

# Desarrollo e implementación de un nuevo plan de mantenimiento para equipos de perforación diamantina

Jorge Carvajal<sup>1</sup>, César Rodríguez<sup>1</sup>, Carmen Patiño<sup>2</sup>, Fernando Guevara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia, jmcarvajalr@unal.edu.co

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia, cdllanosr@unal.edu.co

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia, fjguevarac@unal.edu.co

<sup>2</sup> Universidad de Antioquia, elena.patino@udea.edu.co

Recibido: 30-12-2014. Aceptado después de revisión: 14-03-2015

---

**Resumen.** La particular geografía del territorio colombiano exige llevar los equipos de exploración a lugares remotos y de difícil acceso para ejecutar los procesos de exploración de recursos minerales. Por este motivo, fallas imprevistas pueden ocasionar pérdidas de producción por largos tiempos de parada y reparación, además de arriesgar la seguridad del personal y de los activos. En este contexto es que se desarrollan modificaciones en los planes de mantenimiento originales con el objetivo de garantizar alta disponibilidad de los equipos de perforación diamantina. Este trabajo presenta el desarrollo y la implementación de planes de mantenimiento basado en un método analítico, que inicia con un análisis funcional del sistema, pasa por la revisión e identificación del plan del fabricante e incluye el análisis de los históricos de fallas. Finalmente con la sistematización de esta información se realiza una propuesta e implementación de un nuevo plan de mantenimiento adecuado para las condiciones de uso del sistema. La aplicación de este método representó beneficios importantes en una de las empresas más importantes del rubro en Colombia. Del mismo modo la decisión de generalizar los planes de mantenimiento para los equipos hidráulicos se mostró adecuada, por utilizar históricos de fallas, que a su vez trae los beneficios económicos y aumento de disponibilidad. Finalmente como resultado del desarrollo de este trabajo se recomienda evaluar los planes de mantenimiento cada dos años y de esta forma reevaluar su efectividad.

**Palabras Claves:** disponibilidad, mantenimiento, perforación diamantina.

**Abstract.** The geography of Colombia requires carrying the exploration equipment to remote places to execute the process of mineral resource exploration. For this reason, unexpected failures can cause long downtime and time to repair, production losses, besides of put in risk a safety of personnel and the physical assets. In this context, to develop modifications to the original maintenance plan looking for high availability of diamond drilling equipment could be required. This paper presents the development and implementation of maintenance plans based on an analytical method, that it begins with a functional analysis of the system, it continues with the revision and identification of current maintenance plans. Subsequently, the method does a historical fault analyzes, and finally, using the systematization of all information, it a proposal and implementation of a new plan of proper maintenance for the conditions of use of the system is performed. The application of this method has represented benefits in one of Colombia's most important mineral resource exploration companies. Similarly, the decision to generalize maintenance plans for hydraulic equipment was adequate for historical use of faults, bringing economic benefits and an increase availability.

Finally, as a result of the development of this work is recommended to evaluate maintenance plans every two years and thus reassess their effectiveness.

**Keywords:** availability, core drill, maintenance.

## 1. Introducción

En el proceso de exploración de recursos minerales, después de definida la zona de interés por el equipo de ingeniería geológica, se requiere hacer sondeos mecánicos que permiten verificar la existencia del recurso mineral de interés [1]. Una de las técnicas más efectivas de sondeo mecánico es la perforación con recuperación de núcleo o perforación diamantina.

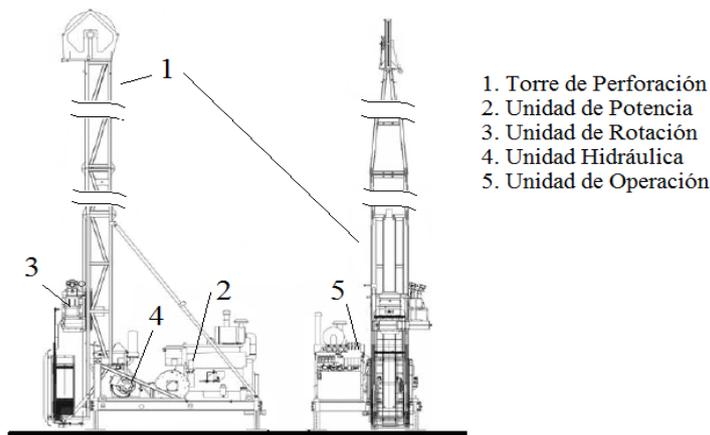


Figura 1. Taladro de Perforación Diamantina [3].

En la Figura 1 se observa la ilustración de un equipo de perforación hidráulico, el núcleo o testigo es un cilindro de roca con longitudes y diámetros variables, que va mostrando la conformación geológica del área de interés [2].

La perforación diamantina es una técnica que permite extraer muestras del subsuelo a diferentes profundidades, que dependen en gran parte de la capacidad del equipo de perforación. Es escogida por los geólogos en el caso particular de Colombia por la facilidad para transportarlo hasta la zona de trabajo.

Los equipos de perforación diamantina operan principalmente con una unidad de potencia (motor de combustión o motor eléctrico), que impulsa un conjunto de bombas hidráulicas. La potencia hidráulica es utilizada para accionar el desplazamiento cuando: posee orugas o sistemas de auto-arrastré, elevación de la torre de perforación, rotación y avance del sistema de perforación, accionamiento de los malacates para el trabajo de sostenimiento de la tubería y recuperación del núcleo.

Lo especializado de este tipo de equipos, hace que la mayoría de las empresas de perforación sigan de forma estricta con las recomendaciones de mantenimiento de los fabricantes. Sin embargo es sabido que necesidades particulares exigen actividades especiales de mantenimiento, por ejemplo cuando se realizan modificaciones en algunos elementos y sistemas del equipo con la finalidad de hacerlo accesible a las zonas de interés de los geólogos en la compleja geografía nacional.

La empresa donde se realizó el estudio, posee equipos de las marcas Atlas Copco, Boart Longyear y Sandvik. Estas son similares en el principio de operación, destacando algunas diferencias como el sistema de desplazamiento de los equipos Sandvik sobre orugas.

El estudio presentado en este artículo, forma parte de una de las actividades con mayor relevancia de la gerencia de mantenimiento y confiabilidad, que a su vez atienden a las exigencias de las empresas contratantes en términos de seguridad, responsabilidad con el medio ambiente y alto rendimiento, que obliga contar equipos con alta disponibilidad y seguridad para con las operaciones y los operadores.

En este contexto podemos mencionar algunas normas que regulan la operación de este tipo de equipos que fueron llevadas en consideración para la elaboración de los planes de mantenimiento:

- ASTM D 2113 – 99 “Estándares prácticos para perforación con recuperación de núcleo y muestreo de roca para Investigación in-situ” [4].
- ISO – EN 791:1996 “Seguridad en equipos de perforación” [5].

## 2. Materiales y métodos

Este método utiliza principios de evaluación de diferentes naturalezas, incluyendo al RCM que se basa el estudio en el cumplimiento de las funciones de cada componente dentro del sistema [6], [7]. El método emplea el análisis funcional como punto de partida para entender las relaciones funcionales y la dependencia de los diferentes sistemas y subsistemas que conforman el equipo de perforación. El método para evaluar los planes de mantenimiento está basado en la estructura adaptada para este caso del estudio [8], descrita en la Figura 2.

### 2.1. Análisis funcional

En esta etapa son identificadas las funciones de los sistemas, subsistemas y componentes y elaborado el árbol funcional. El objetivo de realizar este análisis es identificar los componentes críticos y el orden jerárquico dentro del equipo de perforación. Guevara y Souza, 2009 [8], presentan una metodología para la elaboración de este diagrama funcional.

### 2.2. Revisión del plan de mantenimiento del fabricante

Aquí son revisados los planes de mantenimiento preventivos propuestos por los fabricantes. Se hace un énfasis en las recomendaciones de mantenimiento que son basados en las horas de operación del motor diesel. Los fabricantes utilizan motores Cummins QSB, motores electrónicos que cumplen con la normativa Tier III, de diseño compacto y poco ruidosos [9].

Es desarrollado un estudio comparativo entre las recomendaciones de los fabricantes para determinar las coincidencias y debilidades según [3], [10], [11].

### 2.3. Debilidades en el plan del fabricante

En esta etapa son desarrolladas comparaciones de las recomendaciones de los fabricantes de los equipos hidráulicos, con las proporcionadas por la experiencia en operación de los equipos mecánicos que poseía la empresa desde su origen en la década de los 90.

Son consideradas también variables como la calidad de los combustibles y la dificultad para transportar los insumos hasta los puntos de trabajos, que en algunos casos representa horas de camino a pie o a lomo de bestias. Pues en ocasiones es complicado garantizar la pureza de los combustibles, fluidos refrigerantes, lubricantes e hidráulicos en este proceso de transporte.

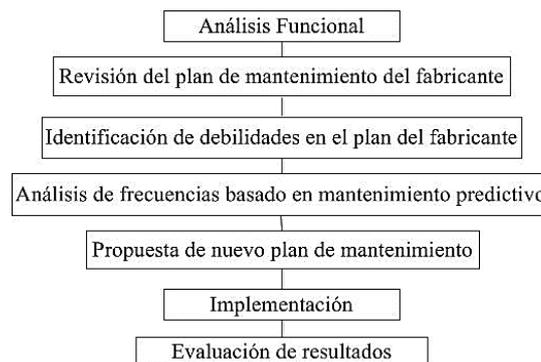


Figura 7. Método para evaluación de un plan de mantenimiento.

#### *2.4. Evaluación de las frecuencias basado en mantenimiento predictivo*

En esta etapa se desarrolla un estudio de frecuencia de fallas de los principales sistemas de los equipos de perforación, con el objetivo de identificar los sistemas con mayor incidencia de fallas. Posterior al análisis, son programadas tomas de muestra de los fluidos lubricantes e hidráulicos, con el fin de fortalecer el establecimiento de las frecuencias más adecuadas de mantenimiento de los equipos de perforación.

Adicionalmente, fue necesario incorporar actividades de capacitación del personal técnico mecánico tanto para recolectar las muestras, como en los principios básicos de lubricación. Las muestras fueron enviadas al laboratorio y luego de obtener una cantidad significativa de resultados, se procedió a la toma de decisiones sobre la frecuencia de cambios basados en la condición.

#### *2.5. Propuesta del nuevo plan de mantenimiento*

En esta etapa, son consolidados los resultados de las etapas anteriores, teniendo como resultado un nuevo plan de mantenimiento preventivo junto con nuevos intervalos de ejecución, que se ajusta a las condiciones operacionales de los equipos de perforación. Así mismo, se establecieron actividades de mantenimiento de los equipos de perforación en *Stand by*.

#### *2.6. Implementación*

El nuevo programa de mantenimiento fue implementado para la flota de equipos hidráulicos, que oscilaban entre 500 y 1000 horas de operación. Dejando para una próxima etapa la evaluación de los planes de mantenimiento de la flota mecánica.

#### *2.7. Evaluación de resultados*

Esta etapa tiene como objetivo evaluar permanentemente los resultados de los planes de mantenimiento, en función de las variaciones de los resultados de las etapas anteriores.

### **3. Implementación y presentación de los resultados**

A continuación son presentados los resultados producto de la implementación del método de análisis, etapa a etapa.

#### *3.1. Análisis funcional*

En la Figura 3 es presentado el diagrama de árbol funcional que presenta un equipo de perforación diamantina de tipo hidráulico. El diagrama por su naturaleza funcional representa diferentes modelos de equipos, en las tres diferentes marcas analizadas en este trabajo. El árbol muestra la dependencia funcional de cada uno de los principales sistemas. Así por ejemplo, la ausencia funcional (falla) del sistema de potencia ocasionará la interrupción de la operación de todo el equipo de perforación.

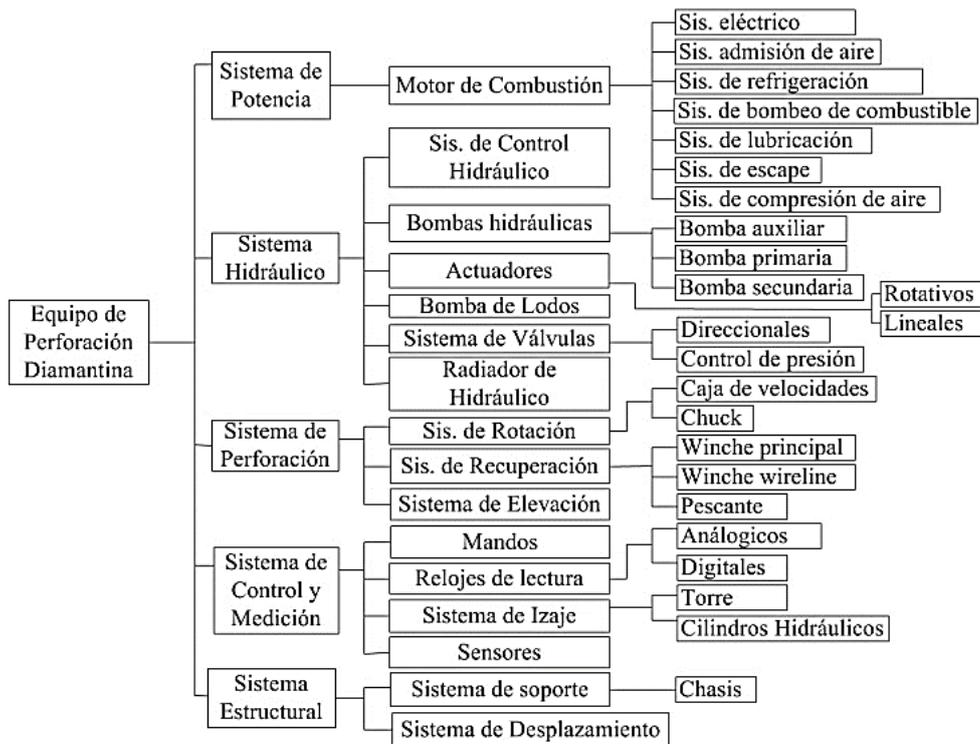


Figura 8. Árbol funcional del equipo de perforación.

### 3.2. Revisión del plan de mantenimiento del fabricante

Los resultados comparativos entre los planes de mantenimiento de los diferentes fabricantes son presentados de forma resumida en la Tabla 1 que presenta las tareas de mantenimiento más importantes y representativas para la operación de un equipo de perforación. En la primera columna se presentan las actividades, en la segunda, tercera y cuarta columna se presentan los intervalos recomendados por los fabricantes, en función de las horas de operación. Se puede observar la diferencia entre los intervalos, a pesar de que los equipos tienen características similares como el motor de combustión y los componentes hidráulico que son de las mismas marcas.

Tabla 1. Comparación entre planes de mantenimiento por fabricantes.

Fabricante Tarea / Horas de Operación	# 1A	#2S	#3B
Cambio de Aceite de motor y filtro	500	500	250
Cambio de filtros de Combustible	250	500	500
Inspección de las paletas del ventilador	---	500	500
Cambio de aceite hidráulico	1000/ 2000	1500	Cr <sup>a</sup>
Cam. Aceite bomba-lodos	1000	1500	250 0
Cam. Aceite rotaria	500	250	250

<sup>a</sup>Cr: cuando sea requerido

### 3.3. Análisis de fallas en los sistemas principales

Basado en descripción funcional de la Figura 3 y en la revisión de las bitácoras de mantenimiento de la compañía, fue desarrollado un análisis de frecuencia de fallas por sistemas. El diagrama de Pareto presentado en la Figura 4, fue realizado clasificando cada uno de los eventos registrados en el histórico de fallas de las bitácoras de mantenimiento, de doce equipos de perforación de tipo hidráulicos. El diagrama funcional describe cinco sistemas principales: Estructural, Potencia, Hidráulico, Perforación y Control y Medición. En la Figura 4 se observa que el 46% de las fallas corresponden al Sistema Hidráulico, seguido de las fallas correspondientes al Sistema de Perforación.

Lo anterior, permite clasificar al Sistema Hidráulico como un sistema crítico para la operación del equipo de perforación y a pesar de las fallas hidráulicas pueden ser de diversas naturalezas, el permanente acompañamiento de la condición de los fluido de trabajo es utilizada para identificar y prevenirlas.

Es importante destacar que las fallas del Sistema Hidráulico puede conducir a fallas en el Sistema de Perforación, como por ejemplo, la falla en el ajuste del Chuck, que impide la transmisión del movimiento rotacional a la tubería de perforación, por lo tanto solucionando las fallas en el sistema hidráulico se solucionarán, no sólo el 46% de los problemas, sino que incrementa la disponibilidad operacional del sistema de perforación como un todo, sin mencionar la importante retribución económica de la actividad de exploración de recursos minerales y de hidrocarburos.

### 3.4. Evaluación de las frecuencias

Se identificaron tareas de inspección diaria por parte del fabricante, que presentaban frecuencias apropiadas para la operación de los equipos de perforación diamantina en las condiciones particulares descritas anteriormente.

Las actividades analizadas con mayor detenimiento fueron las de cambio de lubricante de motor, transmisiones y fluidos hidráulicos y sus respectivos filtros. Esto porque las instrucciones de los fabricantes eran contradictorias, (ver Tabla 1). Por este motivo se realizaban los cambios de aceite de motor cada 300 horas. Posterior a los análisis de laboratorio de aceites de la flota completa en operación (12 equipos), se determinó que el aceite se encontraba en buen estado, recomendando cumplir con 500 horas, tal como recomienda el fabricante del motor [10].

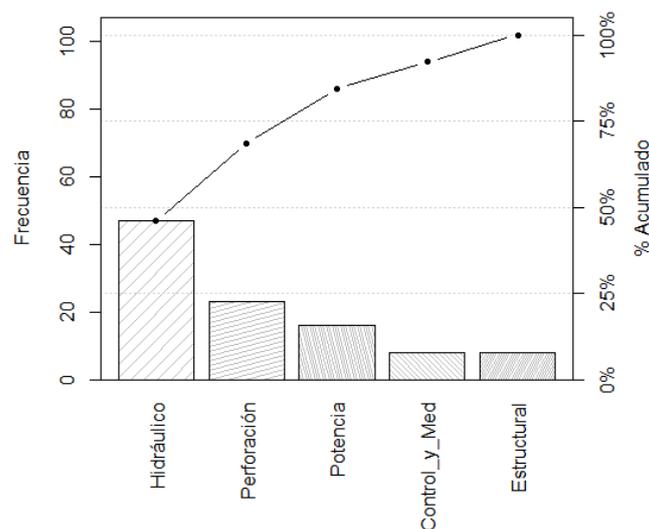


Figura 4. Diagrama de Pareto para las fallas del equipo de perforación.

La decisión sin embargo fue de ejecutar los cambios de aceite de motor cada 400 horas, debido a que el volumen del tanque de aceite no supera los cuatro galones. Lo que en términos económicos no representa un valor muy importante y la diferencia solo representaba cuatro cambios más al año y el riesgo de un motor en falla no lo justificaba. Para el sistema hidráulico las consideraciones fueron diferentes:

- Los grandes volúmenes de los tanques, que varían entre 40 y 120 galones,
- El sistema hidráulico, en ninguno de los equipos posee la instrumentación electrónica de diagnóstico de falla de los motores hidráulicos.
- Las fallas en los sistemas hidráulicos son mucho más frecuentes y costosas tal como detallan Song et all [12], y según se determinó en el análisis de fallas de la Figura 4

De esta forma se desarrollaron análisis de hidráulicos mensuales.

En las Figuras 5 y 6 son presentados algunos de los resultados de los análisis del fluido hidráulico en la flota, mostrando presencia de partículas y sustancias contaminantes respectivamente. En la Figura 5 se puede observar para los equipos P-15 y P18 en abril de 2013, se presentó un incremento súbito de partículas de cobre. Condición que manifiesta el desgaste de componentes de bronce y consecuentemente de las bombas principales.

En las especificaciones técnicas del aceite hidráulico se establece que las partículas de plomo y cobre provienen de los rodamientos de las bombas hidráulicas, y sus límites permisibles son: 4 y 8 ppm respectivamente. Con base en esta observación de la figura 5 se pueden notar altos niveles en el contenido de plomo y de cobre (15 y 30 ppm respectivamente). Hecho que permite afirmar que hay un desgaste acelerado de los componentes de las bombas y motores hidráulicos [13].

En la Figura 6 es posible observar una variación importante en la presencia de Silicio en el fluido hidráulico, que denota la presencia de contaminación con polvo o tierra. En el caso del equipo P-35 esta tendencia continuo en los meses de abril a mayo de 2013, lo que llevó a intervenir preventivamente con un equipo de filtrado. En otros análisis se encontró la presencia de agua, motivo por el cual se tomó la misma determinación, ya que como muestra [14] el agua en los sistemas de lubricación no solo afecta a los componentes mecánicos y al sistema de lubricación, también afecta las características químicas y físicas del aceite hidráulico como viscosidad, capacidad de lubricar, capacidad de carga y compresibilidad.

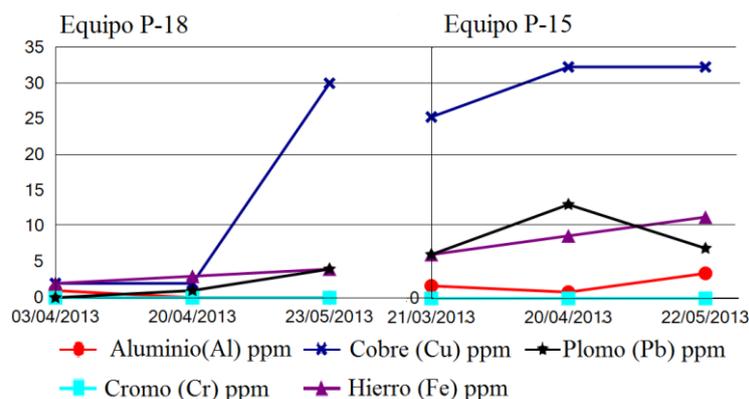


Figura 5. Análisis de hidráulico (presencia de partículas).

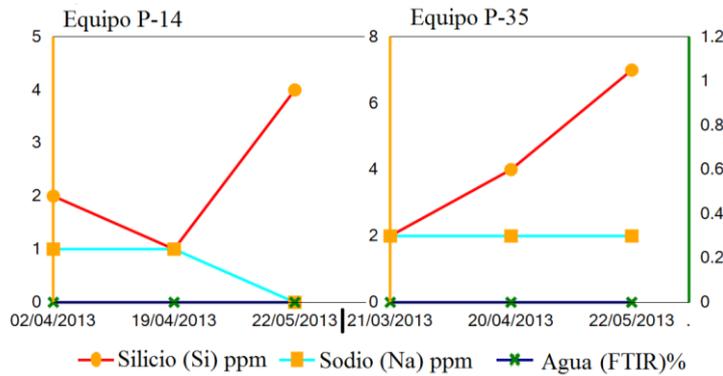


Figura 6. Análisis de Hidráulico (presencia de contaminantes).

A pesar de que el contenido de partículas y contaminantes es considerado aceptable para las especificaciones técnicas de los proveedores de aceites, se tomó la decisión de hacer muestreos mensualmente para evaluar las tendencias y condición de los fluidos hidráulicos de potencia.

### 3.5. Propuesta de nuevo plan de mantenimiento

La Tabla 2 resume las principales actividades de mantenimiento para equipos de perforación. Estas actividades tienen diferentes frecuencias que dependen de la criticidad del sistema y de la probabilidad de que el sistema funcione adecuadamente. Puede verificarse en la Tabla 2 que las actividades que tienen una alta frecuencia son en su mayoría actividades de rutina, pero si estas actividades no se desarrollan frecuentemente pueden causar fallas que pueden llegar a ser catastróficas.

Tabla 2. Resumen del plan de mantenimiento preventivo.

Actividad	Frecuencia (horas)						
	12	300	400	500	1000	2000	Stand by+
Comprobar el nivel de aceite del motor y rellene si es necesario	X						
Descargar el agua del separador de combustible	X						
Comprobar el nivel de aceite hidráulico y rellene si es necesario	X						
Comprobar la condición de la correa y del ventilador	X						
Chequear estado filtros de aire primario y secundario*		X					
Cambiar filtro de combustible secundario		X					
Verificar recorrido y agarre del chuck hidráulico		X					
Inspección de filtro separador de agua (cambiar de acuerdo a condición)		X					
Limpiar el radiador de aceite hidráulico con aire o agua a baja presión.							
Cambiar aceite del motor y filtros			X				
Cambiar aceite de bomba de lodos				X			
Reemplazar aceite y filtro de la unidad de rotación y caja de engranajes				X			
Chequear el nivel de aceite del winche principal y rellenar si es necesario.				X			
Cambiar filtro del cabezal de perforación				X			
Toma de muestra de aceite hidráulico				X			
Engrasar en los puntos de inyección de grasa de la bomba de lodos				X			
Comprobar tensión de la cadena en la unidad de rotación y caja de engranajes**					X		
Cambiar aceite del winche principal					X		
Cambiar aceite hidráulico y filtros						X	
Filtro de retorno de aceite hidráulico						X	
Vaciar sistema de refrigeración, lavar a presión y cambiar refrigerante.						X	
Reemplazar el filtro de aire secundario*						X	
Realizar un arranque programado según protocolo de encendido de equipos							X
Comprobar el nivel de aceite del motor y de la unidad hidráulica							X
Chequear indicadores de saturación de los filtros							X

Dentro del plan de mantenimiento preventivo, es necesario considerar los equipos que se encuentran es estado de *stand by* o espera, ya que estos equipos pueden fallar en estado de espera y cuando son requeridos están en estado de falla sin que hayan sido usados.

### 3.6. Implementación

Para el proceso de implementación del nuevo plan de mantenimiento se dispusieron dos herramientas principales:

- a) Capacitación de operadores y mecánicos: para esta actividad la gerencia de mantenimiento tomó dos acertadas decisiones.
  - Fue incorporada la figura de los supervisores de mantenimiento en los frentes de trabajo. Profesionales en ingeniería con experiencia en las actividades de perforación y debidamente capacitados en conceptos de mantenimiento, encargados de supervisar las actividades diarias de inspección y mantenimientos menores por parte de los operadores.
  - Se preparó un cronograma para visitar a los frentes de trabajo por parte de los planificadores y el gerente de mantenimiento para dirigir capacitaciones a los mecánicos, supervisores de mantenimiento, seguridad y los operadores.
- b) Comunicación general de los nuevos planes de mantenimiento: se publicaron los planes de mantenimiento en las contra tapas de las bitácoras de mantenimiento, como parte de un medio de comunicación en las manos de los mecánicos. Se publicaron las nuevas políticas en los campamentos respectivamente.

### 3.7. Evaluación de los resultados

Los resultados de la implementación son listados a continuación:

- a) Mejora en el cumplimiento de las normas de seguridad y medioambientales.

A menudo la gestión de mantenimiento solo es vista como una actividad que impacta en la disponibilidad operacional de los equipos, sin embargo, actividades que reducen la posibilidad y la probabilidad de fallas afectan también la seguridad y al impacto al medio ambiente. La utilización de estándares internaciones como la ISO – EN 791:1996 “*Seguridad en equipos de perforación*” [5], para el desarrollo de algunas actividades de mantenimiento que vienen a contribuir en la reducción de accidentes propios a la actividad. Por citar actividades que impactan sobre la reducción de riesgos de contaminación al medio ambiente están: la inspección permanente de los sistemas hidráulicos y sus contenedores. Finalmente el manejo adecuado de los insumo de mantenimiento como son los aceites lubricantes, grasas, entre otros, así como los residuos propios de las actividades de manteniendo (principalmente aceites y fluidos hidráulicos) reduce el riesgo de contaminación y dan cumplimiento a las disposiciones de la Ley 430 de 1998. Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones, específicamente en cumplimiento del Artículo 12. Aceites lubricantes de desecho. (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2005).
- b) Facilidades logístico-financieras.

La gestión de mantenimiento facilita el control de los insumos utilizados en la actividad, evitando la compra innecesaria de materiales de reposición en todos los sistemas operaciones, reduciendo: la necesidad de Stock, la necesidad de

importaciones, de transporte innecesario de hasta los puntos de operación y consecuentemente reducción importante en la inversión que se destinaría si se rigiera la gestión únicamente a las recomendaciones de los fabricantes de los equipos.

c) En la imagen de la empresa

La imagen de la empresa se ve mejorada principalmente frente al cliente, debido a que los equipos con mayor disponibilidad operacional reducen el tiempo destinado a la actividad de exploración, proporcionando al explotador información rápida para tomar decisiones sobre planeación de explotación. No menos importante es la mejora de la imagen de la empresa frente a los organismos de control, por ejemplo en términos del cumplimiento de normas ambientales principalmente.

#### **4. Conclusiones**

Implementar modificaciones en la forma de operar en las empresas normalmente genera trastornos en los operadores y mecánicos, en este sentido trabajar en la capacitación del personal en los frentes de trabajo es clave para poder alcanzar los resultados positivos. La implementación de este programa estrecha las relaciones entre los departamentos de seguridad, operaciones, gestión humana y mantenimiento que fortalece significativamente la imagen de la empresa frente a los clientes.

La organización del mantenimiento mejora la gestión de compras, permitiendo centralizar las compras a fin de obtener ahorros importantes al trabajar con proveedores mayoristas, permite también diseñar mejor el stock y la logística de envío, reduciendo los tiempos perdidos por falta de repuestos y/o insumos para el mantenimiento.

La implementación de análisis periódicos de aceite permite acompañar la condición operacional de los equipos, permitiendo hacer intervenciones oportunas que eviten pérdidas por largos tiempos de reparación, incrementando la disponibilidad operacional y consecuentemente la producción de la empresa, además de los ahorros por evitar fallas mayores.

La decisión de generalizar los planes de mantenimiento para los equipos hidráulicos se muestra adecuada, por utilizar frecuencia establecidas por un estudio de ingeniería, que a su vez trae los beneficios económicos y de disponibilidad.

Se recomienda evaluar los planes de mantenimiento cada dos años y de esta forma reevaluar su efectividad.

Las impredecibles variaciones del mercado internacional de los metales preciosos, lleva a la posibilidad de mantener los equipos en stand by por largos periodos de tiempo, por lo que una política de mantenimiento para equipos en stand by es oportuna y de hecho debería ser contemplada en toda actividad económica que involucre la producción de bienes por medio de la aplicación de maquinaria.

#### **Agradecimientos**

A la empresa Perfotec S.A.S por permitir el desarrollo de este trabajo.

#### **Referencias**

- [1] J. Castilla, «El proceso de exploración minera mediante sondeos,» ETS Ingenieros de minas de Madrid, Madrid, 2012.
- [2] R. Moreal, «La exploración geológica,» Epistemos, vol. 11, n° 15, pp. 73-77, 2013.
- [3] B. Longyear, LF70 Core Drill, New York: Boart Longyear, 2009.

- [4] ASTM, «Standard practice for rock core drilling and sampling of rock for site investigation,» ASTM, West Conshohocken, 1999.
- [5] B. Standard, «Drill rigs - Safety EN 791,» British Standard, Londres, 1996.
- [6] J. Moubray, Reliability-Centred Maintenance, New York: Industrial Press Ing, 1997.
- [7] M. Rausand, «Reliability centered maintenance,» Reliability Engineering and Safety Systems, vol. 60, pp. 121-132, 1999.
- [8] F Guevara, G Souza, «Availability Analysis of Gas Turbines Used in Power Plants,» Int. J. of Thermodynamics, vol. 12, n° 1, pp. 28-37, 2009.
- [9] Cummins, Every Site QSB, Columbus: Cummins Inc, 2007.
- [10] A. C. C. AB, Safety and operating instructions, Märsta: Atlas Copco, 2012.
- [11] S. M. & Construction, DE740 Operator's Manual, Brisbane: Sandvik Mining & Construction, 2011.
- [12] B Song, D Richard, M Hodkiewicz, A Cooper, «Failure analysis on development drilling rigs,» de CEED Seminar Proceedings, Sidney, 2012.
- [13] G. Totten, V. De Negri, Handbook of hydraulic fluid technology. CRC Press, 2012.
- [14] E. Harika, J. Bouyer, M. Fillon y M. Hélène, «Effects of Water Contamination of Lubricants on Hydrodynamic Lubrication: Rheological and Thermal Modeling», J. Tribol. Vol. 135(4), Julio 2013.