

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO EN LOS TALADROS DE  
PERFORACIÓN TIPO AC EN LA EMPRESA HELMERICH & PAYNE OPERANDO  
EN COLOMBIA.

ANTONIO JOSE CASTAÑEDA BERNAL

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA

2018

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO EN LOS TALADROS DE  
PERFORACIÓN TIPO AC EN LA EMPRESA HELMERICH & PAYNE OPERANDO  
EN COLOMBIA.

ANTONIO JOSE CASTAÑEDA BERNAL

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de especialista  
en gerencia de mantenimiento

Director: CLAUDIO CASTAÑEDA  
Ingeniero Metalúrgico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA

2018

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia que son quienes me dan apoyo día a día y son mi fuente de motivación para alcanzar mis metas

# CONTENIDO

pág.

<b>INTRODUCCION</b>	<b>14</b>
<b>1. ESTADO ACTUAL HELMERICH &amp; PAYNE</b>	<b>15</b>
<b>1.1 MARCO CONTEXTUAL</b>	<b>15</b>
1.1.1 HELMERICH & PAYNE.	17
1.1.2 TALADROS DE PERFORACION	19
1.1.2.1 SELECCIÓN DE EQUIPOS	21
1.1.2.2 SISTEMA DE POTENCIA	21
1.1.2.3 SISTEMA DE LEVANTAMIENTO	21
1.1.2.4 CABLE DE PERFORACIÓN	22
1.1.2.5 BLOQUE VIAJERO	22
1.1.2.6 EL GANCHO	23
1.1.2.7 POLEA VIAJERA	24
1.1.2.8 CORONA	24
1.1.2.9 ELEVADORES	24
1.1.2.10 SISTEMA DE CIRCULACIÓN DE FLUIDOS	25
1.1.2.11 SISTEMA ROTATORIO	25
1.1.2.12 TOP DRIVE	26
1.1.2.13 KELLY	26
1.1.2.14 TUBERÍA DE PERFORACIÓN	27
1.1.2.15 SISTEMA DE CONTROL DE POZO	27
1.1.3 CONSIDERACIONES BÁSICAS EN LA SELECCIÓN DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN	28
1.1.3.1 SISTEMA DE TRANSMISIÓN Y MALACATE	28
1.1.3.2 SISTEMA DE FRENOS	29
1.1.3.3 SISTEMA CIRCULATORIO	29
1.1.4 OPERACIONES BÁSICAS DE PERFORACIÓN	29
1.1.4.1 REVESTIMIENTO CONDUCTOR	31
1.1.4.2 REVESTIMIENTO DE SUPERFICIE	31
1.1.4.3 REVESTIMIENTO INTERMEDIO	32
1.1.4.4 REVESTIMIENTO DE PRODUCCIÓN	32
1.1.4.5 TALADROS DE PERFORACION (AC)	33
1.1.4.6 TALADROS DE PERFORACION (DC)	33
<b>1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>35</b>
<b>1.3 OBJETIVOS</b>	<b>37</b>
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	37
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	37
<b>1.4 JUSTIFICACION</b>	<b>38</b>

<b>2. MARCO TEORICO</b>	<b>39</b>
<b>2.1 SISTEMAS DE GESTION DE MANTENIMIENTO</b>	<b>40</b>
<b>2.2 ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO</b>	<b>43</b>
<b>2.3 MODELO DE GESTION DE MANTENIMIENTO APLICABLE A TALADROS DE PERFORACION</b>	<b>44</b>
<b>2.4 CONFIABILIDAD DE EQUIPOS DE PERFORACION</b>	<b>45</b>
<b>2.5 HERRAMIENTAS PARA LA OPTIMIZACION DE ACTIVOS</b>	<b>45</b>
2.4.1 INDICADORES DE DESEMPEÑO	46
2.4.2 DISPONIBILIDAD	51
2.4.3 MANTENIBILIDAD	51
<b>2.5 CLASIFICACION DE EQUIPOS SEGÚN SU CRITICIDAD</b>	<b>51</b>
2.5.1 SELECCIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS	56
<b>2.6 TIPOS DE FALLA Y CAUSALIDAD</b>	<b>58</b>
<b>2.7 SISTEMAS DE INFORMACION DE MANTENIMIENTO CMMS</b>	<b>64</b>
<b>2.8 NORMA ISO 14224</b>	<b>65</b>
<b>3. RECOLECCION DE DATOS</b>	<b>67</b>
<b>3.1 PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL</b>	<b>67</b>
<b>3.2 HISTORIAL DE FALLA EN EQUIPOS CRITICOS</b>	<b>71</b>
<b>3.3 INDICADORES USADOS POR H&amp;P</b>	<b>73</b>
<b>4. INDICADORES DE GESTION PROPUESTOS</b>	<b>74</b>
<b>4.1 DEFINICION DE INDICADORES</b>	<b>76</b>
<b>4.2 HOJA DE VIDA INDICADORES</b>	<b>76</b>
<b>4.3 SEGUIMIENTO DE INDICADORES</b>	<b>81</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>83</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>84</b>

## LISTA DE ILUSTRACION

	pág.
Ilustración 1. Listado SCE taladros	16
Ilustración 2. Equipo de perforación en Heinersdorf	20
Ilustración 3. Taladro de perforación	35
Ilustración 4. Matriz De Criticidad	55
Ilustración 5. Herramienta RAMS®	81
Ilustración 6. Indicadores RAMS®	82

## LISTA DE GRAFICOS

	pág.
Grafico 1. Proceso del uso de los indicadores de desempeño y comparación (benchmarking) para el mejoramiento del desempeño de negocios	48
Grafico 2. Intervención de los equipos críticos 2015	71
Grafico 3. Intervención de los equipos críticos 2016	72
Grafico 4. Intervención de los equipos críticos 2017	72

## LISTA DE TABLA

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Ponderación de Factores para Criticidad	54
Tabla 2. Análisis de Criticidad Taladro H&P 900	57

## LISTA DE CUADRO

	<b>pág.</b>
Cuadro 1. Listado de equipos del taladro RIG-900	52
Cuadro 2. Modo y efecto de falla Top Drive	59
Cuadro 3. Modo y efecto de falla Acumulador	60
Cuadro 4. Modo y efecto de falla BOP´s Preventoras	61
Cuadro 5. Modo y efecto de falla Bloque viajero	62
Cuadro 6. Modo y efecto de falla para Bloque corona	62
Cuadro 7. Modo y efecto de falla para para Malacate	63
Cuadro 8. Niveles taxonómicos	66
Cuadro 9. Hallazgos vs Posibles Afectaciones	68
Cuadro 10. Indicadores de gestión	74
Cuadro 11. Hoja de vida MBTF (tiempo promedio entre fallas)	77
Cuadro 12. Hoja de vida MTTR (tiempo promedio de reparación)	77
Cuadro 13. Hoja de vida DT (tiempo no productivo)	77
Cuadro 14. Hoja de vida GTC WO (ordenes de trabajo piso a corona)	78
Cuadro 15. Hoja de vida ELB (ordenes de trabajo libro de mantenimiento motores)	79
Cuadro 16. Hoja de vida COT (cumplimento ordenes de trabajo)	80
Cuadro 17. Hoja de vida Disponibilidad	80
Cuadro 18. Hoja de vida Confiabilidad	81

## RESUMEN

### TITULO:

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO EN LOS TALADROS DE PERFORACIÓN TIPO AC EN LA EMPRESA HELMERICH & PAYNE OPERANDO EN COLOMBIA

### AUTOR:

ANTONIO JOSE CASTAÑEDA BERNAL\*\*

### PALABRAS CLAVE:

TALADROS DE PERFORACION AC, RCM, CONFIABILIDAD, RAMS, ISO 14224, KPI

### CONTENIDO:

Esta monografía muestra una evidente mejora en el sistema de mantenimiento en los taladros de perforación tipo AC ya que requieren mayor competencia del personal que opera este tipo de equipos que tradicionalmente evolucionan de los taladros convencionales tipo DC, renovando las técnicas de mantenimiento y su gestión aumentando la disponibilidad de los equipos en la empresa HELMERICH & PAYNE mediante la optimización del sistema actual de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad y el uso de indicadores de gestión para minimizar los tiempos no productivos asociados a la falla en equipos críticos y su impacto en las operación de perforación contratados por diferentes operadores en Colombia.

El sistema de gestión de mantenimiento denominado RAMS por sus iniciales en inglés considera los modos principales de falla de los equipos, el historial a nivel mundial de fallas en este tipo de equipos, así como las rutinas de mantenimiento preventivo mediante la asignación de rutinas de mantenimiento que deben ser ejecutadas por personal competente y especializado dentro de periodos de tiempo previamente definidos.

Los indicadores de gestión de mantenimiento están centrados en disponibilidad de equipo y cumplimiento de órdenes de trabajo sin incorporar indicadores de tipo proactivo ni análisis de causalidad dado que la taxonomía asociada a modos y efectos de falla son de tipo genérico.

Este trabajo permite incrementar la confiabilidad de los activos incorporando nuevos modos de falla e indicadores de gestión de mantenimiento proactivos utilizando la infraestructura operativa y administrativa existente para soportar el sistema RAMS, así como siguiendo los lineamientos de la norma ISO 14224, así mismo, este proyecto permitirá expandir los beneficios en la gestión de mantenimiento a otras operaciones de la compañía H&P y de la industria petrolera en general.

---

\* Monografía de Especialización

\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.  
Director. Luis Miguel Miranda, Ingeniero Mecánico.

## ABSTRACT

**TITLE:**

OPTIMIZATION OF THE MAINTENANCE SYSTEM IN THE TYPE AC DRILLING MACHINES IN THE HELMERICH & PAYNE COMPANY OPERATING IN COLOMBIA

**AUTHOR:**

ANTONIO JOSE CASTAÑEDA BERNAL\*\*

**KEYWORDS:**

PERFORATION DRILLS, RCM, RELIABILITY, RAMS, ISO 14224, KPI.

**CONTENTS:**

This monograph shows an evident improvement in the maintenance system in drills of type AC drilling since they require greater competence of the personnel that operates this type of equipment that traditionally evolve from the conventional drills type DC, with the objective of renewing the imposed techniques and increase the availability of equipment in the company HELMERICH & PAYNE by optimizing the current maintenance management system focused on reliability and the use of management indicators to minimize the non-productive times associated with the failure of critical equipment and its impact on the drilling operation contracted by different operators in Colombia.

The maintenance system called RAMS by its initials in English, considers the main modes of failure of the equipment, the global history of failures in this type of equipment, as well as the routines of preventive maintenance by assigning maintenance routines that must be executed by competent and specialized personnel within previously defined periods of time.

The maintenance management indicators are focused on equipment availability and fulfillment of work orders without incorporating indicators of proactive type or causality analysis since the taxonomy associated with failure modes and effects are mainly generic.

This work allows to increase the reliability of the assets by incorporating new failure modes and proactive maintenance management indicators using the existing operational and administrative infrastructure to support the RAMS system, as well as following the guidelines of the ISO 14224 standard. This project will allow to expand the benefits in the management of maintenance to other operations of the company H&P as well as the petroleum industry.

---

\* Monograph

\* Faculty of Mechanical-Physics Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director. Luis Miguel Miranda, Mechanical Engineer.

## INTRODUCCION

La economía colombiana está fundamentada en buena parte en los ingresos por exportación de petróleo y carbón siendo una prioridad en cuanto a mantener la capacidad exportadora y fortaleciendo la industria petrolera y de gas para mantener la autosuficiencia del país y dejando excedentes para la exportación que genera ingresos claves para el país.

Dados los costos excesivos asociados a la búsqueda y desarrollo de petróleo en cuencas nuevas y/o racionalización en campos existentes, EQUION Energia Limited depende de la reducción de costos en la sostenibilidad del negocio mejorando la eficiencia operacional y reduciendo los eventos no planeados durante las actividades de perforación e intervención de pozos en sus operaciones en el Piedemonte Colombiano, por tanto, la disponibilidad y confiabilidad en los equipos críticos asociados a las actividades de perforación son de vital importancia para el cumplimiento de los objetivos económicos de la empresa. Cualquier falla en los equipos críticos en los taladros de perforación afectarán potencialmente no sólo los costos de perforación sino la integridad mecánica del pozo incidiendo directamente en el desempeño de la empresa.

Como resultado de estos problemas, surge la necesidad de implementar un modelo de mantenimiento y evaluación de su desempeño que se adapte a la funcionalidad y confiabilidad requerida para los taladros de perforación de pozos petroleros enfatizando los sistemas y equipos críticos que permita reducir los tiempos no productivos mientras que se garantice la confiabilidad del mismo.

La gestión de mantenimiento centrado en Confiabilidad proporciona ese marco estratégico en el cual se pueden desarrollar los planes de mantenimiento de equipos críticos asociados al taladro de perforación mostrando que la implementación de esta metodología trae beneficios en los costos de implementación, calidad de las intervenciones, aumento de la disponibilidad y confiabilidad, además de favorecer el conocimiento específico de los equipos, aprovechando la experiencia y conocimiento de grupos interdisciplinarios de trabajo y el soporte de los centros especializados del Contratista de perforación y sus proveedores claves.

Esta monografía muestra la implementación y seguimiento a indicadores claves de desempeño del sistema de gestión de mantenimiento de taladros tipo AC basados en RCM y la norma ISO 14224, para la campaña de perforación de la empresa EQUION Energia Limited, específicamente para el taladro H&P 900 suministrado por la empresa Helmerich & Payne que ha generado impactos claves en los costos de perforación comprometiendo la entrega de proyectos y su sostenibilidad en la perforación de pozos de la licencia Piedemonte.

## 1. ESTADO ACTUAL HELMERICH & PAYNE

### 1.1 MARCO CONTEXTUAL

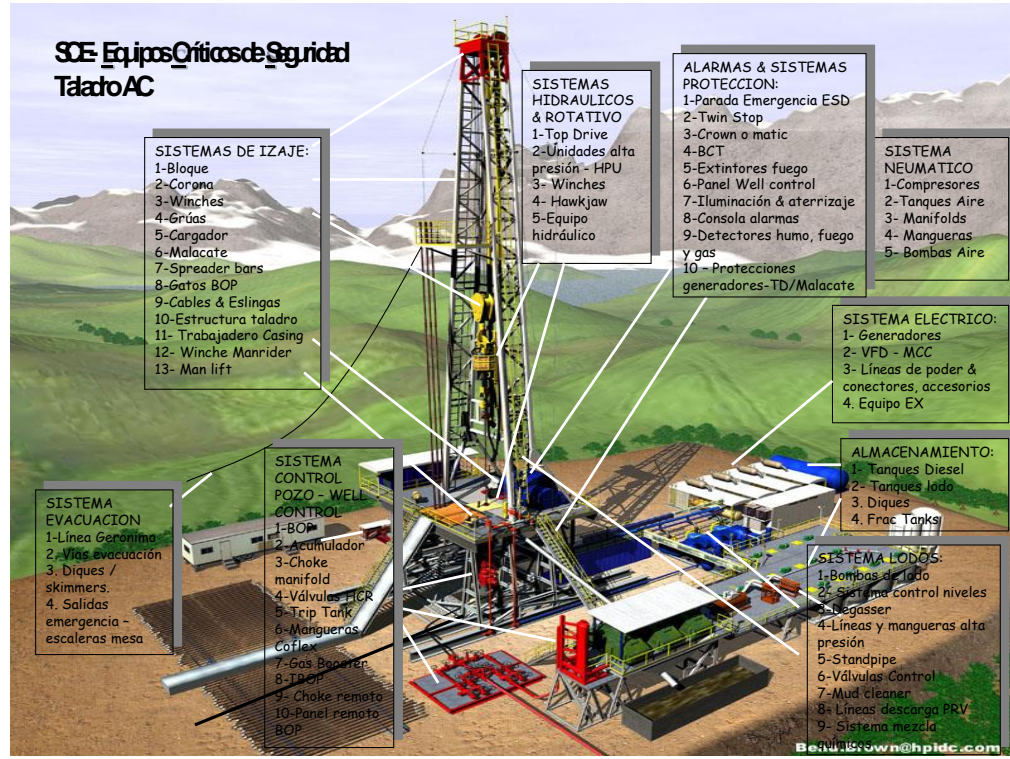
La empresa Helmerich & Payne cuenta con un sistema corporativo para la gestión de mantenimiento denominado RAMS® por sus iniciales en inglés para **Rig Asset Management System** considerado para el mantenimiento preventivo de los equipos críticos para sus operaciones de perforación de pozos petroleros.

En la definición de este tipo de equipos / sistemas se utiliza un análisis de criticidad basado en:

- **Impacto** para la seguridad de las personas, la operatividad del equipo y en el pozo que se perfora: Habilidad para mantener su función en el tiempo
- **Redundancia:** Existen o no otros equipos que puedan alinearse para continuar la operación mientras se repara o reemplaza
- **Frecuencia de falla:** son las veces que falla cualquier componente del sistema.
- **Impacto operacional:** es el porcentaje de tiempo perdido que se afecta cuando ocurre la falla.
- Tiempo promedio para reparar - **MTTR**

Estos equipos críticos se clasifican además de acuerdo con los sistemas mecánicos, eléctricos, hidráulicos, neumáticos o de servicios que conforman en su integración el taladro de perforación. Para efectos de divulgación de los equipos clasificados como críticos se preparó un plegable (Ver Ilustración 1) para el personal que labora o se relaciona con la operación de taladros de perforación. Los equipos críticos o SCE por sus iniciales en inglés corresponden a **Safety Critical Equipment**.

## Ilustración 1. Listado SCE taladros



Equipos tales como el sistema de generación eléctrica, controladores y variador de frecuencia para los motores AC, constituyen equipos críticos pues su potencial falla puede generar apagado del equipo por periodo de varias horas. Para estos equipos se determinan tareas de mantenimiento en intervalos de 100 horas continuas de trabajo que involucran toma de parámetros operacionales, análisis de puntos calientes por termografía, pruebas de aislamiento y continuidad eléctrica, incluyendo la condición de controladores, alarma, bancos de resistencia y del variador de frecuencia VFD.

Según los análisis estadísticos realizados en la empresa en los años 2015 a 2017 representados en las gráficas anexas a continuación, se puede identificar los equipos que necesitaron mayor capital para su reparación y a su vez la mayor cantidad de fallas presentadas. El efecto principal se toma en el tiempo de parada del equipo que en algunas ocasiones ha generado problemas operacionales en el pozo como pega de tubería al no poder mover la sarta de perforación o dejar de bombear fluido de perforación con impactos directos para la empresa contratante del taladro que van más allá de la pérdida relacionada al tiempo no productivo NPT y el costo de reparación asociado al mismo.

Desde el punto de vista mecánico, el sistema de circulación de lodo de perforación incluye tanques de almacenamiento, bombas de lodo, sistemas de alivio por

sobrepresión, tuberías y mangueras de conducción, indicadores de presión y manifold de distribución que cuenta con rutinas como medición de espesores, condición de sellos de las bombas y tuberías y mediciones de desgaste de los elementos causados por el lodo de perforación.

Otros sistemas como manejo de cargas y rotación de la tubería de perforación requieren pruebas especiales para determinar su capacidad de tensión, rotación y torque para darle movimiento a la broca con la cual se realiza la perforación. Dado que durante la perforación de pozos se espera la entrada de gas o hidrocarburos líquidos se requiere un sistema denominado preventor de reventones de pozo - BOP que es un conjunto de válvulas y sellos que permiten al cerrarse contener los fluidos que pudieran ingresar sin control y causar incendios o explosiones por pérdida de control del pozo. Este equipo requiere pruebas continuas para garantizar su funcionalidad y hermeticidad.

El sistema RAMS define las rutinas para el mantenimiento preventivo principalmente de acuerdo a horas de uso o como resultado de la acumulación de uso determina intervenciones mayores tipo overhaul.

El sistema RAMS también permite alimentar órdenes de reparación o trabajos correctivo cuando se presenta fallas no esperadas en el equipo o deterioros progresivos debidos a vibración o alta temperatura. No obstante, los indicadores de desempeño están centrados en el cumplimiento de órdenes de mantenimiento y disponibilidad mecánica del equipo. El sistema RAMS clasifica los equipos según una jerarquía que considera sistema-equipos-partes.

#### 1.1.1 HELMERICH & PAYNE.

Helmerich & Payne, Inc (H&P en adelante por sus iniciales) es una compañía norte americana de perforación ubicada en la ciudad de Tulsa, Oklahoma y fundada en el año 1,920 con Operaciones en diversas partes del mundo. Dentro de sus actividades en la industria de hidrocarburos está la prestación de servicios de perforación de pozos de petróleo y gas así como el suministro de equipos.

H&P es una compañía ubicada en el listado de 500 empresas del mercado accionario listada por Standard & Poors y cotiza en bolsa de valores bajo la sigla NYSE: HP. Para el año 2014 contaba con 12,000 empleados e ingresos operacionales superiores a 1 billón de dólares y activos de 6,72 billones de dólares.

La forma como maneja sus Operaciones H&P está definida por valores probados a través del tiempo como: Integridad, Respeto, Trabajo en equipo y Creatividad. Estos valores definen la cultura corporativa de H&P, inspira a su gente y causa que la empresa subsista en un mundo de incertidumbre con picos y valles típicos de sus operaciones.

Los valores en la Compañía H&P le han dado gobernabilidad por más de cien años y son demostrados cada día por sus empleados a través de: su dedicación para desarrollar sus actividades con Integridad, su compromiso para tratarse unos a otros con respeto, su devoción para operar con seguridad por medio del trabajo en equipo y su creatividad para inspirar ideas innovativas.

En su casa matriz ubicada en Tulsa, el Centro de Excelencia (CoE) es el foco de información central de H&P, responsable por el mantenimiento, monitoreo y soporte técnico para los equipos de perforación tanto a nivel nacional como internacional en especial para los equipos tipo flexible –FlexRig- de H&P.

El CoE así como los grupos de mantenimiento inter disciplinarios están enfocados en la mejora del desempeño de los equipos, reducir los tiempos no productivos y aumentar el valor para sus Clientes.

El proceso de diseño de los taladros flexibles –FlexRig- permite mejoras en diversos aspectos utilizando variadas especializaciones del personal y expertos en fabricación incluyendo requerimientos específicos como:

- Seguridad desde el diseño: Para eliminar riesgos desde la fase de diseño.
- Desempeño en perforación: Implementando tecnología de punta para mejorar los niveles de eficiencia de los equipos.
- Movilidad: Configurar las cargas e inter conexiones con la movilidad del taladro y sus componentes. Integrar equipos para minimizar su manipulación o intervención.
- Manufactura tipo LEAN: Asegurando que diseños y fabricación sean amigables con el medio ambiente y adaptables a técnicas tipo LEAN.

Los equipos tipo Flexible se caracterizan principalmente por:

- Alimentación tipo AC/VFD como tecnología principal
- Programadores lógicos programables (PLC) combinados con un perforador electrónico multi-parámetros
- Integración del Top drive con la estructura para facilidad de operación y movimiento
- Clima controlado, cabina dl perforador diseñada ergonómicamente
- Sistema dedicado para transporte e instalación de la preventora –BOP-

- Llave de ajuste de tubería y manipulación hidráulica así como del sistema de movilización de la torre
- Sistema de lodos de Perforación con tanques redondos
- Mesa de perforación con sistema de contención de derrames
- Skid hidráulico para movimiento del taladro en plataformas de Pozos múltiples

Hoy, dado que el Mercado se ha ido moviendo hacia los equipos tipo AC como los taladros más adaptables a los requerimientos de la industria, los taladros tipo FlexRig de H&P han permitido mejoras sustanciales y beneficios con la reducción de tiempos de movilización y menor cantidad de fallas tanto en perforación de pozos no convencionales principalmente.

### 1.1.2 TALADROS DE PERFORACION

#### PERFORACION DE POZOS PETROLEROS

Según el Manual de Operaciones de perforación de pozos ECOPETROL: “El objetivo de la perforación es construir un pozo útil, de larga vida: generar un medio de conducción desde el yacimiento hasta la superficie, que permita su explotación racional en forma segura y al menor costo posible.

El diseño de un pozo incluye un programa detallado para perforarlo con las siguientes características:

- Seguridad durante la operación (Del personal y al equipo).
- Costo mínimo.
- Pozo útil de acuerdo a los requerimientos de producción y yacimientos (profundidad programada, diámetro establecido, etcétera).

## Ilustración 2. Equipo de perforación en Heinersdorf



Fuente: Equipo de perforación en Heinersdorf [En línea]. Disponible en:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Erdoelbohrung\\_in\\_Hiersdorf\\_bei\\_Wartberg\\_an\\_der\\_Krems.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Erdoelbohrung_in_Hiersdorf_bei_Wartberg_an_der_Krems.jpg).

Consultado el 20 febrero del 2018.

Para elaborar el programa de perforación de un pozo es fundamental realizar una búsqueda de información general relativa al área en la cual se van a ejecutar las operaciones e información técnica de referencia. A partir de esta información, en caso de que exista, se inicia la elaboración de informes preliminares que deben contener, entre otra, la siguiente información:

- Localización geográfica del proyecto y su jurisdicción
- Autoridades competentes en la jurisdicción
- Magnitud de las obras de infraestructura necesarias
- Fuentes seguras de suministro de agua para la operación y el campamento
- Impacto inmediato en la zona de influencia
- Comunidades en el área de influencia
- Restauración posterior de áreas afectadas
- Logística operacional de movilización y apoyo a las operaciones
- Diseño básico del estado mecánico del pozo

### 1.1.2.1 SELECCIÓN DE EQUIPOS

#### **GENERALIDADES**

Seleccionar un equipo de perforación implica escoger el equipo que garantice la perforación y completamiento del pozo de la forma más segura, técnica y económica posible.

El proceso de selección de los equipos utilizados en la perforación de un pozo comprende dos etapas básicas que son:

- Establecer las necesidades de potencia de los motores, resistencia y capacidad del equipo, de acuerdo con las cargas a manejar. Los datos para el diseño se obtienen de las bases de diseño del programa de pozo y las características geológicas de las formaciones.
- Escoger el equipo adecuado para el manejo de las potencias y cargas requeridas en las operaciones normales de perforación. Esta parte es la selección propiamente dicha, determina o evalúa mediante la aplicación de las cargas diseñadas, la resistencia y capacidad de los diferentes componentes comprometidos con el manejo de ellas.

### 1.1.2.2 SISTEMA DE POTENCIA

El sistema de potencia es el conjunto de generadores y motores que imprimen la fuerza motriz que requiere todo el proceso de perforación. La energía de los equipos es consumida en gran parte por el sistema de levantamiento de cargas y por el sistema de circulación de fluidos y de otros sistemas que tienen menores requerimientos de energía. Es importante aclarar que el sistema de levantamiento de cargas y el bloque viajero no son siempre utilizados simultáneamente con el sistema de circulación ya que depende del tipo de equipo que se esté utilizando, es decir si el equipo es mecánico o eléctrico. Los componentes básicos del sistema de potencia de un equipo de perforación son:

- Plantas Generadoras
- Tanques de Combustibles
- Motores

### 1.1.2.3 SISTEMA DE LEVANTAMIENTO

El sistema de levantamiento de cargas tiene como función proveer el medio de levantamiento o descenso de las sargas de perforación, producción y otros equipos de subsuelo dentro o fuera del pozo. Sus elementos son:

- Cable de perforación
- Bloque Viajero
- Gancho
- Corona
- Elevadores
- Consola del Perforador
- Indicador de Peso sobre la broca
- Cabeza de Gato
- Malacate
- Cuñas
- Subestructura
- Rampa para tubería o V – door
- Aparejo
- Top drive

#### 1.1.2.4 CABLE DE PERFORACIÓN

El cable de perforación sostiene todo el ensamblaje de perforación por medio de un sistema de poleas y de varios dispositivos de levantamiento. Las poleas y los dispositivos de levantamiento son llamados, conjuntamente, las herramientas de elevación. Entre ellas se incluyen: la corona, el bloque viajero, el gancho y los elevadores.

El término de cable de perforación se emplea para designar al cable de acero enrollado en el tambor del malacate, que pasa por la corona y el bloque viajero. Está sujeto en un extremo al ancla de línea muerta y es usado para soportar las sargas de trabajo. Se utiliza también durante los viajes para sacar o meter la tubería y para soportar la sarga de perforación mientras avanza la perforación.

#### 1.1.2.5 BLOQUE VIAJERO

El bloque viajero sube y baja entre dos posiciones en la torre. Este lleva en su extremo inferior el gancho, el cual soporta la sarga de tubería cuando avanza la perforación y los brazos (bails) que sostienen los elevadores, cuando se mete o saca tubería.

- Capacidad de carga: La selección de un bloque viajero para una torre determinado o para un trabajo especial, depende de la capacidad de carga del bloque en toneladas. La capacidad de los bloques viajeros ha sido establecida por el Instituto Americano del Petróleo (API), y puede variar de cinco toneladas a 650 toneladas o más.
- Capacidad de carga de los rodamientos: Se recomienda asignar un valor adicional para la capacidad de carga del cojinete principal de un bloque viajero. Generalmente, la clasificación de carga de los cojinetes es más alta que la capacidad de carga del bloque entero.

#### 1.1.2.6 EL GANCHO

El gancho es una gigantesca pieza de conexión suspendida del bloque viajero, que sirve para agarrar las diferentes piezas del equipo necesarias para perforar y para hacer viajes redondos. El gancho gira sobre sus rodamientos en su caja de soporte y puede fijarse hasta en doce posiciones distintas. Un resorte dentro del gancho amortigua el peso de la tubería de perforación para que las roscas de las uniones de tubería no se dañen al enroscar o desenroscarlas. El gancho tiene un cerrojo de seguridad para la unión giratoria y tiene orejas a ambos lados para agarrar los eslabones del elevador (links).

El posicionador opcional (perro) hace girar automáticamente el elevador hasta la posición requerida por el encuellador cuando éste recibe la siguiente parada de tubería que está entrando al hueco.

También impide que el gancho y elevador giren como resultado del enroscamiento de la tubería que está entrando al hueco.

#### LA COMBINACIÓN GANCHO – BLOQUE

La incorporación del gancho y bloque viajero resultó en una unidad que ocupaba menos espacio de lo que tomaban los dos individualmente. Durante algún tiempo se consideró el gancho – bloque inferior en fuerza a la potencia combinada de las dos piezas separadas; sin embargo, hoy en día se pueden conseguir ganchos – bloques con capacidad de carga hasta de 650 toneladas, en los modelos más grandes.

La gran ventaja que ofrece el conjunto gancho – bloque es su diseño compacto, comparado con un gancho y un bloque de igual capacidad de carga. Una desventaja es que, si el gancho se descompone, hay que enviar el ensamble completo al taller de reparaciones. En cambio, con el sistema de gancho y bloque separados, el bloque no tendría que desenhebrarse y se podría sustituir temporalmente el gancho descompuesto, sin mayor interrupción de las operaciones de trabajo.

### 1.1.2.7 POLEA VIAJERA

La polea viajera o bloque es un conjunto de varias poleas montadas en una estructura común a través de la cual se enhebra, el cable de perforación. Su propósito es multiplicar la fuerza del cable de perforación para poder levantar las cargas necesarias durante la perforación. La función de las poleas es guiar y sostener el cable de perforación a su paso por los bloques. El número de poleas en un bloque está determinado por el peso que éste debe levantar.

Las poleas varían de tres a siete por bloque; El diámetro de la superficie de rodamiento de la polea, medido de lado a lado de la ranura, es muy importante para juzgar si el cable y la polea podrán funcionar bien en conjunto.

### 1.1.2.8 CORONA

La corona es un arreglo de poleas montado en el tope de la torre de perforación. La mayoría de las coronas de reciente fabricación tienen de cuatro a siete poleas que pueden ser hasta de cinco pies de diámetro y están montadas en fila en un pasador central.

La disposición especial de las poleas en este tipo de torre portátil hace que la línea viva y la línea muerta bajen por la parte posterior del mástil.

### 1.1.2.9 ELEVADORES

Los elevadores son abrazaderas que sujetan firmemente la parada de tubería, ya sea de perforación, de revestimiento o de producción, o las varillas de bombeo, de tal manera que la parada de tubería pueda ser descendida dentro del hueco o levantada fuera de él. Los elevadores de tubería usados específicamente para tubería de cinco poleas es lo más común, pero los pozos más profundos a menudo requieren seis o siete. El diámetro de una polea puede ser hasta de 60 pulgadas.

Hay dos características importantes de las poleas que deben tenerse presentes:

- El radio de las ranuras de las poleas, por donde deberá correr el cable, tiene que coincidir con el diámetro exterior del cable. Si la ranura de la polea es demasiado angosta para el cable, habrá desgaste excesivo tanto en éste como en los lados de la polea.
- Si la ranura es demasiado ancha, el cable carecerá del soporte lateral necesario y tendrá la tendencia de achatarse al pasar por la polea. Perforación están asegurados al gancho por medio de eslabones o asas.

#### 1.1.2.10 SISTEMA DE CIRCULACIÓN DE FLUIDOS

La función principal del sistema de circulación de fluidos es la remoción de los cortes del fondo del hueco durante la perforación. Los componentes del sistema circulatorio incluyen:

- Tanques de lodo
- Tanques de agua
- Bombas de lodo
- Manguera de lodo
- Línea de retorno de lodo
- Zarandas
- Desarenador
- Des-arcillador
- Piscina de cortes
- Stand Pipe

#### 1.1.2.11 SISTEMA ROTATORIO

El Sistema Rotatorio de acuerdo a la definición del Instituto Americano del Petróleo (API) y la Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (IADC), se refiere a todos los componentes de la sarta de perforación desde la unión giratoria (Swivel o Top Drive) hasta la broca, incluyendo el cuadrante, la tubería de perforación junto con el BHA y los diversos equipos auxiliares.

La sarta de perforación se refiere únicamente a la tubería de perforación, la cual se emplea para permitir el flujo del lodo y transmitir potencia de rotación desde el cuadrante o Top Drive hasta los BHA y la broca. Aunque el BHA suele contarse como parte de la sarta de perforación, este no constituye parte de ésta.

El sistema rotatorio incluye todos los equipos usados para alcanzar la rotación de la broca; algunas de las partes de este sistema son:

- Swivel
- Mesa rotaria
- Cuadrante o Kelly
- Brocas

- Tubería de perforación

#### 1.1.2.12 TOP DRIVE

El top drive se compone de: unión giratoria, motor eléctrico, frenos de disco para cualquier orientación direccional y un freno de inercia. Asimismo, cuenta con un sistema para controlar el torque, sistemas de contrabalanceo para duplicar las funciones del amortiguamiento del gancho convencional, válvula de control inferior, elevador bi-direccional para enganchar paradas y elevadores de potencia (estos últimos son opcionales).

El Top Drive es aplicado en la perforación de pozos desviados, horizontales, multilaterales y bajo balance. Sus principales beneficios son:

- Elimina dos tercios de las conexiones al perforar con paradas triples
- Mantiene la orientación direccional en intervalos de 90 pies, y reduce el tiempo de supervisión (survey time) mejorando el control direccional
- Toma núcleos en intervalos de 90 pies sin tener que hacer conexiones.
- Se tiene perforación horizontal en tramos de 90 pies
- Mejora la eficiencia en perforación bajo balance
- Se puede rimar y circular durante los viajes
- Se puede circular y rotar mientras se viaja en pozos horizontales
- Mejora la seguridad en el manejo de tubería
- Se tiene para perforación en tierra y costa-afuera
- Sistemas compactos para acoplarse a la mayoría del equipo de perforación

#### 1.1.2.13 KELLY

La kelly es un tubo pesado de acero de forma cuadrada, hexagonal o triangular, el cual se acopla al cuadrante de la mesa rotaria por medio del buje de impulsión de la kelly (o kelly bushing) para transmitir la energía de rotación a la broca a través de la sarta de perforación.

Frecuentemente se colocan dos válvulas de seguridad en cada extremo. La primera, en el extremo superior se denomina válvula de seguridad superior de la kelly. La otra se coloca en el extremo inferior y se denomina válvula de seguridad inferior. Una o ambas válvulas pueden cerrarse para impedir que la presión proveniente del interior de la tubería de perforación llegue a la kelly o a la manguera de lodo.

#### 1.1.2.14 TUBERÍA DE PERFORACIÓN

La tubería de perforación es un tubo de acero o aluminio usado para transmitir energía de rotación y permitir el flujo del lodo a la broca. La longitud usada más comúnmente es la de 30 pies. La unión de tubería es un accesorio especial con enroscado que se agrega a los extremos de cada sección de tubería de perforación, permitiendo así conectar las secciones de tuberías para armar la sarta de perforación.

Esta tubería se fabrica de acuerdo a las especificaciones del API para resistencias a punto cedente y a la tensión. La resistencia mínima o punto cedente se refiere a la fuerza necesaria para estirar o comprimir la tubería de perforación hasta deformarla permanentemente.

#### 1.1.2.15 SISTEMA DE CONTROL DE POZO

El paso más importante para la prevención de una patada de pozo es el cierre oportuno de las válvulas preventoras de reventones. Muchos estudios y experiencias se han recogido a lo largo de años en la industria permitiendo desarrollar procedimientos simples y fáciles de entender para detectar y controlar la arremetida o patada del pozo. El entrenamiento y certificación en control de pozo es fundamental para garantizar el desarrollo de operaciones seguras en conjunto con las políticas de la compañía contratista de taladro.

El sistema de control de pozo previene el flujo sin control de los fluidos de la formación hacia la boca del pozo. El sistema de control permite: detectar el amago (kick) del pozo, cerrar el pozo en superficie, circular el pozo bajo presión para remover los fluidos de la formación e incrementar la densidad del lodo, para mover la sarta de perforación bajo presión y permitir el direccionamiento del flujo. Los componentes básicos son:

- Preventora anular de reventones
- Preventora de reventones de arietes
- Unidad de acumulación
- Válvulas de estrangulamiento (Manifold)
- Separador de gas
- Línea de matado

### 1.1.3 CONSIDERACIONES BÁSICAS EN LA SELECCIÓN DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN

En la selección de los componentes de un equipo de perforación terrestre es necesario tener en cuenta los siguientes criterios:

- Establecer cuál o cuáles serán el o los sistemas predominantes en la selección. Esto se puede averiguar discerniendo sobre los factores de mayor importancia.
- Disponer de un completo y definido diseño del pozo, el cual incluya datos de perforabilidad de las rocas.
- Utilizar factores de diseño que ofrezcan seguridad suficiente, pero teniendo en cuenta que el sobre-diseño incrementa los costos.
- Las condiciones críticas deben ser las que determinen las cargas para calcular las capacidades y resistencias de los componentes. La capacidad para soportar con seguridad todas las cargas.
- La facilidad de transporte del equipo de perforación es un factor preponderante en la selección, si se planea perforar varios pozos con el mismo equipo, o la situación lo permite, seleccionar equipos autopropulsados que cuentan con mayor facilidad de transporte de una localización a otra.

#### 1.1.3.1 SISTEMA DE TRANSMISIÓN Y MALACATE

Para la perforación de pozos profundos se utilizan sargas de tubería y botellas de perforación de gran longitud, cuyo peso combinado puede ser medido en cientos de miles de libras. Tales pesos requieren una gran capacidad de levantamiento y de frenos. El malacate moderno consiste en un tambor giratorio, alrededor del cual se enrolla el cable de perforación y sobre el cual están montados los rotores y una serie de ejes, embragues y varias transmisiones para efectuar los cambios de velocidad y retroceder.

El malacate es la unidad de potencia más importante de un equipo. Por lo tanto su selección requiere de mayor cuidado al adquirir los equipos o en su caso, al utilizarlos en un programa específico. El malacate es un sistema de levantamiento en el que se puede aumentar o disminuir la capacidad de carga, a través del cable enrollado en el tambor o carrete.

En la selección del malacate se debe evaluar los siguientes criterios:

- Potencia de entrada
- Factores de diseño del cable
- Freno de fricción del malacate
- Dimensiones del tambor o carrete
- Relación de velocidad
- Embrague de fricción

La transmisión en un equipo de perforación consiste de un ensamblaje de cadenas, ejes y balineras antifricción, diseñadas para trabajar en condiciones de máximos esfuerzos.

#### 1.1.3.2 SISTEMA DE FRENOS

El sistema de frenos de fricción del malacate es importante para la correcta operación del equipo. Los requerimientos básicos son:

- La seguridad
- Efectividad
- Facilidad de mantenimiento

La seguridad y confiabilidad se obtiene con diseños cuidadosos y construcciones fuertes de todos los elementos sometidos a cargas en el sistema de frenado.

Las compañías fabricantes de malacates han incorporado una forma de frenado auxiliar que permite manejar con seguridad cargas pesadas a baja velocidad, evitando el desgaste prematuro y mantenimiento excesivo de los frenos.

#### 1.1.3.3 SISTEMA CIRCULATORIO

Sumando las pérdidas de potencia en el sistema de transmisión hacia las bombas, a su eficiencia volumétrica, obtenemos la eficiencia total del sistema, con la cual se determinará la potencia en los motores de las bombas, lo mismo que el caballaje hidráulico teórico de salida.

#### 1.1.4 OPERACIONES BÁSICAS DE PERFORACIÓN

El diseño de la perforación de pozos es un proceso sistemático y ordenado. El primer paso en la planeación de un pozo debe ser la recolección de todos los datos

disponibles; información de pozos cercanos perforados, problemas operaciones ocurridos, datos de los pozos como: registros, pruebas DST, corazones, nivel de acuíferos, geología básica en el área de interés, estado mecánico, fluido de perforación utilizado, entre otros. Este proceso requiere que algunos aspectos se determinen antes que otros. Por ejemplo, se requiere que la presión de formación sea determinada previamente para predecir la presión de fractura.

Las etapas para la planeación del pozo están bien definidas y son las siguientes:

- Recopilación y análisis de la información disponible de pozos cercanos.
- Predicción de presión de formación y fractura.
- Diseño del tamaño del hueco, diámetros, intervalos
- Diseño del programa de tuberías de revestimiento.
- Selección de la geometría y trayectoria del pozo.
- Programa de fluidos de perforación.
- Programa de brocas de perforación.
- Diseño de tuberías de revestimiento.
- Programa de cementación.
- Diseño de la sartas de perforación.
- Programa de hidráulica.
- Selección del equipo de perforación.
- Tiempos estimados de perforación.
- Estimación de costos de la perforación.

Debido a que este proceso es general y puede aplicarse para el diseño de cualquier tipo de pozo, el único requerimiento específico consiste en aplicar la tecnología adecuada en cada etapa. La planeación de la perforación de un pozo, requiere de la integración de ingeniería, geología, seguridad, medio ambiente, lecciones aprendidas y costos acordes con el trabajo a realizar.

Para ubicar el pozo, existe una forma de posicionar exactamente un punto en la tierra mediante el uso de las coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator) que son universales y están referidas a cierta proyección cónica de la tierra. Para perforar un pozo se requiere de uno en superficie para definir su trayectoria.

La coordenada en superficie nos indica la posición desde la cual se inicia la perforación y la coordenada en fondo nos indica el punto que localiza el objetivo,

definiendo así si el pozo es vertical o desviado. Sin embargo, puede existir más de un objetivo en el pozo.

La perforación se realiza por etapas, de tal manera que el tamaño del pozo en la parte superior ocupa el mayor diámetro y una vez perforado a la profundidad diseñada debe ser revestido, se continua la perforación de la siguiente sección con una broca de diámetro menor, se correr un nuevo revestimiento, y se continua con la perforación de las siguientes secciones hasta alcanzar la profundidad total (TD). Las principales secciones y revestimientos que se corren durante la perforación de un pozo son:

#### 1.1.4.1 REVESTIMIENTO CONDUCTOR

El hueco conductor que se perfora es el de mayor diámetro del pozo, pues a través de él pasan todas las tuberías de revestimiento que se utilizan. En este primer revestimiento se sienta el primer cabezal y se instalan las conexiones superficiales de control y las conexiones de circulación del lodo de perforación.

En el mar, es la primera tubería que se extiende desde la plataforma hasta abajo del lecho marino. Algunas veces se instala un diverter sobre la cabeza del conductor para circular lejos del pozo flujos superficiales de agua salada o gas.

#### 1.1.4.2 REVESTIMIENTO DE SUPERFICIE

La correcta perforación y asentamiento del hueco de superficie evitará problemas futuros. Los puntos de control más importantes son: la verticalidad, los flujos de aguas superficiales y la cementación del revestimiento.

Los siguientes parámetros operacionales son una guía para el logro de estos objetivos:

- El control de presiones en huecos de superficie, donde se presentan acuíferos activos o arenas permeables gasíferas es de cuidado, de ahí la importancia de mantener el control primario: densidad adecuada y hueco siempre lleno de lodo.
- En arenas superficiales no consolidadas y en localizaciones que han sido construidas sobre relleno, debe iniciarse la circulación a baja presión para evitar fracturar, perder lodo y dañar la localización.
- El control primario de la verticalidad normalmente se logra con el menor peso sobre la broca y altas revoluciones, y en buzamientos severos, con sartas estabilizadas diseñadas para cada caso en particular.

- Si el pozo es exploratorio y hay la mínima sospecha de presencia de gas, aunque el riesgo sea pequeño, se debe instalar el sistema preventor de desviación de flujo (diverter).
- Asegurar un buen suministro de agua debido a las altas pérdidas y grandes volúmenes de lodo que se presentan en esta parte del pozo.
- En éste sector del pozo se emplea una tubería de revestimiento conectada al cabezal y cementada, que permitirá soportar todo el peso del equipo de control de pozo (BOP).

#### 1.1.4.3 REVESTIMIENTO INTERMEDIO

El hueco intermedio es protegido con la tubería de revestimiento intermedia que es colocada entre la tubería de superficie y la de producción, El revestimiento intermedio se baja cuando es necesario aislar las zonas problemáticas intermedias durante la perforación, como zonas de alta presión o zonas de pérdida de circulación.

#### 1.1.4.4 REVESTIMIENTO DE PRODUCCIÓN

El revestimiento de producción tiene como función aislar fluidos indeseables en el yacimiento y permitir probar y producir los hidrocarburos. Se corre también para proteger el pozo de derrumbes, filtraciones o cualquier otro problema propio de la perforación. El último tramo de la tubería de revestimiento se llama "liner de producción" y se fija con cemento al fondo del pozo. Este es primer revestimiento se sienta el primer cabezal y se instalan las conexiones superficiales de control y las conexiones de circulación del lodo de perforación.

En el mar, es la primera tubería que se extiende desde la plataforma hasta abajo del lecho marino. Algunas veces se instala un diverter sobre la cabeza del conductor para circular lejos del pozo flujos superficiales de agua salada o gas.

Generalmente cubre la parte profunda productiva del pozo y utiliza un colgador en el último tubo que lo une al revestimiento del hueco intermedio, esta sección dentro del revestimiento intermedio es conocida como el traslape, su longitud es de 150 a 450 pies, dependiendo del objetivo de producción y de la longitud del liner. En pozos de gas es recomendable utilizar un empaque al tope del liner para aislar el anular.

Por lo tanto, para la perforación de pozos que cumplan con los requerimientos de integridad mecánica y entrega de reservas planeadas, se requiere de una selección adecuada del equipo de perforación, así como del mantenimiento, inspección y

pruebas de los equipos catalogados como críticos para minimizar la ocurrencia de evento que generen tiempos no productivos o generen afectación de personas o del medio ambiente.

Las compañías Operadoras y las propietarias de taladros en general consideran el uso de aplicaciones electrónicas para la gestión del mantenimiento de equipos críticos CMMS para la operación del taladro y su ejecución se hace a través de órdenes de trabajo que tienen seguimiento hasta cierre manteniendo como requerimiento el seguimiento de los requerimientos de cada fabricante y el uso de partes originales de repuesto para mantener la confiabilidad de los equipos clave en las actividades de perforación, completamiento o re-acondicionamiento de pozos productores de petróleo o de gas tanto en tierra como costa afuera.

#### 1.1.4.5 TALADROS DE PERFORACION (AC)

Los taladros mecánicos usualmente son más pequeños que los taladros eléctricos. Los motores le transmiten energía al sistema, y de allí la energía pasa a las bombas de lodo, malacate y sistema de la rotaria. Los motores accionan una transmisión mecánica compuesta la cual transmite potencia

- El malacate.
- Sistema de la mesa Rotaria.
- Bombas de Lodo.

El equipo auxiliar como motores pequeños recibe corriente alterna de un alternador conectado al prime mover o motor principal.

Motores AC: Algunos elementos pequeños del taladro también necesitan potencia. Por ejemplo, las bombas centrífugas mueven lodo desde un tanque para sobrecargar la entrada de las bombas de lodo. En este caso es más eficiente usar pequeños motores para alimentarlas en lugar de usar los motores principales, fluido hidráulico o aire. Otro motor AC suministra potencia a las aspas de un agitador de lodo en los tanques de mezcla. Los motores AC generalmente le suministran energía al equipo que no requiere mucha potencia, por ello usan una potencia de 1 hP (0.75 KW) a 150 hP (100KW).

#### 1.1.4.6 TALADROS DE PERFORACION (DC)

Emplean grandes motores con el tipo de corriente directa DC que suministran la potencia a las bombas de lodo, malacate y mesa rotaria o top drive. Algunas veces el malacate acciona mecánicamente la mesa rotaria, pero en algunos equipos la rotaria tiene su propio motor. El perforador puede controlar la velocidad del motor

DC con mucha precisión, por ello se prefieren los motores DC sobre los AC. Con un control preciso de la velocidad, el perforador puede manipular mejor el malacate, la bomba de lodo y la mesa rotaria. Los demás sistemas con similares a otro tipo de taladros y son preferidos por su simplicidad en relación a taladros tipo AC de última tecnología y su menor costo de alquiler donde el desempeño y control no son claves en la decisión de uso. Comúnmente se conocen como taladros convencionales”<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> ECOPETROL. Manual de Operaciones de perforación de pozos (Documento GTD- SPE-M-001 versión 1 – 2009)

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la perforación de pozos productores de petróleo y gas se utilizan taladros de perforación de diferentes capacidades de acuerdo a la profundidad y complejidad del pozo a perforar, incluyendo desde equipos básicos de perforación hasta equipos con alto grado de sofisticación según el ambiente en el que operen como taladros en tierra o costa afuera donde el uso de mayor tecnología es requerido.

En el piedemonte llanero colombiano se utilizan taladros de perforación de 1500 a 3000 HP de tipo convencional (DC) y de nueva tecnología (AC).

**Ilustración 3.** Taladro de perforación



Fuente: Taladro de perforación. Gasopedia [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/DiegoMartinez/sistemas-basicos-del-equipo-de-perforacion>. Consultado el 25 febrero del 2018.

La falla de equipos principales en taladros de perforación tales como bombas de lodo, top drive, malacate y sistemas de levantamiento ocasionan tiempos no productivos con alto impacto a las operaciones de perforación y al costo del proyecto

(Durante 2016 las pérdidas de tiempo – NPT relacionadas con equipos de perforación fueron del 19%)

Las rutinas de mantenimiento no se cumplen adecuadamente, se utilizan repuesto que no son originales y personal de baja competencia debido en parte al impacto de los bajos precios del petróleo y por tanto a la reducción de las tarifas de alquiler de los taladros de perforación.

Los equipos de nuevas tecnologías tipo AC requieren mayor competencia del personal que opera este tipo de equipos que tradicionalmente evolucionan de los taladros convencionales tipo DC dado su mayor nivel de automatización en la mayor parte de los sistemas operativos y la inclusión de un centro de mando – VFD que centraliza las funciones y la seguridad del equipo.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo general

- Optimizar el sistema de gestión de mantenimiento en los taladros de perforación tipo AC-3000 HP usado actualmente por la empresa Helmerich & Payne

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Definir los equipos críticos para la operación de perforación con sus jerarquías y rutinas de mantenimiento preventivo-predictivo alineado con los requerimientos de los manuales de operación y mantenimiento de los fabricantes, basados en análisis de criticidad considerando el impacto de falla, redundancia, frecuencia de falla y tiempo de reparación.
- Establecer y analizar los modos de fallas asociados a los equipos principales como bombas de lodo y sistema de circulación, malacate, sistemas de frenos principal y auxiliar, sistema de generación eléctrica, sistema de control y variador de frecuencia, equipo de control de reventones de pozo, top drive, sistema de levantamiento de cargas y controles en la cabina del perforador, incluyendo los síntomas de alarma asociados a los modos de falla.
- Implementar indicadores de desempeño para el sistema de gestión de mantenimiento de tipo proactivo y reactivo para disminuir costos de operación
- Análisis de los repuestos críticos requeridos para mantenimiento de los equipos críticos seleccionados

## 1.4 JUSTIFICACION

El impacto operacional y económico en las actividades de perforación en el piedemonte llanero colombiano para la empresa Equion Energía durante el año 2016 excedieron 44 millones de dólares, de los cuales 8,9 millones correspondieron a numerosas fallas de los equipos críticos, desencadenando a su vez impactos asociados como: pegas de tuberías, daños a la formación que se perfora, demoras en restablecer la operación, entre otros.

Sumado a esto, se identificó la realización no adecuada de los procesos de mantenimiento, la falta de capacitación en manejo de tecnologías avanzadas como en los taladros de perforación tipo AC y la utilización de repuestos que no son los adecuados para los equipos (repuestos no originales).

Este problema se vuelve muy relevante por el fuerte impacto económico en esta industria por los bajos precios del barril de petróleo en los últimos años, generando a su vez una disminución en los precios de alquiler de los equipos de perforación.

El objetivo de este trabajo es proponer mejoras a los procesos de mantenimiento ya establecidos, alineándolo con los manuales de operación y mantenimiento de los fabricantes aumentando la disponibilidad de estos, realizando un análisis de criticidad, estableciendo los modos de falla y realizando una capacitación adecuada al personal para el manejo adecuado de los equipos identificados como críticos.

Adicionalmente se establecerán e implementarán indicadores de gestión de mantenimiento de tipo proactivo para prolongar los tiempos medios entre fallas, los tiempos de reparación y así mismo la reducción gradual de los costos asociados a las operaciones de perforación, al incrementar la confiabilidad del equipo.

## 2. MARCO TEORICO

Según el autor del libro de Sistemas de información de mantenimiento “El mantenimiento es un servicio que agrupa una serie de actividades mediante las cuales un equipo, máquina, construcción civil o instalación, se mantiene o se restablece a un estado apto para realizar sus funciones, siendo importante en la calidad de los productos y como estrategia para una competencia exitosa.

Los esfuerzos realizados en el área de mantenimiento consisten en reducir al mínimo el efecto de las averías de los equipos y de las instalaciones, y proporcionar información relacionada con la experiencia y conocimiento de los departamentos relacionados con el proceso productivo a fin de reducir el trabajo de mantenimiento, el tiempo improductivo y sus costos

Objetivos del mantenimiento:

- Maximizar la disponibilidad de los equipos e instalaciones para las actividades de producción
- Asegurar el funcionamiento confiable y eficiente de los equipos e instalaciones, acorde a los patrones establecidos en seguridad, protección ambiental e imagen de la empresa
- Evitar el deterioro acelerado de los equipos e instalaciones
- Proporcionar los servicios necesarios para la continuidad operacional de las instalaciones, y el bienestar de la comunidad

### TIPOS DE MANTENIMIENTO

**MANTENIMIENTO CORRECTIVO:** Es aquel mantenimiento que se realiza cuando se presenta la falla del equipo; no requiere programación, debido a su naturaleza fortuita. Esta clase de mantenimiento afecta las líneas de producción, ocasionando que no sea del todo práctico. Requiere personal altamente entrenado, repuestos y subconjuntos disponibles, y equipos y herramientas necesarios a pie de máquina para no demorar la reparación. Se aplica cuando la falla del equipo no afecta la seguridad, el medio ambiente, ni los costos de producción salvos los propios de la reparación.

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO:** Este tipo de mantenimiento tiene lugar antes que ocurra la falla mediante inspección sistemática. El personal encargado determina el momento en que se puede presentar la falla y realiza la intervención. Requiere una programación previa por lo que no afecta la producción de la empresa.

**MANTENIMIENTO PREDICTIVO:** Al igual que el mantenimiento preventivo, este tipo de mantenimiento se adelanta a la falla del sistema, pero con la diferencia que lo hace bajo la medición de diversos parámetros. Requiere de personal altamente calificado, y de herramientas específicas para poder realizar las mediciones, lo que implica una alta intervención.

**MANTENIMIENTO BASADO EN EL TIEMPO (MBT):** Es el mantenimiento que se realiza con frecuencias preestablecidas y durante dichos intervalos, no se efectúa ningún tipo de mantenimiento de equipos. Al ponerlo en práctica, generalmente se sacrifica un valor residual en beneficio de la fiabilidad del sistema y de la oportunidad de aplicación.

La intensidad con la que se aplique mejora la confiabilidad, pero aumenta notoriamente los costos. Para lograr un buen MBT, se debe disponer de estadísticas de averías del equipo que, sumadas a las recomendaciones del proveedor, permitan determinar el periodo de recambio y/o reparación; un buen sistema de programación y manejo de la información, y una adecuada política de subconjuntos.

**MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICION (CBM):** Es el mantenimiento llevado a cabo en respuesta a un deterioro significativo de una máquina, no se efectúa ningún mantenimiento mientras la condición no cambie. El estudio de los patrones de deterioro de equipos modernos y complejos muestra que son pocos los equipos a los cuales se puede aplicar el MBT<sup>2</sup>.

## 2.1 SISTEMAS DE GESTION DE MANTENIMIENTO

Según el libro de Principios de mantenimiento “Después de la elaboración del plan de mantenimiento, es necesario determinar cómo se ejecutará ese plan, es decir planificar la ejecución. El planificar significa establecer cuando y quien realizar cada uno de los grupos de tareas que fueron agruparon previamente según el área de trabajo, el equipo, los profesionales de la misma especialidad o por frecuencia de realización, nos referimos a rutas de mantenimiento cuando se incluyan tareas a realizar de diferentes equipos y a gamas de mantenimiento cuando se incluyan tareas solo referentes a un equipo.

La planificación de las rutas diarias suele ser sencilla, como su nombre lo indica es lo que debe realizarse diariamente, lo que hace que sea simplemente necesario establecer la hora de realización de la tarea y el responsable de llevarla a cabo, mientras que en las rutas semanales además de determinar el personal responsable de ejecutar la tarea también es necesario revisar qué día de la semana puede salir de funcionamiento el equipo y así planificar el día de la ejecución.

---

<sup>2</sup>FUENTES DIAZ, David. Sistemas de información de mantenimiento. Bucaramanga. UIS.2015. pág. 7

Los gamas y rutas mensuales son algo más difícil de programar, por ejemplo, podemos determinar la semana del mes en la que se va a realizar el trabajo y a medida que se acerque la fecha puede programarse con mayor exactitud, así mismo para las gamas anuales es conveniente programar el mes de realización y a medida que se acerque la fecha determinar qué semana.

El mantenimiento preventivo tiene una ventaja sobre los demás tipos de mantenimiento y es porque su condición de programable se hace sencilla su planificación. Sobre las revisiones que competen de forma sistemática ya sean técnicas o reglamentarias, es necesario tener la información suficiente para conocer su duración y carga de trabajo media, aunque debemos tener en cuenta que puede aparecer una mayor carga de trabajo ya sea por degradaciones o circunstancias específicas.

Si las revisiones son de media o larga duración y se entiende que para realizarlas implican varias jornadas / hombre, es necesario disponer de un programa desglosado y detallado que puede llevarse a cabo con métodos como CPM, PERT, GANTT.

#### METODO CPM

El CPM fue desarrollado en 1956 en la empresa Du-Pont USA y creado apoyando la construcción de plantas industriales y su fundamento está basado en buscar la optimización de los costos la programación y control a largo plazo o en la probabilidad de actividades en caso de que esto ocurra, en la administración y gestión de proyecto, la ruta crítica es la secuencia de elementos terminales de la red del proyecto con la mayor duración entre ellos, estableciendo el trabajo más corto para complementar el proyecto, la duración de la ruta crítica determina el tiempo de proyecto entero. Cualquier retraso existente la ruta crítica afecta la fecha de término planteada y se denomina que durante la ruta crítica no existe holgura.

En términos prácticos, la ruta crítica se interpreta como la dimensión máxima que puede durar el proyecto y las diferencias con las otras rutas que no sean críticas, se denomina tiempos de holgura, el responsable de mantenimiento identificara claramente que actividades son las más cruciales para el cumplimiento del plazo y realizar un especial control sobre las mismas. También deberá determinar el margen de tolerancia entre las rutas sub-críticas en caso de que exista un obstáculo en la ruta crítica principal.

#### METODO PERT

Es una de las metodologías más conocida y documentada, se basa en la definición de un algoritmo matemático que determina el tiempo esperado para alcanzar una meta u objetivo, este método trata de buscar el camino crítico, se evalúan 3

duraciones para cada actividad se evaluara la optimista X, la pesimista Z y la normal Y.

## METODO GANTT

Los cronogramas de barras procuran resolver el problema de la programación de actividades, es decir, su distribución conforme a un calendario, de manera tal que se pueda visualizar el periodo de duración de cada actividad, sus fechas de iniciación y terminación e igualmente el tiempo requerido total para la ejecución de un trabajo. El instrumento que desarrollo permite también que se siga el curso de cada actividad al proporcionar información del porcentaje ejecutado de cada una de ellas, así como el grado de adelanto o atraso con respecto al plazo previsto.

Este grafico consiste simplemente en un sistema de coordenadas en que se indica:

En el eje horizontal: un calendario, o escala de tiempo definido en términos de la unidad más adecuada al trabajo que se va a ejecutar: hora, día, semana, mes, etc.

En el eje vertical: las actividades que constituyen el trabajo a ejecutar. A cada actividad se hace corresponder una línea horizontal cuya longitud se proporciona a su duración en la cual la medición efectúa con relación a la escala definida con el eje horizontal conforme se ilustra.

Símbolos convencionales: en su elaboración del grafico se acostumbra utilizar determinados símbolos, aunque puedan diseñarse muchos otros para atender las necesidades específicas del usuario.

La estrategia del mantenimiento, las técnicas de planeación y programación de órdenes de trabajo, el monitoreo de las distintas actividades del mantenimiento ,y en general toda la gran cantidad de información que se recopila, analiza y procesa durante el desarrollo de las labores de mantenimiento en una compañía , forjan la necesidad de tener al alcance toda su información indispensable , acerca de los equipos y el entorno que interactúa diariamente en pro de la eficiencia de la toma de decisiones, así que consecutivamente se hace necesario una visión sistemática para administrar dicha información.

Las herramientas sistemáticas destacadas para administrar toda la información necesaria para el manejo de activos específicamente en el mantenimiento<sup>3</sup>:

- SCAM
- SAP
- PRIMAVERA

---

<sup>3</sup> BORRAS PINILLA, Carlos. Principios del mantenimiento. Bucaramanga. UIS.2015. pág. 97-98

- JD EDWARDS

## 2.2 ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO

En la actualidad H&P posee un sistema de gestión de mantenimiento computarizado tipo CMMS el cual es controlado por una plataforma de mantenimiento, las acciones u órdenes de trabajo que se deben realizar son definidas desde la casa matriz de H&P en Tulsa, USA y son cargadas a la plataforma de mantenimiento.

Para llevar a cabo estas tareas, el personal encargado debe ingresar a la plataforma mediante un usuario y contraseña, dependiendo del rango y cargo que ocupe la persona su usuario le permitirá visualizar con mayor detalle la plataforma de mantenimiento lo que se traduce en tener más acceso a datos, equipos, taladros, actividades de perforación y demás información.

Para el Director de Mantenimiento, su usuario le permite tener acceso a la información de los distintos taladros que se encuentran en operación, para los Superintendentes de Operaciones el acceso es más limitado y así mismo aún más limitado para los técnicos mostrando solamente los equipos de los cuales ellos son responsables del mantenimiento.

Las órdenes de trabajo son realizadas por el personal técnico de mantenimiento asignado a cada taladro, una vez el técnico entra a la plataforma de mantenimiento con su usuario este tendrá acceso a las órdenes de trabajo (Works Orders – W.O. en adelante) que se tienen pendientes para cada uno de los equipos que tienen a su cargo. Existen actividades que se generan a diario, semanal, mensual, a seis meses y a un año, dependiendo del transcurso de tiempo las W.O se generan de manera automática en el programa y van quedando registradas hasta que se cumplan y sean cerradas en el sistema por los técnicos.

La plataforma le indica a cada usuario el detalle de las órdenes que debe ejecutar y el plazo para su ejecución incluyendo los procedimientos operativos a seguir y las provisiones por ejemplo relacionadas con equipos de protección personal, herramientas, repuestos y necesidades de aislamiento del equipo a intervenir. Luego de que el técnico tiene impresa las ordenes este se dirige a campo para realizar las tareas y acciones pertinentes a las W.O., una vez termina su turno el técnico debe dirigirse a la plataforma de mantenimiento RAMS y cerrar en el sistema las W.O que haya realizado en el turno.

Si el técnico en su turno no alcanzo a realizar todas las W.O que se tenían estas seguirán apareciendo en el sistema cada vez que se ingrese hasta que se le de cierre. Cuando se tienen W.O que son de un nivel complejo en donde se requiere tener más personal, más equipos, elementos de seguridad y más disponibilidad, se

genera desde la dirección de mantenimiento una planeación y programación para tomar un día específico y llevar el personal y los elementos necesarios para realizar dicha orden.

En el proceso de mantenimiento que se lleva a cabo la planeación de las ordenes de trabajo se realiza automáticamente por el programa desde casa matriz, pero dado el caso de que en el transcurso del tiempo que se generan estas órdenes se evidencian fallas, discrepancias o se observan detalles que indiquen que se pueden llegar a presentar fallas el sistema permite que se creen ordenes de trabajo fuera de las establecidas que ayuden a evitar o mitigar las fallas o inconsistencias que se pueden llegar a tener, a estas órdenes que se generan fuera de la programación del sistema se les conoce como RT, las RT se pueden utilizar del modo anteriormente mencionado o también de forma correctiva, es decir que si se llega a presentar una falla se puede generar un RT con el fin de que se le dé solución a la falla.

La creación de estas órdenes (RT) están a cargo de cualquier persona que evidencie inconsistencias, ya sea desde el director de mantenimiento hasta el técnico encargado y personas externas como auditores de las compañías contratistas, cuando se genera una RT esta lleva consigo una serie de datos con la que quedara en el sistema como lo es la fecha de creación, porque se generó, para que equipo fue generada, la descripción de lo que ocurre, actividades a realizar, medidas de seguridad y fecha límite de cierre.

El sistema de mantenimiento no permite modificaciones de las actividades que ya fueron establecidas desde la casa matriz, así que se guían netamente por las actividades que genera el sistema de mantenimiento, más sin embargo si se requeriré tomar medidas correctivas el sistema permite que se generen ordenes que puedan llevar a la solución del problema.

### 2.3 MODELO DE GESTION DE MANTENIMIENTO APLICABLE A TALADROS DE PERFORACION

La gestión de mantenimiento normalmente ejecutada en taladros de perforación convencionales es del tipo basado en el tiempo, en el cual la actividad de mantenimiento que se realiza con frecuencias preestablecidas inicialmente de acuerdo con las recomendaciones emitidas por los fabricantes originales del equipo y ajustadas de acuerdo a los resultados obtenidos durante el historial de uso de los equipos y se caracteriza además porque durante dichos intervalos, no se efectúa ningún tipo de mantenimiento de equipos excepto por las rutinas de engrase, adición de refrigerantes, lubricantes o combustibles, donde no se realizan mediciones de confiabilidad de los equipos.

La tendencia actual con el uso de sistemas computarizados para la gestión de mantenimiento es el registro tanto las órdenes de servicio planeadas como las

ejecutadas y al observar sus diferencias establecer indicadores de gestión y a su vez establecer el mantenimiento pendiente por ejecutar conocido como “Back log”.

Este indicador de aplazamientos cuando se incrementa se utiliza en muchas industrias para indicar que el control de la condición de la planta o equipo se está comprometiendo y que circunstancias de mayor exigencia pueden dar lugar a fallas en el equipo con posibles consecuencias a personas, medio ambiente o económicos y de reputación para la empresa.

## 2.4 CONFIABILIDAD DE EQUIPOS DE PERFORACION

Según el libro principios de mantenimiento “La confiabilidad operacional de los activos incluye procesos metodológicos de mejoramiento continuo mediante incorporación sistemática de nuevas tecnologías, técnicas de análisis y herramientas de diagnóstico que logran optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial, haciendo énfasis y reforzando positivamente las actividades humanas. Se debe garantizar la confiabilidad operacional de sus activos en sus cuatro áreas fundamentales:

- Confiabilidad en proceso mediante una integridad operativa,
- Confiabilidad humana a través de las competencias y el entrenamiento
- Confiabilidad de diseño la cual incluye la mantenibilidad
- Confiabilidad basada en estrategia de mantenimiento para aumentar la disponibilidad de plantas y equipos

La confiabilidad de equipos es una de las principales áreas de trabajo en cuanto a disciplina operacional para mejorar y lograr los resultados de mejora continua en procesos. Se hace uso de técnicas de mantenimiento que mejoran la disponibilidad de los equipos mediante el análisis de probabilidad de falla, capacidad de las partes, componentes, equipos y subsistemas permitiendo de esta manera que los equipos cumplan con la función y desempeño para lo cual fueron diseñados evitando fallas en periodos largos de baja productividad, prediciendo fallas por medio de estáticos y analizando las condiciones de uso, así como su mantenibilidad, seguridad y nivel de calidad”<sup>4</sup>.

## 2.5 HERRAMIENTAS PARA LA OPTIMIZACION DE ACTIVOS

Según el libro de principios de mantenimiento “Las principales herramientas que se utilizan para la gestión de activos las cuales contribuyen a la confiabilidad de los equipos son las siguientes:

---

<sup>4</sup> Ibid pág. 75

- Análisis de criticidad: es una técnica que permite jerarquizar instalaciones, sistemas y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones
- El análisis de modos y efectos de falla (FMEA): es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan
- La inspección basada en riesgos (RBI): es la técnica que permite definir la probabilidad de fallas de un sistema y las consecuencias que las fallas pueden generar sobre la gente, el proceso y el entorno
- El análisis costo-riesgo-beneficio (BRCA): es una metodología que permite establecer una combinación óptima entre los costos de realizar una actividad y los beneficios generados, con base en el valor del riesgo que involucra la realización
- El análisis del costo del ciclo de vida (LCC): es una técnica que permite Elegir entre opciones de inversión o acciones de mejora de la confiabilidad con base en su efecto en el costo total del ciclo de vida de un activo nuevo o un servicio.
- El análisis de causa raíz (RCFA): es un procedimiento sistemático que se aplica con el objeto de precisar las causas que originan las fallas, sus impactos y frecuencia de aparición, para poder mitigarlas o eliminarlas”<sup>5</sup>.

#### 2.4.1 INDICADORES DE DESEMPEÑO

Según el libro sistemas de información en mantenimiento” El propósito del sistema de información debe ser el de ayudar a la administración del mantenimiento a predecir futuras acciones basadas en datos reales y el de resaltar los éxitos que se hayan conseguido. Los puntos o aspectos claves en la generación de información deben ser:

---

<sup>5</sup> BORRAS PINILLA, David. Principios de mantenimiento. Bucaramanga. UIS.2015. pág. 76

- La información debería explicar el estado del proceso del mantenimiento y su desarrollo y la evolución en el entorno donde el mantenimiento opera
- El foco está en la efectividad y eficiencia del proceso de mantenimiento, individualizando sus actividades, organización y cooperación con otras unidades de organización

Los propósitos particulares del administrador de mantenimiento para la aplicación de un sistema de indicadores a la gestión del mantenimiento están:

- El administrador del mantenimiento necesita analizar cuales operaciones de mantenimiento necesitan ser mejoradas en cada ítem del equipo y como este mantenimiento debe ser inicializado
- Los cambios en el ambiente organizacional crean la necesidad para que los administradores del mantenimiento se concentren en la eficiencia, seguridad y aspectos ambientales
- Se requieren los indicadores de eficiencia con el fin de entregar a la administración del mantenimiento información cuantitativa para medir cuales metas se lograron cumplir y que acciones se deben tomar para mejorar las operaciones
- Medios para medir el control del mantenimiento, como aquellos costos que se pueden reducir, aquellos que pueden aumentar la productividad, aquellos que pueden mejorar la seguridad y aquellos que permiten cumplir con las regulaciones ambientales.

Con la información generada a partir de los indicadores, los diferentes niveles organizacionales, estratégicos, tácticos y operativos, pueden replantarse nuevas formas de acción:

**ESTRATEGICO:** se realiza la sección o definición del punto de vista del mantenimiento del diseño de los equipos de producción a ser desarrollados o comprados. A partir de aquí, se puede usar el costo del ciclo de vida esperado y todos los factores de costos incluidos, el mantenimiento durante la vida útil del equipo productivo. Para la función del mantenimiento, la estrategia es deducida desde la estrategia de la compañía y de las preferencias de la función producción

**TACTICO:** se puede restringir la capacidad de carga de categorías, la flexibilidad del volumen de las diferentes capacidades, es limitada tanto como la carga de trabajo de la función de mantenimiento .se revisan las decisiones realizadas en el desarrollo de un concepto de mantenimiento para los equipos productivos. Estas

decisiones incluyen la eficiencia de diferentes reglas potenciales para efectuar el mantenimiento o para la selección de las frecuencias de inspección

**OPERATIVO:** se pueden tomar decisiones concernientes para mantener ahora o más tarde, mantener o reemplazar, usar subcontratistas o sobre-tiempo. Estas consideraciones se concentran en los indicadores de eficiencia que apoyan las decisiones a este nivel de control del sistema de mantenimiento”<sup>6</sup>.

Los datos de confiabilidad y de mantenimiento pueden ser usados en el desarrollo y gestión de los indicadores clave de desempeño (KPIs) y para compilar la información comparativa (Benchmarking). El objetivo de ambas es complementar la mejora de la gestión de negocios

**Gráfico 1.** Proceso del uso de los indicadores de desempeño y comparación (benchmarking) para el mejoramiento del desempeño de negocios



Estos indicadores deberían alinear los objetivos de la organización con la implementación de estos, así como la organización es libre de definir los indicadores de desempeño de la manera más provechosa para mejorar el desempeño de la organización.

El mejoramiento es un ingrediente esencial en las compañías exitosas. Los indicadores de desempeño y la comparación (benchmarking) pueden ser altamente efectivo en la identificación y mejoramiento de grandes oportunidades.

Para cada una de las actividades en el proceso representado en la imagen, una breve descripción es dada en la lista de puntos explicados a continuación:

- **Desempeño del benchmark:** es usado en los datos de comparación entre unidades de negocios o áreas de una compañía para determinar el desempeño de la organización en áreas claves. Estas comparaciones pueden entonces ser usadas para la comparación, usualmente del exterior, contra organizaciones en la misma o industria similar, o en comparación con organizaciones en diferentes industrias que tengan procesos de negocio similares.

---

<sup>6</sup> FUENTES DIAZ, David. Sistemas de información en mantenimiento. Bucaramanga. UIS.2015. pág. 73

Sin embargo, la medición de las brechas de desempeño con los mejores desempeños en un grupo parejo es solo la mitad del valor del benchmarking. Los análisis pueden ser hechos de las diferencias de los perfiles de planta, prácticas y organización explicando que esas brechas de desempeño son también conocimiento invaluable para los participantes de benchmarking.

- Identificación áreas de mejora: está basado en la comparación externa y los objetivos de la organización, pueden ser identificadas las áreas para mejorar. Las áreas de mejora no son necesariamente las áreas donde el desempeño es pobre frente a los demás en comparación, como las áreas de desempeño bajo pueden corresponder con las áreas que son críticas para los objetivos de negocio

En adición, el benchmarking es una herramienta para probar que el caso comercial necesita un compromiso de gestión inicial y la inversión de los recursos utilizados para una implementación exitosa de un proyecto de mejora de desempeño. El benchmarking puede ejecutarse dentro de una compañía, industria o dentro de las industrias que tengan el mismo proceso comercial y estén aliadas. En el mejor de los casos el proceso en línea es efectivo a nivel de actualizaciones. El uso del benchmarking dentro de una industria permite redefinir los objetivos de desempeño de una compañía y reexaminar la justificación de prácticas y políticas históricas encaminadas al mejor desempeño de la industria.

- Desarrollo de los indicadores de desempeño – KPI para mejora: en las áreas donde la mejora es deseada, los indicadores de desempeño pueden entregarla. Cada indicador de desempeño debe tener como objetivo un nivel de desempeño. Los indicadores de desempeño y el objetivo deben ser cuanto sean posibles, específicos, medibles, logrables, real y basado en tiempo (se pueda hacer un seguimiento de mejora cada tiempo). La frecuencia a la cual los indicadores de desempeño son medidos es determinado por una expectativa real de una cantidad de tiempo requerido por cualquiera acción correctiva que tenga impacto en el nivel de desempeño.

Así, si uno de los indicadores no quiere ser medido y analizar los parámetros cuando no la medición no cambia frente al otro, pero es necesario para equilibrar esto en contra de una medición que no es suficientemente frecuente, como resultado de una situación que los parámetros pueden salirse de control por periodos prolongados.

Adicionalmente, considerar el tiempo, el costo y los recursos requeridos para el desarrollo, mantener y gestionar los indicadores de desempeño, esto también determina con que tanta fuerza los indicadores de desempeño pueden ser usado.

- Medición de indicadores de desempeño: los indicadores de desempeño pueden ser medidos y reportados, siendo posibles dentro de los sistemas existentes. Adicionalmente para medir los indicadores de desempeño, es necesario comparar el resultado frente al objetivo e identificar cualquier causa de cambios.
- Acción correctiva: las causas de cambios deben ser direccionadas y corregir acciones de desempeño, este proceso deber repetirse varias veces.

La información explicada se basa en el uso de los indicadores de desempeño y el benchmarking por organizaciones operativas pero con el mismo proceso que puede ser adoptado, encaminando a adoptarlo por la gran cadena de suministros. Por ejemplo, el equipo de manufactura puede adoptar mediciones similares para reportar el diseño y el desempeño actual de sus productos, mejorando la selección de equipos y ayudando a asegurar una producción sostenible disponible y el desempeño de la seguridad y salud ocupacional de las facilidades de producción. Definiciones claras, definición de límites e información de calidad definidas en estos estándares son esenciales para la mejora de recolección de datos en esa área.

#### EJEMPLO DE BENCHMARKING E INDICADORES DE DESEMPEÑO

Existe una gran variedad de indicadores para propósitos de benchmarking e indicadores de desempeño. La medición de costos y tasas de fallas dan unos indicadores de tendencia de la efectividad en los programas de mantenimiento y gestión. Los indicadores de desempeño pueden ser usados también para probar la asimilación de las organizaciones a esos programas y procedimientos por el registro de conformidad de acciones preventivas y predictivas programadas.

Ninguno de los indicadores de desempeño da una completa imagen y esto es, además necesario para definir el conjunto de indicadores de desempeño que al juntarse indican el progreso y tendencias en una operación de planta y equipamiento confiable. Las tendencias pueden ser mostradas sobre un periodo de tiempo y puede requerir de atención especial para permitir publicaciones periódicas tanto como reportes acumulativos, por ejemplo 'promedio de los dos años' en el último caso.

En la definición de indicadores es clave determinar los niveles taxonómicos que se detallan en la columna dos del Cuadro 2. y los cuales son base para la definición de los indicadores claves de desempeño KPI del Cuadro 4.

## 2.4.2 DISPONIBILIDAD

Se refiere a la capacidad de un equipo o sistema para operar de manera continua durante la fase operativa sin que requiera intervención. Normalmente la disponibilidad se expresa como porcentaje y durante la fase de operación su requerimiento es 100% a menos que se cuente con un sistema de respaldo que permita rotación de los equipos para asegurar su disponibilidad plena. Esto no incluye las paradas programadas a efectos de engrase, mantenimiento, tanquero de combustible. Normalmente la disponibilidad de equipos y sistemas empleados en la perforación de pozos se ubica por encima del 95%, ya que varios sistemas son alternos durante las fases de perforación o viaje de la tubería dentro y fuera del pozo o los períodos muertos como por ejemplo espera en fragüe de cemento, pruebas de tuberías o cambios de broca.

## 2.4.3 MANTENIBILIDAD

El término está relacionado con la posibilidad de intervención del equipo y sus componentes mecánicos, eléctricos o electrónicos durante su período de servicio y la introducción de tecnologías que minimizan la intervención durante la fase operativa como por ejemplo rodamientos sellados que no requieren engrase, auto-ajuste de mordazas para reducir la holgura en sistemas de frenado, PLC para controlar vibraciones en equipos. Así mismo, las facilidades que permiten la manipulación de elementos pesados y facilidad de acceso en espacios limitados como por ejemplo para cambio de liners en bombas de lodo o empaquetaduras de sello. Estas técnicas van evolucionando con los equipos pero requieren rigurosidad en temas como control del trabajo y aislamiento de fuentes de energía como electricidad, presión, rotación, temperatura y otros.

## 2.5 CLASIFICACION DE EQUIPOS SEGÚN SU CRITICIDAD

A continuación, se define el listado de los equipos más relevantes en los diferentes sistemas que componen un taladro de perforación con los cuales se van a desarrollar los diferentes tipos de análisis y la selección para su plan de mejoramiento, con el fin de conocer específicamente los diferentes equipos y referencias que se están utilizando en la compañía actualmente, se clasificaron según su tipo de sistema:

En el siguiente cuadro se encuentra la listo de equipos del taladro RIG-900

**Cuadro 1.** Listado de equipos del taladro RIG-900

TIPOS DE SISTEMAS	NOMBRE DE EQUIPO	REFERENCIA
Circulación	Bomba de lodos	Gardner Denver PZ-11 Mud Pump
	Tanque de lodos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanque de succión</li> <li>• Tanque activo</li> <li>• Tanque de procesamiento</li> <li>• Tanque de viaje</li> </ul>
Levantamiento	Torre	Dreco
	Malacate	FlexHoist Drawworks, MG3004
	Bloque corona	Dreco
	Bloque viajero	McKissick, 4352
Potencia	Generadores eléctricos	Kato AA27673013
	Compresores	Gardner Denver EFC99J
	Motores de bomba de lodos	Ward Leonard, Pot: 1500HP
	Motores de generación eléctrica	Cat. 1512 C
Control y seguridad de pozos	BOP'S preventoras	Cameron 13 5/8-10M
	Acumulador	Koomey T-60200-35
Rotación	Top Drive	Varco TDS-8SA
	Sarta de perforación	Tubería perforación – Drill Pipe de 5 7/8" conexión XT-57

Con la clasificación que se ilustra en la Cuadro 2, se definieron los equipos en los que se tendrá énfasis este proyecto, cabe resaltar que los equipos que se encuentran en el listado anterior se encuentran descritos de manera general, debido a que posterior a los análisis de criticidad se realizara un contexto operacional de los equipos más significativos, donde se especificara su operación y las variables que contengan en el desarrollo de su proceso. Con el fin de enfocarnos en los equipos más relevantes y que generan mayor impacto para el desarrollo de las actividades de perforación.

#### CRITICIDAD EN LOS EQUIPOS

Luego de conocer los equipos y sistemas en los cuales se tendrá un mayor nivel de detalle, se realiza una selección de los equipos y sistemas que más afectan a la operación y producción de la compañía, para este fin se pueden utilizar diversos

métodos o teorías que ayuden en la selección y división de equipos dando una clasificación que contribuya a orientar los recursos de mantenimiento de una mejor manera buscando tener una disminución importante en las fallas y sus tiempos de indisponibilidad de equipos. Esta clasificación da como resultado tres categorías que pueden ser:

- Equipos Críticos
- Equipos Semi Críticos
- Equipos No Críticos

Para la selección y clasificación de los equipos y sistemas dentro de estas tres categorías se tendrá en cuenta la metodología de la teoría del riesgo así como el modelo de criticidad total por riesgo e incorporando el concepto de redundancia. Estos métodos hacen énfasis en 6 Factores a evaluar para cada de equipo y sistema como lo muestra la Tabla 1, en donde al realizar una ponderación de los 5 factores la matriz arrojará un valor el cual será evaluado dentro de la matriz de criticidad ver (Tabla 1), de esta manera se tendrá un resultado aproximado del equipo y sistema en términos de criticidad y prioridad para la compañía, con lo que se puede redirigir los recursos y activos de mantenimiento de una forma más eficaz y eficiente.

Para la determinación de la criticidad se definieron los seis (6) factores que se evaluarán en los equipos y sistemas de la compañía H&P en consistencia con los definidos por la operadora EQUION los cuales son:

- Frecuencia de Fallas: hace referencia al lapso de tiempo en el que puede tener una falla equipo
- Impacto Operacional: hace referencia a que tanto se puede ver afectada la operación debido a la falla del equipo que se esté evaluando
- Flexibilidad Operacional: hace referencia a que tan fácil (en cuestión de tiempo y dinero) es conseguir repuestos críticos para el equipo fuera de servicio.
- Costos de Mantenimiento: hace referencia al impacto económico que puede generar la falla de ese equipo (costos monetarios)
- Impacto en Seguridad industrial: del proceso y Ambiente, hace referencia al daño que se puede ocasionar (Ambiente y Humano) por la falla de ese equipo.
- Equipo respaldo: es decir si el equipo fuera de línea posee menor afectación por contar con respaldo o back upo como es el caso del equipo de generación eléctrica, neumático, bombas de lodos y otros.

**Tabla 1.** Ponderación de Factores para Criticidad

FACTORES DE LA MATRIZ DE CRITICIDAD	DESCRIPCION	PONDERACION
Frecuencia de falla	Mayor de 2 fallas año	4
	Promedio 1-2 fallas año	3
	Promedio 0,5-1 falla año	2
	Menor de 0,5 falla año	1
Impacto operacional	Perdida total de la operación	10
	Parada del sistema	7
	Impacta niveles de inventario	4
	No afecta la operación	1
Flexibilidad operacional	No hay operacion sin repuestos	4
	Hay opcion de repuesto / compartido	2
	Repuesto disponible	1
Costos de mantenimiento	Mayor o igual a usd \$5.000	2
	Menor a usd \$5.000	1
	Afecta la seguridad humana externa e interna	10
	Afecta el ambiente / instalaciones	7
Impacto de seguridad y ambiente	Afecta instalaciones daños severos	5
	Provoca daños menores	3
	No provoca ningun daño	1

La determinación de estos Factores se basan en un método semi-cuantitativo que se soporta en la teoría del riesgo en donde se deben utilizar además de la tabla de Ponderación de Factores para Criticidad (Tabla 1.) dos Ecuaciones, Consecuencias (C) y Criticidad Total (CT).

Ecuación 1. Consecuencias

$$(C) = (Impacto Operacional * Flexibilidad) + Costos de Mantto + Impacto Seguridad Ambiente$$

Ecuación 2. Criticidad Total

$$(CT) = \text{frecuencia de falla} * \text{Consecuencias}$$

En la ecuación 1 se debe tomar el valor ponderado de los factores incluidos en ella y efectuar la operación, así como en la ecuación 2 se debe tomar el valor ponderado de la frecuencia de fallas y valor de las consecuencias una vez esta es operada arrojará el valor de criticidad en donde se tendrá como máximo 200. Para obtener el nivel de criticidad de cada sistema o equipo se deben tomar los valores totales individuales de cada uno de los factores principales: Frecuencia y Consecuencias, luego de esto se deben ubicar en la matriz de criticidad (Tabla 1) frecuencia en el eje Y consecuencias en el eje X.

**Ilustración 4.** Matriz De Criticidad

<b>FRECUENCIA</b>	<b>4</b>	<b>MC</b>	<b>MC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
	<b>3</b>	<b>MC</b>	<b>MC</b>	<b>MC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
	<b>2</b>	<b>NC</b>	<b>NC</b>	<b>MC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
	<b>1</b>	<b>NC</b>	<b>NC</b>	<b>NC</b>	<b>MC</b>	<b>C</b>
		<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
	<b>CONSECUENCIAS</b>					

Fuente: Matriz De Criticidad .Basado en el libro Principios de Mantenimiento (Ing. Francisco Campos, Universidad de América). Consultado el 25 de febrero del 2018

## EQUIPOS CRITICOS SELECCIÓN, CLASIFICACION Y CONTEXTO OPERACIONAL

Es de gran importancia para el desarrollo de este proyecto así como para la compañía que se especifiquen los equipos críticos dentro de la operación para hacer énfasis en ellos, es por eso que en este espacio se mostraran los procedimientos que se utilizaron para clasificar los equipos y sistemas dentro de las 3 categorías (Críticos, Semi Críticos y No Críticos); así mismo, se realizara una clasificación de los equipos críticos agrupándolos por sistemas semejantes y dándole un contexto operacional.

Todo esto con el fin de que sea mucho más fácil el entendimiento del contexto en el que operan los equipos y que en el momento de realizar un AMEF los equipos estén agrupados por sistemas semejantes y sea más factible ver las fallas y modos de falla que afectan a cada equipo para su estudio.

### 2.5.1 SELECCIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS

Para la selección de los equipos críticos es requerido que se realice la ponderación de los factores de criticidad, la operación de las ecuaciones de consecuencias y criticidad total y por ultimo utilizar la matriz de criticidad, con estos 3 elementos se realizó la siguiente tabla en donde se listan los equipos y sistemas del taladro H&P 900 obteniendo la criticidad total en valor numérico y del mismo modo en nivel cualitativo.

Para la Tabla 1.las siguientes abreviaturas

- FF = Frecuencia de Falla
- IO = Impacto Operacional
- FO = Flexibilidad Operacional
- CSM = Costos de Mantenimiento
- SAH = Impacto Seguridad y Ambiente
- CT = Criticidad Total (Valor Numérico)
- Tipo de Criticidad (Cualitativo)

**Tabla 2.** Análisis de Criticidad Taladro H&P 900

EQUIPO	FF	IO	FO	CSM	SAH	CT	CRITICIDAD
Sarta de perforación	1	7	2	2	7	23	NC
Tanque de lodos	1	7	2	2	5	21	NC
Torre de perforación	1	1	2	1	8	11	NC
Bomba de lodos	2	7	2	2	7	46	SMC
Compresores	2	7	2	2	3	38	SMC
Malacate	4	10	2	2	3	100	C
Generadores de potencia eléctrica	4	10	2	2	3	100	C
Motores de la bomba de lodos	4	10	2	2	3	100	C
Motores de generación eléctrica	4	10	2	2	3	100	C
Acumulador	3	10	4	2	3	141	C
Top drive	4	10	2	2	5	108	C
Bloque corona	3	7	2	2	5	72	C
Bloque viajero	3	7	2	2	5	72	C
BOP's preventoras	3	10	2	2	10	96	C

En la tabla 2. Mostrada anteriormente se reflejan los equipos del taladro tipo AC H&P 900 donde se hará énfasis para el análisis de criticidad, los cuales tienen mayor impacto en el área de operación del taladro, como se puede ver se clasificaron según lo mencionado anteriormente como equipos; críticos, semi críticos y críticos.

Los equipos críticos a los cuales se les hará su estudio según el análisis anterior son: malacate, Top drive, Generadores de potencia eléctrica, Motores de la bomba de lodos y acumulador.

## 2.6 TIPOS DE FALLA Y CAUSALIDAD

Según el libro Principios de mantenimiento “Modos de falla y análisis de efectos (FMEA) es un método sistemático y proactivo para evaluar un proceso para identificar donde y como se puede fallar y para evaluar el impacto relativo de los fallos diferentes, con el fin de identificar las partes del proceso que son las más necesitadas de cambio.

FMEA incluye la revisión de:

- Pasos en el proceso
- Modos de falla
- Causa de fallo
- Efectos de fallo

Para identificar el potencial de diseño y errores de procesos antes de que ocurran y minimizar el riesgo de incumplimiento por cualquiera de los cambios de diseño que se proponen o bien, si estos no se pueden formular, proponer procedimientos operativos. En esencia, el FMEA es:

- Identificar el equipo o subsistema, modo de operación y el equipo
- Identificar los modos de falla potenciales y sus causas
- Evaluar los efectos en el sistema de cada modo de fallo
- Identificar medidas para eliminar o reducir los riesgos asociados a cada modo de fallo
- Identificar los ensayos y pruebas necesarios para demostrar las conclusiones
- Proporcionar información a los operadores y mantenedores para que entiendan las capacidades y limitaciones del sistema para lograr el mejor rendimiento

Los resultados se centrarán en los modos de falla encontrados que pueden tener efectos significativos sobre el sistema y el grado y en que categoría (crítica) hasta el valor mínimo”<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> BORRAS PINILLA, David. Principios de mantenimiento. Bucaramanga. UIS.2015. pág. 80

A continuación, se anexan los modos de falla y efectos para los equipos definidos como críticos:

**Cuadro 2.** Modo y efecto de falla Top Drive

SISTEMA	Rotación	FUNCIÓN
COMPONENTE	Top Drive	La función principal de este componente es la de hacer girar la sarta de perforación y la broca en las direcciones que sean necesarias para ejecutar la perforación en el sitio requerido
FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA
Derrame de lodo de perforación excesivo	Válvulas de seguridad fugan lodo de perforación	Partes internas desgastadas o erosionadas
No funciona el actuador de la válvula de seguridad	actuador de la válvula de seguridad se traba	Soportes de rodillos del actuador doblados o desajustados
Falla en sistema de inclinación del Top Drive	Problema en los eslabones de inclinación	la válvula solenoide no se esta desplazando
Derrame de aceite excesivo	fuga de aceite por conexiones hidráulicas	Conexiones flojas por vibración
La transmisión no funciona correctamente	Contaminación del aceite de la transmisión	Sello Bonnet desplazado de su lugar

**Cuadro 3. Modo y efecto de falla Acumulador**

<b>SISTEMA</b>	Control y seguridad de pozos	<b>FUNCIÓN</b>
<b>COMPONENTE</b>	Acumulador	Tiene dos funciones principales dentro del sistema de control y seguridad de pozos, almacenar fluido hidráulico a baja presión y activar todas las funciones del arreglo de preventoras de reventones, el acumulador se puede activar a control remoto desde el panel de control
<b>FALLA FUNCIONAL</b>	<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA</b>
El acumulador no entrega la capacidad requerida	Velocidades de caudal de gas excesivas	Pérdida de presión
	Falla en válvula reguladora de presión de la preventora de arietes	Escape de gas y pérdida de presión
Pérdida de función por falta de control de acumulador	Velocidades del caudal por encima del límite	Pérdidas de presión durante el flujo
	Interruptor de presión sin calibrar	Aumento en la presión de control de acumulador
	Límite de presión excedidas	Daños en las válvulas de control o efecto infamable (Explosión)

**Cuadro 4. Modo y efecto de falla BOP's Preventoras**

<b>SISTEMA</b>	Control y seguridad de pozos	<b>FUNCIÓN</b>
<b>COMPONENTE</b>	BOP's Preventoras	Su función es cerrarse si la brigada de perforación pierde el control de los fluidos de formación. Mediante el cierre de esta válvula, la brigada de perforación generalmente retoma el control del yacimiento
<b>FALLA FUNCIONAL</b>	<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFEECTO DE FALLA</b>
Falla en el cierre inmediato de las válvulas del conjunto de preventoras	No recibe señal eléctrica de control	Falta de control para cierre inmediato
	No recibe señal acústica de control	Falta de control para cierre inmediato
	Daño en el interruptor de contacto continuo/autocortante	Evita cierre de válvulas de ariete
	Bombas con deficiencia de funcionamiento	Disminución de presión para funcionamiento de BOP'S
	Líneas hidráulicas obstruidas	Variación en la presión suministrada para válvulas
	Sistema de embolo contraído y funcionamiento lento de las válvulas de compuerta	Evitar cierre automático de emergencia del sistema

**Cuadro 5.** Modo y efecto de falla Bloque viajero

<b>SISTEMA</b>	Levantamiento	<b>FUNCIÓN</b>
<b>COMPONENTE</b>	Bloque viajero	Tiene como Funcion Conectar el cable de Perforacion con el Bloque corona, y asi permitir el movimiento ascendente o descendente del cable de perforacion
<b>FALLA FUNCIONAL</b>	<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFEECTO DE FALLA</b>
Desgaste en los cables	Se presenta desgaste debido a la fricción que se produce	Se puede presentar deterioro de los cables hasta llegar a la fractura del mismo
	Desalineamiento en las poleas	
	Elementos extraños que se encuentran en las poleas producen desgaste	
Las poleas se encuentran con grietas	Elementos extraños que se encuentran en las poleas producen golpes	Se puede presentar una fractura o falla por fatiga debido a las grietas.

**Cuadro 6.** Modo y efecto de falla para Bloque corona

<b>SISTEMA</b>	Levantamiento	<b>FUNCIÓN</b>
<b>COMPONENTE</b>	Bloque corona	Tiene como funcion principal sostener y permitir el movimiento del bloque viajero, trasmite el peso de la zarta de perforacion al sistema
<b>FALLA FUNCIONAL</b>	<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFEECTO DE FALLA</b>
Las poleas no producen el giro respectivo	Los rodamientos del conjunto de poleas se encuentran en mal estado	No se efectua el giro lo que no permite la movilidad de los cables para la operación
	Los rodamientos del conjunto de poleas no se encuentran con la lubricacion requerida	
	Rodamientos Con grietas o fracturados	

**Cuadro 6.** (continuación)

FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Las poleas se encuentran con grietas	Elementos extraños que se encuentran en las poleas producen golpes	Se puede presentar una fractura o falla por fatiga debido a las grietas
	Procedimiento incorrecto en el montaje de la polea	

**Cuadro 7.** Modo y efecto de falla para para Malacate

SISTEMA	Levantamiento	FUNCIÓN
COMPONENTE	Malacate	Su función principal es la de transmitir potencia requerida para hacer girar la mesa de rotatoria, los carretes auxiliares y el sistema de enrosque y desenrosque de la tubería del sistema
FALLAS FUNCIONALES	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Fuga de aceite en el embrague	Las juntas del embrague esta deterioradas o dañadas	El sistema de trasmisión de potencia no acopla correctamente o tiene un acople de manera forzada (presenta dificultad para acoplar) con el malacate
	Acoples y tornillos sueltos, desajustados o dañados.	
	Niveles de aceites superiores a los requeridos	
Desgaste en el cable de perforación	Uso excesivo sin control del cable de perforación	Fractura del cable de perforación
	Cargas superiores a la resistencia del cable	
	Desgaste del cable por fatiga	

## 2.7 SISTEMAS DE INFORMACION DE MANTENIMIENTO CMMS

Según el Autor David Fuentes “Un sistema de información de mantenimiento (MMS) es una base de datos computarizada diseñada para optimizar el manejo de la gestión de mantenimiento y las actividades de recuperación de activos mediante el uso de procedimientos estandarizados para documentar y dar prioridad a las instalaciones y necesidades del equipo y reportar los logros. Se trata de una herramienta para la gestión del mantenimiento que involucra la planeación, la elaboración del presupuesto, las actividades de mejora de activos, reparación y reemplazo de equipos, y proyecto de construcción.

Un sistema de información en mantenimiento se caracteriza por:

- Capacidad para apoyar las principales actividades en el proceso de mantenimiento,
- Capacidad de configuración del software y el hardware en términos de su confiabilidad, facilidades de uso, calidad de la información y procedimiento oportuno

Los beneficios de su aplicación:

- Reducción de costos y el aumento de la eficacia de la función de mantenimiento;
- Mejora de la fiabilidad y disponibilidad y alargamiento del ciclo de la vida de las instalaciones;
- Aumento de la seguridad integral
- Reducción de stocks en la gestión de aprovisionamiento; y
- Mejora en la disponibilidad de información adecuada sobre mantenimiento para la toma de la decisión empresarial

Un sistema computarizado debe ser capaz de permitir al ingeniero o planificador de mantenimiento efectuar un seguimiento del trabajo de forma organizada. Para ello será necesario tener en cuenta algunos aspectos repetidos en ocasiones en este documento”<sup>8</sup>:

- Mantener el costo del servicio de mantenimiento lo más bajo posible
- Encontrar la mejor forma de efectuar los trabajos de mantenimiento

---

<sup>8</sup> FUENTES DIAZ, David. Sistema de información en mantenimiento. Bucaramanga. UIS.2015. pág. 10

- Encontrar la forma de que los equipos críticos estén siempre disponibles
- Encontrar la forma de reducir al mínimo los costos de mantenimiento en aquellos equipos que no sean críticos
- Proveer de las facilidades necesarias para que los operadores no cualificados realicen el mantenimiento mínimo requerido en los equipos
- Proveer del entrenamiento y supervisión necesaria

## 2.8 NORMA ISO 14224

Esta norma denominada “Datos de mantenimiento y confiabilidad para equipo de las industrias de petróleo, petroquímica y gas” fue emitida por la organización internacional para estandarización ISO en su tercera edición del año 2016 por el comité técnico 67 encargados de áreas como materiales, equipos y estructuras para industria del petróleo costa afuera donde se ha prestado particular atención la seguridad, disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de equipos.

La norma establece un análisis detallado de las condiciones de los equipos, sus características operacionales y el medio en que se desempeñan considerando las fallas potenciales que pueden originarse y las actividades de mantenimiento asociadas a su prevención. Se presentan estadísticas de fallas en la industria reportada por diversos operadores durante varios años como herramienta estadística para definir rutinas de inspección y mantenimiento basadas en riesgo.

La norma es aplicable a diversos tipos de equipo utilizados en la industria petrolera y petroquímica incluyendo equipos para procesamiento, tuberías, ductos, cargue y descargue, pozos y equipos para perforación. Mediante anexos a la norma se definen las diversas taxonomías para cada clase de equipo así como principios de confiabilidad y recolección de datos para creación de bases de datos. La taxonomía es una clasificación sistemática de los equipos en grupos basados en factores posiblemente comunes a ellos (Ubicación, uso, sub-división equipos, etc). En el Cuadro 1 se muestran ejemplos de taxonomía utilizados en la norma ISO 14224 con nueve niveles definidos.

**Cuadro 8. Niveles taxonómicos**

<b>CATEGORÍA PRINCIPAL</b>	<b>NIVEL TAXONÓMICO</b>	<b>JERARQUÍA TAXONOMÍA</b>	<b>USO/UBICACIÓN</b>
Uso/Ubicación	1	Industria	Tipo de la Industria principal
	2	Categoría comercial	Tipo de comercio o proceso en secuencia
	3	Categoría instalación	Tipo de facilidad
	4	Planta/unidad categoría	Tipo de plata o unidad
	5	Sección /sistema	Sección principal/sistema
Subdivisión de equipamiento	6	equipo	Clase de unidad de equipo similar. Cada clase de equipamiento que contenga piezas del equipo similar
	7	Sub-unidad	Un subsistema necesario de la unidad de equipo para funcionar
	8	Componente/objeto mantenible	Grupo de partes de la unidad de equipo que es comúnmente mantenible
	9	Parte *	Pieza del equipo
*Mientras este nivel pueda ser útil en algunos, es considerado opcional en estandarización			

El anexo E de la norma también presenta una serie de indicadores de desempeño KPI (Key Performance Indicators) que permiten realizar comparaciones entre equipos, empresas y sectores.

Esta medición de desempeño permite el mejoramiento continuo en la funcionalidad de equipos, ajuste de costos y optimización en los planes de inspección, prueba y mantenimiento además del entendimiento de las posibles causas de falla en equipos por referencia de competidores y otras industrias que pueden utilizar familias de equipos como los relacionados en este caso para los taladros de perforación: ejemplo sistemas de generación, control, sistemas de bombeo para lodos de perforación, izaje y manejo de cargas, etc.

La norma ISO 14224 también establece una nomenclatura para las fallas de equipos, así como un método para su clasificación especialmente cuando en estas bases de datos se tienen datos de diversas industrias como forma de estandarizar la tipología de fallas reportadas.

### 3. RECOLECCION DE DATOS

Según el libro Principios de mantenimiento “Existen numerosos tipos de formatos que han sido exitosamente utilizados en algunos equipos. Un sistema normal simplificado de información para el mantenimiento puede contener los siguientes elementos básicos:

- Registro de equipos, registro de maquinaria o ficha técnica
- Estándares de mantenimiento, mantenimiento básico o actividades de mantenimiento
- Repuestos críticos y recomendaciones de almacenamiento
- Cuadro de inspecciones, reportes y registro de la misma
- Solicitud de servicios y hojas de trabajo
- Hoja de vida, bitácora o histórico de intervenciones en los equipos
- Tarjeta de costos por máquina y cuadro de costos del mantenimiento
- Tablas o cuadros de fallas y causas más comunes
- Programación del mantenimiento
- Seguimiento de programas o ejecutorias de mantenimiento programado
- Otros

Los estándares de mantenimiento son las actividades básicas de inspección y mantenimiento preventivo que se realiza en cada equipo con determinada frecuencia. El sistema más común es el de mantenimiento mecánico, eléctrico y lubricación, llamado LEM, sin embargo, se hacen otras divisiones como: instrumentación, hidráulica, electrónica. Cuando el sistema de información esta automatizado, estas actividades deben codificarse, surgiendo entonces una tabla de códigos de actividades básicas estructuradas dentro de CMMS<sup>9</sup>.

#### 3.1 PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL

##### DIAGNÓSTICO DEL PROTOCOLO DEL MANTENIMIENTO ACTUAL

El diagnóstico del protocolo de mantenimiento es un aspecto relevante para el desarrollo de las acciones de mejora que se recomendaran en este documento, ya que este nos refleja la situación actual del mantenimiento que se lleva a cabo en el campo de operación, Mediante este diagnóstico se pueden conocer las falencias

---

<sup>9</sup> BORRAS PINILLA, David. Principios de mantenimiento. Bucaramanga. UIS.2015. pág. 104

que se presentan en las actividades de mantenimiento de la compañía contratista (En este caso H&P) y con base en esto recomendar acciones de mejora que influyan de manera positiva en el protocolo de mantenimiento buscando la mejora continua y la disminución de inconvenientes.

Para determinar el diagnóstico actual del mantenimiento se realizó una serie de entrevistas con el Superintendente de mantenimiento y con el Líder de aseguramiento técnico de la compañía Equion Ltd. A su vez con la ayuda del Líder de aseguramiento técnico se desarrolló una auditoría al sistema de gestión de mantenimiento RAMS de la compañía contratista del taladro (Helmerich & Payne) en donde se generaron una serie de hallazgos que podrían tener una repercusión importante en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos si no se toman las medidas pertinentes, de acuerdo con las entrevistas realizadas y la auditoría respectiva se obtuvo lo siguiente:

**Cuadro 9.** Hallazgos vs Posibles Afectaciones

ÍTEM	HALLAZGOS AUDITORÍA RAMS	RIESGOS /POSIBLES AFECTACIONES
1	Presencia de cables de control sueltos (no conectados en algunos tableros de control).	Riesgo de pérdida de producción, falta de información por ausencia de conexiones, falta de control en equipos.
2	Presencia de cables eléctricos de potencia y control sobre el piso de la mesa, sin ningún tipo de conducción eléctrica	Afectación en la operación y monitoreo del taladro con posibles pérdidas de producción y riesgo por ser esta un área clasificada Clase I
3	Falta de elementos de sujeción, falta de ajuste en elementos, agujeros sin bloqueo y accesorios de control sueltos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla del equipo.</li> <li>• Reparaciones inesperadas consumiendo tiempo productivo.</li> <li>• Tiempos no productivos</li> </ul>
4	Uso temporal de máquinas Diesel de izaje, levantamiento y carga sin regulaciones específicas de instalación en áreas determinadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posible ignición debido a presencia de gas en el aire</li> <li>• Tiempos no productivos por reparaciones inesperadas.</li> <li>• Posible falla del equipo mismo por falta de seguimiento de mantenimiento adecuado.</li> </ul>
5	Falta de un listado de equipos que controlen la medición y tolerancias respectivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daño en equipos debido a tolerancias fuera de rango.</li> <li>• Tiempos no productivos por reparaciones inesperadas.</li> </ul>
6		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos de medición con procedencia no reconocida</li> <li>• Equipos de medición no aptos para uso</li> <li>• Daño prematuro de máquinas del taladro por tolerancias fuera de rango</li> </ul>

**Cuadro 9.(Continuacion)**

ÍTEM	HALLAZGOS AUDITORÍA RAMS	RIESGOS /POSIBLES AFECTACIONES
6	Equipos sin calibración puestos en operación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activación o desactivación de sistemas de protección por desajuste</li> <li>• Tiempos no productivos por reparaciones inesperadas</li> </ul>
7	Las Quick Release Valves (QRV) fueron modificadas en su pistón para aumentar el área de descarga de aire, evitar acumulación de mugre en periodo inactivo y bloqueo durante su operación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se cuentan con las rutinas de mantenimiento.</li> <li>• No se cuenta con el control y valuación que permia conocer si se afecta o no la producción</li> <li>• No se cuenta con información en el sistema de mantenimiento.</li> </ul>
8	Las realizaciones de las WO tienen una frecuencia y un tiempo para ser ejecutadas, se encontraron WO sin realizar que tienen tiempos mayores de los delimitados por el sistema de mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de realización de mantenimiento e inspección en equipos dentro de los tiempos establecidos que pueden llevar a que se presenten fallas.</li> <li>• Tiempos no productivos por acciones de una alta importancia realizadas fuera de las paradas establecidas.</li> <li>• Riesgo para la seguridad operacional, y la operación normal del taladro ya que no se ejecutan acciones en los tiempos establecidos</li> <li>• Retrasos en las ejecuciones de actividades sobre equipos que perjudican los tiempos de operación y la seguridad operacional.</li> </ul>
9	No se cuenta con un listado actualizado de la ubicación y disponibilidad de los repuestos para equipos no críticos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demora en la puesta en marcha del proceso debido a la falta de repuestos.</li> <li>• Fallas inesperadas</li> <li>• Tiempos no productivos debido a fallas y a no tener disponibilidad en partes.</li> <li>• La disponibilidad de partes no es segura, no se sabe con qué se cuenta.</li> </ul>
10	El personal técnico eléctrico no cumple con los requisitos profesionales ni con la capacitación adecuada, no se cumple con la normativa colombiana.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallas en equipos eléctricos</li> <li>• Tiempos no productivos por fallas.</li> <li>• Desconocimiento de posibles fallas presentadas en los equipos eléctricos.</li> </ul>
11	Calidad del contenido y cierre de las WO y RT, s del sistema de mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla inesperada de equipos por procesamiento incorrecto de datos</li> <li>• Tiempo no productivo por reparaciones inesperadas</li> </ul>

**Cuadro 9.(Continuacion)**

<b>ÍTEM</b>	<b>HALLAZGOS AUDITORÍA RAMS</b>	<b>RIESGOS /POSIBLES AFECTACIONES</b>
12	No se cuenta con una verificación de los conocimientos y procedimientos que llevan a cabo el personal técnico mecánico y eléctrico.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Falla inesperada de equipos por mantenimientos inadecuados</li><li>• Reparaciones incompletas</li><li>• Falta disciplina operacional</li><li>• Tiempos no productivos generado por fallas y reparaciones inesperadas</li></ul>
13	No se cuenta con un control y verificación de la realización y cierre de las actividades de mantenimiento realizadas por el operario.	<ul style="list-style-type: none"><li>• No realización de labores de mantenimiento que llevan a tener fallas</li><li>• Represamiento en la WO que con llevan a tener fallas inesperadas por fala de mantenimiento</li><li>• Tiempos no productivos por fallas y reparaciones inesperadas</li></ul>

Según el diagnóstico realizado se puede decir que el plan de mantenimiento actual que se lleva en la compañía contratista de perforación, no funciona de manera adecuada, es decir no cumple con la totalidad de lo que el taladro requiere para tener una operación continua ya que se están generando inconsistencias, que provocan un aumento de mantenimientos correctivos que son inesperados y generan pérdidas, a pesar de que tengan unos protocolos de mantenimiento respectivos para cada uno de los equipos.

Teniendo en cuenta los hallazgos encontrados, se evidencia la necesidad de llevar a cabo una serie de actividades que mitiguen los problemas generados por la falta de estas actividades.

Respecto el diagnostico se encuentra una serie de inconsistencias en relación con las órdenes de trabajo emitidas por la plataforma de mantenimiento en donde no se cumplen las fechas establecidas por el sistema así mismo no se tiene un seguimiento adecuado del cumplimiento y cierre de las WO lo que genera una incertidumbre en el mantenimiento. En la revisión que se le realizo a dichas órdenes de trabajo se encontró que estas tienen una estructura de trabajo concreta de forma coherente para su respectiva ejecución.

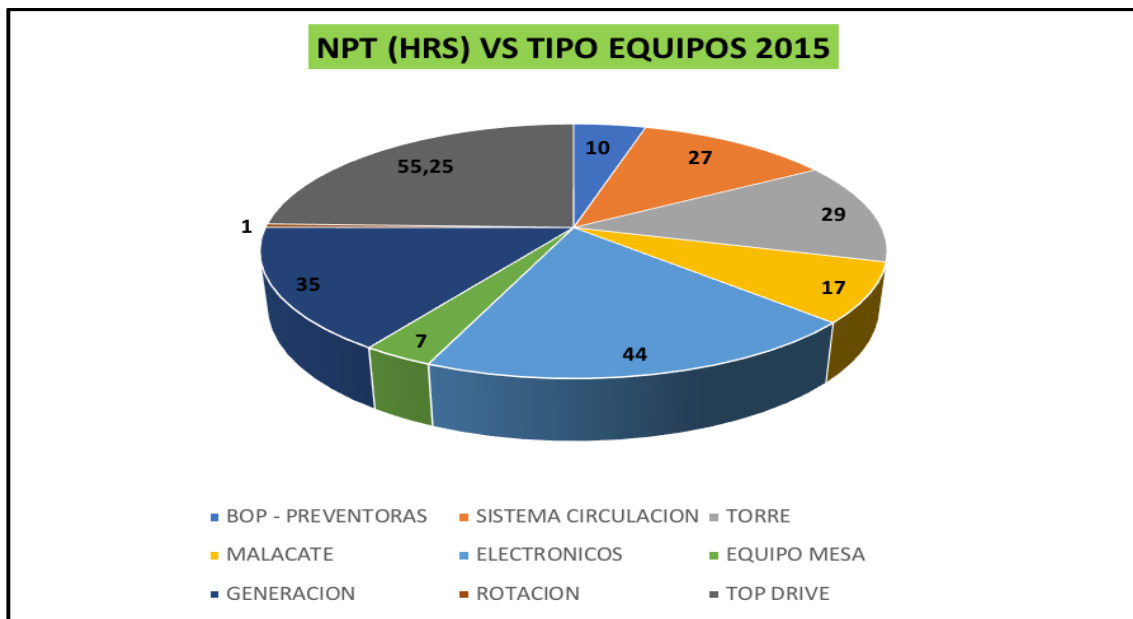
En cuanto a los temas de planeación y programación del mantenimiento la compañía contratista cuenta con una plataforma de mantenimiento bien estructurada en donde se refleja un orden cronológico de las actividades a realizar teniendo en cuenta límites de fechas, ordenes de autorización, elementos requeridos para el trabajo y un paso a paso del procedimiento de mantenimiento a seguir.

En conclusión, se puede decir que para el sistema de gestión de mantenimiento RAMS se tiene una buena organización y planeación, pero debido a las inconsistencias presentadas anteriormente es necesario realizar y adicionar una serie de mejoras al protocolo de mantenimiento.

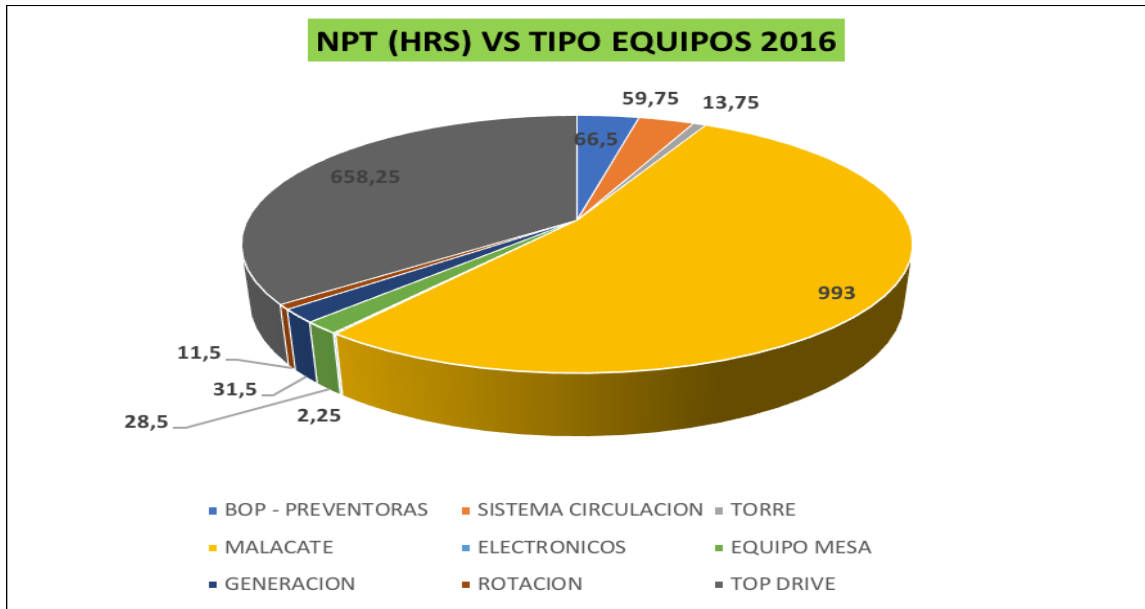
### 3.2 HISTORIAL DE FALLA EN EQUIPOS CRITICOS

Se anexan las fallas en los equipos críticos de perforación que fueron analizados de acuerdo con las horas de tiempo no productivo NPT durante los años 2015, 2016 y 2017 asociando por categorías según se aprecia en los diagramas tipo pie anexos para todo tipo de equipos de perforación utilizados por EQUION Energia Limited en sus operaciones de perforación de pozos petroleros en le Piedemonte lanero Colombiano.

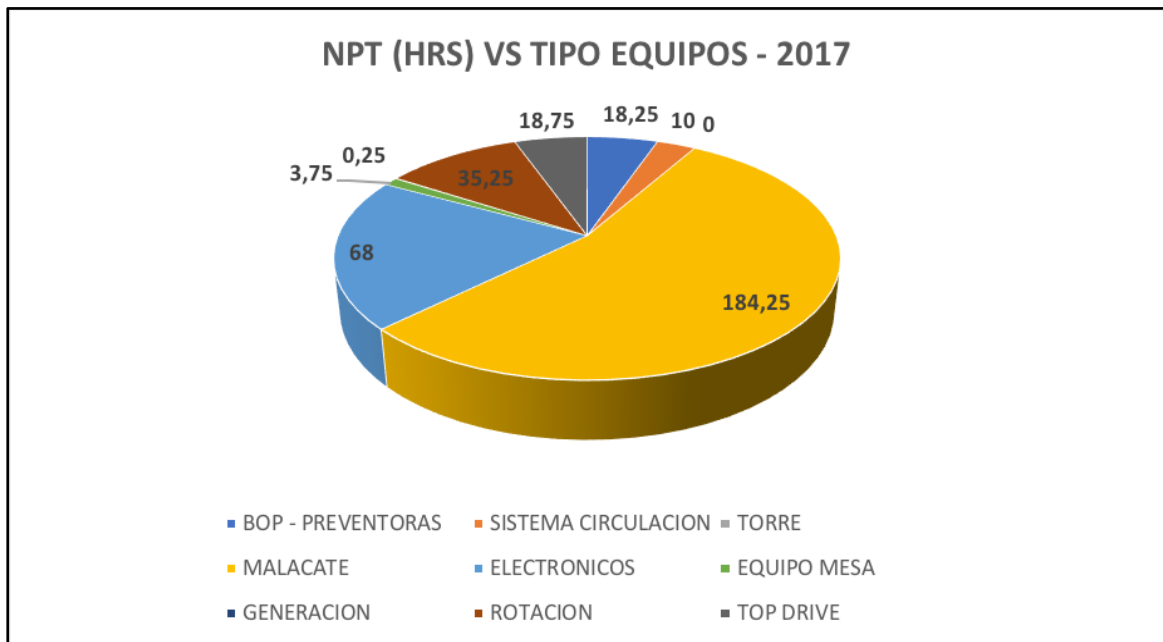
**Grafico 2.** Intervención de los equipos críticos 2015



**Grafico 3.** Intervención de los equipos críticos 2016



**Grafico 4.** Intervención de los equipos críticos 2017



### 3.3 INDICADORES USADOS POR H&P

Helmerich & Payne tiene definidos a nivel corporativo una serie de indicadores de gestión de mantenimiento que permiten a su vez realizar benchmarking entre los diferentes equipos y unidades de negocio de diferentes partes del mundo y los cuales son revisados con una frecuencia mensual a nivel de los Gerentes de país y Superintendentes de mantenimiento según se puede apreciar en la tabla anexa, siendo específico para el taladro H&P 900

#### 4. INDICADORES DE GESTION PROPUESTOS

Existe una gran variedad de indicadores para propósitos de benchmarking e indicadores de desempeño. La medición de costos y tasas de fallas dan unos indicadores de tendencia de la efectividad en los programas de mantenimiento y gestión. Los indicadores de desempeño pueden ser usados también para probar la asimilación de las organizaciones a esos programas y procedimientos por el registro de conformidad de acciones preventivas y predictivas programadas.

Ninguno de los indicadores de desempeño da una completa imagen y esto es, además necesario para definir el conjunto de indicadores de desempeño que al juntarse indican el progreso y tendencias en una operación de planta y equipamiento confiable. Las tendencias pueden ser mostradas sobre un periodo de tiempo y puede requerir de atención especial para permitir publicaciones periódicas tanto como reportes acumulativos, por ejemplo 'promedio de los dos años' en el último caso.

**Cuadro 10.** Indicadores de gestión

KPI	NIVEL RELEVANTE TAXONOMÍA	UNIDADES	PROPÓSITO Y UTILIDAD
MTBF Tiempo medio transcurrido entre fallas	6 al 8	Tiempo (horas, días, semanas, meses, años)  Para diferentes clases o tipos de equipo  Tendencias mostradas por cada periodo de tiempo	Indica el incremento o la disminución de la confiabilidad de los componentes, equipo o unidad/planta
MTTF Tiempo medio entre fallas	6 al 8	Tiempo (horas, días, semanas, meses, años)  Para diferentes clases o tipos de equipo  Tendencias mostradas por cada periodo de tiempo	Indica el incremento o la disminución de la confiabilidad de los componentes, equipo o unidad/planta  Note que al principio MTTF, en principio, hace referencia a la primera falla de un nuevo ítem antes de que cualquier tarea de mantenimiento haya sido efectuada

**Cuadro 10. (Continuación)**

<b>KPI</b>	<b>NRT</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>PROPÓSITO Y UTILIDAD</b>
<p>MTBR</p> <p>Tiempo medio entre reparaciones</p>	6 al 8	<p>Tiempo (horas, días, semanas, meses, años)</p> <p>Para diferentes clases o tipos de equipo</p> <p>Tendencias mostradas por cada periodo de tiempo</p>	Indica el incremento o la disminución de la confiabilidad de los componentes, equipo o unidad/planta
<p>MRT</p> <p>Tiempo medio de reparación</p>	6 al 8	<p>Usualmente el tiempo es de horas o días</p> <p>Para diferentes clases o tipos de equipo</p> <p>Tendencias mostradas por cada periodo de tiempo</p>	Indica la productividad y contenido de trabajo de las actividades de reparación
<p>AO</p> <p>Disponibilidad operación</p>	6	El porcentaje de tiempo disponible para la operación del equipo cuando todo el mantenimiento es incluido en el tiempo de inactividad	Muestra los comportamientos en un equipo disponible cuando la actividad correctiva y preventiva
<p>Elementos críticos de seguridad con tareas de garantía en CMMS</p>	4 al 6	El porcentaje de elementos críticos con tarea de garantía en CMMS	Asegura que todos los elementos críticos requieran una tareas de garantía en el CMMS
<p>Elementos críticos de seguridad en el mantenimiento correctivo</p>	4 al 6	El porcentaje de órdenes de trabajo del mantenimiento correctivos para los elementos críticos sobresalientes después de la última fecha de programación	Medición de los elementos críticos de un mantenimiento correctivo antes de la última fecha de aprobación
<p>Tasa de hora/hombre en el mantenimiento preventivo</p>	4 al 6	El porcentaje de horas/hombre gastados en un mantenimiento preventivo	Indica la cantidad de mantenimiento preventivo proactivo
<p>Tasa de hora/hombre en el mantenimiento correctivo</p>	4 al 6	El porcentaje de horas/hombre gastados en un mantenimiento correctivo	Indica la cantidad de mantenimiento correctivo proactivo
<p>Mantenimiento preventivo retrasado</p>	4 al 6	Numero o porcentaje de órdenes de trabajo atrasadas de mantenimiento preventivo por categoría	Indica las reservas sobresalientes del mantenimiento preventivo

#### 4.1 DEFINICION DE INDICADORES

Con el propósito de cumplir con los indicadores de gestión de mantenimiento para el taladro H&P 900, se propusieron los siguientes indicadores claves de desempeño -KPI- que permiten un seguimiento adecuado al cumplimiento de las rutinas de mantenimiento establecidas en el sistema RAMS® y a su vez permiten la comparación con otros equipos de la empresa H&P al servicio de otras unidades de negocio.

- MBTF (tiempo promedio entre fallas)
- MTTR (tiempo promedio de reparación)
- DT (tiempo no productivo)
- GTC WO (ordenes de trabajo piso a corona)
- ELB (ordenes de trabajo libro de mantenimiento motores)
- COT (cumplimiento ordenes de trabajo)
- Disponibilidad
- Confiabilidad

#### 4.2 HOJA DE VIDA INDICADORES

Se definieron las hojas de vida para los indicadores clave de desempeño definidos en el numeral 4.1 siguiendo un formato que incluye:

- Nombre del indicador (KPI)
- Unidades
- Explicación del indicador
- Método de calculo
- Frecuencia de medición

Esta información es recopilada de manera mensual por el administrador de la herramienta RAMS® y es emitida por el superintendente de mantenimiento de la compañía hacia la superintendencia de operaciones y la gerencia de H&P, así como informada al cliente, en este caso EQUION ENERGIA LTD

**Cuadro 11.** Hoja de vida MBTF (tiempo promedio entre fallas)

NOMBRE DEL INDICADOR (KPI)	UNIDADES
MBTF (tiempo promedio entre fallas)	Días
<b>EXPLICACIÓN DEL INDICADOR:</b> Indica el promedio de tiempo de falla por componentes, equipo o unidad Uso del MTBF implica que el tiempo de inactividad/ reparación está incluido	
<b>MÉTODO DE CALCULO:</b> IADC (días de funcionamiento del taladro) / DT# (número de paradas)	
<b>FRECUENCIA</b>	Mensual

**Cuadro 12.** Hoja de vida MTTR (tiempo promedio de reparación)

NOMBRE DEL INDICADOR (KPI)	UNIDADES
MTTR (tiempo promedio de reparación)	Horas
<b>EXPLICACIÓN DEL INDICADOR:</b> H&P lo toma como el tiempo esperado para que el sistema se recupere después de una falla. Este indicador puede incluir el tiempo que toma diagnosticar el problema, el tiempo que toma en conseguir el personal para la reparación o el repuesto en el stock, y el tiempo que toma la reparación.	
<b>MÉTODO DE CALCULO:</b> DT (tiempo empleado en la reparación) / DT# (número de paradas)	
<b>FRECUENCIA</b>	Mensual

**Cuadro 13.** Hoja de vida DT (tiempo no productivo)

NOMBRE DEL INDICADOR (KPI)	UNIDADES
DT (tiempo no productivo)	Horas
<b>EXPLICACIÓN DEL INDICADOR:</b> H&P lo define como el tiempo que dura un equipo en reparación o el tiempo que no está en producción	
<b>MÉTODO DE CALCULO:</b> $\sum T_p$ TP: tiempo de reparación	
<b>FRECUENCIA</b>	Mensual

**Cuadro 14.** Hoja de vida GTC WO (ordenes de trabajo piso a corona)

NOMBRE DEL INDICADOR (KPI)	UNIDADES						
GTC WO (ordenes de trabajo piso a corona)	Unidades						
<p><b>EXPLICACIÓN DEL INDICADOR:</b></p> <p>H&amp;P verifica el cumplimiento de las órdenes de trabajo (WO) de piso a corona diariamente equipo por equipo realizando una inspección visual siguiendo unos criterios estipulados para cada uno en la (WO); siguiendo una ponderación basada en el cumplimiento, el cual disminuye a mayor número de incumplimientos.</p>							
<p><b>MÉTODO DE CALCULO:</b></p> <p>Se tiene una escala de valores con tolerancia +/- 10% tomando como base el 100%= % GTC si IADC(días) = GTC (WO)= 31</p> <table border="1" data-bbox="781 978 1107 1509"> <tbody> <tr> <td data-bbox="781 978 1107 1024">&lt; 100 %GTC</td> </tr> <tr> <td data-bbox="781 1024 1107 1129">90-100% GTC TOTAL = 25%</td> </tr> <tr> <td data-bbox="781 1129 1107 1220">80-89% GTC TOTAL = 20%</td> </tr> <tr> <td data-bbox="781 1220 1107 1310">70-79% GTC TOTAL = 15%</td> </tr> <tr> <td data-bbox="781 1310 1107 1409">60-69% GTC TOTAL = 10%</td> </tr> <tr> <td data-bbox="781 1409 1107 1509">&lt;60% GTC TOTAL = 0%</td> </tr> </tbody> </table>		< 100 %GTC	90-100% GTC TOTAL = 25%	80-89% GTC TOTAL = 20%	70-79% GTC TOTAL = 15%	60-69% GTC TOTAL = 10%	<60% GTC TOTAL = 0%
< 100 %GTC							
90-100% GTC TOTAL = 25%							
80-89% GTC TOTAL = 20%							
70-79% GTC TOTAL = 15%							
60-69% GTC TOTAL = 10%							
<60% GTC TOTAL = 0%							
<b>FRECUENCIA</b>	Diaria						

**Cuadro 15.** Hoja de vida ELB (ordenes de trabajo libro de mantenimiento motores)

NOMBRE DEL INDICADOR (KPI)	UNIDADES												
ELB (ordenes de trabajo libro de mantenimiento motores)	Unidades												
<p><b>EXPLICACIÓN DEL INDICADOR:</b></p> <p>H&amp;P define como las ordenes de trabajo generadas para los motores de generación que en este caso está constituido por 8 motores</p>													
<p><b>MÉTODO DE CALCULO:</b></p> <p>Se tiene una escala de valores con tolerancia +/- 10%</p> <table border="1" data-bbox="560 724 1209 1117"> <thead> <tr> <th data-bbox="560 724 885 758">&lt; 100 % EBL</th> <th data-bbox="885 724 1209 758">&gt; 100 % EBL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="560 758 885 831">90-100% ELB TOTAL = 25%</td> <td data-bbox="885 758 1209 831">100-110% ELB TOTAL = 25%</td> </tr> <tr> <td data-bbox="560 831 885 905">80-89% ELB TOTAL = 20%</td> <td data-bbox="885 831 1209 905">111-120% ELB TOTAL = 20%</td> </tr> <tr> <td data-bbox="560 905 885 978">70-79% ELB TOTAL = 15%</td> <td data-bbox="885 905 1209 978">121-130% ELB TOTAL = 15%</td> </tr> <tr> <td data-bbox="560 978 885 1052">60-69% ELB TOTAL = 10%</td> <td data-bbox="885 978 1209 1052">131-140% ELB TOTAL = 10%</td> </tr> <tr> <td data-bbox="560 1052 885 1117">&lt; 60% ELB TOTAL = 0%</td> <td data-bbox="885 1052 1209 1117">&gt; 140% ELB TOTAL = 0%</td> </tr> </tbody> </table>		< 100 % EBL	> 100 % EBL	90-100% ELB TOTAL = 25%	100-110% ELB TOTAL = 25%	80-89% ELB TOTAL = 20%	111-120% ELB TOTAL = 20%	70-79% ELB TOTAL = 15%	121-130% ELB TOTAL = 15%	60-69% ELB TOTAL = 10%	131-140% ELB TOTAL = 10%	< 60% ELB TOTAL = 0%	> 140% ELB TOTAL = 0%
< 100 % EBL	> 100 % EBL												
90-100% ELB TOTAL = 25%	100-110% ELB TOTAL = 25%												
80-89% ELB TOTAL = 20%	111-120% ELB TOTAL = 20%												
70-79% ELB TOTAL = 15%	121-130% ELB TOTAL = 15%												
60-69% ELB TOTAL = 10%	131-140% ELB TOTAL = 10%												
< 60% ELB TOTAL = 0%	> 140% ELB TOTAL = 0%												
<b>FRECUENCIA</b>	Mensual, Semanal o Diaria												

**Cuadro 16.** Hoja de vida COT (cumplimiento ordenes de trabajo)

NOMBRE DEL INDICADOR (KPI)	UNIDADES
COT (cumplimiento órdenes de trabajo)	%
<p><b>EXPLICACIÓN DEL INDICADOR:</b>                      H&amp;P verifica el cumplimiento de las órdenes de trabajo (WO) emitidas tanto a nivel de mecánico, eléctrico como Gerente del taladro y las cuales aparecen en el reporte como Tech WO 90+ (Refiere a órdenes de mantenimiento para mecánico y eléctrico no cumplidas en lapso 90 días); OP WO 90+ (Refiere a órdenes de mantenimiento operacionales y HSE no cumplidas en lapso 90 días); siguiendo una ponderación basada en el cumplimiento, el cual disminuye a mayor número de incumplimientos.</p>	
<p><b>MÉTODO DE CALCULO:</b> Se tiene una escala de valores con tolerancia +/- 10% asignando 25% a cada área de acuerdo al cumplimiento de cada período usualmente un mes de cierre de las órdenes de mantenimiento con registros completos de duración, repuestos y observaciones.                      # Tech WO excediendo 90 días (0 a 3) – 25%, 4 a 6 – 20%, 7 a 10 – 15%, 11 a 15 – 10% y &gt;16 – 0%)</p>	
<b>FRECUENCIA</b>	Mensual

**Cuadro 17.** Hoja de vida Disponibilidad

NOMBRE DEL INDICADOR (KPI)	UNIDADES
Disponibilidad	%
<p><b>EXPLICACIÓN DEL INDICADOR:</b>                      H&amp;P la define como la capacidad de un taladro para desempeñarse en una función determinada bajo condiciones establecidas por un periodo de tiempo determinado sin eventos de tiempo no productivo</p>	
<p><b>MÉTODO DE CALCULO:</b></p> $DISPONIBILIDAD = e^{-\frac{TIME}{MTBF}}$	
<b>FRECUENCIA</b>	Mensual

**Cuadro 18.** Hoja de vida Confiabilidad

NOMBRE DEL INDICADOR (KPI)	UNIDADES
Confiabilidad	%
<p><b>EXPLICACIÓN DEL INDICADOR:</b></p> <p>H&amp;P la define como el grado para que un taladro sea operacional y asequible cuando su uso es requerido, la confiabilidad es determinado por la disponibilidad del taladro tanto como el tiempo de recuperación cuando una falla aparece</p>	
<p><b>MÉTODO DE CALCULO:</b></p> $Confiabilidad = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$	
<b>FRECUENCIA</b>	Mensual


**4.3 SEGUIMIENTO DE INDICADORES**

Se presentan los resultados de seguimiento mensual a la gestión de mantenimiento en la herramienta RAMS® para los meses de febrero y diciembre de 2017 en los cuales se evidencia el cumplimiento de los indicadores claves de desempeño, así como la comparación con otro equipo (H&P 237) operando en Colombia y del tipo AC

**Ilustración 5.** Herramienta RAMS®




## Ilustración 6. Indicadores RAMS®

 <b>Helmerich &amp; Payne International Drilling Co.</b> Reliability Octubre 2017												
Rig #	Country	IADC Hours	IADC Days	DT (Hrs)	DT#	Total DT %	MTBF Days	MTBF Hrs	MTTR Hrs	k	Reliability	Availability
900	COLOMBIA	744.00	31	6.5	3	0.9%	10.33	248.00	2.17	-0.10	90.78%	99.13%

MBTF: Mean Time Between Failures (Tiempo Promedio entre fallas)

MTTR: Mean Time To Repair (Tiempo Promedio de Reparacion )

DT: Downtime

 <b>Helmerich &amp; Payne International Drilling Co.</b> RAMS® Usage Octubre 2017																
Rig #	Country	IADC Hrs	IADC Days	GTC WO	% GTC	ELB Gen	ELB Ent	%ELB	Tech WO 90+	WO > 90 days	GTC Total	ELB Total	Tech WO 90+	OP WO 90+	RAMS® Usage	
900	Colombia	744	31	34	110%	10	12	120%	25%	15%	25%	20%	3	7	85%	

GTC WO: Ground To Crown Work Orders -Rig Actual Status

ELB: Engine Log Book Work Orders -Engines Status

90 – 100% compliant = 25 %
80 – 89% compliant = 20%
70 – 79% compliant = 15%
60 – 69% compliant = 10%
< 60% compliant = 0%

Tech & OP WO +90 days

0 – 3 work orders = 25 %

4 – 6 work orders = 20%

7 – 10 work orders = 15%

11 – 15 work orders = 10%

16+ work orders = 0%

100 – 110% compliant = 25 %
111 – 120% compliant = 20%
121 – 130% compliant = 15%
131 – 140% compliant = 10%
> 141% compliant = 0%

## 5. CONCLUSIONES

- Este proyecto permitió el trabajo conjunto entre universidad, contratista de perforación y empresa operadora para realizar optimizaciones en la gestión de mantenimiento de los equipos críticos utilizados en la perforación de pozos petroleros
- Se definieron los equipos críticos para la operación de taladros tipo AC empleados en actividades de perforación en el piedemonte llanero colombiano teniendo en cuenta su criticidad considerando el impacto de falla, redundancia, frecuencia de falla y tiempo de reparación. Las rutinas de mantenimiento establecidas en el sistema de gestión de mantenimiento se encontraron ajustadas a las recomendaciones de los fabricantes de equipos que integran el taladro de perforación
- Se analizaron los modos de falla asociados a los equipos principales definidos como críticos de acuerdo con la clasificación realizada y las estadísticas de la compañía relacionada con fallas previas en estos equipos y la retroalimentación recibida a través de la estructura del sistema computarizado para gestión de mantenimiento RAMS®
- Se implementaron indicadores de gestión de mantenimiento tanto de tipo proactivo como del tipo reactivo que contribuyeron en la reducción del tiempo no productivo y por tanto de los costos de operación de acuerdo al análisis realizado para los tiempos no productivos (DT-NPT) para los años 2015-2017. La norma ISO 14224 contiene información clave en cuanto datos de mantenimiento y confiabilidad de equipos siendo fuente primaria de información para este proyecto
- De acuerdo del sistema de gerenciamiento de repuestos de la compañía H&P se mantiene control sobre los mínimos y máximos de repuestos tanto para equipos críticos como no críticos, así como el uso de bodegas menores para componentes requeridos en la operación directamente en cada taladro de perforación. Este aspecto fue verificado mediante auditoria en campo al sistema de gestión de mantenimiento
- Este proyecto puede hacerse extensivo con diferencias menores a otro tipo de taladros como los convencionales denominados DC, ya que la metodología utilizada es aplicable de manera general a este tipo de equipos utilizados en la industria petrolera

## BIBLIOGRAFIA

BARRON'S, "A New Drill for Energy" [En Linea] [Consultado el 28 octubre del 2017] Disponible en:[<https://www.barrons.com/articles/SB50001424052970204451004575433532688776398?tesla=y/>]

ECOPETROL, Manual de Operaciones de perforación de pozos (Documento GTD-SPE-M-001 versión 1 – 2009)

FORBES, "The World's Biggest Public Companies" [En Linea] [Consultado el 28 diciembre del 2017] Disponible en :[ <https://www.forbes.com/companies/helmerich-payne/>]

H&P, "An american story. a timeless legacy." [En Linea] [Consultado el 20 febrero del 2018] Disponible en : [<https://www.hpinc.com/about/american-story-timeless-legacy>]

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajo de grado y otros de trabajo de investigación. NTC-1486. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 36 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Petroleum, petrochemical and natural gas industries- Collection and Exchange of reliability and maintenance data for equipment. (ISO 14224:2016)

MARTINEZ DIAZ ,Diego, "Sistemas básicos del equipo de perforación" [En Linea] [Consultado el 16 marzo del 2018] Disponible en : [<https://es.slideshare.net/DiegoMartinez/sistemas-basicos-del-equipo-de-perforacion>]

REUTERS, "Helmerich & Payne may cut 2,000 jobs as it idles rigs" [En Linea] [Consultado el 15 febrero del 2018] Disponible en : [<https://www.reuters.com/article/helmerichpayne-results/update-2-helmerich-payne-may-cut-2000-jobs-as-it-idles-rigs-idUSL4N0V85NJ20150129>]

TULSA WORLD , "Helmerich & Payne resists temptation to move" [En Linea] [Consultado el 15 febrero del 2018] Disponible en: [[http://www.tulsaworld.com/business/helmerich-payne-resists-temptation-to-move/article\\_94c3145b-93f7-5de7-8049-9d10bab8e1d9.html](http://www.tulsaworld.com/business/helmerich-payne-resists-temptation-to-move/article_94c3145b-93f7-5de7-8049-9d10bab8e1d9.html)]

UNITED STATES SECURITIES AND EXCHANGE COMMISSION, "Form 10-k"[En linea] [Consultado el 11 de enero del 2018] Disponible en :[ <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/46765/000104746914009586/a2221412z10-k.htm>]

