en trabajo de las mordazas y dan como resultado un desgaste prematuro en este componente, siendo necesario el reemplazo de estos cuando el desgaste es excesivo e impide el desenroscado de los aceros. El mal estado de estas piezas implica mayor tiempo en el desenroscado de los aceros (muchas veces siendo necesaria la aplicación de calor para el desacople de estos) y por ende un mayor tiempo de operación para la producción de pozos. Esto se traduce en un mayor costo por metros perforados. Estos problemas ocasionan una pérdida de eficiencia en la producción de pozos, lo que significa mayores costos de operación.

Debido a los altos precios de los insumos de perforación y de los repuestos de los equipos, generan un gran impacto en los costos de operación. Es por ello que se busca constantemente la economía en ciertos componentes sin afectar la eficiencia del equipo.

Las mordazas son una gran oportunidad para esto, el precio de una mordaza esta alrededor de los 1000 dólares americanos, y son 4 las necesarias por máquina y son 3 perforadoras que utilizan estas mordazas en la faena, sin considerar las demás perforadoras que posee la empresa en otras faenas mineras.



Figura 41 Mordazas desgastadas.
Fuente: Elaboración propia.



CAPITULO 4: REPARACIÓN DE MORDAZAS

4.1 DURABILIDAD DE LAS MORDAZAS ORIGINALES

La durabilidad de las mordazas está directamente relacionada con el terreno donde se desarrolla la perforación. Además de la correcta operación por parte del operador. En terrenos que sean más duros será necesario aplicar mayor torque en la rotación, por tanto, existirá un par de apriete mayor sobre las barras de perforación lo cual supondrá un mayor esfuerzo de las mordazas, aumentando el desgaste de estas y disminuyendo su vida útil, aquí la utilización de grasa para los hilos de barra es muy importante, el operador deberá realizar el engrase de hilos cada vez que se agregue una barra a la columna de perforación.

4.1.1 Tabla duración de mordazas en perforadora 9234

	FECHA DE INSTALACION	HOROMETRC	DURACION (HRS)
MORDAZAS REPARADAS	16.02.2022	17450	342
MORDAZAS REPARADAS	08.04.2022	17792	288
MORDAZAS ORIGINALES	06.05.2022	18080	144
MORDAZAS ORIGINALES	21.05.2022	18224	109
MORDAZAS REPARADAS	03.06.2022	18333	73
MORDAZAS ORIGINALES	20.06.2022	18406	126
MORDAZAS REPARADAS	27.06.2022	18532	189
MORDAZAS REPARADAS	06.07.2022	18721	141
MORDAZAS REPARADAS	20.08.2022	18862	506
MORDAZAS REPARADAS	29.09.2022	19368	106
MORDAZAS ORIGINALES	30.10.2022	19474	133
MORDAZAS REPARADAS	09.11.2022	19607	131
MORDAZAS ORIGINALES	23.11.2022	19738	109
MORDAZAS ORIGINALES	05.12.2022	19847	139
MORDAZAS REPARADAS	19.12.2022	19986	194
MORDAZAS REPARADAS	12.01.2023	20180	181
MORDAZAS REPARADAS	06.02.2023	20361	155
MORDAZAS REPARADAS	24.02.2023	20516	83
MORDAZAS REPARADAS	05.03.2023	20599	284
MORDAZAS ORIGINALES	01.04.2023	20883	56
MORDAZAS REPARADAS	12.04.2023	20939	309
MORDAZAS REPARADAS	07.05.2023	21248	73
MORDAZAS ORIGINALES	24.05.2023	21321	71
MORDAZAS REPARADAS	05.06.2023	21392	217
MORDAZAS ORIGINALES	05.07.2023	21609	454
MORDAZAS REPARADAS	27.08.2023	22063	340
MORDAZAS REPARADAS	04.10,2023	22403	

Tabla 1 Duración de mordaza en perforadora 9234
Fuente: Elaboración propia

En la perforadora 9234, las mordazas originales promedian una duración de 149 horas máquina. La mayor duración de estas son 454 horas y en cambio la menor son 56 horas.



El uso de mordazas originales durante el 2022 ascendió a 24 unidades y en lo que va del 2023 se han utilizado 12 unidades lo que representa un 50% menos en comparación.

4.1.2 Tabla duración de mordazas en perforadora 9274

	FECHA DE INSTALACION	HOROMETRO	DURACION (HRS)
MORDAZAS ORIGINALES	30.03.2022	9610	590
MORDAZAS REPARADAS	10.05.2022	10200	106
MORDAZAS REPARADAS	23.05.2022	10306	75
MORDAZAS REPARADAS	07.06.2022	10381	257
MORDAZAS REPARADAS	20.06.2022	10638	120
MORDAZAS ORIGINALES	02.07.2022	10758	386
MORDAZAS REPARADAS	31.07.2022	11144	336
MORDAZAS REPARADAS	15.08.2022	11480	360
MORDAZAS ORIGINALES	25.09.2022	11840	72
MORDAZAS REPARADAS	01.10.2022	11912	248
MORDAZAS REPARADAS	16.10.2022	12160	195
MORDAZAS ORIGINALES	24.10.2022	12355	119
MORDAZAS REPARADAS	10.11.2022	12474	87
MORDAZAS REPARADAS	26.11.2022	12561	507
MORDAZAS REPARADAS	15.01.2023	13068	229
MORDAZAS ORIGINALES	01.02.2023	13297	160
MORDAZAS REPARADAS	17.02.2023	13457	70
MORDAZAS REPARADAS	03.03.2023	13527	217
MORDAZAS REPARADAS	31.03.2023	13744	114
MORDAZAS ORIGINALES	09.04.2023	13858	315
MORDAZAS REPARADAS	21.05.2023	14173	76
MORDAZAS REPARADAS	30.05.2023	14249	77
MORDAZAS REPARADAS	11.06.2023	14326	94
MORDAZAS REPARADAS	16.06.2023	14420	53
MORDAZAS ORIGINALES	23.06.2023	14473	374
MORDAZAS REPARADAS	03.08.2023	14847	

Tabla 2 Duración de mordaza en perforadora 9274
Fuente: Elaboración propia

En la perforadora 9274, las mordazas originales promedian 288 horas de vida útil. Siendo la mayor duración 590 horas y la menor duración de 72 horas. Durante el año 2022 se utilizaron 16 mordazas originales versus 12 unidades en lo que va del 2023 lo que representa un 25% menos.

4.1.3 Tabla duración de mordazas en perforadora 9275

	FECHA DE INSTALACION	HOROMETRO	DURACION (HRS)
MORDAZAS ORIGINALES	26.06.2022	8824	182
MORDAZAS ORIGINALES	15.07.2022	9006	372
MORDAZAS ORIGINALES	01.08.2022	9378	136
MORDAZAS REPARADAS	12.08.2022	9514	194
MORDAZAS REPARADAS	26.08.2022	9708	210
MORDAZAS REPARADAS	15.09.2022	9918	158
MORDAZAS REPARADAS	29.09.2022	10076	261
MORDAZAS REPARADAS	15.10.2022	10337	206
MORDAZAS ORIGINALES	26.10.2022	10543	182
MORDAZAS REPARADAS	10.11.2022	10725	224
MORDAZAS ORIGINALES	30.11.2022	10949	169
MORDAZAS ORIGINALES	16.12.2022	11118	375
MORDAZAS ORIGINALES	14.01.2023	11493	157
MORDAZAS ORIGINALES	29.01.2023	11650	102
MORDAZAS REPARADAS	08.02.2023	11752	247
MORDAZAS REPARADAS	04.03.2023	11999	205
MORDAZAS REPARADAS	26.03.2023	12204	177
MORDAZAS ORIGINALES	17.04.2023	12381	270
MORDAZAS REPARADAS	11.05.2023	12651	402
MORDAZAS REPARADAS	20.06.2023	13053	447
MORDAZAS REPARADAS	26.08.2023	13500	

Tabla 3 Duración de mordaza en perforadora 9275.
Fuente: Elaboración propia.

En la perforadora 9275, las mordazas originales promediaron 216 horas de vida útil, siendo la mayor duración de estas 375 horas de funcionamiento, y la menor duración en tanto fueron 102 horas. Esta perforadora se incorporó definitivamente a la faena a mediados del 2022 y durante la segunda mitad del 2022 utilizó 24 mordazas. En cambio, en lo que va del 2023 se han utilizado 12 unidades lo cual representa un 50% menos en comparación.

4.2 MÉTODO DE REPARACIÓN DE MORDAZAS

Lo que se propone en este trabajo de título es reparar las mordazas para extender su vida útil además de conseguir una reducción de costos en la adquisición de mordazas nuevas. Para este propósito se plantea la reparación de estas piezas mediante la soldadura al arco y recuperación de los botones de agarre de sus caras internas. Para ello se utilizarán varillas de Cobalt 6 de indura para soldadura al arco. Primeramente, se debe utilizar un electrodo de primalloy (inoxidable) de Lincoln, ya que la soldadura de Cobalt 6 no es capaz de adherirse al material base. Este electrodo de acero inoxidable crea una capa de agarre la cual permite que los electrodos para la formación de los botones de agarre de las mordazas puedan adherirse de forma correcta a la pieza.



Para comenzar se deberá limpiar completamente las mordazas desgastadas, eliminando impurezas y lo que resten de los botones de agarre. Se debe de conseguir una pieza totalmente lisa y limpia.



En caso de un daño excesivo en la mordaza, será necesario rellenar con soldadura para la recuperación geométrica de la pieza.



El paso siguiente es depositar el electrodo de acero inoxidable en un ángulo de 90°, el cual proporcionará la capa base para posteriormente utilizar el electrodo Cobalt 6 para reconstruir los botones de las mordazas. Para aplicar el electrodo de inoxidable bastara con la temperatura tomada por la pieza en el proceso de limpieza con esmeril angular.



Ahora la mordaza esta lista para la aplicación de la soldadura de cobalt 6 y la reconstrucción de los botones de agarre. Para este proceso no es necesario precalentar la pieza, ya que la temperatura luego de la soldadura de la capa de acero inoxidable ronda los 180 ° Celsius, los cuales serán suficientes para la correcta aplicación de los demás electrodos.



Para la creación de los botones de agarre se deberán realizar de 4 a 5 pasadas en ángulos de 90° hasta lograr la altura deseada, comprobando que los botones hagan contacto en la superficie de un adaptador corto (que tiene el diámetro de una barra) que esté disponible en taller, esto no tarda más de 5 segundos por pasada. Finalmente se deberá eliminar la escoria para posteriormente dejar enfriar a temperatura ambiente, si aceleramos el proceso de enfriamiento se crearán micro fisuras en la zona adyacente a la soldadura.



El resultado final se aprecia en la imagen.



4.3 **DESCRIPCIÓN ELECTRODOS A UTILIZAR**

Para la capa de agarre su utilizará un electrodo Lincoln PRIMALLOY E-316 L/16.

Características principales:

- Rutilo-Electrodo de acero inoxidable básico.
- Soldable en polaridad CA y DCEP.
- El revestimiento de fundente ofrece una excelente soldabilidad y una fácil eliminación de escoria.
- 2.5% Mo, agregado para proporcionar resistencia a la fluencia y mayor ductilidad a temperaturas elevadas.
- Bajo nivel de carbono de metal de soldadura, aumenta la resistencia a la corrosión intergranular.

Para la reconstrucción de los botones de las mordazas tenemos varillas de Cobalt 6 de indura el cual es una aleación base de cobalto, especialmente diseñada para piezas sometidas a una combinación de abrasión, desgaste metal-metal, altas temperaturas (500°C - 800°C y ocasionalmente 1100°C) y corrosión. La dureza y tenacidad de esta aleación extiende la vida útil de piezas sometidas a impacto fuerte y choques térmicos. Para obtener depósitos libres de grietas, se debe precalentar la pieza entre 150°C - 200°C y enfriarla lentamente después de soldar.

Dureza del metal depositado HRc

Recién soldado	38-46
500°C	31
600°C	27
700°C	25

4.4 DURACIÓN DE MORDAZAS REPARADAS

Las mordazas reparadas y utilizadas en la perforadora 9234 promedian 212 horas de funcionamiento. Lo que es un 46 % superior en comparación con el promedio de las mordazas originales. De estas, la mayor duración que presentaron en este equipo fue de 506 horas y la menor fue de 73 horas.

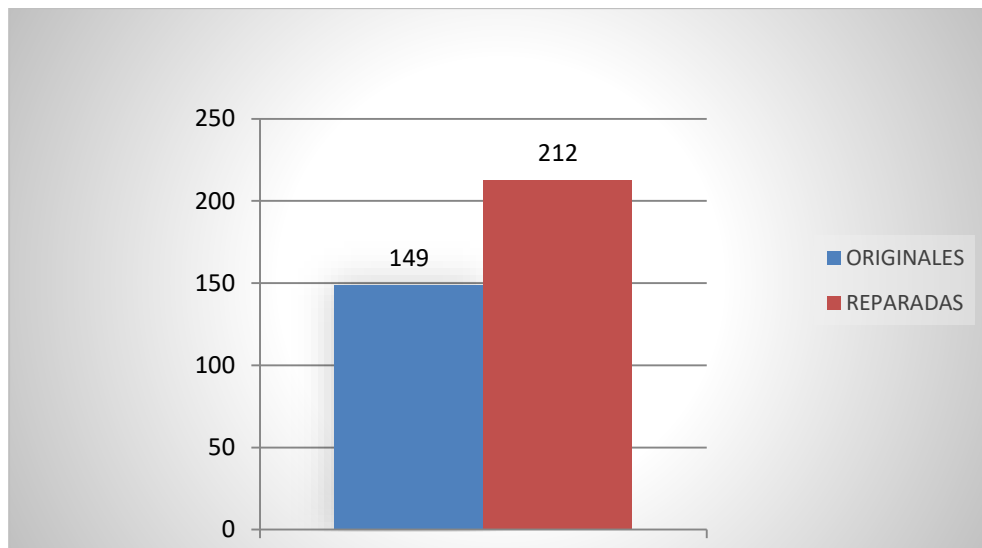


Gráfico 1 Promedio (hrs) de duración mordazas en perforadora 9243
Fuente: elaboración propia.

Las mordazas reparadas y utilizadas en la perforadora 9274, promedian una duración de 179 horas. Lo que representa una duración menor en un 38 % con respecto a las mordazas originales. Siendo la mayor duración 507 horas de operación y la menor de 70 horas.

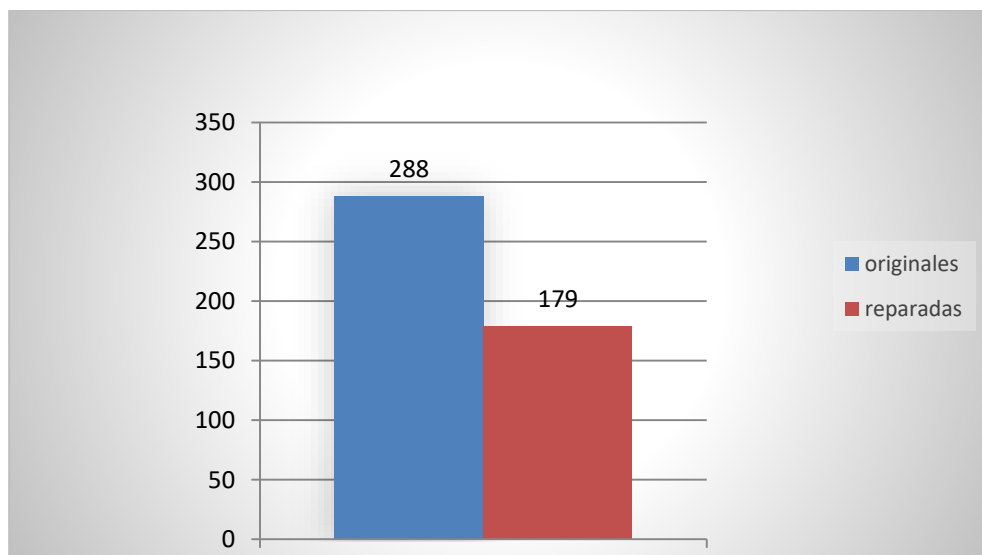


Gráfico 2 Promedio (hrs) de duración mordazas en perforadora 9274.
Fuente: Elaboración propia

Las mordazas reparadas y utilizadas en la perforadora 9275, promedian 248 horas de uso. Lo que representa un 16 % más con respecto a la duración de las mordazas originales. Presentando 447 horas de funcionamiento las de mayor duración y 158 horas las de menor duración.

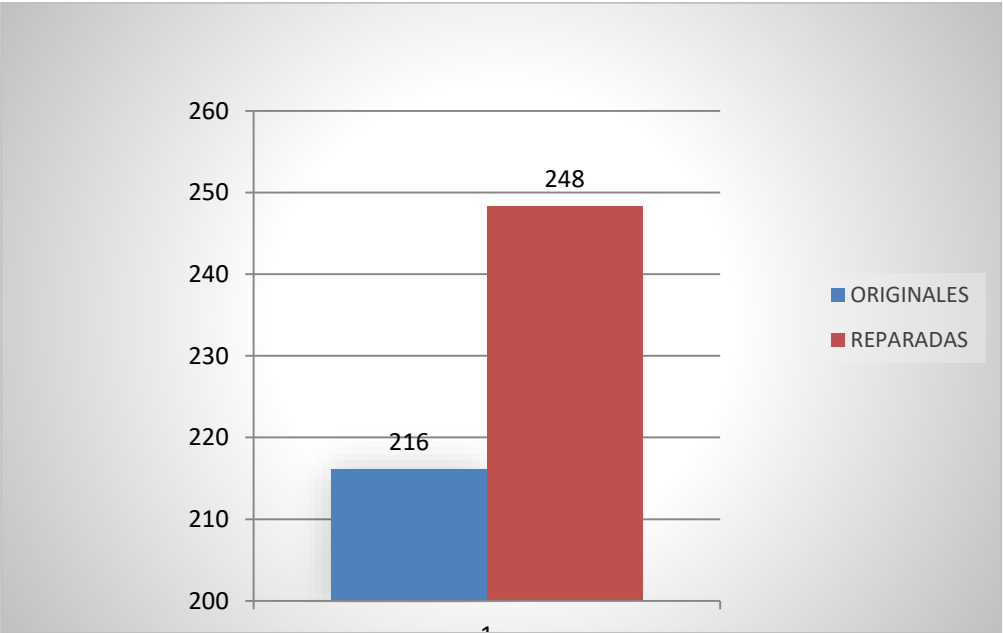


Gráfico 3 Promedio (hrs) de duración mordazas en perforadora 9275.
Fuente: Elaboración propia.

El promedio general de horas de duración del total de mordazas utilizadas en los 3 equipos nos da un resultado muy similar. Promediando 212 horas las mordazas originales y 207 horas las mordazas reparadas.

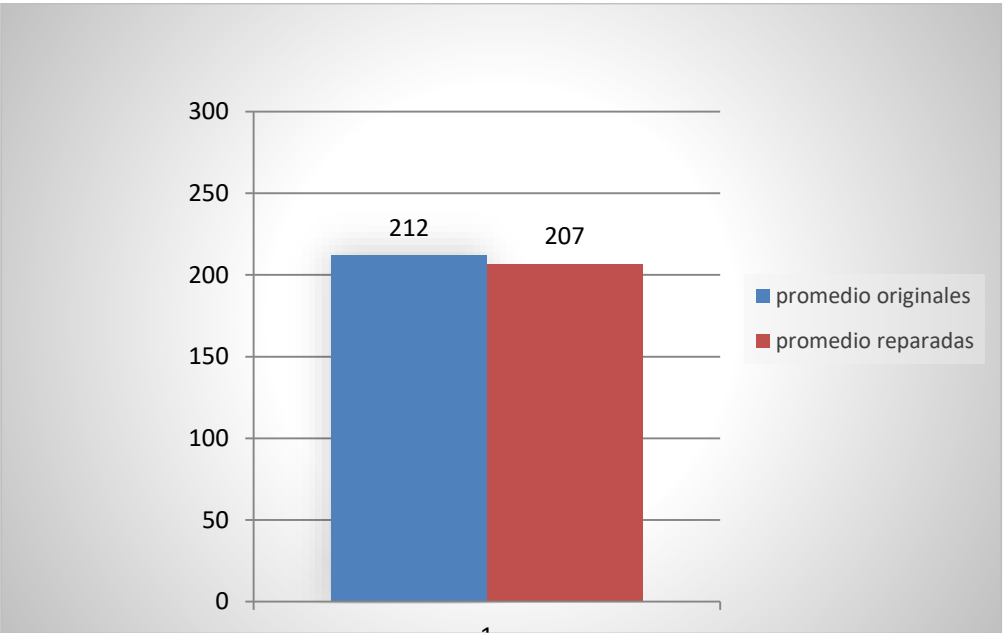


Gráfico 4 Promedio general duración de mordazas
Fuente: Elaboración propia

4.5 **FALLAS Y MEJORAS DEL PROCESO**

Una de las fallas que se ha encontrado es la disparidad de la duración de las mordazas reparadas, aunque pasa lo mismo con las originales, habiendo grandes diferencias en la duración de estas. Esto puede ser debido a que cada operador posee una manera distinta de operar la máquina. Siendo necesaria una instrucción hacia los operadores en la importancia del engrase de hilos de barras y en el propio uso de las mordazas. También puede influir en la disparidad de la duración de las mordazas el hecho de tener dos soldadores con distinta técnica y experiencia realizando esta tarea.

Otra falla son los problemas de stock de los proveedores de las varillas de soldadura, a mitad de este año Indura quedo sin stock en la varilla de Cobalt 6. Se debe de asegurar el stock de varillas o ver la opción de utilizar otro tipo de varillas de soldadura.

Como mejora podemos considerar soldar un número mayor de botones en comparación con las mordazas originales que traen una cantidad determinada, y así aumentar la superficie de agarre y facilitar el desenrosque de barras.

También, como mantenedores, debemos preocuparnos de la limpieza de las mordazas, ya que estas debido al proceso normal de perforación, se les acumula detritus en medio de los botones, lo que resta eficiencia a la hora de aplicar las mordazas. Esto nos ayudara a disminuir el desgaste de estas y así alargar su vida útil.

También como mejora debemos siempre trabajar en incrementar la duración de las mordazas. Mediante una buena mantención, operación y mejora en el proceso de reparación viendo también la posibilidad de explorar con otras varillas de soldaduras.

4.6 COSTO DE MORDAZAS ORIGINALES VS MORDAZAS REPARADAS

Durante el año 2022 se utilizaron 132 mordazas distribuidas en los 3 equipos presentes en faena. En lo que va del año 2023, en el cual hemos puesto un mayor énfasis en la reparación de estos componentes, se han utilizado 52 mordazas originales. Lo que representa un 61.7 % menos con respecto al año anterior.

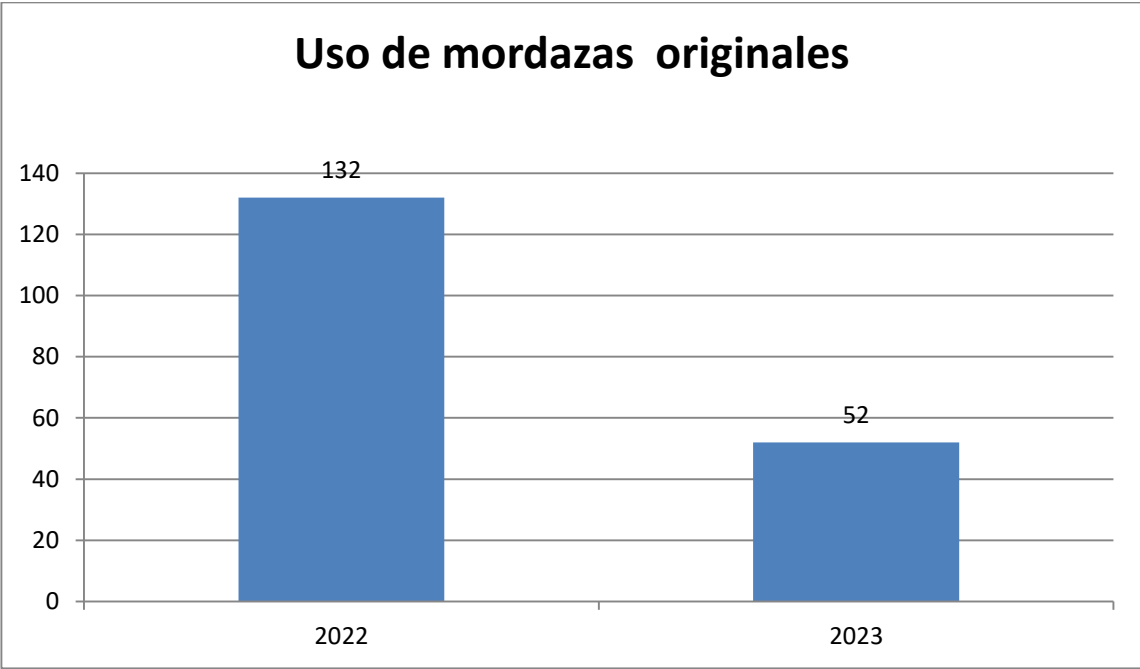


Gráfico 5 Uso de mordazas originales.
Fuente: Elaboración propia

4.6.1 Costos de mordazas originales

Se realizó una cotización a través de la empresa Supply Parts LLC, la cual nos envió lo siguiente:

Requested parts				Quotation from the supplier				
Model	Part No	Description	Qty	Available	Unit Price	Amount	Unit Weight	Condition
Atlas Copco	3222328551	Check New	1	1 pcs	\$1,300 CLP 824,005	\$1,300 CLP 824,005	0.00 kg	
				Amount:	\$1,300 CLP 824,005		0.00 kg	

Amount \$1,300 CLP 824,005



4.6.2 Costos de mordazas reparadas

Para cuantificar los costos que puedan generar la reparación de las mordazas, se deben considerar distintas informaciones que permitirán calcular los costos asociados a las reparaciones y mantenciones de las mordazas reparadas.

Además de la información dada por parte del soldador, quien nos indicó que un kilo de varillas de cobalt 6 son suficientes para reparar 50 mordazas y él es capaz de reparar 20 mordazas en el transcurso de una hora.

Costo del soldador por hora	
Sueldo [pesos]	\$1.200.000
Días laborales	15
Sueldo/día [pesos]	\$79.992
Horas laborales	12
Tiempo de reparación mordaza [HRS]	1
Costo del soldador [pesos]	\$6.666

Costo de materia prima	
Varilla de cobalto [Kg]	\$700.000
Varilla de inoxidable [Kg]	\$90.000

Costo reparación de 20 mordazas	
Varilla de cobalto	\$280.000
Varilla de inoxidable	\$36.000
Soldador	\$6.666
TOTAL	\$322.666

Costo de reparación de 1 mordaza	\$16.133
----------------------------------	----------

Los costos representados en las tablas anteriores, permiten poder analizar de forma generalizada de cuanto es el valor de la reparación de las mordazas. Los valores fueron obtenidos por la información dada de parte de los trabajadores y la empresa, permitiendo poder respaldarnos con la experiencia de cada uno de ellos.

Las tablas de costos apreciadas anteriormente, dan información ordenada, para no pasar por alto ningún tipo de dato que pueda favorecer la fabricación de dichas mordazas.

CONCLUSIONES

La perforación minera requiere de una variedad de maquinaria especializada para llevar a cabo esta tarea en diferentes etapas y entornos de la operación minera. La elección de la maquinaria adecuada, la ubicación estratégica de las perforadoras y el cumplimiento de los estándares de seguridad son aspectos esenciales para lograr una perforación eficiente y segura en la industria minera.

La reparación de las mordazas es una gran oportunidad para la empresa, que permite poder a sus trabajadores, tanto como operarios y mecánicos, realizar una mantención y reparación más rápida obteniendo menos tiempos muertos para la empresa, ya que no será necesario esperar repuestos, aumentando la producción y reduciendo los costos de mordazas originales.

La durabilidad de las mordazas originales y reparadas es prácticamente idéntica en promedio, siendo de 212 horas y 207 horas respectivamente, lo cual no es suficiente para decantarnos por el uso de una u otra. En cuanto a la parte económica la diferencia es abismal. Una mordaza original le está costando a la empresa \$824.000 pesos chilenos en cambio la reparación de una mordaza cuesta \$16.133 pesos chilenos Permitiendo poder respaldar la investigación de mantención a los equipos de perforación.

En el año 2022 la empresa adquirió 132 mordazas lo que se traduce en a \$108.768.000 pesos chilenos. En lo que va del 2023 se adquirieron 52 unidades las cuales representan \$42.848.000 pesos chilenos. Una diferencia de \$65.920.000 de pesos en la comparación de ambos años.

Además, estamos alargando la vida útil del material base de la mordaza, el cual después de sus horas de funcionamiento se estaba yendo a la basura. Ahora, aun no cuantificamos cuantas veces podemos reutilizar este material, de esta manera, se contribuye a una mejor optimización de recursos y de las emisiones asociadas a estos.

BIBLIOGRAFÍA

- Chile, C. (2019). *Extracción*. Obtenido de https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109005109/extraccion_media_t_cnico_060119.pdf
- Codelco. (2018). *Extraccion de cobre*. Obtenido de <https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/extraccion.html>
- Drilling, E. (11 de Marzo de 2019). *Métodos de Perforación minera*. Obtenido de <https://apexploredrilling.com/metodos-de-perforacion-minera/>
- Energética, A. d. (2006). *Perforación*. Obtenido de <https://www.energiaenmineria.cl/procesos/perforacion/>
- Energética, A. d. (2009). *Tronadura*. Obtenido de <https://www.energiaenmineria.cl/procesos/tronadura/>
- Lima, C. (2023). *Perforadoras en Minería: Equipos, Tipos, Máquinas*. Obtenido de <https://grupocasalima.com/blog/mineria/perforadoras-en-mineria-equipos-tipos-maquinas/>
- Minera, S. (19 de Octubre de 2017). *Perforación minera: tipos, clases de maquinaria y ubicación de taladros*. Obtenido de <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/perforacion-minera-tipos-clases-de-maquinaria-y-ubicacion-de-taladros/>
- Procedimiento con equipo de perforación PRC-TNVS-4001-003*. Obtenido de <https://cdn.flow.page/images/d6db76af-b249-4858-ac2c-2815509e2acb-pdf?m=1640351451>
- Manual de partes perforadora flexiroc D65. Número de manual 8992 0112 92.*
- Descripción de sistemas perforadora flexiroc D65. Número de manual 9853 1156 01d.*
- Instrucciones de funcionamiento perforadoras Flexiroc D65. Numero de manual 9852 2912 05.*