

**UNIVERSIDAD ANTONIO RUIZ DE MONTOYA**

Facultad de Ingeniería y Gestión



**PROPUESTA DE MEJORA BASADA EN EL MÉTODO RCM PARA  
INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LOS  
CAMIONES 797F EN UNA UNIDAD MINERA EN LA REGIÓN  
APURÍMAC**

Trabajo de Investigación para optar el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería  
Industrial

**YONATHAN AQUEPUCHO SAPACAYO**

**GODO DAVID COAQUIRA FUENTES**

Asesor

**José Javier Zavala Fernández**

**Lima – Perú**

**Junio de 2020**

## EPÍGRAFE

“Si tu no trabajas por tus sueños, alguien te contratara para que trabajes por los suyos” -

Steve Jobs.



## **DEDICATORIA**

A Dios en primer lugar y nuestras familias, por su apoyo incondicional a durante el desarrollo de este trabajo. Por sus consejos, sus palabras de aliento y amor abnegado que nos han motivado siempre a buscar la mejora en nuestra vida espiritual, personal y profesional. A nuestros asesores por su continuo apoyo, orientación, críticas y recomendaciones en el desarrollo de este trabajo.

## RESUMEN

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo general: Desarrollar una propuesta de mejora en el área de mantenimiento basado en el método mantenimiento centrado en Confiabilidad RCM para incrementar la disponibilidad mecánica de los camiones 797F en una unidad minera ubicada en la región Apurímac.

En la primera instancia, se procedió a la ejecución de un diagnóstico de la situación actual de la empresa en el proceso de mantenimiento camiones de acarreo 797F en la unidad minera ubicada en la región de Apurímac. El diagnóstico que se realizaron eran considerados de mayor problemática en la empresa, ocasionando pérdidas considerables. Luego de concluir la primera parte del proceso de identificación de problemas, se procedió realizar la redacción del diagnóstico de la empresa. Por lo que se tomó en cuenta los índices de disponibilidad de la flota de 40 equipos Caterpillar.

De acuerdo a los análisis de los índices de disponibilidad mecánica. A su vez posteriormente se implementó planes de mejora para incrementar y lograr una alta disponibilidad y confiabilidad y por ende la baja producción. Obteniéndose una comparación favorable para la empresa (costos con propuesta y costos actuales).

**Palabras clave:** Disponibilidad, confiabilidad, RCM.

## **ABSTRACT**

The general objective of this work was the development of an improvement proposal in the maintenance area based on the RCM method to increase the mechanical availability of the 797f trucks in a mining unit in the Apurímac region.

First of all, a diagnosis was made of the current situation of the company in the maintenance process in the mining unit located in the Apurímac region. Since it was diagnosed that they were the most problematic in the company, causing considerable losses.

After completing the first stage of problem identification, the company's diagnosis was drafted, taking into account the availability indexes of the 40 Caterpillar equipment fleet.

According to the analysis of the mechanical availability indexes, afterwards, improvement plans were implemented to increase the low availability and reliability and therefore the low production. Obtaining a favorable comparison for the company (costs with proposal and current costs).

**Keywords:** Availability, reliability, RCM.

## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	4
RESUMEN.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
INTRODUCCIÓN.....	16
CAPÍTULO I: GENERALIDADES .....	17
1.1. Realidad problemática.....	17
1.2. Formulación del Problema para el trabajo de investigación.....	18
1.3. Objetivos del trabajo de investigación.....	18
1.3.1.    Objetivo general del trabajo de investigación.....	18
1.3.2.    Objetivos Específicos del trabajo de investigación.....	18
1.4. Justificación académica.....	18
1.5. Justificación cualitativa.....	18
1.6. Justificación social.....	19
1.7. Justificación económica.....	19
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO .....	20
2.1. Mantenimiento centrado en confiabilidad-rcm.....	20
2.2. Evolución del proceso de RCM.....	21
2.3. Preguntas básicas del RCM (7 preguntas).....	22
2.4. Tipos de mantenimiento para equipos y/o maquinarias.....	23
2.4.1.    Correctivo.....	23
2.4.2.    Preventivo .....	23
2.4.3.    Predictivo .....	23
2.4.4.    Overhaul.....	23
2.4.5.    Pre inspección .....	24
2.5. Cultura de mantenimiento.....	24
2.5.1.    Concepto de Falla.....	24

2.5.2.	¿Que son los Modos de fallas?.....	24
2.6.	Modelos de mantenimiento en equipos y/o maquinarias.....	25
2.6.1.	Correctivo.....	25
2.6.2.	Condicional.....	25
2.6.3.	Sistemático.....	25
2.6.4.	Alta Disponibilidad .....	26
2.7.	Indicadores-índices de Mantenimiento .....	26
2.7.1.	Concepto de Indicador.....	26
2.7.2.	Concepto de mejora continua.....	27
2.7.3.	Mantenimiento basado en condiciones.....	27
2.8.	Fórmula general de la disponibilidad.....	28
2.8.1.	Definición de disponibilidad.....	28
2.8.2.	Tipos de disponibilidad .....	28
a)	Física:.....	28
b)	Mecánica .....	28
c)	Contractual.....	28
2.8.3.	La disponibilidad es influenciada por.....	28
2.9.	Tiempo medio entre detenciones (MTBS) .....	29
2.10.	Tiempo medio para reparar (MTTR) .....	29
2.11.	Índice de disponibilidad (A).....	30
2.12.	Tabla de toma de decisiones de rcm.....	31
2.12.1.	Aplicación Hoja de Información de RCM.....	31
2.12.2.	Hoja de Decisión de RCM .....	31
2.12.3.	Diagrama de Decisión.....	32
2.12.4.	Evaluación de las consecuencias de la falla .....	34
2.12.5.	Tareas proactivas .....	35
2.12.6.	Las preguntas “a falta de” (Pendiente de) .....	37
CAPÍTULO III. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....		38
3.1.	Descripción de la empresa prestadora de servicio de mantenimiento. ....	38
3.1.1.	HISTORIA DE LA EMPRESA.....	38
3.1.2.	Misión.....	39
3.1.3.	Visión.....	39
3.1.4.	Valores.....	39
3.2.	Organigrama.....	40
3.3.	Ubicación de la Operación Minera.....	41

3.4. Descripción particular del área objeto de análisis. ....	42
3.4.1. Contrato LPP.....	42
3.4.2. Contrato Marc.....	42
3.5. Lista de equipos en Proyecto Minero de Apurímac .....	44
4.1. Diagrama de flujo del proceso de mantenimiento. ....	45
CAPITULO IV: ANALISIS Y DIAGNOSTICO .....	49
4.1. Análisis de disponibilidad de la flota de equipos Caterpillar en el 2018.....	49
4.1.1. Disponibilidad mecánica de flota 844H y 844K-2018.....	50
4.1.2. Disponibilidad mecánica de flota 834H-2018 .....	50
4.1.3. Disponibilidad Mecánica de flota 24M y 16M.....	51
4.1.4. Disponibilidad mecánica de flota 390DL 374FL.....	51
4.1.5. Disponibilidad Mecánica Cargadores .....	52
4.1.6. Disponibilidad mecánica de Compactadores .....	52
4.1.7. Disponibilidad Mecánica de Tractor de orugas .....	53
4.1.8. Disponibilidad mecánica de 797F.....	54
4.2. Análisis de Disponibilidad de camiones de acarreo 797F .....	54
4.3. Análisis de Componente no cumplen su función antes de su vida útil por un inadecuado sistema de monitoreo.....	58
4.4. Top fallas por sistemas (Motor) .....	59
4.4.1. Top fallas de junio .....	59
4.4.2. Top fallas de julio.....	59
4.4.3. Top fallas de agosto.....	60
4.4.4. Top fallas de Setiembre.....	60
4.4.5. Top fallas de octubre .....	61
4.4.6. Top fallas de Noviembre.....	62
4.4.7. Top fallas de Diciembre.....	62
4.5. Resumen de top de fallas de sistema de motor en el año 2018. ....	63
4.6. Criticidad de sistemas de motor.....	63
4.7.4. Sistemas más críticos y los componentes que más fallan.....	64
4.8. Top 5 fallas de maquina .....	65
4.8.1 Top 5 de fallas máquina – Junio .....	65
4.8.2. Top 5 de fallas máquina – Julio .....	65
4.8.3. Top 5 de fallas máquina – Agosto .....	66
4.8.4. Top 5 de fallas máquina – Septiembre .....	67
4.8.5. Top 5 de fallas máquina – Octubre. ....	67
4.8.6. Top 5 de fallas máquina – Octubre .....	68

4.8.7. Top 5 De Fallas Máquina – Diciembre .....	68
4.9. Horas de paradas por cada sistema de funcionamiento .....	69
4.10. Sistemas Críticos en función a las horas de parada .....	70
4.11. Índices bajos de MTBF.....	71
CAPÍTULO V: PROPUESTA DE MEJORA A LOS DOS PROBLEMAS PLANTEADOS.....	74
5.1 Primera Problemática.....	74
5.2. Segunda Problemática: “Técnicos con poca experiencia en camiones 797F.” .....	84
5.3. Propuesta de mejora .....	84
5.3.1. Capacitación de personal. ....	84
5.3.2. Fuentes de Recolección de Información .....	84
5.3.3. Formulación de Preguntas: .....	85
5.4. Aplicacion del cuestionario .....	86
5.5. Analisis de resultados .....	87
CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN DE BENEFICIOS DE LAS PROPUESTAS .....	88
6.1. Análisis de beneficio de producción.....	88
6.2. Análisis de beneficio efectividad de horas de trabajo.....	89
CONCLUSIONES .....	90
RECOMENDACIONES .....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA.....	92

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Acciones del mantenimiento tradiciones y acciones con RCM.....	21
Tabla 12. Estructura de la Hoja de Información de RCM. ....	31
Tabla 13. Estructura de la Hoja de Decisión de RCM.....	31
Tabla 14 Consecuencias de la falla.....	35
Tabla 15: Resumen de las consecuencias de falla .....	36
Tabla 16: Las preguntas “A Falta de”.....	37
Tabla 2.Ponderación de estados.....	56
Tabla 3.Porcentajes y Pesos para la toma de decisiones.....	57
Tabla 4. Matriz de evaluación de causas de baja disponibilidad de camiones 797F.....	57
Tabla 5. Resumen de top de fallas de sistema de motor en el año 2018.....	63
Tabla 6.Criticidad de sistemas de motor.....	63
Tabla 7.Sistemas más críticos y los componentes que más fallan.....	64
Tabla 8. Horas de paradas por cada sistema de funcionamiento. ....	69
Tabla 9.Clasificación de componentes críticos por sistemas.....	69
Tabla 10. Sistemas Críticos en función a las horas de parada de la Flota CAT 797F ....	70
Tabla 11.Clasificación técnicos por Categoría. ....	72
Tabla 17.Hoja de trabajo información de sistema de motor C175 .....	75
Tabla 18. Hoja de decisiones del sistema de combustible de motor C175 .....	76
Tabla 19 .Hoja de información del sistema lubricación e inyección de motor C175. ....	77
Tabla 20. Hoja de trabajo de decisión de sistema de lubricación e inyección de motor C175.....	78
Tabla 21. Hoja de trabajo Sistema de lubricación de aceite de motor C175 .....	79
Tabla 22.Hoja de trabajo de decisión del sistema de lubricación de aceite de motor C175 .....	80
Tabla 23.Hoja de Trabajo de Información Sistema de transmisión camión minero 797F .....	81
Tabla 24.Hoja de trabajo de decisión Sistema de transmisión camión minero 797F .....	82



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Entrada y salida de Truck Shop.....	30
Figura 2. Disponibilidad y sus frecuencias.....	31
Figura 4 Diagrama de decisiones de fallas .....	33
Figura 5. Pasos para registrar las consecuencias de las fallas en una hoja de decisión ...	34
Figura 6. Organigrama división gran minería.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 7. Ubicación geográfica de la operación minera. ....	41
Figura 8: Flota Caterpillar en proyecto.....	44
Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de atención en talleres.....	45
Figura 10. Diagrama de Flujo para ejecución de mantenimiento.....	47
Figura 11. Disponibilidad mecánica de flota 844H y 844K-2018.....	50
Figura 12. Disponibilidad mecánica de flota 834H-2018.....	50
Figura 13 . Disponibilidad Mecánica de flota 24M y 16M .....	51
Figura 14. Disponibilidad mecánica de flota 390DL 374FL.....	51
Figura 15. Disponibilidad Mecánica Cargadores. ....	52
Figura 16 . Disponibilidad mecánica de Compactadores .....	52
Figura 17. Disponibilidad Mecánica de Tractor de orugas.....	53
Figura 18 . Disponibilidad mecánica de 797F .....	54
Figura 19. Top fallas de Junio .....	59
Figura 20. Top fallas de julio.....	59
Figura 21 . Top fallas de Agosto.....	60
Figura 22. Top fallas de Setiembre .....	60
Figura 23. Top fallas de Octubre. ....	61
Figura 24. Top fallas de Noviembre .....	62
Figura 25. Top Fallas de Diciembre .....	62
Figura 26. Top 5 de fallas máquina – Junio.....	65
Figura 27. Top 5 de fallas máquina - Julio .....	65

Figura 28.Top 5 de fallas máquina - Agosto .....	66
Figura 29 .Top 5 de fallas máquina - Septiembre.....	67
Figura 30 .Top 5 de fallas máquina – Octubre. ....	67
Figura 31.Top 5 de fallas máquina - noviembre.....	68
Figura 32.Top 5 de fallas máquina - diciembre .....	68
Figura 33.Indicadores de disponibilidad y MTBF.....	71
Figura 34. La clasificación de los técnicos es de categoría del 1 al 5.....	72





## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo describe la propuesta de mantenimiento basada en RCM para incrementar la disponibilidad mecánica de los camiones de acarreo 797F Caterpillar en la unidad minera en la región de Apurímac.

En el Capítulo I, se muestran las generalidades de la investigación, que enmarcan a la realidad problemática, los objetivos del proyecto de implementación, justificación, variables.

En el Capítulo II, se describen los planteamientos teóricos relacionados con el presente trabajo, que contiene las más importantes investigaciones que se han realizado desde el punto de vista de su valor teórico sobre el presente proyecto.

En el Capítulo III, se describe el diagnóstico actual de la empresa, descripción de la general de la empresa, descripción particular del área de la empresa objeto de análisis, identificación del problema.

En el Capítulo IV, se describe la metodología que se utilizara para el estudio de la investigación. (RCM) la cual identifica las funciones, funciones primarias y secundarias, fallas funcionales, modos de fallas, efectos de fallas y matriz de riesgos de cada uno de los sistemas evaluados.

En el Capítulo V, se describe el análisis de los resultados obtenidos, después de una evaluación económica.

En el Capítulo VI, se muestran los resultados y discusiones de la investigación, como los beneficios como la reducción de costos incurridos por parada de equipos debidos a las 5 causas raíces Principales causantes de bajo % en los indicadores de disponibilidad mecánica y Tiempo medio entre Reparaciones.

Finalmente se plantean las conclusiones y recomendaciones como resultado del presente trabajo.

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

### **1.1. Realidad problemática**

Uno de los objetivos principales de las grandes corporaciones es el de alcanzar una alta disponibilidad con un bajo costo. En la actualidad, el rubro de la minería está presentando un crecimiento constante. Pero este crecimiento abrupto y repentino, muchas veces no sedan de manera general en todos los departamentos de la empresa, por lo que el departamento de mantenimiento tendrá que hacer uso de nuevas metodologías para reducir costos y aumentar la disponibilidad de sus activos a continuación mencionaremos como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) han dado resultados satisfactorios a las empresas que aplicaron esta metodología.

I.

En la Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco) con la aplicación estructurada de la metodología RCM logro beneficios como el aumento de su producción en 14% logrando un impacto entre \$ 600 mil y un millón \$ anuales, reducción de costos de mantenimiento identificados entre 170 a 310 K \$/año, también se eliminó una de las 2 paradas de mantenimiento semanales de 4 horas (Duran, 2001).

II.

En la implantación en un mantenimiento basado en la confiabilidad a los hornos convertidores de fundición de los cátodos de cobre por parte de la empresa Southern Perú en el año se logró un incremento del índice de disponibilidad operacional del 1.89%, que involucra un ahorro inicial de 4'241.807.40 US\$ al año, ya que el precio del cobre aumento en un 7.3% en el primer trimestre del año (Morales, 2015).

## **1.2. Formulación del Problema para el trabajo de investigación**

¿Cuál es el impacto de la propuesta del mantenimiento basado en RCM sobre la disponibilidad en la unidad minera ubicada en la región de Apurímac?

## **1.3. Objetivos del trabajo de investigación**

### **1.3.1. Objetivo general del trabajo de investigación**

- Propuesta de mejora basada en el método RCM para incrementar la disponibilidad mecánica de los camiones 797F.

### **1.3.2. Objetivos Específicos del trabajo de investigación**

- Realizar un diagnóstico de la situación actual de la flota de equipo Caterpillar para identificar las causas de la baja disponibilidad.
- Presentar alternativas de mejora en base a análisis de la información obtenidas: Método RCM.
- Evaluar la factibilidad económica financiera de la propuesta.

## **1.4. Justificación académica**

Este trabajo de investigación se justifica con la aplicación del mantenimiento centrado en la Confiabilidad. Por lo tanto, se modificará el plan de mantenimiento simplificándolo, y haciéndole aportes de mantenimiento predictivo y mantenimiento autónomo. El rediseño de la función mantenimiento lograra reducir la carga de trabajo de mantenimiento, sin reducir la disponibilidad de los equipos.

## **1.5. Justificación cualitativa**

Este trabajo de investigación se justifica debido a la efectividad del método denominado RCM. Contribuyendo a: Mejorar los trabajos para tener seguridad e integridad en el aspecto ambiental, desempeñar las operaciones de forma optimizada, mejorar los índices de relación de costo y efectividad.

Lo que, es más, si el RCM se aplica correctamente a los sistemas de mantenimiento existentes, disminuye la cantidad de trabajo de rutina. Si el RCM es utilizado para desarrollar un nuevo programa de mantenimiento, la carga de trabajo es sumamente menor que cualquier otro programa de mantenimiento.

### **1.6. Justificación social**

Este trabajo de investigación presenta información que aporta para futuros trabajos de mantenimiento que decidan mostrar el interés por la gestión de mantenimiento tomando como referencia la confiabilidad.

### **1.7. Justificación económica**

Este trabajo de investigación presente beneficiará económicamente en la reducción en los costos de mantenimiento y no afecta a otros costos como, costo de parada de equipos, costo por daños materiales, daños al medio ambiente, daños a los trabajadores.



## **CAPÍTULO II: MARCO TEORICO**

### **2.1. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad-RCM**

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es definido como un proceso para determinar una estrategia en el área de mantenimiento de los equipos y/o maquinarias de diferentes empresas constructoras, mineras e industriales. Tiene por finalidad organizar los modos de falla que generan averías en el funcionamiento en los diferentes equipos y/o maquinarias de alguna empresa.

Esta estrategia de mantenimiento centrado en la confiabilidad surgió entre los años de mil novecientos sesenta y mil novecientos setenta, con el objetivo de brindar a las empresas estrategias para determinar un mejoramiento en el funcionamiento y determinar las consecuencias de las fallas de los equipos, reduciendo la cantidad de accidentes durante su operación de los aviones en pleno vuelo. Generando grandes cantidades de pérdidas humanas.

El RCM considera importante las consecuencias, como las características técnicas de las fallas, mediante:

- La aglutinación de la revisión de las fallas por factores operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente. Generando que la seguridad y el medio ambiente sean considerados a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento de las maquinarias y/o equipos.
- Enfocando las tareas de mantenimiento en las áreas de producción que mayor incidencia tienen en el funcionamiento total de las maquinarias y/o equipos y desempeño de la misma, para de esa forma garantizar que la inversión realizada en mantenimiento genere el impacto económico positivo (Moubray J. , Mantenimiento Centrado en la confiabilidad., 1997)

## 2.2. Evolución del proceso de RCM

Con el paso de los años, el mantenimiento recibió significantes aportes que provenían del estudio de las estadísticas y de la teoría de la confiabilidad. Se tenían varios conceptos acerca de la administración del mantenimiento antes que surgiera el RCM. A continuación, en la Tabla 3 se menciona como ha ido cambiando al nuevo sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Tabla 1 Acciones del mantenimiento tradiciones y acciones con RCM

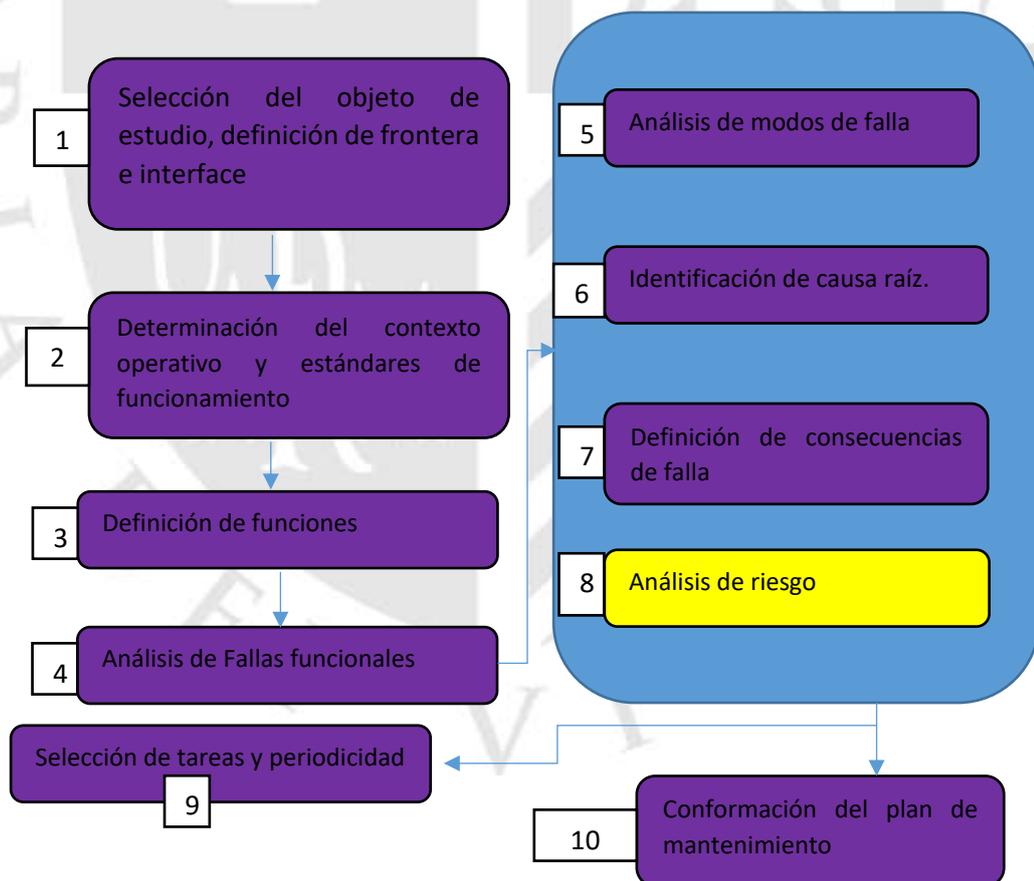
<b>ACCIONES MANTENIMIENTO TRADICIONAL</b>	<b>ACCIONES CON RCM</b>
Mantenimiento para conservar los equipos en buen estado	Mantenimiento para conservar las funciones de los activos físicos
Mantenimiento rutinario para prevenir la falla	Mantenimiento rutinario para evitar, reducir o eliminar las consecuencias.
El objetivo del mantenimiento era optimizar la disponibilidad de la planta a un costo fijo	Su objetivo no es solo optimizar la disponibilidad de la planta, sino también en aumentar la seguridad, la integridad ambiental, la calidad de los productos y el servicio al cliente
La mayoría de los equipos tienden a fallar a medida que envejecen	Se presentan modelos de fallas de los equipos determinados por curvas de probabilidad de falla contra vida útil.
Los tres tipos de mantenimiento convencional son: predictivo, preventivo y correctivo	Con la nueva estrategia de mantenimiento se adiciona el tipo detectivo

Fuente: (RINCON, 2008)

Luego de haber visto en la tabla 1, todos lo beneficiosos para la aplicación del RCM en el mantenimiento de maquinarias y/o equipos iniciaremos haciéndonos las siguientes preguntas.

### 2.3. Preguntas básicas del RCM (7 preguntas)

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros asociados al activo en su contexto operacional?
- ¿De qué falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentran una tarea proactiva adecuada?  
(Moubray J. , 1997, pág. 48)



Fuente: (Churio, p. 20)

## **2.4. Tipos de mantenimiento para equipos y/o maquinarias**

### **2.4.1. Correctivo**

El mantenimiento correctivo es una serie de tareas para corregir las fallas que se van presentando en los camiones de acarreo y que son comunicados al área de mantenimiento mina. (Modelos de Mantenimiento, 2009).

### **2.4.2. Preventivo**

El mantenimiento preventivo tiene por objetivo sostener un alto nivel de servicio determinado en los camiones de acarreo, programando las atenciones en el equipo en el tiempo más oportuno para evitar paradas inesperadas. Con esta característica sistemática se procede a la intervención del equipo, aunque no haya dado ningún síntoma de tener ninguna falla (Modelos de Mantenimiento, 2009).

### **2.4.3. Predictivo**

El mantenimiento predictivo tiene como objetivo informar, conocer de manera oportuna el estado y operatividad de los camiones de acarreo mediante la determinación mediante un análisis a los sistemas de funcionamiento de máquina y estado de los componentes de los sistemas. Para aplicar este mantenimiento predictivo, es importante identificar y verificar variables físicas tales como: excesiva vibración, alta o baja temperatura, consumo innecesario de energía, etc. Estas variaciones son indicaciones de los problemas que puedan estar afectando en el funcionamiento de los camiones de acarreo. El mantenimiento predictivo es más especializado y tecnológico, porque son requisitos los medios técnicos avanzados, y algunas veces, de sólidos conocimientos en las ramas de matemática, física, termodinámica, mecánica de fluidos, etc (Modelos de Mantenimiento, 2009).

### **2.4.4. Overhaul**

El mantenimiento overhaul es una serie de tareas que tiene la finalidad de verificar los camiones de acarreo a intervalos programados antes de que se genera alguna falla durante su funcionamiento. También cuando la fiabilidad de los camiones de acarreo ha caído considerablemente de forma que resulta arriesgado hacer deducciones en su capacidad de producción. El overhaul consiste en realizar el cambio de la mayoría de los componentes de funcionamiento del camión hasta dejarlo como si fuera nuevo. En estas revisiones se reemplazan o se reparan todos los componentes que sufren desgaste por su propio funcionamiento tales como: transmisión, motor, convertidor, diferencial mandos finales (Modelos de Mantenimiento, 2009).

#### **2.4.5. Pre inspección**

Es el mantenimiento simple que se realiza a los camiones de acarreo por parte del operador. Consiste en una serie de inspecciones elementales (tomas de datos importante del estado del camión, inspecciones visuales de niveles de fluidos, limpieza del equipo, lubricación de partes móviles, reapriete de tornillos de sujeción). Para realizar este mantenimiento no es necesario una instrucción en la mecánica, el operador lo puede realizar sin ningún inconveniente con un conocimiento básico (Modelos de Mantenimiento, 2009).

#### **2.5. Cultura de mantenimiento**

Según TASILLA, SEGUNDO FÉLIX La cultura de mantenimiento se basa en el estudio sistemático y el objetivo de incidencias que aparecen en los camiones de acarreo establecidos por las estrategias definidas, es importante indicar una transición de una cultura para mejorar las tareas de mantenimiento proactivo, para mejorar la visión de las practicas básicas y la programación de trabajos de mantenimiento (TASILLA, 2016).

De esta manera se tendrá que centralizar la organización de mantenimiento para brindar facilidades de recursos, interactuando y consolidando el mantenimiento con los miembros de la organización promoviendo la gestión de cambio cultural de mantenimiento, contemplado como tácticas (TASILLA, 2016).

#### **2.5.1. Concepto de Falla**

Una falla es considerada cuando el funcionamiento del componente de los camiones de acarreo llega a su fin, y ya no pueden llegar a cumplir su trabajo para que fueron diseñados. Las fallas de los componentes pueden ser identificados durante el proceso de funcionamiento de los componentes, al final de su funcionamiento adecuado no cumpliendo con sus funciones. Las fallas están expuestas por las características o parámetros de los equipos, dependiendo del lugar y la operación de los equipos donde se indicará la disponibilidad, el fin de una falla es de medir los síntomas y controlar con algunos medios de control (TASILLA, 2016).

#### **2.5.2. ¿Que son los Modos de fallas?**

Un modo de falla podría ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de una activo físico (o sistema proceso).Es mucho más preciso distinguir entre “una falla funcional”(un estado de falla) y un “modo de falla” (un evento que puede causar un estado de falla).Esta distinción lleva a una definición más precisa de un modo de falla, como ser: Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional. La mejor

manera de mostrar la conexión y la diferencia entre los estados de falla y los eventos que podrían causarlos es primero hacer un listado de fallas funcionales (Moubray J. , 1997, pág. 56).

## **2.6. Modelos de mantenimiento en equipos y/o maquinarias**

### **2.6.1. Correctivo**

El modelo correctivo es considerado como el más básico de todos los modelos. Se consideran las inspecciones diarias de los camiones de acarreo: verificación de niveles de fluidos, servicio diario de campo, la reparación de fallas que surgen durante su funcionamiento. Se aplica para equipos con bajo nivel de criticidad en las operaciones mineras, donde las fallas no comprometan el funcionamiento óptimo de la máquina, tampoco afecte el aspecto técnico y económico. El modelo correctivo no requiere de mucho personal para su ejecución, tampoco de un extenso tiempo para la atención de los equipos (Modelos de Mantenimiento, 2009).

### **2.6.2. Condicional**

El modelo condicional consiste en la ejecución de prueba de rendimiento en los sistemas en la máquina que en el futuro puedan condicionar su funcionamiento óptimo. Cuando en las pruebas de rendimiento se identifican algunos problemas, se procede a la programación para su atención del equipo (Modelos de Mantenimiento, 2009).

El modelo de mantenimiento condicional se aplica en aquellos equipos que no son de mucha prioridad en el área de trabajo. También está dirigido para equipos que a pesar de ser considerados importantes en la producción y/o industria, tiene bajas probabilidades de fallar durante el funcionamiento (Modelos de Mantenimiento, 2009).

### **2.6.3. Sistemático**

Este modelo se aplica para maquinaria y/o equipos es de disponibilidad media, de cierta importancia en el sistema productivo y cuyas averías causan algunos trastornos. Los equipos que están sujetos al modelo sistemático no son importantes que tengan un cronograma específico de mantenimiento. El modelo sistemático se considera una serie de actividades que se ejecutan sin considerar las condiciones del equipo y/o maquinarias. Se realizan actividades de metrología y pruebas para determinar si se realizaran un trabajo que requiera más atención, o el problema se resuelve de manera inmediata por el bajo nivel de complejidad de la avería en el equipo. En síntesis, una maquinaria y/o equipo con el modelo sistemático tiene tareas de forma sistemática, que se ejecuten sin prestarle atención las horas que está operando. En conclusión, la diferencia entre los modelos

correctivo y condicional es que el modelo sistemático debe generarse algún síntoma de falla y/o avería (Modelos de Mantenimiento, 2009).

#### **2.6.4. Alta Disponibilidad**

El modelo de mantenimiento de alta disponibilidad es el más estricto que los anteriores. Las operaciones mineras consideran este modelo para los equipos de mina tales como: camiones de acarreo, tractores. Se aplica en camiones y/o equipos que son que de ninguna manera presenten alguna falla en su sistema de funcionamiento. Los camiones son a los que se les exige que cumplan su trabajo sin ninguna avería durante su operación, además, unos altos niveles de disponibilidad, superiores del noventa por ciento. El factor de un nivel tan alto de disponibilidad es en general el alto costo en producción que tiene una avería y/o falla en el equipo. Con esta exigencia superior al 90% de disponibilidad, no hay tiempo para la atención de mantenimiento que requiera la parada inesperada de los camiones de acarreo. Par cumplir el objetivo de mantener una disponibilidad superior al 90% en los camiones de acarreo es imprescindible utilizar técnicas de mantenimiento predictivo, que permitan conocer el estado de los camiones de acarreo en plena operación, y a paradas programadas que no afecten su producción, considerados como una inspección del equipo, con una frecuencia generalmente superior a un año. En esta inspección se reemplazan, en general, todos aquellos componentes que son sometidas a desgaste durante su funcionamiento en la operación. Las revisiones se programan con anticipación. Esta programación no necesariamente tiene que iguales cada año. En el modelo de mantenimiento de alta disponibilidad no se incluye el mantenimiento correctivo, en otras palabras, el objetivo que se busca en los equipos es que no produzcan fallas cuando el camión esté funcionando. Por lo tanto, no se considera el tiempo para solucionar las averías que se producen durante la operación, siendo más conveniente en la mayoría de las veces realizar reparaciones inmediatas provisionales que permitan mantener el equipo operando para que no afecte su producción. En conclusión, el objetivo de la puesta nula anual se tiene que considerar la realización de todas las reparaciones provisionales que hayan tenido que ejecutarse anualmente (Modelos de Mantenimiento, 2009).

### **2.7. Indicadores-índices de Mantenimiento**

#### **2.7.1. Concepto de Indicador**

Un indicador es considerado como un comportamiento de forma cuantitativa en un proceso de una operación de producción. Este indicador cuantitativo obtenido es comparado con un indicador determinado por la organización que es considerado el

indicador denominado OBEJTIVO. En la comparación de los indicadores obtenidos y los indicadores objetivos no debe existir una mucha diferencia, si es que hay una desviación considerable se procede a tomar una serie de decisiones con la finalidad de reducir la diferencia.

Tomando como referencia, supongamos que la disponibilidad objetivo determinado por la empresa en los camiones 797F es del 93%,pero actualmente la disponibilidad real es del 83%,en ese caso hay una diferencia considerable, entonces se procederá a tomar acciones inmediatas. (Caterpillar Inc, 2005, p. versión 1.1)

### **2.7.2. Concepto de mejora continua**

La mejora continua es un método que aplican diversas herramientas para mantener un control en los procesos de mantenimiento para cumplir los requerimientos y exigencias que demanda los clientes.

Las empresas actualmente buscan incrementar la producción en sus operaciones a costos reducidos reemplazando antiguas estrategias de mantenimiento. La ingeniería de la confiabilidad, la gestión de los activos, evaluación de indicadores como MTBF,MTTR, Disponibilidad y la reducción de costos de mantenimiento en los equipos forman como objetivos fundamentales en las empresas para lograr una gestión de mantenimiento de calidad para la organización y los clientes.

La evaluación constante de los modelos de mantenimiento de las empresas permite evidenciar directamente el nivel de logro alcanzado de sus objetivos y buscar si los límites son causa de una inadecuada definición de que hacer o de algunos factores que están unidos a una adecuada coordinación de las distintas áreas de mantenimiento en las organizaciones empresariales en el sector minero, construcción, marítimo e industrial. (FINNING S.A, 2008)

### **2.7.3. Mantenimiento basado en condiciones**

Es importante recordar que las evaluaciones de los índices de rendimiento son aplicadas para tener conocimiento sobre el desempeño de los distintos modelos de mantenimiento y las oportunidades de mejora en el proceso. El mantenimiento basado en monitores de condiciones nos ayudara a: (FINNING S.A, 2008)

- Medir y evaluar el rendimiento de los equipos, de forma relativa a los objetivos determinados en los mantenimientos y reparaciones.
- Realizar en el futuro proyecciones tomando como base los rendimientos facilitados por los datos históricos.

- Identificar las oportunidades de mejora debilidades por mejorar respecto a la aplicación y diseño del mantenimiento.
- Identificar problemas y corregirlos, ejecutando en el futuro acciones para prevenir y evitar los problemas.
- Definir y establecer prioridades para asignar los diferentes tipos de recursos en una organización o en el área de mantenimiento
- Realizarse la inspección de la efectividad de las soluciones que son implementadas.
- Generar un trabajo tomando como prioridad el respeto a la parte humana concientizando el avance profesional y la participación activa en los modelos de mantenimiento con trabajo seguro y cuidando el aspecto ambiental y social. (FINNING S.A, 2008)

## **2.8. Fórmula general de la disponibilidad**

### **2.8.1. Definición de disponibilidad.**

La disponibilidad en la medición del desempeño operacional de los equipos y/o maquinarias. Esta medición se ve reflejada en el objetivo que determina la empresa en su producción. (FINNING S.A, 2008)

### **2.8.2. Tipos de disponibilidad**

#### **a) Física**

La disponibilidad física es la medición del desempeño de los camiones de acarreo, considerando el desempeño de todos los sistemas auxiliares de la máquina. Sistema contraincendios, neumáticos, tolva, aire acondicionado.

#### **b) Mecánica**

La disponibilidad mecánica es la medición del desempeño de los camiones de acarreo, considerando el desempeño únicamente los sistemas de funcionamiento propio de la máquina. Sistema de transmisión, convertidor, mandos finales, motor.

#### **c) Contractual**

### **2.8.3. La disponibilidad es influenciada por**

- Frecuencia de reparación
- Duración de reparación
- Utilización

$$\text{Disp. Fisica (\%)} = \frac{\text{Hrs Calendario Total} - \text{Hrs de detencion Total}}{\text{Hrs Calendario Total}} \times 100$$

*Disp. Mecanica (%)*

$$= \frac{\text{Hrs Calendario Total} - \text{Hrs de detencion Mecanicas}}{\text{Hrs Calendario Total}} \times 100$$

*Disp. Contractual (%)*

$$= \frac{\text{Horas Calendario Total} - \text{Hrs de detencion Contrac.}}{\text{Hrs Calendario Total}} \times 100$$

### **2.9. Tiempo Medio entre Detenciones (MTBS)**

El MTBS es el indicador de medida más importante del desempeño de la gestión del área de mantenimiento de los equipos y/o maquinarias. El MTBS sirve para medir calidad y eficiencia en las actividades de reparaciones.

El MTBS es considerado por las empresas como una herramienta importante para realizar las reparaciones antes que los equipos presenten una falla inesperada. Es la estrategia de mantenimiento más rentable y eficiente para garantizar un buen desempeño de toda flota de equipos a costos de mantenimiento mínimos.

Una falla en el equipo genera un tiempo de inactividad considerable que afecta en la producción, en consecuencia, para la solución de la fallase requerirá de recursos adicionales. (Caterpillar Inc, 2005)

El MTBS se aplica para medir la confiabilidad de las labores de mantenimiento que se realizan en el equipo y/o maquinaria, lo que es más importante, la capacidad de la organización para determinar en el resultado final. (Caterpillar Inc, 2005)

$$\text{MTBS}(hrs) = \frac{\text{Horas de Operacion}}{\text{Numero de Detenciones}}$$

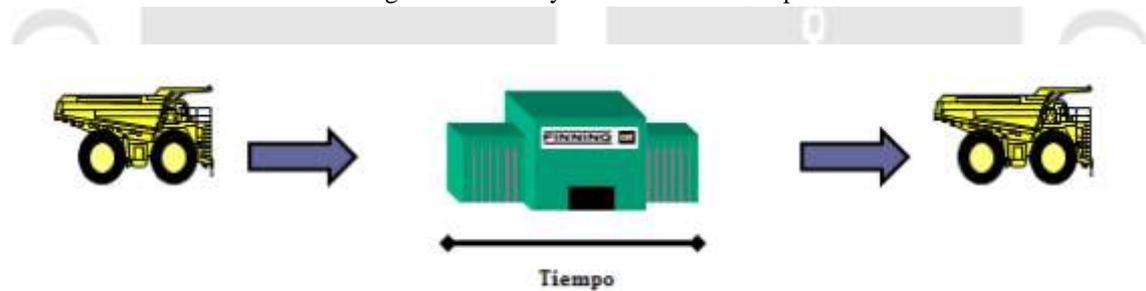
### **2.10. Tiempo Medio para Reparar (MTTR)**

El tiempo medio para reparar es un intervalo promedio de tiempo en el que el equipo detiene su producción para ser reparado por eventos, fallas, paradas imprevistas que no fueron programados. (Caterpillar Inc, 2005)

$$\text{MTTR}(hrs) = \frac{\text{Total de horas de detencion}}{\text{Numero de Detenciones}}$$

El tiempo medio para reparar cuantifica el tiempo que se demoran para reparación alguna falla. Es para saber determinar si el servicio de atención para la reparación de alguna falla es lenta o rápida. El MTTR aglutina los efectos asociados del servicio de mantenimiento de la máquina y la eficiencia de la administración de los técnicos de mantenimiento, para realizar la entrega de forma oportuna de las maquinarias luego de reparar alguna falla. (Caterpillar Inc, 2005)

Figura 1. Entrada y salida de Truck Shop



Fuente: Indicadores Modelo de Mantenimiento y Reparación Finning SA, versión 2008

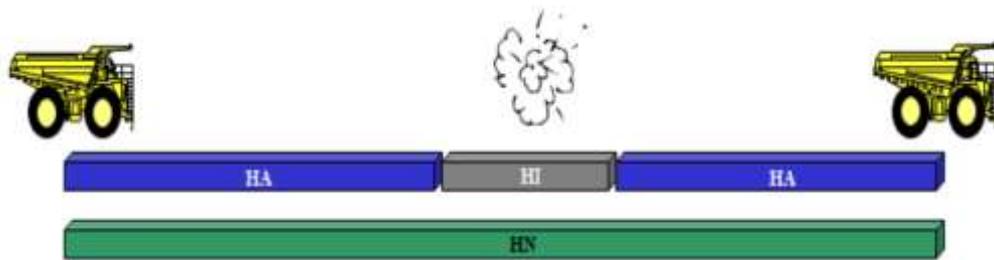
### 2.11. Índice de Disponibilidad (a)

La tasa de MTBS sobre la suma de MTBS Y MTTR, expresada como un porcentaje

$$A(\%) = \frac{MTBS}{MTBS + MTTR} \times 100$$

El porcentaje de la disponibilidad de una flota de equipo dependerá del MTBS y MTTR. Resulta del cociente entre el MTBS y la adición del MTBS y MTTR. Para obtener un alto índice de disponibilidad debemos lograr que los equipos y/o maquinarias operen sin presentar detenciones inesperadas por alguna falla, estas detenciones inesperadas afectaran en la disponibilidad. Puesto que cada parada imprevista requerirá de la atención del equipo para la reparación en el menor tiempo posible para devolver a su operatividad. El MTTR deber ser los más rápido posible para marcar un índice de imponibilidad alto. (Caterpillar Inc, 2005)

Figura 2. Disponibilidad y sus frecuencias



Fuente: Indicadores Modelo de Mantenimiento y Reparación Finning SA, versión 2008

## 2.12. Tabla de Toma de Decisiones de RCM

### 2.12.1. Aplicación Hoja de Información de RCM

En la hoja de información debemos considerar que las funciones y los modos de falla (causa de la falla) se registran de forma numérica y las fallas funcionales se registran por medio de letras.

En la tabla 2, se muestra la hoja típica del análisis del mantenimiento centrado en la confiabilidad, este cuadro tiene una división de cuatro columnas horizontales para realizar un registro de: las funciones, fallas funcionales, modos de las fallas y los efectos de falla.

Tabla 2. Estructura de la Hoja de Información de RCM.

HOJA DE INFORMACION RCM	SISTEMA /ACTIVO		SISTEMA N°		HOJA
				FACILITADOR	FECHA
					DE
	SUB SISTEMA/COMPONENTE				
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE FALLA (Que sucede cuando falla)		

Fuente: (Moubray J. , 1997, pág. 206).

### 2.12.2. Hoja de Decisión de RCM

La Hoja de Decisión de RCM está dividida en dieciséis columnas, tabla 3. Las columnas tituladas F, FF y MF identifican el modo de falla que se analiza en esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias entre las Hojas de Información y las Hojas de Decisión (Moubray J. , 1997, pág. 206).

Tabla 3. Estructura de la Hoja de Decisión de RCM.

HOJA DE DECISIÓN RCM	SISTEMA	SISTEMA N°	FACILITAD OR/AUDITO R	Fecha	Hoja

			SUB-SISTEMA/COMPONENTE					SUBSISTEMA N°						
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias			H1	H2	H3	Acción a falta de			Tareas Propuestas	Intervalo inicial	A realizar por
						S1	S2	S3						
						O1	O2	O3						
F	F	MF	H	S	E	O	N	N	N	H	H	H		
							1	2	3	4	5	6		

Fuente: (Moubray J. , 1997, pág. 214).

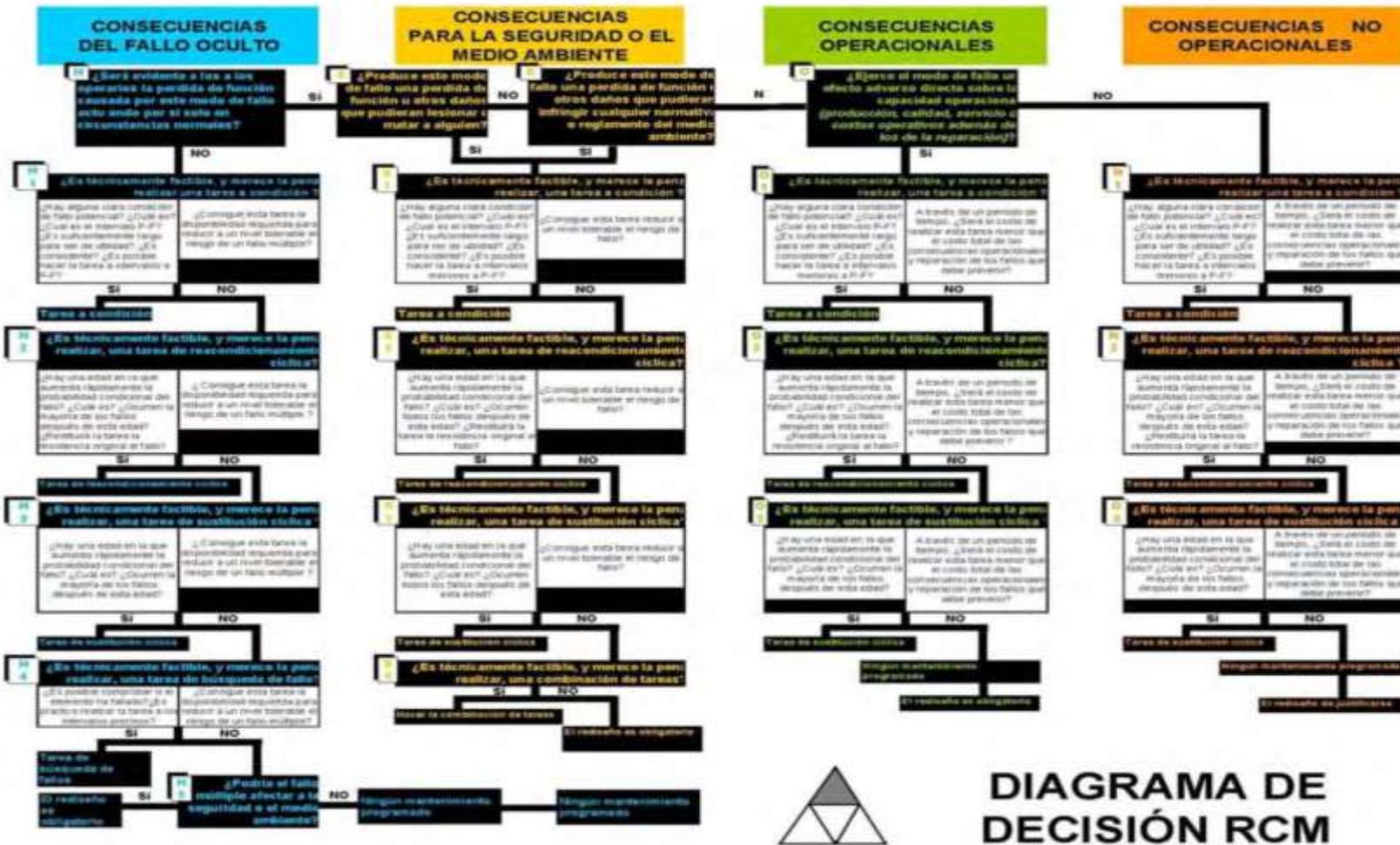
### 2.12.3. Diagrama de Decisión

La hoja de Decisión de RCM, fig4. La hoja de decisión permite asentar las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisión, y, en función de dichas respuestas, registrar:

- Que mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia será realizado y quién lo hará
- Que fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño
- Casos en los que se toma una decisión deliberada de dejar que ocurran las fallas (Moubray J. , pág. 202).

Los anteriores registros describen como ejecutar una evaluación de los efectos de falla.

Figura 3 Diagrama de decisiones de fallas

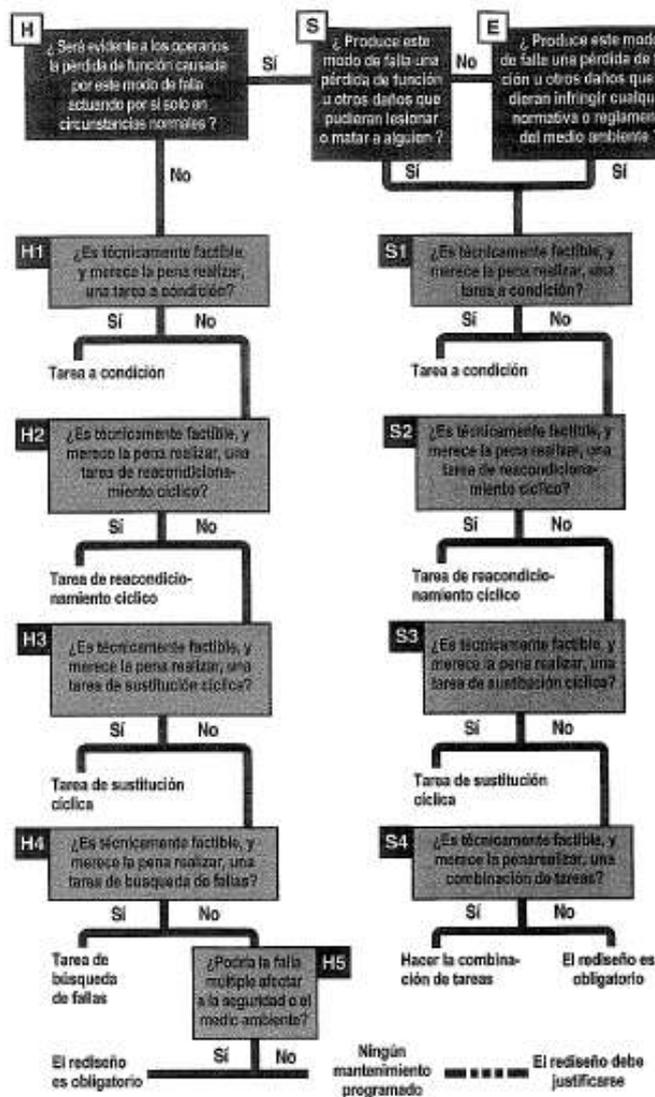


Fuente: (Moubray J. , RCM II Mantenimiento Centrado en la confiabilidad, 1997, pág. 204)

### 2.12.4. Evaluación de las consecuencias de la falla

En la figura 4 se muestra todas las fallas basándose en sus consecuencias. Se realiza de esa forma con la finalidad de separar las fallas visibles de las fallas no visibles, en seguida ordena las consecuencias de todas las fallas que son visible en un orden de mayor importancia a menor importancia. Las columnas nominadas con la letra H, S, E, O y N de la fig. 5; son utilizadas para poder realizar un registro de todas las respuestas a las preguntas correspondientes a las consecuencias de cada modo de falla (Moubray J. , RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, 1997).

Figura 4. Pasos para registrar las consecuencias de las fallas en una hoja de decisión



Fuente: (Moubray J. , 1997, pág. 204)

En la tabla 4 se muestra cómo se registran las respuestas a estas preguntas en la hoja de decisión. Cada modo de falla es ubicado en una sola categoría de consecuencias. Entonces si es clasificado como que tiene consecuencias ambientales, no se evalúan sus consecuencias operacionales. Una vez que las consecuencias del modo de falla han sido categorizadas, el siguiente procedimiento es buscar una tarea proactiva (Moubray J. , 1997, pág. 207).

Tabla 4 Consecuencias de la falla

Referencia Información			Evolución de las consecuencias			
F	FF	MF	H	S	E	O
3	A	1	N			
5	B	2	S	S		
2	C	4	S	N	S	
1	A	5	S	N	N	S
1	B	3	S	N	N	N

**Una falla No Visible:**  
Para realizar una falla no visible, cualquier actividad preventiva debe de disminuir el de la falla no visible a un nivel tolerante

**Consecuencias para aspecto de seguridad:**  
Para ejecutarla, cualquier tarea preventiva debe reducirse por sí sola de esta falla a un nivel tolerante

**Consecuencias para el medio ambiente:**  
Para que merezca realizarla, cualquier tarea proactiva debe reducir por sí sola el riesgo a un nivel tolerante

**Consecuencias operacionales:**  
Para realizarla, en cualquier tarea preventiva en un tiempo, el costo debe ser inferior a las consecuencias de operación que genera el costo total adicionado el costo de reparación de la falla que quiere solucionar.

**Consecuencias no operacionales:**  
Para realizarla, en cualquier tarea preventiva en un tiempo, el costo debe ser inferior al costo de reparación de la falla que quiere solucionar.

Fuente: (Moubray J. , 1997, pág. 208).

### 2.12.5. Tareas proactivas

Las columnas de la octava a la décima columna de la Hoja de Decisión, son utilizadas para registrar si ha sido seleccionada una tarea proactiva, de la siguiente manera:

- La columna denominada H1/S1/O1/N1 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de falla a tiempo como para evitar las consecuencias
- La columna denominada H2/S2/O2/N2 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de reacondicionamiento cíclico apropiada para prevenir las fallas

- La columna denominada H3/S3/O3/N3 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica para prevenir las fallas

En cada caso, una tarea sólo es apropiada si merece la pena realizarla y si es técnicamente factible

En síntesis, para que una tarea sea técnicamente factible y merezca la pena realizarla, debe ser posible dar una respuesta positiva a todas las preguntas que muestra el gráfico 46 que se aplican a esta categoría de tareas, y la tarea debe responder al criterio de “merece la pena ser realizada” también de la tabla 15. Si la respuesta a cualquiera de estas preguntas es “no” o se desconoce, entonces se rechaza la tarea totalmente (Moubray J. , 1997, págs. 208-209)

Tabla 5: Resumen de las consecuencias de falla

H1	H2	H3
S1	S2	S3
O1	O2	O3
N1	N2	N3
S		
N	S	
N	N	S

¿Es técnicamente factible realizar una tarea a condición para reducir la consecuencia de la falla? ¿Hay alguna condición de falla potencial? ¿Cuál es? ¿Cuál es el intervalo P-F? ¿Es suficientemente largo como para ser de utilidad? ¿Es razonablemente consistente? ¿Es posible realizar la tarea a intervalos menores al intervalo P-F?

¿Es técnicamente factible una tarea de reacondicionamiento cíclico para reducir la frecuencia de la falla? ¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad? ¿Restituirá la tarea la resistencia original a la falla?

¿Es técnicamente factible una tarea de sustitución cíclica para reducir la frecuencia de la falla? ¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad (¿todo en el caso de consecuencias para la seguridad o el medio ambiente)?

Fuente: (Moubray J. , 1997, pág. 209).

Si se selecciona una tarea, se registra una descripción de la tarea; con el suficiente detalle y precisión para que quede lo suficientemente claro a la persona que realizará la tarea y la frecuencia con la que debe ser realizada (Moubray J. , RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, 1997)

### 2.12.6. Las preguntas “a falta de” (Pendiente de)

Las columnas tituladas H4, H5 y S4 en la hoja de Decisión son utilizadas para registrar las respuestas a las tres preguntas “a falta de”. Se muestra cómo se responden a éstas tres preguntas. Nótese que estas preguntas sólo se harán si las respuestas a las tres preguntas previas de factibilidad técnica de las tareas proactivas fueron todas negativas (Moubray J. , 1997, pág. 210)

Tabla 6: Las preguntas “A Falta de”.

Referencia Informació n			Evolución de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"		
							S1	S2	S3			
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	HS	S4
							N1	N2	N3			
3	A	1	N				N	N	N	S		
<p>¿Es técnica factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de falla?</p> <p>Registrar "Si" es posible realizar la tarea y resulta práctico hacerlo con la frecuencia requerida y recude el riesgo de la falla múltiple a un nivel tolerable.</p>												
4	B	4	N				N	N	N	N	S	
4	C	2	N				N	N	N	N	N	
<p>¿Podría la falla múltiple afectar la seguridad o el medio ambiente?</p> <p>Solo se hace esta pregunta si la respuesta a la pregunta H4 es "No". Si la respuesta a esta pregunta es "Si", el rediseño es obligatorio. Si la respuesta es "No", la acción "a falta de" es no realizar mantenimiento preventivo, pero el rediseño puede ser deseable.</p>												
5	B	2	S	S			N	N	N			S
2	A	5	S	S			N	N	N			N
<p>¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una combinación de tareas?</p> <p>Responder "Si", si una combinación de dos o más tareas proactivas cualquiera reduce el riesgo de falla a un nivel tolerable (esto rara vez sucede). Si la respuesta es "No", el rediseño es obligatorio.</p>												
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N			
1	B	3	S	N	N	N	N	N	N			
<p>En estos dos casos, las consecuencias de la falla son puramente Económicas y no se pudo encontrar una tarea proactiva apropiada.</p> <p>Como resultado, la decisión "a falta de" inicial es no realizar mantenimiento programado, pero el rediseño puede ser deseable</p>												

Fuente: (Moubray J. , 1997, pág. 210).

Si en el transcurso del proceso de tomar decisiones se eligió una tarea proactiva con la búsqueda de falla debe realizarse un registro para la descripción de la tarea o actividad en la columna que se denomina tarea propuesta. Lo importante es que la actividad que se ha descrito con los mismos detalles en la hoja de decisiones que se realizara la entrega al personal de mantenimiento que ejecutar la actividad

## **CAPÍTULO III. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

### **3.1. Descripción de la Empresa Prestadora de Servicio de Mantenimiento**

#### **3.1.1. Historia de la Empresa**

Desde los años mil novecientos veinte, con un capital considerable, de manera conjunta con los líderes de esta empresa peruana empezaron con la actividad importadora de bienes de consumo.

Luego de 25 años, que se dedicaron a la importación de bienes de consumo, tuvieron un crecimiento óptimo. Es desde ese entonces que esta empresa peruana decide estar en la incursión con la importación de bienes de capital.

Fue muy acelerado y óptimo el crecimiento de sus actividades de importación, que en la década de los cincuenta los líderes de esta empresa deciden la apertura de sedes en la zona sur, zona norte, zona centro del Perú.

En la década de las sesenta forma alianzas con otras empresas, asumiendo el control de muchas empresas. Además, empezó a representar a las empresas con las que formó las alianzas.

Actualmente, la empresa en mención tiene actividades en la mayoría parte del Perú, destaca en el sector minero, construcción. Presta servicios de mantenimiento a equipos de maquinaria pesada en las unidades mineras en la zona sur: Cerro Verde, Toquepala, Marcobre, Cuajone, Constancia, Antapacay, Las Bambas; en la zona norte: Pierina, Antamina; en la zona centro: el más importante la operación minera Toromocho.

En el sector construcción presta servicio y alquiler de equipo pesado para las obras públicas en la construcción. de carreteras, construcción de colegios; para el sector privado ofrece alquiler y venta de equipos para construcción y agricultura.

Otro servicio importante que ofrece es la reparación y la venta de componentes mayores y menores de los sistemas en los equipos para construcción, minería y agricultura.

### **3.1.2. Misión**

Proveer las soluciones que cada cliente requiere, facilitándole los bienes de capital y servicios que necesita para crear valor en los mercados en los que actúa

### **3.1.3. Visión**

Fortalecer nuestro liderazgo siendo reconocidos por nuestros clientes como la mejor opción, de manera que podamos alcanzar las metas de crecimiento.

### **3.1.4. Valores**

- Compromiso.
- Integridad.
- Equidad.
- Trabajo en Equipo.
- Respeto a la persona.
- Excelencia e innovación.
- Vocación y servicio.

### 3.2. Organigrama

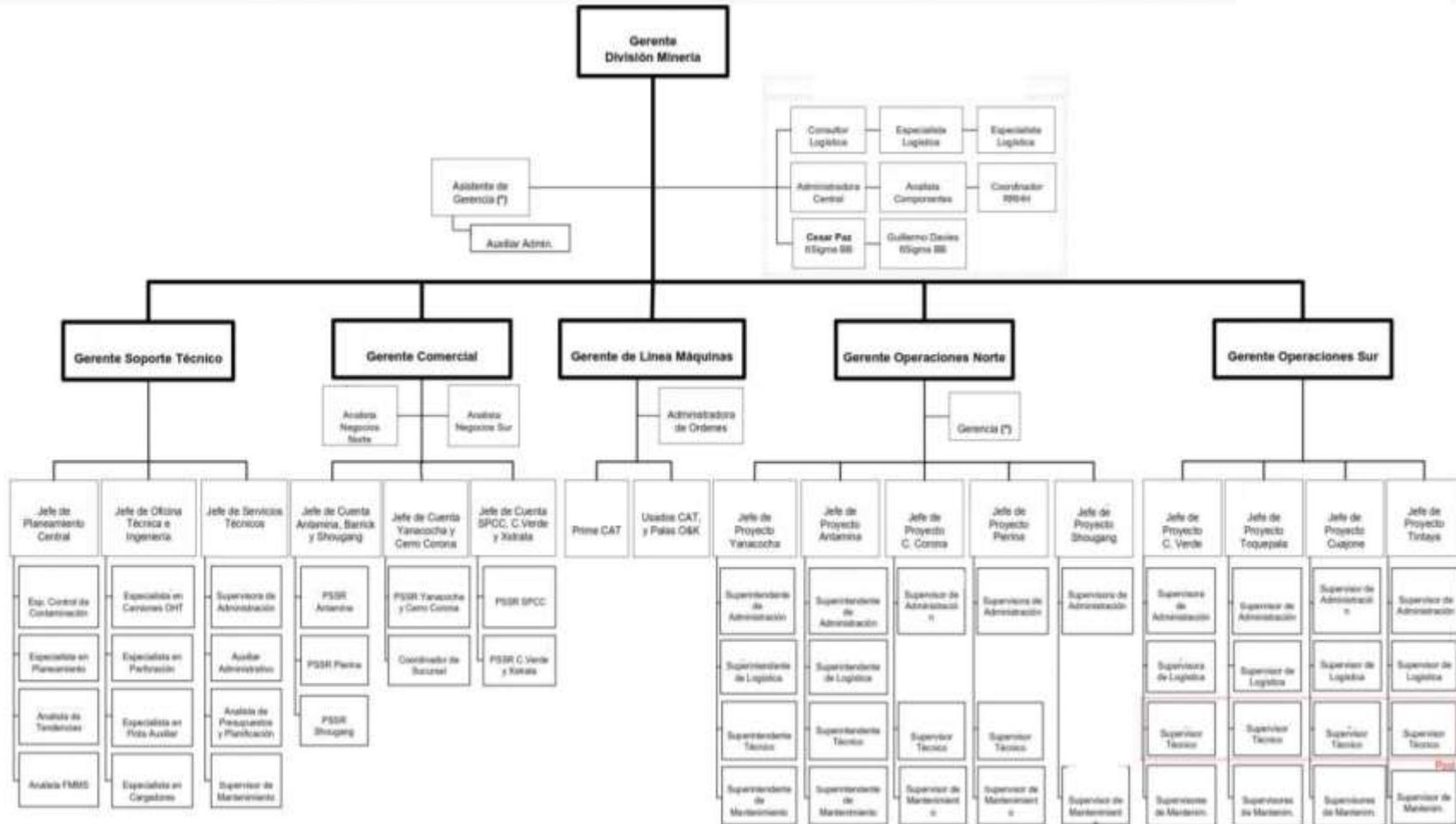


Figura 5. Organigrama división gran minería.

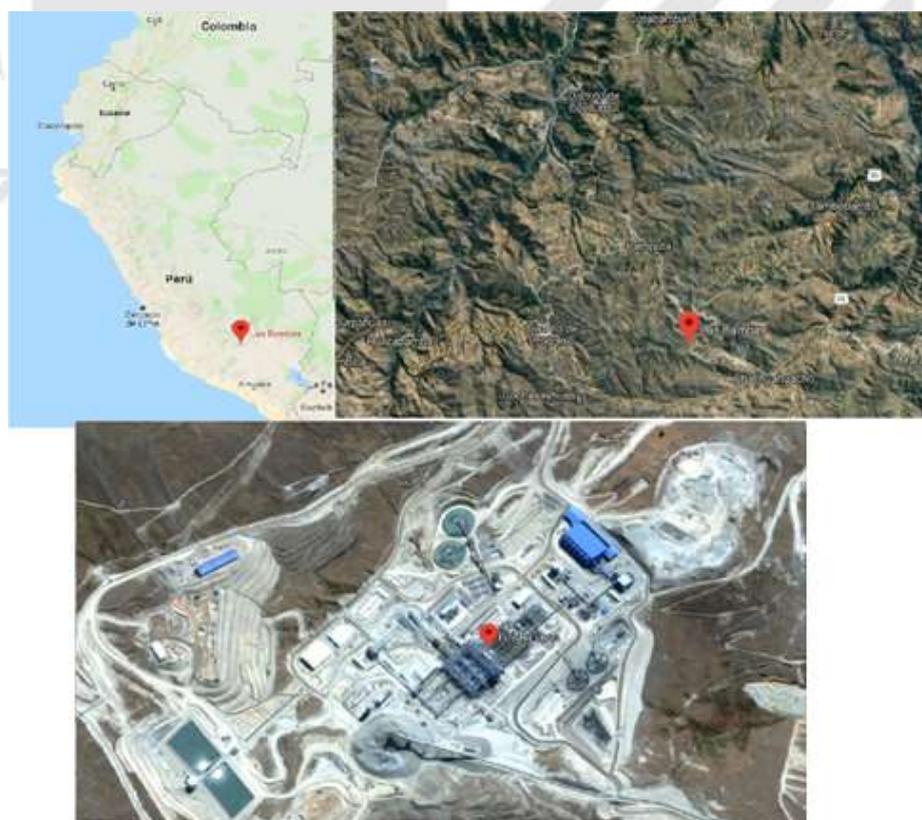
### 3.3.Ubicación de la Operación Minera

La operación minera de cobre y molibdeno denominada “Las Bambas” se encuentra ubicada en los distritos de: Challhuahuacho, Coyllurqui y Tambobamba en la provincia de Cotabambas; en el distrito de progreso en la provincia Grau, todos ellos en la Región Apurímac.

La mina está a una altitud entre los 3.800 y 4.600 m.s.n.m., a aproximadamente 75 km al suroeste de la ciudad de Cusco (MMG Las Bambas., 2017).

Actualmente, llevan a cabo actividades mineras de explotación del yacimiento Ferrobamba y, posteriormente, realizarán actividades de extracción de minerales de los yacimientos Chalcobamba y Sulfobamba. La planta concentradora de Las Bambas tiene una capacidad instalada de 145.000 toneladas por día (t/d), y genera concentrado de cobre (Cu) y molibdeno (Mo) como producto. Durante 2017, la producción superó las 450.000 toneladas de cobre en concentrado (MMG Las Bambas., 2017).

Figura 6.Ubicación geográfica de la operación minera.



Fuente: Google maps.

### **3.4. Descripción particular del área objeto de análisis**

Actualmente la empresa prestadora de servicios de mantenimiento de maquinaria pesada de mina se encuentra en la unidad minera ubicada en la región de Apurímac.

Son dos tipos de contrato que tiene para el servicio de mantenimiento de la flota de equipos Caterpillar.

#### **3.4.1. Contrato LPP**

La modalidad LPP consiste de un servicio para brindar mantenimiento integral a la flota CAT. El servicio LPP está considerado el servicio mano de obra y toda la parte técnica necesaria para ejecutar el servicio de mantenimiento. Los repuestos necesarios dentro de las operaciones son adquiridos por MMG para lo cual la empresa de mantenimiento ofrece un respectivo convenio de repuestos acorde a los requerimientos que se pueda presentar.

#### **3.4.2. Contrato Marc**

Un contrato marc es un contrato de mantenimiento y reparación (Maintenance and Repair Contract), es aquel por el cual el prestador de servicios se obliga, respecto de determinados equipos del cliente y mediante la mantención y reparación de los mismos a que dichos equipos estarán en condiciones de funcionar una determinada cantidad de horas dentro de un lapso de tiempo determinado.

La empresa cuenta con área de mantenimiento de equipos que se encarga de mantener en buen estado los equipos del proceso, el área de mantenimiento cuenta con 80 colaboradores de mecánicos.

Para realizar el proceso de mantenimiento en la unidad minera se tiene o se cuenta con cuatro guardias en un régimen de 10 x 10 días.

Las marcas de los equipos son de la marca Caterpillar. La población de maquinarias pesada son la siguiente:

- Tractores sobre ruedas de la serie 844:8 unidades.
- Manipuladores de cable de la serie 834:2 unidades.
- Motoniveladoras de la 24M y 16M:4 unidades.
- Excavadoras sobre orugas:6 unidades.
- Cargadores sobre ruedas:9 unidades.
- Compactador:1 unidad.

- Tractores sobre orugas:7 unidades.
- Camiones de acarreo de la serie797F:9unidades.

Las tareas principales de los equipos en la mina.

- Tractores sobre ruedas.

Los tractores de ruedas tienen la función de la limpieza de las rampas de los camiones de acarreo, empuje de material en trabajos de movimiento de tierras.

- Manipuladores de cable.

Estos equipos tienen la función de la remoción e instalación de los cables de alimentación de las palas eléctricas.

- Motoniveladoras.

Las motoniveladoras tienen el trabajo de nivelación de carreteras, remoción de material, limpieza de áreas de carguío, limpieza del barro, lodo que se genera en las temporadas de lluvia.

- Excavadoras sobre orugas y cargadores sobre ruedas.

Estos equipos cargan material a las tolvas de los volquetes y camiones.

- Compactador:

Se encargan de la nivelación y compactación de las vías de acceso de los camiones

- Tractores sobre orugas

Los tractores de cadenas trabajan en el movimiento de tierras, en el arranque de material, empuje de material y en la construcción de carreteras y rampas de acceso para los camiones de acarreo.

- Camiones de acarreo.

Los camiones de acarreo son las máquinas más críticas en la mina, se encargan del transporte de grandes toneladas de mineral.

Continuación mostramos con más detalles la flota de equipo que trabajan en la operación minera:

### 3.5. Lista de equipos en Proyecto Minero de Apurímac

Figura 7: Flota Caterpillar en proyecto

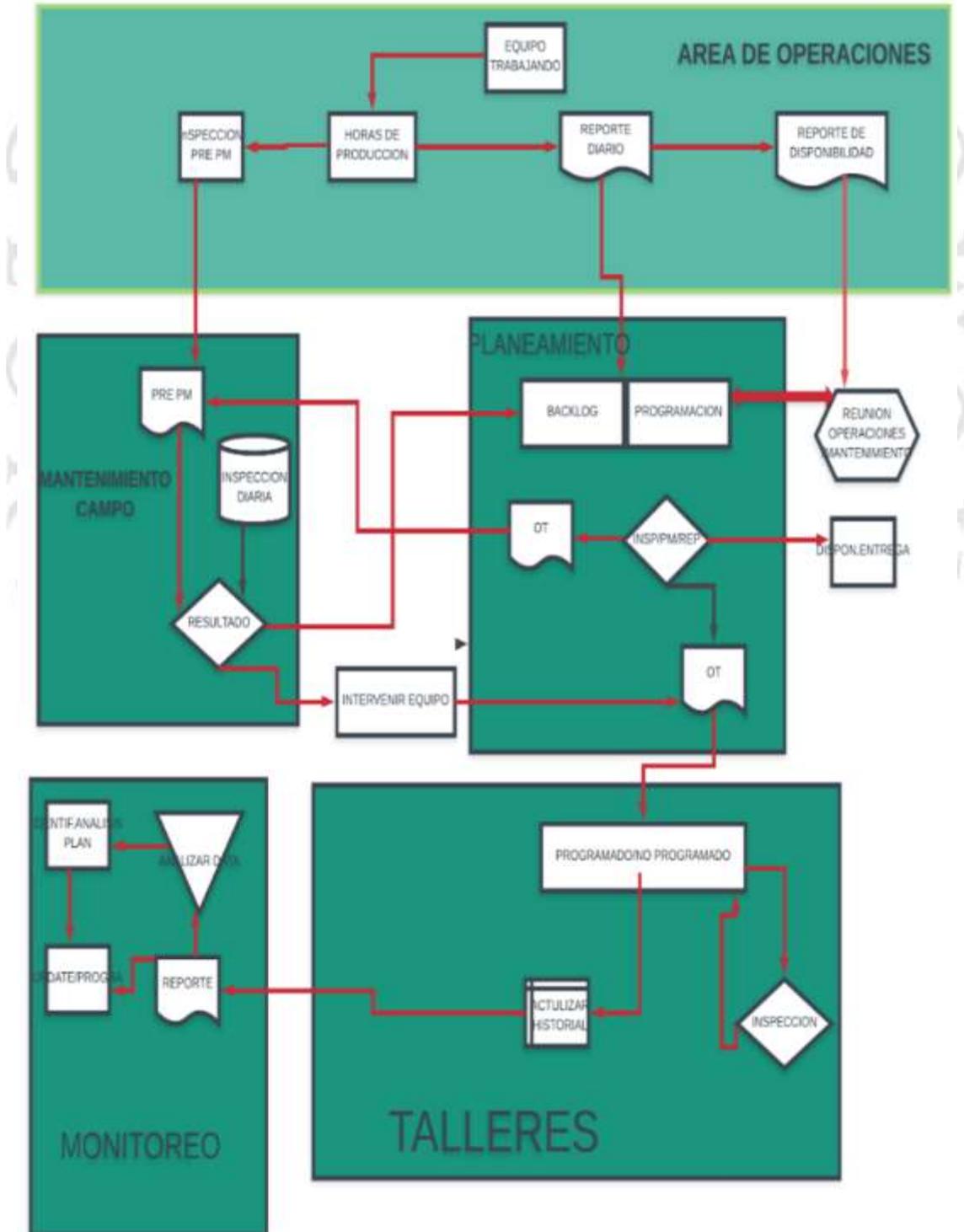
FLOTA CATERPILLAR					
EQUIPO	MODELO	SERIE	MARCA	CODIGO INTERNO	
TRACTOR SOBRE RUEDA	844H	BTW00238	CAT	RT001	
	844H	BTW00242	CAT	RT002	
	844H	BTW00254	CAT	RT003	
	844H	BTW00250	CAT	RT004	
	844H	BTW00249	CAT	RT005	
	844H	BTW00252	CAT	RT006	
	844H	BTW00255	CAT	RT007	
	844K	KLS00406	CAT	RT008	
MANIPULADOR DE CABLE	834H	BTX01270	CAT	CR001	
	834H	BTX01277	CAT	CR002	
MOTONIVELADORA	24M	B9K00497	CAT	GR001	
	24M	B9K00545	CAT	GR002	
	24M	B9K00610	CAT	GR003	
	24M	B9300137	CAT	GR004	
	16M	E9Y00228	CAT	GR021	
EXCAVADORA DE ORUGA	390DL	WAP00407	CAT	EX001	
	374DL	PAS00764	CAT	EX002	
	390DL	WAP00557	CAT	EX003	
	390FL	GAY00178	CAT	EX004	
	374FL	MFL00282	CAT	EX005	
	390FL	HJD20136	CAT	EX006	
CARGADOR SOBRE RUEDA	988H	BXY04264	CAT	LD002	
	988K	LWX00637	CAT	LD003	
	966H	A6J00741	CAT	LD004	
	992K	H4C00587	CAT	LD005	
	980H	PF800531	CAT	LD006	
	980H	PF800530	CAT	LD007	
	980H	PF800526	CAT	LD008	
	980H	PF800525	CAT	LD009	
962H	SSA00436	CAT	LD010		
COMPACTADOR	CS-56	C5S01697	CAT	RV001	
TRACTOR DE SOBRE CADENA	D8T	J8B01315	CAT	DZ008	
	D11T	AMA00748	CAT	DZ010	
	D11T	AMA00752	CAT	DZ011	
	D11T	AMA00755	CAT	DZ012	
	D11T	AMA00807	CAT	DZ013	
	D11T	AMA00809	CAT	DZ014	
	D9T	TWG00852	CAT	DZ015	
CAMIONES DE ACARREO	797F	LAJ00398	CAT	HT070	
	797F	LAJ00613	CAT	HT071	
	797F	LAJ00614	CAT	HT072	
	797F	LAJ00615	CAT	HT073	
	797F	LAJ00616	CAT	HT074	
	797F	LAJ00617	CAT	HT075	
	797F	LAJ00625	CAT	HT076	
	797F	LAJ00626	CAT	HT077	
797F	LAJ00627	CAT	HT078		

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6. Diagrama de flujo del proceso de mantenimiento

A continuación, presentaremos el diagrama de flujo general de los trabajos de mantenimiento dentro de los talleres de Truck Shop.

Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de atención en talleres.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura mostrada líneas arriba del diagrama de flujo del proceso de atención en talleres, tenemos cuatro áreas principales para el proceso de atención de equipos en los talleres.

#### Área de operaciones.

El área de operaciones realiza la distribución de los equipos para la producción de mineral en los tajos. Define que cantidad de equipos, tiempo de operación, lugares de distribución de los equipos para realizar las actividades en la obra. Cuando un equipo reporta una falla durante su operación, el área de operaciones solicita su atención inmediata al personal de mantenimiento de campo.

#### Mantenimiento en Campo.

Esta área de mantenimiento de campo se encarga de la atención de los equipos que presentan fallas imprevistas durante la operación. El área de operaciones solicita la atención del equipo que tiene falla al personal de campo para su atención.

#### Planeamiento.

El área de planeamiento es el encargado de la programación de las tareas de mantenimiento para los equipos a través de una orden de trabajo. Planeamiento solicita repuestos, define el tiempo de atención durante el mantenimiento, define la cantidad de personal.

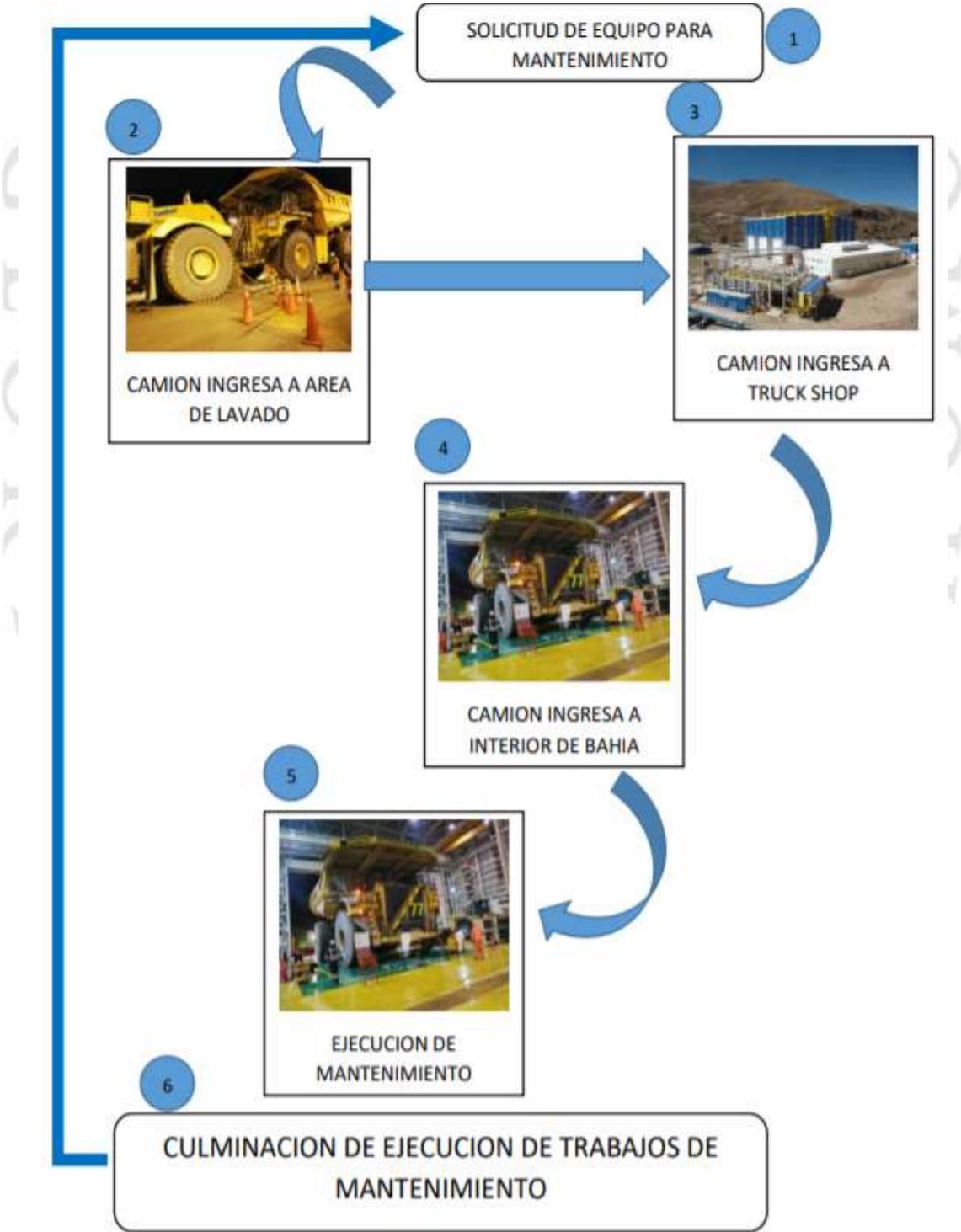
#### Monitoreo.

El área de monitoreo es el encargado de la supervisión del estado de los equipos de los parámetros como presión, temperatura, vibración, estado de fluidos se basa en datos que registran los camiones y flota auxiliar. Sus actividades están relacionadas con el mantenimiento predictivo, donde la aplicación permite que se programen acciones que deben tomarse para evitar el fallo del equipo y posterior parada del equipo.

#### Talleres.

El área de talleres recibe órdenes de trabajo del área de planeamiento para su atención y su ejecución del mantenimiento a los equipos de maquinaria pesada.

Figura 9. Diagrama de Flujo para ejecución de mantenimiento



Fuente: Elaboración Propia

El diagrama de flujo en la parte superior muestra el proceso para la ejecución de mantenimiento en talleres. Para la atención de los equipos, el área de mantenimiento solicita al área de operaciones para la disposición de los equipos que ingresarán para su servicio de mantenimiento. El equipo programado ingresa a la hora y fecha indicada por planeamiento al área de lavado para su limpieza de todos los sistemas que se realizarán el servicio de mantenimiento, luego el equipo se dirige a interior de talleres a una bahía destinada para su atención, posteriormente se realiza la ejecución de las actividades de mantenimiento.

Para la ejecución del servicio de mantenimiento de un equipo se necesita lo siguiente: la cantidad necesaria de personal para su atención, repuestos para el mantenimiento, fluidos de aceites para realizar el reemplazo en la ejecución del mantenimiento.

Durante la ejecución de trabajos de mantenimiento están considerados los mantenimientos correctivos, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo y en algunos casos el mantenimiento overhaul. Se realiza los mantenimientos mencionados anteriormente de acuerdo a los requerimientos de atención de los equipos y la criticidad de los mismos. La duración en la ejecución de los mantenimientos depende del tipo de actividad que se realiza en los equipos.

## CAPITULO IV: ANALISIS Y DIAGNOSTICO

### 4.1. Análisis de disponibilidad de la flota de equipos Caterpillar en el 2018

En esta sección se analizará los índices de disponibilidad mecánica de forma anual de toda la flota de maquinaria pesada de minería. Esta flota de maquinarias está comprendida entre los camiones de acarreo y equipo considerado como flota tradicional

La flota de equipo Caterpillar están distribuidas de la siguiente manera:

- Flota 884 y 844K.
- Flota 834.
- Flota de motoniveladoras 16M y 24M.
- Flota excavadora 390DL 374FL
- Flota de Cargadores
- Flota de compactadores.
- Flota de tractores de cadenas.
- Flota de Camiones 797F

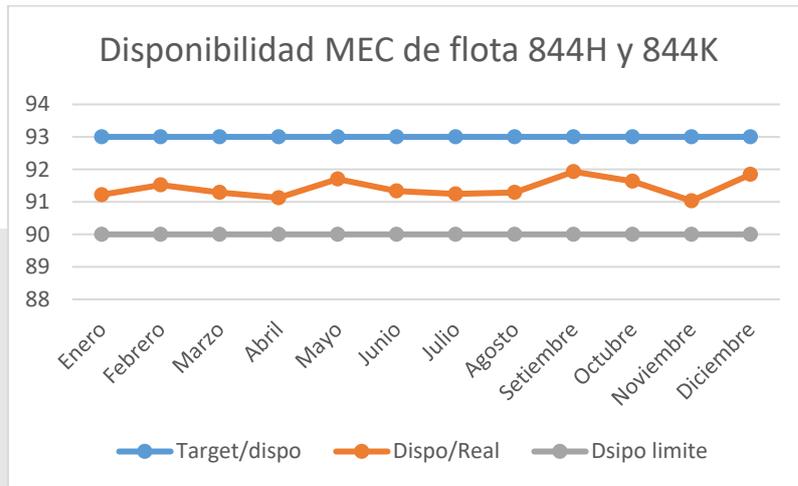
De acuerdo a las exigencias del cliente la disponibilidad mecánica de toda flota de equipo Caterpillar tiene que estar entre el rango 90% y 93%. Para ellos es prioridad que todos los equipos alcancen y mantengan ese objetivo por la criticidad de los equipos para la producción.

En el caso de obtener resultados inferiores al 90% se tienen que tomar medidas de acción para determinar las causas de la baja disponibilidad mecánica.

A continuación, se analizarán los índices de disponibilidad mecánica de la flota de equipo Caterpillar.

#### 4.1.1. Disponibilidad mecánica de flota 844H y 844K-2018

Figura 10. Disponibilidad mecánica de flota 844H y 844K-2018



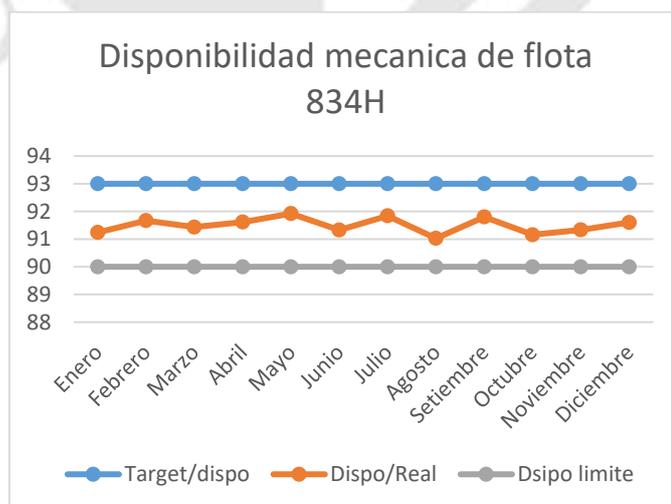
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 10 nos indica que la disponibilidad mecánica está dentro las exigencias del cliente. Considerando que el rango esta entre 90% y 93 %.

Con esto podemos concluir que la flota de equipo auxiliar 844H y 844K en el 2018 ha cumplido con el objetivo. Considerando que se está realizando buenas labores de mantenimiento.

#### 4.1.2. Disponibilidad mecánica de flota 834H-2018

Figura 11. Disponibilidad mecánica de flota 834H-2018



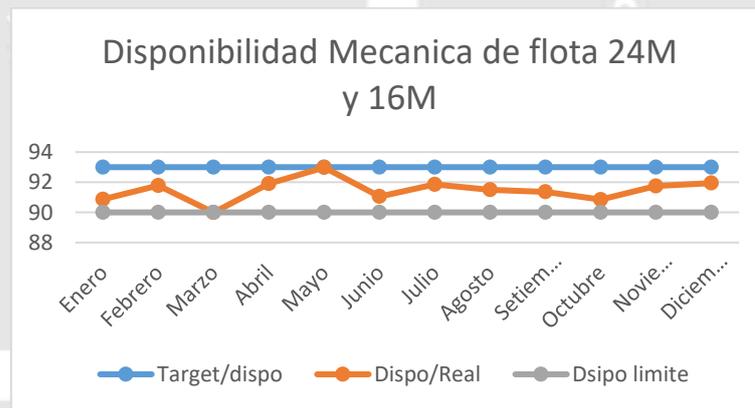
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 11 nos indica que la disponibilidad mecánica de la flota 834H está dentro la exigencia del cliente. Considerando que el rango esta entre 90% y 93 % .

Con esto podemos concluir que la flota de equipo auxiliar 834H en el 2018 ha cumplido con el objetivo. Considerando que se está realizando buenas labores de mantenimiento.

#### 4.1.3. Disponibilidad Mecánica de flota 24M y 16M

Figura 12 .Disponibilidad Mecánica de flota 24M y 16M



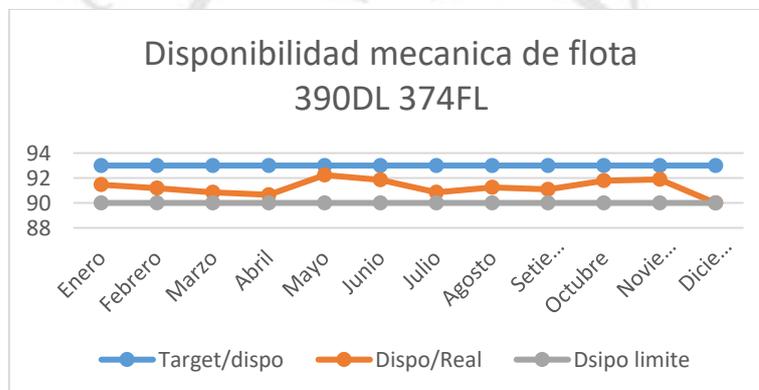
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 12 nos indica que la disponibilidad mecánica de la flota 24M y 16M está dentro la exigencia del cliente. Considerando que el rango esta entre 90% y 93 % .

Con esto podemos concluir que la flota de equipo auxiliar 24M y 16M en el 2018 ha cumplido con el objetivo. Considerando que se está realizando buenas labores de mantenimiento.

#### 4.1.4. Disponibilidad mecánica de flota 390DL 374FL

Figura 13. Disponibilidad mecánica de flota 390DL 374FL



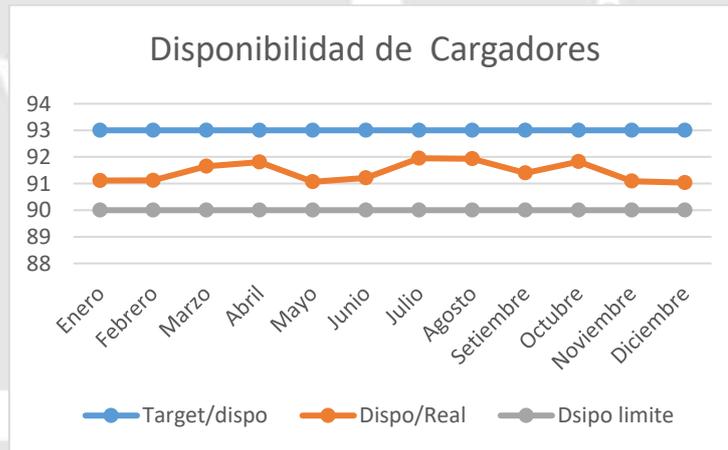
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 13 nos indica que la disponibilidad mecánica de la flota 390DL 374FL está dentro la exigencia del cliente. Considerando que el rango esta entre 90% y 93 % .

Con esto podemos concluir que la flota de equipo auxiliar 390DL 374FL en el 2018 ha cumplido con el objetivo. Considerando que se está realizando buenas labores de mantenimiento.

#### 4.1.5. Disponibilidad Mecánica Cargadores

Figura 14. Disponibilidad Mecánica Cargadores.



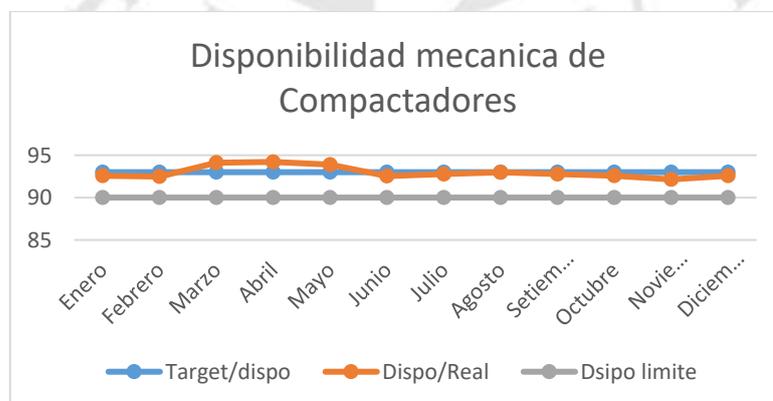
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 14 nos indica que la disponibilidad mecánica de la flota de cargadores está dentro la exigencia del cliente. Considerando que el rango esta entre 90% y 93 % .

Con esto podemos concluir que la flota de equipo auxiliar Cargadores en el 2018 ha cumplido con el objetivo. Considerando que se está realizando buenas labores de mantenimiento.

#### 4.1.6. Disponibilidad mecánica de Compactadores

Figura 15 .Disponibilidad mecánica de Compactadores



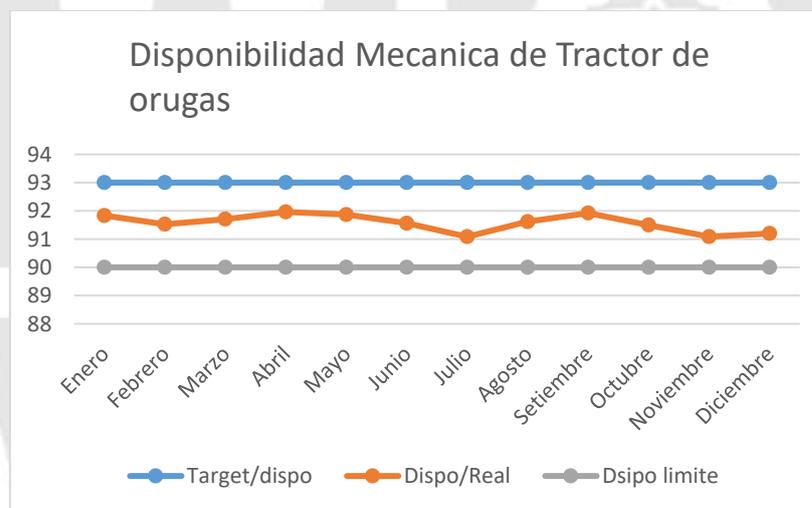
Fuente: Elaboración propia

En la figura 15 nos indica que la disponibilidad mecánica de la flota de Compactadores está dentro la exigencia del cliente. Considerando que el rango esta entre 90% y 93 %.

Con esto podemos concluir que la flota de equipo auxiliar compactadores en el 2018 ha cumplido con el objetivo. Considerando que se está realizando buenas labores de mantenimiento.

#### 4.1.7. Disponibilidad Mecánica de Tractor de orugas

Figura 16. Disponibilidad Mecánica de Tractor de orugas



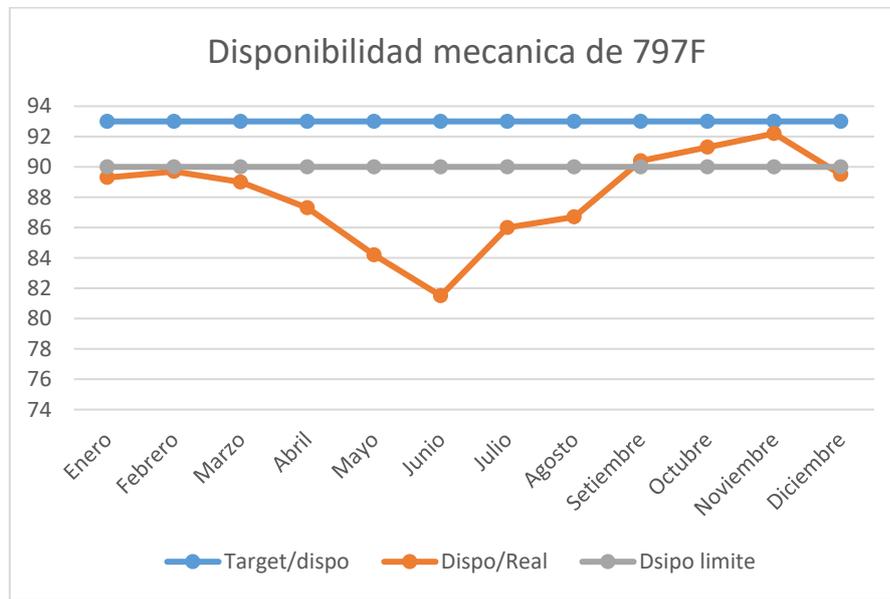
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 16 nos indica que la disponibilidad mecánica de la flota de los tractores de cadenas está dentro la exigencia del cliente. Considerando que el rango esta entre 90% y 93 %.

Con esto podemos concluir que la flota de equipo auxiliar los tractores de cadenas en el 2018 han cumplido con el objetivo. Considerando que se está realizando buenas labores de mantenimiento.

#### 4.1.8. Disponibilidad mecánica de 797F

Figura 17 .Disponibilidad mecánica de 797F



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 17 nos indica una baja disponibilidad mecánica de los camiones de acarreo 797F, teniendo como promedio una disponibilidad en el 2018 de 88%.

#### 4.2. Análisis de Disponibilidad de camiones de acarreo 797F

A partir de esto podemos revisar que los índices de disponibilidad durante el 2018 en el caso de la flota correspondiente al contrato Marc se tiene un incumplimiento con lo exigido por el cliente en el total de Flotas de camiones 797F.

Para el caso del contrato MARC, la exigencia del cliente se basa en ratios definidos, lo que afecta la calidad de servicio y por ende la insatisfacción del cliente.

Para el caso de disponibilidad de los camiones 797F durante el 2018 ha obtenido un promedio de 85% de disponibilidad por lo que ha incumplido con las exigencias del cliente.

La disponibilidad objetivo por las exigencias de la minera es del 93%.

La antigüedad de los camiones 797F es de 3 años, y no debería tener fallas inesperadas, por lo tanto, la disponibilidad debe de oscilar entre 91% y 93%. Pero de acuerdo al análisis de los índices durante el 2018 ya han tenido reparaciones parciales.

En problema central de la baja disponibilidad de la flota de nueve camiones podrían ser afectados por:

- **Componente no cumplen su función antes de su vida útil por un inadecuado sistema de monitoreo: A**

Los componentes no cumplen la vida útil de acuerdo a lo estimado por el fabricante. Esto puede ser causa por una mala atención del equipo de mantenimiento. También por fallas de diseño y manufactura de los componentes del fabricante

- **Técnicos con poca experiencia en camiones 797F: B**

La gran demanda de personal de mantenimiento para la atención de los equipos y/o maquinarias y poca experiencia de los mecánicos en trabajos de mantenimiento. El profesional mecánico con poco tiempo de experiencia necesita un mínimo de 6 meses para su instrucción para un mejor desempeño en sus labores en el área de trabajo. Pero en realidad el personal de mantenimiento ejecuta los trabajos casi de forma inmediata. Lo que no garantiza un trabajo confiable en los camiones de acarreo.

- **Falta de espacio Físico (Bahía):C**

El taller de mantenimiento de la unidad minera tiene un área aproximadamente de 1500 metros cuadrados, además de ello solo cuenta con 6 bahías para la atención de equipos que tiene superior a las 100 unidades dentro la operación. Esta extensión de área no abastece la cantidad de equipos que se atienden en un turno de trabajo. El área de lavado para el equipo solo cuenta con una bahía, generando tiempos perdidos por la espera de turno para realizar el lavado de los equipos antes que pueda ingresar al taller de mantenimiento. Durante un turno de trabajo ingresan un aproximado de 6 equipos entre camiones de acarreo y flota tradicional para su atención. El tiempo de espera para el lavado se demora entre 1 a 2 horas. Entre ese periodo de espera se genera tiempo de pérdida por parte del personal de mantenimiento.

- **Problemas por factores Climáticos. D**

La unidad minera se ubica en un lugar donde las condiciones climáticas son adversas. Hay temporadas entre octubre hasta marzo donde hay presencia de tormentas eléctricas, lo que genera retraso en los trabajos de mantenimiento en los equipos.

- **Demoras por trámites documentarios (permisos de trabajo)**

La demora de trámites documentarios como permiso de trabajo para la ejecución de trabajos de mantenimiento son reglas adoptadas por la operación minera como política de seguridad bajo estándares.

A continuación, se analizará las cinco causas principales que afectan la disponibilidad mecánica, se seleccionaran 2 causas para tomar medidas de acción, considerando la accesibilidad y facilidad de realizar alguna mejora para incrementar la disponibilidad mecánica.

Considerar que disponibilidad mecánica es la medición de despeño de los camiones solamente en los sistemas propios del camión de acarreo:

- Sistema de motor C175.
- Sistema de transmisión (Tren de fuerza).
- Sistema mandos finales.
- Sistema de refrigeración de motor.
- Sistema de dirección.
- Sistemas de frenos y enfriamiento de aceite de freno.
- Sistema se bastidor y suspensiones.
- Sistema de levante de tolva (Caja).

En la tabla 7 daremos un valor de ponderación para las causas posibles que afectan la disponibilidad mecánica de lo equipo. Está clasificado en cuatro niveles: malo, regular, bueno, excelente. A estos niveles se les asignara un valor entre a 1 al 4. considerando 4 numero 4 como exelente,3 como bueno,2 como regular,1 como malo.

Tabla 7.Ponderación de estados

Ponderación	
Nivel	Valor
Exelente:4	4
Bueno:3	3
Regular:2	2
Malo:1	1

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 8 se define que el porcentaje de peso es de acuerdo a la facilidad ya accesibilidad para la búsqueda de una alternativa de solución para lograr el incremento de la disponibilidad mecánica de los camiones de acarreo.

Tabla 8. Porcentajes y Pesos para la toma de decisiones

Pesos	Porcentaje
Muy Alcanzable	40%
Facilidad de ejecución	30%
Accesibilidad	20%
Costos	10%
Total	100%

Fuente: Elaboración Propia

Consideramos que hay factores que influirán si es que: es alcanzable, facilidades en la ejecución, accesibilidad de información y costo para lograr el incremento de disponibilidad de los camiones de acarreo.

Tabla 9. Matriz de evaluación de causas de baja disponibilidad de camiones 797F.

Criterios	%	A		B		C		D		E	
Solución Muy alcanzable	40%	3	1.2	3	1.2	2	0.8	1	0.4	3	1.2
Facilidad de ejecución.	30%	3	0.9	3	0.9	2	0.6	1	0.3	3	0.9
Accesibilidad	20%	3	0.6	3	0.6	2	0.4	1	0.2	1	0.2
Costos	10%	2	0.2	2	0.2	1	0.1	1	0.1	1	0.1
	100%		2.90		2.90		1.90		1.00		2.40

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 10 Lista de posibles causas para una baja disponibilidad

Identificación simplificada	Descripción de Causas probables
A	Componente no cumplen su función antes de su vida útil por un inadecuado sistema de monitoreo
B	Técnicos con poca experiencia en camiones 797F
C	Falta de espacio Físico (Bahía)
D	Problemas por factores Climáticos
E	Demoras por trámites documentarios

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo al análisis de la tabla 9 tomaremos en cuenta dos causas que afectan en la disponibilidad:

- Componente no cumplen su función antes de su vida útil por un inadecuado sistema de monitoreo.
- Técnicos con poca experiencia en camiones 797F.

#### **4.3. Análisis de Componente no cumplen su función antes de su vida útil por un inadecuado sistema de monitoreo**

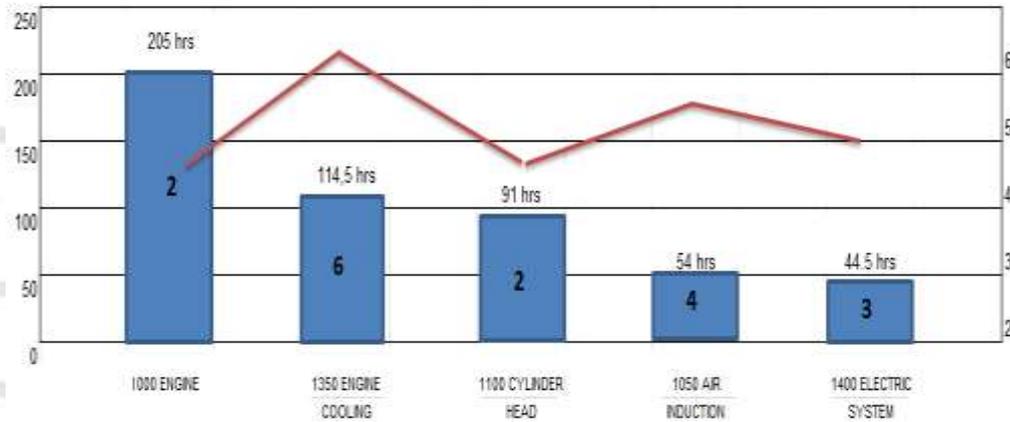
Los compontes de los principales sistemas de funcionamiento de los camiones 797F presentan averías antes de la vida útil especificada por el fabricante.

Los componentes no cumplen la vida útil de acuerdo a lo estimado por el fabricante. Esto pude ser causa por una mala atención del equipo de mantenimiento. También por fallas de diseño y manufactura de los componentes del fabricante

#### 4.4. Top fallas por sistemas (Motor)

##### 4.4.1. Top fallas de junio

Figura 18. Top fallas de junio

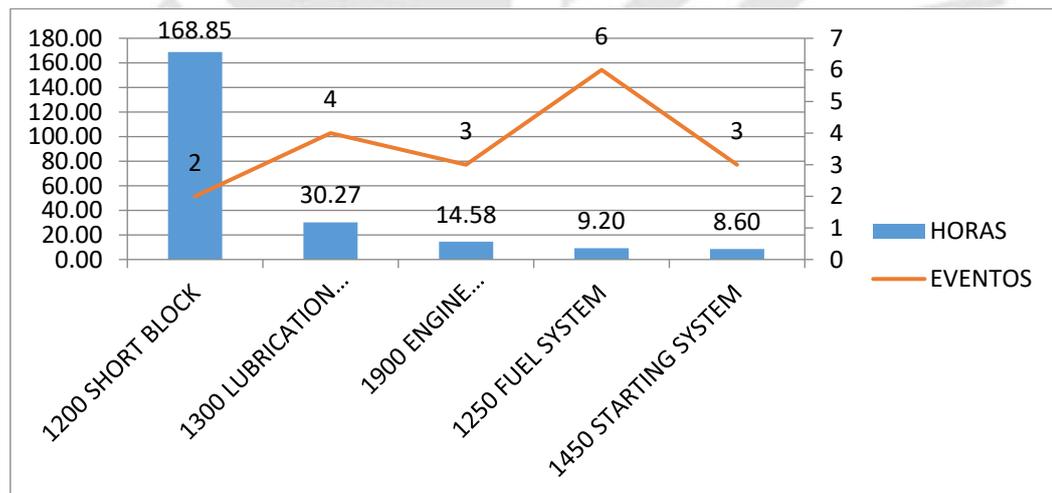


Fuente: Planeamiento.

En la figura 18 Se puede apreciar 509 horas de indisponibilidad por top 5 de motor. 7,51 % indisponibilidad, teniendo la mayor cantidad de horas (205hrs) por fallas de motor, siendo el principal causante la bomba escavenge en el camión HT071 y pase de refrigerante a las cámaras de combustión de HT072. En ambos casos esto represento cambio de motor. Seguido de problemas en el sistema de refrigeración con 114 hrs de equipo parado.

##### 4.4.2. Top fallas de julio

Figura 19. Top fallas de julio.

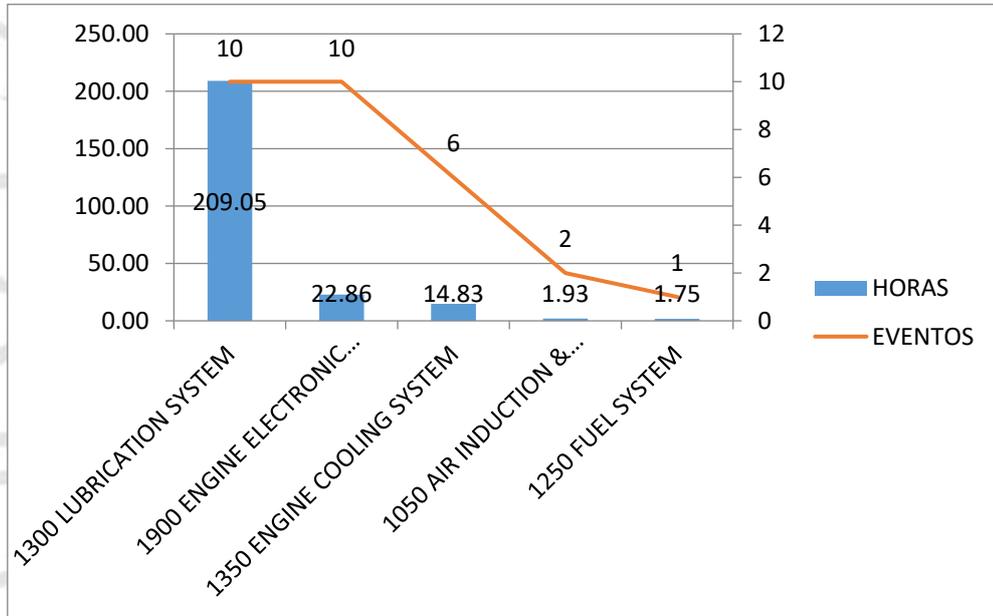


Fuente: Planeamiento de FESA

En la figura 19 se puede apreciar 231.5 horas de indisponibilidad por top 5 de motor. 3.41% indisponibilidad, teniendo la mayor cantidad de horas (168.85 hrs) por fugas de refrigerante entre insertos del HT071 y ajuste de pernos de soporte de motor del HT072. Las demás horas restantes (62.65 hrs) se dieron por los demás sistemas del motor.

#### 4.4.3. Top fallas de agosto

Figura 20 .Top fallas de Agosto.

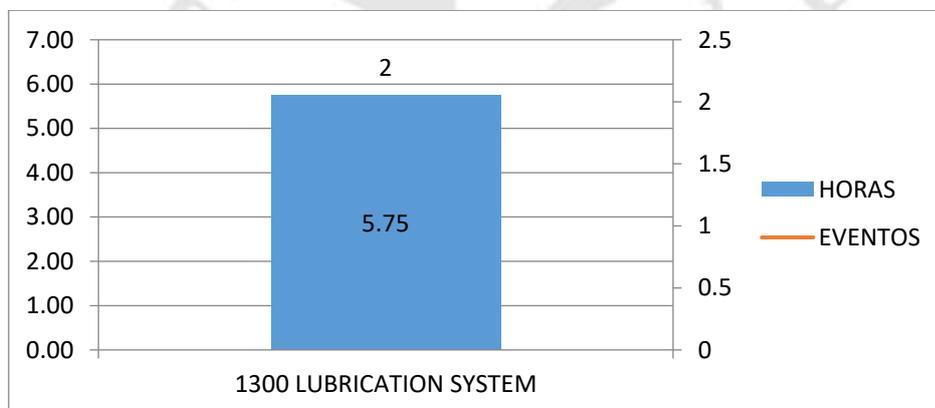


Fuente: Planeamiento de FESA

En la figura 20 se puede apreciar 250.42 horas de indisponibilidad por top 5 de motor. 3.69 % de indisponibilidad, teniendo la mayor cantidad de horas (209.05 hrs) de falla en el sistema de lubricación del motor y 41.37 hrs en los demás sistemas del motor.

#### 4.4.4. Top fallas de Setiembre

Figura 21. Top fallas de Setiembre

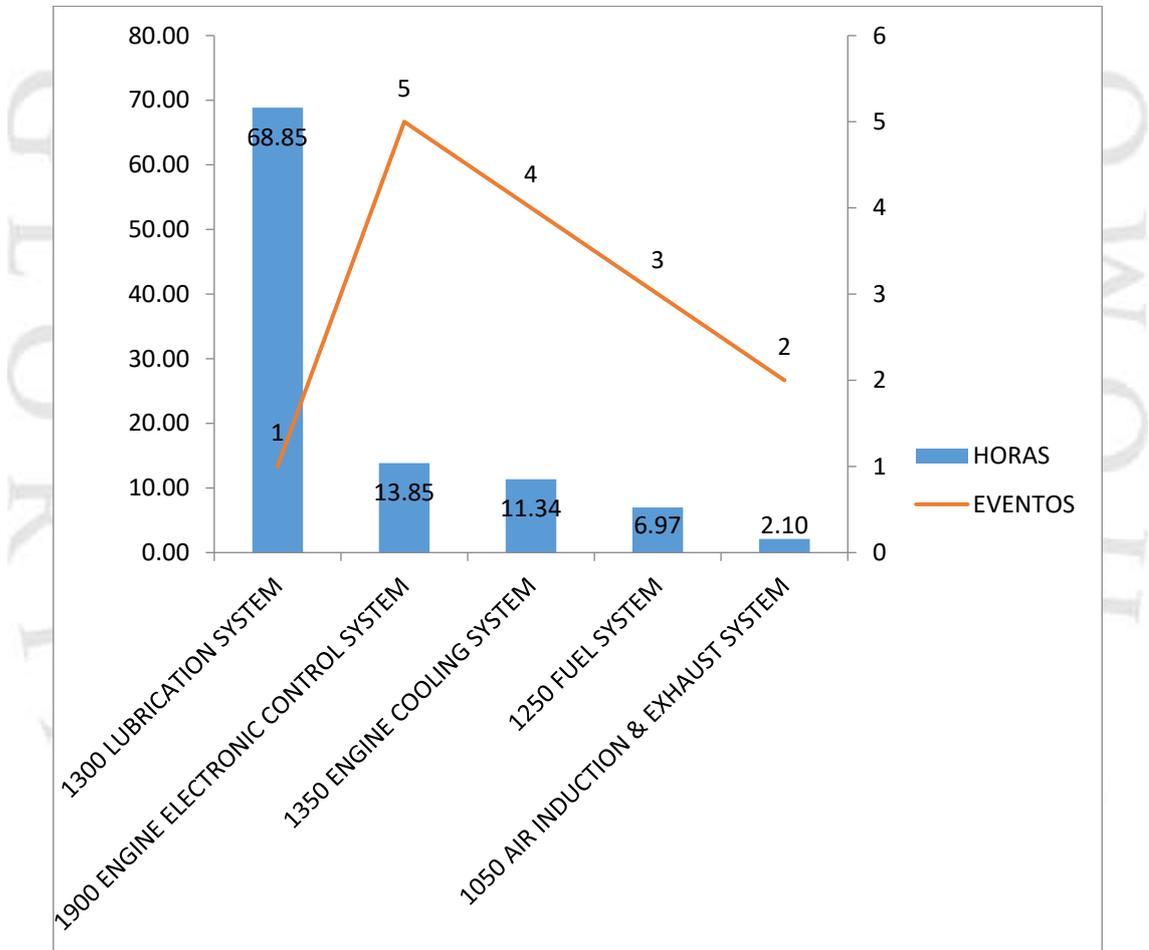


Fuente: Planeamiento de FESA

En la figura 21 se puede apreciar 5.75 horas de indisponibilidad por top 5 de motor. 0.125 % de indisponibilidad, teniendo una menor cantidad de fallas en toda la flota

#### 4.4.5. Top fallas de octubre

Figura 22. Top fallas de Octubre.

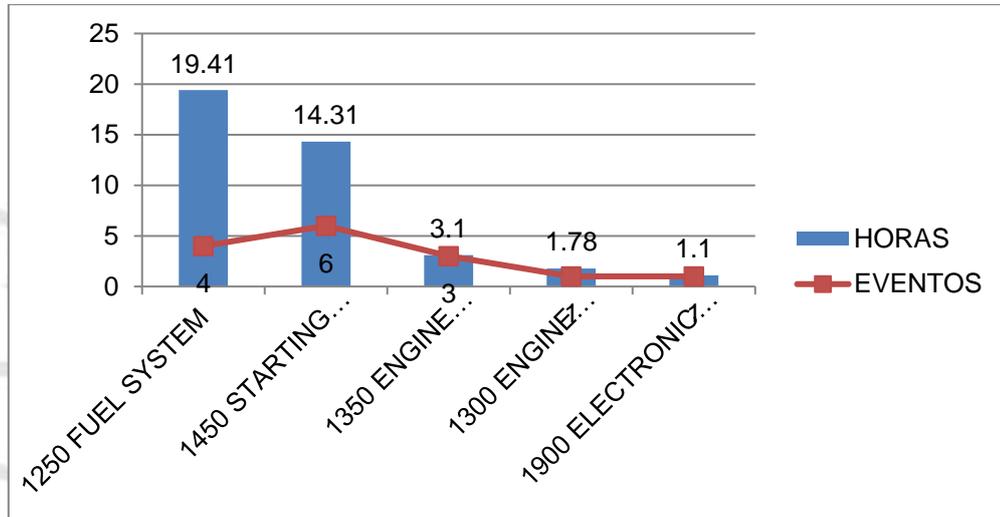


Fuente: Planeamiento de FESA

En la figura 22 se puede apreciar 103.11 horas de indisponibilidad por top 5 de motor. 1.52 % indisponibilidad, teniendo la mayor cantidad de horas (209.05 hrs) por problemas en el sistema de lubricación y 34.26 hrs por problemas con otros sistemas del motor.

#### 4.4.6. Top fallas de Noviembre

Figura 23. Top fallas de Noviembre

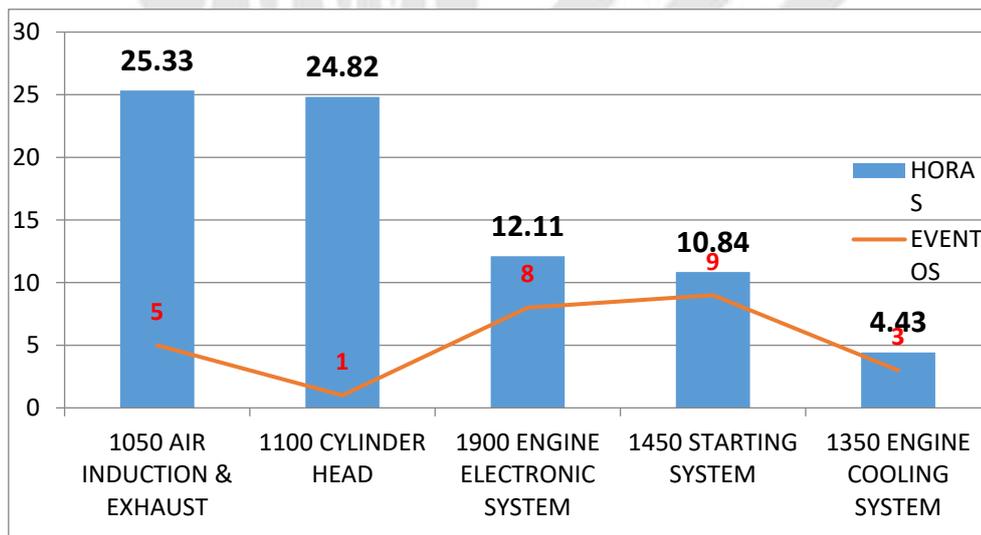


Fuente: Planeamiento de FESA

En la figura 23 se puede apreciar 39.7 horas de indisponibilidad por top 5 de motor. 0.086 % indisponibilidad, teniendo la mayor cantidad de horas (19.41hrs) por problemas en el sistema de combustible y las demás 20.29 horas por fallas en otros sistemas.

#### 4.4.7. Top fallas de Diciembre

Figura 24. Top Fallas de Diciembre



Fuente: Planeamiento de FESA

En la figura 24 se puede apreciar 77.53 horas de indisponibilidad por top 5 de motor. 1,68 % indisponibilidad, teniendo la mayor cantidad de horas (25.33hrs) sistema de admisión y escape seguido por (24.82 hrs) por problemas en una de las culatas del motor.

El siguiente cuadro es el resumen del top de fallas en sistemas de motor de los últimos 7 meses del año 2018.

#### 4.5. Resumen de top de fallas de sistema de motor en el año 2018

Tabla 11. Resumen de top de fallas de sistema de motor en el año 2018.

SISTEMAS DE MOTOR	JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	NUMERO DE PARADAS	HORAS DE PARADA	NUMERO DE PARADA	HORAS DE PARADA	NUMERO DE PARADA	HORAS DE PARADA	NUMERO DE PARADA	HORAS DE PARADA	NUMERO DE PARADAS	HORAS DE PARADA	NUMERO DE PARADAS	HORAS DE PARADA	NUMERO DE PARADAS	HORAS DE PARADA
SISTEMA DE BLOCK Y CULATAS	4	296	2	168.85									1	24.82
SISTEMA DE LUBRICACIÓN			4	30.27	10	209.05	2	5.75	1	68.85	1	1.78		
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	6	114.5									3	3.1	3	4.43
SISTEMA DE ENCENDIDO			3	8.6	6	14.83			4	11.34	6	14.31	9	10.84
SISTEMA DE COMBUSTIBLE			6	9.2	1	1.75			3	6.97	4	19.41		
SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO	3	44.3	3	14.58	10	22.86			5	13.85	1	1.1	8	12.11
SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	4	54			2	1.93			2	2.1			5	25.33
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>309.4</b>	<b>18</b>	<b>231.5</b>	<b>20</b>	<b>258.42</b>	<b>2</b>	<b>5.75</b>	<b>15</b>	<b>103.11</b>	<b>15</b>	<b>39.7</b>	<b>26</b>	<b>77.53</b>

Fuente: Elaboración propia.

Los meses que más se registraron pérdida de horas o indisponibilidad por el sistema de motor fueron los meses de junio y agosto afectando de manera crítica al rendimiento de la flota. Ocasionando una caída de la disponibilidad de 7.51% en junio y agosto con 3.69%. Lo que afecta a la disponibilidad general sin tener en cuenta los demás sistemas del camión.

#### 4.6. Criticidad de sistemas de motor

Tabla 12. Criticidad de sistemas de motor.

CRICIDAD DE SISTEMAS DEL MOTOR	HORAS DE PARADA	NUMERO DE PARADAS	% DE HORAS DE PARADA	% DE NUMERO DE PARADAS
SISTEMA DE BLOCK Y CULATAS	489.67	7	40%	6%
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	309.95	18	26%	15%
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	122.03	12	10%	10%
SISTEMA DE ENCENDIDO	59.92	28	5%	23%

<b>SISTEMA DE COMBUSTIBLE</b>	37.33	14	3%	11%
<b>SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO</b>	108.8	<b>30</b>	9%	<b>25%</b>
<b>SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE</b>	83.36	13	7%	11%
<b>TOTAL</b>	1211.06	122	100%	100%

Fuente: Elaboración Propia.

Los sistemas más críticos del motor son la parte de block y culatas con un total de 489.67 horas de paradas del motor que mantendrán el equipo inoperativo y la segunda causa de parada con más de 309.95 horas se dieron por problemas con el sistema de lubricación que vendría ser el segundo sistema más crítico y el número de paradas que más se suscitaron fue por problemas en el sistema de control electrónico ya que se paró un aproximado de 30 veces con un total de 108.8 hrs.

#### 4.7. Sistemas más críticos y los componentes que más fallan

Tabla 13. Sistemas más críticos y los componentes que más fallan

<b>SISTEMAS CRITICOS</b>	<b>COMPONENTES CRITICOS</b>
<b>Sistema de block y culatas</b>	Insertos y culatas
<b>Sistema de lubricación</b>	Bomba Scavenge
<b>Sistema de control electrónico</b>	Alternador, conectores, sensores y disyuntores
<b>Sistema de enfriamiento</b>	Bomba de refrigerante

Fuente: Elaboración Propia.

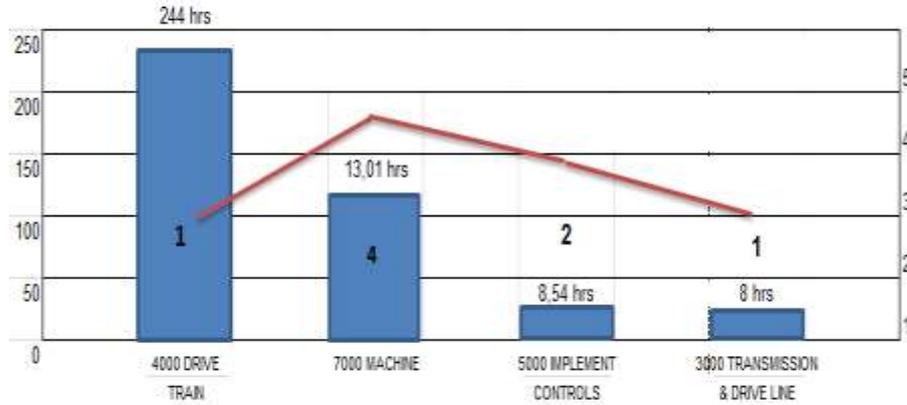
Luego de haber identificado los sistemas más críticos y los componentes que más fallan dentro de cada sistema de motor, más adelante se realizara el RCM por cada subsistema.

Existen otros sistemas que también son críticos que pueden afectar la disponibilidad de la flota de una forma muy negativa y su costo de reparación representa el 50% a 60% del costo total del equipo. A continuación, se realizará el Top 5 fallas de máquina.

## 4.8. Top 5 fallas de máquina.

### 4.8.1 Top 5 de fallas máquina – Junio

Figura 25. Top 5 de fallas máquina – Junio.

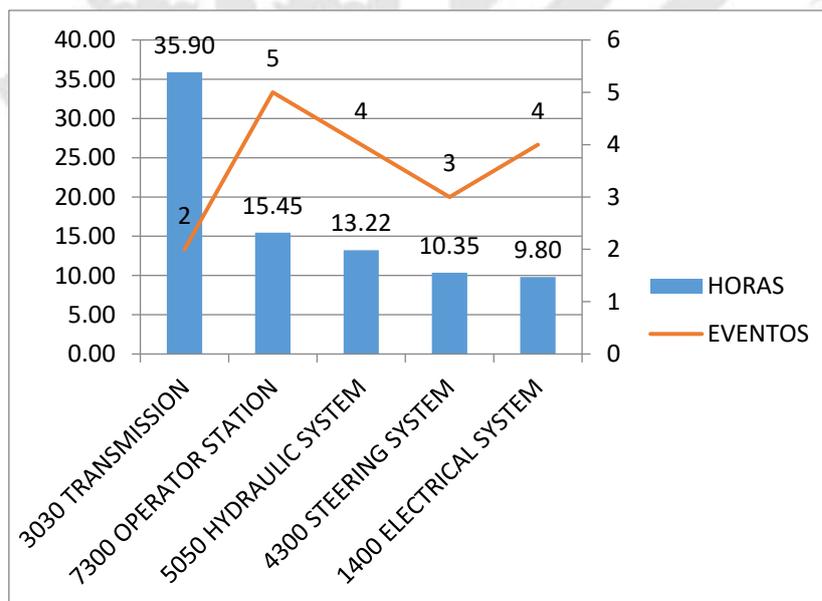


Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 26 se puede apreciar 273.55 horas de indisponibilidad por top 5 fallas de máquina. 4.17% indisponibilidad, teniendo la mayor cantidad de horas (244 hrs) por parada de un equipo por fallas de paso de aceite hidráulico al mando final por lo que se tuvo que cambiar ambos mandos finales y la inspección y diagnóstico del problema raíz. Los demás sistemas reportan 29.5 hrs por evaluaciones en campo por función errática.

### 4.8.2. Top 5 de fallas máquina – Julio

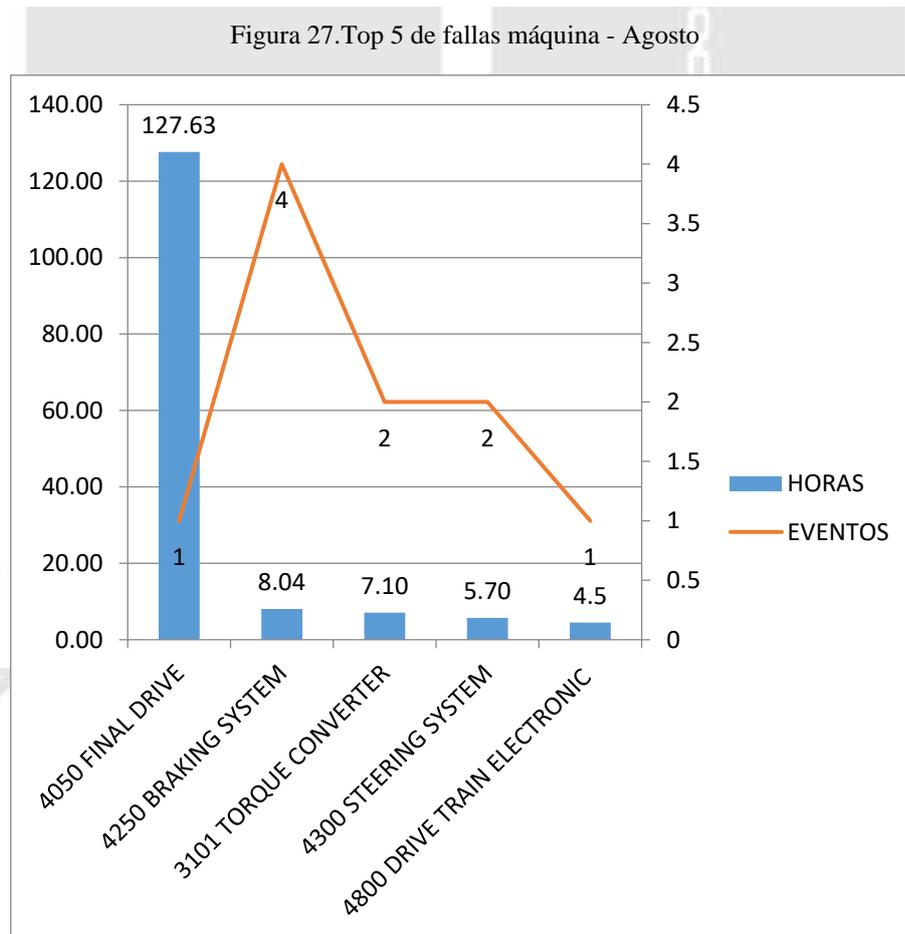
Figura 26. Top 5 de fallas máquina - Julio



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 27 se puede apreciar 84.72 horas de indisponibilidad por top 5 fallas de máquina. 1.96% indisponibilidad, teniendo la mayor cantidad de horas (35.90 hrs) por fallas de en el enfriador de la transmisión que se tuvo que parar el equipo por dos circunstancias consecutivas, una para la evaluación del sistema y el otro para en cambio de enfriador.

#### 4.8.3. Top 5 de fallas máquina – Agosto

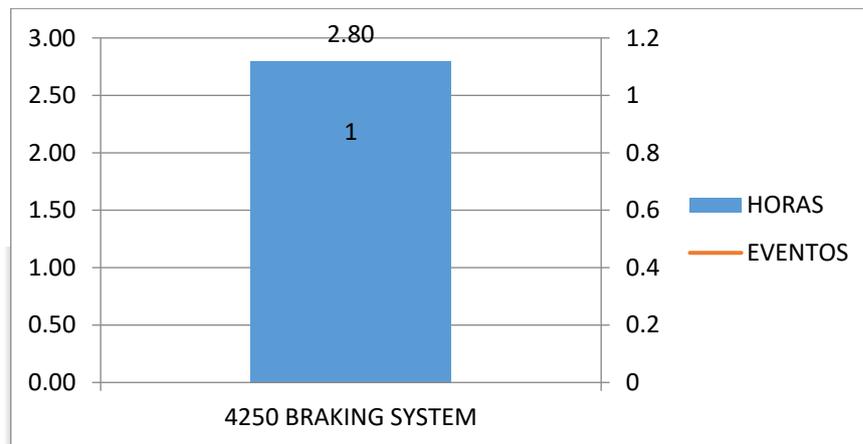


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 28 se puede apreciar 152.97 horas de indisponibilidad por top 5 fallas de máquina. 2.33% indisponibilidad, teniendo la mayor cantidad de horas (127.63 hrs) por fallas en los mandos finales, teniéndose así una parada imprevista que da paso a un mantenimiento correctivo que lleva más horas de indisponibilidad del equipo.

#### 4.8.4. Top 5 de fallas máquina – Septiembre

Figura 28 .Top 5 de fallas máquina - Septiembre

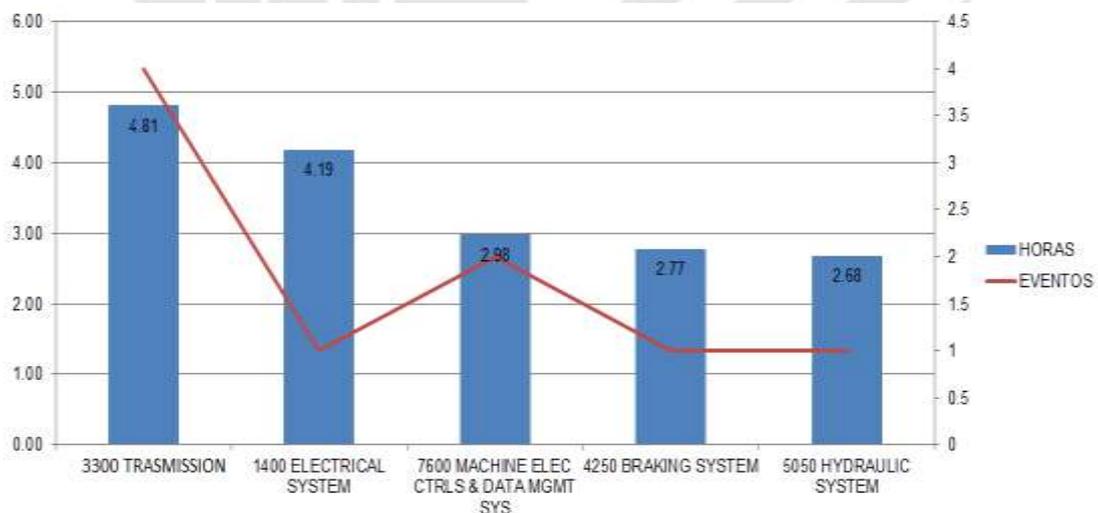


Fuente: Elaboración Propia

En la figura 29 se puede apreciar 2.80 horas de parada en todo el mes de setiembre por problemas de sistemas de máquina, que se dio por una fuga de aceite por la válvula de control de frenos.

#### 4.8.5. Top 5 de fallas máquina – Octubre.

Figura 29 .Top 5 de fallas máquina – Octubre.

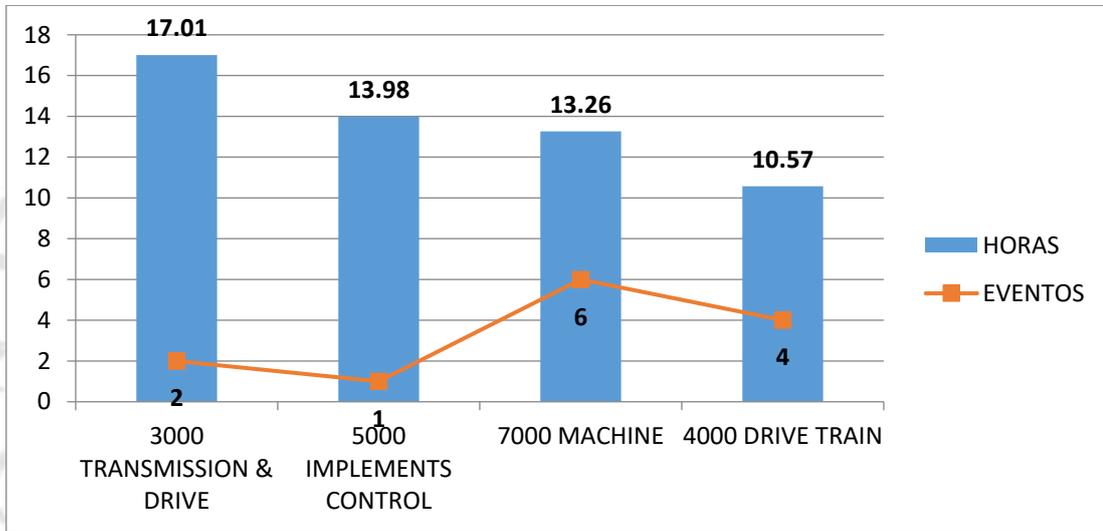


Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 30 se puede apreciar 17.43 horas de indisponibilidad por top 5 fallas de máquina. Teniendo la mayor cantidad de horas el cambio de transmisión .

#### 4.8.6. Top 5 de fallas máquina – Octubre

Figura 30. Top 5 de fallas máquina - noviembre

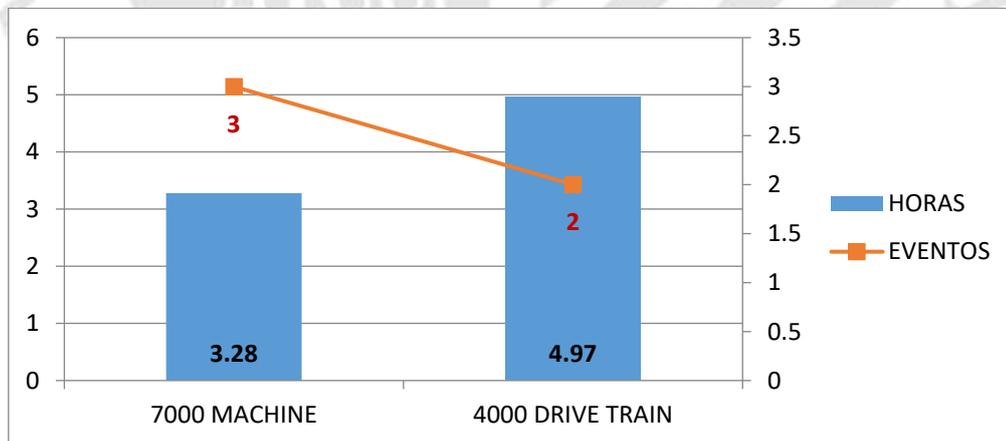


Fuente: Elaboración Propia

En la figura 31 se puede apreciar 54 horas de indisponibilidad por top 5 fallas de máquina, teniendo la mayor cantidad de horas (17 hrs) por cambio de transmisión.

#### 4.8.7. Top 5 De Fallas Máquina – Diciembre

Figura 31. Top 5 de fallas máquina - diciembre



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 32 se puede apreciar 8.25 horas de indisponibilidad por top 5 fallas de, teniendo la mayor cantidad de 4.97 horas problemas de fugas de mangueras del acumulador de dirección.

#### 4.9. Horas de paradas por cada sistema de funcionamiento

Tabla 14. Horas de paradas por cada sistema de funcionamiento.

CRICIDAD DE SISTEMAS DE MAQUINA	HORAS DE PARADA	NUMERO DE PARADAS	% DE HORAS DE PARADA	% DE NUMERO DE PARADAS
SISTEMA DE TRANSMISION Y DIRECCION	83.17	16	14%	25%
IMPLEMENTOS DE CONTROL	25.5	5	4%	8%
MAQUINA Y CHASIS	29.52	13	5%	20%
DRIVE TRAIN	387.18	8	66%	13%
SISTEMA ELECTRICO	18.49	6	3%	9%
SISTEMA DE FRENO	13.61	6	2%	9%
SISTEMA HIDRAULICO	15.9	5	3%	8%
OPERATOR STATION	15.45	5	3%	8%
<b>TOTAL</b>	<b>588.82</b>	<b>64</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 15. Clasificación de componentes críticos por sistemas

SISTEMAS CRITICOS DE MAQUINA	COMPONENTES CRITICOS
<b>Drive train</b>	Mandos finales y diferencial
<b>Sistema de transmision</b>	Convertidor y transmisión
<b>Sistema de dirección</b>	Acumuladores

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 09 muestra cuales son los componentes más críticos de los sistemas de la máquina, que más adelante se hará uso del RCM para aumentar la disponibilidad y disminuir costes de mantenimiento y anteponerse a las fallas críticas que hacen perder la función de los componentes.

#### 4.10. Sistemas Críticos en función a las horas de parada

Tabla 16. Sistemas Críticos en función a las horas de parada de la Flota CAT 797F

Sistema de 797 F	Horas de parada
SISTEMA DE MOTOR	1211.06
DRIVE TRAIN	387.18
SISTEMA DE TRANSMISION Y DIRECCION	83.17
IMPLEMENTOS DE CONTROL	25.5
MAQUINA Y CHASIS	29.52
SISTEMA ELECTRICO	18.49
SISTEMA DE FRENO	13.61
SISTEMA HIDRAULICO	15.9
OPERATOR STATION	15.45
<b>Total de Horas Inoperativas</b>	<b>1799.88</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Este cuadro muestra el resultado del análisis de los sistemas que tuvieron alta frecuencia y tiempo de paradas debido a fallas funcionales los cuales fueron evaluados durante los últimos 7 meses del año 2018. Lo cual no va a permitir identificar cual es la relación directa de horas de inoperatividad con los costos globales de mantención de la flota.

Podemos determinar que el “Sistema de motor” tuvo una mayor cantidad de horas reportadas por el área de despacho como horas de inoperatividad, quien causo un gran impacto negativo, luego seguido por los sistemas de tren de potencia y transmisión y dirección.

La Tabla 16 muestra las horas totales de parada de la flota de 9 camiones 797F los cuales llegan a 1799.88 horas, estas horas la podemos traducir en costos ya que asumiendo el costo por parada es de \$1200.00 lo que nos da un resultado de \$ 2.159.856.00 que forma parte del costo general anual.

De acuerdo a estos resultados los tres sistemas críticos en los cuales debemos enfocarnos a aplicar el RCM son:

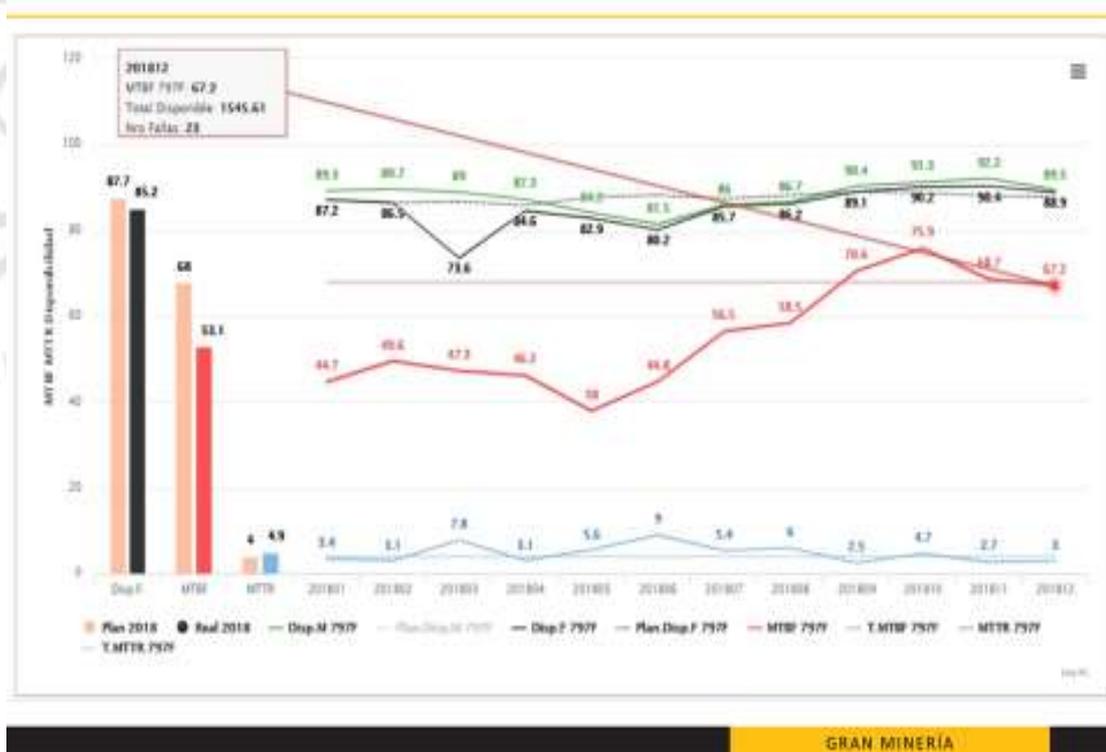
- SISTEMA DE MOTOR
- DRIVE TRAIN
- SISTEMA DE TRANSMISION Y DIRECCION

#### 4.11. Índices bajos de MTBF

Los índices de tiempo promedio entre fallas (MTBF) exigido por el cliente en de 70H, pero este objetivo fue inalcanzable en el 2018. El MTBF real que se obtuvo en el 2018 fue de 67.2H como promedio.

Cuando el MTBF es inferior a los exigido por el cliente refleja que se no realiza un buen servicio de mantenimiento.

Figura 32. Indicadores de disponibilidad y MTBF.



Fuente: Planeamiento

Sin una formación adecuada del personal, las empresas pueden ser reflejadas en una mala ejecución de los trabajos de mantenimiento. Esto puede ocurrir por diversas razones, incluyendo la incapacidad para completar tareas y asignaciones de forma adecuada y fallando en el cumplimiento de las normas internas de Ferreyros.

Debido a que la contratación y formación de los mecánicos cuesta más que simplemente capacitar a los actuales, la falta de capacitación adecuada del empleado en realidad cuesta dinero a las empresas. Pero de igual manera, una empresa se debe

cerciorar de que todos sus empleados estén capacitados para así evitar mayores pérdidas financieras más adelante.

El porcentaje promedio de los niveles de desarrollo de los técnicos según la estadística del Service Pro que de 40 técnicos del área de mantenimiento de camiones:

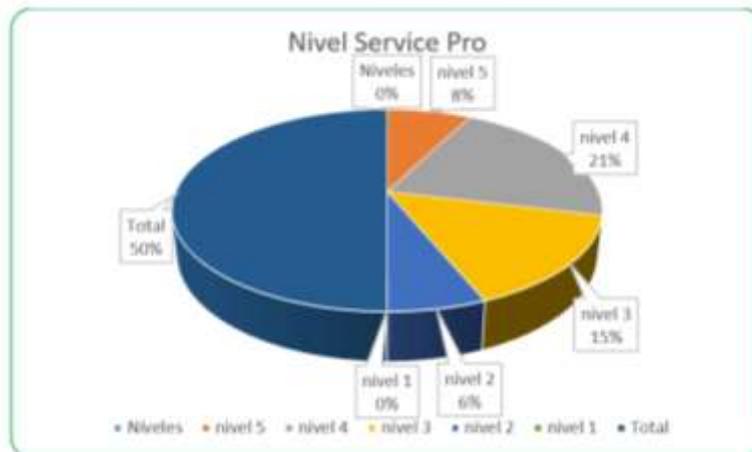
Tabla 17. Clasificación técnicos por Categoría.

Nivel Service Pro		
Niveles	N. de Técnicos	% de Técnicos
nivel 5	6	15%
nivel 4	17	43%
nivel 3	12	30%
nivel 2	5	13%
nivel 1	0	0%
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 17 podemos afirmar que la mayoría de técnicos se encuentran en los niveles 4 y 3, siendo los exigidos para garantizar una mayor disponibilidad los técnicos de nivel 1 y 2

Figura 33. La clasificación de los técnicos es de categoría del 1 al 5.



Fuente: Elaboración Propia

- Nivel 2. Técnico con conocimiento de sistemas de maquina CAT.
- Nivel 3. Técnico con capacidades para certificación de sistemas de maquinas.
- Nivel 4. Técnicos con conocimientos básicos de máquinas.
- Nivel 5. Técnico en proceso de aprendizaje.

Se hizo un estudio de 40 técnicos del área camiones, la clasificación muestra que el 40% del total de técnicos están en el nivel 4 (Técnicos con conocimientos básicos de máquinas). Esto refleja que los técnicos no están capacitados para ejercer las tareas de mantenimiento de forma óptima.



## **CAPÍTULO V: PROPUESTA DE MEJORA A LOS DOS PROBLEMAS PLANTEADOS**

### **5.1 Primera Problemática**

“Componente no cumplen su función antes de su vida útil por un inadecuado sistema de monitoreo.”

Para este primer problema que se identificó, utilizaremos los conceptos de los modos de fallas que han sido mencionados al inicio. Estos modos de falla son conceptos generales en la hoja de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Se realizó el Análisis de Modos de fallas y sus Efectos (AMFE) con la finalidad de identificar las posibles causas de la falla en los sistemas de funcionamiento de los camiones de acarreo. Tales sistemas como: motor, convertidor, transmisión, diferencial, mandos finales. Para de esta forma definir los trabajos de mantenimiento adecuados para su ejecución.

La identificación de las causas de las fallas se realiza conjuntamente con el supervisor operativo de mantenimiento, área de confiabilidad, especialistas en los sistemas de camiones de acarreo y los técnicos de mantenimiento.

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACION R.C.M		Elemento		Motor C175		
		Componente		Culata y sistema de combustible		
FUNCION		FALLO FUNCIONAL (Perdida de función)		MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LOS FALLOS (que sucede cuando se produce la falla)	
1	(culata) Sellar superiormente los cilindros del motor de combustión para evitar la pérdida de compresión e ingreso de refrigerante a la cámara de combustión.	A	Incapaz impermeabilizar fuga de refrigerante	1	Deformación del sello de combustión. Por traba hidráulica inyector con falla	Se da el ingreso de refrigerante hacia el interior de la cámara de combustión, trayendo como consecuencia la presencia de humo blanco en el escape. La parada del equipo para el cambio de gasket tarda 6 horas entre 2 personas.
		B	Perdida de compresión del cilindro	1	Deformación de empaque de culata	Se da la pérdida de potencia de motor lo que significa la parada inmediata del equipo y cambio de empaque demora 5 horas aprox entre 2 personas.
		C	Incapaz de impermeabilizar fuga de aceite del sistema de lubricación	1	Deformación de empaque de culata por recalentamiento	El agua y el aceite se ponen en contacto, con lo que el lubricante pierde sus propiedades y se pone en peligro las superficies internas del motor, saturación de todo el sistema de enfriamiento y radiador. Lo que trae como resultado cambio inmediato de motor y radiador 48 horas de parada con 8 personas en doble turno.
2	Bomba de combustible de alta presión suministra combustible a alta presión hacia los inyectores que se encuentran en la culata .	A	No hay suministro de combustible	1	Controlador de la bomba de inyección de combustible del motor dañado	El controlador de la bomba no está dosificando la inyección a alta presión al banco de inyectores cusa por la cuan nunca encenderá el equipo. Evaluación y cambio de bomba de alta de combustible en aprox 8 horas entre 2 personas.
				2	Un sensor de presión del conducto de combustible fallado	La señal que el ECM detecta como condición para inyectar se ve errada ya que el ecm asume que el sistema esta vacío y no hay paso de combustible a los inyectores por lo tanto no hay inyección y mucho menos explosión dentro de la cámara de combustión. Este cambio de sensor toma 40 minutos aprox entre 2 personas.
				3	Engranaje de impulsión barrido	No existe ningún tipo de accionamiento mecánico y se da la parada intempestiva de la bomba de combustible .cambio de bomba de combustible llevara 8 horas aprox para su reemplazo con 2 personas .

Tabla 18.Hoja de trabajo información de sistema de motor C175

Fuente: Elaboración propia del contenido escrito, formato referencial de hoja de trabajo de información RCM (confiabilidad, 1997)

Tabla 19. Hoja de decisiones del sistema de combustible de motor C175

HOJA DE TRABAJO DE DECISION R.C.M							Elemento						Motor C175			
							Columna						Sistema de combustible			
Información referencial			Determinar consecuencias				H1	H2	H3	Tareas Pendientes de:				Propuesta de trabajo	Inicio de frecuencia	Responsable
							S1	S2	S3							
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	S		S						No se realiza el mantenimiento programado	A condición	Monitorista	
1	B	1	S	N	N	S	S						Realizar descarga de datos y pruebas de rendimiento	PM y Pre PM	Tec. mantenimiento	
1	C	1	S	N	N	S	N	S					Monitoreo por S.O.S de muestra de refrigerante y aceite de motor	PM y Pre PM	Tec. mantenimiento	
2	A	1	S	N	N	S	S						Cambio de bomba de combustible cada 4000hrs	4000hrs	Tec. mantenimiento	
2	B	1	S	N	N	N	N	S					Pruebas de intermitencia con el Electronic Technisian en cada Pre PM y PM	500hrs y 1000hs	Tec. mantenimiento	
2	C	1	S	N	S		N	S					Cambio de bomba de combustible de alta presión 4000 hrs	4000hrs	Tec. mantenimiento	

Fuente: Elaboración propia del contenido escrito, formato referencial de hoja de trabajo de información RCM (confiabilidad, 1997)

Tabla 20 .Hoja de información del sistema lubricación e inyección de motor C175.

HOJA DE INFORMACION R.C.M C175.		Elementos		Camiones de acarreo			
		Componentes		Sistema de Inyección combustible de motor C175			
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODOS DE LA FALLA		EFECTOS DE LOS FALLAS	
1	Inyectar la cantidad de combustible necesaria en el momento preciso a la presión especificada	A	Incapaz de inyectar combustible, o lo hace de manera deficiente.	1	Tobera del inyector pegada y cerrada	La tobera del inyector pegada hace que el combustible necesite mayor presión para poderla abrir. Por tanto, cuándo la abre y entra en el cilindro tiene una presión mayor que la especificada para la combustión produciendo una combustión defectuosa y una marcha irregular. El cambio de inyector toma 2 horas por 1 técnico (el motor trae 20 inyectores)	
				2	Tarado del inyector alto	Un tarado alto de combustible hace que el combustible entre en el cilindro a una presión mayor de la necesaria para la combustión además de problemas en la combustión. (El cambio de inyector toma 2 horas por 1 técnico (el motor trae 20 inyectores)	
				3	Incremento y/o mala distribución de combustible diésel.	Humo de color gris o negro. Inspeccionar el funcionamiento de los inyectores y la debida posición de las palancas de control de las cremalleras de los inyectores. Sincronice los inyectores y haga la afinación debida del regulador. Reemplace los inyectores defectuosos (1hora por cada inyector)	
				4	Orificios de inyectores taponeados	Incorrecta mezcla de combustible, disminución de la potencia del motor C175. La contaminación de partículas en el combustible genera obstrucción en los inyectores. Realizar la limpieza de los orificios de acuerdo a la instrucción del fabricante.	
				5	Orificios de inyectores desgatados.	Aumento de combustible diésel en la cámara de combustión. Combustible diésel sin ser quemado por completo dentro de la cámara de combustión. Cambiar el grupo de válvula de aguja y boquilla rociadora del inyector. Tiempo de trabajo: 12 horas. Entre 2 técnicos	



Tabla 22. Hoja de trabajo Sistema de lubricación de aceite de motor C175

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACION RCM		Elemento	Camión de acarreo		
		Componente	Sistema de Lubricación ( <b>Bomba Scavenge motor C-175</b> )		
FUNCION		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE LOS FALLOS	
1	Transporta el aceite 15w40 desde el cárter hasta los filtros de aceite, luego al enfriador de aceite, al motor. La presión en block motor estará entre 525Kpa y 745Kpa	A No transportar el aceite, o sino baja presión de 525Kpa.en el block motor.	1	Bajo nivel de aceite de motor.	Ineficiencia en la lubricación de partes móviles del motor. Aumento de temperatura del motor de lo permitido. Nivelar con aceite hasta el nivel de la varilla medidora en el visor. Tiempo de trabajo: media hora
			2	Obstrucción por contaminantes en el Enfriador de aceite de motor	Cuando hay temperatura alta de aceite de motor, podemos pronosticas que hay una obstrucción en la circulación libre del aceite Si se incrementa la temperatura del aceite, inspeccionar el sistema de enfriamiento del motor C175. Realizar una remoción y limpieza al núcleo del enfriador de aceite de motor. Tiempo de trabajo: 12 horas 2 técnicos.
			3	Tapones faltantes de la galería, árbol de levas y cigüeñal	Presión baja en el sistema de lubricación, circulación pobre de aceite dentro del motor. Aumento de temperatura.
			4	Rejilla de admisión de aceite. Obstrucción parcial.	Presión inferior. Alta temperatura. Remoción y limpieza al cárter y la rejilla de admisión del aceite de motor. Reemplazar los filtros.
			5	Pérdida de la succión del aceite del cárter	No hay aspiración de aceite cuando el equipo se encuentre en una pendiente negativa
			6	Problemas en la bomba de aceite.	No hay circulación de aceite y presión inferior del mismo evento detectado por el ECM del equipo y hace que el estado de alarma sea de nivel 3 y el equipo se detenga, para ello reemplace o repare la bomba.

Fuente: Elaboración propia del contenido escrito, formato referencial de hoja de trabajo de información RCM (confiabilidad, 1997)

Tabla 23. Hoja de trabajo de decisión del sistema de lubricación de aceite de motor C175

HOJA DECISION RCM							Elemento						Camion de acarreo		
							Sistemas						Sistema de lubricacion de camion de acarreo.		
Información referencial			Determinar consecuencias				H1	H2	H3	Tareas Pendientes de:			Propuesta de trabajo	Incio de frecuencia	Responsable
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	S	N	S						Inspeccion periodica del operador en cada cambion de guardia y monitoreo de precion de aceite no filtrado en el sistema VIMS	diario	Instrucción al operador
1	A	2	S	N	S	N	N	S					Toma muestras de S.O.S para la busqueda de sodio por presencia de refrigerante	300h	Tec. Mantenimiento
1	A	3	S	N	N	N	N	N	S				Realizar inspeccion por las tapas del bloch del motor haciendo usio de videoscopio	660h	Tec. Mantenimiento
1	A	4	S	N	N	N	N	S					Inspecciones de screen cada mantenimiento despues de haber realizado el muestreo S.O.S	660h	Tec. Mantenimiento
1	A	5	S	N	N	N	N	S					Controlar que siempre el nivel de aceite este dentro del rango ya que partedel aceite es retenido por el sistema del COP.	660h	Tec. Mantenimiento
1	A	6	S	N	N	N	S						Realizar inpeccion o Cambio de pernos de anclaje de la Bba scavenge según amerite el estado de la posicion de los pernos.	2000h	Tec. Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia del contenido escrito, formato referencial de hoja de trabajo de información RCM (confiabilidad, 1997)

Tabla 24.Hoja de Trabajo de Información Sistema de transmisión camión minero 797F

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACION R.C.M		Elemento		Camión minero 797F			
		Componente		Sistema de Transmisión			
FUNCION		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTOS DE LOS FALLOS (que sucede cuando se produce la falla)	
1	Tiene la misión de hacer llegar el giro del motor hasta las ruedas motrices	A	No ingresan las marchas	1	desgaste excesivo en los discos de fricción y en las placas de embrague	El embrague de la transmisión no se conecta.	
				2	Desgaste de válvulas moduladoras	Si hay problemas con estos sensores, esta función puede detectar resbalamiento de manera falsa.	
				3	Aceite contaminado	Contaminación del sistema de lubricación del convertidor de par por ende se tendrá que evaluar y decidir cambiar también el convertidor. Tiempo de cambio 48 horas	
				4	Mala calibración de embriague	Permitirá que el embrague resbale cuando la carga exceda la capacidad de par	
				5	Desgaste de sellos del pistón que acopla el embrague	Demasiadas fugas en los sellos de pistón de los embragues lo que causara patinaje al momento de acoplar platos y discos esto llevara a cambiar la transmisión que durara 36 horas	
				6	La transmisión no funciona o se conecta lentamente en cualquier velocidad o dirección.	La bomba hidráulica no funciona y puede haber un problema en la válvula de alivio principal y una baja presión en el sistema, esto tomara cambiar	
		B	Deslizamientos del embrague de la transmisión	1	Presión de embrague baja	La carga en la maquina hace que se ejerza un mayor par a la capacidad del embrague causando así desgaste en los elementos de fricción. Esto mandara a que se cambie una nueva transmisión que tardara unas 28 horas aproximadas	
				2	La presión del sistema no es correcta	La presión del sistema no es correcta. La causa del problema puede ser el ajuste de la válvula de alivio principal. La válvula de alivio	



Tabla 26.Hoja de trabajo de sistema de Freno

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACION R.C.M		Elemento		Camión minero		
		Componente		Sistema de Freno		
FUNCION		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFFECTOS DE LOS FALLOS
1	Freno de servicio debe disminuir o anular progresivamente la velocidad del vehículo	A	No se detiene el equipo en primera instancia	1	Conjunto de freno (sello dañado)	Perdida de presión en el sistema y frenado impreciso al momento de accionar el pedal. Cambio del conjunto de freno en 9 horas 3 personas
				2	Acumulador de dirección con fuga de nitrógeno	Generación de vacío en todo el sistema de frenado e imprecisión al momento de querer detener el equipo, por lo tanto el freno no actuara y su cambio y llenado tardara 4 horas entre 2 personas
		B	Pedal de freno no responde	1	Paso de aceite a la cámara de nitrógeno	Eventos de baja presión de sistema, ciclo de carga excesivo, bomba no responde, alto comando de bomba. Cambio y llenado de acumuladores de freno de servicio en aprox 4 horas entre 2 personas
		C	Válvula de alivio (principal) no regula	1	Carga detenida debido a una desviación baja del ajuste de presión	La presión de la bomba de freno está constantemente baja y el sistema nunca aumentara su presión
2	Freno de Parqueo inmoviliza el vehículo cuando está parado, ya sea manual o automáticamente se quedan accionadas por resortes	A	Los frenos se arrastran (accionados)	1	Válvula de los acumuladores de los frenos de servicio (sello dañado o atascado en la posición abierta)	Arrastre de los neumáticos y recalentamiento del sistema de enfriamiento de los frenos evaluación y reparación 6 horas entre 3 personas
		B	Regulador de holgura no regula	2	No hay una pequeña cantidad de presión en el pistón de los frenos de servicio después de desconectar los frenos.	Platos y discos del sistema de freno aún siguen acoplados de tal forma que el neumático no tendrá un giro totalmente libre y también calentara el aceite del sistema de enfriamiento y su diagnóstico y reparación llevaría 3 con solo 1 persona
		C	Válvula (descarga de la bomba de freno) atascada en posición abierta	3	Contaminación: Aceite del sistema de frenos significativamente más sucio que lo permitido por la norma ISO 18/15	Si la presión aumenta demasiado lento, la válvula puede tener una falla interna. Reemplazar la válvula de freno tomara 2 horas con sus respectivas pruebas

Fuente: Elaboración propia del contenido escrito, formato referencial de hoja de trabajo de información RCM (confiabilidad, 1997)

## **5.2. Segunda Problemática: “Técnicos con poca experiencia en camiones 797F”**

El personal encargado del mantenimiento de los camiones 797F no tienen la experiencia necesaria, tampoco el conocimiento suficiente para garantizar un trabajo de calidad en los mantenimientos. Estos camiones 797f son equipo de última tecnología, con sistemas de funcionamiento sofisticados, por lo que es necesario la capacitaciones de todo el personal técnico para realizar los mantenimiento de forma adecuada

## **5.3. Propuesta de mejora**

### **5.3.1. Capacitación de personal**

Para desarrollar la propuesta de mejoramiento, conoceremos, cual es el proceso que actualmente tiene la empresa para suplir las necesidades de capacitación de su personal de servicio, así como su objetivo, alcance y cuáles son sus puntos de referencia, como se desarrolla, cuáles son los medios para la detección de necesidades, quienes son las personas que intervienen y finalmente algunos aspectos que sean de importancia para el desarrollo del proyecto. De esta forma se podrá hacer un diagnóstico al proceso, producto de la observación y el conocimiento que serán obtenidos de esta sección.

Parte de la información expuesta fue tomada de los archivos del área recursos humanos, en la que se reúnen todos los procesos que tiene el área, para el desarrollo de sus funciones.

### **5.3.2. Fuentes de Recolección de Información**

Para la recolección de datos necesaria, se realizará una encuesta que permitirá conocer la opinión de los trabajadores técnicos.

Diseño de cuestionarios

Las encuestas es una técnica que recolección de datos mediante interrogantes de manera organizada.

Las nueve (9) preguntas tienen la posibilidad de cinco (5) opciones para contestar:

- Superior a lo esperado.
- Igual a lo esperado.
- Inferior a lo esperado.
- Bastante inferior a lo esperado.
- Inaceptable.

El cuestionario será diseñado en excel y enviado por el correo electrónico de cada colaborador.

### **5.3.3. Formulación de Preguntas.**

Las preguntas formuladas y la metodología de las respuestas, pueden observarse a continuación:

#### Preguntas

1. Hasta hoy como le ha parecido el proceso de capacitación implementado por Desarrollo Técnico para todo el personal de Ferreyros
2. ¿En alguna capacitación, le han dado a conocer los propósitos de Ferreyros, su razón de ser y hacia donde se quiere llegar? ¿Conoce la forma en la que usted hace parte de este proceso?
3. ¿En su área o centro Logístico alguna vez se ha divulgado el plan de capacitación?
4. ¿Los programas de capacitación cubren las necesidades de entrenamiento de su cargo y funciones específicas?
5. Es consecuente el Proceso de capacitación con lo que realmente se necesita para que ud. Tenga un mejor desempeño en el trabajo
6. Los planes de capacitación se han ido actualizando o realizando en la medida en que se implementan nuevos sistemas tecnológicos que afecten el desarrollo de su labor.
7. Los programas de capacitación lo mantienen informado y le proporcionan la competencia necesaria para llevar a cabo su labor
8. El proceso de capacitación lo ha incentivado o le ha permitido ocupar cargos de mayor nivel y responsabilidad, de acuerdo con su conocimiento, estudios o experiencia
9. La capacitación le ha permitido adquirir conocimientos en otras áreas o campos de acción.

## 5.4. Aplicación del cuestionario

### Tamaño de la muestra

Una parte fundamental para realizar un estudio de cualquier tipo es obtener unos resultados confiables y que puedan ser aplicables. Es impráctico llevar a cabo algunos estudios sobre toda una población, por lo que la solución es llevar a cabo el estudio basándose en un subconjunto el cual es denominado muestra.

Sin embargo, para que los estudios tengan la validez y la confiabilidad buscada es necesario que tal subconjunto de datos, o muestra, posea algunas características específicas que permitan al final, generalizar los resultados hacia la población en total. Esas características tienen que ver principalmente con el tamaño de la muestra y con la manera de obtenerla.

- El porcentaje de confianza con el cual se quiere generalizar los datos desde la muestra hacia la población total.
- El porcentaje de error que se pretende aceptar al momento de hacer la generalización.
- El nivel de variabilidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, para efectos del presente trabajo, se obtuvo la muestra aplicando la siguiente formula:

$$n = \frac{Z^2 pqN}{Ne^2 + Z^2 pq}$$

### Tamaño de la muestra

<b>n=</b>	<b>Tamaño de la muestra</b>	<b>¿?</b>
<b>N=</b>	<b>Tamaño de la población (personas que están directamente por la Compañía)</b>	<b>80</b>
<b>p=</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia</b>	<b>50%</b>
<b>q=</b>	<b>Probabilidad de no ocurrencia</b>	<b>50%</b>

<b>e=</b>	<b>Margen de error</b>	<b>6.0%</b>
<b>Z=</b>	<b>Margen de confiabilidad (para este caso: 95% de confiabilidad, Z= 1,96)</b>	<b>1.96</b>

$$n = \frac{1.96^2 0.5(0.5)80}{80(0.6)^2 + (1.96)^2 0.5(0.5)}$$

$$n = 61.54438$$

$$n = 62$$

### 5.5. Análisis de resultados

Se consideraron como puntos de referencia, los siguientes planteamientos:

- Concientizar a la empresa sobre la importancia del proceso de capacitación.
- Concientizar a los empleados sobre las bondades del proceso de capacitación.
- Alinear el proceso con la planeación estratégica de la Compañía.
- Replantear la forma en la que se realiza el inventario de necesidades de capacitación.
- Determinar nuevas herramientas, necesarias para la detección de necesidades.
- Actualización de los temas de capacitación y las metodologías utilizadas.
- Enfocar los temas hacia las necesidades del cargo y funciones específicas.
- Divulgar el proceso entre todos los colaboradores de Almacén.
- Dar mayor claridad al proceso y a los temas de capacitación.
- Alternativas para la implementación del proceso.
- Formas de evaluar el proceso.
- Adicionar un valor agregado al proceso de capacitación “Plan Carrera”.
- Métodos tecnológicos y oportunidades externas para la implementación de la capacitación y el plan carrera.

## CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN DE BENEFICIOS DE LAS PROPUESTAS

### 6.1. Análisis de beneficio de producción

El análisis de los beneficios de este trabajo de investigación se basará en la productividad de los camiones de acarreo con la cantidad de horas inoperativas de paradas de los equipos cuantificados en el año 2018 entre los meses de junio hasta diciembre. En la tabla 27 se resalta que los sistemas: motor C175, mandos diales y transmisión causaron la mayor parte de paradas afectando la producción en el acarreo de mineral.

Tabla 27 Cantidad de horas inoperativas.

Sistema de 797 F	Horas de parada
SISTEMA DE MOTOR	1211.06
DRIVE TRAIN	387.18
SISTEMA DE TRANSMISION Y DIRECCION	83.17
IMPLEMENTOS DE CONTROL	25.5
MAQUINA Y CHASIS	29.52
SISTEMA ELECTRICO	18.49
SISTEMA DE FRENO	13.61
SISTEMA HIDRAULICO	15.9
OPERATOR STATION	15.45
Total, de Horas Inoperativas	1799.88

Fuente: Elaboración Propia

Los camiones de acarreo están diseñados para transportar 400 Toneladas de material desde tajo hasta las chancadora o botaderos depende sea el material.

En la unidad minera en la que estamos realizando el estudio. Los camiones de acarreo transportan 350 toneladas inferior a los especifica el fabricante.

Los camiones tienen una producción de 350Tn/h aproximadamente. La tabla 27 registra que son 1799,88 horas inoperativas en toda la flota de nueve camiones que fueron estudiados en este trabajo de investigación que se basa en datos reales en el año 2018 entre los meses de junio hasta diciembre.

Considerando que los camiones de acarreo tienen producción de 350Tn/h, demostramos a continuación el beneficio de productividad al aplicar el método RCM en los sistemas de funcionamiento.

Tabla 28 Comparación de Producción y disponibilidad con RCM y sin RCM

	Tipo de Mantenimiento tradicional	Mantenimiento Basado en confiabilidad.
Producción	1006200.02 Tn	1008000 Tn
Disponibilidad	85%	90%

Fuente: Elaboración Propia

## 6.2. Análisis de beneficio efectividad de horas de trabajo

Las paradas inesperadas en el equipo generan más carga laboral al técnico de mantenimiento. Son 1799.88 horas en los que se tendría que invertir para la solución de problemas mecánicos en los camiones de acarreo.

La cantidad de personal para la atención de un camión minero se requiere aproximadamente 6 personas, dependiendo la complejidad de la actividad.

Analizando si se presenta una parada de 1799.88 horas de una maquina en plena operación y se requieren 6 técnicos de mantenimiento para su atención, concluimos que tendremos que asignar 10799.28 adicionales para la ejecución de ellos trabajos para que el equipo pueda retornar a su área de producción. Esta cantidad estimada es un gasto adicional a los presupuestos asignados anualmente por cada organización de trabajo.

## CONCLUSIONES

A través de este trabajo de estudio se concluye:

- Habiendo aplicado el RCM, se concluye que los problemas principales de la baja disponibilidad de los camiones de acarreo 797F son las fallas de los componentes de sistemas de motor, transmisión, convertidor, mandos finales.
- El siguiente trabajo aplicando el RCM lograremos mantener en buenas condiciones los camiones 797F y anticiparnos a la falla evitando la inoperatividad por problemas mecánicos.
- Aplicando el RCM lograremos incrementar la disponibilidad mecánica de los camiones 797F superior al 90%, puesto que este método RCM nos ayudara a monitorear los sistemas de funcionamiento anticipando la falla repentina.
- Los tiempos medios entre fallas (MTBS) incrementara de 67.2 Hrs a 70 hrs, capacitando al personal de forma constante. Por lo que se concluye que las capacitaciones especializadas de camiones 797F será de forma constante para el personal técnico.
- Las horas de funcionamiento de vida útil de los componentes de los sistemas de motor, transmisión, convertidos, mandos finales se incrementarán por medio del monitoreo constante.

## RECOMENDACIONES

- El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de incrementar la disponibilidad mecánica de los camiones de acarreo 797F superior al 90% de disponibilidad.
- Durante el diagnóstico en este trabajo de investigación se realizó a la flota de camiones 797F y flota tradicional. Pero en esta ocasión se tomó prioridad la disponibilidad de los camiones de acarreo, porque son considerados maquinaria crítica para la producción.
- Este trabajo de investigación es una propuesta, más no se pondrá en ejecución hasta que los beneficiados decidan ejecutar dicha propuesta.
- Los datos que tomaron para el trabajo de investigación tienen validez temporalmente para el estudio. Puesto que a medida que transcurre el tiempo los datos de los historiales varían por las condiciones variables de operación que experimentan cada año.
- Se recomienda que, para otros trabajos de investigación, no consideren los datos de esta investigación, puesto que estos tienen una vigencia temporal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- AEC. (s.f.). *Mantenimiento*. Obtenido de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/mantenimiento>
- Caterpillar Inc. (2005). *Performance Metrics for Mobile Mining Equipment*. EE.UU.
- Churio, J. E. (s.f.). *Tesis Modelo de Mantenimiento Centrado En Confiabilidad en la flota de equipos de oruga D11N*.
- confiabilidad, R. I. (1997). *RCM II Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. USA.
- Duran, J. (2001). *RELIABILITYWEB.COM*. Obtenido de <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/caso-de-estudio-aplicacion-del-rcm-en-una-mina-de-cobre>
- Ferreyros. (2018). *Nosotros*. Obtenido de <https://www.ferreyros.com.pe/nosotros/>
- FINNING S.A. (2008). *Indicadores de Mantenimiento KPI*. Concepcion.
- MMG Las Bambas. (2017). *Conociendo Las Bambas*. Obtenido de <http://www.lasbambas.com/conociendo-las-bambas>
- Modelos de Mantenimiento*. (2009). Obtenido de Renovetec: <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>
- Modelos de Mantenimiento*. (2009). Obtenido de Renovetec: <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>
- Morales, C. R. (2015). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) A los hornos convertidores de la fundición de cobre*. LIMA.
- Moubray, J. (1997). En J. Moubray, *RCM II Mantenimiento Centrado en confiabilidad*.
- Moubray, J. (1997). En J. Moubray, *RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad* (pág. 56).
- Moubray, J. (1997). Evolución de expectativas de mantenimiento. En J. Moubray, *Mantenimiento Centrados en la confiabilidad*.
- Moubray, J. (1997). *RCM II Mantenimiento Centrado en confiabilidad*.
- OBS. (s.f.). *Método Kaizen: aplicación y beneficios*. Obtenido de <https://www.obs-edu.com/int/blog-project-management/temas-actuales-de-project-management/metodo-kaizen-aplicacion-y-beneficios>
- Perez. (2010).

RAE. (2001). *Definición de Proceso*. Obtenido de <https://definicion.de/proceso/>

Reliabilityweb.com. (s.f.). *Toda aproximación de implantación de MCC (+), se basa en responder las siguientes preguntas:*. Obtenido de Caso de estudio: aplicación del RCM en una mina de cobre: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/caso-de-estudio-aplicacion-del-rcm-en-una-mina-de-cobre>

RINCON, A. (2008). *Aplicacion de mantenimineto centrado en confiabilidad*.

TASILLA, S. F. (2016). *PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LA MAQUINARIAPESADA DE LA EMPRESA TECNOLDHER, CAJAMARCA, 2016*. TRUJILLO.

Universidad de Jaen. (s.f.). *Procesos*. Obtenido de [https://www.ujaen.es/servicios/archivo/sites/servicio\\_archivo/files/uploads/Calidad/Criterio5.pdf](https://www.ujaen.es/servicios/archivo/sites/servicio_archivo/files/uploads/Calidad/Criterio5.pdf)

Wikipedia. (17 de Septiembre de 2018). *Ferreyros S.A*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Ferreyros\\_SAA](https://es.wikipedia.org/wiki/Ferreyros_SAA)

