



**Gestión de mantenimiento centrado en la  
confiabilidad operacional en camiones  
eléctricos Hitachi EH 5000 de 320T para  
la compañía minera a cielo abierto  
Cerrejón**

**Luis Rafael Carrillo Peláez  
Alfonso Rafael Ojeda Reales**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica Riohacha,  
Programa de Ingeniería Electromecánica  
Riohacha, Colombia

2021

# **Gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad operacional en camiones eléctricos Hitachi EH 5000 de 320T para la compañía minera a cielo abierto Cerrejón**

**Luis Rafael Carrillo Peláez  
Alfonso Rafael Ojeda Reales**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingenieros Electromecánicos**

Director (a):

M.sc. Leuman Mendoza Medina

Línea de Investigación:

Productividad

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Programa de Ingeniería Electromecánica

Riohacha, Colombia

2021

## **Agradecimientos**

Le agradezco al Dios de la vida por el don que nos da de tener salud y fuerza para poder realizar este trabajo de grado. Gracias a mi esposa e hijos por ser ese motor que me da fuerza para seguir avanzando en este tan anhelado proyecto, por animarme cada vez que me encuentro agotado con la sensación de no tener fuerza para poder seguir avanzado para adelante. Gracias a mis padres por ese amor recibido cada día, ese amor que nos da la fuerza en el corazón y nos motiva a ser una mejor persona, por siempre desear lo mejor para mi vida y futuro. Gracias a mis compañeros de estudio y profesores de la universidad por enseñarnos y formarnos como profesional para destacarnos y ser competente en la sociedad y la vida laboral.



## Resumen

Este trabajo de grado se ha dedicado a la gestión del mantenimiento centrado en la confiabilidad operacional en los camiones eléctricos HITACHI EH 5000 de 320T para la compañía minera a cielo abierto Cerrejón. Para el desarrollo del presente trabajo se describieron los parámetros de operación y los indicadores de mantenimiento actual del equipo HITACHI EH 5000 DE 320. Finalmente se realizaron el análisis de criticidad, causa raíz, diagrama de Pareto de las fallas y el análisis de modo y efecto de la falla. El desarrollo del trabajo se enmarcó en un periodo de estudio de un año calendario para este caso el año 2020, tiempo que permitió tomar datos relevantes para el análisis y posteriormente obtener los resultados. La confiabilidad de la flota de CAM 320T se determinó que está en un promedio de 98,3%, que el TPPR es de 3,42 h/falla y que el TPEF es de 64,47 h/falla. El aplicar la gestión del mantenimiento a la flota de CAM 320, permitió identificar las fallas frecuentes y analizarlas a detalle para emplear herramientas de mejora continua y mejorar los procesos que se tenían estandarizados.

El trabajo está estructurado en cuatro capítulos. En el capítulo uno se habla del anteproyecto presentado y se recoge la normativa de presentación de trabajo de grado. En el capítulo dos se habla del marco conceptual, relacionados con el mantenimiento basado en la confiabilidad RCM, confiabilidad operacional, análisis de equipos, análisis de criticidad, mantenibilidad, fiabilidad y los indicadores de gestión del mantenimiento. En el capítulo tres se habla de la metodología y materiales. Finalmente, en el capítulo cuatro se muestran los resultados obtenidos.

**Palabras clave: Confiabilidad, compañía minera, criticidad, fallas, mantenimiento**

## Abstract

This degree work has been dedicated to maintenance management focused on operational reliability in HITACHI EH 5000 320T electric trucks for the open pit mining company Cerrejón. For the development of the present work, the operating parameters and the current maintenance indicators of the HITACHI EH 5000 DE 320 equipment were described. Subsequently, the criticality analysis, root cause, Pareto diagram of the failures and the mode and effect analysis were carried out. of the fault. Finally, the maintenance processes and standard work procedures are established. The development of the work was framed in a study period of one calendar year for this case the year 2020, time that allowed taking relevant data for the analysis and subsequently obtaining the results. The reliability of the CAM 320T fleet was determined to average 98.3%, that the TPPR is 3.42 h / failure and that the TPEF is 64.47 h / failure. Applying maintenance management to the CAM 320 fleet made it possible to identify frequent failures and analyze them in detail to use continuous improvement tools and improve the processes that were standardized.

The work is structured in three chapters. In chapter one we talk about the preliminary project presented and the regulations for the presentation of degree work are included. Chapter two talks about the conceptual framework, related to maintenance based on RCM reliability, operational reliability, equipment analysis, criticality analysis, maintainability, reliability and maintenance management indicators. In chapter three we talk about the methodology and materials. Finally, chapter four shows the results obtained.

**Keywords: Reliability, mining company, criticality, failures, maintenance.**

# Contenido

	Pág.
<b>1. Capítulo 1 Planteamiento del problema.....</b>	<b>3</b>
1.1 Formulación del problema .....	3
1.2 Justificación.....	4
1.3 Objetivos .....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Alcance .....	5
<b>2. Capítulo 2 Marco teórico.....</b>	<b>7</b>
2.1 Introducción al mantenimiento.....	7
2.2 Tipos de mantenimiento .....	7
2.2.1 Mantenimiento correctivo.....	8
2.2.2 Mantenimiento preventivo.....	8
2.2.3 Mantenimiento predictivo .....	8
2.2.4 Mantenimiento basado en confiabilidad .....	9
2.2.5 Las siete preguntas básicas de RCM.....	9
2.3 Funciones y estándares de rendimiento .....	9
2.4 Aplicando el proceso RCM .....	10
2.5 Confiabilidad operacional .....	12
2.6 Beneficios de la confiabilidad operacional .....	13
2.7 Aplicación de la confiabilidad operacional .....	13
2.8 Herramienta de confiabilidad operacional.....	14
2.9 Análisis de equipo .....	14
2.10 Análisis de criticidad.....	15
2.11 Mantenibilidad .....	17
2.12 Curva de fiabilidad de una máquina .....	19
2.13 Indicadores de la gestión de mantenimiento.....	21
2.13.1 Indicadores de gestión.....	21
2.13.2 Parámetro para el control .....	22
2.13.3 Disponibilidad .....	22
2.14 Análisis de modo de fallo y efecto .....	23
2.15 Diagrama de Pareto .....	23
2.16 Análisis causa raíz .....	24
<b>3. Capítulo 3 Metodología.....</b>	<b>27</b>
3.1 Descripción .....	27
3.2 Fases .....	27
<b>4. Capítulo 4 Resultados.....</b>	<b>29</b>

4.1	Especificaciones técnicas del camión eléctricos HITACHI EH 5000 de 320T....	29
4.2	Diagnostico .....	35
4.2.1	Eventos programados .....	35
4.2.2	Eventos no programados .....	36
4.3	Determinación de los indicadores .....	36
4.3.1	Tiempo de Trabajo - CAM 320 .....	36
4.3.2	Tiempo de producción - CAM 320 .....	37
4.3.3	Disponibilidad - CAM 320 .....	37
4.3.4	Utilización (porcentaje%)- CAM 320 .....	38
4.3.5	Tiempo promedio para la reparación (TPPR) - CAM 320 .....	38
4.3.6	Tiempo promedio entre falla (TPEF) - CAM 320.....	38
4.3.7	Número de paradas programadas - CAM 320 .....	39
4.3.8	Número de paradas no programadas- CAM 320 .....	39
4.3.9	Cuadro de gestión del mantenimiento .....	40
4.3.10	Disponibilidad de la flota de camiones - CAM 320 .....	41
4.3.11	TPPR de camiones – CAM 320 .....	42
4.3.12	TPPR de camiones - CAM 320.....	42
4.3.13	TEF – CAM 320.....	43
4.3.14	Cálculo de confiabilidad distribución Weibull – CAM 320.....	44
4.3.15	Intervalos de Confianza para TIEMPO ENTRE FALLAS .....	45
4.3.16	Cálculo del TPEF (Tiempo promedio entre falla analítico).....	46
4.3.17	Cálculo del TPEFg (Tiempo promedio entre falla gráfico).....	46
4.3.18	Cálculo de la Confiabilidad .....	47
4.3.19	Pruebas de Bondad-de-Ajuste para tiempo entre fallas.....	49
4.3.20	Áreas de Cola para tiempo entre fallas- CAM 320.....	50
4.4	Análisis de Criticidad.....	51
4.5	Diagrama de Pareto.....	54
4.6	Gestión del mantenimiento .....	56
4.6.1	Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) .....	56
4.7	Implementación de un plan de mantenimiento basado en RCM.....	57
4.7.1	Determinación de los fallos funcionales y técnicos de los sistemas que componen cada uno de los equipos.....	57
4.7.2	Determinación de los modos de fallo: clasificación de fallos en fallas a evitar y fallos a mitigar.....	57
4.7.3	Determinación de acciones preventivas que eviten o mitiguen los efectos de los fallos.....	58
4.8	Procesos de mantenimiento.....	61
4.8.1	Planificación de los trabajos de mantenimiento .....	61
4.8.2	Objetivo de la planificación .....	61
4.8.3	Descripción del proceso de la planificación .....	62
4.8.4	Flujograma de Planificación.....	62
4.8.5	Proceso de la planificación.....	63
4.8.6	Programación de los trabajos de mantenimiento .....	65
4.8.7	Descripción del proceso de la programación .....	65
4.9	Programa de mantenimiento del CAM 320.....	71
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>75</b>
5.1	Conclusiones .....	75
5.2	Recomendaciones .....	76
5.2.1	Recomendaciones técnicas.....	76



---

<b>6. Anexo A: Base de dato periodo 2020.....</b>	<b>77</b>
<b>7. Anexo B: Camión Hitachi 320T.....</b>	<b>81</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 2-1: Grupo de revisión RCM típico. ....	11
Figura 2-2: Frentes de la confiabilidad operacional. ....	12
Figura 2-3: Herramientas de confiabilidad operacional.....	14
Figura 2-4: Distribuciones .....	18
Figura 2-5: Curva de fiabilidad de una máquina. ....	19
Figura 2-6: Representación de la función de Weibull en función del parámetro de forma. .....	20
Figura 2-7: Diagrama de Pareto comparativa antes y después. ....	24
Figura 4-1: Disponibilidad mensual CAM 320 año 2020. ....	41
Figura 4-2: TPPR CAM 320. ....	42
Figura 4-3: TPPR CAM 320. ....	42
Figura 4-4: Curva de probabilidad Normal periodos enero- marzo. ....	46
Figura 4-5: Confiabilidad camiones CAM 320 (2020). ....	48
Figura 4-6: Curva de densidad para TEF. ....	50
Figura 4-7: Diagrama de Pareto sistemas del camión CAM 320. ....	55
Figura 4-8. Factor de ajuste. ....	55
Figura 4-10: Planificación de los Trabajos de Mantenimiento.....	62
Figura 4-11: Programación de los trabajos de mantenimiento.....	66
Figura 4-12: Descripción del proceso de la ejecución.....	68
Figura 4-13: Flujograma análisis de fallas. ....	70
Figura 4-14. Esquema mejora continua.....	74

## Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Análisis de Criticidad. ....	16
Tabla 4-1: Motor EH5000ACII. ....	29
Tabla 4-2: Sistema de refrigeración. ....	30
Tabla 4-3: Sistema de lubricación. ....	30
Tabla 4-4. Sistema de arranque. ....	30
Tabla 4-5: Sistema de combustible. ....	30
Tabla 4-6: Sistema de parada del motor. ....	31
Tabla 4-7: Alternador de carga. ....	31
Tabla 4-8: Compresor de aire acondicionado. ....	31
Tabla 4-9: Características del radiador. ....	31
Tabla 4-10: Características de la Batería. ....	32
Tabla 4-11: Características del filtro. ....	32
Tabla 4-12: Característica de la suspensión. ....	32
Tabla 4-13: Equipo eléctrico. ....	33
Tabla 4-14: Características de Frenos. ....	33
Tabla 4-15: Características aire acondicionado. ....	34
Tabla 4-16: Dispositivos hidráulicos. ....	34
Tabla 4-17. Detenciones programadas por equipo del CAM320 – Año 2020. ....	35
Tabla 4-18. Detenciones no programadas por equipo CAM 320-Año 2020. ....	36
Tabla 4-19. Tabla gestión de mantenimiento. ....	40
Tabla 4-20. TEF periodos enero, febrero y marzo 2020. ....	43
Tabla 4-21: Distribuciones Ajustadas. ....	45
Tabla 4-22: Confiabilidad por mes. ....	48
Tabla 4-23. Área Cola Inferior ( $\leq$ ). ....	50
Tabla 4-24. Área Cola Superior ( $>$ ). ....	51
Tabla 4-25. Sistemas CAM 320. ....	51
Tabla 4-26. matriz de frecuencia por consecuencia de la falla. ....	52
Tabla 4-27: Análisis de criticidad de la flota camiones CAM 320. ....	53
Tabla 4-28: Duración de fallas en los sistemas del camión CAM 320. ....	54
Tabla 4-29: Lista de chequeo rutina diaria. ....	71
Tabla 4-30: Programa preventivo CAM 320. ....	72



# Introducción

En los últimos treinta años, el mantenimiento dentro de la industria moderna ha experimentado una serie de profundas transformaciones a nivel tecnológico, económico, social, organizacional y humano. Estos cambios son consecuencia de la actual competitividad de los negocios y la globalización de los mercados. Ante este panorama, los principios de la “Gestión de Activos basada en Ingeniería de la Confiabilidad Operacional”, representan la única vía efectiva que permite a las empresas, enfrentar de forma eficiente los retos constantes a los cuales están sometidas las organizaciones de hoy<sup>1</sup>.

La confiabilidad operacional está asociada con los procesos de mejora continua y con la productividad en las empresas, y se representa como la capacidad de una organización para desempeñar sus funciones de forma óptima en un lapso y bajo un entorno operacional específico (Holmberg & Folkeson, 1991). Esta se puede determinar a partir de la confiabilidad del equipo, la confiabilidad humana, la confiabilidad del proceso y la mantenibilidad (Altmann, 2009). Las fallas en equipo han causado las tragedias más grandes del mundo; por ejemplo, el derrame de petróleo del buque tanquero Exxon Valdez en 1989 fue causado por una falla en el sistema anticolidión entre otras fallas. Tragedias como la del buque anteriormente mencionado y la tendencia a optimizar recursos ha producido el desarrollo de nuevas metodologías de mantenimiento para equipos e instalaciones industriales, una de ella es la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) por sus siglas en inglés (Poveda Guevara, 2011).

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es utilizado para gestionar el mantenimiento de equipos e instalaciones. El (RCM) fue desarrollado en la industria de la aviación civil, el (RCM) busca determinar las actividades de mantenimiento necesarias

---

<sup>1</sup> <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/gestion-integral-de-mantenimiento-basada-en-confiabilidad/>

para que los activos fijos sigan realizando las funciones para las que fueron construidos, considerando la seguridad de las personas y la integridad del medio ambiente. El proceso de RCM involucra la identificación de cuáles son las funciones que debe realizar un activo fijo bajo las condiciones particulares en que opera. La aplicación del proceso de RCM involucra el análisis de causas de los estados de falla y sus efectos, estableciendo una actividad de mantenimiento que elimine o reduzca los efectos de las fallas a un valor aceptable. Dichas tareas de mantenimiento deben ser técnicamente factibles de realizarse y su ejecución debe resolver adecuadamente las consecuencias que se debe prevenir. El proceso de RCM aumenta la disponibilidad de los equipos e instalaciones industriales, disminuye el volumen del producto no conforme, los costos de operación y mantenimiento (Poveda Guevara, 2011).

En este trabajo de grado se habla de la gestión del mantenimiento centrado en la confiabilidad operacional en camiones eléctricos HITACHI EH 5000 de 320T para la compañía minera a cielo abierto Cerrejón.

# 1. Capítulo 1 Planteamiento del problema

## 1.1 Formulación del problema

(Arata, 2009) afirma lo siguiente:

El efecto de los costos propios del mantenimiento, asociados con la mano de obra, materiales, repuestos y terceros, pueden superar el 30% de los costos de producción en empresas intensivas en activos físicos, sin considerar aquellos otros inducidos como los costos de la improductividad, de la no calidad, del lucro cesante, etc., que pueden llegar a duplicar los costos propios del mantenimiento en sistemas de producción críticos, debido a una inadecuada gestión y mantenimiento de los activos que afecta la seguridad de funcionamiento de los equipos e instalaciones.

Los Camiones Eléctricos Hitachi EH 5000 de 320, utilizados en la mina Cerrejón, son equipos fundamentales para el movimiento de la mina, pero la agudización de las averías, fallas ocasionales, repetitivas y la disminución de la disponibilidad operacional de los mismos, provocan pérdidas económicas para la empresa. Todo lo anterior también indica que no se mantiene un adecuado funcionamiento y rendimiento de los equipos. Esta situación también contribuye a una baja competitividad productiva de la empresa. A partir de esta situación se requiere presentar una gestión del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad operacional en camiones eléctricos HITACHI EH 5000 de 320T para la compañía minera a cielo abierto Cerrejón, que permita aumentar la confiabilidad en las máquinas y mejorar el rendimiento operacional de los equipos. Por lo anterior surge el siguiente interrogante de investigación:

¿Cómo afectan las averías, fallas ocasionales y repetitivas el rendimiento operacional de los camiones eléctricos HITACHI EH 5000 de 320T de la compañía minera Cerrejón?

## **1.2 Justificación**

En la actualidad las tecnologías proyectadas en los procesos industriales y manufactura, hacen que el mantenimiento haga parte de esta renovación, es por ello que, estrategias de última generación como la confiabilidad operacional, el mantenimiento proactivo, entre otras se estén implementando de diversas formas como una solución al momento de realizar un estudio que determine las condiciones normales operativas de un sistema o equipo. El crecimiento continuo de la tecnología, hace que los períodos improductivos tengan un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente, lo que se hace más latente con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, tratando de evitar en todo momento que pequeñas averías puedan causar el paro de un equipo.

Además, se busca una gestión más extensa en donde coexista una relación estrecha entre la condición de la maquinaria y su desempeño en la producción. Contar con un sistema de gestión de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad operacional en camiones eléctricos HITACHI EH 5000 de 320T para la compañía minera a cielo abierto Cerrejón, ofrece beneficios, como: reducción del tiempo y optimización de la frecuencia de las paradas programadas y no programadas, mejora en la efectividad del mantenimiento, mejora en la calidad de los procesos y servicios, entre otros. Así mismo permite organizar, planificar y ejecutar el mantenimiento dentro de los mejores índices de costo, seguridad, tiempo y confiabilidad.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Gestionar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad operacional en los camiones eléctricos HITACHI EH 5000 de 320T para la compañía minera a cielo abierto Cerrejón.



### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Describir los parámetros de operación del equipo HITACHI EH 5000 DE 320, para identificar los procesos de mantenimiento a evaluar.
- Determinar los indicadores de mantenimiento actual del equipo HITACHI EH 5000 de 320 para establecer procesos de mantenimiento y para la mejora y disponibilidad de la flota.
- Realizar el análisis de criticidad, causa raíz, diagrama de Pareto de las fallas y el análisis de modo y efecto de la falla.

## **1.4 Alcance**

Este trabajo de grado describe los parámetros de operación del equipo, los indicadores de mantenimiento actual y realiza el análisis de criticidad, causa raíz, diagrama de Pareto de las fallas y el análisis de modo y efecto de la falla del equipo HITACHI EH 5000 DE 320 de la empresa Cerrejón, para establecer procesos de mantenimiento y para la mejora y disponibilidad de la flota. Este trabajo de grado, no presenta limitaciones que conlleven a la no realización de sus objetivos específico.



## **2. Capítulo 2 Marco teórico**

### **2.1 Introducción al mantenimiento**

Desde el punto de vista técnico, el mantenimiento está orientado a preservar la operatividad de las máquinas, equipos e instalaciones conforme a conocimientos específicos que tienen su apoyo en la ciencia y la técnica (Calloni, 2009). Planificar y organizar un ciclo de mantenimiento, conlleva el conocimiento constructivo de las máquinas y equipos sobre los cuales se debe practicar la prevención, la predicción o la corrección para sus componentes con la finalidad de evitar paradas por fallas imprevistas. La capacidad de análisis y la deducción de los componentes y funcionamiento de cada máquina y/o equipo es fundamental para cualquier programación de frecuencia de inspección. El detallado estudio de cómo y por qué, funcionan los órganos de las máquinas, orienta el camino para planificar un mantenimiento coherente y hasta científico (Calloni, 2009).

### **2.2 Tipos de mantenimiento**

El límite de cada tipo es difícil de establecerlo dado que, a excepción del mantenimiento correctivo, la finalidad de todos es la misma variando la metodología (Navarro Elola et al., 1997). Los diferentes tipos que se describen no son incompatibles entre ellos, sino que se complementan para lograr un mantenimiento óptimo. Los tres grandes grupos de tipos de mantenimiento son los que se aplican una vez aparecida la avería (correctivo), los que tratan de predecirla o prevenirla antes de su aparición (preventivo y predictivo) y los que tratan de eliminarla de una forma permanente basado en la confiabilidad. Se puede hacer una clasificación de los diferentes tipos de la siguiente manera:

### **2.2.1 Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo consiste en ir reparando las averías a medida que se van produciendo. El personal encargado de informar las averías es el propio usuario de los equipos y el encargado de las reparaciones el personal de mantenimiento. El principal inconveniente que se encuentra con este tipo de mantenimiento, es que el usuario detecta la avería en el momento que necesita el equipo, ya sea al ponerlo en marcha o bien durante su utilización. En muchos casos, con el fin de obtener un mayor rendimiento del equipo, el usuario no dará parte de la avería hasta que ésta le impida continuar trabajando. Si se añade que el personal encargado del uso de los equipos no es experto en averías, pasará por alto ruidos y anomalías que pueden preceder al fallo. Llevar el equipo al límite de su funcionamiento puede agravar el fallo inicial o degenerar en otros de mayor importancia (Navarro Elola, 2009).

### **2.2.2 Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo tiene por misión conocer el estado actual, por sistema, de todos los equipos y programar así el mantenimiento correctivo en el momento más oportuno. Las principales ventajas frente a otros tipos de mantenimiento estriban en (Navarro Elola, 2009):

- Disminuir la frecuencia de las paradas aprovechando para realizar varias reparaciones al mismo tiempo.
- Aprovechar el momento más oportuno, tanto para Producción como para Mantenimiento, para realizar las reparaciones.
- Preparar y aprovisionar los utillajes y piezas de recambio necesarios.
- Distribuir el trabajo de mantenimiento de una manera más uniforme evitando puntas de trabajo y optimizando la plantilla.
- En muchos casos evitar averías mayores como consecuencia de pequeños fallos, en particular los de los sistemas de seguridad.

### **2.2.3 Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo consiste en el conocimiento permanente del estado y operatividad de los equipos, mediante la medición de determinadas variables. El estudio de los cambios en estas variables determina la actuación o no del mantenimiento

correctivo. Las ventajas frente a otros tipos de mantenimientos preventivos, se basan en la velocidad con la que se obtiene la información; en otros casos se establece una frecuencia mientras que en el predictivo es inmediata (Navarro Elola, 2009).

### **2.2.4 Mantenimiento basado en confiabilidad**

El mantenimiento basado en la confiabilidad es una técnica desarrollada mundialmente para asegurar la disponibilidad y productividad de los equipos (TECSUP, 2012). La evolución del mantenimiento no es una casualidad es un evento que acontece por la imparable necesidad de ser cada vez más productivos. Se dice que el mantenimiento es un fenómeno dinámico y no estático, ya que está inmerso en continuos cambios, basta con reconocer que los equipos envejecen y otros son reemplazados lo que determina cambios en las frecuencias de mantenimiento, además herramientas modernas, personal mejor capacitado y nuevas técnicas de trabajo acortan los tiempos de reparaciones.

### **2.2.5 Las siete preguntas básicas de RCM**

Los procesos RCM vinculan siete preguntas acerca del recurso o sistema bajo revisión:

- ¿Cuáles son las funciones y los rendimientos estándares asociados al recurso en su actual contexto operativo?
- ¿De qué manera falla para completar sus funciones?
- ¿Qué causa cada falla funcional?
- ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla?
- ¿De qué manera ocurre cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si una tarea proactiva conveniente no puede hacerse?

## **2.3 Funciones y estándares de rendimiento**

Antes que sea posible aplicar un proceso determinado, lo que debe hacerse para asegurar que cualquier recurso físico continúe haciendo cualquier cosa que sus usuarios requieren hacer en su contexto operativo actual, se requiere hacer dos cosas:

- Determinar lo que los usuarios requieren hacer.

- Asegurar que es capaz de hacer lo que sus usuarios requieren. Esto explica por qué el primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada recurso en su contexto operativo, junto con las normas de rendimiento asociadas deseadas.
- Funciones primarias, esta categoría de funciones cubre aspectos tales como velocidad, rendimiento, capacidad de almacenamiento o traslado, calidad del producto y servicio del cliente.
- Funciones secundarias que reconoce que más haga cada recurso que simplemente completar sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas en áreas como seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficacia de funcionamiento.

La esencia del proceso de selección de tareas es como sigue:

- Para las fallas ocultas, una tarea proactiva si reduce el riesgo de fallas múltiples asociado con esa función a un nivel aceptablemente bajo. Si no puede determinarse tal tarea entonces la misma que debe realizarse es una búsqueda de fallas programada.
- Para las fallas con consecuencias sobre la seguridad o la conservación medioambiental, una tarea proactiva si reduce el riesgo de esa falla en sí mismo, de hecho, a un nivel muy bajo, si no lo elimina totalmente.
- Si la falla tiene consecuencias operacionales, el costo total de hacer la tarea proactiva en un periodo de tiempo es menor que el costo de las consecuencias operacionales y el costo de reparación en el mismo.
- Si una falla tiene consecuencias no-operacionales, el costo total de hacer la tarea proactiva en un periodo de tiempo es menor que el costo de reparación en el mismo. Así que estas tareas también deben justificarse en el campo económico.

## **2.4 Aplicando el proceso RCM**

Antes de analizar los requisitos de mantenimiento de los recursos en cualquier organización, se requiere saber lo que son estos recursos y decidir cuáles de ellos estarán sujetos al proceso de revisión RCM. Esto significa que debe prepararse un registro de la planta si no existe uno ya.

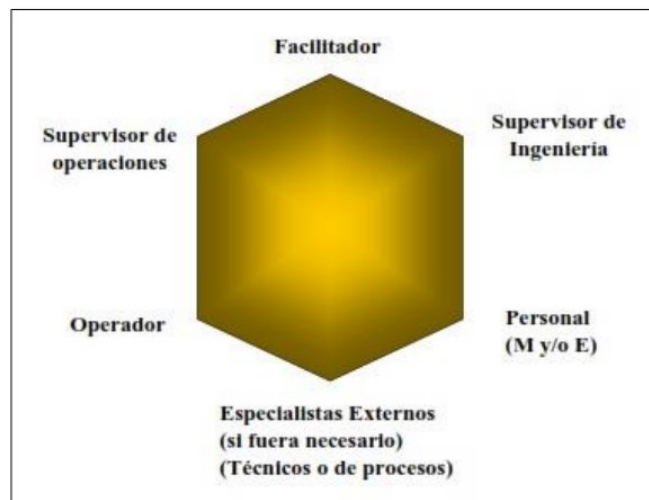
- **Planificación**

Si se aplica correctamente, el RCM lleva a mejoras notables en la efectividad del mantenimiento y a menudo lo hace sorprendentemente rápido. Sin embargo, la aplicación exitosa del RCM depende de la planificación y preparación meticulosa.

- **Grupos de revisión**

El proceso de RCM incluye siete preguntas básicas. En la práctica, las personas de mantenimiento no pueden contestar todas estas preguntas por sí mismos. Esto es porque muchos (si no la mayoría) de las respuestas sólo pueden ser proporcionadas por producción o los operadores. En la Figura 2-1 se ilustra un grupo de revisión tipo de RCM.

Figura 2-1: Grupo de revisión RCM típico.



Fuente: TECSUP (02 de febrero de 2012). Introducción del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

- **Facilitadores**

Los grupos de revisión del RCM trabajan bajo la guía de especialistas, conocidos como facilitadores. Los facilitadores son las personas más importantes en el proceso de revisión del RCM. Su papel es asegurar que: El análisis de RCM se lleva a cabo al nivel correcto, que los límites del sistema se definan claramente, que ningún componente importante se pase por alto y que se registren propiamente los resultados del análisis.

- Auditoría e implementación

Inmediatamente después que la revisión para cada recurso se ha completado, los gerentes con responsabilidad global sobre el equipo están satisfechos ya que las decisiones tomadas por el grupo son sensatas y defendibles.

## 2.5 Confiabilidad operacional

La Ingeniería de la Confiabilidad se destaca como el marco teórico en el cual conviven las metodologías y técnicas necesarias para la optimización del uso de los activos fijos. La Confiabilidad de un sistema o un equipo, es la probabilidad de que dicha entidad pueda operar durante un determinado periodo de tiempo sin pérdida de su función. El fin último del Análisis de Confiabilidad de los activos físicos es cambiar las actividades reactivas y correctivas, no programadas y altamente costosas, por acciones preventivas planeadas que dependan de análisis objetivos, situación actual, e historial de equipos, y permitan un adecuado control de costos (Garcia-Palencia, 2005).

La Confiabilidad Operacional se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial. La Confiabilidad Operacional lleva implícita la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un específico contexto operacional (Amendola, 2002). En la Figura 2-2 se ilustra los cuatro frentes de la confiabilidad.

Figura 2-2: Frentes de la confiabilidad operacional.



Fuente: tomada del artículo (Garcia-Palencia, 2005). The Woodhouse Parnertship Ltda.



Sin embargo, esta definición no demuestra en realidad todos los alcances que conlleva. La confiabilidad es más que una probabilidad; es una nueva forma de ver el mundo, en realidad es una cultura que debe implementarse a todos los niveles de la industria desde la alta dirección hasta el empleado de más bajo nivel (García-Palencia, 2005).

## **2.6 Beneficios de la confiabilidad operacional**

Entre los beneficios que se pueden obtener con la implementación de un sistema integrado de confiabilidad operacional a nivel corporativo, se mencionan (Amendola, 2002):

- Aumento de las utilidades por continuidad en la producción.
- Reducción del tiempo y optimización de la frecuencia, de las paradas programadas y no programadas.
- Detección precoz de fallas y optimización de las frecuencias de ejecución de acciones de mantenimiento.
- Aumento de la disponibilidad de los activos e instalaciones, mediante mejora continua.
- Solución definitiva de múltiples problemas, al identificar y encauzar las fallas en su causa raíz.
- Eliminación de conflictos, al cimentar los análisis en hechos y no en suposiciones.
- Incremento en la calidad de los procesos y servicios, sobre la base de análisis de los procedimientos y acuerdos mutuos.
- Integración de la gestión de operaciones de mantenimiento y producción.
- Mejora de la Gestión del Conocimiento de los procesos y estrategias propias de la organización.
- Posicionamiento a nivel global, con el uso de las mejores prácticas de mantenimiento de las empresas de categoría mundial.

## **2.7 Aplicación de la confiabilidad operacional**

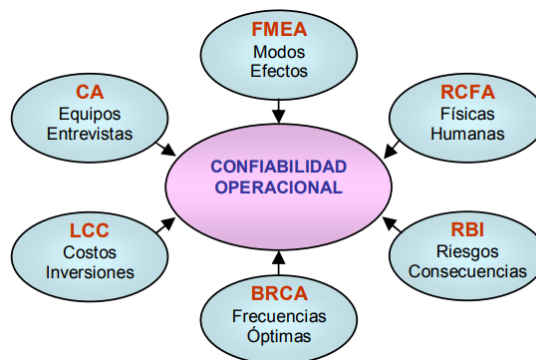
Las estrategias de confiabilidad operacional se usan ampliamente en los casos relacionados con (Huerta, 2004):

- Elaboración de los planes y programas de mantenimiento e inspección de equipos en instalaciones industriales.
- Solución de problemas recurrentes en los activos fijos que afectan los costos y la efectividad de las operaciones.
- Determinación de las tareas que permitan minimizar riesgos en los procesos, equipos e instalaciones, y medio ambiente.
- Establecer procedimientos operacionales y prácticas de trabajo seguro.
- Determinar el alcance y frecuencia óptima de paradas de plantas.

## 2.8 Herramienta de confiabilidad operacional

La confiabilidad como metodología de análisis debe soportarse en una serie de herramientas que permitan evaluar el comportamiento del activo de una forma sistemática a fin de poder determinar el nivel de operabilidad, la cuantía del riesgo y las demás acciones de mitigación que se requieren, para asegurar su integridad y continuidad operacional. Son múltiples las herramientas de que se sirve la confiabilidad con el fin de formular planes estratégicos para lograr la excelencia en las actividades de mantenimiento (Garcia-Palencia, 2005), como se ilustra en la Figura 2-3.

Figura 2-3: Herramientas de confiabilidad operacional.



Fuente: (Garcia-Palencia, 2005).

## 2.9 Análisis de equipo

Hoy por hoy no es justificable pensar que toda una planta debe estar sujeta a un tipo de mantenimiento (por ejemplo, correctivo, o preventivo, etc.). Cada equipo ocupa una posición distinta en el proceso industrial, y tiene unas características propias que lo hacen

diferente del resto, incluso de otros equipos similares. Si se requiere optimizar, ya no es suficiente con pensar en el tipo de instalación o en las características del equipo. Es necesario tener en cuenta toda una serie de factores, como el coste de una parada de producción, su influencia en la seguridad, el coste de una reparación, etc., que van a determinar las tareas de mantenimiento más convenientes para cada equipo (García Garrido, 2003).

## 2.10 Análisis de criticidad

No todos los equipos tienen la misma importancia en una planta industrial. Es un hecho que unos equipos son más importantes que otros. Como los recursos de una empresa para mantener una planta son limitados, se debe destinar la mayor parte de los recursos a los equipos más importantes, dejando una pequeña porción del reparto a los equipos que menos pueden influir en los resultados de la empresa (García Garrido, 2003). Se distingue una serie de niveles de importancia o criticidad:

A) Equipos críticos. Son aquellos equipos cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa.

B) Equipos importantes. Son aquellos equipos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles.

C) Equipos prescindibles. Son aquellos con una incidencia escasa en los resultados. Como mucho, supondrán una pequeña incomodidad, algún pequeño cambio de escasa trascendencia, o un pequeño coste adicional.

Se debe considerar la influencia que una anomalía tiene en cuatro aspectos: producción, calidad, mantenimiento y seguridad.

- Producción. Cuando se valora la influencia que un equipo tiene en producción, se pregunta cómo afecta a ésta un posible fallo.
- Calidad. El equipo puede tener una influencia decisiva en la calidad del producto o servicio final, una influencia relativa que no acostumbre a ser problemática o una influencia nula.
- Mantenimiento. El equipo puede ser muy problemático, con averías caras y frecuentes; o bien un equipo con un coste medio en mantenimiento; o, por último, un equipo con muy bajo coste, que normalmente no dé problemas.
- Seguridad y medio ambiente. Un fallo del equipo puede suponer un accidente muy grave, bien para el medio o para las personas, y que además tenga cierta

probabilidad de fallo; es posible también que un fallo del equipo pueda ocasionar un accidente, pero la probabilidad de que eso ocurra puede ser baja; o, por último, puede ser un equipo que no tenga ninguna influencia en seguridad. Ver la Tabla 2-1).

Tabla 2-1: Análisis de Criticidad.

Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A CRÍTICO	Puede originar accidente muy grave.	Su parada afecta al Plan de Producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto coste de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.		Consumen una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales).	
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al Plan de Producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Coste Medio en Mantenimiento.
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	ajo coste de Mantenimiento.

Fuente: (García Garrido, 2003).

La ecuación de criticidad vista desde un punto matemático para el análisis del estudio se presenta en la siguiente ecuación (ver Ecuación (2.1)).

$$\text{Criticidad} = \text{frecuencia de falla} * \text{consecuencia} \quad (2.1)$$

## 2.11 Mantenibilidad

Mantenibilidad es el concepto que caracteriza la facilidad del desarrollo de una intervención de mantenimiento o reparación, medida sobre la base de los tiempos de detención de equipo. La mayoría de las veces se asocia este concepto erróneamente sólo con el tiempo promedio de intervención MTTR (Mean Time To Repair), sin considerar la variabilidad presente en los tiempos de ejecución en todo procedimiento de reparación. Entonces se podría concluir que la mantenibilidad de un equipo queda definido por la distribución de probabilidad asociada a los tiempos de realización de la mantención (Arata Andreani, 2005). De acuerdo a lo anterior la mantenibilidad de un equipo queda condicionada a los aspectos siguientes:

- Tiempo de preparación
- Tiempo de localización de la falla
- Tiempo de desmontaje
- Tiempo de obtención de las piezas y materiales necesarios
- Tiempo de reparación propiamente de la falla
- Tiempo de ajuste y calibración
- Tiempo de montaje
- Tiempo de comprobación de la falla
- Tiempo del funcionamiento del componente reparado
- Tiempo de limpieza

Toda acción de mejora de la mantenibilidad debe enfocarse a revisar los aspectos antes mencionados a través de mejoras de diseño o de procedimientos que permitan disminuir tanto la esperanza como la variabilidad de los tiempos de intervención del equipo (Arata Andreani, 2005).

La distribución de la suma de un fenómeno exponencial negativo y uno normal se aproxima muy bien a la normal logarítmica. Considerando como variable aleatoria los tiempos de reparación  $t_r$ , la expresión matemática para la distribución normal – logarítmica dada por (ver Ecuación (2.2)).

$$f(tr) = \frac{1}{tr \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(tr) - \mu}{\sigma}\right)^2\right]} \quad (2.2)$$

donde  $\mu$  es la medida de los logaritmos de los tiempos de reparación, y  $\sigma^2$  es su varianza relativa.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \ln(tr_j) \quad (2.3)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (\ln(tr_j) - \mu)^2 \quad (2.4)$$

El tiempo medio de reparación MTTR vendría dado por:

$$MTTR = \int_0^{\infty} f(tr) \cdot tr \cdot dtr \quad (2.5)$$

De acuerdo a lo anterior la mantenibilidad de un componente viene dada por la distribución de probabilidad acumulada  $F(tr)$ , es decir, la probabilidad de que la intervención de mantenimiento se lleve a cabo dentro del tiempo  $tr$ .

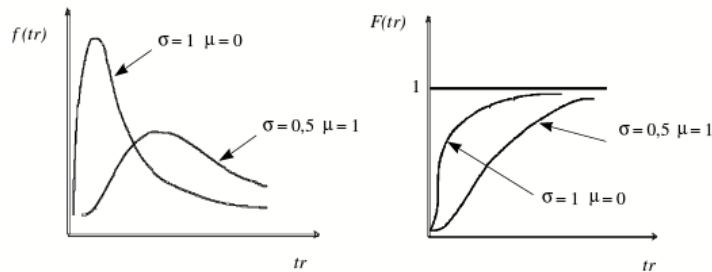
$$F(tr) = \int_0^{tr} f(tr) dtr$$

Otro indicador importante es la tasa de mantenibilidad. Esta tasa representa la probabilidad de que un elemento sea reparado en un instante de tiempo determinado dado que el tiempo inmediatamente anterior no lo estaba. Este indicador viene dado por:

$$m(tr) = \frac{f(tr)}{1-F(tr)} \quad (2.6)$$

Como se ilustra en la Figura 2-4:

Figura 2-4: Distribuciones



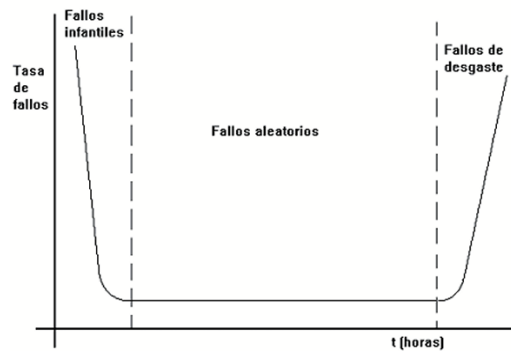
Fuente: (Arata Andreani, 2005).

## 2.12 Curva de fiabilidad de una máquina

Los equipos siguen a menudo un modelo de fallo similar. La curva de fiabilidad de una máquina representa la evolución de la tasa de fallos de la misma a lo largo del tiempo. También recibe el nombre de curva de la bañera por su forma (Yepes Piqueras, 2015). En dicha curva aparecen tres zonas que se diferencian por la frecuencia de los fallos y su causa, como se ilustra en la Figura 2-5.

- Período de mortalidad infantil o de fallos prematuros. Caracterizada por una tasa de fallos elevada que disminuye rápidamente con el tiempo (Yepes Piqueras, 2015).
- Período de tasa de fallos constante o vida útil. Los fallos aparecen de forma aleatoria y accidental debido a limitaciones del diseño más los percances causados por el uso o por un mal mantenimiento.
- Período de desgaste. Caracterizado por deterioros crecientes con el tiempo, debidos a la vejez y terminación de la vida útil del equipo.

Figura 2-5: Curva de fiabilidad de una máquina.



Fuente: (Yepes Piqueras, 2015).

(ver Ecuación (2.7)).

$$R(t) = e^{-\frac{t}{\theta}} = e^{-t\lambda} \quad (2.7)$$

donde

$R(t)$  = Probabilidad de funcionamiento libre de fallos durante un período de tiempo igual o mayor que  $t$ .

$e = 2.718$

$t$  = Un período especificado de funcionamiento libre de fallos.

$\theta$  = Tiempo medio entre fallos o vida media

$\lambda$  = Tasa de fallos (la inversa).

Se comprueba que la vida media es superada sólo por el 36,8% de las unidades del mismo tipo en funcionamiento, pues  $R(1/\lambda) = 0,368$ . Una generalización del modelo exponencial es la función de Weibull, para situaciones con tasa de fallo variable, siendo adecuado en fases de fallos precoces y de envejecimiento (ver Ecuación (2.8)).

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\delta}{\theta-\delta}\right)^\beta} \quad (2.8)$$

Donde

$\theta$  = vida característica ( $>\delta$ )

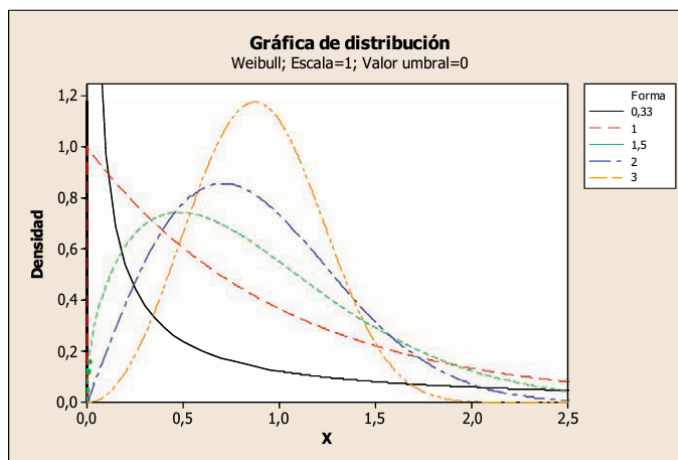
$\beta$  = parámetro de forma ( $> 0$ ).

con frecuencia se toma  $\delta=0$ , con lo cual:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

$\beta = 1$  con una cuota de fallos constante. Si  $\beta < 1$  la tasa de fallos disminuye con el tiempo, correspondiendo con la etapa de mortalidad infantil. Si  $\beta > 1$ , la tasa de fallos aumenta con el tiempo, recayendo con el período de desgaste. Para  $\beta = 3,5$  la distribución de Weibull se aproxima mucho a la normal, como se ilustra en la Figura 2-6.

Figura 2-6: Representación de la función de Weibull en función del parámetro de forma.



Fuente: (Yepes Piqueras, 2015).

La vida media adquiere con el modelo de Weibull la siguiente expresión (ver Ecuación (2.9)).

$$\mu = \theta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.9)$$



Donde:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-u} u^{x-1} du \quad (2.10)$$

De la función de distribución de Weibull resulta, por desarrollo matemático que la tasa de fallos sería:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} * \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (2.11)$$

donde  $\lambda(t)$  indicaría qué porcentaje de unidades sobreviven hasta la duración  $t$ , se avería en el intervalo siguiente  $(t + dt)$ .

## 2.13 Indicadores de la gestión de mantenimiento

Es el mantenimiento planificado y programado llevado a cabo con el fin de que la administración del mantenimiento sea más eficiente. Aquí se incorpora el concepto moderno de que las funciones de mantenimiento no deben corresponder únicamente al departamento de mantenimiento, sino que parte de esas funciones se deben asignar a los departamentos de producción, investigación y desarrollo, diseño, ingeniería, compras y finanzas, así como a los proveedores, a la gerencia general y a los operadores. Existe una diversidad de indicadores para evaluar todas las actividades de mantenimiento. Los que se presentan a continuación son los indispensables en toda efectiva gestión del mantenimiento.

### 2.13.1 Indicadores de gestión

- Tiempo promedio entre fallas (ver Ecuación (2.12)).

$$TPEF = \frac{\# \text{ de horas de operacion}}{\# \text{ de paradas correctivas}} \quad (2.12)$$

Empleado en sistemas en los que el tiempo de reparación es significativo con respecto al tiempo de operación (sistemas reparables). Para evaluar una sección de "N" equipos, se puede expandir la fórmula anterior a:

$$PEF = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{horas de operacion})}{\sum_{i=1}^n (\# \text{ paradas correctivas})} \quad (2.13)$$

- Tiempo promedio para reparación

El TPR es el tiempo activo neto de reparación sin ninguna demora y con todos los recursos disponibles al iniciarse la reparación (ver Ecuación (2.14)).

$$TPPR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{\# \text{ de reparaciones correctivas}} \quad (2.14)$$

### 2.13.2 Parámetro para el control

Aquellos indicadores que permiten medir diversos aspectos del desarrollo del área de mantenimiento se denominan parámetros o índices de control. Estos parámetros son:

- Rendimiento

El rendimiento es la medida de cuán bien el departamento, grupo o persona se está desempeñando (al trabajar) en comparación con el estándar de trabajo (ver Ecuación (2.15)).

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Tiempo estimado de trabajo}}{\text{Tiempo neto de trabajo}} \quad (2.15)$$

Nota: El Tiempo Neto Trabajado es con exclusión de los retrasos.

- Utilización

La utilización mide el porcentaje de tiempo trabajado por el departamento, grupo o persona (ver Ecuación (2.16)).

$$\text{Utilizacion} = \frac{\text{Tiempo neto de trabajo}}{\text{Total de horas utilizadas}} \quad (2.16)$$

- Productividad o efectividad

La productividad es la medida de cuán bien el departamento, grupo o persona se está desempeñando en total (al trabajar o no) en comparación con el estándar de trabajo (ver Ecuación (2.17)).

$$\text{productividad} = \frac{\text{Tiempo estimado de trabajo}}{\text{Total de horas utilizadas}} \quad (2.17)$$

También se puede calcular la productividad o efectividad como:

$$\text{Productividad} = \text{Rendimiento} * \text{Utilizacion}$$

### 2.13.3 Disponibilidad

Se define como disponibilidad la razón entre las horas de funcionamiento productivo de una máquina o planta, respetando los estándares cualitativos y cuantitativos, y el tiempo de funcionamiento programado y esperado. Este parámetro entrega una medida de la eficacia de las operaciones de mantenimiento (Arata Andreani, 2005).

- Disponibilidad Operacional.

Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando se requiere que funcione bien en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación especificadas en un entorno real de soportes logísticos, abarcando por lo tanto dentro de los tiempos de mantenimiento, los tiempos causados por los retrasos logísticos y administrativos, es decir, todos los tiempos concernientes al estado de reparación, incluyendo el mantenimiento programado y no programado (ver Ecuación (2.18)).

$$\text{Disponibilidad Operacional} = \frac{\text{HL}-\text{PP}-\text{PR}}{\text{HL}} \quad (2.18)$$

Donde: HL = Horas laborables de la empresa o tiempo calendario

PP = Paradas programadas de mantenimiento

PR = Paradas de mantenimiento reactivo (no programado)

## 2.14 Análisis de modo de fallo y efecto

Ante la creciente necesidad de encontrar nuevos métodos de mantenimiento y preservación de los activos de la empresa para obtener de ellos un uso más eficiente y, a su vez, disminuir los gastos que esto implica, el mantenimiento no debe enfocarse únicamente en elevar la disponibilidad de los equipos, sino también velar por una mejor organización (planificación, preparación de trabajos) y gestión (Medrano Márquez & González Ajuech, 2017). El análisis de modo de fallo y efectos (FMEA, Failure Mode, Effects Analysis) es un método que permite cuantificar el impacto de las fallas de los componentes de un sistema y la frecuencia con que se presentan para establecer tareas de mantenimiento en aquellas áreas que tienen mayor repercusión en la funcionalidad, confiabilidad, mantenibilidad, riesgos y costos totales, a fin de disminuirlas o eliminarlas por completo.

## 2.15 Diagrama de Pareto

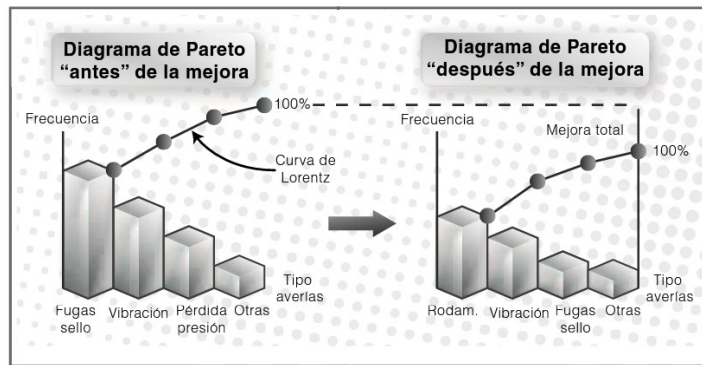
El diagrama de Pareto es una comparación cuantitativa y ordenada de elementos o factores clasificados en dos categorías: “pocos vitales”, que son elementos muy importantes, y los “muchos triviales”, que son elementos poco importantes y que contribuyen a un determinado efecto (Medrano Márquez & González Ajuech, 2017).

Sus principales características son:

- Priorización, ya que identifica los elementos más relevantes dentro de un grupo
- Unifica criterios, pues focaliza y dirige el esfuerzo del grupo de trabajo hacia un objetivo prioritario común.
- Objetivos, debido a que las decisiones son tomadas considerando datos y hechos objetivos y no subjetivos.

El diagrama de Pareto consiste en una gráfica en la que organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendentes, de izquierda a derecha y por medio de barras sencillas, después de haber reunido los datos para calificar las causas, de modo que se asigne un orden de prioridades (Medrano Márquez & González Ajuech, 2017). En la Figura 2-7 se ilustra un diagrama de Pareto comparativo antes y después de la mejora.

Figura 2-7: Diagrama de Pareto comparativa antes y después.



Fuente: (Medrano Márquez & González Ajuech, 2017)

## 2.16 Análisis causa raíz

Es una técnica sistemática que se aplica con el objetivo de determinar las causas que originan las fallas, sus impactos y frecuencias de aparición, para poder mitigarlas o eliminarlas (García-Palencia, 2005). Una de las actividades de más importancia de la Ingeniería de Confiabilidad es el RCA. Las fallas nunca se planean y sorprenden a la gente de mantenimiento y producción, porque casi siempre originan producción perdida (García-Palencia, 2005). El objetivo del RCA es determinar el origen de una falla, la frecuencia con que aparece y el impacto que genera, por medio de un estudio profundo de los factores, condiciones, elementos y afines que podrían originarla, con la finalidad de mitigarla o eliminarla por completo una vez tomadas las acciones correctivas que sugiere el análisis (Latino, 2001).

Beneficios del RCA Los beneficios que se obtienen al aplicar el RCA son (Huerta, 2004):

- Proporciona la capacidad de reconocer un patrón de fallas y evita la repetición de las mismas.
- Aumenta la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de los equipos.
- Mejora las condiciones de seguridad industrial y evita tiempos improductivos innecesarios.
- Disminuye del número de incidentes, reduce los impactos ambientales y los accidentes.
- Reduce las frustraciones del personal de mantenimiento y operaciones.



## **3. Capítulo 3 Metodología**

### **3.1 Descripción**

El desarrollo de esta investigación empieza con la determinación y ubicación de un problema que, de manera general habla sobre la agudización de las averías, fallas ocasionales, repetitivas, la falta de proyección de extensión de la vida, la disminución de la disponibilidad operacional de los Camiones Eléctricos Hitachi EH 5000 de 320 que a menudo provocan pérdidas económicas para la empresa de minería a cielo abierto cerrejón.

(Gómez, 2016) a firma lo siguiente:

Los diseños de investigación transversales recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables (o describir comunidades, eventos, fenómenos o contextos) y analizar su incidencia o interrelación en un momento dado. Puede abarcar varios grupos o subgrupos de personas, objetos o indicadores; así como diferentes comunidades, situaciones o eventos. Pero siempre, la recolección de los datos ocurre en un momento único. Los estudios cualitativos involucran la recolección de datos utilizando técnicas que no pretenden asociar las mediciones con números (no pretenden cuantificar), tales como observación no estructurada, entrevistas abiertas, revisión de documentos, evaluación de experiencias personales, inspección de historias de vida, e interacción con grupos o comunidades (Gómez, 2016).

### **3.2 Fases**

En esta investigación se plantea realizar bajo la modalidad de diseño transaccional o transversal, cualitativa y en parte cuantitativa donde se busca describir y explicar la realidad, desde una aproximación a su dinámica natural. El desarrollo de esta investigación

se encuentra enmarcada en tres fases las cuales son consecutiva y tratadas sistemáticamente. De tal manera que se requieren realizar un trabajo ordenadamente, siguiendo un método o sistema. Las fases se llevan a cabo de la siguiente manera:

Fase 1: Descripción de los parámetros e indicadores de la máquina.

- Realizar una descripción de los parámetros de operación del equipo HITACHI EH 5000 de 320.
- Determinar los indicadores de mantenimiento actual del equipo.

Fase 2: Análisis y proceso de mantenimiento

- Análisis de criticidad, causa raíz, diagrama de Pareto de las fallas y el análisis de modo y efecto de la falla.

Fase 3: Resultados y evaluación

- Obtener los resultados de mejora de los indicadores de mantenimiento del equipo.
- Análisis y evaluación de los resultados



## 4. Capítulo 4 Resultados

### 4.1 Especificaciones técnicas del camión eléctricos HITACHI EH 5000 de 320T

A continuación, se presentan los diferentes tipos de sistemas y especificaciones técnicas del camión en estudio. Esta información fue extraída del manual del fabricante, como primera medida, para el inventario del equipo.

Tabla 4-1: Motor EH5000ACII.

MOTOR EH5000ACII	
Fabricante	MTU Detroit Diesel
Modelo	16V-4000 C23R
Tipo	Diesel de 4 tiempos con ADEC mantenimiento del motor
Aspiración	Turboalimentado y Posenfriamiento a baja temperatura
Numero de Cilindros	16
Diámetro interior del cilindro	170 mm (6.69 in)
Carrera del cilindro	210 mm (8.27 in)
Desplazamiento del motor	76.3 Litros (4654 in3)
Máximo Torque	1700 RPM: 11307 N·m (8336 lbf·ft)
Alto inactivo	1900 RPM
Bajo inactivo	700 RPM
Salida bruta a 1800 rpm	2014 kW (2700 bhp)
Peso (seco)	9120 kg (20106 lb)
Dirección de rotación (cigüeñal)	Hacia la derecha (vista del extremo del ventilador)

Fuente: Manual del Fabricante.

La Tabla 4-1 muestra las principales características que presenta el motor EH5000ACII, incluyendo su fabricante y modelo.

Tabla 4-2: Sistema de refrigeración.

SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	
Ventilador	Succión
Relación de ventilador	0.38
Termostato HTC	Temperatura de apertura. 79 ° C (174 ° F) Temperatura de apertura total. 92 ° C (198 ° F)
Termostato LTC	Temperatura de apertura. 38 ° C (100 ° F) Temperatura de apertura total. 51 ° C (124 ° F)
Bomba de agua	Bomba centrífuga

Fuente: Manual del Fabricante.

La Tabla 4-2 muestra las partes que integran el sistema de refrigeración, entre ellas la relación de ventilador. La Tabla 4-3, 4-4 y 4-5 muestran cómo está conformado el sistema de lubricación, el sistema de arranque y el sistema de combustible.

Tabla 4-3: Sistema de lubricación.

SISTEMA DE LUBRICACIÓN	
Bomba	Tipo engranaje
Filtro de aceite	Automática con 2 centrífugas de aceite

Fuente: Manual del Fabricante.

Tabla 4-4. Sistema de arranque.

SISTEMA DE ARRANQUE	
Motor de Arranque	Delco 50MT
Voltaje del motor de arranque	24V DC

Fuente: Manual del Fabricante.

Tabla 4-5: Sistema de combustible.

SISTEMA DE COMBUSTIBLE	
Bomba de inyección	Engranaje de desplazamiento positivo bomba
Control de velocidad	Gobernador electrónico ADEC
Filtro de combustible	1 giro el separador de agua / combustible 2 Giro los elementos secundarios
El consumo de combustible @ Salida nominal	207 g/kWh (0.34 lb/hp·hr)

Fuente: Manual del Fabricante.

Tabla 4-6: Sistema de parada del motor.

SISTEMA DE PARADA DEL MOTOR	
Switch de ignición	Corta la alimentación principal de 24 V en relés de batería
Interruptor de parada de emergencia	Corta la energía al ECM del motor

Fuente: Manual del Fabricante.

Tabla 4-7: Alternador de carga.

ALTERNADOR DE CARGA	
Fabricante	C.E. Niehoff
Tipo	Rectificación del diodo del alternador
Capacidad de salida de voltaje	28V DC, 220A
Peso	37 kg (82 lb)

Fuente: Manual del Fabricante.

Tabla 4-8: Compresor de aire acondicionado.

COMPRESOR DE AIRE ACONDICIONADO	
Tipo	Seltec
Peso	8.2 kg (18.1 lb)
Desplazamiento	180 cm <sup>3</sup> (11 in <sup>3</sup> )

Fuente: Manual del Fabricante.

Tabla 4-9: Características del radiador.

RADIADOR		RADIADOR HTC		RADIADOR LTC	
Peso (Seco)	2205 kg (4860 lb)	Peso	1108 kg (2444 lb)	Peso	658 kg (1451 lb)
Separación de Aletas	11 pulgadas	Capacidad	165 L (43.5 gal)	Capacidad	105 L (27.5 gal)
Tipo de Aleta	Mesabi	Presión de Prueba Central	15 psi	Presión de Prueba Central	15 psi
Capacidad de Fluido	396 L (105 gal)				
Presión de fuerza Central	25 psi				
Presión de fuerza de Tapa	14 psi				

Fuente: Manual del Fabricante.

Tabla 4-10: Características de la Batería.

BATERIA	
Amperios de arranque en frío a -18 ° C (0 ° F)	1450
Capacidad de Reserva	450 minutos
Voltaje	12 VDC
Peso	60 kg (132 lb)
Alto x Ancho x Largo	252 x 260 x 527 mm (9.9 x 10.3 x 20.8 in)
Conexión	Serie/Paralelo
Cantidad	8

Fuente: Manual del Fabricante.

Tabla 4-11: Características del filtro.

FILTRO	
Relación Beta 6	200
Clasificación	Absoluto de 6 micrones
Tipo	Alta presión
Tanque	Compartimentos hidráulicos y de dirección separados
Volante máximo Rotaciones	5.8 Bloquear para bloquear
Angulo de dirección máxima	40 grados

Fuente: Manual del Fabricante.

Tabla 4-12: Característica de la suspensión.

SUSPENSIÓN			
Delantera		Posterior	
Tipo	Strut-NEOCON 'E' (Silicona / Helio)	Tipo	Strut-NEOCON 'E' (Silicona / Helio)
Carrera Efectiva Total	355.6 mm (14.00 in.)	Carrera Efectiva Total	127.7 mm (5.03 in.)
Diámetro del Agujero	266.7 mm (10.50 in.)	Diámetro del Agujero	266.7 mm (10.50 in.)
Diámetro de la varilla	228.6 mm (9.00 in.)	Diámetro de la varilla	228.6 mm (9.00 in.)

Fuente: Manual del Fabricante.

En las Tablas 4-10, 4-11 y 4-12 se puede observar las principales características de la batería, el filtro y la suspensión del camión. En el caso de la suspensión se describen la delantera y la posterior.

Tabla 4-13: Equipo eléctrico.

EQUIPO ELECTRICICO			
Eléctrico		Sistema de Tracción	
<b>Lámparas</b>			
Faros - Luz de carretera	2 HID (24V)	Control	Siemens IGBT
Faros delanteros - Luz baja	2 HID (24V)	Alternador	Modelo Siemens. Montaje directo al motor
Escalera y cubierta	4 (24V)	Motores de Rueda	Motor Eléctrico A / C
Compartimiento del motor	2 (24V)	Relación Planetaria	35.8:1
Parada / cola	2 (24V, LED)	Velocidad Máxima	60 km/h (37 mph)
Despeje	4 (24V, LED)		
Eje Posterior	1 (24V)		
Inversa	2 HID (24V)		
Retardadora	1 (24V, LED)		

Fuente: Manual del Fabricante.

Tabla 4-14: Características de Frenos.

FRENOS							
Delantera		Sistema de frenos		Freno de estacionamiento		Posterior	
Tipo	Disco seco	Sistema de Control		Tipo	Disco seco: aplicación por resorte, liberación hidráulica	Tipo	Disco húmedo, refrigerado por aceite
Número de discos por eje	2	Aplicación de baja presión de freno	9653 ± 345 kPa (1400 ± 50 psi)	Ubicación	Motor de rueda	Presión de freno (máx.)	15856 ± 344 kPa (2300 ± 50 psi)
Número de calibradores por eje	6	Acumulador	2	Talla	63 cm (25 in)	Superficie de frenado por eje (Área barrida)	180741 cm <sup>2</sup> (28015 in <sup>2</sup> )
Diámetro del disco	121.3 cm (47.75 in)	Precarga de Nitrógeno	8273 ± 172 kPa (1200 ± 25 psi)	Área de superficie de revestimiento	211 cm <sup>2</sup> (33 in <sup>2</sup> )		

Área de revestimiento por eje	6194 cm <sup>2</sup> (960 in <sup>2</sup> )	Capacidad Frontal	5,05 litros (308 in <sup>3</sup> )	Número de cabezas por eje	4		
Presión de freno (máx.)	20700 ± 344 kPa (3000 ± 50 psi)	Capacidad Trasera	5,05 litros (308 in <sup>3</sup> )				
Área de superficie de frenado por eje	17032 cm <sup>2</sup> (2640 in <sup>2</sup> )						

Fuente: Manual del Fabricante.

Tabla 4-15: Características aire acondicionado.

AIRE ACONDICIONADO			
Refrigerante	R134a	Dispositivo de lubricación	
Capacidad refrigerante	5 libras, 2 oz	Tipo	Automático con temporizador programable
Control de temperatura	Control de clima electrónico (ECC)	Capacidad del tanque de grasa	208 L (55 gal)

Fuente: Manual del Fabricante.

Tabla 4-16: Dispositivos hidráulicos.

DISPOSITIVOS HIDRAULICOS							
Sistema de dirección		Cilindro		Dirección suplementaria		Válvula de control de dirección	
Bomba		Cantidad	2	Tipo	Acumulador	Tipo	Flujo Amplificado
tipo	Pistón (presión compensada) con función de descarga	TIPO	Doble Efecto	Cantidad	2	Desplazamiento	630 cm <sup>3</sup> /rev (38.4 in <sup>3</sup> /rev)
Desplazamiento	0,131 litros / rev (8,00 in <sup>3</sup> /Rdo)	Etapas	1	Precarga de Nitrógeno	6895 ± 172 kPa (1000 ± 25 psi)	Alivio Cruzado	25167 – 27235 kPa (3650 - 3950 psi)

Flujo nominal a 1900 RPM x 1.000 (relación PTO)	249 litros / min (65,8 gpm)	Diámetro del vástago del pistón	69.85 mm (2.75 in)	Capacidad de Aceite Ambos	92.6 L (24.5 gal)		
Rotación	Agujas de reloj	Agujerada	159.6 mm (6.28 in)	Válvula RCB			
Presión de descarga	20685 ± 172 kPa (3000 ± 25 psi)	Carrera	807.7 mm (31.8 in)	Válvula de alivio secundaria	20684 ± 689 kPa (3400 ± 100 psi) @ idle		
Presión en Espera	3034 ± 103 kPa (440 ± 15 psi)						

Fuente: Manual del Fabricante.

## 4.2 Diagnostico

Aplicando el procedimiento de cálculos, para determinar los indicadores de mantenimiento, se toma como referencia al camión **0220711** de la flota **CAM320**. Para ello se filtra el camión en referencia en la base de datos (Anexo 1), en el mes de mayo. El tipo de evento a filtrar corresponde a programado (P) y no programado (N). En la Tabla 4-17 se muestra las detenciones programadas. Para este caso se realizará el estudio en un periodo de un año, como diagnóstico correspondiente al 2020. Según datos obtenidos por el departamento de mantenimiento de la empresa Cerrejón, de la hoja de Excel de los reportes se filtrará la información correspondiente al camión CAM 320 durante el tiempo mencionado.

### 4.2.1 Eventos programados

En la Tabla 4-17 se muestra los sistemas, frecuencia, duración y periodo correspondiente al tipo de detención programadas.

Tabla 4-17. Detenciones programadas por equipo del CAM320 – Año 2020.

SISTEMA	FRECUENCIA	DURACION (Hrs)	PERIODO (AÑO)	EVENTO
AIRE ACONDICIONADO	1	6,2	2020	PROGRAMADO
LLANTAS	3	17,3	2020	PROGRAMADO
SILLA	2	0,4	2020	PROGRAMADO
OTROS ELECTRICOS	3	1,9	2020	PROGRAMADO
NEUTRALIZADO	3	2	2020	PROGRAMADO
SEIS SERVICIOS E INSPECCIONES	10	166,3	2020	PROGRAMADO

Fuente: Elaboración Propia

## 4.2.2 Eventos no programados

En la Tabla 4-18 se muestra los sistemas, frecuencia, duración y periodo correspondiente al tipo de detención no programadas.

Tabla 4-18. Detenciones no programadas por equipo CAM 320-Año 2020.

SISTEMA	FRECUENCIA	DURACION (Hrs)	PERIODO (AÑO)	EVENTO
ACEITE HIDRAULICO	2	1,6	2020	NO PROGRAMADO
ARRANQUE	2	2,4	2020	NO PROGRAMADO
APAGADO CAMION 320	1	0,5	2020	NO PROGRAMADO
LLANTAS	19	26,4	2020	NO PROGRAMADO
LUCES	18	39,9	2020	NO PROGRAMADO
COMBUSTIBLES	2	1,7	2020	NO PROGRAMADO
FRENOS	6	2,1	2020	NO PROGRAMADO
CILINDROS	3	8,3	2020	NO PROGRAMADO
CABINA / PUERTAS	8	13,5	2020	NO PROGRAMADO
AIRE ACONDICIONADO	2	2,1	2020	NO PROGRAMADO
SUPRESOR DE INCENDIOS	5	2,5	2020	NO PROGRAMADO
DIRECCION	2	3,8	2020	NO PROGRAMADO
RADIO	7	5,1	2020	NO PROGRAMADO
SILLA	1	0,8	2020	NO PROGRAMADO
OTROS ELECTRICOS	9	46,9	2020	NO PROGRAMADO
NEUTRALIZADO	16	47,4	2020	NO PROGRAMADO
SEIS SERVICIOS E INSPECCIONES	9	5,3	2020	NO PROGRAMADO

Fuente: Elaboración Propia.

## 4.3 Determinación de los indicadores

### 4.3.1 Tiempo de Trabajo - CAM 320

El equipo minero trabaja durante tres turnos es decir que trabaja durante las 24 horas del día por lo que se tiene:

$$Tiempo_{Trabajo\ CAM\ 320} = Tiempo_{24\ Hrs} * dias\ de\ operacion\ en\ el\ mes \quad \text{Ec.1}$$

$$Tiempo_{CAM\ 320} = 24 \frac{horas}{dia} \times 30\ dias = 720\ horas\ de\ trabajo\ en\ el\ mes$$

$$Tiempo_{CAM\ 320} = 720 * 12 = 8640\ horas\ de\ trabajo\ año$$



### 4.3.2 Tiempo de producción - CAM 320

El tiempo de producción real del camión minero CAM320 se considera según el tiempo que estuvo en marcha, es decir que el tiempo real está condicionado por las detenciones en el taller debido a reparaciones ya sea de fallas o averías.

$$Tiempo_{produccion\ CAM\ 320} = Tiempo_{CAM\ 320} - Detenciones \quad \text{Ec. 2}$$

Hay que mencionar que la empresa cuenta con dos tipos de detenciones, las programadas y las no programadas, es decir, se puede definir entonces que:

$$DT_P = \text{Detenciones programadas}$$

$$DT_{NP} = \text{Detenciones No programadas}$$

Conociendo lo anterior se puede obtener el cálculo de las detenciones de la siguiente manera:

$$DT_{CAM\ 320} = DT_P + DT_{NP}$$

$$DT_{CAM\ 320} = 194,1\ Hrs + 210,7\ Hrs = 404,8\ hrs$$

Reemplazamos en la ecuación 2.

$$Tiempo_{produccion\ CAM\ 320} = 8640\ hrs - 404,8\ hrs$$

$$Tiempo_{produccion\ CAM\ 320} = 8235,2\ Hrs$$

### 4.3.3 Disponibilidad - CAM 320

Se puede decir que la disponibilidad es el objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, y que este ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo determinado (Scientia et Technica, 2006, pág. 157).

$$Disponibilidad_{CAM\ 320} = \frac{Tiempo_{CAM\ 320} - DT_P - DT_{NP}}{Tiempo_{CAM\ 320}}$$

$$Disponibilidad_{CAM\ 320} = \frac{8640Hrs - 194,1\ Hrs - 210,7\ hrs}{8640\ hrs} * 100\%$$

$$Disponibilidad_{CAM\ 320} = 95,3\%$$

Los camiones durante el año 2020, tuvieron una confiabilidad del 95% incluyendo las detenciones mostradas anteriormente.

#### 4.3.4 Utilización (porcentaje)- CAM 320

Para conocer que tanto se dispuso del camión minero CAM 320, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Utilizacion_{CAM\ 320} = \frac{Tiempo_{CAM\ 320}}{Tiempo_{CAM\ 320} + DT_P + DT_{NP}}$$

$$Utilizacion_{CAM\ 320} = \frac{8640\ Hrs}{8640\ Hrs + 194,1\ Hrs + 210,7\ Hrs} = 0.95$$

$$Utilizacion_{CAM\ 320} = 0.95 * 100 = 95\%$$

#### 4.3.5 Tiempo promedio para la reparación (TPPR) - CAM 320

El tiempo promedio para la reparación es una medida de mantenibilidad de equipos y piezas reparables. Esto Representa el promedio del tiempo necesario para reparar una avería hasta que la actividad del equipo se restablezca (INFRASPEAK, 2015). Para el caso de este estudio se tomará los datos de fallas y averías en el transcurso del año 2020 y un numero de fallas de 83 durante el mismo incluyendo las que se programaron.

$$TPPR_{CAM\ 320} = \frac{Tiempo\ total\ de\ mantenimiento}{numero\ de\ reparaciones}$$

$$TPPR_{CAM\ 320} = \frac{404,8\ Hrs}{134\ fallas} = 3,02\ Hrs/fallas$$

#### 4.3.6 Tiempo promedio entre falla (TPEF) - CAM 320

$$TPEF_{CAM\ 320} = \frac{Tiempo_{CAM\ 320}}{numero\ de\ reparaciones}$$

$$TPEF_{CAM\ 320} = \frac{8640Hrs}{134\ fallas} = 64,47\ hrs/falla$$

### 4.3.7 Número de paradas programadas - CAM 320

De la Tabla 4-17 se toma el número de paradas no programadas en los camiones CAM 320, es decir, que se tendrán durante el año 2020:

$$N^{\circ} \textit{Paradas Programadas} = 22$$

### 4.3.8 Número de paradas no programadas- CAM 320

De la Tabla 4-18 se toma el número de paradas no programadas en los camiones CAM 320, es decir, que se tendrán durante el año 2020:

$$N^{\circ} \textit{Paradas No Programadas} = 112$$

En la Tabla 4-19 se muestra la gestión del mantenimiento de la máquina, donde se observa los meses, el código, tiempo de operación, los dos tipos de tenciones programadas y no programadas, la disponibilidad y la utilización.

### 4.3.9 Cuadro de gestión del mantenimiento

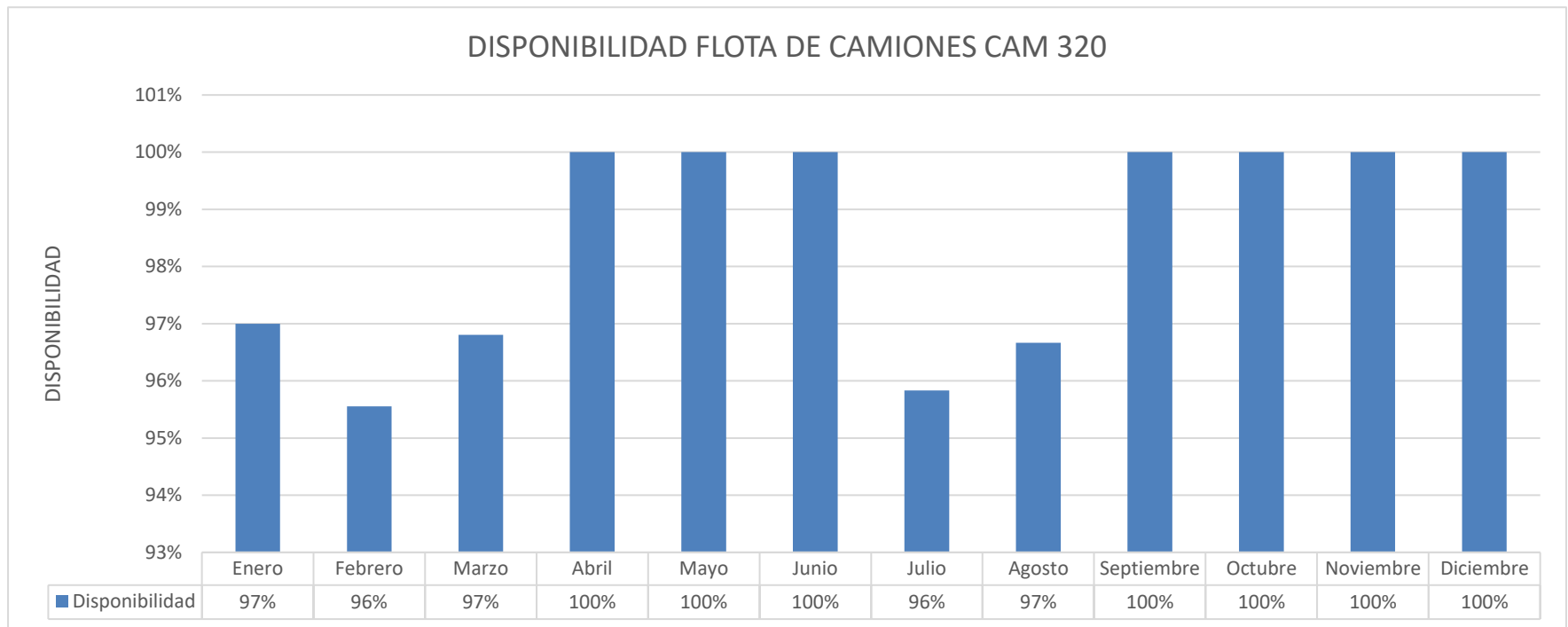
Tabla 4-19. Tabla gestión de mantenimiento

EQUIPOS CAMIONES MINERO CAM 320				AÑO	2020						
Mes	Código	Equipo	Tiempo de operación (Hrs)	Detenciones programadas	Detenciones No programadas	Disponibilidad	Utilización	TPPR (Hrs/falla)	TPEF (Hrs/falla)	N° Paradas programadas (Hrs)	N° paradas no programadas (Hrs)
Enero	0220711	Cam 320	720	3	22	0,97	0,97	3,7	28,8	57,5	34,7
Febrero	0220711	Cam 320	720	3	29	0,96	0,96	1,43	22,5	8,1	37,8
Marzo	0220711	Cam 320	720	7	16	0,97	0,97	4,93	31,3	66,7	46,7
Abril	0220711	Cam 320	720	0	0	1,00	1,00	0	0	0	0
Mayo	0220711	Cam 320	720	0	0	1,00	1,00	0	0	0	0
Junio	0220711	Cam 320	720	0	0	1,00	1,00	0	0	0	0
Julio	0220711	Cam 320	720	4	26	0,96	0,96	2,83	24	37	47,6
Agosto	0220711	Cam 320	720	5	19	0,97	0,97	2,86	30	24,7	43,9
Septiembre	0220711	Cam 320	720	0	0	1,00	1,00	0	0	0	0
Octubre	0220711	Cam 320	720	0	0	1,00	1,00	0	0	0	0
Noviembre	0220711	Cam 320	720	0	0	1,00	1,00	0	0	0	0
Diciembre	0220711	Cam 320	720	0	0	1,00	1,00	0	0	0	0

Fuente. Elaboración Propia

### 4.3.10 Disponibilidad de la flota de camiones - CAM 320

Figura 4-1: Disponibilidad mensual CAM 320 año 2020.

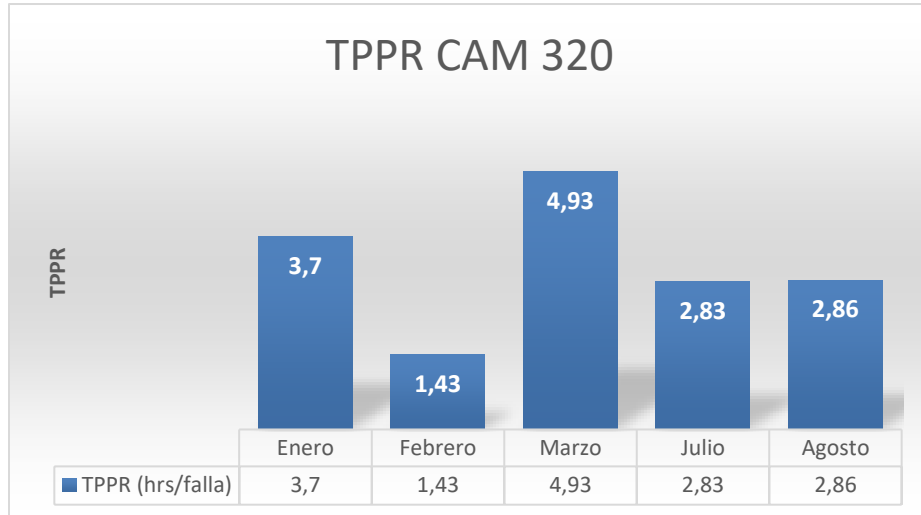


Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4-1, se muestra la disponibilidad de la flota de camiones CAM 320 durante el año 2020, se observa que la disponibilidad máxima fue durante 6 meses, tiempo en los cuales la flota se mantuvo con una disponibilidad para trabajar sin que existiera contra tiempos, falsos reportes y averías.

### 4.3.11 TPPR de camiones – CAM 320

Figura 4-2: TPPR CAM 320.

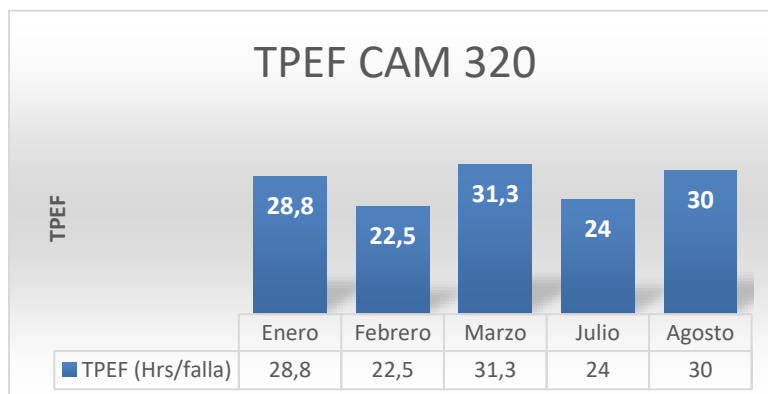


Fuente: elaboración propia.

La Figura 4-2 muestra el comportamiento del tiempo promedio de falla de la flota de camiones 320 en el año 2020, donde se observa que en el mes de marzo hay un TPPF de 4,93 fallas/horas y en febrero baja a 1.43 fallas/horas, considerando que en meses como abril, mayo, junio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre no se presentaron fallos ni averías en la flota.

### 4.3.12 TPPR de camiones - CAM 320

Figura 4-3: TPPR CAM 320.



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4-3, se observa el comportamiento del TPEF en cada mes del año 2020; teniendo como máximo TPEF el mes de marzo con 31,3 horas/falla se observa que el promedio entre los meses de enero, febrero, marzo, Julio y agosto es de 27,32 Hrs/falla.

### 4.3.13 TEF – CAM 320

En la Tabla 4-20, se muestra la columna TEF correspondiente al tiempo entre falla que se obtuvieron utilizando la fórmula que indica las fechas de los eventos de falla menos la falla de la fecha anterior, según se muestra a continuación.

$$TEF = (TFA_{CAM\ 320} - TFAN_{CAM\ 320}) - DFA_{CAM\ 320}$$

Donde:

$$TEF = \text{Tiempo entre fallas}$$

$$TFA_{CAM\ 320} = \text{Tiempo falla Actual}$$

$$TFAN_{CAM\ 320} = \text{Tiempo falla Anterior}$$

$$DFA_{CAM\ 320} = \text{Duracion falla anterior}$$

$$TEF = (5/01/2020 - 2/01/2020) - 1,5hrs ;$$

$$TEF = (80\ rhs) - 1,5hrs ;$$

$$TEF = 78,5\ hrs$$

De igual manera se desarrolló para los demás días, pero se tomaron los meses de enero, febrero y marzo respectivamente. Ver en la Tabla 4-20 los resultados obtenidos.

Tabla 4-20. TEF periodos enero, febrero y marzo 2020

ITEM	MES	FECHA	DURACION	FRECUENCIA	TEF(Hrs)
1	Enero	2020/01/02 16:08	1,5	1	
2	Enero	2020/01/05 23:45	1,8	1	78,5
3	Enero	2020/01/06 23:57	1,4	1	22,2
4	Enero	2020/01/08 22:57	0,4	1	46,6
5	Enero	2020/01/09 19:54	0,7	1	23,6
6	Enero	2020/01/11 19:20	6,6	3	47,3
7	Enero	2020/01/14 16:57	4,1	2	65,4
8	Enero	2020/01/15 4:11	6,1	2	7,9
9	Enero	2020/01/16 11:45	1,3	1	13,9

10	Enero	2020/01/18 11:43	1,6	1	46,7
11	Enero	2020/01/19 21:21	1	1	31,4
12	Enero	2020/01/23 11:11	0,5	1	25
13	Enero	2020/01/25 3:49	0,8	1	59,5
14	Enero	2020/01/27 12:17	3,8	1	67,2
15	Enero	2020/01/31 5:19	55	4	104,2
1	Febrero	2020/02/01 12:12	1,6	2	24
2	Febrero	2020/02/02 2:44	4	5	16,5
3	Febrero	2020/02/03 12:04	2,6	2	30
4	Febrero	2020/02/04 6:49	1,4	2	16,4
5	Febrero	2020/02/06 4:50	1,7	1	21,6
6	Febrero	2020/02/08 0:19	0,4	1	41,3
7	Febrero	2020/02/09 15:55	13,6	3	14,6
8	Febrero	2020/02/11 12:03	2,1	1	31,4
9	Febrero	2020/02/12 23:17	0,3	1	33,9
10	Febrero	2020/02/13 22:52	1,8	1	23,7
11	Febrero	2020/02/18 3:24	0,3	1	109,2
12	Febrero	2020/02/19 10:37	0,7	1	12,7
13	Febrero	2020/02/22 3:22	1,9	2	41,3
14	Febrero	2020/02/23 3:06	7,3	3	22,1
15	Febrero	2020/02/27 14:56	1,8	2	76,7
16	Febrero	2020/02/28 12:31	3,8	2	22,2
17	Febrero	2020/02/29 3:43	0,6	2	12,2
1	Marzo	2020/03/03 16:37	50,9	2	109,4
2	Marzo	2020/03/04 10:56	8,9	2	31,9
3	Marzo	2020/03/08 0:41	0,3	2	79,1
4	Marzo	2020/03/11 17:05	4	3	64,7
5	Marzo	2020/03/12 16:52	1,4	2	20
6	Marzo	2020/03/15 8:52	2,5	2	62,6
7	Marzo	2020/03/16 10:43	12,7	1	21,5
8	Marzo	2020/03/17 9:17	8	3	11,3
9	Marzo	2020/03/18 23:25	10,2	1	0
10	Marzo	2020/03/19 16:28	12,3	3	5,8
11	Marzo	2020/03/22 16:10	1,8	1	59,7
12	Marzo	2020/03/23 4:42	0,4	1	11,2

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.14 Cálculo de confiabilidad distribución Weibull – CAM 320

Para el cálculo de la confiabilidad por medio de Weibull, se hace uso de las herramientas informáticas en este caso un software libre en la web que permite obtener valores muy confiables para lo referente al cálculo de la confiabilidad en los camiones CAM 320.



### 4.3.15 Intervalos de Confianza para TIEMPO ENTRE FALLAS

Intervalos de confianza del 95% para la media: 40,7125 +/- 9,1258 [31,5867; 49,8383].

Intervalos de confianza del 95% para la desviación estándar: [23,3744; 36,6394].

La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera o la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95% de confianza, que la media verdadera de tiempo entre fallas se encuentra en algún lugar entre 31,5867 y 49,8383, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 23,3744 y 36,6394. Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. En la Tabla 4-21 se muestra las distribuciones ajustadas.

Tabla 4-21: Distribuciones Ajustadas.

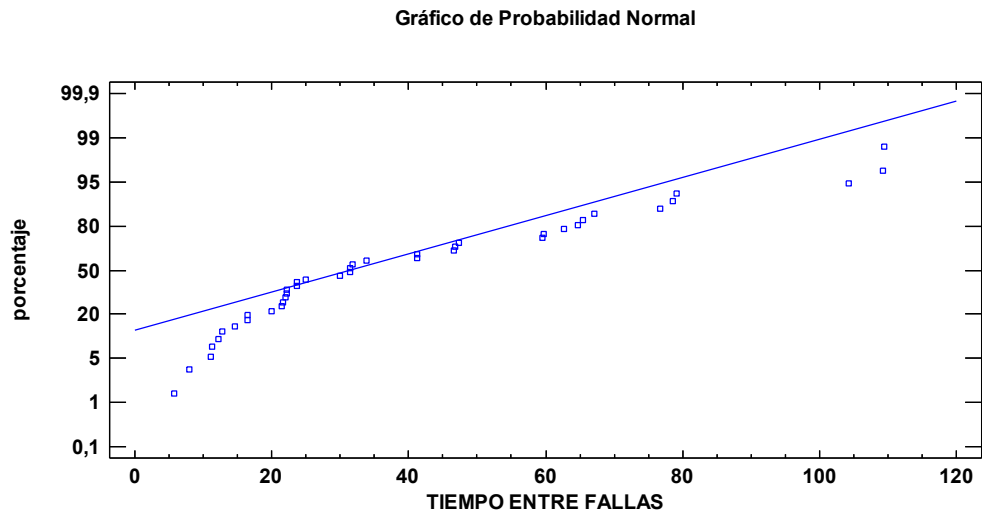
Exponencial	Normal	Weibull
media = 40,7125	media = 40,7125	Forma = 1,52299
	desviación estándar = 28,5345	Escala = 45,4369

Fuente: elaboración propia.

Este análisis muestra los resultados de ajustar 3 distribuciones normal, exponencial y Weibull, a los datos en tiempos entre fallas. La Figura 4-4 muestra la curva de probabilidad normal comprendida entre enero y marzo.

- Factor de forma,  $\beta = 1,52299$
- Parámetro de escala  $\eta=45,4369$

Figura 4-4: Curva de probabilidad Normal periodos enero- marzo.



Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.16 Cálculo del TPEF (Tiempo promedio entre falla analítico)

$$TPEF_a = \frac{\sum TEF}{\text{Numero de registros de fallas}}$$

$$TPEF_a = \frac{1611,5 \text{ Hrs}}{40} = 40,287 \text{ Hrs/fallas}$$

#### 4.3.17 Cálculo del TPEF<sub>g</sub> (Tiempo promedio entre falla gráfico)

$$TPEF_g = \eta * K$$

Donde:

$\eta$  = Parámetro de escala = 45,4369

$K$  = Factor de ajuste; tomado de la Tabla 4-18.

$$TPEF_g = 45,4369 * 0,988$$

$$TPEF_g = 44,89 \text{ Hrs}$$

Una vez calculado el valor gráfico del TPEFg, se pasa a calcular el porcentaje de error entre el valor analítico y el gráfico, es decir:

$$\%Error = \frac{(TPEF_g - TPEF_a)}{TPEF_g} * 100\%$$

$$\%Error = \frac{|44,89 - 40,287|}{44,89} * 100\%$$

$$\%Error = 0,1025 * 100\%$$

$$\%Error = 10,25\%$$

Valor aceptable, ya que este procedimiento de cálculo permite una tolerancia de error de +/- 20%.

### 4.3.18 Cálculo de la Confiabilidad

Se determina la confiabilidad o probabilidad de supervivencia usando la siguiente ecuación:

$$R(T) = e^{-\left(\frac{TPEF}{\eta}\right)^\beta} * 100\%$$

$$R(T) = e^{-\left(\frac{TPEF}{\eta}\right)^\beta} * 100\%$$

TPEF es el tiempo promedio entre fallas mensual de la flota de camiones de CAM 320 donde se utiliza como estándar para la evaluación de las correlaciones obtenidas para cada camión en su periodo respectivo.

El TPEF mensual promedio de enero es de 45,67 Hrs

$$R(T) = e^{-\left(\frac{TPEF_{Promedio\ mensual}}{\eta}\right)^\beta} * 100\%$$

$$R(T) = e^{-\left(\frac{45,67\ Hrs}{45,4369}\right)^{1,5229}} * 100\%$$

$$R(T) = 0,365 * 100\% = 36,5\%$$

Se calcula la probabilidad acumulada de confiabilidad

$$F(T) = 1 - R(t)$$

$$F(T) = 1 - 0,365$$

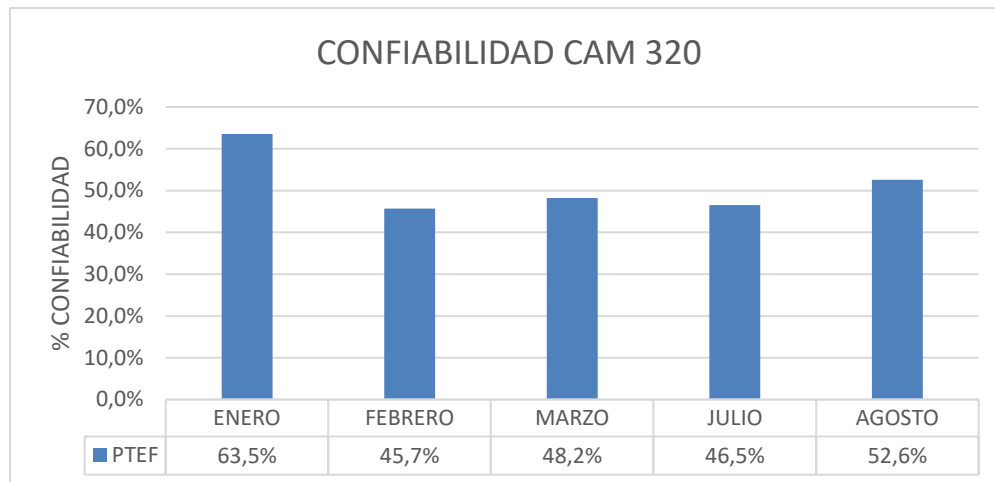
$$F(T) = 0,635 = 63,5\%$$

Tabla 4-22: Confiabilidad por mes.

CONFIABILIDAD	MES
63,5%	ENERO
45,7%	FEBRERO
48,2%	MARZO
46,5%	JULIO
52,6%	AGOSTO

Fuente: elaboración propia.

Figura 4-5: Confiabilidad camiones CAM 320 (2020).



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4-5 se muestra la confiabilidad de los camiones CAM 320T en el periodo enero – agosto. Cabe destacar que los meses que no se muestran indica que no hubo fallas ni reporte de averías en los equipos CAM 320 y se puede decir que la confiabilidad fue de un 100% en los meses no mostrados.

### 4.3.19 Pruebas de Bondad-de-Ajuste para tiempo entre fallas

- Prueba Chi-Cuadrada

	Exponencial	Normal	Weibull
Chi-Cuadrada	27,15	35,65	16,1
G.I.	15	14	14
<b>VALOR-P</b>	0,0275377	0,00117698	<b>0,307306</b>

Fuente: elaboración propia.

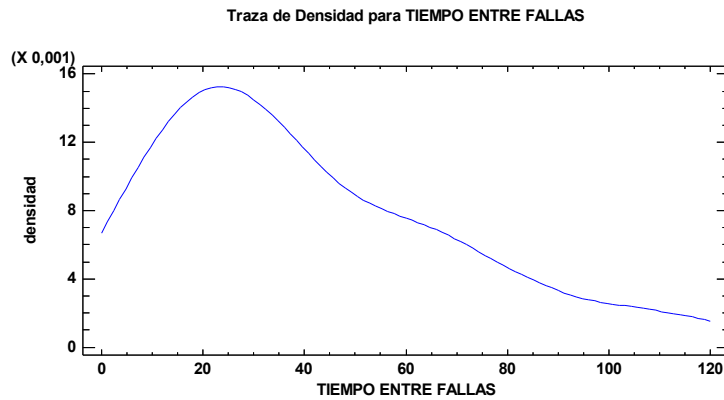
- Prueba de Kolmogórov-Smirnov

	Exponencial	Normal	Weibull
DMAS	0,0682889	0,171279	0,118606
DMENOS	0,190504	0,110567	0,078612
DN	0,190504	0,171279	0,118606
<b>VALOR-P</b>	0,109689	0,191411	<b>0,626945</b>

Fuente: elaboración propia.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas de Chi-Cuadrada es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que TIEMPO ENTRE FALLAS proviene de una distribución normal con 95% de confianza, por lo que se realiza otra prueba de **Kolmogórov-Smirnov** y el valor p es mayor a 0,05 no se rechaza y que proviene de una distribución normal, se observa que la única que se ajusta es la de Weibull en ambas pruebas. En la Figura 4-6 se muestra la curva de densidad con respecto al tiempo entre fallas.

Figura 4-6: Curva de densidad para TEF.



Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.20 Áreas de Cola para tiempo entre fallas- CAM 320

En la Tabla 4-23 y 4-24 se muestran las áreas de colar inferior y superior con respecto a Weibull. En la primera se observa la probabilidad que los equipos CAM 320 sean reparado, y en la segunda la probabilidad que no sean reparado.

Tabla 4-23. Área Cola Inferior ( $\leq$ ).

X	Weibull
32,57	0,452431
36,6412	0,513538
40,7125	0,570882
50,0	0,685542
90,0	0,941098

Probabilidad que los equipos CAM 320 sean reparados

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4-24. Área Cola Superior (>).

X	Weibull
32,57	0,547569
36,6412	0,486462
40,7125	0,429118
50,0	0,314458
90,0	0,0589017

Probabilidad que los equipos CAM 320 no sean reparados

Fuente: elaboración propia.

Se tomará áreas de colas hasta para 5 valores críticos, por ejemplo, la salida indica que la probabilidad de obtener un valor menor o igual a 32,57 es 0,4524 para la distribución Weibull ajustada. Esto indica las probabilidades en tiempo de que el equipo sea reparado dependiendo el área tomada, es decir, si tomamos un tiempo de 32,57 horas, la probabilidad que este sea reparado es de 0,45 es decir, 45%, ahora si en 90 horas la probabilidad que sea puesto en marcha es de 94,10 % pasa lo contrario en el área de la cola superior, es decir, que en esas 90 horas la probabilidad que no sea reparado es de 5.89%.

### 4.4 Análisis de Criticidad

El análisis de criticidad será aplicado para la evaluación del equipo CAM 320. Para realizar la anterior evaluación, se hace una división del equipo por sistemas. En la Tabla 4-25 se muestra el listado de los sistemas.

Tabla 4-25. Sistemas CAM 320.

ITEMS	SISTEMA
1	ACEITE HIDRAULICO
2	ARRANQUE
3	APAGADO CAMION 320
4	LLANTAS
5	LUCES
6	COMBUSTIBLES
7	FRENOS
8	CILINDROS
9	CABINA / PUERTAS
10	AIRE ACONDICIONADO
11	SUPRESOR DE INCENDIOS

12	DIRECCION
13	RADIO
14	SILLA
15	OTROS ELECTRICOS
16	NEUTRALIZADO
17	SEIS SERVICIOS E INSPECCIONES

Fuente: elaboración propia

Para determinar la criticidad de los sistemas del equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla. La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el valor de criticidad del sistema bajo análisis como se muestra en la Tabla 4-26. La estimación de la frecuencia de falla y el impacto total o consecuencia de las fallas se realiza utilizando criterios y rangos preestablecidos. Para cada sistema puede existir más de un modo de falla, el más representativo será el de mayor impacto en el equipo.

Tabla 4-26. matriz de frecuencia por consecuencia de la falla.

	10	20	30	40	50	
	9.5	19	28.5	38	47.5	
	9	18	27	36	45	
	8.5	17	25.5	34	42.5	
	8	16	24	32	40	
	7.5	15	22.5	30	37.5	
	7	14	21	28	35	
	6.5	13	19.5	26	32.5	
	6	12	18	24	30	
	5.5	11	16.5	22	27.5	
	5	10	15	20	25	
	4.5	9	13.5	18	22.5	
	4	8	12	16	20	
	3.5	7	10.5	14	17.5	
	3	6	9	12	15	
	2.5	5	7.5	10	12.5	
	2	4	6	8	10	
	1.5	3	4.5	6	7.5	
	1	2	3	4	5	
	0.5	1	1.5	2	2.5	
		1	2	3	4	5

Fuente: elaboración propia.

Para determinar el nivel de criticidad de los sistemas del equipo se debe emplear la fórmula:

$$CRITICIDAD = FRECUENCIA * CONSECUENCIA$$



$$CONSECUENCIA = 0,5 * IE * (3 - CE) + 0,1 * LT + 0,2 * CR + 0,1 * IS + 0,1 * IA$$

Tabla 4-27: Análisis de criticidad de la flota camiones CAM 320.

ITEMS	SISTEMA	CE	IE	IA	IS	CR	LT	CONSECUENCIA	FRECUENCIA	CRITICIDAD DEL SISTEMA	TIPO
1	ACEITE HIDRAULICO	5	4	5	4	3	3	5,8	2	11,6	MEDIA
2	ARRANQUE	5	4	3	5	4	5	6,1	2	12,2	MEDIA
3	APAGADO CAMION 320	5	5	3	4	5	4	7,1	1	7,1	BAJA
4	LLANTAS	5	4	5	5	4	2	6	22	132	MUY ALTA
5	LUCES	4	3	2	5	3	1	2,9	18	52,2	MUY ALTA
6	COMBUSTIBLES	4	4	5	5	4	1	3,9	2	7,8	BAJA
7	FRENOS	5	4	3	5	3	2	5,6	6	33,6	ALTA
8	CILINDROS	4	4	3	5	3	3	3,7	3	11,1	MEDIA
9	CABINA / PUERTAS	2	1	1	4	3	3	1,9	8	15,2	ALTA
10	AIRE ACONDICIONADO	3	2	5	2	4	3	1,8	3	5,4	BAJA
11	SUPRESOR DE INCENDIOS	1	3	4	4	3	4	4,8	5	24	ALTA
12	DIRECCION	4	4	2	5	4	3	3,8	2	7,6	BAJA
13	RADIO	1	1	1	4	3	1	2,2	7	15,4	ALTA
14	SILLA	1	1	1	4	2	1	2	3	6	BAJA
15	OTROS ELECTRICOS	4	4	2	5	3	2	3,5	12	42	MUY ALTA
16	NEUTRALIZADO SEIS SERVICIOS	3	3	3	3	3	2	1,4	19	26,6	MUY ALTA
17	E INSPECCIONES	4	3	2	5	4	4	3,4	19	64,6	MUY ALTA

Fuente: elaboración propia.

La matriz que muestra la Tabla 4-27, se observa que la criticidad se presenta en los componentes como: llantas, luces, otros eléctricos, neutralizado e inspecciones, seguido de las altas criticidad como el supresor de incendios, cabina/puertas y radio. Se deberán tomar acciones para bajar el nivel de criticidad de estos elementos que son fundamentales en la producción de la compañía.

## 4.5 Diagrama de Pareto

En la Tabla 4-28 se muestra el conglomerado de las duraciones por falla ocurrida en cada sistema de la flota de camiones CAM 320. Para este análisis se aplica el diagrama de Pareto en el cual se ordena de mayor a menor el tiempo de duración por sistema.

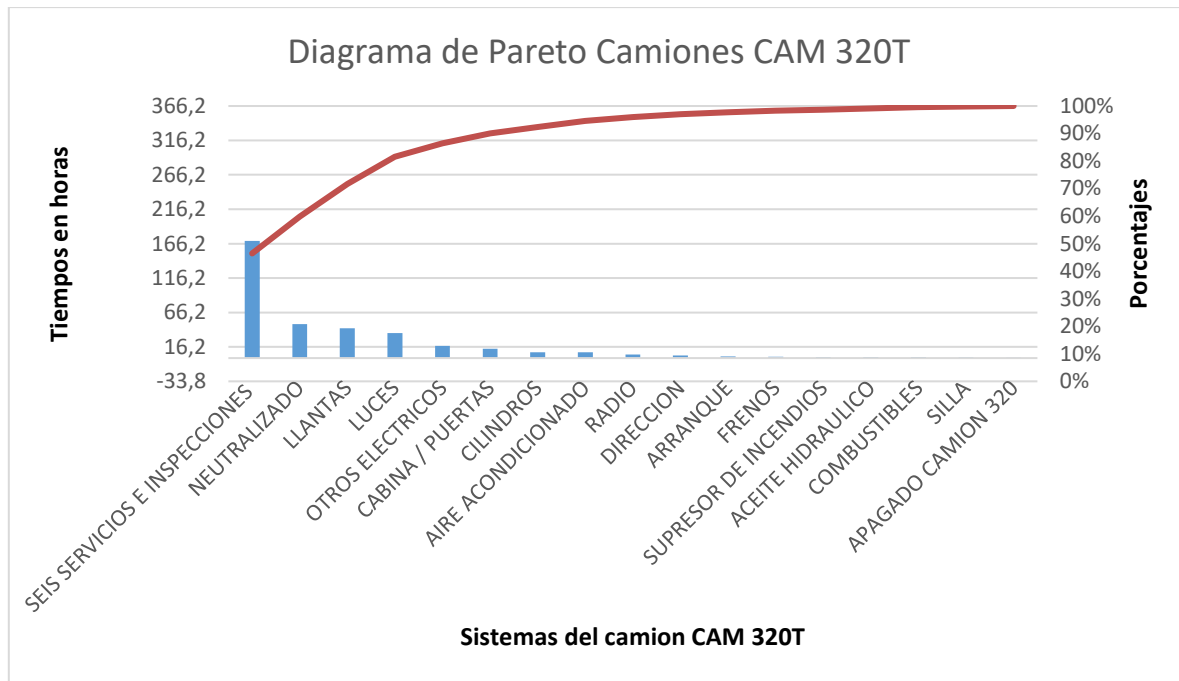
Tabla 4-28: Duración de fallas en los sistemas del camión CAM 320.

SISTEMA	DURACION (Hrs)	% ACOMULADO
SEIS SERVICIOS E INSPECCIONES	170,1	46%
NEUTRALIZADO	49,2	60%
LLANTAS	43,2	72%
LUCES	36,4	82%
OTROS ELECTRICOS	17,6	86%
CABINA / PUERTAS	13,4	90%
CILINDROS	8,3	92%
AIRE ACONDICIONADO	8,3	95%
RADIO	5,1	96%
DIRECCION	3,8	97%
ARRANQUE	2,3	98%
FRENOS	2,1	98%
SUPRESOR DE INCENDIOS	1,6	99%
ACEITE HIDRAULICO	1,6	99%
COMBUSTIBLES	1,5	100%
SILLA	1,2	100%
APAGADO CAMION 320	0,5	100%

Fuente: elaboración propia.

La Figura 4-7 muestra el diagrama de Pareto según los sistemas clasificados del camión CAM 320. En la Figura 4-8 se observa el factor de ajuste utilizado en el cálculo del apartado 4.3.17.

Figura 4-7: Diagrama de Pareto sistemas del camión CAM 320.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4-8. Factor de ajuste.

**FACTOR DE AJUSTE**

k	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.5	2.000	1.930	1.865	1.806	1.752	1.702	1.657	1.614	1.575	1.538
0.6	1.505	1.473	1.444	1.416	1.390	1.366	1.344	1.322	1.302	1.284
0.7	1.266	1.249	1.233	1.218	1.204	1.191	1.178	1.166	1.154	1.143
0.8	1.133	1.123	1.114	1.105	1.096	1.088	1.080	1.073	1.066	1.059
0.9	1.052	1.046	1.040	1.034	1.029	1.023	1.018	1.013	1.009	1.004
1	1.000	0.996	0.992	0.988	0.984	0.981	0.977	0.974	0.971	0.968
1.1	0.965	0.962	0.959	0.957	0.954	0.952	0.949	0.947	0.945	0.943
1.2	0.941	0.939	0.937	0.935	0.933	0.931	0.930	0.928	0.927	0.925
1.3	0.924	0.922	0.921	0.919	0.918	0.917	0.916	0.915	0.914	0.912
1.4	0.911	0.910	0.909	0.909	0.908	0.907	0.906	0.905	0.904	0.903
1.5	0.903	0.902	0.901	0.901	0.900	0.899	0.898	0.898	0.898	0.897
1.6	0.897	0.896	0.896	0.895	0.895	0.894	0.894	0.893	0.893	0.893
1.7	0.892	0.892	0.892	0.891	0.891	0.891	0.890	0.890	0.890	0.890
1.8	0.889	0.889	0.889	0.889	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888
1.9	0.887	0.887	0.887	0.887	0.887	0.887	0.887	0.886	0.886	0.886
2	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886
2.1	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886
2.2	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886
2.3	0.886	0.886	0.887	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886
2.4	0.886	0.887	0.886	0.887	0.887	0.887	0.887	0.887	0.887	0.887
2.5	0.887	0.887	0.886	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888
2.6	0.888	0.888	0.889	0.889	0.889	0.889	0.889	0.889	0.889	0.889

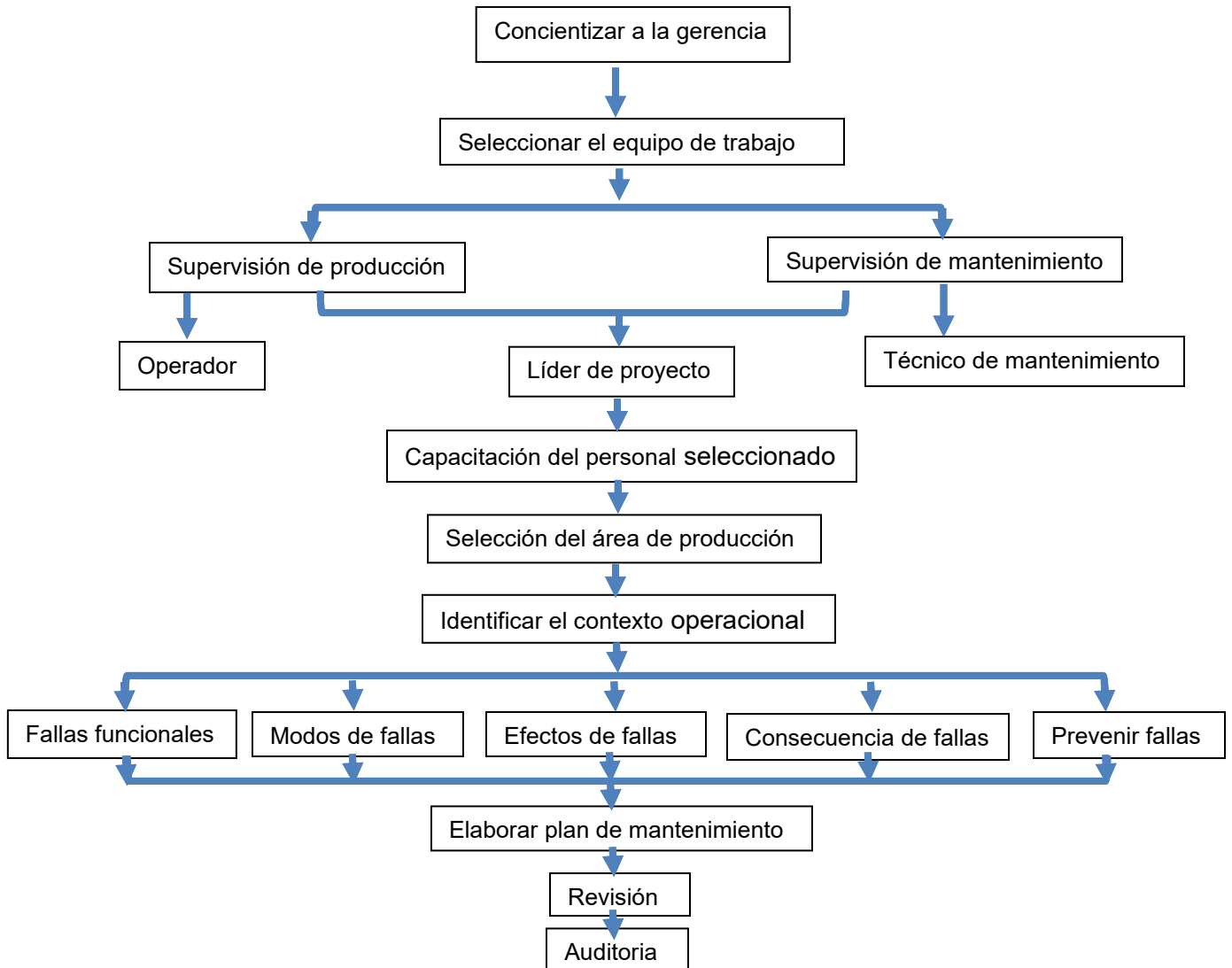
Fuente: elaboración propia.

## 4.6 Gestión del mantenimiento

### 4.6.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

El mantenimiento centrado en confiabilidad RCM, es una metodología altamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento que incluyan todo tipo de estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo, búsqueda de fallas, etc.) (REDALYC, 2016). Aplicando esta técnica se previene y se puede controlar las posibles fallas y averías que se pueden presentar en los camiones mineros CAM 320, con esto se puede desarrollar unas actividades para la creación de un plan de mantenimiento que permita contrarrestar y mitigar de forma eficaz los inconvenientes en cada uno de los sistemas.

Diagrama 4-1. Procesos del mantenimiento RCM.



## **4.7 Implementación de un plan de mantenimiento basado en RCM**

Elaborar un plan de mantenimiento basado en RCM, es de suma importancia debido a que este permite garantizar el buen funcionamiento de la flota de camiones CAM 320 al implementar un plan. Este plan incluye actividades que se deben desarrollar a cabalidad con el personal seleccionado para las mismas, cumplir con procedimientos de mantenimiento, mejoras y repuestos en stock. Una vez analizados los parámetros de criticidad de la flota CAM 320 se puede seguir a los siguientes pasos o fases del plan de mantenimiento:

### **4.7.1 Determinación de los fallos funcionales y técnicos de los sistemas que componen cada uno de los equipos.**

Los camiones CAM 320T tiene varios sistemas que, debido al desgaste, daños por parte del operario, corrosión, entre otros propios de la función de ellos, impiden que estos puedan operar correctamente. Para determinar este tipo de fallos hay que analizar y ver que función cumple y realiza cada uno de ellos. Lo anterior debe estar de la mano con datos respecto a las fallas y averías que permitan que el plan sea efectivo a la hora de implementarlo.

### **4.7.2 Determinación de los modos de fallo: clasificación de fallos en fallas a evitar y fallos a mitigar.**

Para poder llegar a la causa de los fallos es necesario un estudio riguroso, para saber cuál es la verdadera causa. Dependiendo de las consecuencias que las ocasionó, se determina si este pudo haberse evitado o solo se busca la forma de mitigarlos. Por tanto, existen dos categorías posibles: Fallos a evitar y fallos a amortiguar. Una vez determinados los fallos que pueden presentar un equipo, un sistema funcional de un equipo o un elemento, deben estudiarse los modos de fallo. Se puede definir los modos de fallo como las circunstancias que acompañan un fallo específico.

### **4.7.3 Determinación de acciones preventivas que eviten o mitiguen los efectos de los fallos.**

Se identifica el modo de fallo en cada uno de los sistemas o elementos de la flota CAM 320T, esto con el fin de determinar las acciones preventivas a tomar, para evitar fallos y minimizar los efectos que estos puedan tener. Se pueden realizar las siguientes actividades:

#### **1. Tareas De Mantenimiento:**

- Inspeccionar el sistema y cada uno de los componentes de forma visual.
- Los componentes como rodamientos, ejes y balineras deben ser perfectamente lubricadas.
- Chequeo y verificación de la correcta operación de instrumentos de medición en el CAM 320T.
- Verificaciones del correcto funcionamiento en los instrumentos externos del equipo.

#### **2. Mejoras y modificaciones en el CAM 320:**

- Cambios en el diseño de una pieza.
- Mejorar los sistemas de detección y aviso para evitar el mal funcionamiento de los equipos.
- Cambios en el diseño de una instalación eléctrica.

#### **3. Cambios en los procedimientos de operación y mantenimiento:**

Todas las mejoras que se realice traen como consecuencia una inversión, según el comportamiento del nuevo sistema o elemento, pero si se cambian los procedimientos y las maneras de ser eficientes se puede bajar los costos de operación, hay que aclarar que los cambios generan inconformidad e inclusive contratiempos, pero una vez puesto en marcha se puede evidenciar la mejora en el proceso tanto en la operación como en el mantenimiento.

#### **4. Determinación del repuesto partiendo del análisis de fallos**

Algo indispensable en la industria minera es elaborar un plan de compra de repuestos, el mantener los repuestos en stock disminuyen los tiempos de mantenibilidad y por ende aumenta la confiabilidad. El analizar los fallos frecuentes en la flota, permitiría que el plan sea eficaz y se evita demoras en la obtención de los repuestos y en la producción.

## **5. Elaborar un Plan de Mantenimiento Rápido.**

La producción minera maneja tres turnos de 24 horas que no da tregua para detenciones, por que se deben cumplir metas mensuales y diarias, esto no permite realizar estudios de modos de fallos como se tiene que hacer, por lo que con los datos de paradas y componentes o sistemas se puede identificar y realizar un plan que permita garantizar el funcionamiento de los equipos CAM 320T. Esos sistemas pueden ser: sistema hidráulico, neumático, sistema de control, sistema eléctrico, entre otros.

## **6. Agrupación de las Tareas y Rutas de mantenimiento.**

Una vez se elabora la lista de actividades que se refieren al mantenimiento, es necesario unir las en grupos de tal manera que se puedan realizar de forma fácil, por ejemplo, las tareas con el mismo fin o en la misma área. Esto permite ahorrar tiempo en inclusive en el mismo equipo, por lo que se pueden considerar como rutas de mantenimiento:

- Mantenimiento en el mismo equipo.
- Mantenimiento en la misma área.

## **7. Informes Realización de Rutas.**

Elaborar un informe sencillo para dar un parte de las realizaciones de las rutas de mantenimiento, esto con el objetivo que se pueda evidenciar las posibles fallas presentadas o hallazgos importantes encontradas en las rutas. Esto permite tomar acciones inmediatas para mantener la alta confiabilidad en los CAM 320T. Realizar esta actividad diaria, permite tener información importante consignadas en un informe sencillo, claro y entendible.

## **8. Puesta en marcha del plan de mantenimiento.**

Se continua con la ejecución del plan de mantenimiento, en la marcha se va ajustando detalles que pueden surgir que no se presentaron antes, pero es necesario que este sea puesto en marcha, por lo que hay que tener en cuenta los alcances que este pueda tener y que se puedan cumplir, asignando tareas o supervisores de áreas que se encarguen de

ejecutarlo y que este designe personal para que se encarguen de las rutas de mantenimientos. En las primeras dos semanas es necesario revisar nuevamente el plan, de esta manera se observa el porcentaje de ejecución con la respectiva supervisión.

## **9. Planificación del Mantenimiento**

El éxito de que el plan de mantenimiento funcione, está en una buena planificación, es decir, el tiempo de realización, quien estará a cargo de ejecutarlo y quienes realizarán la rutina ya sea diaria o semanal, los cuales deberán estar comprometidos con la mejora de los procesos. Esto exige según lo planificado los días, horas y personal encargado de ejecutar las tareas asignadas.

## **10. Organización de Paradas**

El estudio de la flota de camiones CAM 320T, permite de alguna u otra forma el planificar paradas ya sea programadas o no programadas, es necesario realizar las paradas programadas debido a que estas permiten realizar chequeos e inclusive cambio de componentes, que garanticen el buen funcionamiento hasta la próxima parada programada. Estas deben ser programadas analizando los meses del año donde hay menos demanda de producción.

## **11. La mejora del plan continua**

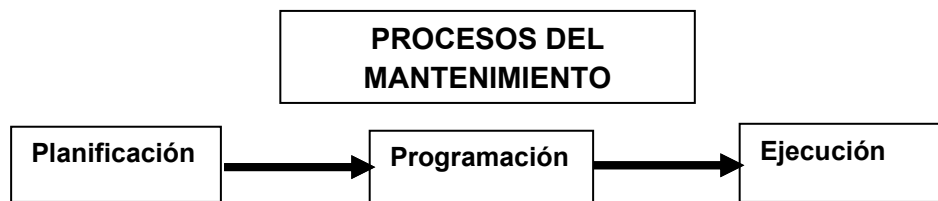
La mejora continua indica cambios constantes, los planes de mantenimientos tienen alteraciones constantemente por lo que cada día hay detalles que se tienen que mejorar, si este no se modifica en cierto tiempo es posible que el plan no se esté llevando a cabo y se estaría retrocediendo y perdiendo recursos. Incluir tareas al plan es normal, debido a que se trata que el plan funcione y hasta excluir algunas que nos son tan necesarias, esto es un síntoma que este puesto en marcha el plan de mantenimiento.



## 4.8 Procesos de mantenimiento

Asegurar la eficacia de un plan de mantenimiento es realizar una buena gestión, estos procesos de gestión del mantenimiento, permitirá tomar acciones necesarias, eficaces y correctas frente a situaciones donde falle un equipo, tomar la correcta decisión para actuar es prenda de garantía para que el plan cumpla su objetivo. Al ejecutar ordenes de mantenimiento, se debe tener en cuenta priorizar y hacer el respectivo registro del chequeo de la buena ejecución de la tarea encomendada, es indispensable una retroalimentación para verificar si se ejecutó de acuerdo a lo planeado como se muestra en la Figura 4-9.

Diagrama 2. Procesos del mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia.

### 4.8.1 Planificación de los trabajos de mantenimiento

### 4.8.2 Objetivo de la planificación

La planificación de un plan de mantenimiento, es un proceso que se lleva a cabo y hace parte de la administración en los que está el supervisor y jefe de mantenimiento. El objetivo es tener al alcance cada uno de los detalles requeridos para su buena ejecución, es decir, materiales, herramientas, equipos y permisos. Lo anterior es para que las ordenes de trabajos se empleen de la mejor manera y que las tareas sean realizadas con calidad y sobre todo que se pueda optimizar los recursos.

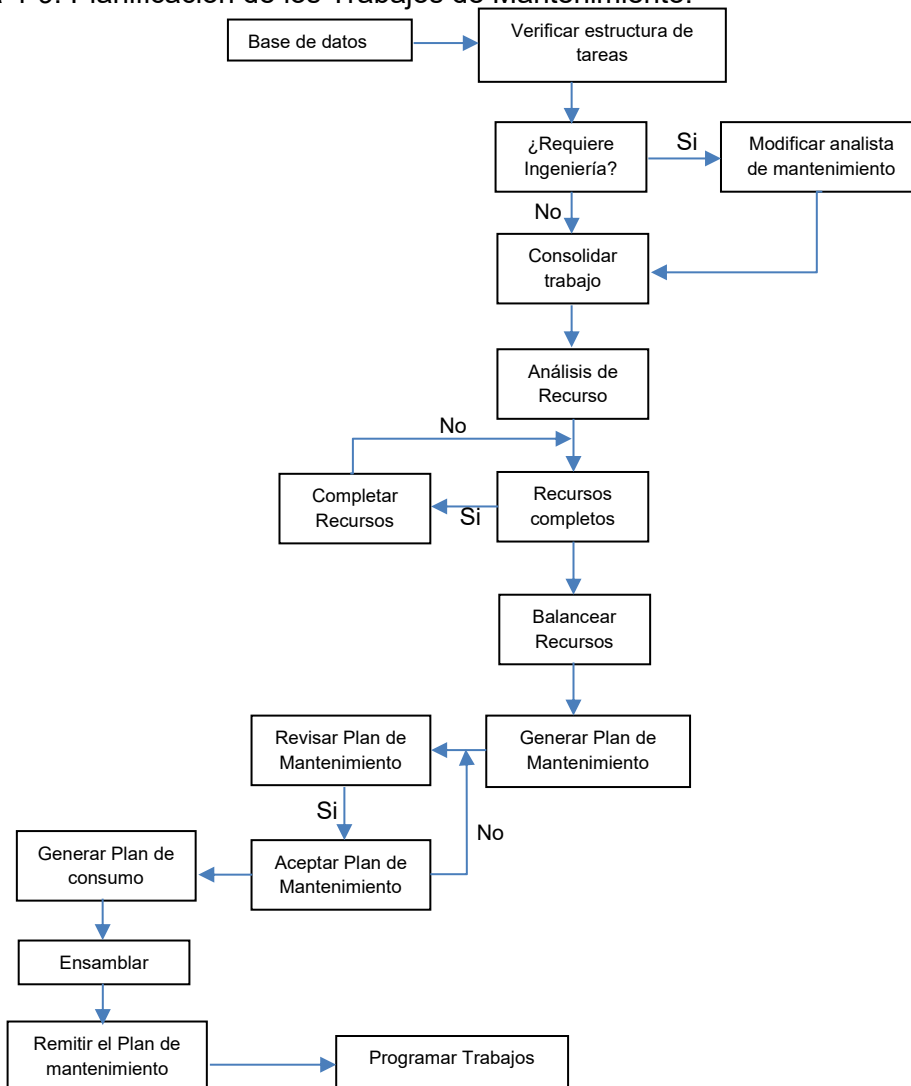
### 4.8.3 Descripción del proceso de la planificación

Un planificador de mantenimiento es el encargado de desarrollar un plan acorde a las actividades de los camiones CAM 320T, este se encarga de crear las estrategias basándose en los requerimientos de los equipos.

### 4.8.4 Flujoograma de Planificación

A continuación, se muestra un flujoograma del proceso de planificación de los trabajos de mantenimiento.

Figura 4-9: Planificación de los Trabajos de Mantenimiento.



Fuente: elaboración propia.

### 4.8.5 Proceso de la planificación

- **Verificar estructura de tareas**

El encargado de la planeación estructura las tareas necesarias para realizar las actividades, verificando también que las ordenes de trabajo se encuentren completas y asignar tareas adicionales si es necesario.

- **¿Requiere Ingeniería?**

El planificador de mantenimiento verifica detalladamente, si alguna de las órdenes de Trabajo implica una modificación. Debe tener en cuenta cual de esas modificaciones realizadas requieren el soporte del analista de mantenimiento. Emite solicitud de modificación, proveyendo toda información necesaria sobre el requerimiento, especificaciones técnicas y de seguridad.

- **Consolidar Trabajos**

El planificador prioriza los trabajos según el nivel de criticidad y revisa para consolidar los trabajos similares o complementarios para que puedan ser realizados de manera simultánea, optimizando ejecución del trabajo y disponibilidad del equipo CAM 320.

- **Analizar Recursos**

El planificador estará al frente de los recursos básicos registrados por el usuario y analizará todos los recursos requeridos para realizar el trabajo en cada una de las ordenes de trabajo a planificar que incluyen: repuestos, herramientas y equipos. También se analizan los requerimientos sobre seguridad e instrucciones específicas entre otras.

- **Recursos completos**

El planificador verificará si los recursos que han planeado y que se usaran en los trabajos se encuentran completos. Revisará el consolidado de ordenes de trabajo y que los materiales y repuestos estén disponibles en stock y que los recursos estén disponibles según cronograma planeado.

- **Completar Recursos**

El planificador deberá contar con recursos suficientes para la gestión del plan de mantenimiento y consultar si hay existencia suficiente para cubrir eventualidades, planificar toda la logística para entrega de materiales en corto tiempo. En el momento que no estén los repuestos o recursos, es responsabilidad del planificador gestionar para que no falte nada y deberá generar documentos con anticipación para pedir materiales, repuestos y recursos necesarios, con el fin de garantizar la confiabilidad en la flota de camiones CAM 320T.

- **Balancear Recursos**

El mantener la confiabilidad es labor diaria y ardua del planificador con ayuda de su equipo de colaboradores, este debe mantener un equilibrio de los recursos de tal manera que estos se consuman conjuntamente con lo planeado. Debe estar y asignar recursos humanos según las capacidades y especialidades, para poder mantener los tiempos. Si los recursos no están disponibles, se puede modificar el cronograma y posponer las fechas de mantenimiento, dependiendo del grado de importancia, priorizando el nivel de criticidad de los equipos.

- **Generar Plan De Mantenimiento**

Generar un plan de mantenimiento es indispensable para el planificador, donde este incluya ordenes de trabajos que estén planificadas con anticipación, luego de esto generará un reporte donde indique los periodos de mantenimiento y la proyección para futuras actividades de mantenimiento, reporte que deberá presentar en las reuniones de coordinación de supervisores e intendentes.

- **Revisar Plan De Mantenimiento**

Revisar el plan de mantenimiento es indispensable para tomar decisiones de parte de los altos funcionarios y verificar si está dentro de los tiempos. Lo anterior es importante, considerando sobre todo las reuniones, donde pueden asignar recursos y si hay observaciones o cambios es ahí donde se decide. Posteriormente se envía al planificador con el objetivo que lo ajuste a las observaciones realizadas.

- **Plan aceptado**

Si el plan cumple con los requerimientos necesarios este continúa con la asignación de recursos, en un plan de consumo de lo contrario se enviará al planeador para que realice los cambios pertinentes.

- **Generar plan de consumo**

Al generar un plan de consumo con el objetivo que, en las fechas planificadas se pueda contar con los recursos necesarios para ejecutar las tareas. Generar un reporte de consumo de recursos y enviarlo a cada área como almacén, logística y personal pertinente.

- **Ensamblar**

Dentro del plan de trabajo es necesario que en las ordenes este la información básica y necesaria para la ejecución de la misma, es decir, tareas, recursos, permisos y herramientas. Este paquete de trabajo garantizara el desarrollo de las tareas acorde al plan de mantenimiento.

- **Remitir el plan de mantenimiento**

El planificador deberá socializar y divulgar el plan que ya fue aprobado y enviarlo ya sea en físico o vía correo electrónico, esto es un paso que permite incluir a todos los directamente involucrados para que el plan se lleve a cabalidad.

#### 4.8.6 Programación de los trabajos de mantenimiento

- **Objetivo de la programación**

La programación es indispensable a la hora de la ejecución del plan, el ordenar de forma cronología permitirá llevar un orden y se podrá ver en detalle los recursos físicos y humanos de forma controlada. Entregar a los superintendentes un reporte semanal del plan de mantenimiento ejecutado y ver el avance de ejecución determinara el éxito de la programación y ejecución del plan de mantenimiento.

- **Premisas de la programación**

**Planificación:** las órdenes de trabajos planificadas y otras órdenes requieren de un plan anticipado.

**Supervisión:** los supervisores de mantenimiento son responsables de diligenciar las horas hombre requeridas en cada tarea.

**Programadores:** deben actualizar las horas hombres disponibles por cada grupo de trabajo.

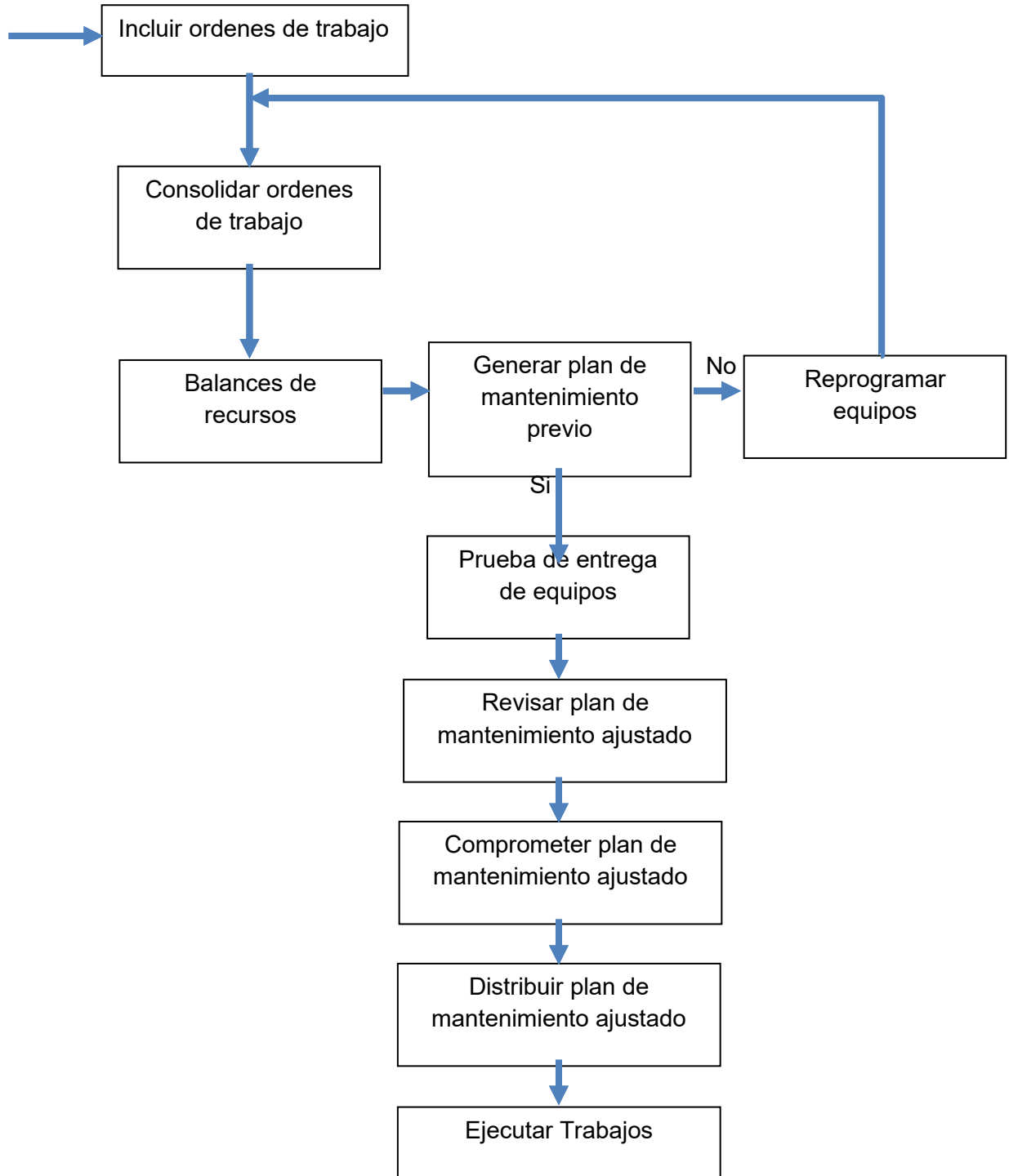
**Operaciones y otros:** se consideran fuentes de ingreso para programación: las solicitudes de trabajo.

#### 4.8.7 Descripción del proceso de la programación

La programación de trabajos de mantenimiento es responsabilidad del programador de mantenimiento en función a la estrategia y necesidades del mantenimiento de los equipos.

- **Flujo grama de la programación**

Figura 4-10: Programación de los trabajos de mantenimiento.



Fuente: elaboración propia.

Según el flujograma de mantenimiento mostrado anteriormente inicia con incluir ordenes de trabajo, esto se da debido a que después de realizar mantenimientos preventivos es posible que se tengan que incluir tareas a la planeación, seguido en la base de datos el programador deberá revisar minuciosamente y hacer un consolidado de las ordenes de trabajo para evitar que estas se repitan y no incurrir en retrasos y consumo de recursos. Realizar un balance de todos los detalles y requerimientos de los técnicos para las tareas de mantenimiento es responsabilidad del programador, seguido de eso tiene que verificar los recursos, herramientas y equipos auxiliares. Una vez realizado los ajustes y detalles el programador generara un plan previo para ultimar detalles y volver a revisar, esto permite tener el apoyo y permiso del personal técnico para que entregue los equipos en las fechas estipuladas en el plan.

Reprogramar depende de las observaciones que se le hagan al plan por parte de los altos directivos y superintendentes, si hay que hacerle detalle este se inicia incluyendo órdenes de trabajo, de lo contrario se continua para ingresarlo al sistema, se puede actualizar dependiendo las tareas que se le asignen. Una vez ingresado al sistema el programador genera el plan y lo distribuye al personal técnico y administrativos para darles a conocer.

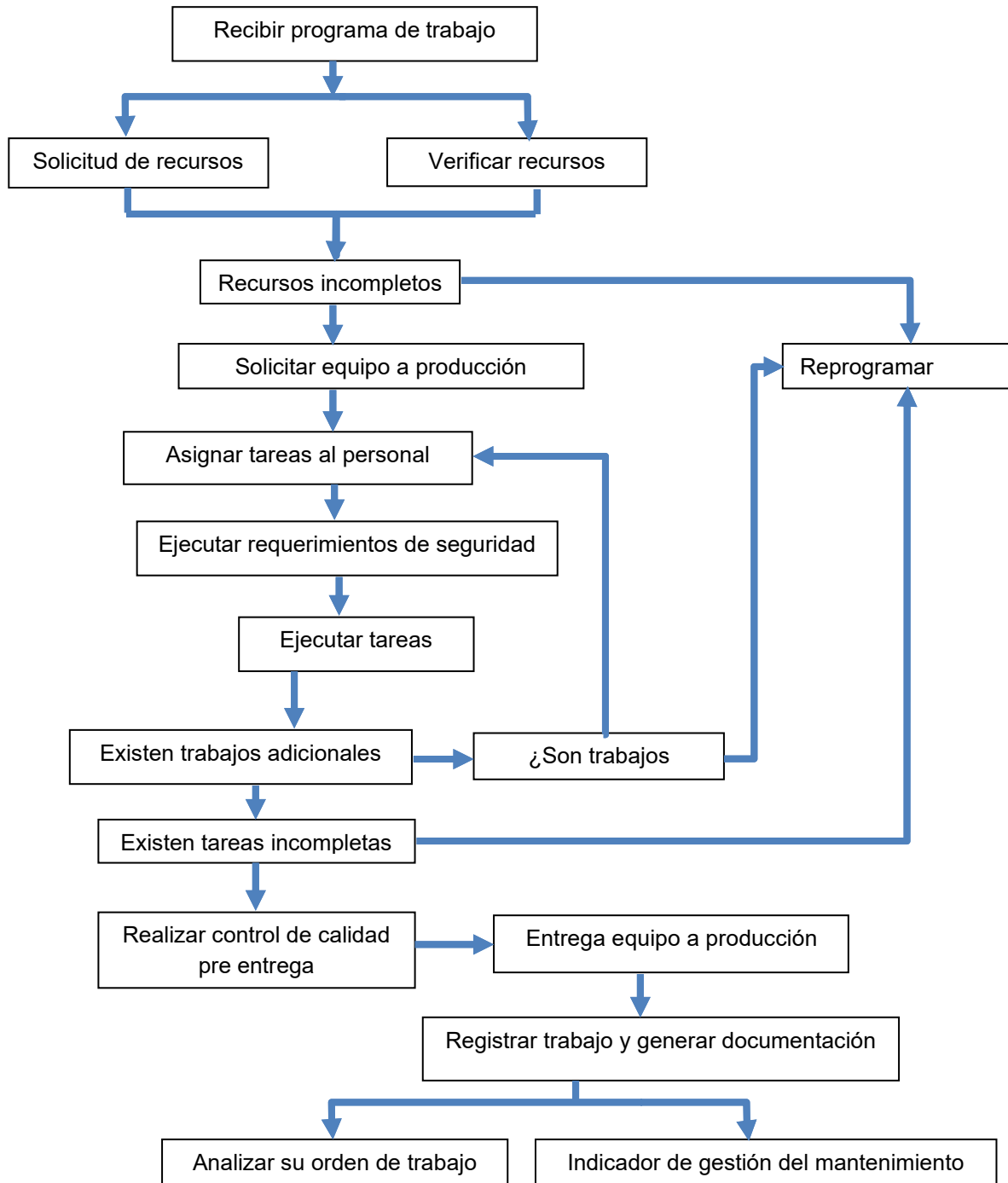
- Descripción del proceso de la ejecución

Proceso que consiste en la ejecución física del servicio de mantenimiento o reparación de los equipos CAM 320T, respondiendo a las órdenes de trabajo y a lo acordado en el plan de mantenimiento, a continuación, se muestra un flujograma de la ejecución del mantenimiento, que inicia con recibir la orden de trabajo y el personal capacitado debe tener o realizar la solicitud de recursos como herramientas y repuestos y verificar que estos elementos estén en stock, verificado que estén completos. Se solicita el equipo al que se le ha programado el mantenimiento, y se asignan las tareas a los técnicos. Este personal debe tener permisos de seguridad para realizar las actividades y ejecutar siguiendo el plan, si se requieren trabajos adicionales deberá informársele al supervisor encargado, para que comunique la novedad al programador de mantenimiento si es urgente, de lo contrario se puede programar otra rutina.

Una vez realizadas las tareas es necesario una revisión por parte del encargado para certificar que el equipo CAM 320T es apto para seguir operando y posteriormente hacer entrega a producción. Con esta labor entregada se realiza un informe o se diligencia las actividades para tener control que, producirá unos indicadores que permiten medir la

disponibilidad del equipo. En la Figura 4-12 se muestra el flujograma de la ejecución del mantenimiento.

Figura 4-11: Descripción del proceso de la ejecución.



Fuente: elaboración propia.



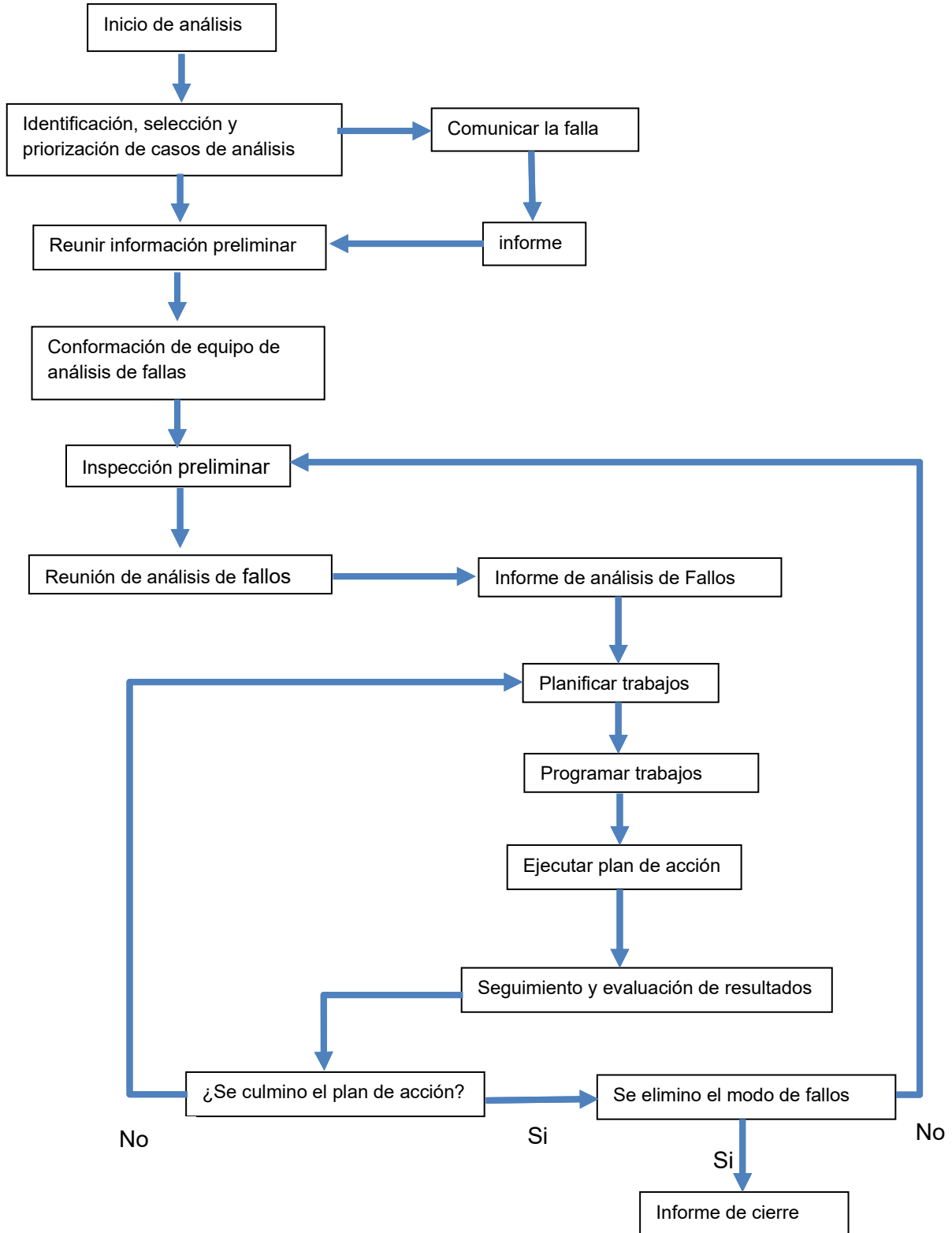
---

- **Analizar Fallas**

Hay que considerar de suma importancia el informe preliminar de una falla o avería, tener evidencias físicas o fotográficas y analizar con la persona directamente afectada por qué fallo el equipo. Otro ítem importante es tener la evidencia, como las tomas de muestras y detalles que considere relevante para hacer el posterior análisis. Realizar el registro en el sistema, incluyendo la fecha y hora del operador de turno. El proceso inicia con el análisis de la falla, posteriormente la identificación y priorización, se reporta la falla al área de mantenimiento y previamente se hace un análisis o informe preliminar sobre la ocasión de la falla, reuniendo información necesaria, luego se traslada un equipo de técnicos y profesionales especializados hasta el equipo en el área donde se encuentre el CAM 320T y en campo se realiza la respectiva inspección minuciosa para determinar por qué fue ocasionada la falla.

Una vez inspeccionado y tomadas las evidencias, se realiza una reunión con expertos en análisis de fallas quienes emitirán un concepto, determinando la causa de la falla. Con el análisis realizado se toman acciones para planificar de manera inmediata los trabajos de mantenimientos, es decir ejecutar un plan de acción que permita en el tiempo mínimo la puesta en marcha de estos equipos. Cuando se le realizan tareas de mantenimiento, se ataca la falla y se solventa el inconveniente, se hace seguimiento al CAM 320T para ver el comportamiento. Si se culminaron las acciones y no tuvieron éxito, nuevamente se hace otra inspección hasta poder conseguir el origen que ocasiono la falla, si por el contrario se pudo solucionar, se realiza un informe detallado de las acciones, fallas que se corrigen y a partir de ellos se hace el cierre del mantenimiento.

Figura 4-12: Flujoograma análisis de fallas.



Fuente: elaboración propia.

## 4.9 Programa de mantenimiento del CAM 320

### ▪ Inspección del equipo

Iniciar la operación diaria en la flota de CAM 320, se deben seguir algunos pasos de rutina, como leer el manual de operaciones, revisar elementos básicos de seguridad, chequeo de componentes mecánicos, tableros eléctricos y que los sensores estén en plena normalidad.

### ▪ Mantenimiento diario

Como primera medida, el operador deberá hacer una inspección en el entorno, evitando que existan componentes sueltos que podrían afectarlo físicamente, es decir tornillos sueltos, tuercas, cables, rocas y fugas, ya sea de aceite o combustible. Por lo anterior se sugiere seguir los siguientes pasos que se muestran en la Tabla 4-29.

Tabla 4-29: Lista de chequeo rutina diaria.

ÍTEM	ESTADO	ÍTEM	ESTADO
Estado de los neumáticos y presión.		Cinturones de seguridad	
Tuercas de las ruedas.		Filtros del aire fresco de la cabina	
Filtro de combustible		Aceite para sistema de frenos y levante.	
Cilindros de freno y respiradores		Humedad en el tanque del aire	
Baterías.		Cilindros de suspensión	
Correas del ventilador		Aceite del Convertidor / Transmisión.	
Frenos.		Predepurador y filtros de aire	
Refrigerante y radiador		Nivel de combustible y humedad	
Aceite del sistema de dirección		Respiradores del eje frontal y trasero	
Alarma de retroceso.		Aceite del cárter del cigüeñal del motor.	

Fuente: elaboración propia.

### ▪ Programación

El periodo de mantenimiento se realiza dependiendo las horas de operación, para el caso de la flota CAM 320T se tiene un ciclo aproximado de 300 horas de operación, y según los componentes que estén cumpliendo su ciclo de vida. En la Tabla 4-30 se muestran los componentes con las horas relacionadas.

Tabla 4-30: Programa preventivo CAM 320.

COMPONENTE	300 HRS	600 HRS	900 HRS	1200 HRS
	CAM 320	CAM 320	CAM 320	CAM 320
ACEITE HIDRAULICO	X	X	X	X
ARRANQUE	X	X	X	X
APAGADO CAMION 320	X			
LLANTAS		X		X
LUCES	X	X	X	X
COMBUSTIBLES	X	X	X	X
FRENOS	X	X	X	X
CILINDROS	X	X	X	X
CABINA / PUERTAS	X			X
AIRE ACONDICIONADO	X		X	
SUPRESOR DE INCENDIOS	X	X	X	
DIRECCION	X	X	X	X
RADIO		X		
SILLA			X	
OTROS ELECTRICOS	X	X	X	X
NEUTRALIZADO	X		X	
SEIS SERVICIOS E INSPECCIONES	X	X	X	X

Fuente: elaboración propia.

### ▪ Gestión del recurso humano en mantenimiento

El recurso humano, es la base fundamental del mantenimiento y la confiabilidad de la flota, seleccionar y ubicar bien al personal según sus habilidades y destreza será un aliciente para obtener resultados exitosos. La constante capacitación del personal será fundamental en la consecución de los objetivos trazados por el área de mantenimiento.

### ▪ Confiabilidad del talento humano

El consolidar un capital humano bien capacitado y formado según sus capacidades permite el buen desempeño laboral y el trabajo en equipo se potencia. Del capital humano depende el incremento en la producción, aprovechando de cada operario o técnico sus conocimientos se puede llegar a alcanzar el máximo rendimiento.

La confiabilidad en el recurso humano se puede aprovechar, usando estrategias conocidas como gestión del conocimiento y aplicando modelos y técnicas para aprovechar las competencias del grupo de trabajo. De esta manera se puede medir el nivel de confiabilidad y desempeño que cada persona puede tener y que se pueden potencializar con capacitación y acompañamiento.

- **Gestión por competencias**

El alto desarrollo y rendimiento del talento humano se obtiene midiendo sus capacidades, a través de modelo de competencia, que son estrategias que le permite obtener alto desempeño de su labor diaria. Dar las herramientas necesarias para que puedan realizar las actividades con alto nivel de calidad. Ubicar según el perfil en cada puesto de trabajo, esto permite que cada uno se sienta en el lugar que le corresponde e impulsa a mejorar sus competencias e innovar en su puesto de trabajo.

- **Gerencia del desempeño**

La gerencia del desempeño es el proceso que permite monitorear y evaluar la capacidad del talento humano durante la implantación y desarrollo de las estrategias propuestas, con el fin de garantizar la generación de valor y establecer las acciones correctivas de manera proactiva. Para gestionar eficazmente el desempeño es necesario, además permite potencializar el trabajo en equipo, el cual se ve reflejado en el aumento de la producción.

- **Cultura de confiabilidad humana**

Generar una cultura de confiabilidad humana es importante, se debe considerar que hay que generar un buen ambiente de trabajo y que la comunicación sea eficaz y certera. El usar estrategias como 5s, permite que se genere una disciplina, contribuyendo a la obtención de los objetivos planeados. Hay que comprender que cuando no se logran las metas, la gerencia debe tomar acciones para corregir y replantear el plan con metas alcanzables.

- **Políticas de mantenimiento**

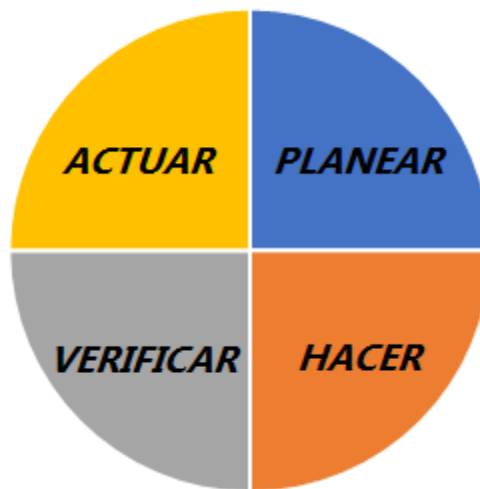
Es política del Cerrejón conducir sus operaciones de minería a cielo abierto, transporte y embarque de carbón en La Guajira, Colombia, y en otros lugares donde opera, promoviendo un estilo de vida saludable y comportamientos seguros en el desarrollo del trabajo de sus empleados y contratistas, gestionando riesgos e impactos, minimizando así, los accidentes de trabajo, las enfermedades laborales, los efectos sociales, ambientales actuales y futuros, contribuyendo al desarrollo de las comunidades vecinas (CERREJON, 2017).

La compañía busca lograr los más altos estándares de calidad en los mantenimientos, ser eficaz, eficiente y sobre todo una alta confiabilidad en los equipos, para que estén 100% disponibles y que se cumpla en el tiempo requerido la entrega de equipos, gestionando los recursos para reducir al máximo los costos de mantenimiento. La compañía establece objetivos adecuados y realiza seguimientos para asegurar el cumplimiento de las metas y el mejoramiento continuo, actuando con absoluta responsabilidad social y ambiental en las operaciones y siempre cumpliendo con los estándares que establece la ley.

- **Esquema de mejora continua**

La Figura 4-14 muestra un esquema de mejora continua, mostrando el planear, el hacer, verificar y actuar.

Figura 4-13. Esquema mejora continua.



Fuente: elaboración propia.

En el esquema se plantea que la fase de planeación, es donde se desarrolla y establecen políticas de mantenimiento, es decir, normas, guías, procedimientos y objetivos. En la fase del hacer es donde se implanta lo que se planeó, es decir, aplicar las políticas, revisar metas establecidas y control. La fase de verificar evalúa el desempeño del recurso humano, se establece planes de mejora continua y nuevas metas. En la fase de actuar se establece nuevos retos y nuevas metas una vez que se haya cumplido con lo propuesto.

## **5. Conclusiones y recomendaciones**

### **5.1 Conclusiones**

- El análisis realizado a la flota de camiones CAM 320 de la empresa Cerrejón muestra los indicadores de mantenimiento con datos del año 2020, los cuales arrojan que la flota de camión trabaja 8640 horas al año. Se estimó que el tiempo real de producción de la flota de camiones eléctricos Hitachi CAM 320 es de 8235 horas considerando las detenciones e imprevistos con los camiones fuera de producción por mantenimiento. Los datos de gestión del mantenimiento muestran que la disponibilidad y porcentaje de utilización de la flota CAM 320 es de 95,3% y 95%.
- El tiempo promedio entre fallas es de 64,47 horas, lo que indica que entre una y otra falla se presenta un tiempo aproximadamente de dos días. El tiempo promedio para la reparación de un camión Hitachi 320T es de 3 horas en cada falla presentada. El número de paradas programadas fue de 22, y las paradas no programadas fueron de 112, para el año 2020.
- El análisis de criticidad muestra sistema eléctrico y las llantas como puntos críticos.

## 5.2 Recomendaciones

En la investigación realizada se recomienda tener en cuenta lo siguiente:

- Registrar las actividades de mantenimiento de forma detallada y específica, esto facilitará el análisis de las fallas en la flota.
- Revisar periódicamente el plan de mantenimiento y actualizarlo, con los posibles cambios presentados en el tiempo programado.
- Capacitar un ingeniero planeador en RCM, que se encargue de revisar los planes de mantenimiento, planeación y asignarle un grupo especializado (técnicos y operadores), para hacer del plan un éxito.

### 5.2.1 Recomendaciones técnicas

En los componentes del camión CAM 320 se recomienda:

- En el sistema eléctrico por su alta criticidad es indispensable que se realice un monitoreo constante, añadir esas tareas solo al estudio de las posibles fallas que en este sistema se genera e implementa cambios de diseño y/o mejora.
- El sistema de suspensión hidráulica es uno de los componentes que más esfuerzos cíclicos recibe por el cargue y descargue de material, por lo que se recomienda hacer un estudio en el que se pueda reforzar o cambiar el tipo de material, para evitar averías en el equipo.
- La corrosión es un factor que ataca directamente los metales en los equipos, el caso del tanque de combustible que algunas ocasiones genera goteo, esto es un factor de riesgo alto, analizar o recubrir el tanque con pintura anticorrosiva y revisar periódicamente es de suma importancia para mantener la confiabilidad.
- Analizar como reubicar o cubrir el kit supresor de incendios debido a que se han presentado daños y que por alguno u otra forma generan riesgos a la producción.



## 6.Anexo A: Base de dato periodo 2020

Flotas	Equipo	Work Order EV	WO Desc	Fecha Inicial	Fecha Final	Código Down	Sistema	Componente	Parte	Modo	Falla	Tipos OTs	Tipo Evento	Semana MTO (Inicio EV)	Grupo Natural (Según Entrega EV.)	Cant. (Según MTBF)
Cam 320	0220 711	EVR0 7930	FALSO REPORTE	4/08/2020 6:59:00 p. m.	2020/08/05 7:37	700 - Otros electricos	- TEMPORARY CODE	NA	NA	NA	NA	FR	N	2020-31	CARIBES	0
Cam 320	0220 711	EVR0 8015	CAMBIAR CORREA DEL MOTOR	2020/08/05 7:37	2020/08/06 2:17	100 - OTROS SISTEMA MOTOR	SPO-SISTEMA DE POTENCIA	MOTD-MOTOR-SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	TENRA-TENSOR DEL RADIADOR	PARTI-PARTIDO/A	MOTDA-ALTA TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE DEL MOTOR	FF	N	2020-32	TITANES	0
Cam 320	0220 711	EVR0 7849	FALSO REPORTE	4/08/2020 11:29:00 a. m.	2020/08/04 14:28	700 - Otros electricos	- TEMPORARY CODE	NA	NA	NA	NA	FR	N	2020-31	TITANES	0
Cam 320	0220 711	EVR0 7841	AJUSTAR PRESION LLANTAS	4/08/2020 11:00:00 a. m.	2020/08/04 11:24	021 - Llantas	LLAN-SISTEMA DE LLANTAS	LLAN-LLANTAS	CALPR-CALIBRADOR DE PRESION	NOCAL-DESCALIBRADO/A	LLANL-NO SENSAPRESION DE LAS LLANTAS	FF	N	2020-31	TITANES	0
Cam 320	0220 711	EVR1 1018	REPARAR ENTRADA DE TIERRA A CABINA	17/08/2020 8:55:00 p. m.	2020/08/17 23:14	036 - CABINA/PUER-TAS	SAC-SISTEMA DE ACCESORIOS	CABI-CABINA OPERADOR	CERPU-CERRADURA, MANIJAS PUERTA	DETER-DETERIORADO	CABIO-NO HAY CONFORT, PRESENCIA	FF	N	2020-33	CARIBES	1

											DE POLVO Y RUIDO							
Cam 320	0220 711	EVR1 2112	REPARAR PUERTA IZQUIERDA NO ABRE	22/08/2020 10:10:00 p. m.	2020/08/23 2:10	036 - CABINA/PUER TAS	SAC-SISTEMA DE ACCESORIOS	CABI-CABINA OPERADOR	CERPU-CERRADURA, MANIJAS PUERTA	DETER-DETERIORADO	CABIO-NO HAY CONFORT, PRESENCIA DE POLVO Y RUIDO	FF	N	2020 -34	CARIBES	1		
Cam 320	0220 711	EVR0 9944	REPARAR RADIO	13/08/2020 2:35:00 p. m.	2020/08/13 15:19	103 - RADIO	SAC-SISTEMA DE ACCESORIOS	SCOC-SISTEMA DE COMUNICACIONES	SISRA-SISTEMA DE RADIO-TRUNKING	DEFOR-DEFORMADO	SCOCA-NO PERMITE INTERFACE ENTRE OPERADOR Y BASES	FF	N	2020 -33	CARIBES	0		
Cam 320	0220 711	EVR1 0130	SE DIO DISPONIBLE	2020/08/14 8:02	2020/08/14 8:07	100 - OTROS SISTEMA MOTOR	- TEMPORARY CODE	NA	NA	NA	NA	FR	N	2020 -33	PATRIOTAS	0		
Cam 320	0220 711	EVR1 0747	REPARAR POBLEMAS DE RETARDO	16/08/2020 3:50:00 p. m.	2020/08/16 16:32	023 - SIN RETARDO	SPRE-SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA	CMOG-COMPONENTES MOTOR GRILLA	BB159-MALLA BANCO DE GRILLA	ATERR-ATERRIZADA	CMOGA-NO DISIPA EL CALOS DEL BANCO GRILLA	FF	N	2020 -33	CARIBES	1		
Cam 320	0220 711	EVR0 8932	EJECUTAR SEIS DE 2000 HRS GTO NUEVOS Y G	2020/08/09 0:54	2020/08/09 16:11	004 - PM/MINI PM/SEIS	SEIS-SERVICIO SE INSPECCIONES	SPMD-PM TIPO D	SEIS-SERVICIO SE INSPECCIONES	SPMD1-PM TIPO D	SPMD1-PM TIPO D	IP	P	2020 -32	TITANES	0		
Cam 320	0220 711	EVR1 1869	LLANTA 2 PINCHADA	2020/08/22 0:31	2020/08/22 2:37	021 - Llantas	LLAN-SISTEMA DE LLANTAS	LLAN-LLANTAS	CALPR-CALIBRADOR DE PRESION	NOCAL-DESCALIBRADO/A	LLANL-NO SENSACION DE PRESION DE LAS LLANTAS	FF	N	2020 -34	TITANES	0		
Cam 320	0220 711	EVR1 1514	REVIZAR LUCES	2020/08/20 2:50	2020/08/20 3:34	030 - LUCES	PROT-SISTEMA DE PROTECCIONES	CSPE-COMPONENTES SISTEMA DE PROTECCION ELECTRICO	BOMLL-BOMBILLOS, LAMPARAS, LUCES	DEFOR-DEFORMADO	CSPEL-NO MUESTRA ALARMA SIST. CARGA AVERIADO	FF	N	2020 -34	LIDERES	1		
Cam 320	0220 711	EVR1 2016	REVISION SISTEMA DE	22/08/2020 020	2020/08/22 14:49	024 - NEUTRALIZADO	SCON-SISTEMA	CCON-COMPONENTES	CONK4-CONTACTOR K104	DANAD-DAÑADO/A	CCONO-NO CONECTADO	IG	P	2020 -34	PATRIOTAS	0		

			CONTRO L X BACKLOG	2:15:00 p. m			DE CONTROL	SISTEMA DE CONTROL				DESCONEC TA DEL VOLT DC A LOS INVERS					
Cam 320	0220 711	EVR0 8273	FALSO REPORTE	6/08/20 20 10:36:0 0 a. m.	2020/0 8/06 10:44	002 - ARRANQU E	- TEMPOR Y CODE	NA	NA	NA	NA	FR	N	2020 -32	PATRI OTAS	0	
Cam 320	0220 711	EVR0 8426	REVISAR SILLA OPERAD OR	2020/0 8/07 2:25	2020/0 8/07 3:14	104 - SILLA	- TEMPOR Y CODE	NA	NA	NA	NA	FF	N	2020 -32	CARIB ES	0	
Cam 320	0220 711	EVR0 8308	CAMBIAR / CORREA DE MOTOR	6/08/20 20 2:16:00 p. m.	2020/0 8/06 16:13	100 - OTROS SISTEMA MOTOR	SPO- SISTEMA DE POTENCI A	MOTD- MOTOR- SISTEMA DE ENFRIAMIE NTO	CORVE- CORREA VENTILA DOR	ROTO- ROTO	MOTDA- ALTA TEMPERAT URA DEL REFRIGERA NTE DEL MOTOR	FF	N	2020 -32	PATRI OTAS	1	
Cam 320	0220 711	EVR1 2172	DO. AJUSTAR RETROVI OSOR	2020/0 8/23 6:09	2020/0 8/23 6:40	036 - CABINA/PU ERTAS	SAC- SISTEMA DE ACCESOR IOS	CABI- CABINA OPERADOR	RETEP- RETROVI SOR, ESPEJO, PANORA MICO	ROTO- ROTO	CABIC- POCA VISIBILIDAD AL OPERADOR	DO: Daños opracio nales	N	2020 -34	LIDER ES	0	
Cam 320	0220 711	EVR1 2477	PRE-PM + A/A NO ENFRIA + FUGA TUNEL	6/08/20 20 2:16:00 p. m.	2020/0 8/24 16:20	040 - AIRE ACONDICI ONADO	SEIS- SERVICIO S E INSPECCI ONES	SPMA-PM TIPO A	SEIS- SERVICIO S E INSPECCI ONES	SPMA1-PM TIPO A	SPMA1-PM TIPO A	IG	P	2020 -34	CARIB ES	0	
Cam 320	0220 711	EVR1 2586	LLANTAS	23/08/20 020 6:09:00 a. m.	2020/0 8/24 23:57	021 - Llantas	LLAN- SISTEMA DE LLANTAS	LLAN- LLANTAS	CALPR- CALIBRA DOR DE PRESION	NOCAL- DESCALIB RADO/A	LLANL-NO SENSA PRESION DE LAS LLANTAS	FF	N	2020 -34	LIDER ES	0	
Cam 320	0220 711	EVR1 2258	CORREGI R FUGA DE COMBUS TIBLE	2020/08 /24 10:07	2020/0 8/23 12:35	031 - COMBUSTI BLE	SPO- SISTEMA DE POTENCI A	MOTF- MOTOR- SISTEMA DE COMBUSTI BLE	MANCO- MANGUE RAS DE COMBUS TIBLE	CRIST- CRISTALIZ ADOS	MOTFE-NO CONTIENE HERMETICA MENTE	FF	N	2020 -34	LIDER ES	1	
Cam 320	0220 711	EVR1 2367	NEUTRAL IZADO	2020/08 /24 20:14	2020/0 8/24 0:55	024 - NEUTRALI ZADO	PROT- SISTEMA DE PROTECC IONES	CSPE- COMPONE NTES SISTEMA DE	CONTR- CONTRO NIC	DEFOR- DEFORMA DO	CSPLE-NO MUESTRA ALARMA SIST.	FF	N	2020 -34	PATRI OTAS	1	

								PROTECCI ON ELECTRICO			CARGA AVERIADO					
Cam 320	0220 711	EVR1 3703	REVISAR CTD	2020/08 /23 11:07	2020/0 8/29 11:14	102 - CTD	SAC- SISTEMA DE ACCESOR IOS	SCOC- SISTEMA DE COMUNICA CIONES	CTDMO- CTD - MODULA R	DEFOR- DEFORMA DO	SCOCA-NO PERMITE INTERFACE ENTRE OPERADOR Y BASES	FF	N	2020 -35	CARIB ES	0
Cam 320	0220 711	EVR1 2966	LLANTAS	2020/08 /23 22:27	2020/0 8/26 16:19	021 - Llantas	LLAN- SISTEMA DE LLANTAS	LLAN- LLANTAS	SENSO- SENSOR ES	DEFEC- DEFECTUO SO	LLANL-NO SENSA PRESION DE LAS LLANTAS	FF	N	2020 -35	LIDER ES	0
Cam 320	0220 711	EVR1 2911	COMPLET AR NIVELES ISLA	2020/0 8/26 7:20	2020/0 8/26 8:18	009 - COMPLETA R NIVELES	SDIR- SISTEMA DE DIRECCIÓ N	CDIR- DIRECCION	ACEHD- ACEITE HIDRAULI CO DIRECCI ON	BAJNI- BAJO NIVEL	CDIRA-NO GIRA SUAVE	DO	N	2020 -35	LIDER ES	0
Cam 320	0220 711	EVR1 4175	CTD NO COMUNIC A	2020/08 /26 15:45	2020/0 8/31 11:07	004 - PM/MINI PM/SEIS	- TEMPORY CODE	NA	NA	NA	NA	FF	N	2020 -35	LIDER ES	1
Cam 320	0220 711	EVR1 3935	CONEXIO N DE MINECAR E	2020/08 /26 7:20	2020/0 8/30 12:34	004 - PM/MINI PM/SEIS	- TEMPORY CODE	NA	NA	NA	NA	IG	P	2020 -35	PATRI OTAS	0
Cam 320	0220 711	EVR1 3901	CONEXIO N DE MINE CARE	2020/0 8/30 7:36	2020/0 8/30 8:02	104 - SILLA	- TEMPORY CODE	NA	NA	NA	NA	IG	P	2020 -35	PATRI OTAS	0

## 7.Anexo B: Camión Hitachi 320T

Figura: 1. CAM 320 - HITACHI



Figura 2. Fallas frecuentes equipos CAM 320





Figura 3. Sistema eléctrico - Motor eléctrico

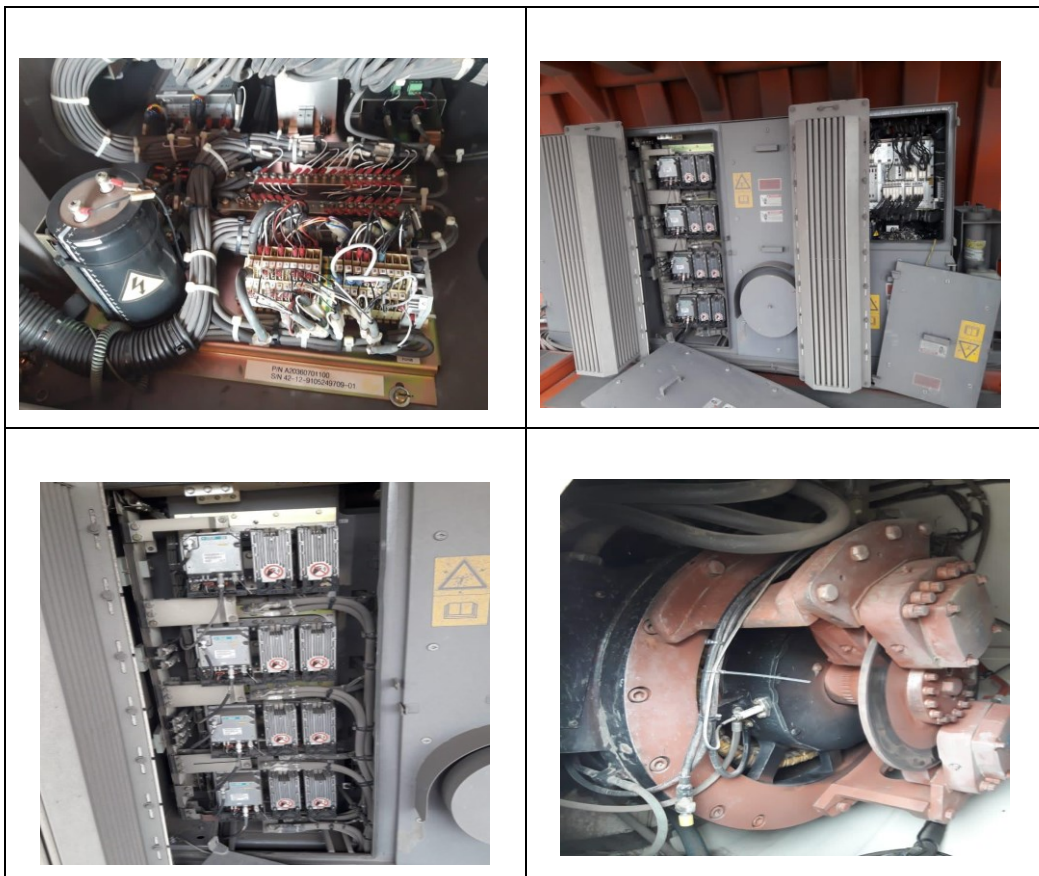


Figura 4. Cilindros Hidráulicos

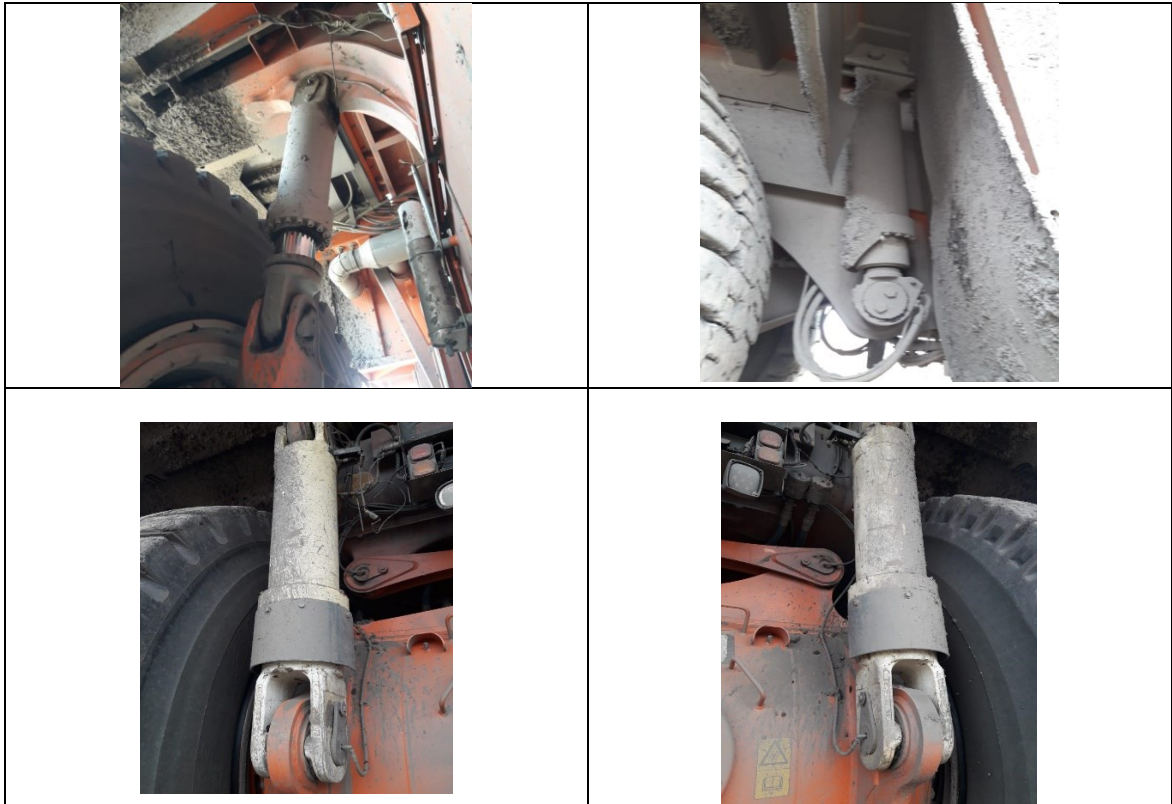


Figura: Cerrejón

Figura 5. Tanque de combustible



Figura 6. Supresor de incendio.







## Bibliografía

- Amendola, Luis. (2002). "Modelos Mixtos de Confiabilidad". Publicado por Datastream. [www.mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com).
- Huerta, Rosendo. (2004). "Confiabilidad Operacional: Técnicas y Herramientas de Aplicación". Seminario Customer Care, Datastream. Bogotá. Colombia.
- Latino, Robert J. (2001). ROOT CAUSE ANALYSIS: Improving Performance for Bottom Line Results. Reliability Center, Inc. (Latino & Latino, 2001 / [www.crcpress.com](http://www.crcpress.com)).
- Huerta, Rosendo. (2004). "Confiabilidad Operacional: Técnicas y Herramientas de Aplicación". Seminario Customer Care, Datastream. Bogotá. Colombia.
- Arata, A. (2009). *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Aplicación de la Plataforma R-MES* (R. Editores (ed.)).
- Arata Andreani, A. (2005). *Manual de gestión de activos y mantenimiento* (RIL editores (ed.)).
- Calloni, J. C. (2009). *Mantenimiento eléctrico y mecánico para pequeñas y medianas empresas PyMES* (Editorial Nobuko (ed.)).
- García-Palencia, O. (2005). El análisis causa raíz , estrategia de confiabilidad operacional. *Reliability WORLD Latin America Conferencia, October, 12*. [https://www.researchgate.net/publication/320538829\\_El\\_Analisis\\_Causa\\_Raiz\\_Estrategia\\_de\\_Confiabilidad\\_Operacional](https://www.researchgate.net/publication/320538829_El_Analisis_Causa_Raiz_Estrategia_de_Confiabilidad_Operacional)
- García Garrido, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento* (Ediciones Díaz de Santos (ed.)).
- Medrano Márquez, J. Á., & González Ajuech, V. L. (2017). *Mantenimiento: técnicas y aplicaciones industriales* (G. E. Patria (ed.)).
- Navarro Elola, L. (2009). *Gestión integral de mantenimiento* (Maracombo).
- Navarro Elola, L., Pastor Tejedor, A. C., & Mugaburu Lacabrera, J. M. (1997). *Gestión integral de mantenimiento* (Maracombo (ed.)).
- Poveda Guevara, A. J. (2011). Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el Desarrollo de Planes de Mantenimiento. *Escuela Superior*

*Politécnica Del Litoral (ESPOL), 1, 6.*

[https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20586/1/Articulo CICYT APOVEDA RCM.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20586/1/Articulo%20CICYT%20APOVEDA%20RCM.pdf)

TECSUP. (2012). *Introducción al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM*. 2 de Febrero. <https://www.tecsup.edu.pe/programas-academicos/programa-integral/introduccion-al-mantenimiento-centrado-en-la-confiabilidad-rcm>

Yepes Piqueras, V. (2015). *Coste, producción y mantenimiento de maquinaria para construcción* (Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia (ed.)).