CCM
CONSEJO DE COMPETENCIAS MINERAS

Cuaderno del Instructor
Asistente de Geología y Sondaje
Módulo VI: Procedimiento de perforación y sondaje por medio de Aire Reverso
PFPSO-2-01/v.2 [PE01-M06/v.1]

Una iniciativa de:

CONSEJO MINERO

Con la asesoría experta de:

Innovum | FCH FUNDACIÓN CHILE

Equipo Consejo Minero

Joaquín Villarino H., Presidente Ejecutivo
Carlos Urenda A., Gerente General
Christian Schnettler R., Gerente Consejo de Competencias Mineras
José Tomás Morel L., Gerente de Estudios
María Cecilia Valdés V., Gerente de Comunicaciones
Sofía Moreno C., Gerente de Comisiones y Asuntos Internacionales
Claudia Díaz R., Jefe de Proyectos

Equipo Innovum Fundación Chile

Hernán Araneda D., Gerente
Diego Richard M., Director Programa Fuerza Laboral Minera
Rafael Pizarro G., Director de Proyectos
Eduardo Soto S., Consultor Senior
Ignacio Riffo C., Consultor Senior.
Álvaro Aguilar H., Consultor de Proyectos

Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

Propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero:

Este material ha sido realizado por el Centro de Innovación en Capital Humano de Fundación Chile - Innovum, con la colaboración técnica del Centro de Entrenamiento Industrial y Minero - CEIM, para el Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero - del cual pasa a ser propiedad -.

Este material está disponible para instituciones que imparten formación en el ámbito minero en Chile, a las que se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos de este material para fines de formación, citando siempre al Consejo de Competencias Mineras del Consejo Minero y pudiendo incluso adaptarlo para satisfacer los requerimientos de los participantes. Se prohíbe la reproducción o adaptación con fines comerciales.

El uso del género masculino en esta publicación no constituye discriminación; tiene el sólo propósito de aligerar el texto cuando la redacción así lo exige.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS
QUEDA AUTORIZADA SU REPRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN CITANDO LA FUENTE.

© Anglo American Norte S.A., Anglo American Sur S.A., Anglo American Chile Ltda.; Antofagasta Minerals S.A.; BHP Chile Inc.; Compañía Minera Barrick Chile Ltda.; Compañía Minera Cerro Colorado Ltda., Minera Escondida Ltda., Minera Spence S.A.; Compañía Minera Zaldívar Ltda.; Corporación Nacional del Cobre de Chile; Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM; Compañía Contractual Minera Candelaria, Sociedad Contractual Minera El Abra; Freeport-McMoran South America Inc.; Glencore Chile S.A.; SCM Minera Lumina Cooper Chile; Sierra Gorda SCM; Teck Resources Chile Ltda.; Yamana Chile Servicios Ltda.; 2013.

Consejo de Competencias Mineras – CCM:

El Consejo de Competencias Mineras (CCM) es una iniciativa de articulación entre las empresas mineras, cuyo fin es proveer información sectorial, estándares y herramientas que permitan al mundo formativo adecuar la formación de técnicos a la demanda del mercado laboral minero, tanto en términos cualitativos como cuantitativos. Con la asesoría experta de Innovum Fundación Chile, este organismo genera, con un enfoque sistémico, insumos para el mundo formativo, dando a conocer qué necesidades de capital humano tiene la minería y transfiriendo buenas prácticas para su formación.

El Consejo de Competencias Mineras – el primero de su naturaleza en el país – opera al alero del Consejo Minero. Fue formado en 2012 y cuenta con 12 empresas socias. A tres años de su creación, el CCM ha desarrollado una serie de productos y sistemas que han marcado un cambio de paradigma en la vinculación del mundo productivo con el de la formación para el trabajo, y han significado un aporte de fondo para el mejoramiento y la valoración de la educación técnico-profesional en el país, con un alcance que trasciende ampliamente a la sola industria minera.

Los Paquetes para Entrenamiento, son uno de estos productos. Se han creado además: Estudios de Fuerza Laboral, El Marco de Cualificaciones para la Minería (MCM), Marco de Calidad de Buenas Prácticas Formativas, Marco de Calidad para Instructores e impulsamos el apoyo sectorial al Sistema de Certificación de Competencias Laborales.

Si bien el Consejo de Competencias Mineras es una entidad privada, sus productos están concebidos como bienes públicos y gratuitos, de valor compartido para todos los estamentos de la sociedad en Chile. Toda la información y los productos generados por el CCM, además de un breve video explicativo, están disponibles en el sitio web: www.ccm.cl

El desafío que ahora enfrenta el CCM es que, tanto el mundo formativo como el minero, incorporen los estándares generados a sus procesos de negocio y a su quehacer diario. Esto generará una fuerza laboral más productiva y, por ende, mayor competitividad del país en el contexto internacional.

Contribución del CCM

Para trabajadores actuales y personas interesadas en trabajar en la minería:

- Mejor empleabilidad.
- Aprendizaje adecuado a los requerimientos del mercado.
- Acceso no sólo a un oficio, sino a rutas de formación y aprendizaje.

Para el sector minero:

- Mitigación de la escasez de personal, anticipándose al problema de manera coordinada y con visión de futuro.
- Mejora de productividad, al contar con más trabajadores preparados para los requerimientos de la industria, tanto propios como de proveedores.
- Mayor competitividad de esta industria, que repercute positivamente también en la competitividad del país.

Para las instituciones educacionales:

- Mejor empleabilidad de sus egresados.
- Mejor información proyectada a 8 a 10 años, para potenciar programas formativos en los oficios para los cuales se anticipa una mayor brecha de capital humano.
- Oportunidad para el reconocimiento de la industria respecto a su calidad formativa.

Para la comunidad y el país:

- Asignación más eficiente de fondos públicos de educación y capacitación, al tener identificados programas adecuados para satisfacer requerimientos del mercado.
- Disminución de la presión que se ejerce sobre otros sectores productivos por la demanda de trabajadores, al aumentar la cantidad de personas calificadas para la minería.

Índice

Descripción del documento 7

Módulo VI: Procedimiento de perforación y sondaje por medio de Aire Reverso 8

1. Operación de perforación y sondaje mediante Aire Reverso. 9

1.1. Configuración y chequeo de herramientas y equipos de perforación 9

1.2. Operación 25

1.3. Cambio y mantenimiento de herramientas de sondaje 28

1.4. Problemas Frecuentes 45

Actividad N° 1 46

Descripción del documento

El Cuaderno del instructor contiene la totalidad de los contenidos a utilizar por el instructor para el desarrollo del módulo 6 del programa de formación de Asistente de Geología y Sondaje.

El instructor, podrá, además, sugerir actividades como las que se listan a continuación:

- Charlas y/o reflexiones de seguridad.
- Discusiones o foros de debate.
- Reforzamientos.
- Actividades en terreno.
- Preparación para la evaluación final

Específicamente para las actividades relacionadas a tecnologías de comunicación audiovisual se entregarán links a modo referencial, sin embargo el instructor tendrá la libertad de utilizar los recursos que estime conveniente a fin de lograr los requerimientos de la actividad.

Todo el material es susceptible de ser mejorado, adaptado o modificado en función de las características del grupo con el que se trabaje. Por ello se ha diseñado desde un enfoque flexible, que permite al instructor agregar recursos que enriquezcan algún contenido o posibilitar el aporte de los participantes, cuidando siempre de lograr los aprendizajes esperados de cada módulo.

Respecto a las evaluaciones se sugiere que éstas sean elaboradas por el instructor de acuerdo a los siguientes lineamientos:
La evaluación de los módulos y sus contenidos debe estar compuesta por a lo menos 10 preguntas, las cuales deben ser extraídas del documento “Instrumento de evaluación de proceso”.
Cada pregunta será evaluada con puntajes entre 0 y 10.La escala de calificación será de 0 a 100%. Considerando el 0% cuando el participante no tiene respuestas correctas y el 100% cuando posee la totalidad de respuestas buenas.

La nota de aprobación de las evaluaciones de los distintos módulos corresponderá a un 75%.

Módulo VI: Procedimiento de perforación y sondaje por medio de Aire Reverso

1. Operación de perforación y sondaje mediante Aire Reverso.

1.1. Configuración y chequeo de herramientas y equipos de perforación

Soporte del proceso de perforación

Brocas de perforación

La broca es la parte que perfora el agujero. Básicamente, hay tres tipos de brocas:

- Brocas de arrastre.
- Cuchilla giratoria o broca tricónica.
- Broca de diamante.

El tipo más común es la cuchilla giratoria. La broca de diamante se usa comúnmente en formaciones (de terreno) duras.

Para saber cuál equipo de perforación y cuáles herramientas usar en una faena, se realizan estudios geológicos con anterioridad. La elección de la broca depende de varios factores. Uno es el tipo de formación a perforar: si es dura, blanda, medianamente dura o medianamente blanda.

Brocas de arrastre

En el caso de rocas blandas, se suele usar una bomba de flujo alto con rotación rápida. Las brocas de arrastre son herramientas de perforación especialmente diseñadas para este tipo de suelo, particularmente, para perforación de pozos de agua y fundaciones de herramientas "perdidas". Las brocas de arrastre permiten que los restos se extraigan a una tasa alta y se retiren rápidamente.

Figura 1

broca de arrastre

Las brocas de arrastre se usan con menos frecuencia que las tricónicas, aunque es un tipo muy básico de herramienta de perforación. Están fabricadas con tres hojas montadas sobre los brazos de la parte. Estas brocas tienen hojas en V para suelos principalmente de margas, y son escalonadas para suelos más duros (piedra caliza).

A diferencia de los triconos, las brocas de arrastre no tienen un rodamiento, lo que les brinda una velocidad rotatoria más alta. Por otro lado, ya que las brocas de arrastre cubren un área mayor, los riesgos de rotura pueden ser más frecuentes. Si bien sus hojas son de acero reforzadas con brocas de carburo, son relativamente frágiles.

El grosor, diámetro y peso de las brocas de arrastre varía según el fabricante.

Estas brocas se usan para suelos y otros materiales no consolidados. Las hojas están diseñadas para cortar la formación con una acción de tallado o raspado. Las brocas de arrastre pueden tener dientes de varias hojas, de acero endurecido en forma de dedos o pueden tener bordes cortantes conectados y reforzados con carburo.

Diseño de la broca. Las brocas giratorias están diseñadas para cortar tipos específicos de material. Elija la broca según la formación anticipada y las instrucciones de la obra. En una obra de perforación, hay brocas giratorias o de arrastre disponibles. Normalmente, usará brocas de arrastre para comenzar un agujero de perforación en materiales no consolidados de recubrimiento. Estas brocas se usan para roca dura, mediana y blanda, y son parte de la plataforma de perforación. Al perforar roca blanda, usar una broca mediana de roca blanda. En roca muy dura, detener la perforación rotatoria de lodo. Instalar carcasas en las capas de roca y usar un martillo de aire.

La broca tricónica

La broca tricónica, o cabezal de perforación, es la herramienta de perforación más usada. Se fija al extremo inferior de los collares de perforación, que a su vez se fijan a las tuberías de perforación, que se accionan por el movimiento de rotación de la mesa giratoria. Esta herramienta puede perforar varios tipos de diferentes estructuras de roca. Por este motivo, son las que más se usan.

Las brocas tricónicas son ensamblajes de tres conos rotatorios que cortan la roca mediante su acción rotatoria. Los conos tienen puntas largas o cortas, dependiendo de la resistencia o dureza de la roca, y dientes para la roca más blanda. Las puntas están hechas de carburo de tungsteno para la roca más dura. La eficacia de una broca tricónica depende de su capacidad para triturar la roca y retirar los trozos. Por lo tanto, funciona mediante percusión, penetración y extracción.

La broca tricónica tiene tres brazos mecanizados de acero, cada uno con un muñón. Cada uno de los tres conos se monta en el muñón en cada brazo. El muñón permite que la pieza gire libremente. Un pequeño canal se taladra en los brazos de la herramienta para proporcionar grasa que lubrique las bolas. Estas están limitadas en cada brazo de la broca tricónica.

Existen tres tipos de rodamientos:

- Rodamientos estándares de bola y de rodillos sin grasa
- Rodamiento sellado con bolas y rodillos, con grasa
- Rodamiento lisos sellados con grasa

Estas brocas son más adecuadas para materiales quebradizos o friables. La tricónica con dientes de acero molido en las superficies. La ubicación de los dientes está diseñada para que a medida que el cono rote, cada diente golpee el fondo del agujero en una ubicación diferente. El fluido de perforación se inyecta en cada rodillo para limpiarlo y enfriarlo. La acción de corte es un triturado progresivo bajo la carga concentrada de cada diente. Las cuchillas giratorias están diseñadas para roca, suelo pedregoso (grava), y las formaciones blandas (esquistos) tienen dientes más pequeños y más fuertes. El calibre de los dientes diseñados para roca muy dura, están reforzados con redes. Para formaciones extremadamente duras, los dientes fresados se reemplazan con botones conectados de carburo.

Figura 2

broca tricónica

Evaluación de la broca

Es importante mantener registros cuidadosos del rendimiento de cada broca para futuras referencias. Las brocas se desgastan con la abrasión y los golpes durante la perforación. El patrón de desgaste es importante y se debe inspeccionar después de extraer la broca. Su calificación se debe registrar. Estos registros indican la vida útil de la broca y ayudan a seleccionar el tipo de broca que puede proporcionar más eficacia en una formación determinada. La cantidad de desgaste en los dientes, rodamientos y el indicador se registran según un sistema de codificación especial.

Brocas de martillo de fondo DTH

La interfaz de corte de las brocas de martillo de fondo DTH está cargada con carburo de tungsteno de alta calidad, que es un material extremadamente duro. Ya que estas brocas funcionan con presión de aire, es importante usar la presión recomendada al perforar con martillo. Las brocas para martillo de fondo vienen con una amplia gama de estilos de carburo. Cuanto más afilada sea la punta, más blanda será la formación para la que se usa. Los diferentes estilos de carburos en la cara del martillo incluyen domo, cono y insertos de carburo de tungsteno balísticos, que se ajustan a presión en la broca DTH.

Las brocas de martillo vienen en cuatro estilos principales:

1. Broca de martillo de cara plana

Son excelentes para perforar formaciones medianas a duras. Estas brocas mantienen la rectitud promedio del agujero, pero tienen una excelente tasa de perforación.

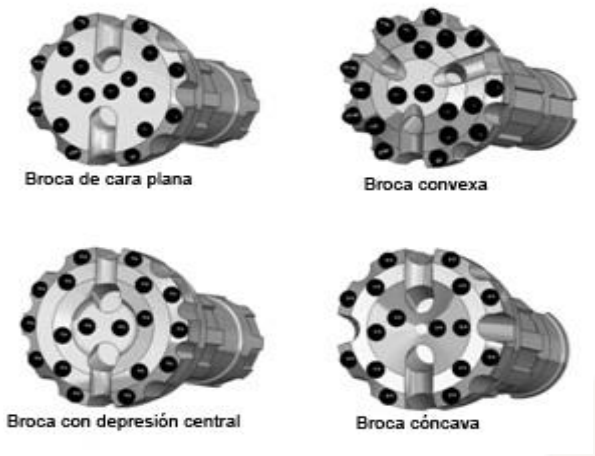


Figura 3

Hammer drill bits

2. Brocas de martillo convexas

Las formaciones medianas a duras no son un problema para esta broca de martillo DTH. La broca DTH mantiene la rectitud promedio del agujero, pero perfora a una excelente velocidad.

3. Broca de martillo de centro hundido

Estas brocas DTH son excelentes para perforar formaciones medianas a duras. Tienen una excelente rectitud del agujero con una tasa promedio de penetración.

4. Broca de martillo cóncava

Son ideales para perforar formaciones medianas a duras. Estas brocas de martillo DTH mantienen un agujero extremadamente derecho con una tasa promedio de penetración.

Cómo afilar las brocas de perforación

Deberá usar un esmeril angular para afilar algunos tipos de broca.

La inspección de brocas–Los insertos de carburo se deben afilar cuando los botones muestren superficies planas equivalentes a 1/3 del diámetro del inserto. Sin embargo, recordar que usar esmeriles angulares puede ser muy peligroso. Siempre usar gafas de seguridad y un protector para todo el rostro para proteger cara y ojos.

Máquinas para pulir y afilar

Las operaciones de pulido y afilado se usan para preparar o terminar muchos productos. Hay muchos tipos diferentes de máquinas disponibles. Sin embargo, sus principios de operación son similares.

Herramientas portátiles para pulir/afilar

Un esmeril portátil posee una rueda reforzada no flexible o una muela. Esta puede rotar a velocidades entre 3.000 y 48.000 rpm.

Los tres tipos básicos son:

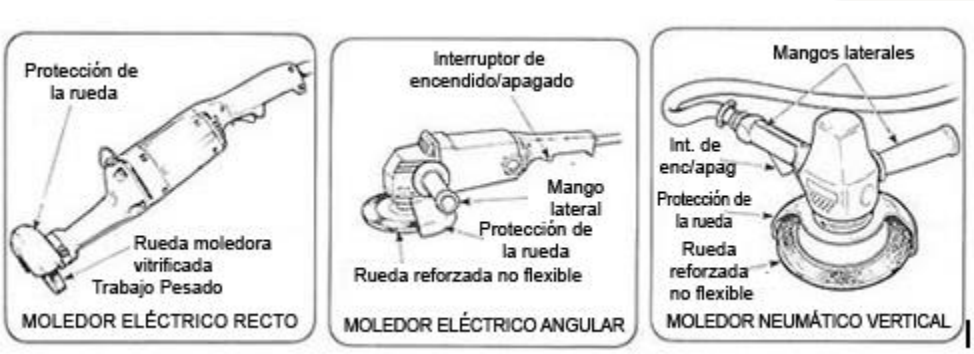


Figura 4

Esmeriles angulares

Los esmeriles angulares son similares a una lijadora de disco, pero la diferencia es que tienen una rueda reforzada no flexible montada en el eje de impulso.

Figura 5

Los esmeriles angulares se utilizan para:

- Retirar depósitos de cordones de soldadura;
- Cortar paneles de acero blando;
- Eliminar soportes soldados.

Esto la hace particularmente útil para moler en áreas incómodas. También se puede usar para limpiar pequeñas abolladuras en las láminas antes de rellenarlas.

Al usar esmeriles angulares

- Revisar que el cable y el enchufe no estén dañados.
- Revisar que el esmeril no esté dañado.

- Revisar que el cable tenga un certificado de prueba válido.
- No usar discos de corte para moler ni aplicar presión lateral. Tener cuidado de no permitir que las chispas entren en contacto con materiales inflamables u otras personas.

Barras/tubos de perforación

A veces, las barras se llaman tubos de perforación y tienen dos extremos: el macho y el lado hembra. Generalmente, las barras se levantan desde el extremo hembra. Cuando las barras se conectan en el agujero, se les llama "varillaje de perforación".

El tubo de perforación se fabrica en diferentes tamaños y longitudes con diversos tipos de juntas o acoplamientos. Un extremo, llamado macho, tiene una rosca cónica en V modificada. El otro extremo, el extremo hembra, tiene una rosca interna que coincide. A medida que se agregan las longitudes del tubo, el extremo macho de una junta se conecta con el extremo hembra de la otra.

Las barras son muy pesadas, y sus extremos pueden ser afilados. Debe usar técnicas especiales, equipo de elevación y equipo de protección personal (EPP) al manipular las barras para evitar aplastar o cortar los dedos, o que las barras caigan sobre los pies.

Las barras de perforación son un componente esencial en las operaciones de perforación, ya que conectan la plataforma de perforación con el borde cortante. Existe una amplia gama de barras de perforación en la industria, que van desde barras de diamante hasta barras API para su uso en todos los sectores de perforación.

Siempre usar guantes de cuero y botas con punta de acero, además de la técnica adecuada de manipulación.

No intente levantar una barra larga y pesada sin ayuda de equipos u otra persona: podría hacerse daño.

El conjunto de perforación

La columna de perforación es una parte importante del proceso de perforación rotativa. Es la conexión entre el equipo y la broca. Si bien la columna de perforación suele ser una fuente de problemas, como erosión, faltas de presión en las roscas y fallas debido a colapso, casi nunca están diseñadas para evitarlos. En muchos casos, unos pocos minutos de trabajo en el diseño podrían evitar la mayoría de los problemas.

Propósitos y componentes:

La columna de perforación cumple varias funciones generales, entre ellas:

- Proporcionar un conducto de fluido desde el equipo a la broca.
- Impartir moción rotatoria a la broca de perforación.
- Permitir que el peso se aloje en la broca.
- Bajar y subir la broca en el pozo.

Además, puede realizar algunos de los siguientes servicios especializados:

a) Proporcionar estabilidad al ensamblaje del fondo del agujero para minimizar la vibración y los saltos de la broca,
b) Permitir pruebas de fluido y presión de la formación a través de la columna de perforación.

La columna de perforación consiste principalmente del tubo de perforación y el ensamblaje de fondo de pozo. La sección del tubo de perforación contiene un tubo de perforación convencional, un tubo de gran peso y, a veces, un escariador. El ensamblaje de fondo de pozo puede contener los siguientes elementos:

- Collares de perforación (diversos tipos y tamaños) - estabilizadores-tijeras-escariadores-resortes amortiguadores-broca y conector de la broca.
- Las herramientas especiales en el ensamblaje de fondo de pozo o el tubo de perforación pueden incluir herramientas de supervisión durante la perforación, herramientas para pruebas de presión de fondo de pozo y cestas de desperdicios.

Ya que las barras de perforación están sujetas a tensiones altas por torsión, las roscas se deben limpiar cuidadosamente y lubricarse antes de atornillar cada junta. El lubricante está disponible de diversos fabricantes y ayuda a evitar que las juntas se aprieten demasiado o se agripen.

Cómo agregar una barra nueva a la columna de perforación

Para agregar una barra nueva a la columna de perforación, primero debe preparar la barra nueva.

Para esto, se debe:

- Limpiar las roscas con un paño y/o un cepillo de alambre.
- Engrasar las roscas.
- Revisar que la barra esté derecha y no tenga abolladuras ni grietas.
- Limar las imperfecciones de acero.

El resto del proceso difiere según el tipo de equipo de manipulación de barras que tenga.

Collar de perforación

El collar de perforación es una junta o un tubo de paredes gruesas, que suele usarse justo sobre la broca en la columna de perforación. Proporciona peso adicional justo sobre la broca. Este peso extra en el extremo inferior de la columna ayuda a mantener el pozo uniforme y derecho. El diámetro externo del collar es mayor que el del tubo de perforación, pero lo suficientemente pequeño para despejar la pared del agujero. El espacio anular restante debe permitir un volumen suficiente para una herramienta pescante en caso que la columna de perforación deje de rotar.

Los collares de perforación son los principales componentes del ensamblaje de fondo de pozo.

Figura 6

Collar de perforación. Los collares de perforación de pared gruesa (a la derecha de la foto) brindan peso a la broca para perforar. En el extremo izquierdo se muestra un tubo de perforación común.

Algunas de las funciones de los collares son:

- Proporcionar peso para la broca.
- Proporcionar la fuerza necesaria para funcionar en compresión.
- Minimizar los problemas de estabilidad de la broca debido a vibraciones, tambaleos y saltos.
- Minimizar problemas de control direccional al brindar rigidez.

Conectores

Los conectores se usan para conectar los diversos componentes de toda la columna de perforación, desde la broca hasta el cabezal giratorio. Proporcionan una variedad de funciones, como cambiar de una forma de rosca a otra (conectores de acoplamiento) o reducir el desgaste de las roscas de los componentes (conectores de protección para roscas).

Una junta sustituta de cruce, también denominada conector, es un adaptador para conectar dos (2) componentes cuando sus roscas no coinciden. A veces, es necesario combinar dos (2) conectores para realizar la conexión. Una unión especial, llamada unión de Kelly, se usa en el extremo macho de la transmisión Kelly para que esta no se desgaste de forma innecesaria. Se debe usar la menor cantidad posible de conexiones sustitutas en la columna de perforación porque la mayoría de las fallas del tubo ocurren en las juntas. Las juntas se deben atornillar fuertemente.

Conector recto de diámetro externo

Este conector se usa para unir los componentes de la plataforma de perforación que tienen un diámetro externo similar. La broca, las herramientas de fondo, el tubo de perforación de gran peso y el tubo de perforación se pueden unir con este tipo de conector.

Conector de sección reducida

La aplicación de este conector es unir los componentes de la plataforma de perforación que tienen diferentes diámetros, garantizando el cambio de sección necesario para acomodar diferentes conexiones. Este conector se debe usar para conectar herramientas de perforación de diámetro externo grandes o una columna de perforación de collar cónico.

Conector de protección

Este conector se utiliza para alargar la vida útil de la transmisión kelly al tomar la conexión de desgaste cada vez que esté atornillada a un componente de la plataforma de perforación. La conexión del conector de protección se sacrifica porque se puede reparar fácilmente o reemplazar a un costo bajo. El conector de protección se puede equipar con un protector de goma para reducir el desgaste del equipo y la carcasa que resulta del daño por contacto con la conexión Kelly inferior.

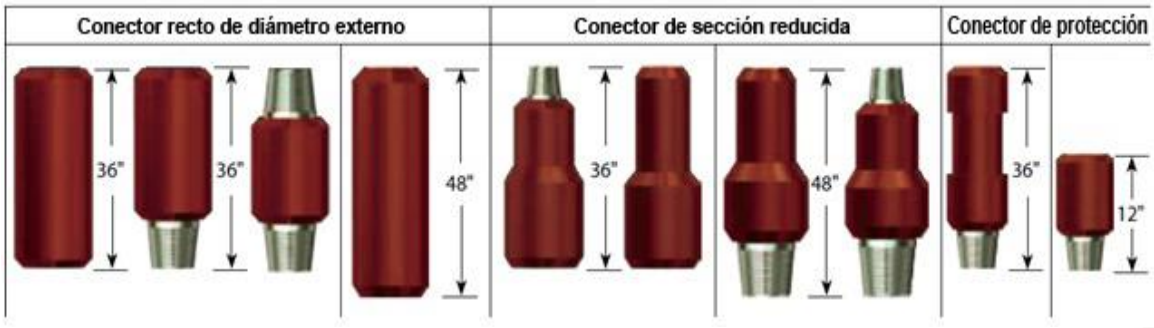


Figura 7

tipos de conectores

Estabilizadores escariadores

El uso de estabilizadores escariadores brinda el pozo más limpio y recto, ya que el escariador estabiliza o centraliza la broca y la columna de perforación en el pozo. La desalineación paralela está causada por el uso de tubos y collares pequeños de perforación (en relación con el tamaño del agujero) y NINGUNA estabilización. La broca se puede alejar del centro hasta que el diámetro externo de la columna de perforación toque la pared del pozo. Además de los problemas relacionados con registrar, aplicar carcasa, cementar, completar y probar, la vida útil de la broca se reduce drásticamente y la tasa de penetración es más lenta, ya que se desarrollan anillos de fondo no cortado debido a la perforación fuera del centro. Para obtener mejores resultados, los estabilizadores deben tener entre 3 mm y 6mm (1/8 de pulgada y ¼ de pulgada) menos de diámetro que la broca.

Figura 8

El primer estabilizador se debe colocar lo más cerca posible detrás de la broca, y el segundo debe seguir al primer o segundo collar rígido de perforación.

Barra Kelly rotatoria

La barra Kelly rotatoria es una de las piezas de equipo que más se usan en muchos de los equipos de perforación en el mundo. Cuando es necesario transmitir la energía de torsión de la mesa giratoria a la columna de perforación y luego al fondo del pozo, esta pieza importante se utilizar para esta función.

La barra Kelly rotatoria es una larga barra de acero cuadrada o hexagonal con un agujero perforado en el medio para permitir el paso de fluido. Se utiliza para transmitir el movimiento rotativo de la mesa giratoria o los bujes de punta kelly a la columna de perforación, a la vez que permite que la columna se alce o se baje durante la rotación. La Kelly pasa por los bujes de punta Kelly, que son accionados por la mesa giratoria. Los bujes de punta Kelly tienen un perfil interno que coincide con el perfil externo de la Kelly (cuadrada o hexagonal), pero con dimensiones levemente mayores para que la Kelly pueda moverse libremente hacia arriba y abajo dentro.

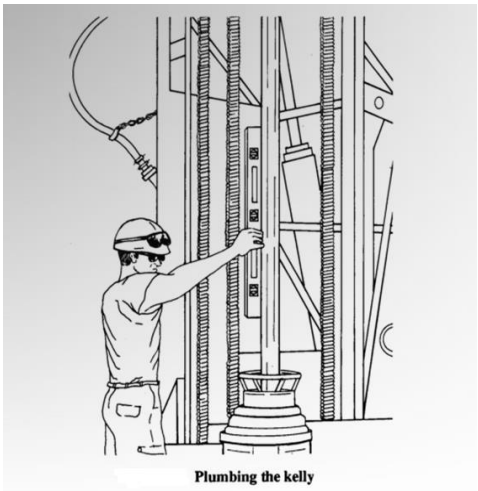


Figura 9

Kelly rotatoria

Soporte giratorio

El soporte giratorio se utiliza para hacer circular fluido al tubo de perforación rotatorio y para suspender el tubo de perforación en el agujero. Consiste de un cuerpo con muñones, a los que se ajusta el asa de soporte, y está equipado con una unidad de embalaje que evita fugas en el punto de contacto entre las partes rotatorias y las partes fijas.

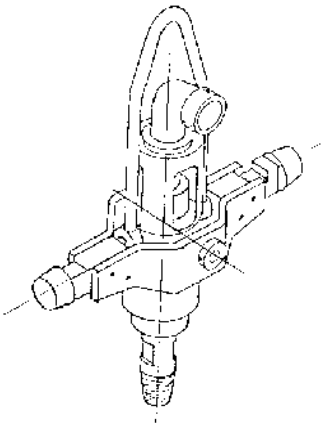


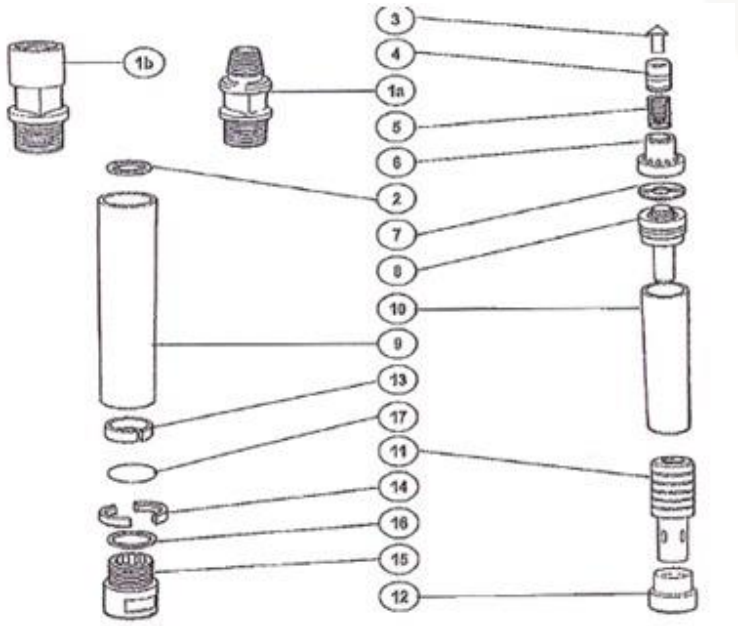
Figura 10

Soporte giratorio

Cómo cambiar las brocas de un martillo de fondo

Todos los martillos se deben desmontar e inspeccionar con frecuencia para comprobar que no estén dañados o desgastados. La frecuencia de la inspección depende de las condiciones de perforación. Cuando se usan para perforaciones estándares en seco (poca o nada de agua), una inspección cada 175-200 horas es suficiente.

Prestar especial atención a la operación del martillo. Es una herramienta pesada, y puede herir a alguien o dañarse si se deja caer. Mantener un área limpia al mover el martillo. No exceda las limitaciones sugeridas para su uso. Siempre usar las herramientas apropiadas para montar y desmontar. No improvisar. Esto garantizará que el martillo funcione de manera eficaz durante mucho tiempo. La seguridad empieza por la ropa.



N° de Artículo	Nombre de la parte	N° de Artículo	Nombre de la parte
1	Conector superior	10	Cilindro
2	Junta tórica (Conector superior)	11	Pistón
3	Tapón	12	Rodamiento
4	Válvula de retención	13	Espaciador
5	Resorte	14	Contenedor de broca
6	Caja de válvula	15	Conector de accionamiento
7	Válvula principal	16	Sello
8	Asiento de la válvula	17	Junta tórica (contenedor de broca)
9	Camisa exterior de desgaste		

Figura 11

partes del martillo

Asegurar que sea cómoda y que no se pueda atascar en el equipo. Utilizar casco, protectores de oídos y protectores de ojos que desvíen los trozos que vuelen por el aire durante el uso del martillo. Proteger las manos con guantes duraderos y los pies con botas o zapatos con punta de acero.

Las roscas se deben limpiar adecuadamente antes de usar. Si tienen compuestos antiguos, limpiar cuidadosamente antes de la preparación con un cepillo de alambre y solvente. Si se encuentran irregularidades en las roscas, como mellas o defectos, eliminar con una tela de lija para las roscas hembra y una lima para las roscas macho. Cuando termine, sacar con aire comprimido.

Recubrir levemente las roscas y los bordes de acoplamiento con un compuesto que tenga, al menos, 40% polvo de plomo, zinc o cobre. Evitar algo más pesado para recubrir las roscas, ya que puede causar una gran reducción del coeficiente de fricción. No dejar que el compuesto llegue a otras partes de la herramienta durante el uso.

Al usar acero de perforación nuevo, asegurar que todos los restos se hayan retirado. Al fijar el tubo de perforación, asegurar que todas las partes estén limpias de lodo, tierra y otros materiales antes de conectarlo. Revisar que el tubo no esté doblado, ya que causará tensión innecesaria en las piezas.

Al rotar el martillo sobre el tubo de perforación, asegurar que las conexiones de las roscas sean firmes y apretadas. Si no es así, es posible que deba volver a revisarlas para ver si tienen exceso de compuesto o revestir de nuevo el desnivel. Si las conexiones parecen estar bien, apriételas con una llave para obtener un torque apropiado. No dependa de la acción de perforación para apretar las roscas después. Asegurar de revisarlas y apretarlas antes del uso.

Importante

- Usar herramientas apropiadas para retirar el conector de accionamiento y el conector superior del martillo del manguito de desgaste. Hay partes planas para atornillar y desatornillar en ambos conectores.
- No aplicar calor al martillo. No golpear ni aplicar demasiada fuerza con herramientas inapropiadas, ya que podría agrietarse, lo que reduciría la vida útil.

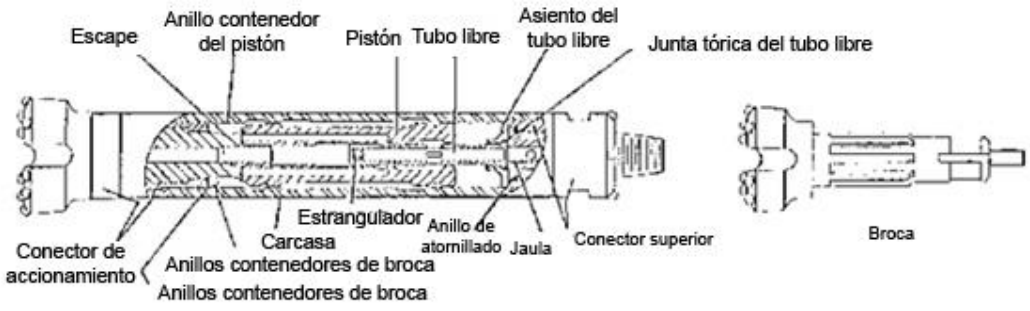


Figura 12

Instalación de la plataforma de perforación

La instalación de la plataforma consiste en colocar y montar los diversos componentes y partes de la plataforma, y prepararla para la perforación.

Durante el ensamble de la plataforma, algunos componentes se pueden manipular e instalar con una grúa, camiones o montacargas según el tamaño de la plataforma de perforación. Recuerde que puede haber peligros en altura, como en las líneas de alto voltaje.

Antes de la instalación, los equipos deben revisar que la plataforma no esté dañada. Durante la inspección, se deben realizar revisiones preventivas de mantenimiento. Después de inspeccionar la plataforma, se puede comenzar a instalar. Para este propósito, los equipos deben seguir estos pasos:

Paso 1.

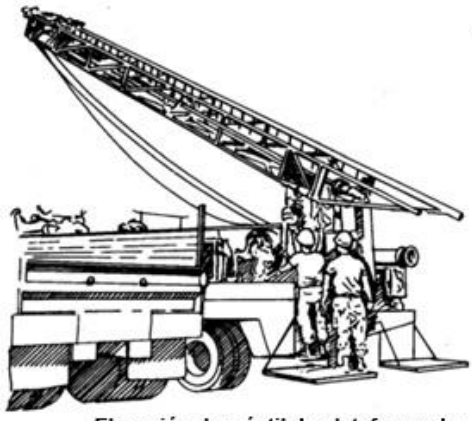
Posicionar la plataforma de perforación. La mesa giratoria debe estar sobre el centro del agujero. Utilizar un foso de lodo portátil, colocar el foso en posición con el tubo de rebose sobre la ubicación del pozo. Llevar la mesa giratoria (en la plataforma de perforación) a la posición de trabajo y mueva la plataforma de perforación (si es necesario) a la posición final. Colocar la mesa giratoria exactamente sobre el pozo o el tubo de descarga del foso de lodo.

Paso 2.

Colocar y extender los tornillos de ajuste. Los tornillos de ajuste nivelan la plataforma de perforación, eliminan el peso del sistema de suspensión del equipo, y proporcionan una plataforma de perforación estable y rígida. En suelo blando, es posible que deba usar madera bajo las almohadillas del tornillo de ajuste para evitar que el equipo se hunda en el suelo.

Paso 3.

Después de colocar los tornillos de ajustar, elevar la torre de perforación. Revisar que no haya obstrucciones ni líneas eléctricas. Periódicamente, soltar el tambor retráctil y los frenos auxiliares del tambor para aflojar los cables. Después de elevar por completo la torre, asegurar en posición y volver a revisar el nivel de la plataforma de perforación.



Elevación de mástil de plataforma de perforación

Figura 13

Paso 4.

Revisar y, si es necesario, conecte la tubería de descarga. Según el tipo de operación de perforación, conecte el compresor de aire o la bomba de lodo al tubo vertical en la torre.

Paso 5.

Instalar o cave un foso de lodo, lo que sea aplicable. Realice las conexiones apropiadas a la bomba de lodo para que haya una acumulación constante de fluido de perforación.

1.2. Operación

Comienzo de la operación

Peligro

Retirar todas las joyas y ropas sueltas antes de comenzar las operaciones de perforación.

El primer paso de cada agujero de perforación es hundir una apertura piloto, incluida en un tubo vertical asegurado con cementación del espacio anular alrededor. Se debe construir un pozo grande para que contenga el agua para las operaciones de perforación, y para desechar los restos y otros desechos. Una pequeña plataforma de perforación, llamado perforado de pozo en seco, se usará para iniciar en el pozo principal.

A veces, se cava un sótano grande rectangular alrededor del pozo principal y se forra con madera. Un agujero de menor diámetro, llamado “pozo piloto”, se perfora cerca del pozo principal. Éste se recubre de tubos y se usa para almacenar temporalmente una pieza de equipo de perforación llamada barra "Kelly". Una vez que termine de hacer todo esto, el contratista traerá el equipo grande de perforación y todos los equipos necesarios para la tarea.

Paso 1.

Atornillar la broca en la Barra Kelly y baje la broca hasta el suelo.

Figura 14

Paso 2.

Cuando la broca toque el suelo, fije la mesa giratoria y el embrague para comenzar a perforar.

Paso 3.

Cuando el agujero avance de 100mm a 300mm, monte la bomba de lodo para comenzar a hacer circular el fluido de perforación (que será lodo o aire).

Paso 4.

Después de perforar con la Barra Kelly hacia abajo, detener la rotación y elevar la Barra Kelly a alrededor de 100mm del fondo del agujero. Hacer circular el fluido de perforación hasta que se retiren todos los restos.

Paso 5.

Desmontar la bomba de lodo, elevar la Barra Kelly y retirar la broca.

Finalización de la operación

Paso 1.

Desatornillar la broca al extremo roscado del tubo de perforación.

Paso 2.

Limpiar y lubricar las roscas de la barra Kelly, y desatornillar la Barra Kelly a las roscas.

Paso 3.

Retirar las cuñas y bajar la Barra Kelly, de modo que los bujes de accionamiento se conecten a la mesa giratoria y la herramienta baje hasta el fondo del agujero de perforación.

Paso 4.

Volver a montar la bomba de lodo y siga perforando. Después que la Barra Kelly baje, hacer circular el fluido de perforación hasta que se retiren los restos. Elevar el equipo hasta que la junta se encuentre entre 4 y 6 pulgadas sobre la mesa giratoria.

Paso 5.

Desmantelar la bomba de lodo y colocar las cuñas para sostener el equipo. Desconectar la Barra Kelly de la sarta y vuelva a colocar la Barra Kelly en posición cuna.

Paso 6.

Retirar de la línea de arena, retire el tapón terminal y conectar un anillo de elevación a otro collar o a una junta del tubo de perforación.

Paso 7.

Levantar el acero de perforación con la línea de elevación o de arena, y colocar el anillo de elevación en el acero.

Paso 8.

Retirar el tapón del extremo inferior. Limpiar y lubricar las roscas. Atornillar a la sarta en el agujero con llaves para tubos.

Paso 9.

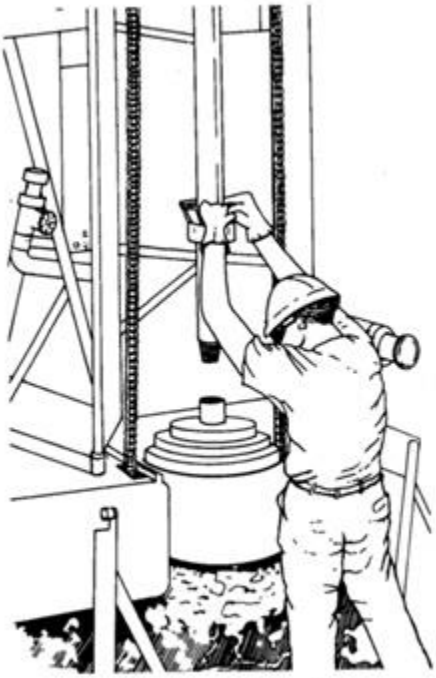
Levantar toda la sarta levemente y retirar las cuñas. Bajar la sarta hasta que la junta se encuentre entre 4 y 6 pulgadas sobre la mesa giratoria, y las cuñas estén instalados.

Paso 10.

Atornillar la Barra Kelly a la sarta, retirar las cuñas, monte la bomba de lodo, baje la sarta al fondo del agujero y siga perforando. Repetir el proceso hasta que alcance la profundidad deseada.

Paso 11.

Invierta el proceso para salir del agujero de perforación.



Atornillado de la Kelly
con las roscas

Figura 15

1.3. Cambio y mantenimiento de herramientas de sondaje

Plataforma de Perforación

Baterías

- Siempre usar antiparras o un escudo facial, y tenga extrema precaución al realizar el mantenimiento a las baterías. Realice el mantenimiento en un área bien ventilada y nunca fume. Durante el retiro, desconecte el borne de tierra primero. Durante la instalación, conecte el borne de tierra al final.
- Si le entra ácido de las baterías a los ojos o cae sobre la piel, lavar de inmediato con abundante agua y visite un médico.
- Al cargar una batería, apague la fuente de energía de la batería antes de conectar el cargador. Las cubiertas deben estar sueltas para que el gas escape.

Carga de combustible

- Nunca fumar durante la carga. El equipo se debe cargar con el motor y todos los interruptores eléctricos apagados.
- Mantener la boquilla de combustible en contacto con el tanque para evitar chispas de estática. Mantener las mangueras y los contenedores en contacto con metal durante el transporte.
- Todos los peligros de rotación, como las líneas de transmisión o las correas del ventilador, deben estar cubiertos. Asegurar de reemplazar los protectores después del mantenimiento.

Llantas

- Las llantas son la clave de un viaje seguro. Revisar que estén infladas adecuadamente. También para ver que no falten tuercas de ruedas ni que estén sueltas, que no haya objetos entre las roscas, desgaste anormal y cortes en la llanta. Recuerde que no es necesariamente la rosca en la llanta, sino la edad y el historial de uso lo que puede causar un reventón.

Compresores

- Revisar si el compresor necesita aceite. Si es así, agregar el aceite correcto según las instrucciones del fabricante y lea la hoja de datos de seguridad del material antes de abrir el contenedor.
- Asegurar que el compresor esté apagado.
- Instalar una tarjeta de bloqueo con el procedimiento correcto.
- Asegurar que el compresor se haya enfriado y que ningún sistema esté bajo presión.
- Liberar la presión de los receptores de aire y tener cuidado al retirar las tapas de llenado.
- No llenar demasiado el tanque receptor. Si el compresor comienza a usar cantidades excesivas de aceite, informar al operador, ya que es posible que se necesite reemplazar el elemento separador. Esto es extremadamente importante si el compresor alimenta un compresor booster. Si el booster está fallado y se calienta, el aceite en el aire podría explotar.
- Limpiar todos los radiadores.
- Asegurar que los interruptores de detención estén conectados y en buen estado.

- Una vez que el compresor booster esté apagado y la presión se libere, abrir la válvula para liberar el fluido acumulado en el tanque. Si la cantidad de aceite en el tanque aumenta, informe al operador, ya que es posible que los compresores de alimentación estén goteando aceite o pasando aceite internamente.

Durante el mantenimiento, es posible que deba usar un compresor auxiliar para mantener el volumen necesario de aire para perforar.

Al usar aire de alta presión, asegurar que los letreros y la cinta de peligro estén instalados en el área para advertir del peligro.

Sujetar todas las mangueras de aire en cada extremo, de preferencia con un cable de seguridad con dos ojales sujetos a anillos soldados aparte de cualquier accesorio de tubería.

Down the hole hammer (DTH)

- Colocar la junta del conector de accionamiento en una llave de tubo.
- Retirar las golillas para retirar el martillo. Limpiar todas las partes con fluido o diesel de limpieza.
- Reemplazar las partes si es necesario.
- Desatornillar el conector de accionamiento y retirar del barril o el cilindro externo.
- Retirar el O ring y los anillos de retención de la culata de la broca.
- Todos los rodillos se deben limpiar y aceitar antes de guardarlos.
- Aplicar lubricante a todas las partes, especialmente el pistón. Volver a armar el martillo.

Aceitador de martillo

Los sistemas de aceitado bombean aceite de un estanque a la línea de aire para lubricar las partes que se mueven y evitar su desgaste.

- Liberar la presión del sistema.
- Leer la hoja de datos de seguridad del material para el aceite utilizado y siga las instrucciones para minimizar el peligro.
- Retirar la tapa del aceitador.
- Llenar el aceitador con el lubricante según las indicaciones.

Equipo de manipulación de barras

El mantenimiento del equipo de manipulación de barras es una parte importante del trabajo del ayudante.

Si no se realiza mantenimiento a la abrazadera de la barra y el anillo de elevación, la barra podría caer por el agujero, y tanto ella como las brocas podrían dañarse. En el peor de los casos, las barras se podrían atascar en el agujero. En el mejor de los casos, podría perder tiempo y dinero tratando de sacarlas.

Anillo de elevación

1. Girar el anillo para revisar que los rodamientos se muevan libremente. Si no es así, engrásar si es necesario.
2. Limpiar la rosca con un cepillo de alambre, y un paño y aceite. No usar grasa para barras.
3. Verificar que la rosca en el anillo de elevación encaje en la rosca del tubo.

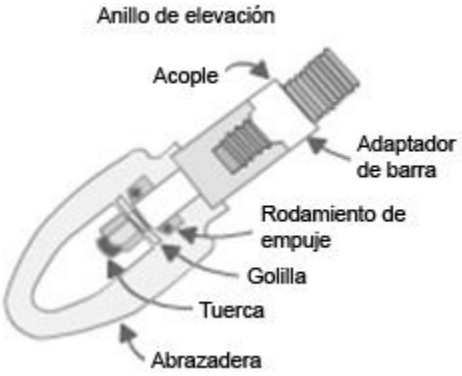


Figura 16

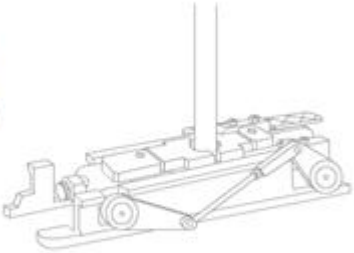
Anillo de elevación

Equipo de manipulación de barras

1. Revisar si las mordazas están gastadas. Si es así, se reemplazan.
2. Mover las mordazas para ver si están sueltas. Si es así, apretar con un destornillador.
3. Revisar si las mordazas están sucias. Si es así, limpiar con un cepillo de alambre y luego pase un trapo aceitado.

4. En el caso de la abrazadera hidráulica o la abrazadera de pie, revisar las uniones para ver que no estén sueltas. Aceitar levemente si es necesario.

Abrazadera de barra



Abrazadera de barra

Figura 17

Mantenimiento de barras

El mantenimiento incluye:

- Mantener limpias las barras durante el uso.
- Mantener las roscas recubiertas adecuadamente con protectores de roscas, ya que protegen las roscas de daños por impacto, además de mugre y restos.
- Rotar las barras de perforación en la cesta para barras, de modo que la primera barra que llegue al suelo no siempre sea la misma. Esto se debe a que la primera barra es la que sufre más abuso. Al compartir la carga de trabajo de manera que la mitad superior de la barra de perforación no haga todo el trabajo, la vida útil de la barra se alargará.
- Reemplace periódicamente las barras en grupos pequeños. Colocar barras nuevas en una sarta gastada acortará la vida de la barra en 50% o más.

Sugerencias de mantenimiento

1. No tienda las barras en la tierra o en el lodo. Las rocas y la tierra que se pegan a la grasa de las roscas pueden causar daño severo.
2. Al usarlas, mantener las roscas completamente recubiertas con un compuesto de alta calidad.
3. Inspeccionar periódicamente las sartas de perforación con un kit de inspección de partícula húmeda magnética fluorescente para identificar grietas de fatiga.
4. Nunca reemplazar las barras de perforación en la sarta sin reemplazar el plato de sujeción o el conector de protección.
5. Evitar mezclar barras antiguas con barras nuevas.

Lubricación y limpieza

Cada vez que usen las barras, limpiar y vuelva a lubricar las roscas con el compuesto recomendado por el fabricante. Usar suficiente compuesto para cubrir las superficies de la rosca y el borde. Se recomienda un cepillo de 40 a 50 mm para aplicar el lubricante.

Nota: mantener limpios el compuesto y el cepillo.

El compuesto es clave para la vida útil de la junta. Para evitar el desgaste, las partículas metálicas en el compuesto forman una capa interna que puede soportar la presión de contacto y evitar que las superficies interactúen. Una mala elección del compuesto o un compuesto diluido permiten que las superficies interactúen, lo que causa desgaste por abrasión o adhesión.

El compuesto de roscas también es clave para la resistencia de la junta. La interacción de las partículas metálicas y la superficie determina la resistencia friccional a las cargas de torque. A su vez, esto determina la eficacia de la junta: cuánto torque se transfiere a través de la junta versus cuánto absorbe la junta. Una mala elección del compuesto o un compuesto diluido brinda insuficiente fricción, lo que disminuye la eficacia de carga y causa fallas por sobrecarga.

Los compuestos que contienen un 50% de zinc suelen brindar un factor de fricción más alto (más capacidad de torque) y tienen más resistencia que aquellos que contienen cantidades similares de cobre, plomo o grafito. Los compuestos ecológicos deben contener partículas sólidas no tóxicas y bio-estables de propiedades y características de rendimiento similares a las de las partículas típicas de zinc para poder rendir. Siempre consulte las instrucciones del fabricante para determinar el compuesto correcto para las barras que lubricará.

Nota: los compuestos de metal reaccionan en agua ácida, lo que conlleva absorción de hidrógeno y reduce la vida en fatiga. Sin embargo, el cobre es menor reactivo que el zinc.

Además, lubricar el cuerpo de la barra con grasa se recomienda para reducir la fricción del agujero, el torque de perforación y el desgaste del cuerpo intermedio.

Desgaste de roscas

El desgaste de superficies deslizantes de acero sobre acero, tales como en una barra o una carcasa, como bien se define en los libros de ingeniería. Excoriación es el término común de la industria para el desgaste de las roscas, que consiste principalmente de desgaste por adhesión y abrasión a causa del atornillado y desatornillado. Si bien cierto desgaste se puede tolerar sin afectar el rendimiento, las superficies desgastadas son propensas a más

desgaste. Sin mantenimiento, el grado de desgaste puede empeorar al punto de causar fallas prematuras o, en el caso de las superficies de acoplamiento de dureza similar, afectar la junta. Además, una rosca gastada puede dañar una rosca en buen estado.

La tasa de desgaste esperada en un sistema deslizante de metal sobre metal solo se puede determinar al considerar todas las siguientes variables:

- Lubricación o factor de desgaste.
- Dureza de la superficie más blanda.
- Distancia del deslizamiento de contacto.
- La carga o presión de contacto.

Se puede obtener una mayor resistencia al desgaste al:

- Limpiar y lubricar periódicamente las juntas después de cada operación. Pueden quedar capas de lubricante seco, pero se salen y también deben limpiarse y lubricarse.
- Elegir juntas con superficies de acople de dureza disimilar. Los datos publicados muestran que mediante presiones de contacto iguales y durezas iguales en las superficies más blandas, un sistema con una superficie de acople más dura (dureza disimilar) puede aumentar varias veces la vida útil.
- Elegir juntas con más dureza en la rosca más blanda.
- Reducir la distancia de contacto al elegir juntas con más conicidad.
- Reducir o eliminar la presión de contacto al ajustar la tasa de alimentación y la velocidad de rotación durante el atornillado y desatornillado para que coincida con el paso de la rosca y compense el peso de la barra y la cabeza perforadora.

Otra fuente de desgaste de la junta de la barra son los accesorios desgastados. Todo el equipo y los accesorios con roscas, como las barras de accionamiento, las uniones, el anillo de elevación, los pivotes y los protectores de adaptores se deben inspeccionar antes de usar para asegurar que estén en buen estado. Usar solo partes y accesorios genuinos del fabricante para un acople adecuado y una mayor vida útil.

Figura 18

Excoriación en tubos de perforación sin carbono o de cromo.

Desgaste de la hembra y el cuerpo intermedio

Al igual que con los sistemas de acero sobre acero, la hembra y el cuerpo intermedio están sujetos a un contacto de deslizamiento similar con la pared de la carcasa o el agujero. En caso de desgaste contra la pared del agujero, la superficie del agujero puede ser de una dureza y aspereza significativamente mayor (sin mencionar los restos suspendidos en el fluido de perforación), lo que puede causar altas tasas de desgaste. Sin embargo, en muchas aplicaciones, las causa de retiro de una barra de perforación se debe a un desgaste localizado resultante de la deformación de la hembra o porque el cuerpo intermedio ya no está derecho.

En las uniones típicas, es inherente que la hembra y el borde del extremo de esta se deformen elásticamente de forma radial o se sobresalgan. Esto se debe a tensiones radiales o circunferenciales impuestas por las roscas convencionales, que se suman a las tensiones de carga de perforación. Esto se evidencia mediante una sección delgada en el borde de la hembra y/o una pequeña área pulida en el borde de la unión, donde se comienza a comprometer la rosca. A medida que el desgaste progresa, la caja se debilita y la deformación aumenta, lo que aumenta la tasa de desgaste. Sin embargo, algunas uniones imitan la respuesta bajo carga de un tubo sólido en que las tensiones radiales y circunferenciales impuestas por la rosca se restan de las tensiones de carga de perforación, lo que casi elimina el abombamiento.

Es inherente que una barra responda a cargas de perforación significativas y a una rotación con giros helicoidales tridimensionales. A medida que aumentan las cargas o la rotación, la presión de contacto entre la barra y el agujero aumenta, lo que contribuye a una mayor tasa de desgaste del cuerpo intermedio.

Con suficiente presión de contacto y velocidad, el calor generado entre la barra y la carcasa o el agujero puede causar grietas de fuga de calor, que finalmente se manifiestan en una grieta axial, generalmente, en el extremo de la hembra.

Las tensiones de flexión asociadas con este giro helicoidal se hacen significativas bajo una carga o rotación más alta, especialmente en agujeros de gran tamaño, y pueden causar que la barra se doble permanentemente.

El uso de grasa para barras con el fin de reducir la fricción entre la barra y la carcasa o el agujero es común. Sin embargo, la única solución eficaz para reducir el desgaste por abrasión del cuerpo intermedio es aumentar de forma significativa la dureza.

Inspeccione periódicamente las barras usadas para ver si tienen cuerpos intermedios doblados. Deseche las barras dobladas de inmediato, ya que causan vibración y pueden disminuir el rendimiento de perforación. No se recomienda intentar enderezar las barras, ya que esto reduce aún más la resistencia a la flexión del cuerpo intermedio y, probablemente, se doblará.

Cargas y agujeros desviados

Las fallas por fatiga son fallas de fragilidad o grietas que ocurren bajo tensión o niveles de carga significativamente bajo las clasificaciones de carga estática. Sin embargo, las cargas se aplican muchas veces. Un ejemplo de este tipo de carga es cuando una barra está rotando en un agujero desviado y la superficie de la barra sufre tanto tensión como compresión en cada revolución. Si la barra está desviada a una profundidad importante, esta carga de flexión se sobre impone a una carga constante de compresión, lo que causa una carga de tensión fluctuante en la superficie rotatoria. Otro ejemplo es en agujeros de tamaño excesivo o secciones hundidas del agujero, donde la barra se puede doblar o torcer, lo que aumenta significativamente las tensiones de flexión.

Debido a las secciones transversales reducidas en los extremos roscados, las uniones entre las barras que se acoplan son mucho más débiles que el cuerpo intermedio de la barra, independientemente del tratamiento de calor o el diseño de las roscas. Además, las uniones se precargan (atornillado) y tienen ajustes de interferencia que reducen todavía más la capacidad de desviación de la unión.

Otra limitación de la capacidad de una unión de barra de perforación de funcionar con una flexión se debe a un aspecto peculiar del acero. Si hay una carga de tensión constante aplicada además de una carga cíclica, la resistencia a la fatiga se reduce todavía más. En el caso de las uniones de la barra, si la unión está atornillada de manera adecuada, el extremo macho siempre estará bajo una mayor carga de tensión que el extremo hembra.

Como resultado, el extremo macho es la parte más débil de la barra y es el lugar típico de falla bajo una carga cíclica excesiva.

Una grieta debido a fallas de fatiga se crea perpendicular a la carga o tensión cíclica. Por lo tanto, la falla más común es una grieta orientada de forma circunferencial, que indica que la carga o tensión cíclica se orientó axialmente, lo que solo puede ser a causa de una flexión. Si la grieta se orientó axialmente, es el resultado de grietas de prueba de calor o indica que la carga cíclica estaba orientada de forma circunferencial. Esto solo puede resultar del mal acople de una unión en términos de atornillado, deformación, partículas extrañas o desgaste. Las fallas de fatiga se pueden evitar al limitar el nivel de cargas cíclicas.

Soporte giratorio y mangueras

Las mangueras Kelly siempre deben tener una cadena de seguridad ajustada en cada extremo, de modo que si se sueltan, no caigan sobre alguien. Debe revisar las cadenas y las mangueras diariamente para comprobar que no estén dañadas ni tengan conexiones sueltas.

Soporte giratorio de agua

1. Pedir al operador que baje la barra principal por el agujero, de modo que tenga acceso. No intentar usar el taladro para realizar el mantenimiento.
2. Revisar que las cadenas de seguridad estén sujetas.
3. Revisar si el soporte giratorio ha estado goteando y apretar la prensa estopa lo suficiente para evitar fugas. Si se observa una fuga, se debe informar, ya que es posible que la prensa estopa deba reemplazarse con la ayuda del perforador.
4. Bombear grasa mediante la boquilla de engrase.

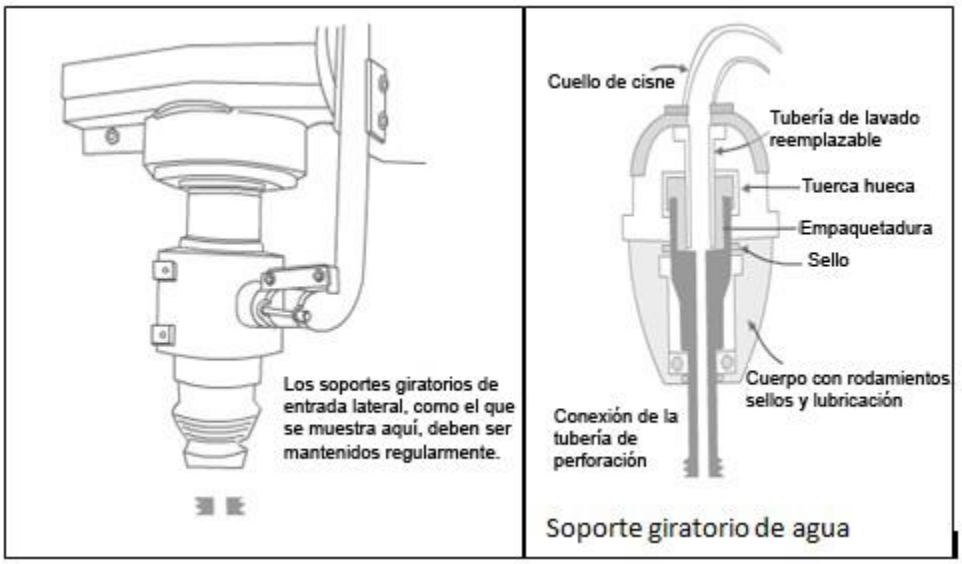


Figura 19

Soporte giratorio de aire

Son similares a los soportes giratorios de agua, y el mantenimiento es similar. Es importante que se engrasen con frecuencia para que funcionen correctamente. Existen dos tipos principales de soportes giratorios de aire:

1. Soporte giratorio superior

Este se ajusta a la parte superior del cabezal. En el caso de la perforación de aire convencional, el aire se proporciona mediante el soporte giratorio superior. Para perforaciones aire reverso, el aire de retorno y la muestra pasan por este soporte giratorio mediante una caja deflectora y hacia la manguera de muestra.

2. Soporte giratorio de entrada lateral

Este se utiliza para perforaciones aire reverso, y se atornilla bajo el cabezal, entre el conector del cabezal y la barra de perforación. El aire entra por una puerta en el costado del soporte y baja por el agujero hasta la broca a través del espacio anular entre el interior de las barras de perforación y el exterior de los tubos internos. El tubo de entrada suele ser de acero. Fije el tubo de entrada contra el cabezal para evitar que gire si el rodamiento en el soporte giratorio se aprieta. Si usa una manguera de aire de goma, debe sujetarse con una cadena sujeta al cabezal por el mismo motivo.

Mangueras de aire y de muestreo

Sujete todas las mangueras de aire en cada extremo, de preferencia con un cable de seguridad con dos ojales unidos a anillos soldados separados de cualquier accesorio del

tubo. Asegurar que los cables estén atados para asegurar puntos de montaje opuestos. Las ataduras y los puntos de montaje deben tener la misma clasificación de resistencia o más que la del cable. Estos cables evitan peligros que las mangueras se liberen en caso de una falla de la manguera o del acoplamiento. Revisar las abrazaderas, los acoplamientos y los soquetes para ver que estén en buen estado y reemplácelos si es necesario. Si la manguera de muestreo comienza a gotear, reemplácela o repárela de inmediato.

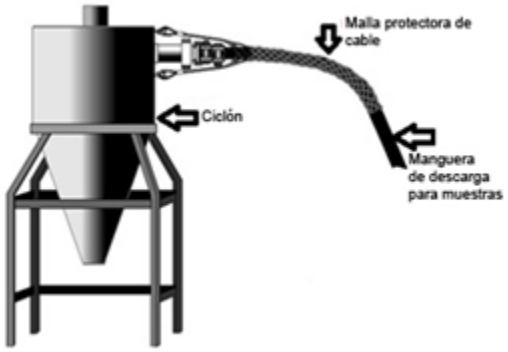


Figura 20

Cuarteador y equipos de muestreo

Durante la perforación, Revisar si la cantidad de la muestra se reduce o si parece haber un bloqueo en el ciclón. Si hay un bloqueo o la muestra de descarga se redujo, el material de muestra se podría estar acumulando dentro del ciclón. Si es así, debe limpiar el ciclón. Esto sucede mucho con arcilla húmeda.

Al realizar mantenimiento a equipos de muestreo de aire seco:

- Siempre usar una máscara contra el polvo.
- Retirar la manguera de muestreo del ciclón. Revisar que no esté gastada ni rota.
- Revisar el extremo de la manguera de muestreo y los rodamientos que entran en el ciclón para ver si están gastados, y reemplazarlos si es necesario.
- Retirar la tapa del ciclón, y limpiar las muestras o la mugre dentro con un raspador.
- Revisar que no haya agujeros en las placas de desgaste ni en el costado del ciclón.
- Cerrar la tapa, asegurándose que el sello de goma esté sellado. Volver a conectar la manguera de muestreo.
- Asegurar que la manguera de muestreo esté sujeta con un cable de seguridad que esté sujeto a una parte del ciclón que no se desgaste fácilmente.

Si los sacos de muestreo comienzan a volarse del fondo del ciclón o sale mucho aire, el contenedor para polvo podría estar bloqueado.

Si sale mucho polvo de la caja de polvo:

- Podría ser necesario reemplazar los filtros, o
- Los vibradores o pulsadores en el exterior de la caja para polvo podrían haber dejado de funcionar. Si es así, informar al operador.

Para realizar mantenimiento a la caja para polvo, golpee los costados con un mazo de goma para soltar el polvo de las paredes internas. Cuando el polvo se asiente, abra los costados de la caja, y limpiar o reemplace los filtros.

Eliminar/reducir la contaminación del equipo de muestreo

Todos los equipos vienen con lavadoras de alta presión para descontaminar los equipos entre las ubicaciones de perforación y la plataforma antes de abandonar el sitio. El agua se transporta en todos los vehículos de soporte para que no haya necesidad de brindar acceso a agua en el sitio.

La descontaminación es el proceso de limpiar los equipos sucios de muestreo y de perforación a tal grado que se puedan reutilizar sin contaminar las muestras nuevas.

La descontaminación de equipos de perforación y muestreo de formaciones es una medida de control de seguridad que suele ser necesaria durante la perforación y el muestreo. Es el proceso de neutralizar, lavar y enjuagar los equipos que entran en contacto con el material de la formación y podría contaminar otras muestras. El material contaminado que se adhiere a la superficie de estos equipos puede transferirse mediante el equipo de un agujero a otro y/o verticalmente desde un agujero contaminado a un área no contaminada. El propósito de limpiar estos equipos es evitar que ocurra esta contaminación cruzada.

Al realizar la limpieza de descontaminación, seleccionar un área de descontaminación apropiada. El sitio se debe basar en la capacidad de controlar el acceso al área de descontaminación, controlar o contener el material residual retirado de las superficies día plataforma de perforación y muestreo, y almacenar los equipos limpios para evitar una nueva contaminación antes de usarlos. El sitio también debe estar cerca del área de perforación para minimizar más contaminación en el sitio.

Siempre se debe descontaminar herramientas y equipos de perforación después de cada operación, pero también durante la operación para evitar la contaminación vertical del agujero.

El equipo de limpieza incluye:

- Brocas de perforación.
- Barra y tubos de perforación.
- Herramientas de las barras de perforación.
- Barriles o tubos de muestreo de paredes delgadas.
- Abrazaderas.
- Herramientas manuales.
- Cables.

Los equipos con superficies porosas, como cuerda natural, mangueras corrugadas y bloques o manillas de madera, no se pueden descontaminar completamente y se deben desechar de forma adecuada después de usarse.

Los programas y procedimientos de descontaminación en obras especifican los equipos y las herramientas que requieren limpieza. Estos documentos detallan las instrucciones específicas de limpieza y las medidas de control para contener los agentes contaminantes retirados de los equipos y herramientas, incluidas las perforadoras.

La descontaminación de los equipos se debe realizar con diversos fluidos y técnicas. Los métodos más comunes y preferidos de descontaminación de equipos incluyen:

- Limpieza con agua limpia.
- Limpieza a vapor.
- Combinación de limpieza de agua y vapor.

El lavado con agua se puede realizar con una presión alta o baja. Si se utiliza una presión baja, puede ser necesario retirar el material residual del equipo con un cepillo para asegurar una descontaminación completa. La limpieza a vapor se realiza con limpiadores portátiles a vapor y de alta presión, equipados con manguera y accesorios.

A veces, se utilizan soluciones que no son agua ni vapor para la descontaminación. La siguiente tabla enumera algunos de los químicos y las potencias de las soluciones que se han usado en programas de descontaminación de equipos. Una solución comúnmente usada es el detergente sin fosfato. Los detergentes se prefieren a otras soluciones de limpieza porque el detergente por sí solo no causa problemas de manipulación o desecho. En general, cuando una solución de limpieza para descontaminar equipos es necesaria, se debe usar un detergente sin fosfato, a menos que se demuestre que el contaminante en cuestión no se puede eliminar de la superficie del equipo con detergentes.

Se deben usar ácidos o solventes como soluciones de limpieza solo en circunstancias excepcionales porque estos limpiadores son materiales peligrosos y pueden ser contaminantes si se introducen en el agujero de perforación. Al usar soluciones químicas, siempre se debe usar agua o vapor como enjuague final para eliminar restos del limpiador químico de la superficie del equipo y evitar la contaminación del agujero de perforación.

Listado de Soluciones de Limpieza Seleccionadas para la Descontaminación del Equipamiento

Químico	Solución	Usos/Observaciones
Agua potable limpia	Ninguna	Utilizada a alta presión o vapor para remover el lodo pesado, etc, o para enjuagar otras soluciones
Detergentes de baja espuma (Alconox)	Seguir las instrucciones del fabricante	Limpiador general para todo propósito
Carbonato de sodio (Soda para lavar)	4#/ 10 Gal Agua	Efectivo para neutralizar los ácidos orgánicos, metales pesados, residuos provenientes del procesamiento de metales
Bicarbonato de sodio (Soda para hornear)	4#/ 10 Gal Agua	Utilizada para neutralizar los contaminantes ácidos base o neutros
Fosfato trisódico (TSP Oakite)	2#/ 10 Gal Agua	Similar al carbonato de sodio
	4#/ 10 Gal Agua	Útil para solventes y componentes orgánicos (como el tolueno, cloroformo, tricloroetileno), PBBs y PCBs
Clorhidrato de calcio (HTH)	8#/ 10 Gal Agua	Desinfectante, agente blanqueador y oxidante utilizado para pesticidas, fungicidas, fenoles clorados, dioxinas, cianuros, amoniaco y otros residuos inorgánicos no ácidos
Ácido. Clorhídrico	1 PT/10 Gal Agua	Utilizado para bases inorgánicas, desechos alcalinos y cáusticos
Ácidos cítricos, tartáricos, oxálicos (o sus sales respectivas)	4#/ 10 Gal Agua	Utilizado para limpiar contaminación de metales pesados
Solventes orgánicos (acetona, metanol, cloruro de metileno)	Concentrado	Utilizado para limpiar el equipamiento contaminado con productos orgánicos o carcasa del pozo para remover aceites superficiales, etc

Figura 21

Una secuencia sugerida para la descontaminación de equipos contaminados de manera baja a moderada puede incluir:

1. Enjuagar de agua o vapor para eliminar las partículas;
2. Lavar de vapor con agua o detergente sin fosfato; y
3. Enjuagar de vapor o agua con agua portátil.

Es posible que se requieran secuencias adicionales de agua y enjuague para eliminar los contaminantes por completo.

Una vez limpiados los equipos de perforación y muestreo, éstos no se deben colocar directamente sobre la superficie del suelo, aunque se suele considerar que esta área no está contaminada. El equipo limpio se debe colocar, como mínimo, sobre una lámina de plástico, y ésta se debe desechar después de cada operación. Los equipos limpios también pueden almacenarse lejos del suelo en estantes de almacenamiento o de equipos hasta que se utilicen para perforar o realizar muestreos de formaciones. Los equipos pesados,

como el aparataje de perforación, el camión de agua u otros vehículos de soporte, se deben limpiar en el área de descontaminación antes de la desmovilización del sitio.

Equipo manual de muestreo

Los siguientes pasos generales de descontaminación se sugieren y se pueden aplicar a todos los equipos antes de su uso inicial (a menos que use equipos de muestreo ambiental pre-envasados) o que se hayan utilizado para recopilar medios de muestras para propósitos de análisis. Sin embargo, siempre debe seguir las instrucciones y los procedimientos de su lugar de trabajo.

1. Siempre usar EPP apropiado, incluidos guantes y máscaras.
2. Retirar físicamente el material visible del equipo de muestreo hasta el punto práctico antes de descontaminarlo con fluidos de descontaminación.
3. Sumergir (en la medida de lo posible) el equipo en la solución recomendada de detergente y refriéguelo cuidadosamente con una escobilla dura hasta que el material residual visible se retire y el equipo esté visiblemente limpio.
4. Enjuagar el equipo cuidadosamente con agua potable.
5. En la medida de lo posible, dejar que el equipo se seque con el aire en un área limpia (el equipo no necesita estar completamente seco antes de la reutilización; en ciertas condiciones climáticas, no es posible secar completamente con aire).
6. Cambiar la solución inicial de descontaminación diariamente y/o, al menos, entre sitios y con más frecuencia si es necesario. Recopile los solventes de descontaminación en un recipiente separado de las soluciones de agua o detergente, y guarde, almacene y deseche apropiadamente las soluciones de descontaminación según los procedimientos de su lugar de trabajo.

Descontaminación de equipos pesados

Los siguientes pasos se pueden aplicar para descontaminar equipos pesados.

1. Siempre usar EPP adecuado, incluidos guantes y máscaras.
2. Retirar físicamente todo el material visible que sea posible del equipo pesado antes de usarlo y antes de limpiarlo.
3. Colocar el equipo pesado en la plataforma o el área de descontaminación. Si debe juntar agua de lavado, asegurar que el mecanismo de recolección funcione adecuadamente y que la plataforma de descontaminación no tenga fugas.
4. De preferencia, limpiar al vapor las partes de la maquinaria pesada que entra en contacto con material visible (como llantas, conectores, taladros y la parte trasera de la perforadora).

5. Guardar los fluidos en un contenedor si es apropiado. Colocar los sólidos en un tambor u otro contenedor apropiado.

Contención de contaminantes residuales, y soluciones de limpieza y/o agua de lavado

El material contaminado retirado de las superficies de equipos y las soluciones de limpieza y/o agua de lavado usadas durante la descontaminación suelen requerir una contención y eliminación adecuada. Si existen contaminantes no peligrosos, es posible que el programa de descontaminación de los equipos no requiera disposiciones para desechar el agua de lavado y el material residual retirado de los equipos. Por otra parte, un programa de descontaminación para los equipos expuestos a materiales peligrosos requiere disposiciones para la recolección y eliminación del material contaminado, la solución de limpieza y/o el agua de lavado.

Si el material contaminado y los fluidos de limpieza se deben contener de los equipos pesados, como plataformas de perforación y vehículos de soporte, el área de descontaminación debe tener un piso adecuado. El piso preferido para el área de descontaminación suele ser una plataforma de contención concreta y reforzada, que tiene una inclinación hacia el elemento que llega, donde se instala una fosa de sumidero. Si una plataforma de concreto no es práctica, se puede usar una tarima para construir un piso sólido que luego se cubre con una superficie no porosa y tiene una inclinación hacia una instalación de recolección. La recolección de contaminantes y fluidos de limpieza de la descontaminación de equipos de perforación menos pesados y herramientas manuales se puede realizar con pequeñas zanjas forradas con láminas de plástico, o en tinajas de lavado o porras. Los fluidos de limpieza contaminados se pueden almacenar temporalmente en latas de metal o plástico hasta que se retiren del sitio para su eliminación apropiada.

Eficacia de los procedimientos de descontaminación

Es posible que un programa de descontaminación para equipos de perforación y muestreo deba incluir procedimientos de control de calidad para medir la eficacia de los métodos de limpieza. Generalmente, las medidas de control de calidad incluyen colección de muestras en blanco de equipos o pruebas de limpieza. Las muestras en blanco son muestras del agua de enjuague que se recopilan después de limpiar el equipo. Estas muestras se deben recopilar en contenedores apropiados de muestro, y conservarse, almacenarse y transportarse de manera adecuada a un laboratorio para análisis de contaminantes conocidos en el sitio. Las pruebas de limpieza se realizan al pasar un paño o un parche de papel sobre la superficie del equipo después de limpiarlo. El parche se coloca en un contenedor sellado y se envía al laboratorio para analizarlo. Los resultados de ambas

pruebas brindan información posterior al hecho que se puede usar para evaluar si los métodos de limpieza fueron eficaces al eliminar los contaminantes peligrosos en el sitio.

Cómo registrar la actividad de descontaminación

Una vez que los equipos y herramientas estén descontaminados, todos los equipos de muestreo se deben etiquetar con la misma información, como se registró en las bitácoras de campo. En la bitácora, registre todas las actividades de descontaminación, incluidas:

- El método de descontaminación utilizado.
- Los detalles del procedimiento de descontaminación.
- El reactivo utilizado.
- La fuente de agua.
- La fecha y la hora.
- El método de almacenamiento de descontaminación.
- El método de contención usado.

1.4. Problemas Frecuentes

Solución de problemas

Mal funcionamiento del martillo

FALLA	CAUSA	SOLUCIÓN/ACCIÓN
El martillo no comienza a funcionar después de un cambio de tubo.	Exceso de aceite escurrió hasta el martillo. Partículas extrañas en el martillo. El martillo se llenó de agua y lodo, especialmente en perforaciones bajo el nivel del mar.	Levantar del suelo. Agregar una pequeña cantidad de diesel para enjuagarlo si es necesario. Retirar e inspeccionar el martillo. Retirar y limpiar el martillo. Asegurar que el agujero esté “limpio” antes de desacoplar los tubos para cambiarlos. Asegurar que la válvula antirretorno esté acoplada al martillo o insertar la válvula antirretorno entre los tubos si perfora en agua profunda.

El martillo funciona en la superficie, pero no funciona dentro del agujero.	Los agujeros de descarga de la broca están bloqueados con arcilla o restos mientras se inserta en el agujero. Arcilla blanda o material similar al ingresar al agujero, lo que no permite que la broca se apriete contra el martillo.	Inspeccionar y retire el martillo si es necesario. Aumentar la velocidad de rotación y, quizás, la fuerza de empuje a través de suelo blando, manteniendo el aire completo encendido todo el tiempo y levantando constantemente para enjuagar. Se puede usar una inyección de agua para deshacer la arcilla blanda.
El martillo funciona de manera intermitente en la prueba de superficie o dentro del agujero	Partes del martillo gastadas, rotas o atascadas. Martillo mal armado. Tierra o partículas extrañas en el martillo. Exceso de aceite lubricante u otro aceite que proviene del sistema. Exceso de agua en el aire comprimido. Martillo congelado.	Desmantelar, inspeccionar y realizar mantenimiento. Desmantele y vuelva a armar correctamente. Desmantelar, limpiar y volver a armar. Revisar la cantidad de aceite lubricante y buscar señales de aceite del compresor en la línea de aire. Revisar el colector de humedad y la bomba de inyección de agua, si los usa. Usar un control de aceite anticongelante para ver si hay exceso de agua en el sistema.
El martillo no funciona en la prueba de superficie o dentro del agujero.	Aire insuficiente o nada de aire llega al martillo. Martillo mal armado. Tierra o partículas extrañas en el martillo. Aceite retenido o grasa antiadherente en el martillo. Partes del martillo gastadas, rotas o a atascadas. Bloqueo en el amortiguador. Agujeros de descarga de la broca bloqueados.	Revisar el funcionamiento del compresor. Desarmar y vuelva a armar correctamente. Retirar, limpiar y vuelva a armar. Enjuague el martillo al levantarlo del fondo del agujero. Agregar una pequeña cantidad de diesel al martillo para limpiar el aceite. Desarmar, inspeccionar y realizar mantenimiento. Desatornillar el martillo y revisarlo.

		Retirar el amortiguador si es necesario. Limpiar los agujeros.
El martillo se desvía al comienzo del agujero.	Los casquillos de la mesa de arranque no se están usando o los que se usan están muy desgastados. El soporte no está sujeto. La máquina no es estable. Las perforadoras manuales se deslizan debido a una pérdida lenta de aceite hidráulico. Una obstrucción en la parte superior del agujero hace que el martillo se desvíe. Fuerza de alimentación demasiada alta (empuje).	Acoplar o reemplace los casquillos. Asegurar el soporte. Asegurar que la máquina esté rígida. Coloque bloques de madera debajo de la perforadora manual si el suelo es blando. Asegurar que haya suficiente peso en las perforadoras manuales. Reparar la perforadora manual. Eliminar las obstrucciones antes de continuar la perforación. Reducir la fuerza de alimentación para corregir el nivel.

Tabla 27

- **Operación de perforación y sondaje mediante DDH y Aire reverso**

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Explicación demostrativa vía plataforma web.	
Explicación demostrativa en aula.	✓
Recurso audiovisual.	
Propuestas de situaciones problemáticas.	
Formulación de preguntas.	✓

Objetivos de aprendizaje

- Identificar principales características del método de perforación diamantina (DDH).
- Identificar principales características del método de perforación Aire Reverso (RC).
- Distinguir entre ambos métodos de perforación.
- Reportar diferencias entre ambos métodos.

Descripción de la actividad

Los participantes guiados por el instructor de manera individual, en pares o en grupos, deberán identificar a través del material gráfico didáctico las principales características del método de perforación diamantina (DDH) y Aire reverso (RC) y distinguir ambos métodos.

Materiales

- Guía del participante.

Desarrollo

El instructor les pedirá a los participantes que trabajen individualmente, en pares o en grupos con las Figuras contenidas en el material didáctico, y que contesten de la manera más completa posible los que se les solicita.

¿A qué método de perforación corresponden las siguientes Figuras?	
	Aire reverso

	Aire reverso

¿Bajo qué método de perforación se obtienen las muestras de la imagen?	
	DDH
	Aire reverso

Los participantes en esta parte de la actividad deberán completar en sus propias palabras y por escrito, adoptando un estilo de informe breve, cuales son las diferencias y características propias de los procesos de diamantina y aire reverso. Para facilitar el diseño del informe, se deberán basar en las preguntas que a continuación se proponen y leer su informe al resto del curso una vez redactado. Luego deberán entregárselo al instructor.

Realice una descripción general de cada uno de los dos procesos destacando cuáles son sus diferencias.	La perforación diamantina utiliza un cabezal o broca diamantada, que rota en el extremo de las barras de perforación (o tubos). La abertura en el extremo de la broca diamantada permite cortar un testigo sólido de roca que se desplaza hacia arriba en la tubería de perforación y se recupera luego en la superficie. Como método de refrigeración se utilizan lodos de perforación, que consisten en mezclas de agua con compuestos químicos. El sondaje por aire reverso utiliza como fluido principal para el barrido de los ripios, aire comprimido, el que es dirigido hacia el fondo del pozo a través de barras de doble pared, y permite recuperar los ripios producidos en el fondo con un mínimo de contacto con las paredes del pozo(poca contaminación). Para realizar la perforación se utilizan generalmente dos tipos de herramientas distintas que son los triconos y/o los martillos cuyo objetivo es sacar ripio de roca molida como muestra.
Si se quiere una veta más precisa cual es el método más apropiado.	El proceso de diamantina es el más apropiado si se quiere una mayor precisión en la muestra. Esto es porque al obtener una muestra sólida (testigo) se puede tener una mejor estimación de la profundidad, el ángulo y el tipo de veta existente.
Cuál es más caro.	Debido a que el proceso de diamantina entrega un alto grado de precisión sus costos son más elevados.
Cómo son las muestras y por qué son	Para el proceso de diamantina la muestra es un trozo cilíndrico de roca extraída

distintas.	directamente del suelo. Mientras que en el proceso de aire reverso la muestra es un ripio de la roca perforada y molida. Las muestras son diferentes de acuerdo a la exactitud que se requiere para identificar la veta. El proceso de aire reverso entrega información relativa, ya que indica si a cierta profundidad hay mineral o no. En cambio el otro proceso indica de manera más exacta a que profundidad se encuentra el mineral y cuál es su forma dentro de la roca.

El instructor solicitará que los participantes lean sus informes con la finalidad de crear un foro y destacará que el ayudante de sondaje en terreno informa de manera escrita algunos acontecimientos que ocurren durante el turno. Por lo que esta actividad buscó fortalecer su capacidad de redacción y síntesis.

Cierre

El instructor podrá destacar que existen más procesos de perforación pero los más utilizados son lo de diamantina y aire reverso. Estos procesos tienen diferencias desde distintos puntos de vista como son el económico, los objetivos de la perforación, el proceso de perforación, la extracción de la muestra y la muestra en particular. Es importante que el participante tenga una noción de las diferencias que tienen ambos tipos de perforación.

Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

AngloAmerican

ANTOFAGASTA MINERALS

BARRICK

bhpbilliton
resourcing the future

CODELCO
Orgullo de Todos

COLLAHUASI

FREEPORT-McMoRAN COPPER & GOLD

GLENCORE

KGHM
POLSKA MIEDŹ S.A.

LUMINA
COPPER CHILE

Teck

YAMANAGOLD