	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>i(126)</b>	

### RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	JEISSON DAVID NIÑO JAIMES
<b>FACULTAD</b>	FACULTAD DE INGENIERÍAS
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	INGENIERIA MECANICA
<b>DIRECTOR</b>	EDUAR ERNESTO PEREZ ROJAS
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	CONTROL DE LA CONFIABILIDAD EN EQUIPOS DE OPERACIÓN MINERA DE LA EMPRESA PRODECO MINA LA JAGUA BASADO EN LAS TÉCNICAS RIM (RELIABILITY INFORMATION MANAGEMENT) Y RCA (ANÁLISIS CAUSA RAÍZ)

#### RESUMEN

(70 palabras aproximadamente)

EL PRINCIPAL OBJETIVO DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO ES MANTENER EL EQUIPO EN ÓPTIMAS CONDICIONES A TRAVÉS DE PROBLEMAS, FALLAS Y FRACASOS DE OPERACIÓN. UNA DE LAS HERRAMIENTAS FUNDAMENTALES DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO ES MEDICIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS ACTIVOS FÍSICOS DE LA COMPAÑÍA. LAS MÉTRICAS DE RENDIMIENTO NOS BRINDAN MEDICIONES LO QUE NOS DA UNA IDEA EXACTA DE LA EFECTIVA DE NUESTRA GESTIÓN EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS.

#### CARACTERÍSTICAS

<b>PÁGINAS:</b> 126	<b>PLANOS:</b>	<b>ILUSTRACIONES:</b>	<b>CD-ROM:</b> 1
---------------------	----------------	-----------------------	------------------



CONTROL DE LA CONFIABILIDAD EN EQUIPOS DE OPERACIÓN MINERA DE LA  
EMPRESA PRODECO MINA LA JAGUA BASADO EN LAS TÉCNICAS RIM  
(RELIABILITY INFORMATION MANAGEMENT) Y RCA (ANÁLISIS CAUSA RAÍZ)

AUTOR:

JEISSON DAVID NIÑO JAIMES

Trabajo presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero Mecánico bajo la  
modalidad de pasantías

Director

INGENIERO MECÁNICO

EDUAR ERNESTO PEREZ ROJAS

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERIA MECANICA

Ocaña, Colombia

Marzo de 2017

## **Dedicatoria**

Dedico primera mente este logro a Dios por ser mi ayuda incondicional y mi guía a lo largo de mi vida, a mis padres por su apoyo, mis hermanos y amigos por creer en mis sueños, a mis profesores por sus enseñanzas y a la universidad por haberme acogido en su seno y poner a mi disposición todo su conocimiento.

A todos muchas gracias.

## Agradecimiento

Mis agradecimientos son para Dios primeramente por ser mi guía y mi amigo en toda esta carrera y por hoy permitirme alcanzar este logro tan importante en mi vida.

A mi madre Carmen Edith Jaimes por todo su apoyo y a mi padre Rafael Niño por haber creído en mí. a mis hermanos Marilyn, Rafael, Laudith, Isaid, Keila, Karen y Niyerlis por el apoyo a lo largo de mi carrera.

A mi novia Fernanda Ferreira vera por su apoyo y por creer en mi a mis metas, amigos de infancia Alder Ruiz Clavijo, Heiner Villa, Yeiner Perdomo amigos que estuvieron allí cuando más necesite de ellos.

A mis amigos de universidad Cesar Sarmiento, Elkin Castellanos, Omar Polo, Dayan Suarez, Oguier Emilio, Cristian Gómez, Bibiana bayona, Johan Useche con quienes compartí buenos y malos momentos.

A mi director Eduar Ernesto Perez Rojas por su ayuda fundamental en la elaboración de este trabajo, y mis profesores Jhon Arévalo, Eder Flórez, Leonardo navarro, Gustavo guerrero, Edwin espinel Por sus enseñanzas y su apoyo.

A mi director de pasantía en la empresa Rodny Jaramillo por darme la oportunidad en su empresa y creer en mi trabajo

A mis compañeros de trabajo Alejandro Lázaro, Dina luz Quintero, Carlos Hernández amigos incondicionales a lo largo de todas mis practicas A la Universidad francisco de Paula Santander seccional Ocaña y al tecnopartque nodo Ocaña por bríndame los conocimientos aprendidos y por poner a mi disposición toda su logística e infraestructura.

## Índice

<b>Capítulo 1. Control de la confiabilidad en equipos de operación minera de la empresa procedo mina la jagua basado en las técnicas RIM (reliability information management) y RCA (análisis causa raíz) .....</b>	<b>15</b>
1.1 Descripción Breve De La Empresa.....	15
1.1.2. Misión.....	16
1.1.3. Visión.....	16
1.1.4. Objetivos de la empresa.....	16
1.1.5 Descripción de la dependencia y/o proyecto al que fue asignado.....	18
1.2 Diagnóstico Inicial De La Dependencia Asignad.....	19
1.2.1. Planteamiento del problema.....	19
1.3 Objetivos.....	20
1.3.1. Objetivo General.....	20
1.3.2. Objetivos Específicos.....	20
1.4 Descripción De Las Actividades.....	21
 <b>Capítulo 2. Marco Referencial.....</b>	 <b>22</b>
2.1. Marco conceptual.....	22
2.1.1. Mantenimiento.....	22
2.1.2. Confiabilidad.....	23
 <b>Capítulo 3. Informe de cumplimiento de trabajo .....</b>	 <b>27</b>
3.1. Presentación de resultados .....	27
3.1.1. Objetivo específico 1.....	27
3.1.2. Objetivo específico 2.....	39
3.1.3. Objetivo específico 3 .....	95
 <b>Capítulo 4. Conclusiones .....</b>	 <b>114</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>116</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>118</b>
<b>Apéndices .....</b>	<b>119</b>

## Lista De Figuras

Figura 1. Estructura Organizacional grupo PRODECO S.A .....	17
Figura 2. Estructura organizacional del departamento de mantenimiento PLJ mina la jagua.....	18
Figura 3. Problemas de confiabilidad en los diferentes procesos. ....	25
Figura 4. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF) .....	48
Figura 5. Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR).....	49
Figura 6. MTBS vs MTBF.....	50
Figura 7. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF) .....	51
Figura 8. Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR).....	53
Figura 9. MTBS vs MTBF.....	54
Figura 10. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF) .....	55
Figura 11. Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR).....	56
Figura 12. MTBS vs MTBF.....	57
Figura 13. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF) .....	58
Figura 14. Tiempo Promedio Para Reparar horas (TTR) .....	60
Figura 15. MTBS vs MTBF.....	61
Figura 16. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF) .....	62
Figura 17. Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR).....	64
Figura 18. TTR mes ames.....	71
Figura 19. camisa y zapata del cilindro de nivelación .....	92
Figura 20. MTBS vs MTBF para el mes de enero 2017.....	106

## Lista De Tablas

Tabla 1. Diagnóstico inicial de la dependencia de mantenimiento prodeco mina la jagua a través de la matriz DOFA.	19
Tabla 2. Descripción de las actividades a desarrollar por cada objetivo planteado .....	21
Tabla 3. Equipos flota NO MARA mina LA JAGUA .....	28
Tabla 4. Equipos NO MARA por flota de mina LA JAGUA .....	29
Tabla 5. Fórmulas para el cálculo de indicador (TBF) .....	44
Tabla 6. Fórmulas para el cálculo de indicador (TTR) .....	45
Tabla 7. Tiempo promedio entre fallas horas por equipo (MTBF) vs Tiempo Promedio Entre Paradas (MTBS) ...	46
Tabla 8. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF) .....	47
Tabla 9. Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR) .....	48
Tabla 10. Tiempo promedio entre fallas horas por equipo (MTBF) vs Tiempo Promedio Entre Paradas (MTBS) ...	50
Tabla 11. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF) .....	51
Tabla 12. Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR) .....	52
Tabla 13. Tiempo promedio entre fallas horas por equipo (MTBF) y Tiempo Promedio Entre Paradas .....	54
Tabla 14. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF) .....	55
Tabla 15. Tiempo Promedio Para Reparar horas (TTR) .....	56
Tabla 16. Tiempo promedio entre fallas horas por equipo (MTBF) vs Tiempo Promedio Entre Paradas (MTBS) ...	57
Tabla 17. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF) .....	58
Tabla 18. Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR) .....	59
Tabla 19. Tiempo promedio entre fallas horas por equipo (MTBF) vs Tiempo Promedio Entre Paradas (MTBS) ...	60
Tabla 20. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF) .....	62
Tabla 21. Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR) .....	63
Tabla 22. Tiempos de intervención por flotas .....	65
Tabla 23. Tiempo promedio de reparación por equipo .....	66
Tabla 24. Esquema de matriz de criticidad .....	67
Tabla 25. Matriz de criticidad por flota .....	68
Tabla 26. Tiempos de intervención por equipo .....	69
Tabla 27. Tiempo promedio de reparación mes ames. ....	70
Tabla 28. MTTR por sistema en todo el año. ....	72
Tabla 29. TTR sistema hidráulico por componentes para 2016.....	74
Tabla 30. Descripción de Pasos para la Construcción de un Árbol Lógico de Fallas .....	79
Tabla 31. Reporte dispash.....	82
Tabla 32. Muestras de aceite ESSO Y Mobil .....	94
Tabla 33. Recomendaciones .....	102
Tabla 34. Acciones de mejora y actividades.....	103

Tabla 35. Tiempo Promedio Entre Paradas UP108 (MTBS).....	105
Tabla 36. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema UP108 (MTBF).....	105
Tabla 37. Tiempo promedio de reparación (MTTR) por equipos para el mes de enero2017 .....	107
Tabla 38. Eventos Down por equipo .....	108
Tabla 39. Cantidad de eventos Down por sistema .....	110
Tabla 40. Cantidad de eventos Down por componentes .....	112



## Lista De Imágenes

Imagen 1. Base de datos características principales de la falla.....	40
Imagen 2. Base de datos análisis de las fallas.....	41
Imagen 3. Comentario directamente del software dispatch .....	43
Imagen 4. Base de Datos Paradas Equipo Minero - Malos Actores Informe Mensual .....	44
Imagen 5. Zapata y camisa del cilindro de nivelación.....	82
Imagen 6. Manguera hidráulica del cilindro de nivelación.....	88
Imagen 7. Últimos cambios de cilindros de nivelación al UP108 .....	89
Imagen 8. Zapata de nivelación .....	90
Imagen 9. Sellos de los cilindros de nivelación.....	93
Imagen 10. Fuga de aceite por los empaques de un cilindro de nivelación del perforador UP108 .....	97
Imagen 11. Cilindro de nivelación con los sellos dañados fuga externa de aceite hidráulico ....	97

## Lista de Graficas

Grafica 1. MTBS vs MTBF .....	46
Grafica 2. Total tiempo de intervención por flotas .....	65
Grafica 3. Total tiempo de intervención por equipos .....	69
Grafica 4. TTR por sistema para 2016.....	73
Grafica 5. TTR Componentes Sistema Hidráulico UP108 para todo el año 2016. ....	75
Grafica 6. Pasos Árbol Lógico de Fallas .....	80
Grafica 7. Eventos de falla (mal actor) .....	81
Grafica 8. Modos de falla.....	84
Grafica 9. Hipótesis de la falla.....	87
Grafica 10. Verificación y descarte de las hipótesis .....	94
Grafica 11. Causas físicas principales .....	96
Grafica 12. Verificaciones de las causas humanas .....	98
Grafica 13. Causas latentes .....	100
Grafica 14. MTTR mes de enero .....	107
Grafica 15. Cantidades de eventos Down por equipo.....	109
Grafica 16. Cantidades de eventos Down por sistema.....	111
Grafica 17. Cantidades de evento Down por componentes .....	113

## Introducción

El principal objetivo del departamento de Mantenimiento es mantener el equipo en óptimas condiciones a través de problemas, fallas y fracasos de operación. Una de las herramientas fundamentales del Departamento de Mantenimiento es medición del comportamiento de los activos físicos de la compañía. Las métricas de rendimiento nos brindan mediciones lo que nos da una idea exacta de la efectividad de nuestra gestión en relación con los objetivos establecidos y / o puntos de referencia globales, sin embargo también nos proporcionan una predicción o proyección en cuanto a lo que podemos esperar a largo y corto plazo teniendo en cuenta las pretensiones de la compañía. Las métricas de rendimiento más valiosas que nos ayuden en la identificación de los malos actores, los sistemas más débiles, malas prácticas y otras oportunidades de mejora. Por lo tanto, Corresponde tomar una mirada crítica a nuestro desempeño a través de una evaluación conjunta dentro del departamento y áreas involucradas en la producción. De esta manera podemos corregir pequeños problemas potenciales antes de que se conviertan en problemas mayores.

El detallado estudio de fallas en los diferentes equipos, la recolección y organización de datos y los resultados de los indicadores de rendimiento presentados en este documento nos ayudará a identificar y comprender los problemas relacionados con la operación de equipos pesados en la minería cielo abierto.

Las métricas de rendimiento es un término usado para describir cualquier proceso que se utiliza para recopilar, administrar, analizar, interpretar y presentar datos cuantitativos. Se trata de un parámetro de medición que permite el análisis del rendimiento vs producción siendo este último el factor fundamental y el que juzga si es rentable tener un equipo en operación o en su

defecto darle de baja otro de los factores relevantes y muy importante en la producción minera es el tiempo ya que es el factor que más afecta la producción debido a que una hora equipo se le estipula una disponibilidad que debe mantenerse por encima de su promedio proyectado con relación a la función que cumple en la producción; es allí donde el departamento de planeación juega un papel importante ya que son los encargados de vigilar, mantener y mejorar los procesos que conlleve a la reducción de costos y al mejoramiento de la producción; *CATERPILLAR* ha invertido una gran cantidad de tiempo, energía, recursos, identificación y desarrollo de varias métricas de rendimiento que cuantifican su producto. Además brinda una plataforma virtual o de ayuda para realizar los procedimientos de mantenimiento. Con base en esa experiencia, han sido capaces de documentar el rendimiento del sitio actual en muchos de las áreas y mucha confianza en representación de algunos de esos resultados.

Gracias al esfuerzo que se realizó para actualización de toda la información de las eventos no planeadas dirigidos a las flotas grandes camiones conocidos como camiones de acarreo o fuera de carretera 793C, 777F y palas retro RH120E Por lo tanto, la mayoría de los puntos de referencia utilizados en este documento son específicos de estas flotas.

Existen otras empresas que fabrican equipos importantes para la producción como **ATLAS COPCO** como son los perforadores modelos DML, DM45E, siendo equipos fundamentales para la producción.

Las métricas de rendimiento contenidas en este documento proporcionan detalles sobre el Mantenimiento del personal, de los procesos de reparación y sus contribuciones a los resultados finales. Esos indicadores se definen de la siguiente manera: Tiempo Promedio Paradas (MTBS), Tiempo Promedio Para Reparar (MTTR), Tiempo Promedio entre Fallas. (MTBF).

**Capítulo 1. Control de la confiabilidad en equipos de operación minera de la empresa  
procedo mina la jagua basado en las técnicas RIM (reliability information management) y  
RCA (análisis causa raíz)**

**1.1 Descripción Breve De La Empresa.**

Mina La Jagua, ubicada en el municipio de La Jagua de Ibirico, en el departamento de Cesar, es una mina de carbón a cielo abierto que se compone de cinco títulos mineros, en poder de tres compañías: Carbones de La Jagua S.A., Consorcio Minero Unido S.A. y Carbones El Tesoro S.A. Después de comprar la totalidad de estas operaciones, Glencore procedió a integrarlas en una sola, con la aprobación de las autoridades competentes.

Además de producir carbón térmico bajo en azufre y de alto contenido energético, en la mina La Jagua también se extrae carbón metalúrgico de alta volatilidad. El carbón triturado es transportado por camión hasta las instalaciones de manejo de carbón en la mina Calenturitas, donde es cargado en vagones de tren y transportado al puerto en Ciénaga, Magdalena.

Actualmente la empresa alcanzo una producción de 7 millones de toneladas de carbón con un alto contenido energético razón por lo cual lo hace apetecido en los mercados internacionales.

Estamos comprometidos en prevenir, minimizar, mitigar y compensar los impactos ambientales propios de la actividad de minería a gran escala. Por eso nuestro compromiso y esfuerzo están dirigidos a la preservación de los recursos naturales y a la restauración de los hábitats que de una u otra forma han sido intervenidos con nuestras actividades.

Nuestras acciones se enfocan en apoyar y respetar los derechos humanos de acuerdo con la Declaración Universal de Derechos Humanos; asimismo, defendemos la dignidad, las libertades fundamentales y los derechos humanos de nuestros empleados, contratistas, comunidades donde operamos y personas afectadas por nuestras actividades, es por esto, que nos aseguramos que la concientización en materia de derechos humanos esté incorporada en nuestros procesos internos de evaluación de riesgos. (PRODECO G. , 2016).

**1.1.2. Misión.** Nos encargamos de la exploración, producción, transporte y embarcación de nuestro carbón con destino a mercados internacionales.

Nos esforzamos por la mejora continua de nuestro negocio a través de una gestión de personal de primer nivel, el desarrollo de una infraestructura operativa eficiente de bajo costo, la aplicación de sistemas de gestión adecuados y el diseño de políticas que nos permitan ejecutar una operación segura y responsable con la sociedad y el medioambiente. (PRODECO L. I., 2016).

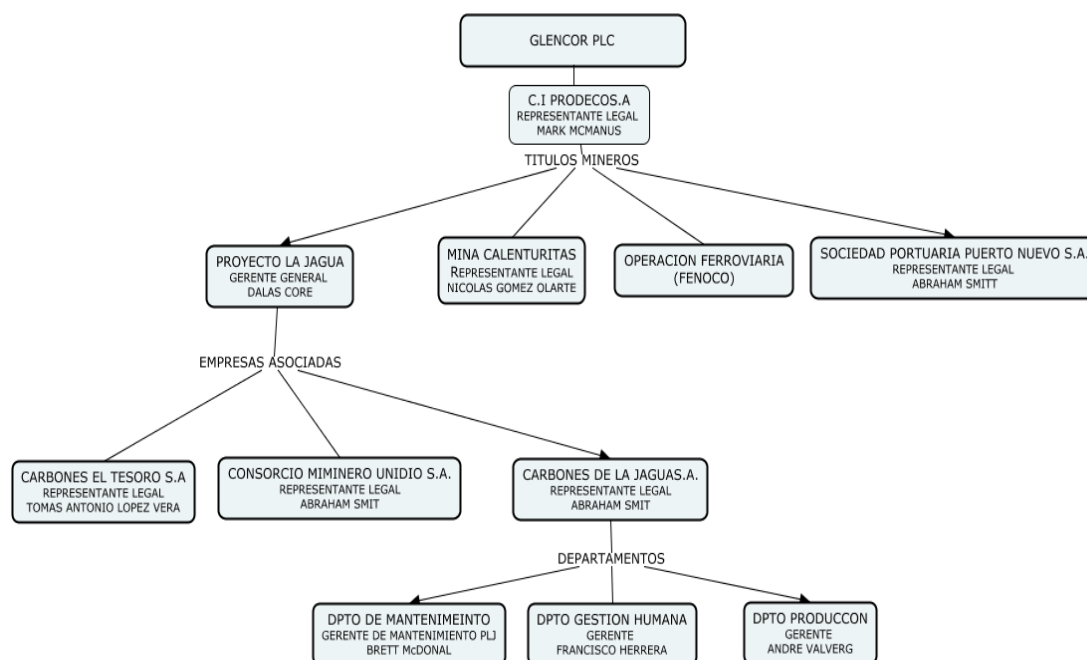
**1.1.3. Visión.** Ser el productor y exportador de carbón más importante de Colombia, mediante la ejecución segura de nuestras operaciones mineras y de toda la cadena de manejo de carbón hasta su exportación, la promoción de nuestro talento humano, el cuidado de nuestras comunidades vecinas y siendo responsables con el medioambiente en donde operamos, como un esfuerzo integral para alcanzar nuestras metas de producción y exportación. (**PRODECO L. I., 2016**).

**1.1.4. Objetivos de la empresa.** Tenemos como objetivo construir relaciones duraderas con nuestros vecinos al identificar y abordar sus preocupaciones y contribuyendo a las

actividades y programas destinados a mejorar su calidad de vida. Nuestro enfoque de sostenibilidad se basa en el principio de valor compartido y en la conexión entre progreso económico y social en las regiones donde operamos. Con este enfoque buscamos evaluar nuestras decisiones y oportunidades desde la lógica de la creación de valor, la maximización de beneficios y la minimización de impactos en nuestras operaciones.

Nuestros Valores y Código de Conducta son la base de nuestro enfoque de sostenibilidad y establecen nuestras expectativas sobre los empleados, contratistas y socios comerciales. (PRODECO G. , 2016).

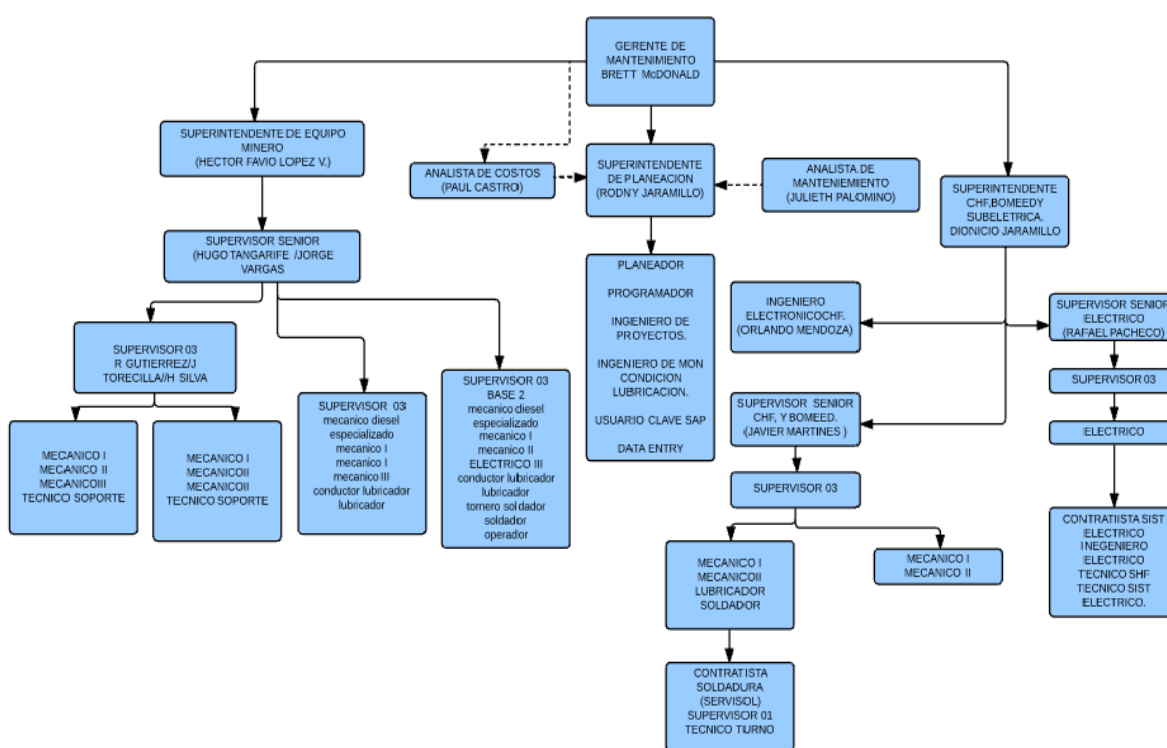
### Descripción de la estructura organizacional grupo PRODECOS.A.



**Figura 1 Estructura Organizacional grupo PRODECO S.A**

Fuente. (PRODECO L. I., 2016)

**1.1.5 Descripción de la dependencia y/o proyecto al que fue asignado.** La dependencia en la que fui asignado fue al departamento de mantenimiento en el área de planeación la cual está a cargo del Ing. Rodny Jaramillo superintendente del área de planeación de mantenimiento mina la jagua. Fui asignado como apoyo a la aplicación de un proyecto basado en el análisis y administración de la información de mantenimiento (RIM) y de fallas RCA dirigido por el Ing. Muigel Arquez planador de mantenimiento para la empresa prodeco mina la jagua, lo cual se pretende aplicar a la flota de equipos NO MARA (Maintenance And Repair According) acuerdo o contrato de mantenimiento y reparación por parte de nuestra empresa y no por la empresa contratista RELIANZ.



**Figura 2 estructura organizacional del departamento de mantenimiento PLJ mina la jagua.**

Fuente. (LAURA, 2016).



## 1.2 Diagnóstico Inicial De La Dependencia Asignada

Tabla 1.

**Diagnóstico inicial de la dependencia de mantenimiento prodeco mina la jagua a través de la matriz DOFA.**

EMPRESA	FORTALEZAS	DEBILIDADES
C.I PRODECO S.A. MINA LA JAGUA	El departamento de mantenimiento se encuentra bien organizado y estructurado, Se divide en dos partes: planeación y ejecución.	No se realiza un análisis de confiabilidad efectivos puntuales ya que no se socializan y se toman acciones que sirva para mitigar o reducir los índices de MTBS (Average Time Between Stops), MTTR(average time for repairs). En cada uno de los EQUIPEMENT NO MARA de la empresa prodeco mina la jagua.
<b>OPORTUNIDADES</b> El gerente del área de mantenimiento brinda toda la información requerida y sus conocimientos para realizar planes de mantenimientos. Se tiene la oportunidad de estructurar un grupo de mantenimiento que se basa en estrategias que van acorde a las eventualidades que se presentan en los equipos, teniendo en cuenta las recomendaciones de los fabricantes y la experiencia de ingeniería del staff de mantenimiento.	<b>FO</b> Con el análisis de confiabilidad se pretende crear indicadores que muestren eventualidades periódicas y puntuales que se presentan en los equipos NO MARA a los que la empresa les corresponde el mantenimiento.	<b>DO</b> Teniendo en cuenta los resultados que arrojen los indicadores Se tendrá una propuesta establecida en el departamento de mantenimiento que sirvan para mitigar o reducir los malos actores al momento de una avería, Evitando gastos en partes de los equipos y el porcentaje de DT (downtime).
<b>AMENAZAS</b> Se genera un alto índice de fallas en los equipos ocasionando un alto indicador de DT(down time) en la flota NO MARA.	<b>FA</b> Teniendo un análisis mensual de los indicadores de rendimiento en los equipos se plantearan propuestas para mitigar estas averías.	<b>DA</b> Con esta técnica se busca analizar y crear estrategias para mitigar malos actores en las fallas periódicas que presentan los equipos NO MARA de la compañía.

Nota. Cronograma. Fuente. Autor del Proyecto

**1.2.1. Planteamiento del problema.** El departamento de mantenimiento de la empresa Prodeco Mina La Jagua es el encargado de mantener los EQUIPEMENT NO MARA (Maintenance And Repair According) por ende es su responsabilidad garantizar los equipos en buen estado y confiables para la operación. Debido a esto se realizan tareas de mantenimiento

que van acorde a las eventualidades que presentan los equipos y teniendo en cuenta los procedimientos y recomendaciones de los distintos fabricantes, también se realizan análisis globales de fallas de toda la flota, pero no existe un análisis puntual que emplea técnicas como la implementación del RIN(reliability information management) administración de la información de confiabilidad cuyo objetivo es administrar la información de eventos tales como:

Averías no planeadas y clasificarla de manera puntual, en flota, equipo sistemas, subsistemas componentes, fecha y hora de inicio de intervención del equipo y finalización del mismo, modo en que se presentó la falla, causa de la misma y el cálculo de indicadores rendimiento. y RCA(análisis causa raíz) cuya función es mitigar los eventos catalogados como malos actores que se presentan de forma consecutiva y que por ende arrojan altos porcentajes en el indicador, tiempo promedio entre fallas(MTBF) generando un alto índice de tiempo promedio de reparación (MTTR) los cuales son causantes de pérdidas en la producción.

### **1.3 Objetivos.**

**1.3.1. Objetivo General.** Controlar la confiabilidad en los equipos de operación minera de la empresa prodeco mina la jagua basado en las técnicas RIM (reliability information management) y RCA (análisis causa raíz).

#### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Conocer los diferentes equipos a los cuales se les realiza mantenimiento bajo el contrato NO MARA (Maintenance And Repair According), y la técnica encargada de administrar la información de confiabilidad (RIN).

- Describir las principales fallas teniendo en cuenta el rendimiento de cada equipo y como mitigar o reducir las mismas a través de las técnicas RIM y RCA.
- Presentar planes de acción dirigidos para la obtención de mejores resultados de confiabilidad y desempeño en las flotas de equipos NO MARA.

## 1.4 Descripción De Las Actividades

Tabla 2.

Descripción de las actividades a desarrollar por cada objetivo planteado

Objetivo general	Objetivos específicos	Actividades a desarrollar en la empresa para cumplir los objetivos específicos
<b>Controlar la confiabilidad en los equipos de operación minera de la empresa prodeco mina la jagua basado en las técnicas RIM (reliability information management) y RCA (análisis causa raíz)</b>	Conocer los diferentes equipos a los cuales se les realiza mantenimiento bajo el contrato NO MARA, y la técnica encargada de administrar la información de confiabilidad (RIN).	-Identificar los diferentes equipos de la flota a los cuales le realiza mantenimiento la mina la jagua. -Conocer la función que cumple cada equipo en la empresa. -Investigar la distribución de cada uno de ellos en la empresa. -Investigar sobre la técnica RIN, los indicadores de rendimiento que permite controlar como: MTBS, MTBF, MTTR. Que significan y como se calculan. -Descripción de los ítems para la clasificación de la información de cada uno de los equipos.
	Describir las principales fallas teniendo en cuenta el rendimiento de cada equipo y como mitigar las mismas a través de las técnicas RIM y RCA.	-Organizar la información de acuerdo a la flota, y clasificarla en sistema, subsistema componente, modo de falla causa de la falla y la fecha en que se reportó realizó la intervención del equipo Atraves de técnicas RIM. -Calcular cada uno de los indicadores de rendimiento para cada equipo -Identificar la flota y los equipos que presentan más porcentaje de fallas en determinado tiempo. -Describir los sistemas, subsistemas y componentes que presentaron fallas con mayor frecuencia.
	Presentar planes de acción dirigidos para la obtención de mejores resultados de confiabilidad y desempeño en las flotas de equipos NO MARA.	-Aplicar técnicas RCA en los sistemas o subsistemas que presentaron un alto porcentaje de fallas en determinado tiempo (Enero-Diciembre 2016) -Determinar la causa principal de cada falla en los sistemas y subsistemas de los equipos por medio de la técnica RCA. -Proponer soluciones de mejoras para reducir o mitigar las causas de fallas analizadas. -Plantear planes de contingencia con anticipación en caso que los componentes no puedan ser reparados y la falla continúe.

Nota. Descripción de las actividades. Fuente: Autor del proyecto

## Capítulo 2. Marco Referencial

### 2.1. Marco conceptual.

**2.1.1. Mantenimiento.** Desde el punto de vista de la ingeniería, existen dos elementos para el manejo de cualquier bien físico. Este debe ser mantenido y cada tanto ser modificado.

Los principales diccionarios definen Mantener, como causa de continuidad (Oxford) o conservar en el estado actual (Webster). Esto sugiere que mantener significa preservar algo, por otro lado, concuerdan en que modificar algo significa *cambiar* en algún aspecto.

Esta distinción entre mantener y modificar tiene profundas implicancias que son discutidas ampliamente en capítulos siguientes. Sin embargo, nos concentramos en mantenimiento, cuando nos referimos a mantener algo, que es lo que pretendemos que continúe? Cuál es el estado actual existente que queremos preservar?

La respuesta a este planteo puede encontrarse en el hecho de que todo bien físico se pone en servicio porque alguien desea que cumpla realice una tarea. En otras palabras, esperan que este cumpla una o más funciones. Entonces sucede que cuando nosotros mantenemos un bien, Lo que remos preservar es un estado en el que este siga cumpliendo con las funciones deseadas por el usuario.

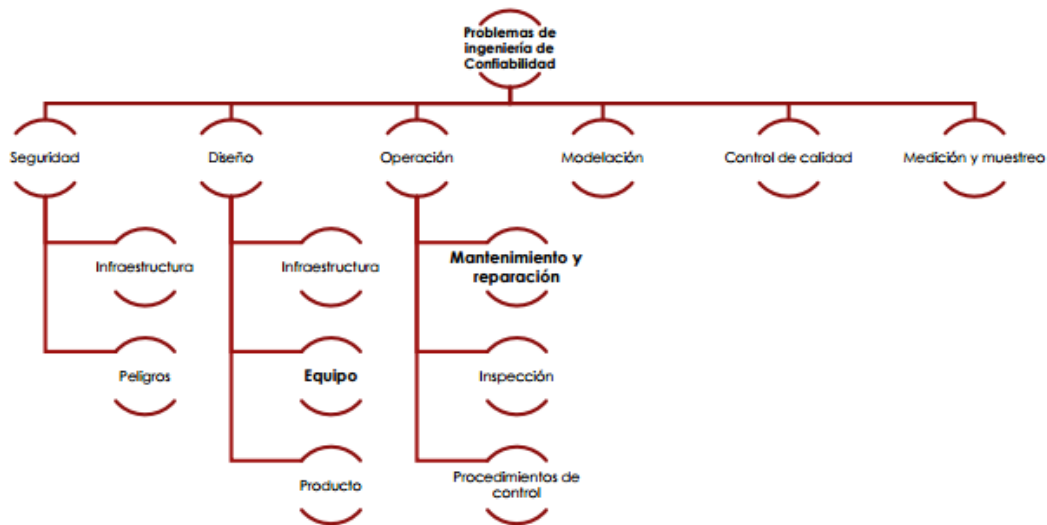
*Mantenimiento: Asegurar que los bienes físicos continúen cumpliendo las funciones que sus usuarios esperan.*

Lo que los usuarios quieren dependerá en exactamente dónde y cómo el bien está siendo usado (el contexto operativo). Esto lleva a la siguiente definición formal de mantenimiento basado en la Garantía de Funcionamiento. (MOUBRAY).

**2.1.2. Confiabilidad.** La gente siempre ha entendido a su manera la confiabilidad, esto se ve reflejado en como hablamos sobre la confiabilidad en la familia, en los amigos, en productos que compramos, es decir se habla sobre la confiabilidad de lo que nos rodea y con qué interactuamos. El concepto así expresado hace una comparación subjetiva, entre el pasado y presente de la confiabilidad. Por ejemplo, cuando decimos que alguien es confiable, nos referimos a que la persona se puede encargar para completar una tarea de manera satisfactoria en el tiempo, ya que ha demostrado con anterioridad que se ha encargado de tareas como esta o similares. Estas descripciones de la confiabilidad son cualitativas, y no implican medidas numéricas. Por otro lado, la importancia de obtener sistemas y componentes de alta confiabilidad ha sido reconocida desde el punto de vista económico y social. Los arreglos funcionales de los equipos pueden ser de mayor o menor costo según la confiabilidad requerida, pero de igual forma las consecuencias de una baja confiabilidad en algunos elementos o equipos puede ser catastrófico dependiendo del contexto en el que se encuentre el elemento y su función. En este sentido puede interpretarse que los elementos que tienen bajo su “responsabilidad” vidas humanas o efectos medioambientales han de ser indiscutiblemente de alta confiabilidad. La confiabilidad es la **PROBABILIDAD** de que un activo opere sin falla por un determinado período de tiempo especificado (tiempo de misión) y bajo condiciones previamente establecidas (nivel esperado de rendimiento). La definición incluye el término de probabilidad, que indica el uso de una medida cuantitativa. Siendo la Probabilidad la posibilidad de ocurrencia de forma particular de un evento. Para el profesional de mantenimiento y el área de gestión de activos físicos es un

factor importante, debido a que a menor confiabilidad implica una mayor atención y planeación del mantenimiento, además si el elemento bajo análisis requiere para su proceso una alta confiabilidad implica una alta necesidad de mantenimiento para poder llevar este a los niveles requeridos. Algunas razones de estudio de la confiabilidad son las siguientes:

- Determinar el tiempo hasta el cual se espera que falle (no falle) un sistema, equipo o componente para determinar tiempos de duración o producción.
- Encontrar el tiempo al cual se espera que sobreviva una cantidad determinada de elementos puestos en operación.
- Determinar la propensión a fallar que tiene un elemento en un tiempo futuro.
- Dado que un elemento ha sobrevivido un tiempo estimado, conocer la probabilidad de que sobreviva un tiempo adicional cumpliendo su función.
- Determinar la un grado de seguridad del sistema
- Tener argumentos para una decisión racional en el diseño o el funcionamiento de un sistema. Algunos de los problemas de confiabilidad se encuentran en áreas y procesos como se ilustra en la siguiente figura.



**Figura 3. Problemas de confiabilidad en los diferentes procesos.**

Fuente (GUIA DE LOS FUNDAMENTOS DE MANTENIMIENTO Y COMFIABILIDAD, 2014).

Por tratarse de un valor probabilístico esta varía entre 0 y 100%, tomando un valor de 0 (cero) al presentar la falla. De igual forma la confiabilidad es importante no solo para efectos de mantenimiento sino que también es de utilidad revisar:

*La Confiabilidad de Diseño:* Medidas adoptadas para asegurar la confiabilidad de procesos, sistemas, productos y servicios durante la etapa de diseño de elementos, equipos, plantas, etc.

*La Confiabilidad de Proceso Productivo:* Aseguramiento para que las entradas, salidas, equipos y personal trabajen de manera confiable durante la transformación.

*La Confiabilidad Humana:* La probabilidad de desempeño eficaz y eficiente de las personas sin cometer errores durante el desarrollo de una actividad en el entorno que se mueve y la actividad que realiza.

Matemáticamente la confiabilidad se denota como:

$$R(t) = P(T \geq \frac{t}{c_1, c_2, \dots})$$

T: tiempo de operación o número de ciclos antes de fallar

t: tiempo especificado o número de ciclos de diseño

c1, c2, ...: condiciones de diseño.

$$R(t) = P(T \geq t)$$

Y que en su forma más simple se expresa como:

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{1}{MTTF} t}$$

Dónde:

t = tiempo de la misión (hrs, días, semanas, meses, años, etc.)

$\lambda$  = tasa de falla,

MTTF =  $1/\lambda$  = tiempo promedio para fallar.

Esta ecuación es válida para tiempos de falla que sigan la distribución exponencial y es frecuentemente usada en Sistemas eléctricos complejos. (GUIA DE LOS FUNDAMENTOS DE MANTENIMIENTO Y COMFIABILIDAD, 2014)



## Capítulo 3. Informe de cumplimiento de trabajo

### 3.1. Presentación de resultados

El siguiente trabajo presenta un informe de las actividades desempeñadas en la Empresa PRODECO como requisito para obtener el título de ingeniera mecánico.

Todas las actividades que a continuación presento son parte del plan de trabajo modalidad de pasantías el cual corresponde el nombre de “Control De La Confiabilidad En Equipos De Operación Minera De La Empresa Prodeco Mina La Jagua Basado En Las Técnicas Rim (Reliability Information Management) Y Rca (Análisis Causa Raíz)”.

**3.1.1 objetivo específico 1.** Conocer los diferentes equipos a los cuales se les realiza mantenimiento bajo el contrato NO MARA, y la técnica encargada de administrar la información de confiabilidad (RIN).

**3.1.1.1 Actividad 1.** Identificar los diferentes equipos de la flota a los cuales le realiza mantenimiento la mina la jagua.

*3.1.1.1.1 Listado de equipos flota NO MARA mina LA JAGUA*

Tabla 3.

## Equipos flota NO MARA mina LA JAGUA

EQUPO	CODIGO INTERNO	SERIAL	MODELO
CAMION ACARREO	DT007	0JRP00310	777F
CAMION ACARREO	DT009	0JRP00312	777F
CAMION ACARREO	DT010	0JRP00313	777F
CAMION ACARREO	DT026	0JRP01083	777F
CAMION ACARREO	DT027	0JRP01084	777F
CAMION ACARREO	DT028	0JRP01096	777F
CAMION ACARREO	DT029	0JRP01101	777F
CAMION ACARREO	DT039	0JRP01110	777F
CAMION ACARREO	DT040	0JRP01111	777F
CAMION ACARREO	DT041	0JRP01112	777F
CAMION ACARREO	DT042	0JRP01113	777F
CAMION ACARREO	DT043	0JRP01114	777F
CAMION ACARREO	DT044	0JRP01149	777F
CAMION ACARREO	DT045	0JRP01115	777F
CAMION ACARREO	DT046	0JRP01159	777F
CAMION ACARREO	DT047	0JRP01148	777F
CAMION ACARREO	DT048	0JRP01158	777F
CAMION ACARREO	DT020	0ATY00811	793
CAMION ACARREO	DT021	0ATY00812	793
CAMION ACARREO	DT022	0ATY00813	793
CAMION ACARREO	DT023	0ATY00814	793
CAMION ACARREO	DT024	0ATY00899	793
CAMION ACARREO	DT025	0ATY00900	793
PALAS	EH061	120078	RH120E
PALAS	EH062	120087	RH120E
PALAS	EH066	120119	RH120E
PALAS	EH067	120120	RH120E
PERFORADORAS	UP104	8515	DM45E
PERFORADORAS	UP105	8516	DM45E
PERFORADORAS	UP384	8500	DM45E
PERFORADORAS	UP107	7695	DML
PERFORADORAS	UP108	8400	DML
PERFORADORAS	UP109	8585	DML

Nota. Equipos flota. Fuente. Autor del proyecto

**3.1.1.2. Actividad 2 Y 3.** Conocer la función que cumple cada en quipo en la empresa y su distribución dentro de la misma

Tabla 4.

## Equipos NO MARA por flota de mina LA JAGUA

EQUIPOS				
NOMBRE	MODELO	CANTIDAD	FUNCIÓN	UBICACIÓN
CAMIONES ACARREO	777F	17	TRANSPORTE DE CARBÓN	PIC
CAMIONES ACARREO	793C	6	TRANSPORTE MATERIAL ESTÉRIL	PIC
PALAS	RH120E	4	EXTRAER MATERIAL ESTÉRIL	PIC
PERFORADORAS	DM45E	3	PERFORACIÓN DEL SUELO	PIC
PERFORADORAS	DML	3	PERFORACIÓN DE SUELO	PIC
TOTAL		33		

Nota. Equipos. Fuente. Autor del Proyecto.

**3.1.1.3. Actividad 4.** Investigar sobre la técnica RIN, los indicadores de rendimiento que permite controlar como: MTBS, MTBF, MTTR. Que significan y como se calculan.

*Técnicas Rin (Reliability Information Management).*

Gestión de información sobre confiabilidad, su objetivo es identificar las tendencias, con el seguimiento de los activos permite a las compañías aumentar la eficiencia operacional y proporcionar las herramientas para reducir costos.

*Localización y uso de los activos.*

Iniciar la formación de un banco de datos, para la identificación de los ítems que serán objeto de control, indicando su localización, finalidad, áreas de competencia, función, referencias, fechas, costos, materiales asociados y variables medibles.

### *Conformidad de las auditorias*

Con recursos cada vez más escasos y exigencias de mejor nivel de calidad y plazo, los métodos de planeamiento y control están siendo perfeccionados y automatizados, garantizando el resultado de los requisitos exigidos durante el proceso.

### *Garantía de información histórica.*

Implementar mecanismos simples y estandarizados de recolección y registro de intervención de los equipos, tanto de eventos, como de tiempos, recursos y costos.

### *Gestión*

Se pierde parte de la utilidad del capital cuando no se obtiene el nivel más alto posible, del uso del producto o del activo.

### *Mantenimiento Preventivo y predictivo*

Está comprobado que el mantenimiento sistemático preventivo, es antieconómico y debe ser sustituido por el mantenimiento por condición, particularmente el predictivo. Por otro lado, las inspecciones y mediciones deben ser cumplidas rigurosa y eficientemente, y sus resultados registrados y procesados para definir el momento más adecuado para efectuar el predictivo.

### *Productividad Humana*

La productividad está definida como el tiempo en que el profesional esta desarrollando las actividades para las cuales fue contratado. En mantenimiento es común encontrar estos valores inferiores al 50% es una identificación de improductividad asociada a un análisis de tiempos y movimientos para mejorar estos valores.

### *Repuestos y suministros*

La evaluación de los stocks innecesarios, como el de repuestos y de equipos que serán reemplazados, puede ser un factor de generación de gran ahorro. Mientras tanto, los repuestos estratégicos, deben tener mayor cobertura para evitar pérdida de productividad. TPM/RCM/BCM (Mantenimiento productivo total/Mantenimiento centrado en confiabilidad/Mantenimiento centrado en el negocio) La elección de la mejor metodología, tanto en el aspecto de oportunidad, como de adaptabilidad a las condiciones de la empresa, puede ser la diferencia de éxito o fracaso del proceso de gestión.

### *Venta (Valor residual)*

La información exacta y confiable sobre un activo tiene un impacto significativo en su valor de reventa. Vender, no descartar El conocimiento del valor residual de un equipo y su conservación puede definir el mejor momento para su cambio o reforma.

### *Valores Residuales*

Este también puede ser un parámetro de definición en el momento adecuado de reposición de un activo. Una evaluación del valor residual puede ser efectuada tanto para venta como para costeo al salir de servicio.

### *Retorno del dinero para operación*

Un equipo bien mantenido apoya con su venta el costo de reposición o el desarrollo de nuevas tecnologías para el proceso. Dentro de los recursos utilizados para lograr los resultados arriba, se puede indicar:

### *Utilización adecuada de los índices de mantenimiento*

Definir, implementar, evaluar y reaccionar sobre una cantidad de indicadores que sean útiles para la toma de decisiones en función de la situación de la empresa en el mercado, definiendo las siguientes condiciones:

- Equipos fundamentales en una empresa competitiva.
- Equipos secundarios en una empresa competitiva.
- Equipos fundamentales en una empresa que posee un monopolio.
- Equipos secundarios en una empresa que posee un monopolio.

Dentro de más de cincuenta índices utilizados en mantenimiento, algunos se destacan por la posibilidad de aplicación de sus resultados en la mejora del proceso, en la reducción de costos,

en la mejora de calidad, en la preservación del medio ambiente y en la optimización de servicios

Destacamos a continuación algunos de estos índices

#### *Tiempo Promedio Entre Fallas*

Relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas, en el período observado.

$$TMEF = \frac{NOIT.HROP}{NTMC}$$

#### *Tiempo Promedio Para Reparación*

Relación entre el tiempo total de las intervenciones correctivas en un conjunto de ítems con falla y el número de fallas detectadas en el período observado.

$$TMPR = \frac{HTMC}{NTMC}$$

#### *Disponibilidad De Equipos*

Relación entre el tiempo total de operación de cada ítem controlado y la suma de esos tiempos con los tiempos de mantenimiento de los mismos ítems.

$$DISP = \frac{\sum HROP}{\sum (HROP - HTMN)} \times 100$$

### *Confiabilidad*

Una de las formas de cuantificar la confiabilidad es la relación entre el tiempo promedio entre fallas (TMEF) y la suma de estos ítems con el tiempo promedio entre reparaciones.

$$CONF = \frac{TMEF}{TMPR + TMEF} X100$$

### *Confiabilidad*

Otra forma es a través de la relación entre el tiempo total de reparación de cada ítem controlado y la suma de esos tiempos con los tiempos de mantenimiento correctivo.

$$COMF = \frac{\sum HROP}{\sum (HROP - HTMC)} X100$$

Aplicación técnica de decisiones consensuadas e integradas para obtener el compromiso entre las áreas, para alcanzar la excelencia operacional (calidad, costos competitivos y capacidad de entrega de los productos en los plazos estipulados), y disminuir las pérdidas que se presentan en toda la operación y paralelamente, mejorar la capacidad de gestión de todo el personal involucrado en la producción (sea operación o mantenimiento) se debe buscar la completa integración de todo el equipo.



Esta propuesta establece la necesidad de definir los objetivos de mantenimiento (evitar que los equipos fallen) y de todos y cada una de las personas que laboran en el departamento de mantenimiento.

Una buena realización de una compañía, se debe en gran parte a una buena cooperación entre clientes y proveedores.

Una gestión dinámica de mantenimiento, involucra una integración con otras divisiones corporativas. Una coordinación entre los subsistemas de producción, estrategias de mantenimiento, adquisición de repuestos, programación de servicios y de flujo de información, permiten la obtención de metas organizacionales.

Alta confiabilidad y bajo costo de producción son metas que pueden ser alcanzadas, solamente cuando toda la corporación trabaja integrada.

Aplicación de técnicas de tiempos y movimientos para optimizar la productividad humana. El TPM nos presenta un concepto de “eficiencia operacional”, obtenida por el producto de tres indicadores: disponibilidad de equipos, rendimiento de los profesionales de operación y mantenimiento y la calidad de los servicios y productos.

Este concepto es muy útil y utilizado para comparar las técnicas de mantenimiento entre empresas y sectores.

De los tres índices que componen la eficiencia normalmente el de menor valor es el rendimiento que está influenciado directamente por la productividad.

Productividad es el tiempo en que un profesional se ocupa efectivamente de las actividades para las cuales fue contratado, para evaluar la productividad del mantenedor se debe disminuir el tiempo en que el profesional que está en la empresa esté desarrollando funciones que no sean de mantenimiento.

De acuerdo con Peter Drucker, la productividad en las actividades de servicio que requieren gestión está disminuyendo, los motivos por los cuales la productividad está bajando, se debe a la interpretación errada de la actividad como productividad.

La expectativa de productividad de un profesional de mantenimiento esta entre el 30 y el 40%. Sin embargo este valor parece bajo, y está por encima del de los valores medios encontrados en las actividades de gestión.

Para evaluar y controlar la improductividad es necesario conocer sus valores, siendo el método más común el medir por muestreo; Con este método se efectúan diferentes observaciones de un mismo profesional en momentos diferentes de trabajo, así como de diferentes profesionales realizando el mismo tipo de trabajo. El conocimiento de los orígenes y valores pueden generar acciones para reducir la improductividad y como consecuencia, mejorar la efectividad del proceso o servicio.

#### *Métricas De Rendimiento De Flota*

##### *Tiempo Promedio Entre Paradas (MTBS)*

*Definición:*

Es el tiempo promedio operativo entre paradas de las máquina o bien la frecuencia promedio de eventos de tiempo down expresada en horas.

*Descripción:*

Las operaciones mineras más exitosas son aquellas que administran y mantienen equipos de tal forma que estos se encuentren disponibles por periodos extendidos de servicio ininterrumpido. El MTBS es una medida que combina los efectos de la confiabilidad inherente a la máquina y la efectividad de la organización de mantenimiento para lograr resultados a través de la eliminación de problemas, esto es, la detección de defectos, la planeación, programación y ejecución de reparaciones.

*Metodología de Cálculo:*

$$MTBS(\text{horas}) = \frac{\text{horas operativas} + \text{horas de retraso de produccion}}{\text{numero de paradas}}$$

*Tiempo Promedio Para Reparar (MTTR)**Definición*

Es el tiempo promedio de parada de la máquina o bien la duración promedio de eventos de tiempo Down expresada en horas.

*Tiempo Down.*

Es el tiempo en el cual el equipo está fuera de operación ya sea por una falla, por mantenimiento o inspección del mismo.

*Descripción*

La planeación, administración y ejecución de reparaciones son factores que contribuyen a la duración de las paradas de las maquinas. El MTTR es una medida que cuantifica el TAT de la reparación, esto es, que tan rápido o lento un equipo es retornado a servicio cuando un incidente de tiempo down ocurre. El MTTR combina el efecto de la facilidad para dar servicio / mantenimiento a la máquina y la eficiencia de la organización de mantenimiento para dar rápidas acciones correctivas en la ejecución de las reparaciones requeridas.

*Metodología de Cálculo*

$$MTTR(\text{horas}) = \frac{\text{horas totales de tiempo down}}{\text{numero de paradas}}$$

*Tiempo Promedio entre Fallas. (MTBF)**Definición:*

El tiempo medio para paradas de la máquina, la duración promedio eventos de tiempo muerto del equipo, expresado en horas. Metodología de cálculo:

*Descripción:*

El MTBF es una medida que combina la eficiencia de los Procesos de Mantenimiento y Reparación (Falta de Efectividad en la Administración de los Equipos relacionado a evitar fallas o problemas) y los problemas de producto (Equipos no confiables).

*Metodología de Cálculo*

$$MTBF(horas) = \frac{\text{horas de operación}}{\text{numero de paradas no programadas}}$$

**3.1.2. Objetivo específico 2.** Describir las principales fallas teniendo en cuenta el rendimiento de cada equipo y como mitigar las mismas a través de las técnicas RIM y RCA.

**3.1.2.1. Actividad 1.** Descripción de los ítems para la clasificación de la información de cada uno de los equipos.

*3.1.2.1.1. Base de Datos Paradas Equipo Minero - Malos Actores Informe Mensual*

FECHA DE REPORTE dd/mm/aa	EQUIPO	FLOTA	SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	TIPO DE FALLA	TIPO DE PARADA

**Imagen 1. Base de datos características principales de la falla**

Fuente. Autor del proyecto

### 3.1.2.1.2. Ítems de clasificación de eventos Down.

#### *Dispash*

El dispash es un base donde se lleva el control de toda las operaciones por ende todos los eventos son reportados y administrados por sus operarios.

#### *Fecha de reporte.*

Fecha de en el que se originó el reporte al dispash esta fecha se toma como referencia para clasificar los eventos por mes día y año.

#### *Equipo.*

Código interno o de identificación que se le asigna al equipo teniendo en cuenta la clase, el modelo y la función que cumple dentro de la empresa.

#### *Flota*

Modelo o modificación que se le hace al equipo

#### *Sistema*

Conjunto de piezas principales que componen a cada equipo

### *Subsistema*

Piezas serialisables que forman parte del sistema involucrado de forma directa en la avería

### *Componente*

Pieza principal o fundamental del subsistema que fallo.

### *Tipo de falla*

Se clasifican de acuerdo el reporte que suministra el dispatch

Se clasifican en:

Mecánica, eléctrica, operación, accidenté.

### *Tipo de parada.*

Causa principal del evento down se clasifica en:

Planeada, no planeada y sin información

CAPTURAS DE FALLAS						
ORIGEN	HORÓMETRO DE FALLA (SAP)	FECHA Y HORA DE PARO hh:mm	FECHA Y HORA DE ARRANQUE (O fin del día) hh:mm	DOWNTIME TOTAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA

### **Imagen 2. Base de datos análisis de las fallas**

Fuente. Autor del proyecto

*El origen:* característica principal por la cual se dio la parada del equipo se puede clasificar en las siguientes:

Mantenimiento, desconocido, operacional, externo

### *3.1.2.1.3. Horometro de falla del equipo.*

En este ítem se relaciona el hórometro que presentaba el equipo en el momento que ocurre la falla, este horometro nos permite calcular el tiempo de operación que lleva el equipo, los sistemas y componentes principales.

#### *Fecha y hora de paro /fecha y hora de arranque*

La información de estos ítems es suministrado por un software DISPASH (envió o despacho) que es alimentado por información que recopila BASE UNO que son los encargados de llevar el control de la operación de cada uno de los equipo donde relacionan la hora exacta del evento y la recopilan en una base de datos que se descarga diariamente por planeación.

#### *Down time total*

En este ítems calculamos el tiempo total que el equipo demoro down  
Con la siguiente formula:

#### *Fórmulas para el cálculo del tiempo de parada de los equipos*

$$DOWN TIME = (FHS - FHD) \times 24 hrs$$



CAPTURACIÓN DE DATOS DE PARADA EQUIPO MINERO - SUPERINTENDENCIA DE PLANEACIÓN		
Reliability Information Management - RIM		
MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	COMENTARIOS RELACIONADOS A LA FALLA/PARADA

### Imagen 3. Comentario directamente del software dispatch

Fuente. Autor del proyecto.

#### *Modo de falla*

Es el primer síntoma que puede persuadir al operador al momento que se presentó la falla el equipo.

#### *Causa de la falla*

Causa principal en el sistema, subsistema o componente que ocasiono la parada de la maquina cuando ya se a inspeccionado el equipo por mecánicos.

#### *Comentario relacionado a la falla.*

Es un comentario que se copia directamente del dispatch relacionado al evento down al cual se le realizo la captura y análisis.

Mes del Año	Año	TBF días	Fecha Inicio Falla	Fecha Fin Falla	TBF horas	TTR días	TTR horas
noviembre	2016				0,0	0,1	2,5
noviembre	2016				0,0	0,0	0,6
noviembre	2016				0,0	0,0	0,1
noviembre	2016				0,0	0,1	3,3
noviembre	2016				0,0	0,1	1,7
noviembre	2016				0,0	0,2	4,1
noviembre	2016				0,0	0,0	1,0
noviembre	2016				0,0	0,1	2,0
noviembre	2016				0,0	0,3	7,8
noviembre	2016				0,0	0,0	0,4
noviembre	2016				0,0	0,0	0,1
noviembre	2016				0,0	0,0	1,0

**Imagen 4. Base de Datos Paradas Equipo Minero - Malos Actores Informe Mensual**

Fuente. Autor del proyecto.

*Mes y año en el que se reportó la avería*

*Tiempo promedio entre fallas horas (TBF)*

Se calcula dividiendo la sumatoria de las horas totales de operación en el día de entre el número de paldas no planeadas que tuvo el equipo.

	A	B	C	D	E
1	Fecha Inicio Falla	Fecha Fin Falla	TBF días	TTR días	
2	30/01/2016	31/01/2016	=A2-A3	0.57084491	
3	30/01/2016	30/01/2016	0.32707176	0.23334491	

**Imagen 5. Fórmulas para el cálculo de indicador (TBF)**

Fuente: Autor del proyecto

### Tiempo Promedio Para Reparar horas (TTR)

Se calcula dividiendo el tiempo down de equipo entre el número eventos no planeadas.

	A	B	C	D	E	F
1	Fecha Inicio Falla	Fecha Fin Falla	TBF dias	TTR días		
2	30/01/2016	31/01/2016	0.40416667	=B2-A2		
3	30/01/2016	30/01/2016	0.32707176	0.23334491		
4	29/01/2016	29/01/2016	0.04166667	0.11875		

**Imagen 6. Fórmulas para el cálculo de indicador (TTR)**

Fuente: Autor del proyecto.

**3.1.2.2. Actividad 2.** Organizar la información de acuerdo a la flota, y clasificarla en sistema, subsistema componente, modo de falla, causa de la falla y la fecha en que se reportó y/o se realizó la intervención del equipo a través de técnicas RIM.

*Eventos Down para cada equipo NO MARA mina LAJAGUA*

*Ver apéndice 1*

**3.1.2.3. Actividad 3 y 4.** Calcular cada uno de los indicadores de rendimiento por cada flota y describir los sistemas, subsistemas y componentes que presentaron fallas con mayor frecuencia.

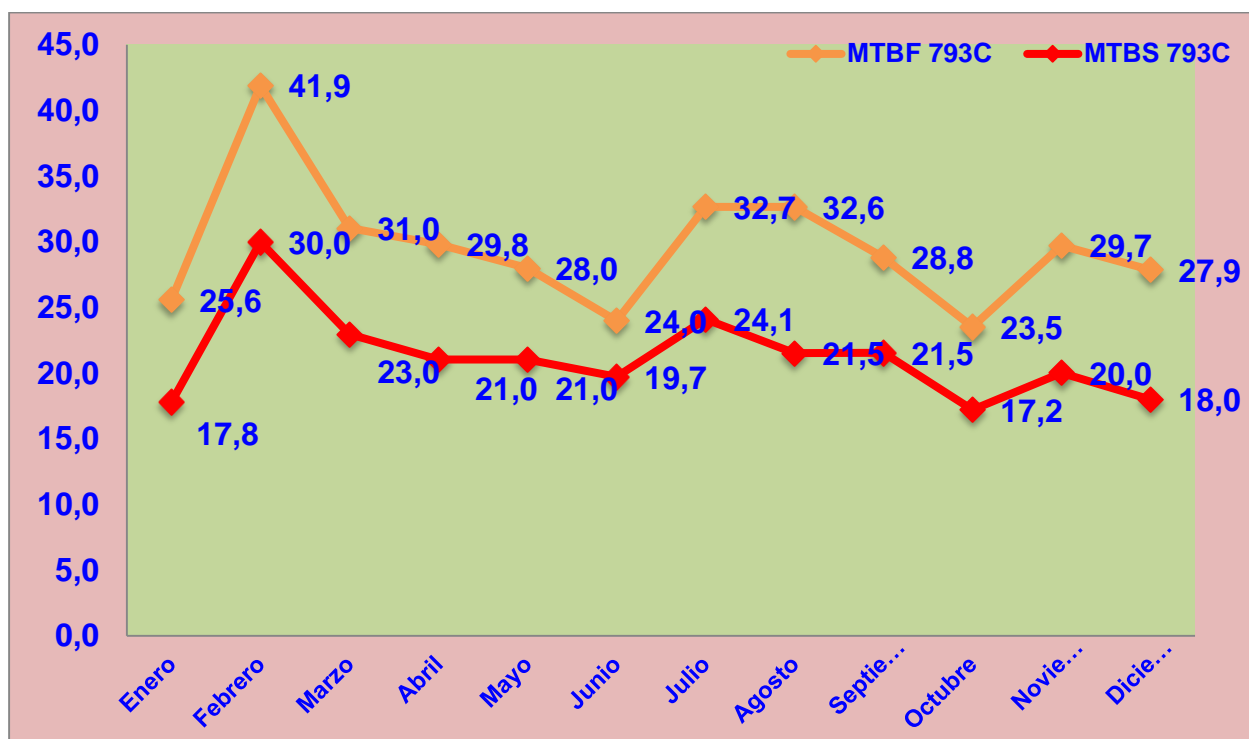
## FLOTA DE CAMIONES 793C

Ver apéndice 2

FLOTA DE CAMIONES 793C												
MES	ENERO	FEBREO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
MTBS	17,80	29,98	22,96	21,04	21,05	19,71	24,10	21,51	21,54	17,22	20,01	18,00
MTBF/EQUIP	25,58	41,90	31,04	29,81	27,99	23,99	32,67	32,65	28,79	23,52	29,71	27,87

**Imagen 7. Tiempo promedio entre fallas horas por equipo (MTBF) vs Tiempo Promedio Entre Paradas (MTBS)**

Fuente. Autor del proyecto.



**Grafica 1. MTBS vs MTBF AÑO 2016**

Fuente. Autor del proyecto.

En el grafico se puede comparar el tiempo promedio entre parada vs el tiempo promedio entre fallas por equipos solo en la flota de camiones 793C a lo largo del año 2016, el MTBF se mantuvo todo el año en mayor promedio que el MTBS, lo que podemos deducir que fueron mayores los eventos no planeados que las intervenciones planeadas (PM), ambos siguiendo la misma secuencia con una amplia diferencia.

**Tabla 5.**

**Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF)**

<b>MTBF x SISTEMA 793C</b>	
<b>SISTEMA</b>	<b>MTBF / Sistema 793C</b>
08 LUBRICACION	12
06 MOTOR	14
10 NEUMATICO	16
04 FRENO	27
07 CHASIS	27
05 TREN DE POTENCIA	30
01 ELECTRICO	33
13 AIRE ACONDICIONADO	43
02 HIDRAULICO	58
03 DIRECCION	66
11 Sistema Supresor De Incendios	217
SIN INFORMACIÓN	314

Nota. Tiempo promedio. Fuente. Autor del proyecto

De acuerdo al grafico podemos observar el tiempo promedio entre fallas en los sistemas de la flota 793C donde se puede observar que el sistema que más tubo problema a lo largo del 2016 fue el SSI (Sistema Supresor De Incendios) con un promedio de horas de reparación por paradas de 217 horas lo cual indica un porcentaje alto con relación al sistema de LUBRICACIÓN que solo tuvo un promedio 12 horas por paradas.

Tabla 6.

## Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR)

Promedio de TTR	
Mes del Año	Total
enero	3,27
febrero	2,28
marzo	5,45
abril	4,31
mayo	3,36
junio	9,81
julio	6,83
agosto	2,73
septiembre	2,73
octubre	3,29
noviembre	2,81
diciembre	3,38
<b>Total general</b>	<b>4,25</b>

Nota. Tiempo promedio. Fuente: Autor del proyecto.

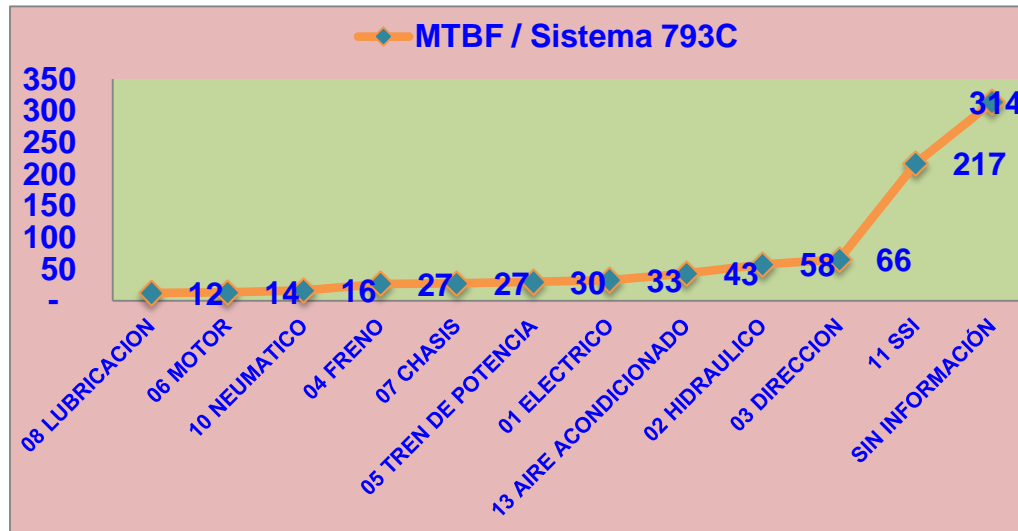
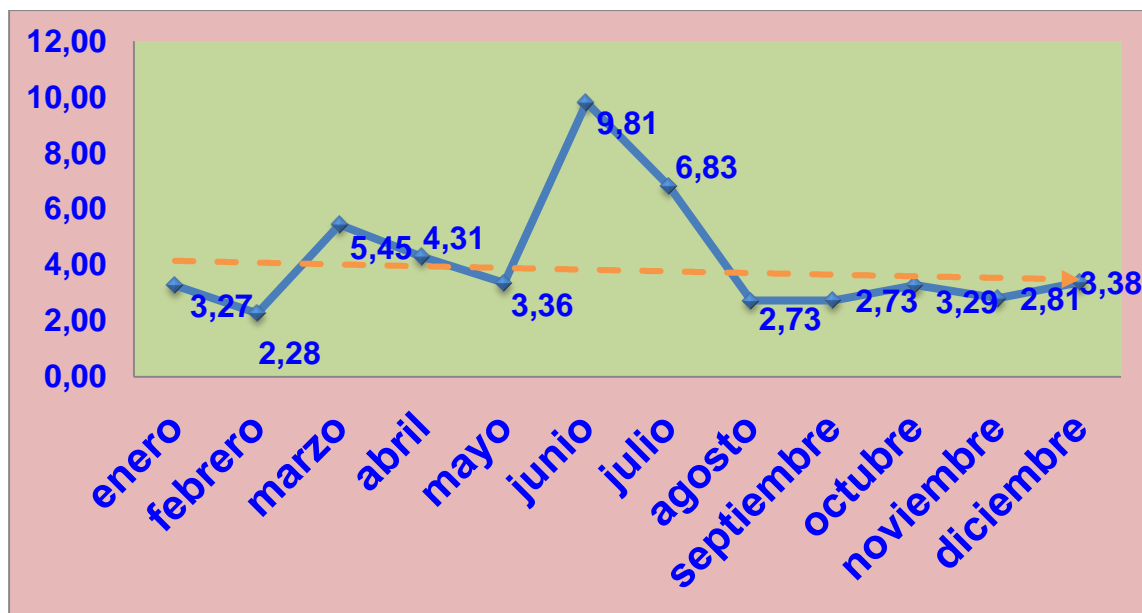


Figura 4. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF) para el año 2016



**Figura 5. Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR) para el año 2016**

Fuente Autor del proyecto

En el grafico podemos deducir que en los camiones 793C el MTTR se mantuvo a lo largo del año 2016 con una tendencia decreciente alcanzando su pico más alto en junio con un promedio de horas por reparación por equipo de 9.81, y se mantuvo en un promedio de 4.25 horas por reparación

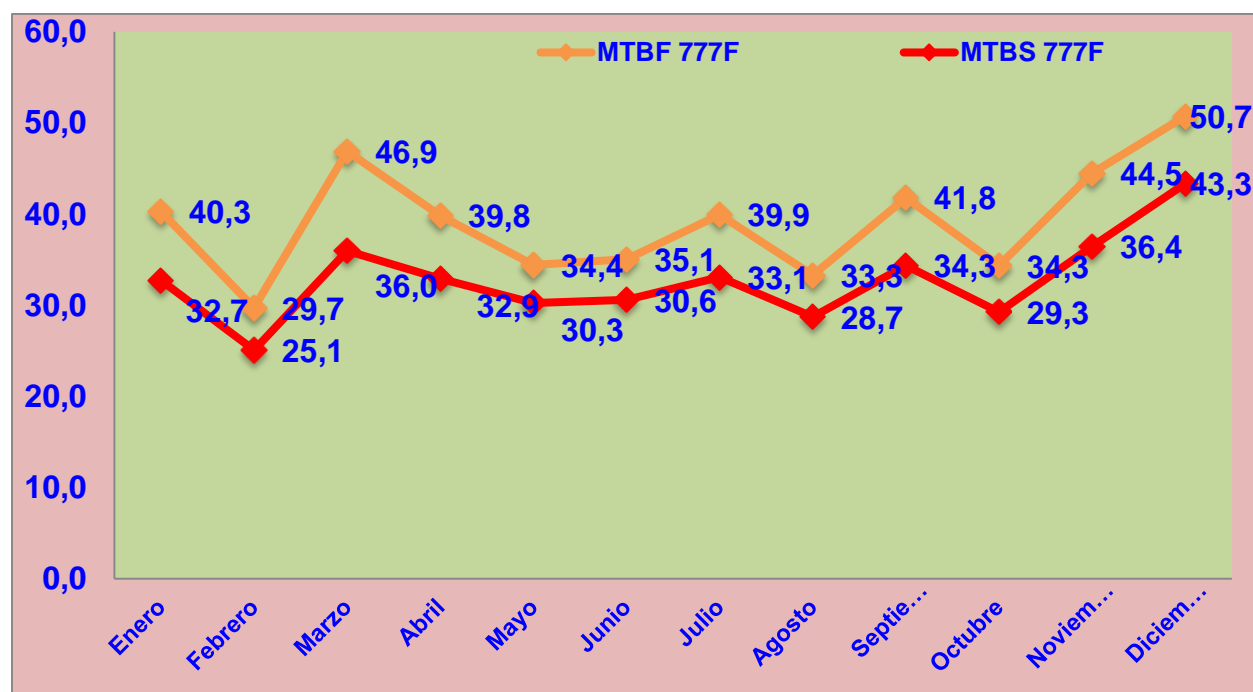
*Flota De Camiones 777F*

*Ver Apéndice 3.*

FLOTA DE CAMIONES 777F												
MES	ENERO	FEBREO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBR	OCTUBRE	NOBIEMBRE	DICIEMBRE
MTBS	32,7	25,1	36,0	32,9	30,3	30,6	33,1	28,7	34,3	29,3	36,4	43,3
MTBF/EQUIP	40,29	29,71	46,87	39,83	34,41	35,05	39,94	33,29	41,80	34,33	44,49	50,74

**Imagen 8. Tiempo promedio entre fallas horas por equipo (MTBF) vs Tiempo Promedio Entre Paradas (MTBS)**

Fuente. Autor del proyecto



**Figura 6. MTBS vs MTBF AÑO 2016**

Fuente. Autor del proyecto

En el grafico se puede comparar el tiempo promedio entre parada vs el tiempo promedio entre fallas por equipos en flota de camiones 777F a lo largo del año 2016, el MTBF se mantuvo en un mayor porcentaje de tiempo que el MTBS, lo que podemos deducir que fueron mayores los eventos no planeados que las intervenciones planeadas.



Tabla 7.

## Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF)

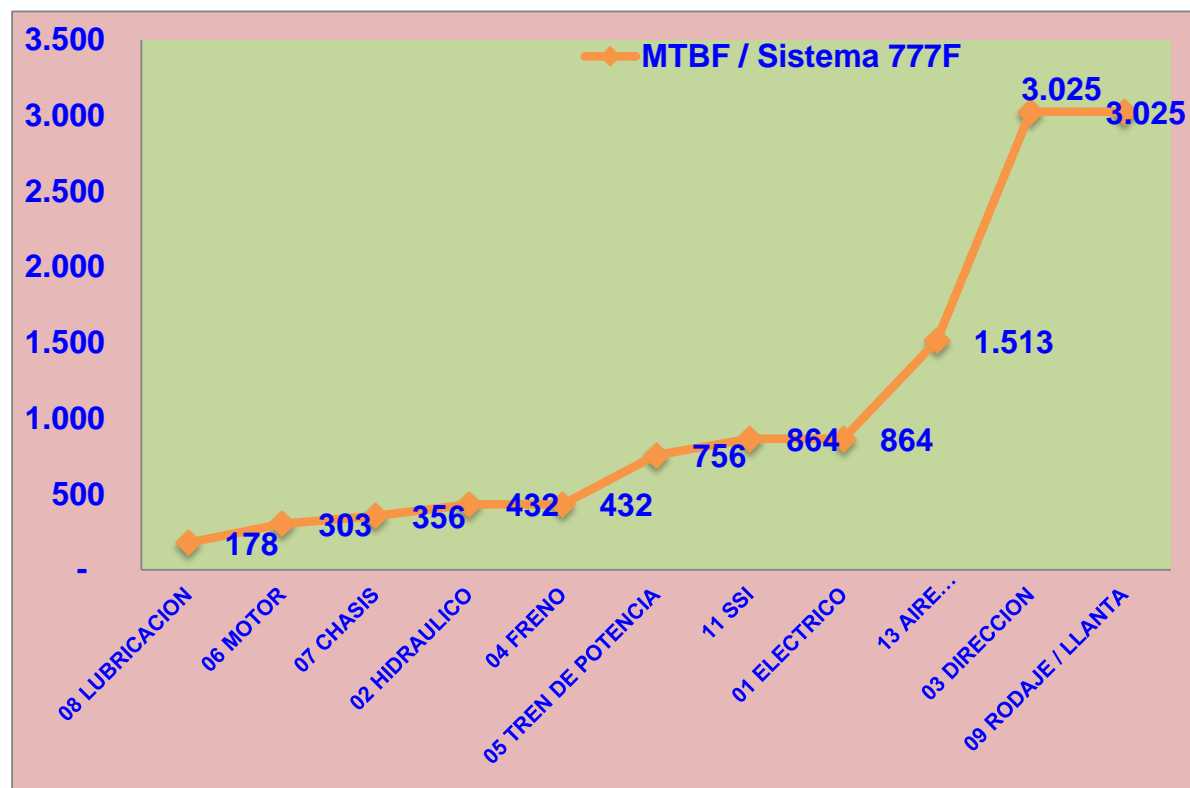
---

**Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF) MTBF x SISTEMA 777F**

SISTEMA	MTBF / Sistema 777F
08 LUBRICACION	178
06 MOTOR	303
07 CHASIS	356
02 HIDRAULICO	432
04 FRENO	432
05 TREN DE POTENCIA	756
11 SSI	864
01 ELECTRICO	864
13 AIRE ACONDICIONADO	1.513
03 DIRECCION	3.025
09 RODAJE / LLANTA	3.025

---

Nota. Tiempo promedio. Fuente. Autor del proyecto



Fuente. Autor del proyecto

**Figura 7. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF)**

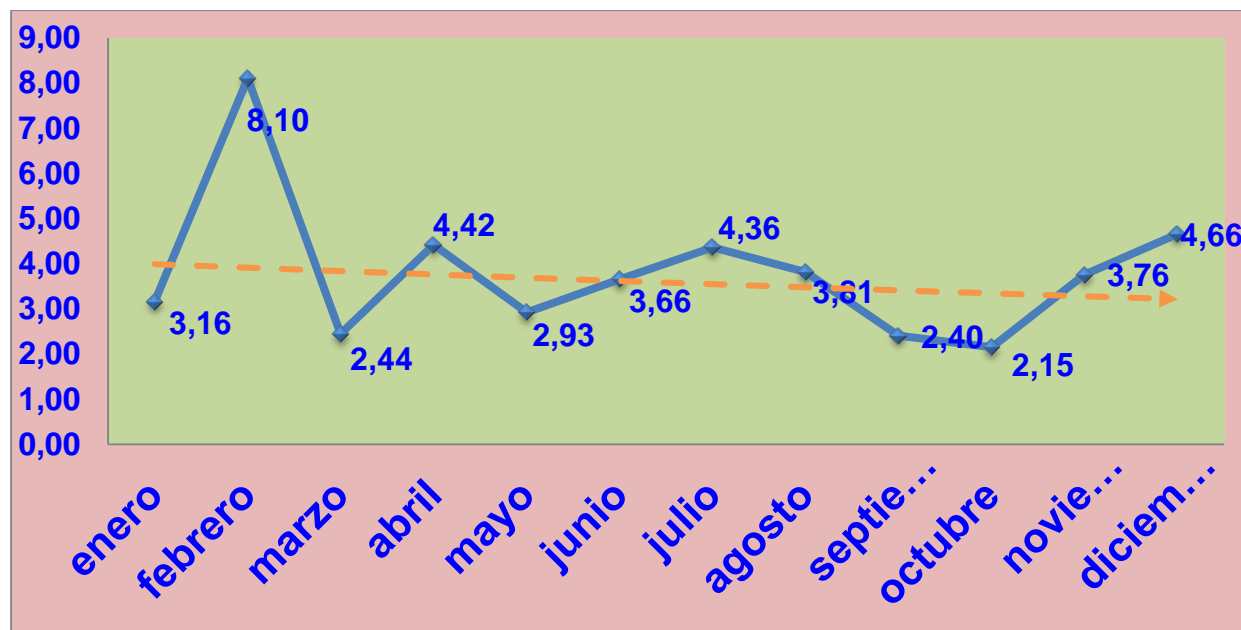
De acuerdo al grafico podemos observar el tiempo promedio entre fallas de la flota de camiones 777F, podemos deducir que el sistema que tuvo un promedio de fallas mayor a lo largo del año 2016 fue el sistema de DIRECCIÓN y de RODAJE, con un promedio de 3025 horas y el de menor promedio fue el sistema de LUBRICACIÓN con un promedio de 278horas.

**Tabla 8.**

**Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR)**

<b>Promedio de TTR</b>	
<b>Mes del Año</b>	<b>Total</b>
enero	3,64
febrero	2,64
marzo	3,19
abril	4,39
mayo	5,66
junio	7,63
julio	6,02
agosto	3,41
septiembre	3,90
octubre	4,99
noviembre	5,21
diciembre	8,09
<b>Total general</b>	<b>4,84</b>

Nota. Tiempo promedio. Fuente. Autor del proyecto



**Figura 8. Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR)**

Fuente. Autor del proyecto

En el gráfico podemos observar el promedio de tiempo de reparación por cada equipo a lo largo del año 2016, donde podemos deducir que se mantuvo una tendencia descendente, que el pico más alto se presentó en febrero con un promedio de 8.10 horas y luego se mantuvo en un promedio entre las 4.84 horas por reparación.

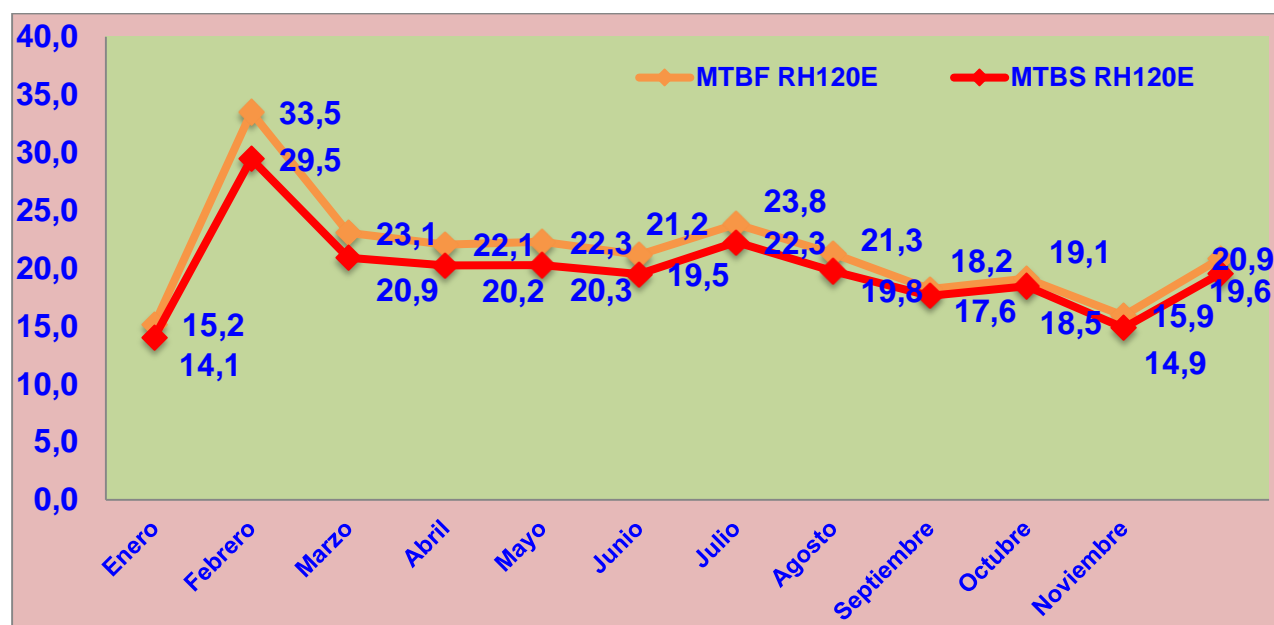
*FLOTA PALAS RH120E*

Ver apéndice 4

FLOTA RH120E												
MES	ENERO	FEBREO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
MTBS	14,1	29,5	20,9	20,2	20,3	19,5	22,3	19,8	17,6	18,5	14,9	19,6
MTBF/EQUIPO	15,16	33,51	23,08	22,06	22,30	21,15	23,83	21,27	18,20	19,13	15,93	20,88

**Imagen 9. Tiempo promedio entre fallas horas por equipo (MTBF) y Tiempo Promedio Entre Paradas**

Nota. Tiempo promedio entre fallas horas por equipo. Fuente. Autor del proyecto.



**Figura 9. MTBS vs MTBF**

Fuente. Autor del proyecto

En el grafico se puede observar el tiempo promedio entre parada y el tiempo promedio entre fallas por equipos en flota de palas RH120E a lo largo del año 2016, el MTBF se mantuvo todo el año en mayor promedio que el MTBS, lo que podemos deducir que fueron mayores los eventos no planeados que las intervenciones planeadas pero en pequeña diferencia pero siguiendo la misma secuencia.

Tabla 9.

Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF)

MTBF x SISTEMA RH120E	
SISTEMA	MTBF / Sistema RH120E
02 HIDRAULICO	87
07 CHASIS	87
08 LUBRICACION	98
01 ELECTRICO	120
11 SSI	260
13 AIRE ACONDICIONADO	260
06 MOTOR	312
09 RODAJE / LLANTA	390
10 NEUMATICO	520

Nota. Tiempo promedio entre fallas. Fuente. Autor del proyecto

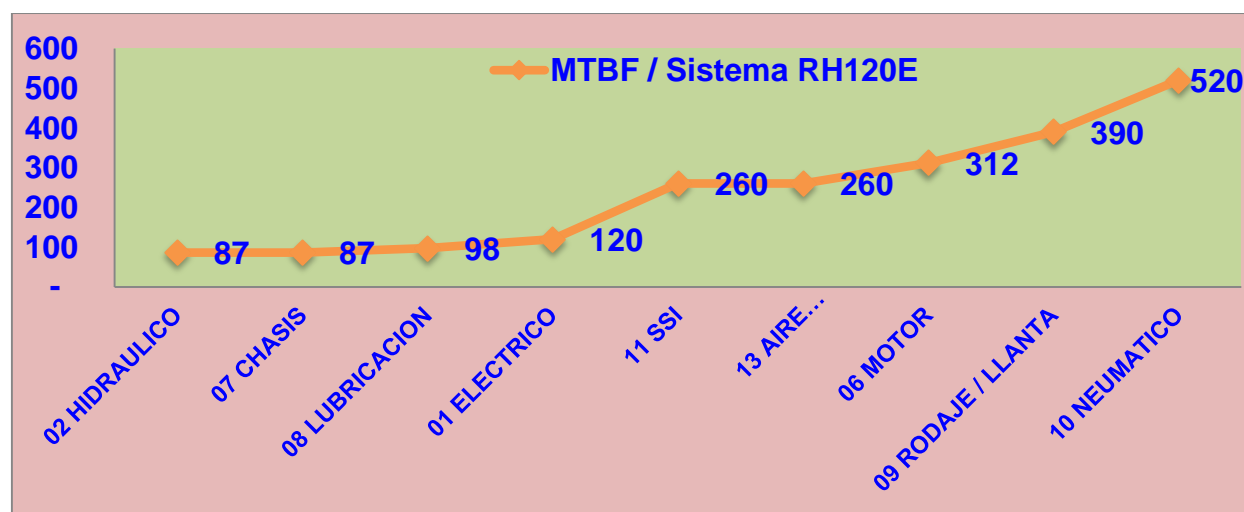


Figura 10. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF)

Fuente. Autor del proyecto

En el gráfico podemos observar que el sistema que obtuvo un tiempo promedio de fallas mayor fue el sistema NEUMÁTICO con un promedio por fallas de 520 horas y el que menos obtuvo fue el sistema HIDRÁULICO con 87 horas por fallas.

Tabla 10.

## Tiempo Promedio Para Reparar horas (TTR)

Promedio de TTR	
Mes del Año	Total
enero	3,00
febrero	1,23
marzo	1,39
abril	3,12
mayo	2,47
junio	1,89
julio	2,39
agosto	2,09
septiembre	2,18
octubre	1,61
noviembre	3,09
diciembre	5,23
<b>Total general</b>	<b>2,52</b>

Nota. Tiempo Promedio Para Reparar horas. Fuente. Autor del proyecto

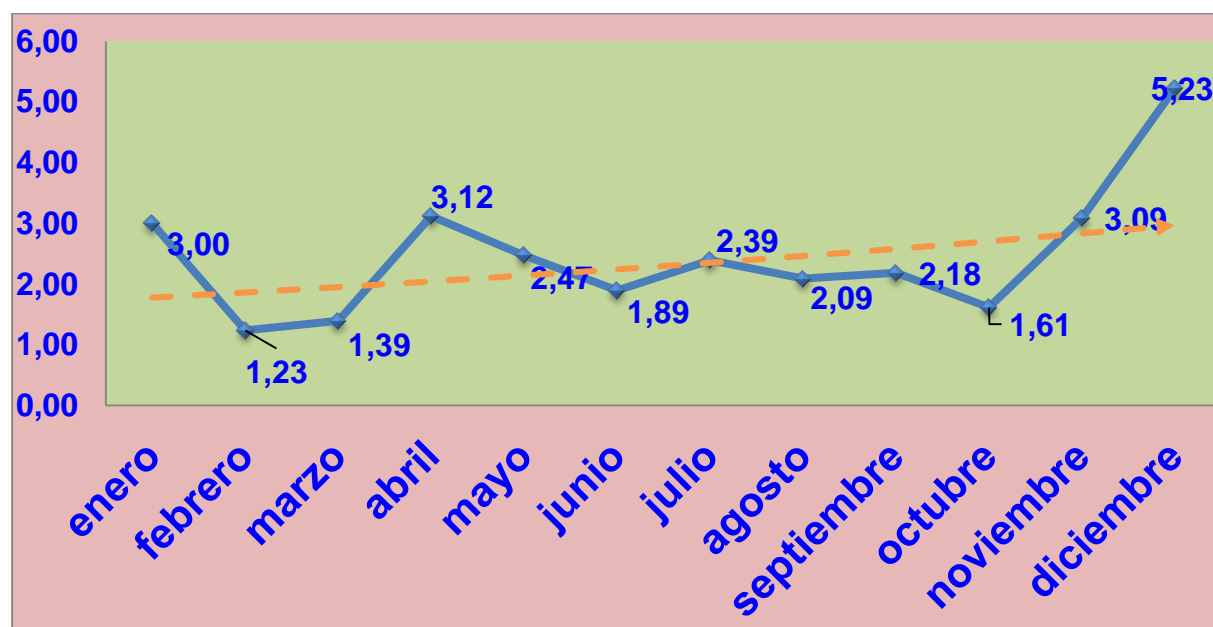


Figura 11. Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR)

Fuente. Autor del proyecto

En el gráfico podemos observar el promedio de tiempo de reparación por cada equipo a lo largo del año 2016 donde podemos deducir que se mantuvo una tendencia ascendente, que el pico más alto se presentó en diciembre con un promedio de 5.23 horas y luego se mantuvo en un promedio entre las 2.52 horas por reparación.

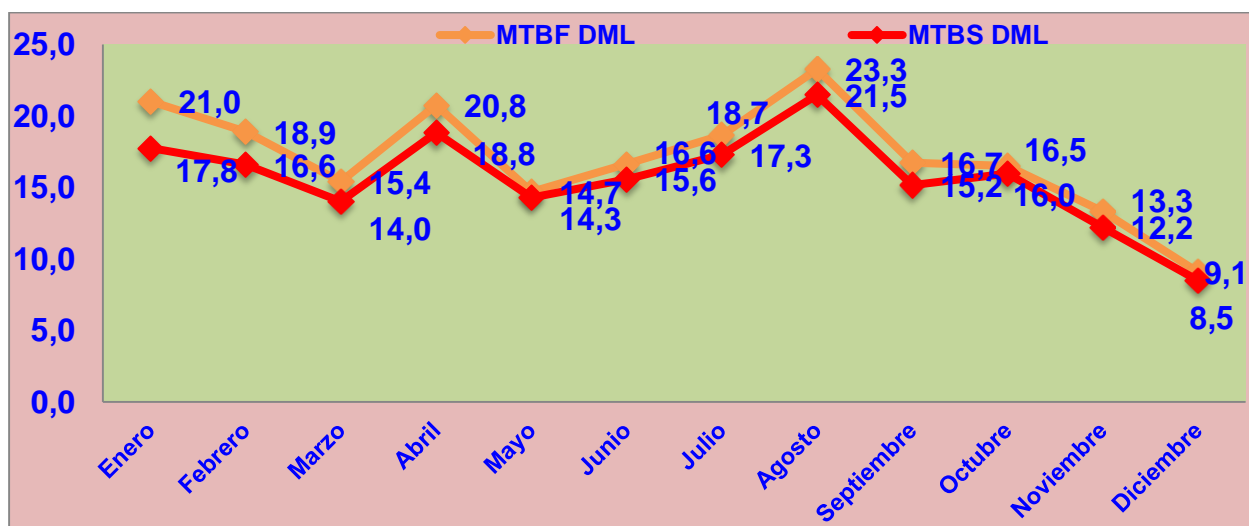
### FLOTA PERFORADORES DML

Ver apéndice 5

PERFORADORES DML												
MES	ENERO	FEBREO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
MTBS	17,8	16,6	14,0	18,8	14,3	15,6	17,3	21,5	15,2	16,0	12,2	8,5
MTBF/EQUIP	21,03	18,91	15,41	20,76	14,69	16,64	18,67	23,27	16,74	16,51	13,33	9,09

**Imagen 10. Tiempo promedio entre fallas horas por equipo (MTBF) vs Tiempo Promedio Entre Paradas (MTBS)**

Fuente. Autor del proyecto



**Figura 12. MTBS vs MTBF**

Fuente. Autor

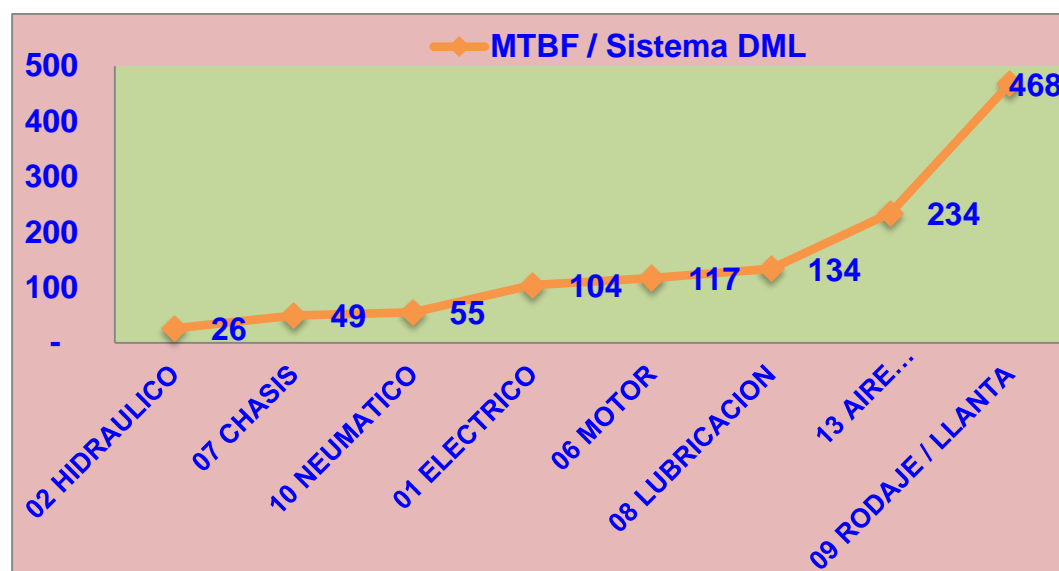
En el grafico se puede observar el tiempo promedio entre parada vs el tiempo promedio entre fallas por equipos en flota de perforadores DML a lo largo del año 2016, el MTBF se mantuvo todo el año en mayor promedio que el MTBS, lo que podemos deducir que fueron mayores los eventos no planeados que las intervenciones planeadas pero en pequeña diferencia siguiendo la misma secuencia.

**Tabla 11.**

**Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF)**

MTBF x SISTEMA DML	
SISTEMA	MTBF / Sistema DML
02 HIDRAULICO	26
07 CHASIS	49
10 NEUMATICO	55
01 ELECTRICO	104
06 MOTOR	117
08 LUBRICACION	134
13 AIRE ACONDICIONADO	234
09 RODAJE / LLANTA	468

Nota. Tiempo promedio. Fuente. Autor del proyecto



**Figura. 13 Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF)**

Fuente. Autor del proyecto



En el grafico podemos observar que el sistema que obtuvo un tiempo promedio de fallas mayor fue el sistema de RODAJE con un promedio por fallas de 468 horas y el que menos obtuvo fue el sistema HIDRÁULICO con 26 horas por fallas.

**Tabla 12.**

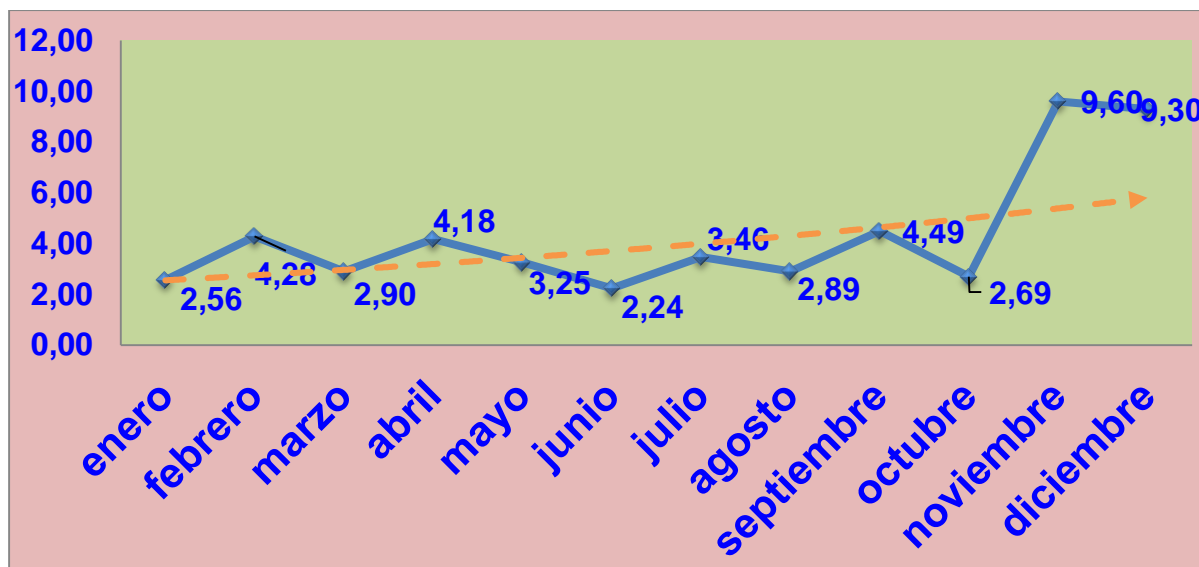
**Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR)**

---

<b>Promedio de TTR</b>	
<b>Mes del Año</b>	<b>Total</b>
enero	2,56
febrero	4,28
marzo	2,90
abril	4,18
mayo	3,25
junio	2,24
julio	3,46
agosto	2,89
septiembre	4,49
octubre	2,69
noviembre	9,60
diciembre	9,30
<b>Total general</b>	<b>4,64</b>

---

Nota. Tiempo promedio. Fuente. Autor del proyecto



**Figura 14. Tiempo Promedio Para Reparar horas (TTR)**

Fuente. Autor del proyecto

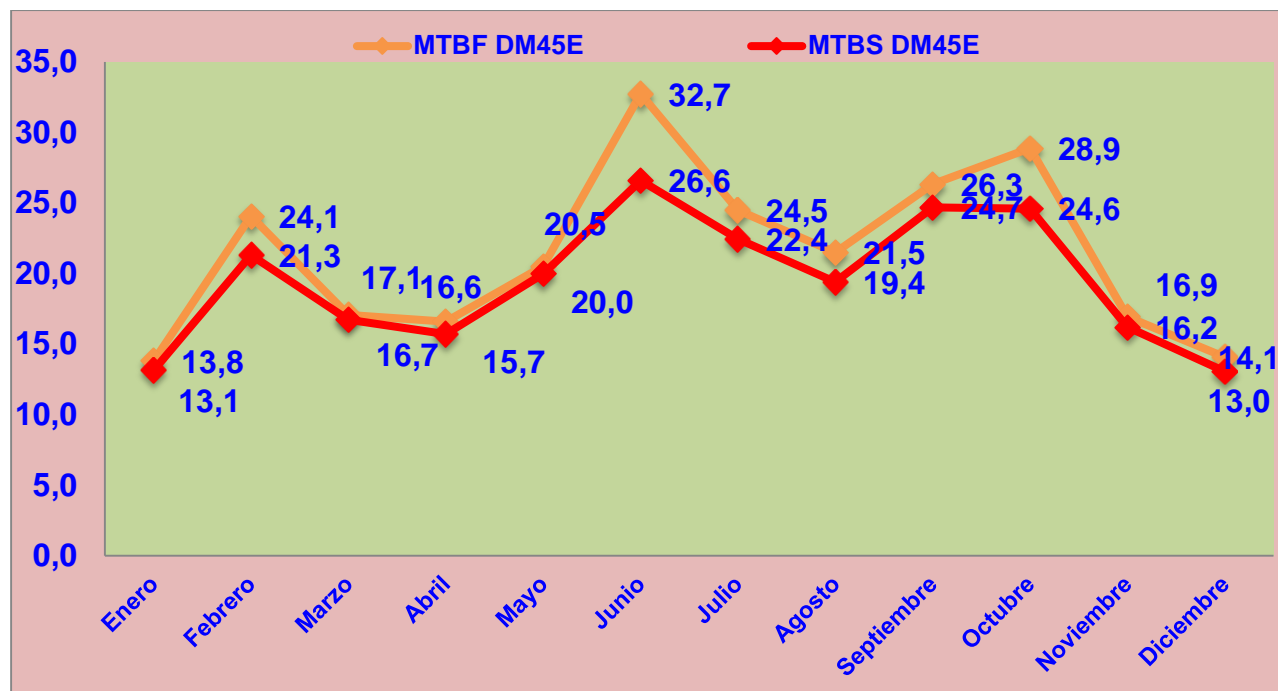
En el gráfico podemos observar el promedio de tiempo de reparación por cada equipo a lo largo del año 2016, donde podemos deducir que se mantuvo una tendencia ascendente, el pico más alto se presentó en noviembre con un promedio de 9.60 horas y luego se mantuvo en un promedio 4.64 horas por reparación.

#### *FLOTA PERFORADORES DM45E*

PERFORADORES DML												
MES	ENERO	FEBREO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE
MTBS	13,1	21,3	16,7	15,7	20,0	26,6	22,4	19,4	24,7	24,6	16,2	13,0
MTBF/EQUIPOS	13,80	24,06	17,06	16,58	20,50	32,73	24,48	21,49	26,33	28,87	16,93	14,08

**Imagen 11. Tiempo promedio entre fallas horas por equipo (MTBF) vs Tiempo Promedio Entre Paradas (MTBS)**

Nota. Tiempo promedio. Fuente. Autor del proyecto



**Figura 15. MTBS vs MTBF**

Fuente. Autor del proyecto

En el grafico se puede observar el tiempo promedio entre parada vs el tiempo promedio entre fallas por equipos en flota de perforadores DM45E a lo largo del año 2016, el MTBF se mantuvo todo el año en mayor promedio que el MTBS, lo que podemos deducir que fueron mayores los eventos no planeados que las intervenciones planeadas pero en pequeña diferencia siguiendo la misma secuencia.

Tabla 13.

Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF)

MTBF x SISTEMA DM45E	
SISTEMA	MTBF / Sistema DM45E
07 CHASIS	47
06 MOTOR	78
02 HIDRAULICO	78
01 ELECTRICO	88
10 NEUMATICO	117
SIN INFORMACIÓN	235

Fuente. Autor del proyecto

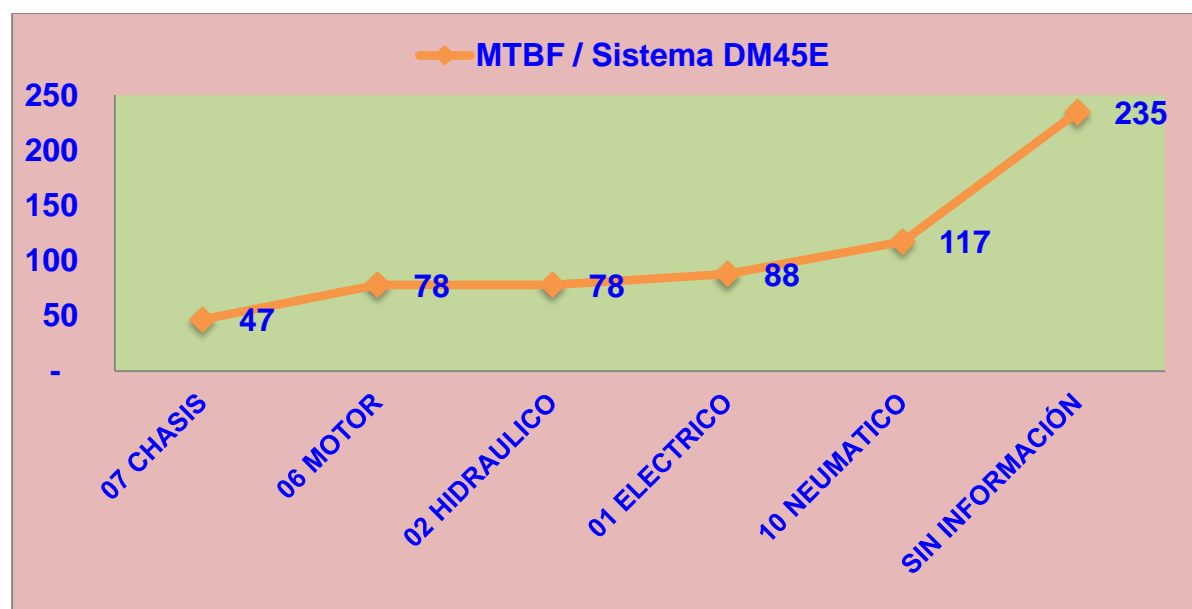


Figura 16. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema (MTBF)

Fuente. Autor del proyecto

En el gráfico podemos observar que el sistema que obtuvo un tiempo promedio de fallas mayor fue el sistema NEUMÁTICO con un promedio por fallas de 117 horas, hubo un promedio de 235 horas de falla a las que no se les reportó lo cual se clasificó como sin información, y el que menos obtuvo fue el sistema CHASIS con 26 horas por fallas.

Tabla 14.

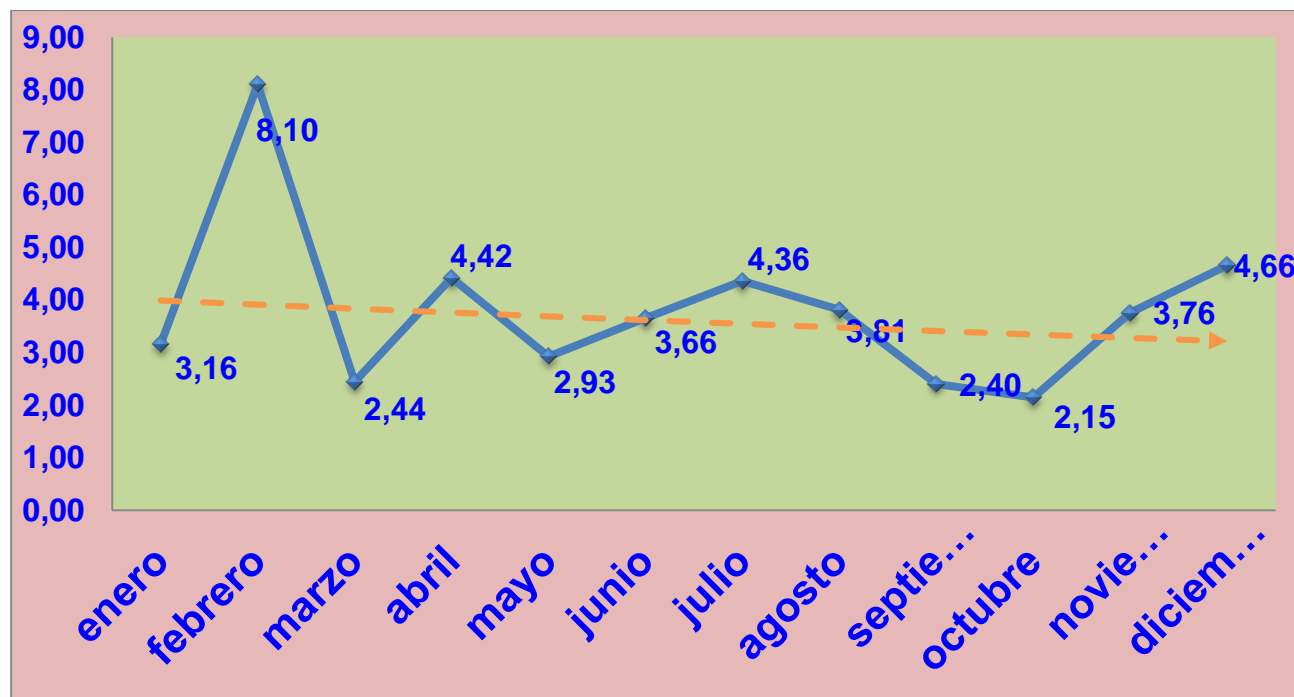
## Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR)

---

<b>Promedio de TTR</b>	
<b>Mes del Año</b>	<b>Total</b>
enero	3,16
febrero	8,10
marzo	2,44
abril	4,42
mayo	2,93
junio	3,66
julio	4,36
agosto	3,81
septiembre	2,40
octubre	2,15
noviembre	3,76
diciembre	4,66
<b>Total general</b>	<b>3,78</b>

---

Nota. Tiempo Promedio Para Reparar horas. Fuente. Autor del proyecto



**Figura 17. Tiempo Promedio Para Reparar horas (MTTR)**

Fuente. Autor del proyecto

En el gráfico podemos observar el promedio de tiempo de reparación por cada equipo a lo largo del año 2016, donde podemos deducir que se mantuvo una tendencia descendente, el pico más alto se presentó en febrero con un promedio de 8.10 horas y luego se mantuvo en un promedio 3.78 horas por reparación.

**3.1.2.4 Actividad 5** describir los sistemas, subsistemas y componentes que más presentaron fallas con una alta frecuencia

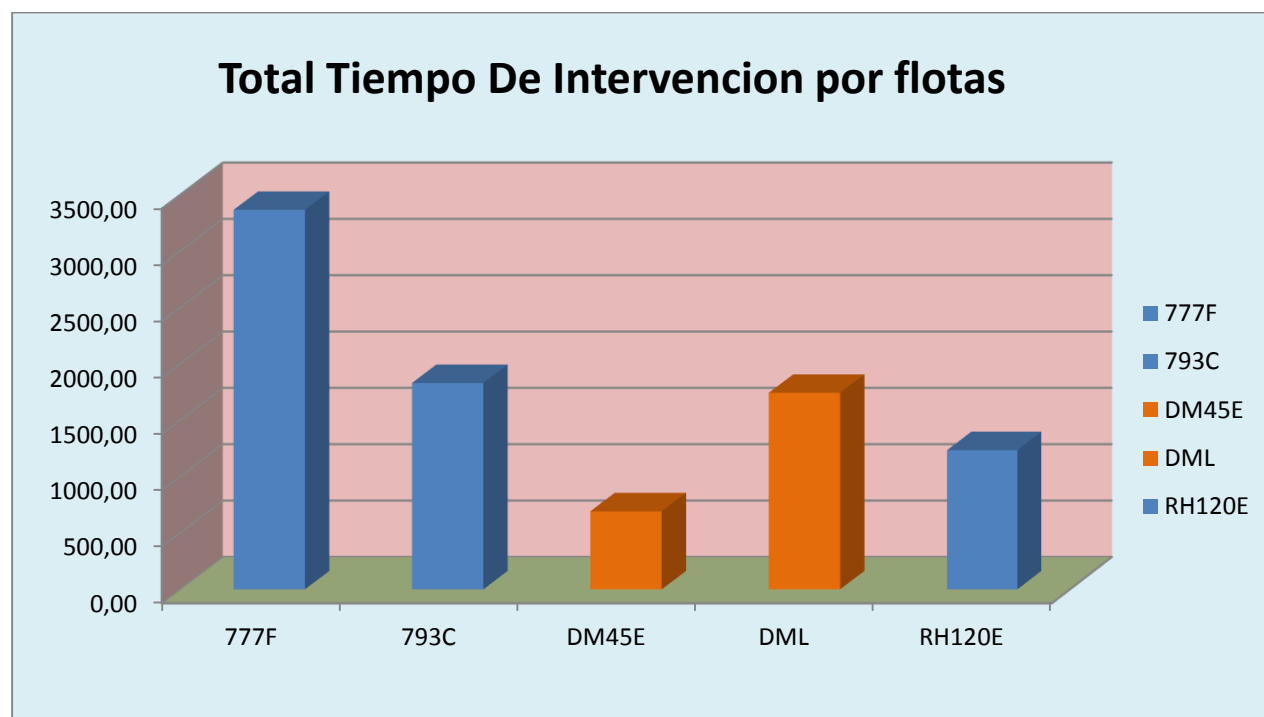
## ANALISIS DE FALLAS POR FLOTAS

Tabla 15.

## Tiempos de intervención por flotas

Etiquetas de fila	TIEMPO INTERVENCIÓN POR FLOTAS
777F	3366,57
793C	1829,34
DM45E	691,45
DML	1742,12
RH120E	1233,66
<b>Total general</b>	<b>8863,13</b>

Nota. Tiempos de intervención por flotas. Fuente. Autor del proyecto



Gráfica 2. total tiempo de intervención por flotas

Fuente. Autor del proyecto

*Clasificación de los equipos críticos de la flota*

*Esta clasificación resulta de la formula*

$$MTTR = \frac{TIF}{NE}$$

**TIF: tiempo de intervención por flota**

**NE: número de equipos**

**Tabla 16.**

**Tiempo promedio de reparación por equipo**

FLOTA	EQUIPOS	MTTR
777F	17	198,0334314
793C	6	304,8896296
PERFORADORES	6	981,8020833
PALAS	4	308,414375

Nota. Tiempo promedio de reparación por equipo. Fuente. Autor del proyecto

De acuerdo al cálculo y al grafico podemos deducir que los equipos más críticos en mina la jagua son los perforadores, debido a que solo existen 6 en toda la mina y están distribuidos uno por frente de explotación, lo que los hace indispensable para la producción y por ende son prioridad para la operación ya que sin ellos sin hay voladuras.



## *Matriz de criticidad por flota*

### *Formato de encuesta*

Ver apéndice 6

Consiste en indagar, recolectar y analizar información por medio de un formato de encuestas realizada a expertos en el tema (personal que labora en mina La Jagua) por cada flota.

Lo cual consta de 6 ítems a cada uno con una serie de preguntas con un valor específico de acuerdo a la información respondida por el experto, al final la suma de cada ítems me arroja un valor específico al cual se le asigna un color como lo muestra la tabla a continuación.


**Tabla 17.**

Esquema de matriz de criticidad

<b>FRECUENCIA</b> <b>A</b>	<b>4</b>	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84
	<b>3</b>	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
	<b>2</b>	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
	<b>1</b>	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>
		<b>CONSECUENCIA</b>																
		No crítico																
		Medianamente crítico																
		Crítico																

Nota. Esquema de matriz de criticidad. Fuente. (JOHAN, 2016).

## Matriz de criticidad por flota

 <small>UNA OPERACIÓN DEL GRUPO PRODECO</small>		FORMATO DE CRICIDAD POR FLOTA																				Vigencia: 2017										
																						Versión: 001										
FECHA: 22/02/2017																																
REALIZADO POR: RODNY JARAMILLO																																
CARGO: SUPERINTENDETE DE PLANEACION PLJ																																
EQUIPOS MINEROS			1. FRECUENCIA DE FALLA (TODO TIPO DE FALLA)					2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)					3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCION					4. COSTO REPARACION (MILLONES DE PESOS)				5. IMPACTO AMBIENTAL				6. IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL				CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS		
CANT	MODELO	FLOTA	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	VALOR	CRITICIDAD	
17	777F	CAMIONES DE ACARREO				x			x							x			x				x				x			44	MEDIANAMENTE CRÍTICO	
6	793C	CAMIONES DE ACARREO				x			x							x			x				x				x			48	MEDIANAMENTE CRÍTICO	
6	DML/DM45E	PERFORADORES				x					x					x					x					x		60	CRÍTICO			
4	RH120E	PALAS RETROS			x						x					x					x			x				x			45	MEDIANAMENTE CRÍTICO

**Imagen 12.** Matriz de criticidad por flota

Fuente. (JOHAN, 2016)

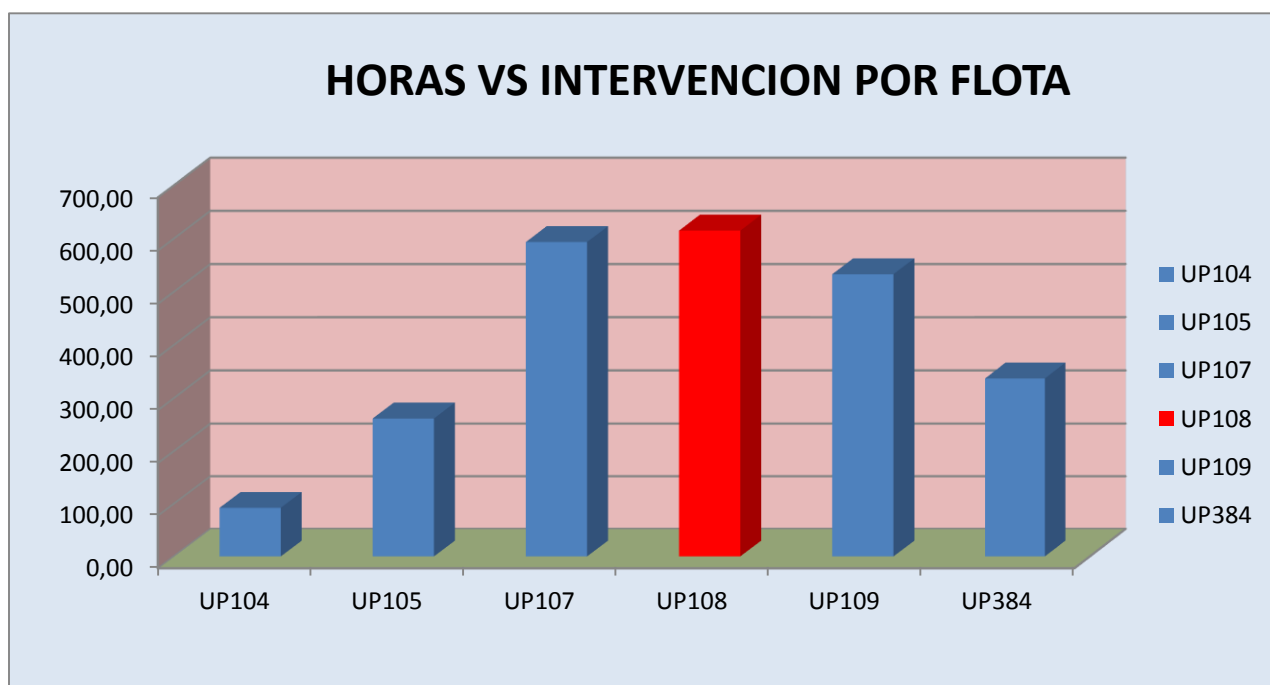
## Análisis tiempo de intervención por equipo flota de perforadores DML y DM45E

**Tabla 18.**

### Tiempos de intervención por equipo

Etiquetas de fila	TIEMPO INTERVENCIÓN DEL EQUIPO
UP104	92,38
UP105	261,85
UP107	593,73
UP108	615,23
UP109	533,16
UP384	337,22
<b>Total general</b>	<b>2433,57</b>

Nota. Tiempos. Fuente. Autor del proyecto



**Grafica 3. Total tiempo de intervención por equipos**

Fuente. Autor del proyecto

En el grafico podemos observar que el equipo que estuvo más tiempo en reparación con un total de 615 horas de fue el perforador DML UP108, debido a que presento un alto índices de fallas en los meses de noviembre y diciembre ver tabla a continuación.

*ESTUDIO DEL PERFORADOR DML UP108*

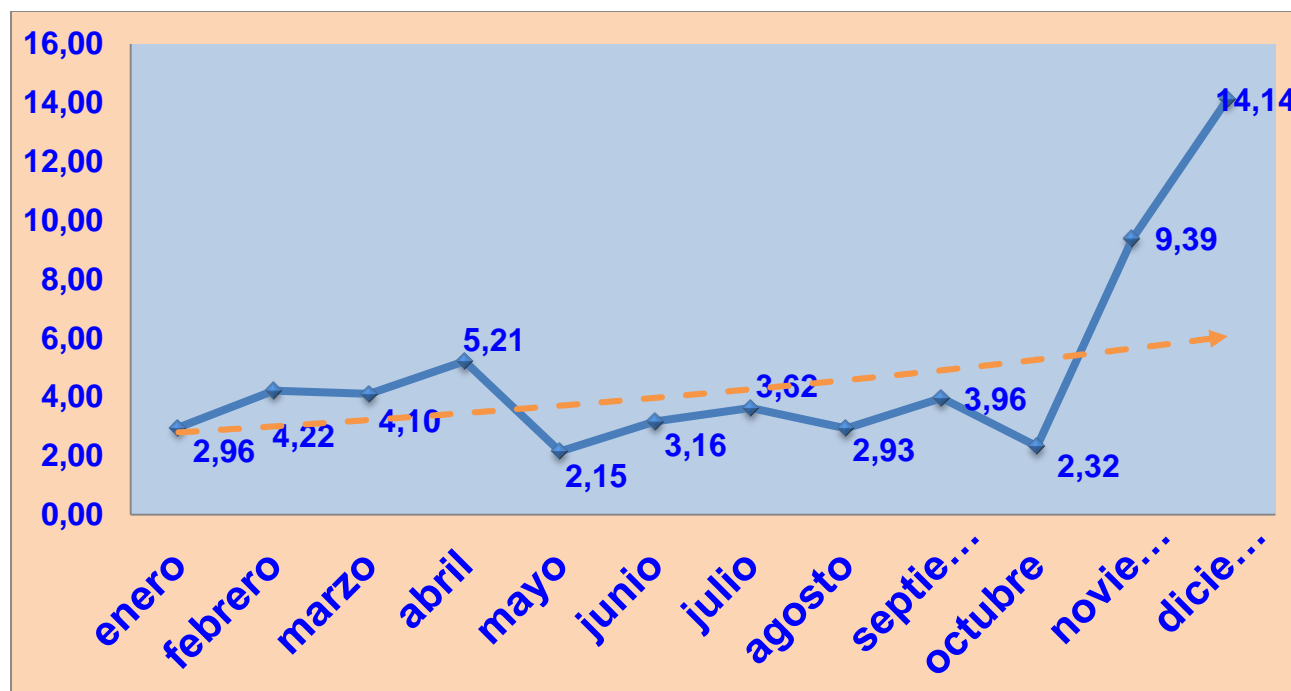
Ver apéndice 7

**Tabla 19.**

**Tiempo promedio de reparación mes a mes.**

ORIGEN TIPO DE PARADA FLOTA EQUIPO Año	Mantenimiento No Planeada DML UP108 2016
<b>Promedio de TTR</b>	
<b>Mes del Año</b>	<b>Total</b>
enero	2,96
febrero	4,22
marzo	4,10
abril	5,21
mayo	2,15
junio	3,16
julio	3,62
agosto	2,93
septiembre	3,96
octubre	2,32
noviembre	9,39
diciembre	14,14
<b>Total general</b>	<b>5,14</b>

Nota. Tiempo promedio. Fuente. Autor del proyecto



**Figura 18. TTR AÑO 2016**

Fuente. Autor del proyecto

Para el perforador UP108 presento una tendencia ascendente en el año 2016, el mayor promedio de tiempo de reparación lo alcanzo en los meses de noviembre y diciembre con 9.39 y 14.14 respectivamente en horas, y permaneció con un promedio de 5.14 horas de reparación en el año, podemos deducir que con relación a los demás perforadores fue el que obtuvo el promedio más alto.

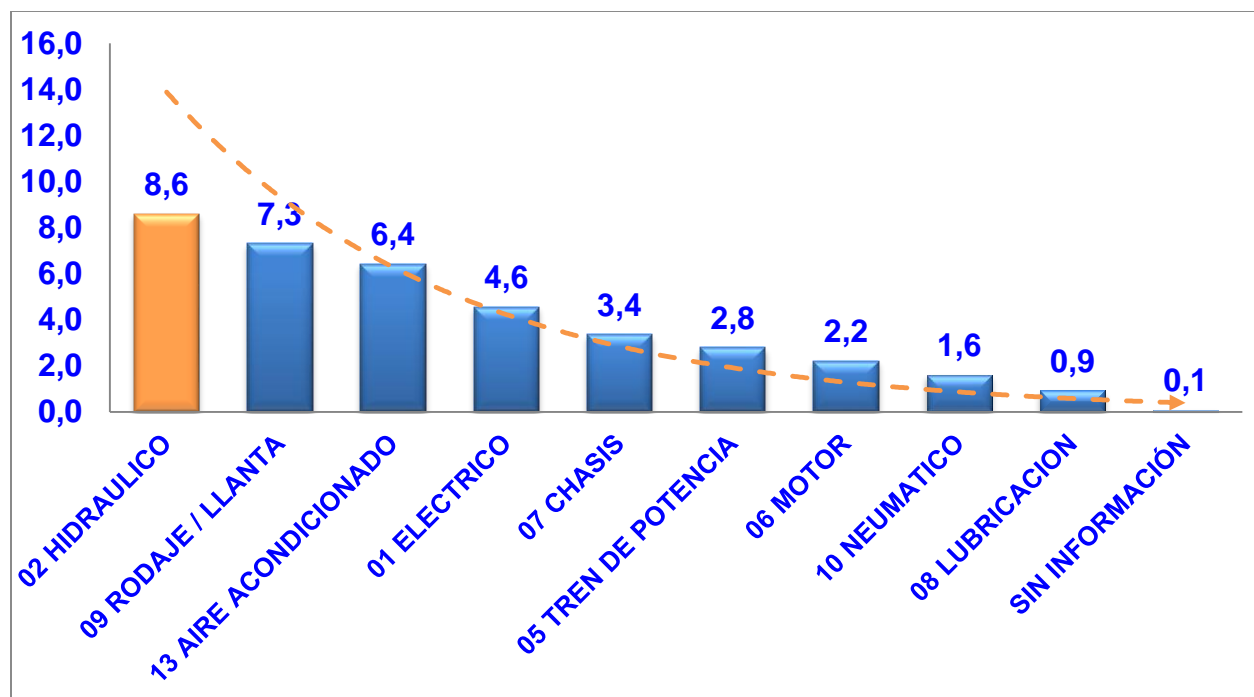
*Tiempo promedio de reparación por sistemas*

Tabla 20.

MTTR por sistema en todo el año.

FLOTA	DML
TIPO DE PARADA	No Planeada
ORIGEN	Mantenimiento
Año	2016
Mes del Año	(Todas)
EQUIPO	UP108
<b>Promedio de TTR</b>	
<b>SISTEMA</b>	<b>Total</b>
02 HIDRAULICO	8,6
09 RODAJE / LLANTA	7,3
13 AIRE ACONDICIONADO	6,4
01 ELECTRICO	4,6
07 CHASIS	3,4
05 TREN DE POTENCIA	2,8
06 MOTOR	2,2
10 NEUMATICO	1,6
08 LUBRICACION	0,9
SIN INFORMACIÓN	0,1
<b>Total general</b>	<b>4,1</b>

Nota. MTTR por sistemas. Fuente. Autor del proyecto



**Grafica 4. TTR. por sistema para el año 2016.**

Fuente. Autor del proyecto

El sistema que más fallo en todo el año con un TTR de 8.6 horas por reparación fue el sistema HIDRÁULICO, debido a múltiples fugas de aceite que se presentaron en los meses de noviembre y diciembre, Ver tabla 27.

### **Tiempo promedio de reparación sistema hidráulico por componentes**

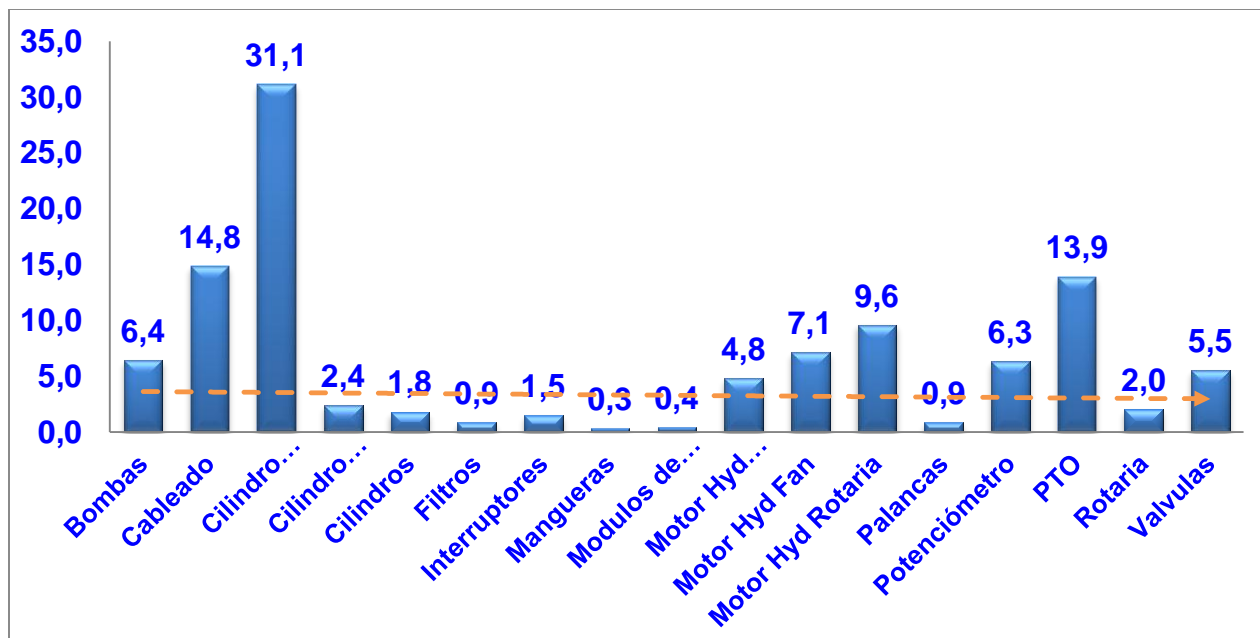
Tabla 21.

## TTR sistema hidráulico por componentes para año 2016.

FLOTA	DML
TIPO DE PARADA	No Planeada
ORIGEN	Mantenimiento
Año	2016
Mes del Año	(Todas)
EQUIPO	UP108
SISTEMA	02 HIDRAULICO
<b>Promedio de TTR</b>	
<b>COMPONENTE</b>	<b>Total</b>
Bombas	6,4
Cableado	14,8
Cilindro Nivelación	31,1
Cilindro Pull down Rotaria	2,4
Cilindros	1,8
Filtros	0,9
Interruptores	1,5
Mangueras	0,3
Módulos de control	0,4
Motor Hyd Colector	4,8
Motor Hyd Fan	7,1
Motor Hyd Rotaria	9,6
Palancas	0,9
Potenciómetro	6,3
PTO	13,9
Rotaria	2,0
Válvulas	5,5
<b>Total general</b>	<b>8,6</b>

Nota. TTR sistema. Fuente. Autor del proyecto





**Grafica 5. TTR Componentes Sistema Hidráulico UP108 para todo el año 2016.**

Fuente. Autor del proyecto

El cilindro de nivelación fue el componente del sistema hidráulico el cual presento el promedio más alto de reparación con un total de 31.1 horas. Identificando este componente como el mal actor del sistema HIDRAULICO del perforador DML UP108.

Ver Apendice 8

**3.1.2.5. Actividad 6** aplicar técnicas RCA en los sistemas o subsistemas que presentaron un alto porcentaje de fallas en determinado tiempo (Enero-Diciembre 2016).

*3.1.2.5.1. Métodos De Medición De Fallas En Mantenimiento*

los análisis cuantitativos y cualitativos son un conjunto de procedimientos para extraer los datos de una investigación con los cuales se obtiene la información necesaria para realizar una completa interpretación de su significado, los datos que se recogen en los análisis de falla cualitativos y cuantitativos son aquellos que se refieren a los fenómenos estudiados o que se piensan estudiar. Ante un determinado problema, se plantean hipótesis, se observa, se toman datos, se registra y se someten a un análisis. En el análisis de falla un dato es la representación simbólica (numérica, alfabética, alfanumérica) de una falla bajo una forma conveniente para ser usado como base para hacer inferencias y tomar decisiones.

Estos métodos son las herramientas de los investigadores, el medio para acercarse, o entender lo que está ocurriendo. Los métodos inductivos están generalmente asociados con la investigación cualitativa, mientras que el método deductivo está asociado con la investigación cuantitativa. Los análisis cuantitativos y cualitativos en mantenimiento pretenden extraer de los datos la máxima información y significado para conocer lo que hay y sucede para poder explicar y comprender la razón de un problema. En la metodología cualitativa se trata de identificar los características de los fenómenos, su sistema de relación y su estructura dinámica, mientras que con la estructura cuantitativa estudia la relación entre variables cuantificadas, su fuerza de asociación, la generalización y objetivación de los resultados a través de una muestra para hacer inferencia a una población de la cual toda muestra procede explicando porque las cosas suceden de una forma determinada.

### 3.1.2.5.2. *El Análisis Causa Raíz (RCA)*

Es un procedimiento sistemático que se aplica con el objetivo de precisar las causas que originan las fallas, sus impactos y sus frecuencias de aparición, para poder mitigarlas o eliminarlas.

El RCA es el mejor exponente de estas técnicas que combinado con los métodos de medición de fallas cuantitativo basado en los análisis estadísticos, se convierten en una herramienta poderosa para la eliminación de malos actores buscando una manera rápida y eficaz a la solución de problemas cotidianos y evitar repetición de eventos mayores, con la eliminación de los defectos de una falla repetitiva (mal actor) se lograra obtener una mayor confiabilidad integral del proceso de producción por reducción en el número de averías, también se optimizara el volumen de trabajo al reducir las actividades reactivas, aumentando de esta forma la eficiencia en los procesos de ejecución, razones por las cuales usar esta metodología de confiabilidad permitirá mejorar la confiabilidad operacional, con participación activa del personal de empresa optimizando de los recursos destinados al departamento de mantenimiento.

El objetivo es determinar el origen de las causas físicas, humanas y latentes de una falla, la frecuencia con que apareció y el impacto que genera, por medio de un estudio minucioso de los factores, circunstancias y diferentes elementos que podrían mitigar o eliminar por completo la falla una vez tomadas las acciones correctivas que sugiera el análisis mejorando la seguridad, confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos de la organización.

### *3.1.2.5.3. Análisis De Causa Raíz Mediante La Herramienta Árbol Lógico De Fallas*

Introducción al árbol lógico de fallas. El análisis cualitativo de una falla cuenta con diversas herramientas para realizar el análisis de causa raíz, lo importante de la herramienta que se utilice es que los resultados a obtener sean acertados y precisos. Todas estas herramientas tienen algo en común, que trabajan mediante la relación de las causas y efectos para encontrar las causas posibles de la falla de una manera organizada.

El árbol lógico de fallas es considerado una herramienta de la confiabilidad operacional que “permite representar gráficamente las relaciones de causa y efecto que nos conduce a descubrir el evento indeseable y cuál fue la causa raíz del problema

En la práctica el equipo RCA es quién coloca los datos de una Falla en forma lógica y comprensible, mostrando en un diagrama la toma de decisiones verificadas a través de preguntas que ayudan a guiar al grupo en busca de la respuesta correcta. (Hernando, 2011)

De acuerdo con lo anterior, la construcción del árbol lógico de fallas en un proceso de RCA consta de los siguientes pasos que son descritos en la tabla que se muestra a continuación:

### 3.1.2.5.4. Pasos para la construcción del árbol lógico de fallas

**Tabla 22.**

#### **Descripción de Pasos para la Construcción de un Árbol Lógico de Fallas**

---

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. EVENTO (MAL ACTOR): En este paso se realiza la descripción del mal actor o falla repetitiva que se encuentra ocasionando problemas y pérdida en la función de una pieza o proceso, el análisis de estos problemas debe basarse en hechos verificables que permitan iniciar el proceso de análisis de la falla.</li> <li>2. MODOS DE FALLA: Los modos de falla son una descripción más detallada de cómo ocurrió el evento en el pasado, estos deberán estar basados en hechos. En este paso el análisis del mal actor son las diferentes fallas que originaron el problema principal y su función es dividir el problema central en cuadros más pequeños para hacerlo más manejable.</li> <li>3. HIPÓTESIS: las hipótesis son suposiciones que se hacen respecto a la pregunta de cómo pudo suceder determinado modo de falla, estas Pueden tener varios niveles de verificación dependiendo de la aceptabilidad requerida.</li> <li>4. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS: En la verificación de hipótesis se recurren a diversos métodos de validación con los cuales se aprueba la Hipótesis propuesta como un hecho con los cuales se clarifica a un más el problema; los métodos más utilizados son: análisis y seguimiento de vibraciones, Observación humana, ultrasonido, fotografías, cámaras de video, termografía y alineación laser.</li> <li>5. CAUSAS FÍSICAS: Este nivel reúne todas las causas de origen físico que pudieron dar origen a la falla, es la causa tangible. En este nivel no se encontrara la causa de la falla si no un punto de partida para resolver el problema, por lo que se deberá seguir con el análisis de falla.</li> <li>6. CAUSAS HUMANAS: Errores cometidos por el factor humano que Inciden directa o indirectamente en la ocurrencia de la falla, estos pueden originarse por la falta de conocimiento en procesos y la toma de decisiones erradas que generalmente dan como resultados errores de omisión.</li> <li>7. CAUSAS LATENTES: Son todos aquellos problemas que aunque no hayan ocurrido son factibles de que ocurran. También pueden ser considerados como los sistemas de organización que las personas utilizan para tomar decisiones, cuando estas son deficientes se traducen en errores de decisión que pueden ocasionar dificultades en el funcionamiento adecuado de los equipos, algunos ejemplos de estas causas pueden ser: falta de procedimientos, capacitación inadecuada del equipo de trabajo y problemas de comunicación.</li> </ol>
---

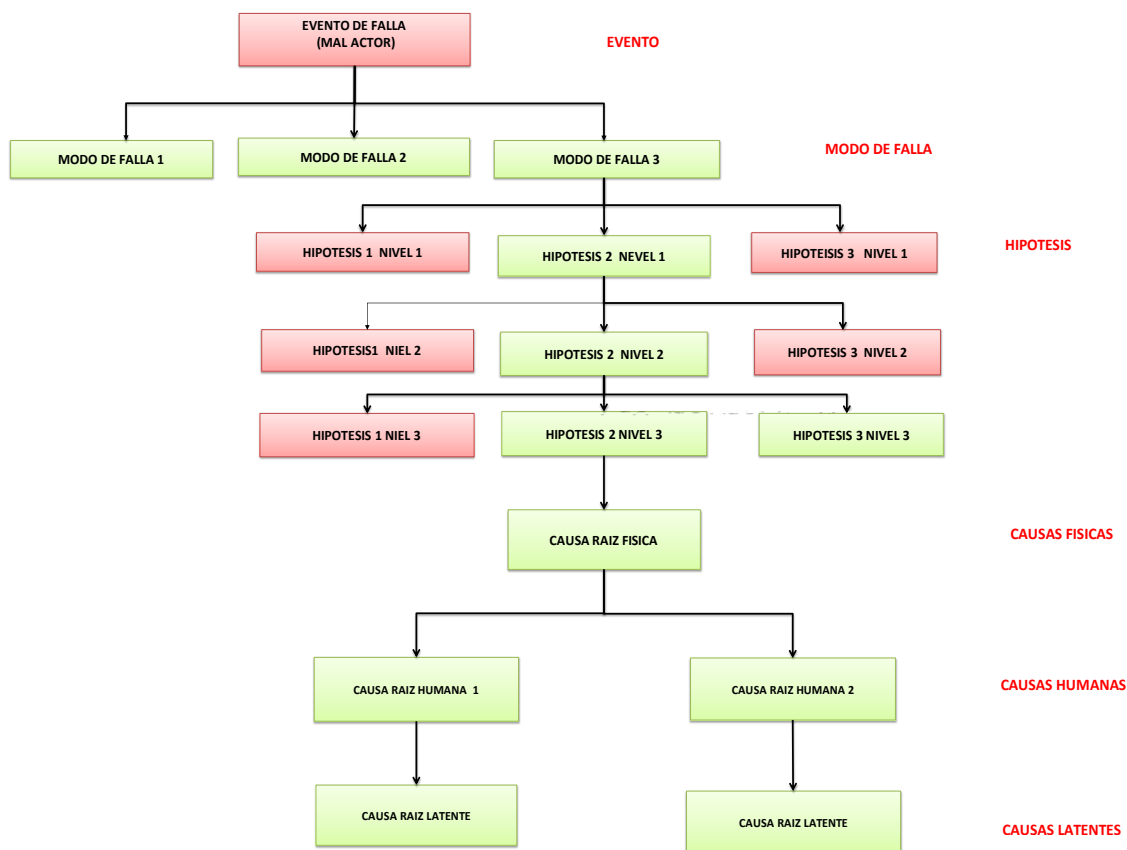
---

Nota. Descripción de pasos. Fuente (Hernando, 2011)

### 3.1.2.5.5. Pasos del Árbol Lógico de Fallas.

En la elaboración del árbol lógico de falla se debe efectuar mediante un proceso ordenado, donde las diferentes etapas que lo componen guiarán al grupo de análisis del RCA a encontrar la causa raíz que está originando el problema, la estructura para el análisis de los elementos encontrados en cada una de las etapas genera un análisis combinatorio o ramificado. Llamado árbol lógico de falla cuya estructura conceptual es la siguiente:

#### Árbol lógico de fallas

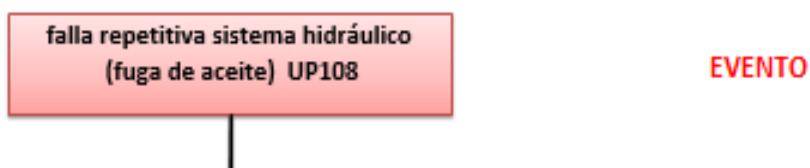


Grafica 6. Pasos Árbol Lógico de Fallas

Fuente. (S.A, 2017)

*Construcción del árbol lógico de fallas para el mal actor (falla repetitiva sistema hidráulico, cilindro de nivelación) identificado en el equipo perforador DML UP108*

Descripción de los Eventos Down por los perforadores DML Y DM45E. presentaron diferentes problemas durante el año 2016, lo cual la mayoría de estos eventos fueron ocasionados por el perforador DML UP108 con un total de horas de reparación de 615.26 entre los meses de agosto y diciembre (ver tabla 20 ) lo cual muestra que el sistema que más fallo fue el hidráulico que el mal actor fue el **CILINDRO DE NIVELACIÓN** con un promedio de tiempo por parada de 31.1 horas (ver tabla 23 ) afectando en gran parte la producción ya que este equipo hace parte de la flota más crítica de la mina la jagua y solo existen 6 equipos y están distribuidos uno por sector de explotación o manto productivo;



**Grafica 7. eventos de falla (mal actor)**

*Fuente.* (S.A, 2017)

En el evento principal o mal actor se expone como series de fallas repetitivas relacionadas al sistema hidráulico lo cual se define como “fuga de aceite hidráulico”

Como lo muestra el reporte del dispatch, que es el que hace el operador al momento de que se haga visible o evidente el evento.

Equip.	FechaTurr	Tu	Código Actividad	Problema	Tie	Horainicial	HoraFinal
UP108	04/12/2016	Ambc	Falla Sistema de orugas	--> Smu: 6781 SE INSTALA SEGURO A ZAPATA DE NIVELACION LADO COLECTOR + SE INS	7,3	04/12/2016 6:30 p. m.	05/12/2016 1:48 a. m.
UP108	05/12/2016	Ambc	Demoras Mantenimiento	fuga por una maguera que va la torre// b5 oriente.	0,8	05/12/2016 10:09 a. m.	05/12/2016 11:00 a. m.
UP108	05/12/2016	Ambc	Fugas	--> Smu: 6799 Hrs. Corregir fuga de aceite por racor del cilindro RH de avance <--	2,2	05/12/2016 11:00 a. m.	05/12/2016 1:09 p. m.
UP108	24/11/2016	Ambc	Fugas	--> Smu: 6724 Hrs. Evaluar fuga de aceite por cilindro del poll down; fuga monitoreable<--	0,4	25/11/2016 3:26 a. m.	25/11/2016 3:49 a. m.
UP108	24/11/2016	Ambc	Demoras Mantenimiento	Mtto: Fuga hdca // B5	0,4	25/11/2016 3:01 a. m.	25/11/2016 3:26 a. m.

### Imagen 13. Reporte dispatch

Nota. Reporte. Fuente. (S.A, 2017)



**Imagen 14. Zapata y camisa del cilindro de nivelación**

Fuente. Autor del proyecto



En la figura se puede observar una fuga de aceite hidráulico que sale de la camisa y llega a la zapata del cilindro de nivelación evidenciando así un problema en ese componente en específico, obligando al departamento de mantenimiento a tomar una serie de soluciones correctivas o preventivas. Para mitigar la fuga.

#### *3.1.2.5.6. Descripción de los modos de falla Sistema hidráulico UP108*

Después de describir la ubicación de la falla y la frecuencia con la que se repitió en el año (ver tabla 22) los eventos que se catalogaron como fallas en el sistema hidráulico, se procede a desglosar el problema general con el fin de definirlo más afondo e ir clarificando las posibles causas que lo originaron, esto se hace a través de los modos de falla que se observaron cuando ocurrieron los diferentes problemas del sistema. La descripción más detallada de cómo sucedieron los eventos en el pasado debe estar soportada en hechos y no en suposiciones, esto es lo que le da forma de árbol lógico de fallas, herramienta que facilitara el análisis de la falla ocurrida; para el caso de la falla repetitiva en el sistema hidráulico, los modos de falla fueron los siguientes:

##### *Modo de falla 1*

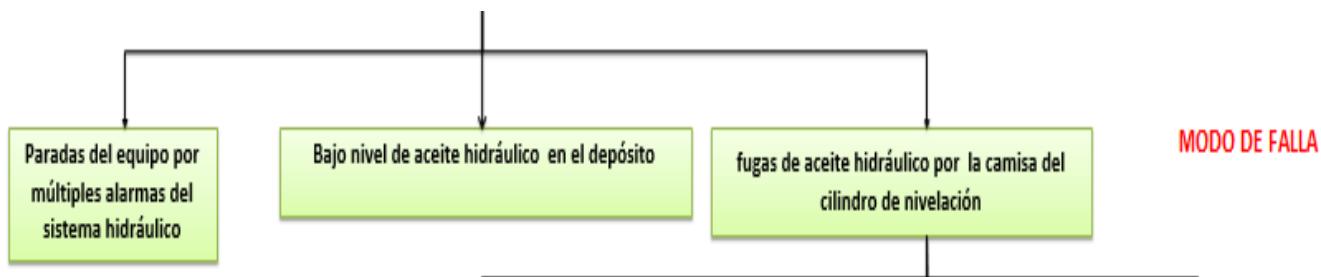
Paradas del equipo por múltiples alarmas del sistema hidráulico, estas alarmas se activan cuando el sistema detecta una alteración en los rangos permitidos de operación como las presiones o temperaturas del aceite o por bajo nivel del mismo

### *Modo de falla 2*

Bajo nivel de aceite hidráulico en el depósito este modo de falla se hace evidente cuando el operador observa en la mirilla y se hace evidente que el aceite no está en el nivel adecuado de inmediato se debe reportar la falla.

### *Modo de falla 3*

Fugas de aceite hidráulico por la camisa del cilindro de nivelación, este modo de falla se hace evidente cuando los operadores inspeccionan el equipo y observan una emanación de aceite de la camisa del cilindro de nivelación



**Grafica 8. Modos de falla**

Fuente. Autor del proyecto

#### *3.1.2.5.7. Planteamiento de Hipótesis con el análisis RCA.*

Se procede a formular las hipótesis con las cuales se pregunta cómo pudo suceder el modo de falla, esto con el fin de clarificar el problema. Las hipótesis no son más que conjeturas

que deben ser comprobadas para tomarlas como hechos y seguir avanzando el desarrollo de árbol lógico de falla.

Las hipótesis planteadas para los modos de falla fueron las siguientes:

- **Hipótesis 1 nivel 1.**

Ruptura de válvulas o mangueras del cilindro de nivelación. Se produce por exceso de presión en el aceite hidráulico lo cual se acumula en las uniones de las mangueras que conducen al cilindro, Generando fugas.

- **Hipótesis 2 nivel 1**

Ruptura o fisura del cilindro de nivelación. Se produce debido a golpes o altas vibraciones del equipo.

- **Hipótesis 3 nivel 1**

Ruptura de la zapata de nivelación. Se produce debido a la inestabilidad del terreno donde se realiza la perforación.

- **hipotesis1 nivel 2**

Golpe con algún objeto (piedra madera, carbón etc.) puede producirse por una roca o madera en el momento que se realiza el movimiento del equipo.

- **Hipótesis 2 nivel 2**

Peso excesivo a los cilindros. Esta hipótesis es válida ya que debido a las fuertes presiones que tienen que soportar los cilindros al momento de que se está realizando la perforación.

- **Hipótesis 3 nivel 2**

Ruptura de la camisa del cilindro de nivelación. Puede producirse por golpe de un material externo.

- **Hipótesis 1 nivel 3**

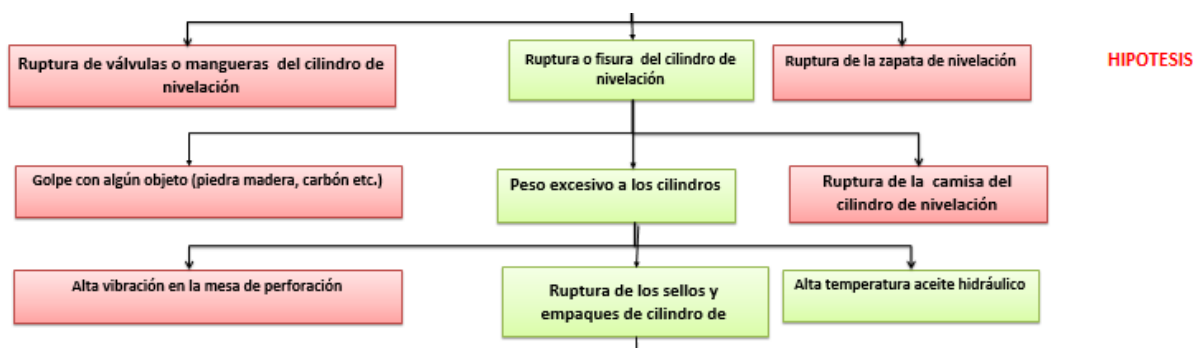
Alta vibración en la mesa de perforación. Lo que puede producir desajuste y ruptura en alguna de las mangueras

- **Hipótesis 2 nivel 3**

Ruptura de los sellos y empaques de cilindro de nivelación. Esta es la hipótesis más valedera ya que los empaques binen diseñados para soportar presiones de acuerdo al peso del equipo, distribuido en dos apoyos o cilindros de nivelación.

- **Hipótesis 3 nivel 3**

Alta temperatura del aceite hidráulico. La temperatura juega un papel importante ya que los empaques vienen diseñados para soportar temperaturas menores a los 100 ° C y debido a que estos sobrepasan estas temperaturas permiten la dilatación de los empaques.



**Grafica 9. Hipótesis de la falla**

Fuente. Autor del proyecto

*Verificar y descartar Hipótesis.* Para que las hipótesis se conviertan en hechos reales deben verificarse por diferentes métodos de validación los cuales pueden ser observación visual, análisis de datos, análisis de reportes anteriores y muestreo con los que se refuerzan las bases

para tomarla o no como una causa posible de la falla, por el contrario si una hipótesis es aceptada sin validación esta no sería más que una suposición que puede llevar a una solución errada del problema.

La verificación de Hipótesis para los modos de falla fue realizada de la siguiente manera:

### **Hipótesis 1 Nivel 1**

Ruptura de válvulas o mangueras del cilindro de nivelación. Se produce por exceso de presión en el aceite hidráulico lo cual se acumula en las uniones de las mangueras que conducen al cilindro, Generando fugas.



**Imagen 15. Manguera hidráulica del cilindro de nivelación**

Fuente. Autor del proyecto

Se realizaron pruebas y revisión de la máquina y se observó que no había ninguna unión o empaque partido de las mangueras se encontraban en buen estado y las uniones en los cilindros se encontraban en perfecto estado.

### **Hipótesis 2 Nivel 1**

Ruptura o fisura del cilindro de nivelación. Se produce debido a golpes o altas vibraciones del equipo.



**Imagen 16. Últimos cambios de cilindros de nivelación al UP108**

Fuente. Autor del proyecto

Se revisan los últimos cilindros de nivelación que se cambiaron al UP108 y no se encuentra ninguna fisura físicamente.

### Hipótesis 3 Nivel 1

Ruptura de la zapata de nivelación. Se produce debido a la inestabilidad del terreno donde se realiza la perforación.



**Imagen 17. Zapata de nivelación**

Fuente. Autor del proyecto



Se realizan inspecciones visibles a las zapatas y se encuentran en perfecto estado sin roturas ni fisuras.

### **Hipotesis1 Nivel 2**

Golpe con algún objeto (piedra madera, carbón etc.) puede producirse por una roca o madera en el momento que se realiza el movimiento del equipo.

No se reportó ningún golpe por objetos externos en el año así que se puede descartar esta hipótesis.

### **Hipótesis 2 Nivel 2**

Peso excesivo a los cilindros.

Esta hipótesis es válida ya que debido a las fuertes presiones que tienen que soportar los cilindros al momento de que se está realizando la perforación.

Esta hipótesis es verdadera ya que estos cilindros son expuestos a todo el peso del equipo de manera prolongada no siguiendo las indicaciones del fabricante indica: “el equipo debe trabajar perforando por lapso de una hora y descansar 15 minutos en su posición original” (ATLAS COPCO, 2016)

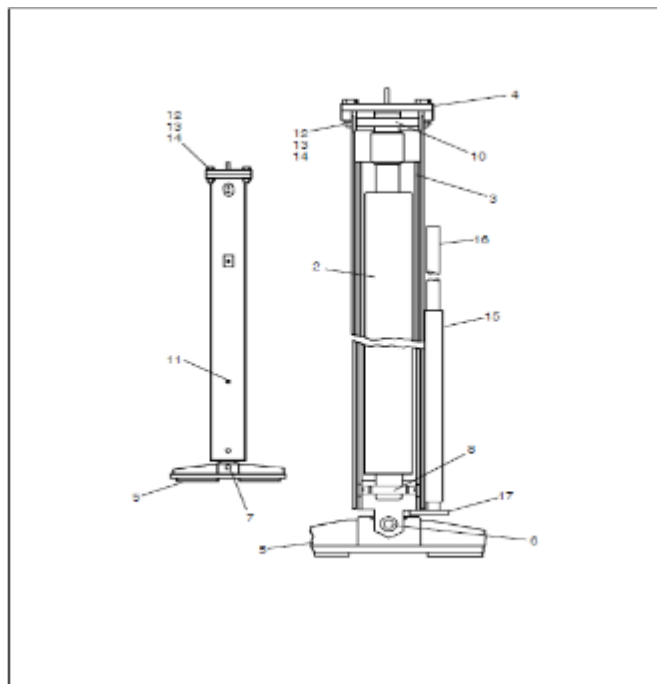
### Hipótesis 3 Nivel 2

Ruptura de la camisa del cilindro de nivelación. Puede producirse por golpe de un materia externo.

No se a encontrado de manera visible ninguna fisura ocasionada por ningún material, tampoco se a reportado ningún golpe.

### Hipótesis 1 niel 3

Alta vibración en la mesa de perforación. Lo que pude producir desajuste y ruptura en alguna de las mangueras



**Figura 19. Camisa y zapata del cilindro de nivelación**

Fuente (ATLAS COPCO, 2016)

La alta vibración no ocasiona rotura en los cilindros ya que estos se encuentran protegidos por una camisa de un material resistente como se observa en la figura.

### **Hipótesis 2 Nivel 3**

Ruptura de los sellos y empaques de cilindro de nivelación.

Esta es la hipótesis resulta ser la más acertada, ya que los empaques están diseñados para soportar presiones de acuerdo al peso del equipo, distribuido en dos apoyos o cilindros de nivelación, teniendo en cuenta que La mayoría de los cambios de los cilindros fueron por ruptura de los sellos y empaques.



**Imagen 18. Sellos de los cilindros de nivelación.**

Fuente. Autor del proyecto

### Hipótesis 3 nivel 3

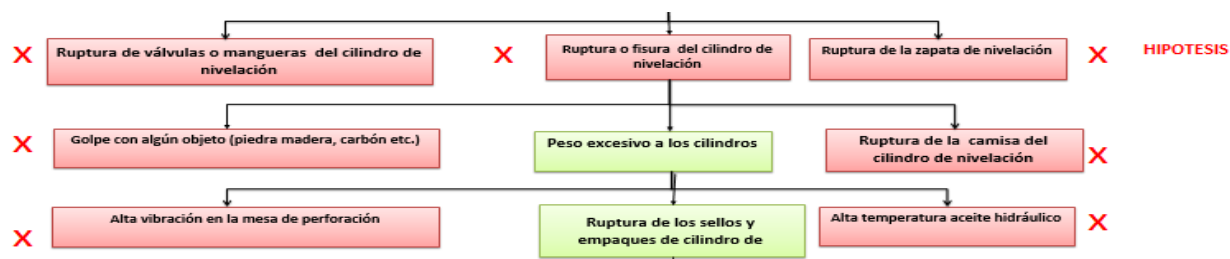
Alta temperatura del aceite hidráulico. La temperatura juega un papel importante ya que los empaques vienen diseñados para soportar temperaturas menores a los 100 ° C y debido a que estos sobrepasan estas temperaturas permiten la dilatación de los empaques.

COMPONENTE	FECHA	HRS AC.	HRS COMP	CONDICION
Motor	20-Jan-17	450	7.137	Normal
Mando Final Derecho	15-Jan-17	1.732	14.627	Alert
Mando Final Izquierdo	15-Jan-17	450	6.528	Alert
PTO	15-Jan-17	873	14.094	Alert
Rotaria	10-Jul-16	1.212	8.581	Normal
Unidad Compresora	13-Jan-17	1.732	8.951	Caution
Sistema hidraulico	15-Jan-17	11.790	37.250	Normal

### Imagen 19. Muestras de aceite ESSO Y Mobil

Fuente. (LABORATORIO Mobilserv, 2017).

Se realizaron muestras de aceite y se detectó que el aceite hidráulico se encuentra en condiciones normales de funcionamiento, lo que permite el descarte de esta hipótesis.



### Grafica 10. Verificación y descarte de las hipótesis

Fuente. Autor del proyecto

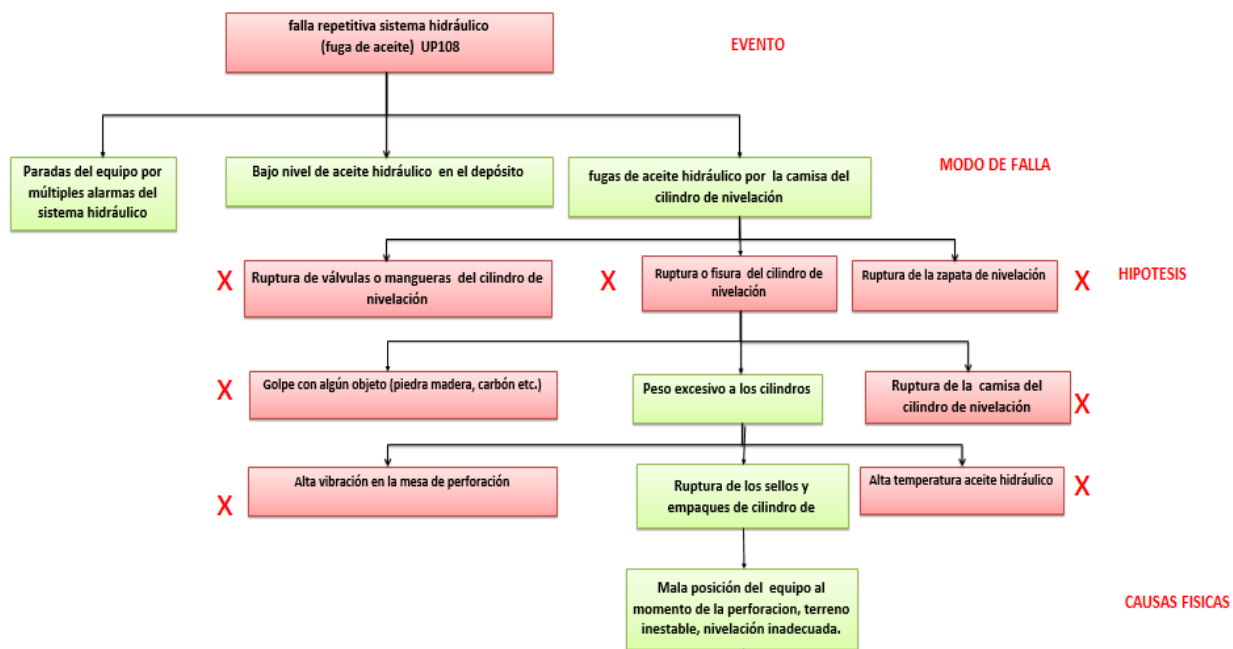
Después de analizar las hipótesis de acuerdo a los diferentes análisis se procede a determinar cuál es la hipótesis más valedera y que me pude llevar a la solución del problema para ello se descartan 7 de 9 hipótesis y continuamos con el análisis causa raíz (RCA).

Hemos determinado que se produce un exceso de presión en los cilindros lo que obliga a la ruptura de los sellos.

### **3.1.3. Objetivo específico 3**

*3.1.3.1. Actividad 1. Determinar la causa principal de cada falla en los sistemas y subsistemas de los equipos por medio de las técnicas RCA.*

*3.1.3.1.1. Estudio y Verificación de la Causa Física principal.* Para continuar con la construcción del árbol lógico de fallas se toma como causa física “Mala posición del equipo al momento de la perforación, terreno inestable, nivelación inadecuada” lo cual es la causa principal que hace que se presenten exceso de presiones en los cilindros, ya que el equipo no se nivela adecuadamente por una serie de factores como inestabilidad del terreno y mala posición del mismo, ocasionando cargas de peso para un solo lado generando ruptura en los empaques, La verificación de hipótesis para esta causa física se realizó de la siguiente manera:



**Grafica 11. Causas físicas principales**

Fuente. Autor del proyecto

Todos los cilindros que en los últimos meses se le cambiaron al UP108 según el análisis del grupo de consultores de ATLAS COPCO se generó por ruptura de los sellos externos debido a fuertes presiones que se generaron en los mismos.



**Imagen 20. Fuga de aceite por los empaques de un cilindro de nivelación del perforador UP108**

Fuente. Autor del proyecto

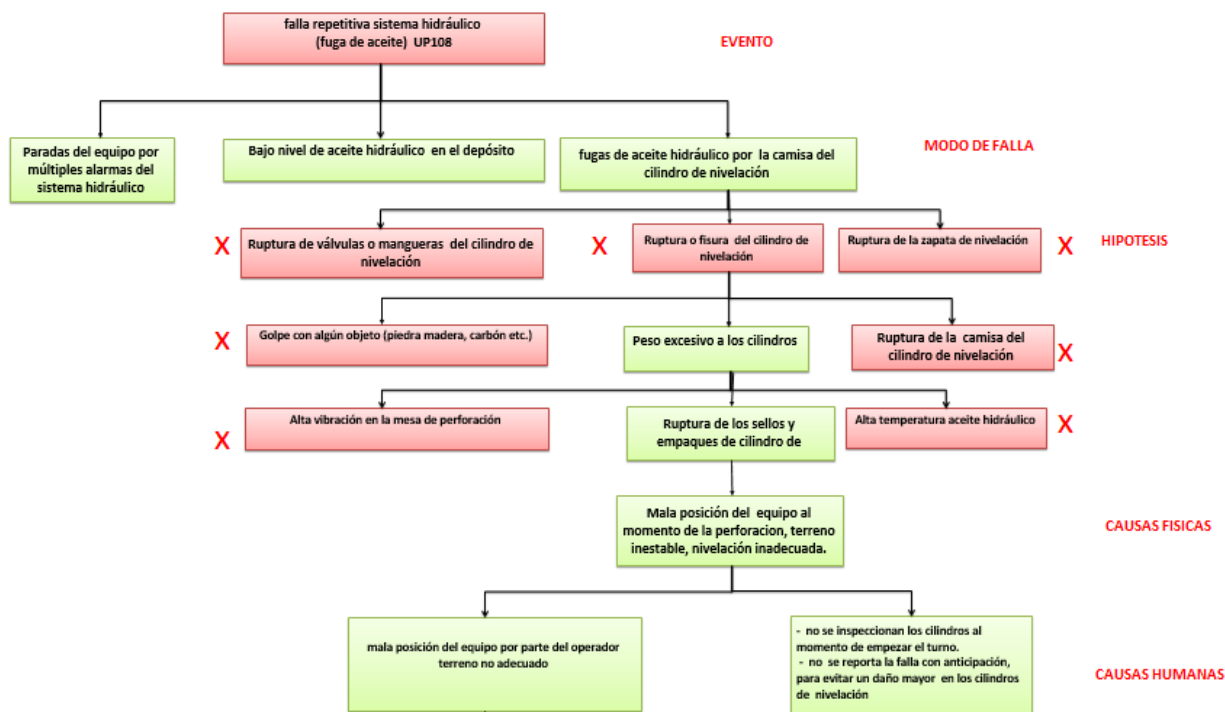


**Imagen 21. Cilindro de nivelación con los sellos dañados fuga externa de aceite hidráulico**

Fuente. Autor del proyecto

En las fotografía se puede observar un cilindro de nivelación con fuga externa por los sellos ambos con derrames de aceite hidráulico.

3.1.3.1. 2. *Estudio y Verificación de las Causas Humanas.* Una vez teniendo en cuenta que las posibles causas que llevan a la ruptura de los sellos de los cilindros es la mala posición del equipo se determinan tres factores que influyen a que esta mala operación en el equipo continúe.



**Grafica 12. Verificaciones de las causas humanas**

Fuente. Autor del proyecto

- no se prepara el terreno con un nivel adecuado para realizar las perforaciones.
- falta de capacitación a los operadores acerca del nivel correcto y adecuado al que se debe poner en operación el equipo.

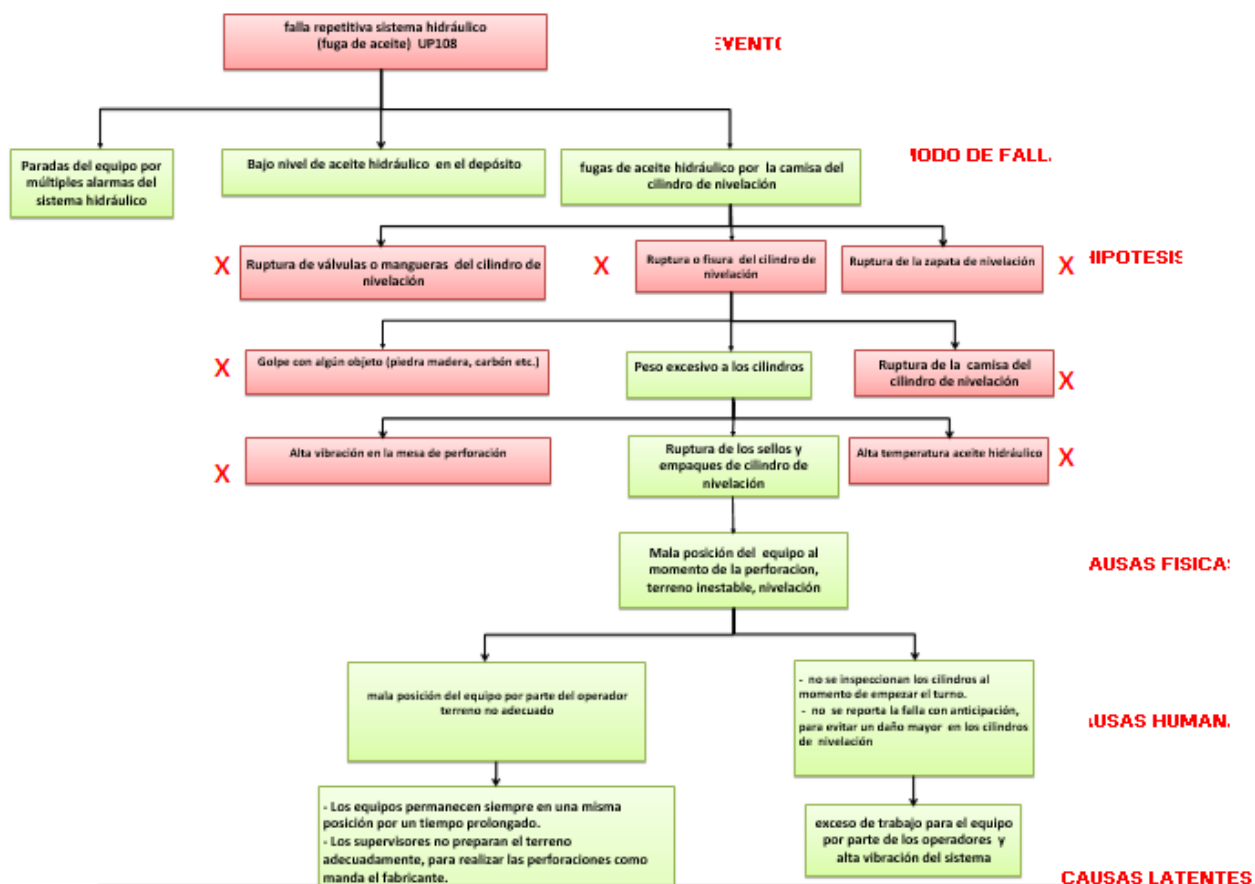


- No reportan las fallas con anticipación lo que hace que el daño continúe y el equipo caiga Down, y se tenga que cambiar el cilindro generando pérdidas tanto en la producción como económicas debido a que debe de instalarse uno nuevo, porque determino la gerencia según estudios del grupo de compras de la empresa, que sale más económico la instalación de un cilindro nuevo que su reparación.

Para el estudio de las causas humanas en la empresa se determinó que no se realiza una rutina adecuada de mantenimiento e inspección al iniciar el turno por parte de los operadores y supervisores. Y el terreno es muy inestable lo que genera desequilibrio en el equipo al momento de empezar la perforación.

*3.1.3.1. 3. Estudio y Verificación de Causas Latentes.* Para solucionar el problema de raíz se deben atacar las causas latentes que se encuentren al final del análisis, ya que estas son quienes realmente ocasionaron la cadena de eventos que produjeron la falla.

Las causas latentes identificadas para la causa física (Mala posición del equipo al momento de la perforación, terreno inestable, nivelación inadecuada) fueron las siguientes:



**Grafica 13. Causas latentes**

Fuente. Autor del proyecto

- Los equipos permanecen siempre en una misma posición por un tiempo prolongado. se ignoran las indicaciones de operación del fabricante.
- Los supervisores no preparan el terreno adecuadamente, para realizar las perforaciones como manda el fabricante.
- falta capacitación para los operadores para que ubiquen el equipo de forma adecuada y con la nivelación que indica el fabricante.
- No se reportan las fallas con anticipación para evitar una falla mayor en el cilindro.

El árbol lógico de fallas que resulto al final del análisis RCA, de la cantidad de eventos presentados en el sistema hidráulico del perforador DML UP108. Arrojo que la causa principal de que se presentaran ruptura en los sellos de los cilindros de nivelación fue por causa de la mala operación de los equipos por partes de los operadores y que los factores más relevantes que influyeron fueron los siguientes:

Mala posición de los equipos en el terreno de perforación , falta nivelación del terreno y inestabilidad del mismo, falta de capacitación de los operadores , evidenciado en los pasos que se siguieron en el análisis RCA para llegar a las recomendaciones finales del proceso de eliminación de mal actor en los perforadores **DML UP108** de mina la jagua.

**3.1.3.2. Actividad 2** Proponer soluciones de mejoras para reducir o mitigar las causas de fallas analizadas.

#### *3.1.3.2.1. Recomendaciones para la eliminación del mal actor*

Las recomendaciones fueron formuladas de acuerdo a las causas latentes encontradas en las fallas de los eventos repetitivos por el sistema hidráulico, con estas se busca solucionar el problema de una forma definitiva, minimizar costos de mantenimiento, mejorar la disponibilidad de los equipos, disminuir pérdidas de producción por paradas y económicas por la compra del componente. Estas recomendaciones estarán dirigidas a las personas que operan y supervisan el trabajo de estos equipos en el campo.

Tabla 23.

**Recomendaciones**

CAUSAS LATENTES	RECOMENDACIONES
Los equipos permanecen siempre en una misma posición por un tiempo prolongado.se ignoran las indicaciones de operación del fabricante.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Seguir las instrucciones del fabricante para su correcta operación.</li> <li>2. Los operadores deben Informar a los supervisores por alguna duda en el funcionamiento del equipo</li> </ol>
Los supervisores no preparan el terreno adecuadamente, para realizar las perforaciones como manda el fabricante.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Antes de empezar las labores de perforación. el terreno se debe prepararse, pisarse y nivelarlo para que el equipo se instale de forma correcta.</li> </ol>
Falta capacitación para los operadores para que ubiquen el equipo de forma adecuada y con la nivelación que indica el fabricante.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No se capacitan a los operadores acerca de la nivelación adecuada que debe tener el equipo para realizar las perforaciones.</li> <li>2. En algunos casos los supervisores tampoco son capacitados lo que impide que la tarea se realice adecuadamente.</li> <li>3. La empresa ATLAS COPCO debe de enviar personal profesional para que capaciten a los operadores y supervisores para el uso adecuado de estos equipos.</li> </ol>
No se reportan las fallas con anticipación para evitar una falla mayor en el cilindro.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El operador debe reportar cualquier anomalía en el equipo en especial emanaciones de aceite hidráulico. Ya que esto es señal del equipo pose un daño interno.</li> <li>2. Se debe tener una mayor reserva de estos cilindros, para evitar un mayor tiempo Down en la producción.</li> </ol>

Nota. Recomendaciones. Fuente. Autor del proyecto

De acuerdo al estudio realizado y a la identificación del mal actor el grupo de planeación de mantenimiento mina la jagua realizaron algunas recomendaciones y acciones inmediatas para mitigar o reducir la cantidad de eventos Down por daños en el cilindro de nivelación de las cuales se realizaron las siguientes:

Tabla 24.

**Acciones de mejora y actividades**

<p>Recomendación: Seguir las instrucciones del fabricante para su correcta operación.</p> <p>Acción de mejora : uso obligatorio de manuales de operación en el equipo</p> <p>Actividades: socialización con los operadores de los equipos acerca del uso de los manuales de operación y su uso Inspección semanal a los equipos en especial el UP108 por parte de delegados del grupo de mantenimiento mina la jagua. Se interactuó con los fabricantes y se empezó realizar un estudio de tallado del material de los sellos y empaques de los cilindros y si es posible realizar algunas mejoras en su diseño.</p>
<p>Recomendación: Antes de empezar las labores de perforación el terreno se debe prepararse, pisarse y nivelarlo para que el equipo se instale de forma correcta.</p> <p>Acciones de mejora: inspección de los supervisores del terreno de perforación Cada vez que se prepara un terreno de perforación se debe preparar de manera adecuada con el nivel recomendado. Ubicar el equipo en zonas donde el terreno sea estable para evitar hundimientos del mismo. Capacitación a los operadores, supervisores y personal de mantenimiento por parte de delegados de la marca ATLAS COPCO</p>
<p>Recomendación: El operador debe reportar cualquier anomalía en el equipo en especial emanaciones de aceite hidráulico. Debido a que esto es señal del equipo posee un daño interno.</p> <p>Acciones de mejora : capacitación y socialización de mal actor con los operadores del equipo perforador UP108 Teniendo en cuenta que los operadores son los directamente involucrados en la operación de la máquina y son los primeros que detectan cualquier anomalía en el equipo. Para ello se socializo con ellos el problema que viene presentando la máquina y se estipulo como una revisión rutinaria que deben incluirla en el pre operacional por cada cambio de turno. Los supervisores deberán de hacer dos inspecciones por días a los CILINDROS DE NIVELACION y reportar el estado en que se encuentre.</p>

Nota. Acciones de mejora. Fuente. Autor del proyecto

**3.1.3.3 Actividad 3.** Plantear un plan de contingencia con anticipación en caso que los componentes no puedan ser reparados y la falla reincida.

En caso de que la falla se continúe presentado y sea inevitable la falla en los cilindros de nivelación en el perforador UP108, teniendo en cuenta la producción y el MTTF Y MTTR deben tener en cuenta los siguientes pasos:

- Crear un grupo de mantenimiento de apoyo cercano a la ubicación del perforador para que cuando el equipo caiga Down se menor el MTTR y continúe el equipo en operación.
- El grupo debe contar con componentes con eminencia de falla como CILINDROS DE NIVELACION, mangueras, uniones, válvulas, racores y equipos para realizar labores de soldadura, ensamble, arme y desarme.
- Se debe tener una mayor reserva de estos cilindros, para evitar un mayor tiempo Down del equipo que me afecte la producción.
- Siguiendo estos pasos se podrá mitigar el tiempo de reparación pero no se podrá acabar el problema de raíz y se deberá seguir en caso de que el problema continúe y no se presente ninguna mejora.

### ***Presentación de Resultados***

*Resultados análisis RCA (Análisis Causa Raíz).* De acuerdo a las recomendaciones planteadas anteriormente se tomó la decisión por parte del departamento de planeación en cabeza del superintendente Rodny Jaramillo en hacer un mayor seguimiento al mal actor que viene presentando el equipo y en solicitar capacitaciones a los supervisores y operadores para que realicen a cabalidad las inspecciones diarias anteriormente planteadas y llevar un mejor control de las operaciones. Acatando a estas órdenes transmitidas por la gerencia se lograron en el último mes de enero una disminución en la cantidad de eventos, tanto para el sistema como para el componente como se muestran a continuación:

### Tiempo promedio entre fallas (MTBF) vs tiempo promedio entre paradas (MTBS)

DML	UP108												
	CANTIDAD DE EVENTOS PARA EL MTBS / Hrs Mes / MTBS												
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero
Cant Eventos		16	23	20	20	15	23	22	28	19	23	23	23
Hrs Oper		213	285	304	365	270	400	452	328	346	212	291	355
MTBS - UP108		13	12	15	18	18	17	21	12	18	9	13	15

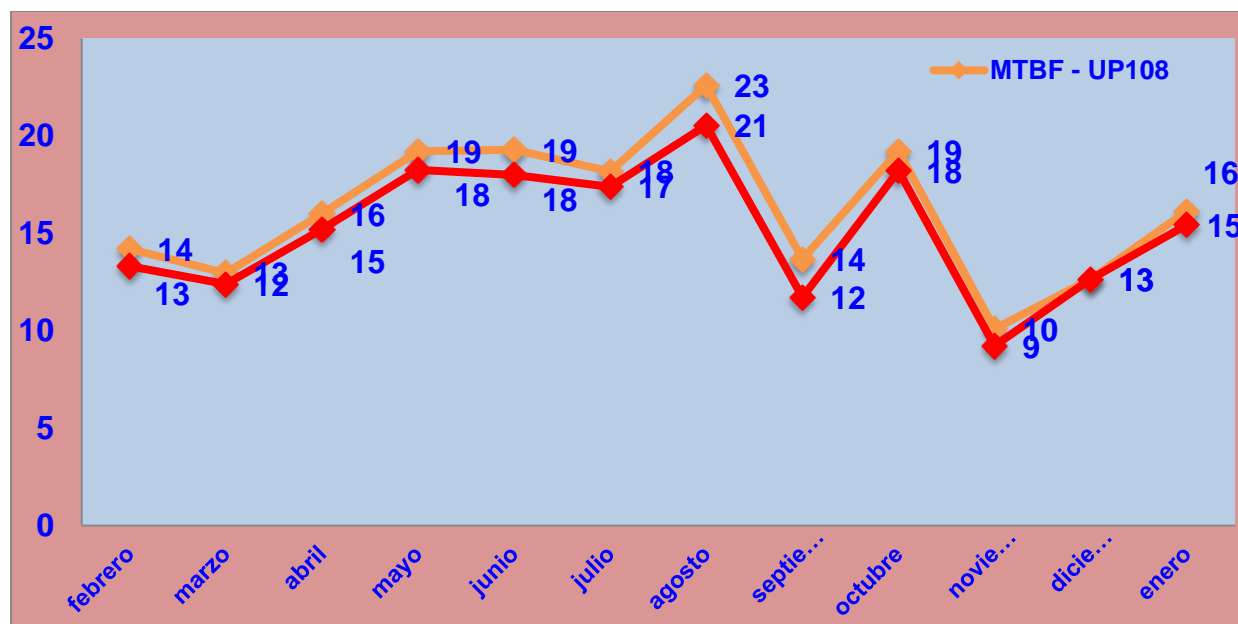
### Imagen 22. Tiempo Promedio Entre Paradas UP108 (MTBS)

Nota. Fuente. Autor del proyecto

DML	UP108												
	CANTIDAD DE EVENTOS PARA EL MTBF / Hrs Mes / MTBF												
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero
Cant Eventos		15	22	19	19	14	22	20	24	18	21	23	22
Hrs Oper		213	285	304	365	270	400	452	328	346	212	291	355
MTBF - UP108		14	13	16	19	19	18	23	14	19	10	13	16

### Imagen 23. Tiempo promedio entre fallas horas por sistema UP108 (MTBF)

Nota. Fuente. Autor del proyecto



**Figura 20. MTBS vs MTBF para el mes de enero 2017**

Fuente. Autor del proyecto

En la gráfica podemos observar que los indicadores de confiabilidad tuvieron un leve aumento, incrementando el MTBS de 13 horas promedio por parada a 15 horas y por ende aumentando MTBF de un promedio de 13 horas en diciembre a 16 horas en el primer mes del 2017, debido a que se realizó un PM prolongado al equipo en el mes de enero.

Así mismo Las horas operacionales en el equipo aumentaron de 291 horas en diciembre a 355 en enero de 2017.



Tabla 25.

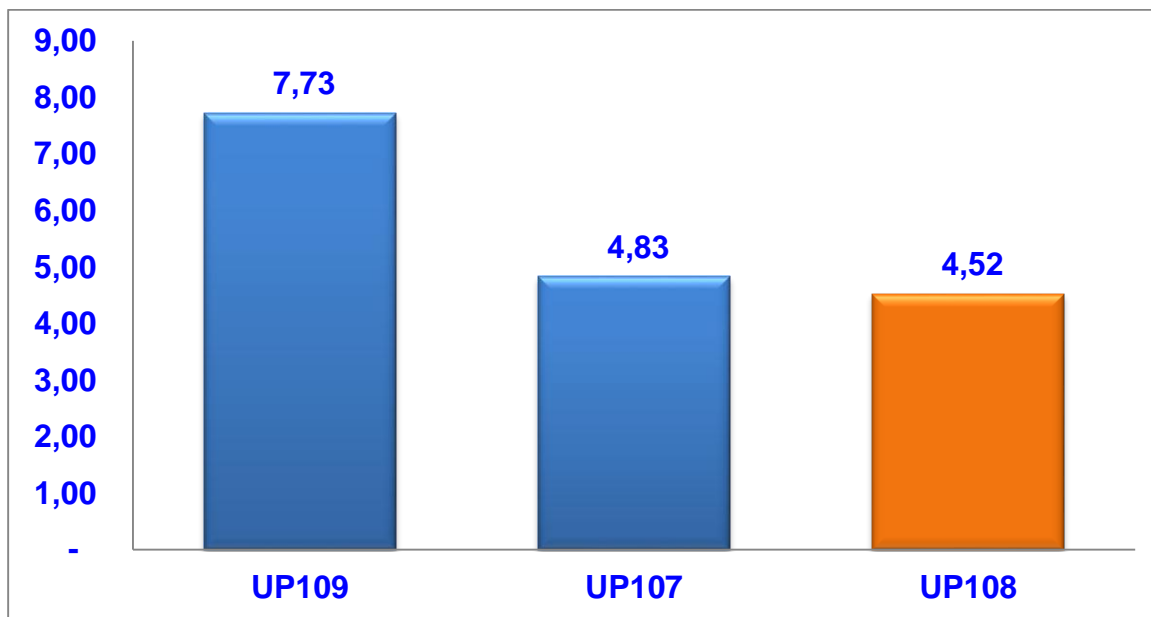
## Tiempo promedio de reparación (MTTR) por equipos para el mes de enero 2017

ORIGEN	Mantenimiento
TIPO DE PARADA	No Planeada
Año	2017
Mes del Año	enero
FLOTA	DML

## Promedio de TTR

EQUIPO	Total
UP109	7,73
UP107	4,83
UP108	4,52
<b>Total general</b>	<b>5,58</b>

Nota. Fuente. Autor del proyecto



Grafica 14. MTTR mes de enero de 2017

Fuente. Autor del proyecto

Analizando la gráfica hubo una mejora notable en el tiempo promedio de reparación por paradas paso de tener en diciembre de 2016 un total de 14.14 a 4.52 en el mes de enero de 2017.

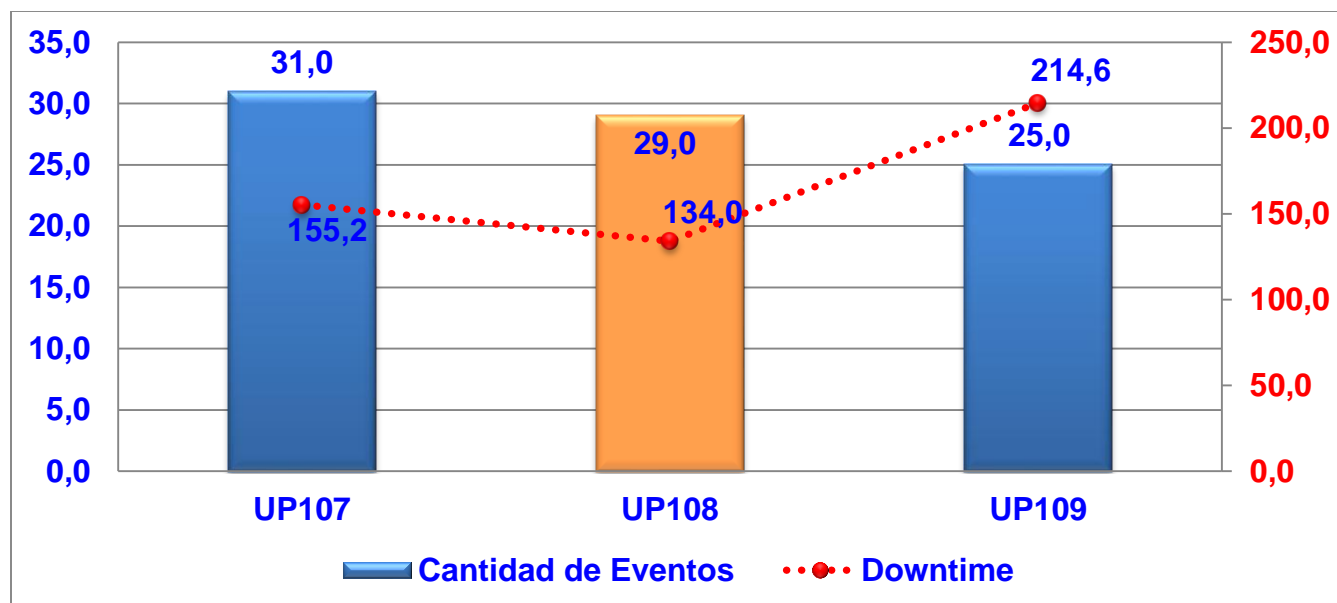
### Eventos Down por equipos DML

Tabla 26.

#### Eventos Down por equipo

ORIGEN	Mantenimiento
TIPO DE PARADA	No Planeada
TIPO DE FALLA	(Varios elementos)
Año	2017
Mes del Año	enero
FLOTA	DML
	<b>Valores</b>
<b>EQUIPO</b>	<b>Cantidad de Eventos</b>
UP107	31,0
UP108	29,0
UP109	25,0
<b>Total general</b>	<b>85,0</b>

Nota. Fuente. Autor del proyecto



Gráfica 15. Cantidades de eventos Down por equipo

Fuente. Autor del proyecto

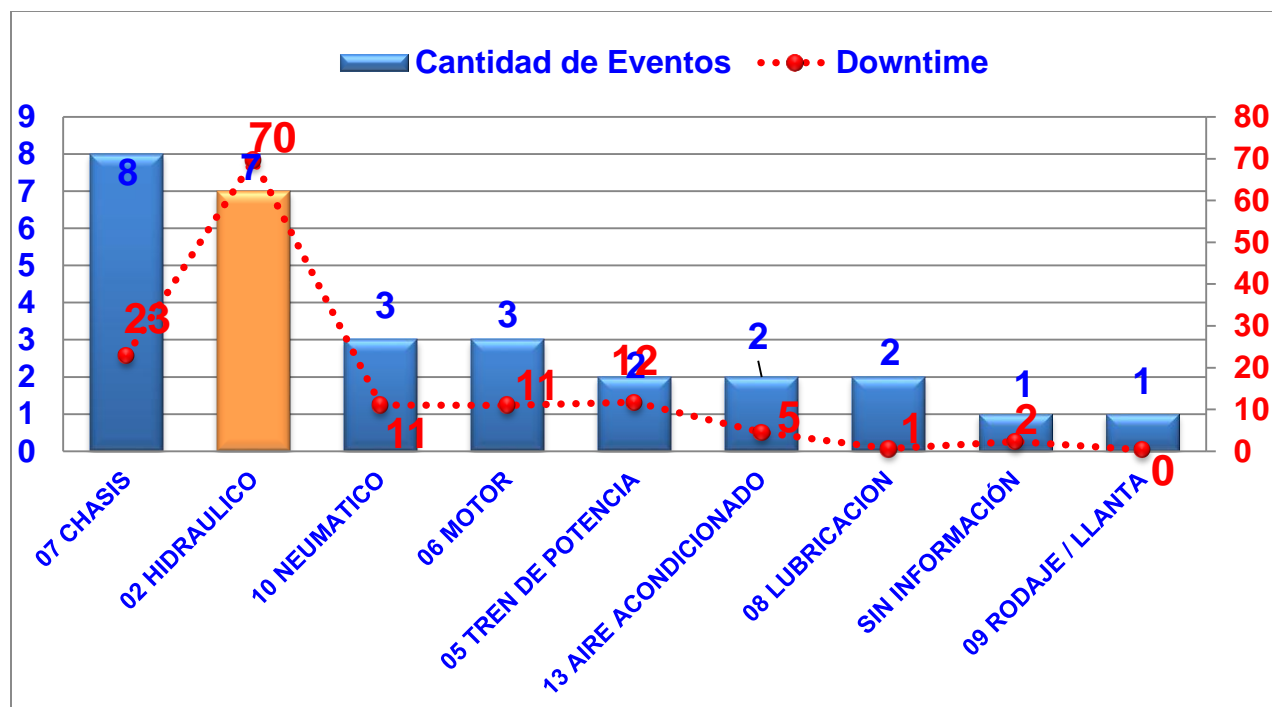
De la gráfica podemos concluir que en el mes de enero de 2017 UP108 redujo la cantidad de eventos a 29 en comparación con UP107 con 31 y el UP109 con 25 eventos en el mes.

Tabla 27.

## Cantidad de eventos Down por sistema

FLOTA	DML		
EQUIPO	UP108		
TIPO DE FALLA	(Varios elementos)		
TIPO DE PARADA	No Planeada		
ORIGEN	Mantenimiento		
Año	2017		
Mes del Año	enero		
	<b>Valores</b>		
<b>SISTEMA</b>		<b>Cantidad de Eventos</b>	<b>Downtime</b>
07 CHASIS		8	23
02 HIDRAULICO		7	70
10 NEUMATICO		3	11
06 MOTOR		3	11
05 TREN DE POTENCIA		2	12
13 AIRE ACONDICIONADO		2	5
08 LUBRICACION		2	1
SIN INFORMACIÓN		1	2
09 RODAJE / LLANTA		1	0
<b>Total general</b>		<b>29</b>	<b>134</b>

Nota. Fuente. Autor del proyecto



**Grafica 16. Cantidades de eventos Down por sistema**

Fuente. Autor del proyecto

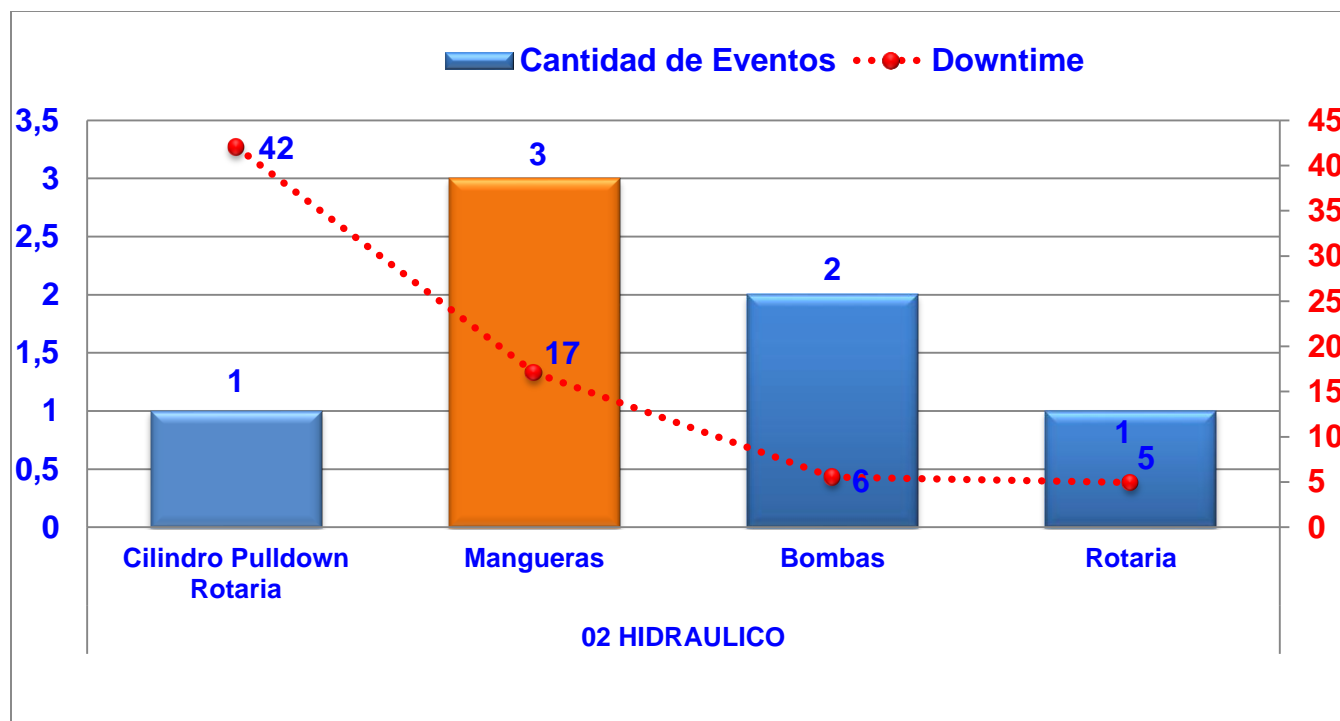
En el gráfico se puede apreciar que hubo una notable mejora en el sistema hidráulico teniendo en cuenta la cantidad de eventos que venía presentando a lo largo del año 2016. Paso de 8.6 en promedio de eventos a 8 lo que muestra una mejora notable en el sistema del equipo.

Tabla 28.

## Cantidad de eventos Down por componentes

FLOTA	DML		
TIPO DE			
PARADA	No Planeada		
ORIGEN	Mantenimiento		
EQUIPO	UP108		
Año	2017		
Mes del Año	enero		
		<b>Valores</b>	
<b>SISTEMA</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>Cantidad de Eventos</b>	<b>Downtime</b>
<b>02</b>			
<b>HIDRAULICO</b>	Cilindro Pulldown Rotaria	1	42
	Mangueras	3	17
	Bombas	2	6
	Rotaria	1	5
<b>Total general</b>		<b>7</b>	<b>70</b>

Nota. Fuente. Autor del proyecto



**Grafica 17. Cantidades de evento Down por componentes**

Fuente. Autor del proyecto

De acuerdo a la gráfica podemos deducir que en el mes de enero 2017 no se presentó un solo evento que me involucrara el cilindro de nivelación lo que se pudo concluir que se acataron las recomendaciones anteriormente planteadas y se llevó acabo los planes de mejora para el perforadorUP108.

## Capítulo 4. Conclusiones

Las técnicas RIN (RELIABILITY INFORMATION MANAGEMENT) y el reconocimiento en taller de los diferentes equipos de la flota NO MARA de mina La Jagua, ayudaron al estudio y la identificación de los diferentes sistemas, subsistemas y componentes que están presentes en cada equipo. Su funcionamiento, código de identificación, nombre y su función dentro de la mina. Estas técnicas también permitieron clasificar los equipos de acuerdo al nivel de criticidad de cada flota y su importancia para la producción en la misma.

Teniendo en cuenta los indicadores MTBS, MTBF Y MTTR siendo los que nos muestra un diagnóstico real del rendimiento de la flotas, nos permitió identificar cual es la flota que está por debajo de su nivel de disponibilidad, lo cual nos llevó a la actualización mes a mes de la información con la ayuda de las técnicas RIN que permitieron la realización de un estudio más profundo del problema donde nos permite identificar aspectos determinantes para identificar de manera específica los malos actores tales como:

La flota más crítica, el equipo que más presento horas de paradas dentro de la misma, el sistema y subsistema que más fallaron y el componente que más presento averías.

Gracias a estos estudios y a la identificación del equipo y mal actor, esto nos llevó a la aplicación de una técnica llamada análisis causa raíz (RCA), que por medio de un método llamada árbol lógico de fallas permitió determinar cuál era el mal actor y la causa principal que permitía una falla repetitiva en el componente. Este estudio nos llevó a tomar una serie de recomendaciones que se pusieron en práctica dentro de la empresa lo cual ayudo a disminuir el



mal actor en el equipo y mostrar resultados positivos para la producción y la mantenibilidad del equipo dentro de la empresa.

## Capítulo 5. Recomendaciones

Con la realización de este proyecto que consistió en el estudio y elaboración de procesos para la medición de los indicadores de confiabilidad a las diferentes flotas de equipos mineros de mina LA JAGUA, se plantean las siguientes recomendaciones.

Mayor capacitación al personal de mantenimiento teniendo en cuenta el impacto de los indicadores de confiabilidad para la producción de la compañía.

Llevar un control diario de los reportes de eventos Down teniendo en cuenta que la empresa los analiza es cada mes, lo cual se llevan a tomar decisiones muy tardes para solucionar problemas críticos que involucran la producción y el costo de mantenibilidad.

Analizar y clasificar de manera correcta los reportes por parte del personal de base uno (DISPASH), ya que un gran porcentaje de estos son erróneos o sin información lo cual lleva al personal de planeación a no ser tan certeros en la medición de indicadores de confiabilidad.

No se tienen en cuenta las demoras del personal de mantenimiento desde que se reporta la falla hasta el momento que se interviene un equipo ya se en campo o taller, teniendo en cuenta que este cálculo es un factor importante para la mediación del rendimiento de los mismos.

Se utilizan malas prácticas operacionales por parte de los operadores ignorando los manuales de funcionamiento del equipo.

No se lleva un seguimiento ni control adecuado con los formatos pre operacionales diarios que realizan los operadores antes de empezar los turnos evidenciando problemas y fallas en el equipo.

Los operadores deben Informar a los supervisores por alguna duda en el funcionamiento del equipo que se le asigne.

## Referencias

- ATLAS COPCO. (2016). *PARTS LIST MODEL DML*. CALIFORNIA.
- Augusto, T. L. (2012). *GESTION DE ACTIVOS PARA EL MANTENIMIENTO . CONEXIONMANTENIMIENTO.COM*, 7.
- GECOLSA CAT. (30 de NOVIEMBRE de 2010). *GUÍA DE INTERPRETACIÓN Y ACCIÓN DE MÉTRICAS DE PROCESOS DE MANTENIMIENTO Y REPARACION*. En *GUIA CATERPILLAR*.
- GUIA DE LOS FUNDAMENTOS DE MANTENIMIENTO Y COMFIABILIDAD*. (2014). Recuperado el 20 de 12 de 2016, de CGMC\_ACIEM: [http://www.aciem.org/home/images/CDN/CGMC\\_ACIEM/Guia\\_Fundamentos.pdf](http://www.aciem.org/home/images/CDN/CGMC_ACIEM/Guia_Fundamentos.pdf)
- Hernando, M. V. (2011). *aplicacion de la metodologuia Analisis Causa raiz para la eliminacion de un mal actor en equipos criticos de la som ecopetrol S.A*. BUCARAMANGA COLOMBIA .
- L., O. (2016). *PLJ MAINTENANCE ORG. MC-MTTO-01A/V4*.
- LABORATORIO Mobilserv. (20 de enero de 2017). Bogotá COLOMBIA.
- MOUBRAY, J. (s.f.). *MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD Segunda Edicion*. Industrial Press Inc.
- PEREZ, J. A. (2016). *REESTRUCTURACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN SOLINOFF CORP. S.A. PARQUE INDUSTRIAL GALICIA, FUNZA, CUNDINAMARCA*. OCAÑA N.S.
- PRODECO, G. (2016). *prodeco en pro de colombia*. Obtenido de <http://www.prodeco.com.co/index.php/es/quienes-somos/nuestras-operaciones/mina-la-jagua/>
- PRODECO, L. I. (2016). *CONECTADOS*. Obtenido de <http://conectados/SitePages/Default.aspx>
- S.A, G. P. (2017). *PASOS ARBOL LOGICO DE FALLAS* .

## Apéndices

### Apéndice 1. Nota Base de datos eventos Down flota NO MARA

FECHA DE REPORTE dd/mm/aa	EQUIPO	FLOTA	SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	TIPO DE FALLA	TIPO DE PARADA	ORIGEN
25/11/2016	DT026	777F	07 CHASIS	07 ESTRUCTURAL MAQUINA	Barra Estabilizadora	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	DT026	777F	07 CHASIS	07 ESTRUCTURAL MAQUINA	Barra Estabilizadora	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	DT027	777F	01 ELECTRICO	01 ARRANQUE Y CARGA		Eléctrica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	DT029	777F	07 CHASIS	07 IMPLEMENTOS ESTRUCTURAL	Tolva	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	EH066	RH120E	01 ELECTRICO		Cableado	Eléctrica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	EH067	RH120E	08 LUBRICACION		Mangueras	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	UP105	DM45E	02 HIDRAULICO	02 PERFORACION	Rotaria	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	UP105	DM45E	02 HIDRAULICO		Sin información	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	UP108	DML	02 HIDRAULICO	02 PERFORACION	Cilindro Pulldown Rotaria	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	UP108	DML	06 MOTOR	06 COMBUSTIBLE MOTOR		Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	UP108	DML	02 HIDRAULICO	02 PERFORACION	Cilindro Pulldown Rotaria	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	UP108	DML	02 HIDRAULICO	02 IMPLEMENTOS HIDRAULICOS	Cilindro Nivelación	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	UP109	DML	07 CHASIS	07 IMPLEMENTOS ESTRUCTURAL	Zapata de Nivelación	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	UP109	DML	10 NEUMATICO	10 AIRE DE PERFORACION	Valvulas	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	UP109	DML	07 CHASIS	07 IMPLEMENTOS ESTRUCTURAL	Zapata de Nivelación	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	MG079	16H	07 CHASIS	07 CABINA	Tablero/panel de instrumentos	Eléctrica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	T092	D9T	02 HIDRAULICO		Sin información	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	T093	D9T	08 LUBRICACION		Sin información	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	T098	D9T	08 LUBRICACION		Sin información	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	T101	D9T	09 RODAJE / LLANTA		Eje Pivote	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	T102	D10T	07 CHASIS	07 CABINA	Limpiabrisas	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	T103	D10T	13 AIRE ACONDICIONADO		Correas	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	T107	D10T	07 CHASIS	07 CABINA	Limpiabrisas	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	WD113	834H					Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	WD114	834H	13 AIRE ACONDICIONADO		Sin información	Sin Información	No Planeada	Mantenimiento
25/11/2016	WL115	988H	06 MOTOR	06 COMBUSTIBLE MOTOR		Operación	No Planeada	Operación
25/11/2016	WL119	420E	13 AIRE ACONDICIONADO		Filtros	Mecánica	No Planeada	Mantenimiento

FECHA Y HORA DE PARO hh:mm	FECHA Y HORA DE ARRANQUE (O fin del día) hh:mm	DOWNTIME TOTAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	COMENTARIOS RELACIONADOS A LA FALLA/PARADA
25/11/2016 6:14 PM	25/11/2016 6:34 PM	0,35	Desajuste		44300/barra estabilizadora/parq sur
25/11/2016 7:05 PM	25/11/2016 8:32 PM	1,45	Rotura/Fisura		--> SMU: 44300 - CAMBIO DE TORNILLO A BARRA ESTABILIZADORA<--
25/11/2016 10:11 AM	25/11/2016 10:38 AM	0,47	No da encendido		--> Smu: 48389 Se da inicio <--
25/11/2016 7:48 PM	25/11/2016 9:55 PM	2,10	Se bloquea		--> SMU: 50711 - CALIBRACION CAIDA DE TOLVA<--
25/11/2016 3:14 PM	25/11/2016 4:25 PM	1,18			--> Smu: 37350 Se corrige falso contacto en arnes de los sensores de iniciador de sistema de grasa<--
25/11/2016 6:13 PM	25/11/2016 7:30 PM	1,28	Rotura/Fisura		--> SMU: 50306 - CAMBIO DE 2 LINEAS DE GRASA DEL BALDE<--
25/11/2016 11:07 AM	25/11/2016 1:06 PM	1,98	Se bloquea		--> SMU: 3797 SE CALIBRA POTENSIOMETRO DE LA ROTARIA<--
25/11/2016 7:06 PM	25/11/2016 8:03 PM	0,93	Fuga de aceite hyd		--> SMU: 3801 - SE COMPLETA NIVEL DE HYD Y MOTOR<--
25/11/2016 3:01 AM	25/11/2016 3:49 AM	0,82	Fuga de aceite hyd		--> Smu: 6724 Hrs. Evaluar fuga de aceite por cilindro del poll down; fuga monitoreable<--
25/11/2016 3:49 AM	25/11/2016 5:10 AM	1,35	Fuga de aceite motor		NO LE HICIERON LA REPARACION DE LA FUGA, MITO AUTORIZA LAABORAR EN ESTAS CONDICIONES.
25/11/2016 8:45 AM	25/11/2016 8:54 AM	0,13	Inspecciones		--> Inspección de fuga por el pull down<--
25/11/2016 2:32 PM	29/11/2016 2:10 PM	95,63	Movimiento anormal		--> Smu: 6730 Evaluación por movimientos del cilindro de nivelación<--
25/11/2016 12:59 AM	25/11/2016 1:34 AM	0,58	Ausencia de componente/subcomponente		--> Smu: 17667 Hrs. Instalar tornillo de zapata del cilindro de nivelacion lado cabina<--
25/11/2016 2:28 AM	25/11/2016 3:20 AM	0,87	Obstrucción		--> Smu: 17669 Hrs. Evaluar aire de la rotaria; no cierra; se lubrica valvula de mariposa de la unidad compr
25/11/2016 8:13 PM	25/11/2016 9:45 PM	1,52	Rotura/Fisura		-->SMU: 17688 - TORNILLO CILINDRO DE ZAPATA DE NIVELACION LADO COLECTOR + CAMBIO DE ECM
25/11/2016 3:40 PM	25/11/2016 4:18 PM	0,63	Desajuste		--> Smu: 35383 Se Ajustó consola principal <--PROBLEMA CON LA CONSOLA DE LOS MANDOS, SE ABF
25/11/2016 6:14 PM	25/11/2016 7:21 PM	1,10	Bajo nivel		--> SMU: 51710 - SE COPPLETA NIVEL HYD<--
25/11/2016 10:11 AM	25/11/2016 10:19 AM	0,15	Bajo nivel		LUBRICACION
25/11/2016 6:11 PM	25/11/2016 8:01 PM	1,85	Bajo nivel		--> SMU: 7108 - COMPELTA NIVEL ACEITE HYD Y MOTOR<--
25/11/2016 6:14 PM	25/11/2016 6:43 PM	0,48	Bajo nivel		--> SMU: 11429 - SE COMPLETA NIVEL DE EJE PIVOTE<--
25/11/2016 12:27 AM	25/11/2016 3:02 AM	2,58	No funciona		Plumillas / B5
25/11/2016 10:37 PM	26/11/2016 4:22 AM	5,77	No enfria		AIRE ACONDICIONADO, FUGA POR EL RADIADOR/B5
25/11/2016 12:21 AM	25/11/2016 12:53 AM	0,53	No funciona		Plumillas / B5
25/11/2016 4:59 AM	28/11/2016 4:51 PM	83,88	PM		--> SMU: 47314 Hrs. PM2 + BACKLOGS + corregir fuga de aceite por la transmision + cambiar harness de
25/11/2016 2:00 PM	25/11/2016 4:57 PM	2,95	No enfria		--> Smu: 39423 Se cambió abrazadera del turbo + se cambió filtros del aire acondicionado<--
25/11/2016 6:00 AM	25/11/2016 6:10 AM	0,17	Bajo nivel		FALTA DIESEL
25/11/2016 6:40 AM	25/11/2016 8:19 AM	1,85	No enfria		--> Smu: 7878 Se cambió filtros de aire acondicionado + filtros de admisión<--

Fuente; autor

Apéndices 2. Camión CATERPILLAR 793C Mina LA JAGUA



Fuente. Autor

Apéndice 3. Camiones CATERPILLAR 777 F mina LA JAGUA



Fuente. Autor

Apéndice 4. PALAS TEREX RH120E mina LA JAGUA



Fuente. Autor



Apéndice 5. Perforador ATLAS COPCO DML



Fuente. Autor

## Apéndice 6. Encuesta para el análisis de criticidad

 <p>la jagua UNA OPERACIÓN DEL GRUPO PROCESOS</p>	<b>FORMATO PARA ENCUESTA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD</b>	Vigencia: Versión:
--	--	-----------------------

FECHA: \_\_\_\_\_ ENCUESTADO: \_\_\_\_\_  
MÁQUINA: \_\_\_\_\_ CÓDIGO: \_\_\_\_\_  
ÁREA: \_\_\_\_\_

1. FRECUENCIA DE FALLA (TODO TIPO DE FALLA)		2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	
No más de 1 por año	1	Menos de 4 horas	1
Entre 2 y 10 por año	2	Entre 4 y 8 horas	2
Entre 11 y 20 por año	3	Entre 8 y 24 horas	3
Más de 21 por año	4	Más de 24 horas	4
3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN		4. COSTO REPARACIÓN (MILLONES DE PESOS)	
No afecta la producción	1	Menos de 1 millón	1
25% de impacto	2	Entre 1 y 3 millones	2
50% de impacto	3	Entre 3 y 6 millones	3
75% de impacto	4	Más de 6 millones	4
La afecta totalmente	5		
5. IMPACTO AMBIENTAL		6. IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL	
No origina ningún impacto ambiental.	1	No origina heridas ni lesiones	1
Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de la planta	2	Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días.	2
Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta	3	Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente.	3
Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, procesos sancionatorio	4	Ocasiona lesiones irreversibles	4

Fuente. (JOHAN, 2016)

Apéndice 7. Perforador up108 taller PLJ



Fuente. Autor

Apéndice 8. Fotografía Cilindro Nivelación Perforador DML ATLAS COPCO.



**Fuente. Autor**