

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

UNIDAD DE POSGRADO



TESIS:

**"DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
CONFIABILIDAD (RCM) PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD
MECÁNICA DE LOS EQUIPOS UNDERGROUND EN UNA EMPRESA
MINERA DE EXTRACCIÓN DE COBRE"**

**PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN INGENIERÍA
CON MENCIÓN EN GERENCIA E INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

ELABORADO POR:

CARLOS ANTONIO PLASENCIA MARCHENA

ASESOR

Dr. JORGE ENRIQUE ORTIZ PORRAS

LIMA-PERÚ

2024

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por todo lo que me ha dado en la vida, experiencias, vivencias y sobre todo haberme acompañado en cada día de mi vida.

A mis profesores de la Maestría y Especialistas que me han formado como profesional brindándome toda su experiencia y conocimiento.

También agradezco a mi Madre Hilda que en paz descanse, sé que en este momento estaría orgullosa y feliz desde el cielo viéndome como doy por culminada otra etapa de mi vida. Además, a mi padre por sus consejos que quedo como pilar central en el hogar.

Doy gracias a todas las personas que me empujaron a seguir en la vida y han sido mi alegría en especialmente a mi bebe Hilda, a Fanny y a mis hermanos.

RESUMEN

La presente Tesis de investigación busca evaluar, analizar el estado situacional de uno de los modelos de equipos críticos de la Unidad Minera de Extracción de Cobre, con el objetivo de incrementar la disponibilidad mecánica y diseñar un Plan de Mantenimiento mediante la aplicación de la Metodología Basado en la Confiabilidad RCM.

El primer paso en el análisis de confiabilidad es la recopilación de datos. Para realizar un análisis de mantenimiento efectivo, es esencial contar con datos precisos y completos. Los datos de mantenimiento presentados en este documento se refieren a tres Cargadores de Bajo Perfil R1600G (N°16,17 y 18). Estos datos se recopilaron durante un período de 12 meses (Enero-Diciembre del 2014) mediante el uso de formularios escritos a mano preparados por personal de mantenimiento, informes diarios y tarjetas de mantenimiento. Estas tarjetas de mantenimiento incluyen el tiempo hasta la falla, el contador de horas de la máquina y el tiempo hasta las reparaciones. Antes de analizar las características de la máquina y los datos de fallas, la máquina debe clasificarse en varios sistemas y subsistemas para categorizar los tipos de fallas que ocurren en la máquina. Estas clasificaciones dependerán de los registros de mantenimiento que lleve el personal de mantenimiento, así como del razonamiento que describa estos registros. En este trabajo se aplica el mantenimiento preventivo como un subsistema con el fin de asegurar un correcto mantenimiento.

Los estudios de mantenimiento y confiabilidad deben ser una parte integral de la gestión de ingeniería para la utilización efectiva de los recursos y para lograr una mayor productividad. Weibull proporcionó la mejor distribución de ajuste, en la mayoría de los casos, a los datos de tiempo entre fallas de tres cargadores. Para lograr la alta confiabilidad, se debe realizar una revisión del programa de mantenimiento. Este estudio se realizó para ayudar al personal de mantenimiento identificando los subsistemas críticos y sensibles en la flota de cargadores de bajo perfil, seguidamente se analizarán las funciones de los equipos, observando cuáles son sus posibles fallas, las causas de fallas, efectos y analizando sus consecuencias, a partir de ello se podrá realizar el diseño del plan de

mantenimiento y mejorar las actividades de planificación, lo que lleva a una mayor disponibilidad de los equipos y reduce los costos de mantenimiento y producción.

El presente estudio se realizó con data histórica desde el 2014, poniéndose en práctica en el año 2015, resultado de esto se obtuvo un nuevo Plan de Mantenimiento que mejora la actual gestión de mantenimiento, aumentando la disponibilidad de la flota.

Palabras Claves: Confiabilidad, Mantenimiento, disponibilidad de flota, Cargador de Bajo Perfil.

ABSTRACT

This research Thesis seeks to evaluate and analyze the situational status of one of the critical equipment models of the Copper Extraction Mining Unit, with the aim of increasing mechanical availability and designing a Maintenance Plan through the application of the Based Methodology. in RCM Reliability.

The first step in reliability analysis is data collection. To perform an effective maintenance analysis, accurate and complete data is essential. The maintenance data presented in this document refers to three R1600G Low Profile Loaders (N°16,17 and 18). These data were collected over a 12-month period (January-December 2014) using handwritten forms prepared by maintenance personnel, daily reports, and maintenance cards. These maintenance cards include time to failure, machine hour counter, and time to repair. Before analyzing the machine characteristics and failure data, the machine must be classified into various systems and subsystems to categorize the types of failures that occur in the machine. These classifications will depend on the maintenance records kept by maintenance personnel, as well as the reasoning behind these records. In this work preventive maintenance is applied as a subsystem in order to ensure correct maintenance.

Maintenance and reliability studies should be an integral part of engineering management for the effective utilization of resources and to achieve higher productivity. Weibull provided the best fitting distribution, in most cases, to the time between failure data from three chargers. To achieve high reliability, a maintenance program review must be performed. This study was carried out to help maintenance personnel by identifying the critical and sensitive subsystems in the fleet of low profile chargers, then the functions of the equipment will be analyzed, observing what their possible failures are, the causes of failures, effects and analyzing their consequences, from this it will be possible to carry out the design of the maintenance plan and improve the planning activities, which leads to a greater availability of the equipment and reduces the costs of maintenance and production.

The present study was carried out with historical data from 2014, being put into practice in 2015, as a result of which a new Maintenance Plan was obtained that improves the current maintenance management, increasing the availability of the fleet.

Keywords: Reliability, Maintenance, fleet availability, Underground Loader.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I. PROTOCOLO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Antecedentes de la Investigación	1
1.2. Identificación y Descripción del Problema de Estudio	10
1.3. Formulación del Problema	13
1.4. Justificación	13
1.5. Importancia	14
1.6. Objetivos	15
1.6.1. Objetivos generales	15
1.6.2. Objetivos específicos	15
1.7. Hipótesis	15
1.7.1. Hipótesis general	15
1.7.2. Hipótesis específica	15
1.8. Variables y Operacionalización de Variables	17
1.9. Metodología de la Investigación	18
1.9.1. Unidad de Análisis:	19
1.9.2. Fuentes de Información	18
1.9.3. Tipo y Nivel de Investigación	18
1.9.4. Diseño de investigación	19
1.9.5. Periodo de investigación	19

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL	20
2.1. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad:	20
2.1.1. Proceso RCM	21
2.1.2. Implementación de RCM	22
2.1.3. Funciones	22
2.1.4. Efectos de fallas	23
2.1.5. Consecuencias de las fallas	23
2.1.6. Tareas de mantenimiento preventivo y predictivo	24
2.1.7. Indicadores de gestión en mantenimiento equipo minero	26
2.2. Marco conceptual	28
CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	30
3.1. Cargador de bajo perfil R1600G	30
3.1.1. Sistema de combustible	31
3.1.2. Sistema de enfriamiento	32
3.1.3. Sistema de admisión de aire y escape	33
3.1.4. Sistema de lubricación	35
3.1.5. Sistema de control y monitoreo electrónico de la máquina	37
3.1.6. Sistema de dirección:	38
3.1.7. Sistema de frenos	39
3.1.8. Sistema hidráulico	41
3.1.9. Tren de fuerza	41
3.2. Análisis situacional de los Cargadores de Bajo Perfil	43
3.2.1. Recopilación de datos	43
3.2.2. Clasificación de datos	44

3.2.3. Análisis de los parámetros de frecuencia de reparación mediante métodos gráficos	48
3.3. Alternativas de solución para la selección de la metodología de gestión de mantenimiento	52
3.3.1. Justificación de la metodología usada: Matriz AHP	52
3.3.2. Verificación del supuesto IID	57
3.3.3. Evaluar la bondad de ajuste de un modelo de distribución de probabilidad a las fallas	62
3.4. Diseño del Plan De Mantenimiento	66
3.4.1. Planificación de Actividades	66
3.4.2. Determinación de los sistemas críticos para cada uno de los cargadores de bajo perfil (Scoop N° 16,17 y18)	70
3.4.2.1. Análisis por pareto “Scoop N°16”	70
3.4.2.2. Análisis por pareto “Scoop N°17”	71
3.4.2.3. Análisis por pareto “Scoop N°18”	72
3.5. Procedimiento de FMEA	73
3.6. Parámetros indexados al riesgo	73
3.7. Nuevo Plan de Mantenimiento basado en el RCM	96
3.8. Proyecto de Resultados periodo 2015	97
3.8.1 Cálculo de la Disponibilidad de la Flota Periodo 2015	97
3.9. Reducción de los Costos de Mantenimiento al Aplicar RCM	99
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	101
4.1. Contrastación de Hipótesis	101
Conclusiones	102
Recomendaciones	103
Referencias	104
Anexos	106

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1: Hoja de trabajo de información de RCM	2
Figura 1.2: tendencias de monitoreo de vibraciones del equipo antes de la reparación	3
Figura 1.3: tendencias de monitoreo de vibraciones del equipo después de la reparación	3
Figura 1.4. Disponibilidad del Scoop Periodo 2014	11
Figura 1.5. Estadística de falla para el Scoop No. 16 por sistemas	12
Figura 1.6. Estadística de falla para el Scoop No. 17 por sistemas	12
Figura 1.7. Estadística de falla para el Scoop No. 18 por sistemas	12
Figura 2.1: Árbol lógico de decisiones del RCM	25
Figura 3.1. Cargador de Bajo perfil R1600G	30
Figura 3.2. Sistema de Suministro de Combustible	31
Figura 3.3. Sistema de Enfriamiento	32
Figura 3.4. Sistema de Admisión de Aire y Escape	33
Figura 3.5. Sistema de Lubricación	35
Figura 3.6. Sistema de Control y Monitoreo	37
Figura 3.7. Sistema de Dirección	38
Figura 3.8. Sistema de Frenos	39
Figura 3.9. Sistema de Hidráulico	40
Figura 3.10. Sistema de Tren de Fuerza	41
Figura 3.11. Frecuencia de reparación y porcentaje del total de reparaciones versus tipo de falla para el Scoop No. 16	49
Figura 3.12. Tiempo de reparación y frecuencia de reparación versus al tipo de falla para el Scoop No. 16	49
Figura 3.13. Frecuencia de reparación y porcentaje del total de reparaciones versus tipo de falla para el Scoop No. 17	50
Figura 3.14. Tiempo de reparación y frecuencia de reparación versus al tipo de falla para el Scoop No. 17	50

Figura 3.15. Frecuencia de reparación y porcentaje del total de reparaciones versus tipo de falla para el Scoop No. 18	51
Figura 3.16. Tiempo de reparación y frecuencia de reparación versus al tipo de falla para el Scoop No. 18	51
Figura 3.17. Gráfico de tendencia para el Scoop No. 16	59
Figura 3.18. Gráfico de dispersión para la correlación serial de prueba para el Scoop No. 16	59
Figura 3.19. Gráfico de tendencia para el Scoop No. 17	60
Figura 3.20. Gráfico de dispersión para la correlación serial de prueba para el Scoop No. 17	60
Figura 3.21. Gráfico de tendencia para el Scoop No. 18	61
Figura 3.22. Gráfico de dispersión para la correlación serial de prueba para el Scoop No. 18	61
Figura 3.23. Resultados de la evaluación de Bondad de Ajuste para la determinación de la mejor distribución de ajuste para los datos TBF de máquina del Scoop No. 16	63
Figura 3.24. Resultados de la evaluación de Bondad de Ajuste para la determinación de la mejor distribución de ajuste para los datos TBF de máquina del Scoop No. 17	64
Figura 3.25. Resultados de la evaluación de Bondad de Ajuste para la determinación de la mejor distribución de ajuste para los datos TBF de máquina del Scoop No. 18	65
Figura 3.26. Los sistemas de motor e Hidráulico presentan la mayor cantidad de horas por parada de la máquina	70
Figura 3.27. Los sistemas de transmisión e Hidráulico presentan la mayor cantidad de horas por parada de la máquina	71
Figura 3.28. Los sistemas de motor e Hidráulico presentan la mayor cantidad de horas por parada de la máquina	72
Figura 3.29. Fuente: NASA, Reliability centered maintenance guide for facilities and collateral equipment. 2008.	100

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.1: Número de interrupciones de cada subestación por causas de falla	4
Tabla 1.2: Relación costo/beneficio para las tareas de MP para la Subestación 2	5
Tabla 1.3: AMEF CRISOL	6
Tabla 1.4: Hoja de decisión CRISOL	7
Tabla 1.5: Indicadores de la Sección de Metalurgia	7
Tabla 1.6: AMEF bocinas de rodamientos del puente grúa	9
Tabla 1.7: AMEF del sistema de frenos del puente grúa	9
Tabla 3.1. Codificación de Subsistemas	43
Tabla 3.2. Datos de fallas para el análisis basado en la confiabilidad del Scoop No. 16	45
Tabla 3.3. Datos de fallas para el análisis basado en la confiabilidad del Scoop No. 17	46
Tabla 3.4. Datos de fallas para el análisis basado en la confiabilidad del Scoop No. 18	47
Tabla 3.5. Resumen de las características de mantenimiento para cada tipo de falla del Scoop 16	48
Tabla 3.6. Resumen de las características de mantenimiento para cada tipo de falla. del Scoop 17	49
Tabla 3.7. Resumen de las características de mantenimiento para cada tipo de falla del Scoop 18	50
Tabla 3.8. Resumen de las características de falla para la flota de Cargadores de Bajo Perfil.	51
Tabla 3.9. Análisis de metodologías entre TPM, RCM y JIT	52
Tabla 3.10. Criterios de evaluación	53
Tabla 3.11. Valorización de Metodología	53
Tabla 3.12. Comparación entre criterios de evaluación	54
Tabla 3.13. Matriz Normalizada, Análisis y ponderación de criterios de evaluación	54
Tabla 3.14. Comparación de criterio N°1 con cada metodología propuesta.	55
Tabla 3.15. Comparación de criterio N°2 con cada metodología propuesta.	55
Tabla 3.16. Comparación de criterio N°3 con cada metodología propuesta.	55

Tabla 3.17. Comparación de criterio N°4 con cada metodología propuesta.	55
Tabla 3.18. Comparación de criterio N°5 con cada metodología propuesta.	56
Tabla 3.19. Comparación de criterio N°6 con cada metodología propuesta.	56
Tabla 3.20. Resultado de la Evaluación.	56
Tabla 3.21. Relación de consistencia Nmax	57
Tabla 3.22. Resultados de la relación de consistencia	57
Tabla 3.23. Resultados de la evaluación de Bondad de Ajuste para la determinación de la mejor distribución de ajuste para los datos TBF (sistema motor, hidráulico y máquina) del Scoop No. 16	63
Tabla 3.24. Resultados de la evaluación de Bondad de Ajuste para la determinación de la mejor distribución de ajuste para los datos TBF (sistema transmisión, hidráulico y máquina) del Scoop No. 17.	63
Tabla 3.25. Resultados de la evaluación de Bondad de Ajuste para la determinación de la mejor distribución de ajuste para los datos TBF (motor, hidráulico y máquina) del Scoop No. 18	64
Tabla 3.26. Análisis del TTR por Pareto Scoop 16	70
Tabla 3.27. Tipo de fallas para los sistemas más críticos.	70
Tabla 3.28. Análisis del TTR por Pareto Scoop 17	71
Tabla 3.29. Tipo de fallas para los sistemas más críticos.	71
Tabla 3.30. Análisis del TTR por Pareto Scoop 18	72
Tabla 3.31. Tipo de fallas para los sistemas más críticos.	72
Tabla 3.32. NPR	74
Tabla 3.33. Escala de clasificación de la Severidad	75
Tabla 3.34. Escala de clasificación de la Ocurrencia	76
Tabla 3.35. Escala de clasificación de Detección	77
Tabla 3.36. AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 16. Componente Inyectores	78
Tabla 3.37. Hoja de decisión Scoop 16. Componente Inyectores	79
Tabla 3.38. AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 16 y 18. Mecanismo de Válvulas	80
Tabla 3.39. Hoja de decisión Scoop 16 y 18. Mecanismo de Válvulas	81

Tabla 3.40. AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 16	
Componente Correa de distribución	82
Tabla 3.41. Hoja de decisión Scoop 16. Componente Correa de distribución	83
Tabla 3.42. AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 16 y 18. Componente Termostato	84
Tabla 3.43. Hoja de decisión Scoop 16 y 18. Componente Termostato	85
Tabla 3.44. AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 16,17 y 18.	
Componente Bomba de Implementos	86
Tabla 3.45. Hoja de decisión Scoop 16,17 y 18. Componente Bomba de Implementos	87
Tabla 3.46. AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 16,17 y 18.	
Componente líneas hidráulicas	88
Tabla 3.47. Hoja de decisión Scoop 16,17 y 18. Componente líneas hidráulicas	89
Tabla 3.48. AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 17 Componente Transmisión	90
Tabla 3.49. Hoja de decisión Scoop 17 Componente Transmisión	91
Tabla 3.50. AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 17	
Componente Cardan de Mando Superior	92
Tabla 3.51. Hoja de decisión Scoop 17. Componente Cardan de Mando Superior	93
Tabla 3.52. AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 18. Componente Motor	94
Tabla 3.53. Hoja de decisión Scoop 18. Componente Motor	95
Tabla 3.54. Nuevo Plan de Mantenimiento de acuerdo con la aplicación del RCM.	96
Tabla 3.55. Datos de fallas para el análisis basado en la confiabilidad del Scoop No. 16 periodo 2015	97
Tabla 3.56. Datos de fallas para el análisis basado en la confiabilidad del Scoop No. 17 periodo 2015	98
Tabla 3.57. Datos de fallas para el análisis basado en la confiabilidad del Scoop No. 18 periodo 2015	98
Tabla 3.58. Resumen de las características de falla para la flota de Cargadores de Bajo Perfil. Periodo 2015	99
Tabla 3.59. Costos Totales de Mantenimiento antes y después de la aplicación del RCM	100

Introducción

Los estudios de confiabilidad son una parte importante de cualquier programa de gestión de mantenimiento de equipos.

En la industria minera, las investigaciones de confiabilidad se están convirtiendo en una práctica estándar, ya que el equipo se vuelve más complicado y el uso efectivo de los recursos es crítico para lograr una mayor productividad. Las fallas de los equipos y sus consecuencias tienen un fuerte impacto en los costos de producción. Dado que las fallas no se pueden prevenir por completo, es importante minimizar tanto su probabilidad de ocurrencia como el impacto de las fallas cuando ocurren. Por lo tanto, un programa de mantenimiento eficaz es imprescindible.

La efectividad de un programa de mantenimiento para un equipo depende del conocimiento sobre las características de confiabilidad y mantenibilidad de los componentes de la máquina. Además, algunos de los factores que influyen en la eficacia del mantenimiento son el error humano, el diseño de los equipos y el entorno operativo.

Para analizar eficazmente los datos de mantenimiento de los equipos de minería, se pueden considerar dos enfoques, a saber, un enfoque de mantenimiento básico y un enfoque basado en la confiabilidad. El enfoque de mantenimiento básico utiliza métodos gráficos para analizar las tendencias de fallas en el equipo, lo que proporciona una indicación del exceso de tiempo o frecuencia de reparación. Otros parámetros que se pueden determinar incluyen la disponibilidad, el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR).

El enfoque basado en la confiabilidad utiliza una metodología gráfica y estadística para ajustar las distribuciones de probabilidad teóricas a los datos de mantenimiento recopilados para la predicción de tendencias de fallas futuras. Este enfoque proporciona información detallada sobre los tiempos de reemplazo y la eficacia de las políticas de gestión actuales.

Capítulo I. Protocolo de la Investigación

1.1. Antecedentes de la Investigación:

(Xian Min Ma, 2014)¹ menciona la aplicación de la Metodología Basada en la Confiabilidad (RCM) en el vehículo de extracción de carbón con el objetivo de mejorar el plan de mantenimiento preventivo actual en los vehículos de minería de carbón. Estos equipos actualmente son más complejos con componentes electromecánicos. Como resultado, las razones de las fallas son más complejas. Los modos de mantenimiento tradicionales, como el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo, tienen un cierto grado de adaptabilidad, pero tienen muchos defectos. El RCM como representante de tercera generación de la estrategia de mantenimiento, enfatiza la fiabilidad del equipo y las consecuencias de las fallas como la base principal de la formulación de la estrategia de reparación, proporciona una base teórica importante. Se procede a aplicar la metodología basado en el RCM para determinar el estado actual en base a los indicadores de gestión obteniéndose que el MTBF=90 horas, MTTR=22 horas y una disponibilidad del 80% el cual no permite alcanzar los objetivos de producción, realizando un FMEA como parte de la metodología RCM se encontraron los modos de fallas más frecuentes y críticos (desgaste en los rodamientos, ejes, vibración severa, alta temperatura y fuga de aceite por los sellos) para el equipo los cuales no podían ser atendidas eficazmente por el actual plan de mantenimiento. Se tomaron acciones y estrategias para mejorar el plan lográndose MTBF=198 horas, MTTR=6 horas y una disponibilidad del 96%. Finalmente, con la aplicación del RCM se puede reducir la carga de trabajo de mantenimiento y mejorar el beneficio económico del mantenimiento sobre la base de mejorar la confiabilidad del equipo.

¹ Xian Min Ma, X. R. (2014). Research on Maintenance Strategy of Coal Mining Vehicle Based on RCM, Applied Mechanics and Materials Vols 543-547, 126-129. Aplicado de tipo cuantitativa, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.543-547.126

(Tarar, March 21-22, 2014, Dubai (UAE))² menciona en su artículo denominado Study Reliability Centered Maintenance (RCM) of Rotating Equipment through Predictive Maintenance. Este trabajo evalúa la efectividad del mantenimiento existente con una propuesta de mejora (RCM) aplicado a un estudio de caso del proceso de pintado de automóviles.

El proceso de pintura del automóvil es importante no solo en los aspectos estéticos del automóvil, sino que también tiene un impacto directo en el negocio. La calidad de la pintura del automóvil no puede verse comprometida porque es una característica de la empresa para generar ventas repetidas. El objetivo de la pintura es obtener capas lisas, uniformes y brillantes que puedan soportar condiciones extremas de luz solar, lluvia o polvo y tiende a durar mucho, por lo tanto, el equipo de pintado desempeña un papel vital para cumplir todos los requisitos del proceso de acabado. La causa de las fallas funcionales del equipo se debe a la vibración. La vibración se genera principalmente por las fuerzas cíclicas debido a la rotación de partes desequilibradas y desalineadas, puede deberse a lo siguiente: soldadura, contaminación, condición del aceite, rodamiento defectuoso.

RCM information Worksheet		Unit: Paint Booth		
Sr. no	Function	Functional failure	Component: Fans	Failure mode
	1) Delivery of the air into the booth or circulation of it is provided by fans while meeting all quality, health, safety, and environmental standards	<p>A) Unable to rotate at 1460 rpm</p> <p>Unable to meet quality standards</p> <p>Unable to meet health, safety, and environmental standards.</p>	<p>a) Looseness</p> <p>b) Contamination</p> <p>c) Oil condition</p> <p>d) Wear and tear</p> <p>e) Defective bearing</p>	<p>Broken, deformed, corroded or dirty fan blades.</p> <p>Fan noisy trip</p> <p>Machine Unavailability.</p> <p>Unnecessary maintenance at predetermined schedules to adjust and replace parts regardless of whether or not the machines are malfunctioning.</p> <p>Quality problems when machine is running, it appears to be functioning normally, but into trouble and may have yielded losses, rework costs, or worse still, warranty returns by customers</p>

Figura 1.1: Hoja de trabajo de información de RCM

Para preservar la función del equipo, se implementa el RCM y luego de analizar el caso se propone que el mantenimiento predictivo en lugar del

²Tarar, M. A. (March 21-22, 2014, Dubai (UAE)). Study Reliability Centered Maintenance (RCM) of Rotating Equipment through Predictive Maintenance. *2nd International Conference on Research in Science, Engineering and Technology (ICRSET'2014), Tipo Cuantitativa*. doi:<http://dx.doi.org/10.15242/IIIE.E0314595>

preventivo, permitiendo detectar de manera temprana la falla (utilizando vibraciones monitoreando el parámetro de velocidad en mm/s) y aumentará la fiabilidad al eliminar la causa raíz.

Por lo tanto, se realizó la acción correctiva de limpieza para eliminar los depósitos de pulido de los alabes y se reemplazaron los cojinetes deteriorados. Luego se giró el ventilador y se encontró que estaba desequilibrado dinámicamente, por lo que se realizó trabajos de mantenimiento in situ para restaurar el funcionamiento adecuado. Se equilibra dinámicamente a 1460 rpm y el nivel de vibración se reduce de 0,61 mm/seg a 0,5 mm/seg.

De este modo, el RCM ayuda a planificar e implementar el mantenimiento programado adecuado y oportuno.

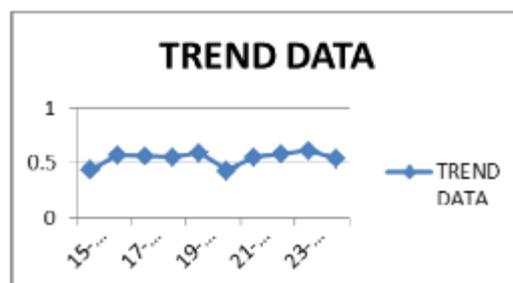


Figura 1.2: tendencias de monitoreo de vibraciones del equipo antes de la reparación

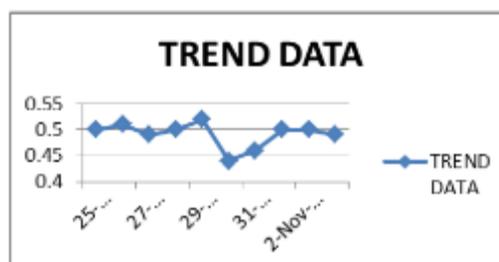


Figura 1.3: tendencias de monitoreo de vibraciones del equipo después de la reparación

(W. Pobporn, 2014)³ menciona que la Implementación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en sistemas de distribución de energía, asegura la continuidad del suministro de energía para los procesos industriales en niveles de confiabilidad máximos.

Debido a la alta interrupción que fueron causados por falla de equipos, se requiere lograr un programa de mantenimiento rentable basado en el RCM para priorizar los modos de falla según sus efectos y luego seleccionar las actividades de mantenimiento efectivas para esos modos de falla. Las actividades de mantenimiento preventivo (MP) se centran en el RCM teniendo en cuenta la relación beneficio marginal y el costo (B / C) entre los costos de interrupción (OC) y los costos de mantenimiento.

Causa de fallas	Subestación 1	Subestación 2	Subestación 3
Fallas de Equipos	10	4	3
Desconocidas	26	22	6
Aves	1	1	0
Serpientes	2	0	0
Rayos	0	0	1

Tabla 1.1: Número de interrupciones de cada subestación por causas de falla

³ W. Pobporn, O. N. (2014). Reliability Centered Maintenance (RCM). Implementation on PEA Power Distribution Systems: A, Case Study of Bang-Pa-In Branch Office, Aplicada Tipo Cuantitativa. *GMSARN International Journal*, 41 - 46. Obtenido de <http://gmsarnjournal.com/home/wp-content/uploads/2015/08/vol8no2-2.pdf>

Modo de Falla	Tarea de MP	B/C
Desconocida	Poda de árbol	183.16
Desconocida	Instalación de guarda contra serpientes	72.1
Desconocida	Instalación de guarda contra aves	38.33
Falla de Equipo	Instalación de guarda contra serpientes	33.65
Falla de Equipo	Instalación de guarda contra aves	17.89
Desconocida	Mantenimiento de Espaciadores de Cables	3.21
Falla de Equipo	Mantenimiento de Espaciadores de Cables	1.5
Desconocida	Reemplazo de cables conductores deteriorados	0.2
Falla de Equipo	Reemplazo de cables conductores deteriorados	0.09

Tabla 1.2: Relación costo/beneficio para las tareas de MP para la Subestación 2

El programa de MP es el resultado de la propuesta basado en el RCM y garantiza la efectividad del costo, reduce la cantidad de costos en mantenimiento correctivo (MC) y los costos de interrupción tanto para la Empresa como de sus clientes. Por ejemplo, en la Subestación 2 se logró reducir los costos en interrupciones en \$2,714 092 aplicando el programa actual de mantenimiento.

(David Jesús Barros Chaparro , Guillermo Valencia Ochoa, Lisandro Vargas Henríquez, 2014)⁴, menciona que la aplicación del concepto de RCM II en una fábrica de baterías en la sección destinada a la producción de lingotes de plomo, la cual presentaba incumplimiento de la producción cuya tasa es de 600 lingotes por hora (por debajo de lo esperado, meta es de 700 lingotes por hora) , por lo que se requiere establecer un programa de mantenimiento alineado a identificar los modos y efectos de falla aplicando tareas proactivas por lo que mediante la implementación del RCM II se logró establecer un

⁴ David Jesús Barros Chaparro , Guillermo Valencia Ochoa, Lisandro Vargas Henríquez. (2014). Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo, Aplicada de tipo Cuantitativa. *Scientia et Technica Año XIX*, Vol. 19, No. 2. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84931680008>

programa de mantenimiento constituido por tareas proactivas (predictivas, preventivas, tareas de chequeo) propuestas para cada uno de los modos de falla definidos anteriormente, una identificación de los componentes por equipo más detallada, consideraciones para la seguridad y operación de la máquina que no estaban previstas anteriormente, mayor vida útil de los activos físicos y un rediseño en sus soportes del Agitador y bomba crisol ayudara a disminuir la alta temperatura debida al calor que emite el crisol, el cual actualmente provoca el deterioro de los elementos mecánicos de dichos equipos.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM SECCIÓN METALURGIA.					
Hoja de Información RCM.	Sistema/Activo: SECCIÓN DE METALURGIA			Facilitador:	
Nombre de la Planta	Sub-sistema/Componente: CRISOL DE METALURGIA			Colaborador:	
Función	Falla funcional	Modo de falla		Efecto de la falla.	
3	A	No logra liberar cenizas duras.	1	La Materia prima requiere mayor temperatura.	Durante la operación de elevar la temperatura y sostenerla no se logra liberar las cenizas, se procede a elevar temperatura a 420 °C.
			2	El agitador no opera en condiciones normales (Bamboleo), debido a sus uniones del acople en mal estado.	La operación de agitación del plomo fundido se hace con desplazamiento del eje del agitador, generando el movimiento de bamboleo. Posteriormente se desprende el agitador deteniendo el proceso. Tiempo de reparación 45 min.
			3	El agitador no opera en condiciones normales (Bamboleo), debido a piñones deteriorados por desgaste natural.	La operación de agitación del plomo fundido se hace con desplazamiento del eje del agitador, generando el movimiento de bamboleo. Es probable que se escuche internamente roces o golpes entre piñones. Tiempo de reparación 45 min.
			4	El agitador no opera en condiciones normales (Bamboleo), debido a piñones deteriorados por falta de lubricación.	La operación de agitación del plomo fundido se hace con desplazamiento del eje del agitador, generando el movimiento de bamboleo. Es probable que se escuche internamente roces o golpes entre piñones seguido de un aumento excesivo de temperatura por la falta de aceite. Tiempo de reparación 45 min.
	B	Libera cenizas duras pero con fuga.	1	Paredes del crisol con grietas por choques de los lingotes sobre la base o por acción térmica al recibir el calor del quemador.	Debido a los esfuerzos térmicos se produce una fuga de plomo fundido inundando el espacio donde está alojado el quemador. Se para el proceso por completo. Tiempo de reparación 2 días.
	C	Libera cenizas duras pero fuera del tiempo de especificación.	1	El quemador a perdido la calibración aire gas que garantice su poder calorífico.	Se observa una llama de color naranja, también presencia de olores tipo alcohol e irritación en los ojos. Por experiencia, tanto para sostener como para elevar temperatura se tarda más tiempo debido a que hay menos poder calorífico. Tiempo de reparación 30 minutos.
			2	El set point (Controlador) no está enviando señal de control, o falla el sistema de control de quemador.	Por algún componente dañado pese a que se coloca a una temperatura de operación dada esta no aumenta. Por otra parte, se puede dar el caso de que no se observe nada en el set point o que el display esté dañado. Tiempo de para reemplazo 40 min.
			3	El sistema eléctrico del motor (Embobinado) ha fallado por deterioro, sobrecarga, desbalanceo de carga entre fases, sobre voltaje o por voltaje por debajo del nominal.	La carcasa del motor se encuentra muy caliente y el motor opera a bajas revoluciones y potencia. Si se sigue operando bajo estas circunstancias puede causar quemado del equipo, o acortar la vida de operación del mismo. El proceso se ve afectado ya que las rpm del motor del agitador disminuyen por debajo de lo normal. Tiempo de reparación 1 día.

Tabla 1.3: AMEF CRISOL

(Juan Pablo Diestra Quevedo, 2017)⁵ menciona que la empresa Consorcio Metal Mecánico S.R.L. dedicada a la prestación de servicios de diseño de ingeniería, fabricación y montaje de proyectos integrales del área mecánica eléctrica, presentan paradas originadas por fallas inesperadas en máquinas primordiales para la producción, entre las más comunes y costosas están las fallas por falta de mantenimiento, por lo tanto se propone un Programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para Optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con alta criticidad.

El área de producción (taller) presentó problemas e interrupciones en los procesos de manufactura, paralizando la línea de fabricación o ensamblaje. El mayor índice de fallas en los puentes grúa horizontales N°2 y 5, causando incumplimiento de contratos de servicios, en ocasiones la empresa se vio obligada a pagar mano de obra extra para recuperar los días de retraso generado por la falla imprevista de dichas máquinas. Para lograrlo, se realizó un diagnóstico situacional de las maquinas con mayor uso, recolectando información referente al tipo de mantenimiento que se realiza actualmente, características y funcionamiento de las máquinas que realizan una función del contexto operacional, se analizó la data histórica de fallas de los últimos 3 años, luego con el uso de la matriz de criticidad se logró jerarquizar la maquina con mayor criticidad. Se ejecutó un Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), para identificar fallas y efectos sobre la máquina. Con la aplicación del Árbol Lógico de Decisión (ALD), se determinó el tipo de mantenimiento a aplicar, definiendo 52 tareas de la cuales el 90 % son preventivas y 10 % correctivas, así el diseño del plan de mantenimiento permitió plantear estrategias para disminuir la ocurrencia de fallas.

⁵ Juan Pablo Diestra Quevedo, L. E. (2017). Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (rcm), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad. *Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación VOL4/N° 1, Aplicada Tipo Cualitativa*. Obtenido de <https://revistas.uss.edu.pe>

Análisis modal de efectos y fallas para las bocinas de rodamientos de las ruedas del carrero principal del puente grúa.

ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA																	
Componente: Bocinas y Rodamientos				Responsable de Diseño: Mackop Tamariz...				AMEF Número: 001									
Ensamble: S1				Reparar: Ferrel Leiva				Página: 01									
Equipo de trabajo: Puente Grúa								FECHA (Cron): 26 de octubre de 2016									
Artículo/Función	Modo Potencial de falla	Efecto(s) Potencial (es) de falla	S E V	C A S E	Causa(s) Potenciales y Mecanismos de fallas	E U R K K C I	Controles de Diseño Actuales Prevención	Controles de Diseño Actuales de Detección	O P N	R P N	Acción(es) Recomendada(s)	Responsable y fecha objetivo determinación	RESULTADOS DE ACCIÓN				
													Acciones tomadas	S E V	C A S E	O P N	R P N
Bocinas & Rodamientos	Ruptura de ruedas.	Efecto Local: Desalineamiento de ruedas. Efecto subsecuente: Abrisca en el eje, rotación de la transmisión. Efecto Final: Parada del proceso productivo	5		Tolerancia/alineo Objetivo (visión) Causas: Falta de limpieza, Desecho acumulado Ruedas Faltas de Línea de acción	4	Alineamiento de rieles y/o contenedores. Revisión de diseño. Control de lubricación en las ruedas nuevas.	Inspección visual de los rieles de la nave. Monitoreo del comportamiento de las líneas de recorrido.	10	300	Realizar un control de alineación de los columnas de apoyo. Alinear a 100° las rieles a las nave trascurales, donde se encuentra el puente grúa. Realizar una restricción de los áreas críticas para el buen desarrollo del proceso productivo y así evitar posibles imprevistos. Analizar y aplicar y controlar por completo los trabajos de restricción.	Operadores y supervisores del área del Taller, ingenieros encargados.	Realizar un plan de alineación de las columnas de apoyo. Alinear a 100° los rieles trascurales, donde se encuentra el puente grúa.	4	3	5	00

Tabla 1.6: AMEF bocinas de rodamientos del puente grúa

Análisis modal de efectos y fallas para las zapatas del sistema de frenos del puente grúa:

ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA																	
Componente: Zapatas de Frenos				Responsable de Diseño: Mackop Tamariz...				AMEF Número: 001									
Ensamble: S1				Reparar: Ferrel Leiva				Página: 01									
Equipo de trabajo: Puente Grúa								FECHA (Cron): 26 de octubre de 2016									
Artículo/Función	Modo Potencial de falla	Efecto(s) Potencial (es) de falla	S E V	C A S E	Causa(s) Potenciales y Mecanismos de fallas	E U R K K C I	Controles de Diseño Actuales Prevención	Controles de Diseño Actuales de Detección	O P N	R P N	Acción(es) Recomendada(s)	Responsable y fecha objetivo determinación	RESULTADOS DE ACCIÓN				
													Acciones tomadas	S E V	C A S E	O P N	R P N
Zapatas de Frenos	Desgaste Acelerado de revestimiento de zapatas.	Efecto Local: Desalineamiento de carga en elevación. Efecto subsecuente: Manchar de aceite en cada momento de deslizar. Efecto Final: Zapatas de Frenos Desgastadas.	6		Tolerancia/alineo Objeto: Deslizar de carga. Cristalización de Revestimiento. Falta de Limpieza. Bomba de freno averiada. Reten hidráulico no plado.	5	Ajuste de Cargas balanceadas a la máquina. Acoplamiento de Boerbin de freno mas eficiente. Mantenimiento ocaasional al tambor de freno.	Inspección visual de posible deslizar de carga. Monitoreo del comportamiento del sistema de freno Hidráulico. Chequeo de funcionamiento de Zapatas en tiempo predeterminado.	5	100	Adaptar y reemplazar el sistema de freno hidráulico por un sistema de freno neumático. Reparar y/o Cambiar elementos de poca fiabilidad del tambor de frenos.	Operadores y supervisores del área del Taller, ingenieros encargados.	Implementación de un sistema de freno neumático de un piloto para la grúa 102. Mantenimiento correctivo y preventivo a los elementos con mayor desgaste del tambor de frenos.	2	2	4	16

Tabla 1.7: AMEF del sistema de frenos del puente grúa

(Blancas Hidalgo, 2017)⁶ investiga la relación entre “Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad” como base fundamental del mantenimiento centrado en confiabilidad” como base fundamental del mantenimiento de las metradoras automáticas de la Empresa INDECO S.A.”, para optimizar los costos a través de la reducción de la ocurrencia de fallas y eventos no deseados (tasa de falla 10 eventos por mes), y minimizar el impacto (\$20000 por mes) en el negocio medular que es la fabricación de conductores eléctricos utilizados frecuentemente en el sector construcción. Actualmente se tienen fallas repetitivas en el sistema de control electrónico de mando de las metradoras, debido a la falta de mantenimiento que se viene realizando, la

⁶Blancas Hidalgo, J. L. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar el mantenimiento preventivo de las metradoras automáticas de la empresa Indeco S.A.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Aplicada Tipo Cuantitativa. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_0311763ec843cd27e54bfca42b91691b

cual genera que los rollos de los cables eléctricos no presenten la misma medida (dentro de las tolerancia ± 1 metros) por lo que se requiere cambiar el programa actual por la aplicación del RCM que nos permitirá realizar el diagnóstico estadístico de la condición anterior y actual de estas metradoras automáticas, recopilando información histórica de tiempos entre paradas y el tiempo tomado para la reparación de las paradas no programadas en referencia a los mantenimientos realizados, ocurrencias de falla, modos de falla, en función del contexto operacional, posteriormente se realiza el análisis de criticidad. Así también, se realiza un análisis de modos y efectos de falla en las metradoras automáticas, como soporte del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), dividiéndolos en sub-equipos. Seguido de la aplicación del nivel ponderado de riesgo de cada efecto de falla, con ello se determina las actividades proactivas a desarrollar (capacitación del personal en el uso adecuado de los equipos y lenguaje de programación de software) en el nuevo plan de mantenimiento de dichos equipos. Finalmente, como resultado del análisis de confiabilidad y del análisis de distribución paramétrica se determinan las frecuencias óptimas de mantenimiento (calibraciones periódicas cada semana) de las metradoras automáticas que garanticen la confiabilidad que necesita la empresa en la producción de cables con una alta calidad de servicio. Así también, como resultado de esta investigación se define los indicadores como disponibilidad mecánica de los equipos siendo del 88% que permitan controlar los niveles de producción y calidad de los productos.

1.2. Identificación y Descripción del Problema de Estudio:

La Compañía Minera dedicada a la explotación de minerales polimetálicos, para el normal desarrollo de las actividades la empresa posee una flota de equipos Underground como cargadores de bajo perfil(scoop) cuya gestión de mantenimiento es controlado por el sistema de mantenimiento preventivo, en el cual se registran hasta la fecha 06 máquinas Caterpillar Modelos R1600G.

Estos equipos son importantes para la empresa por el servicio de carga, transporte y descarga, diseñado especialmente para el manejo de material en

minería subterránea. En el periodo 2013-2014 se adquirió una nueva flota de equipos, el problema que presenta estos equipos, es el alto ratio de fallas,

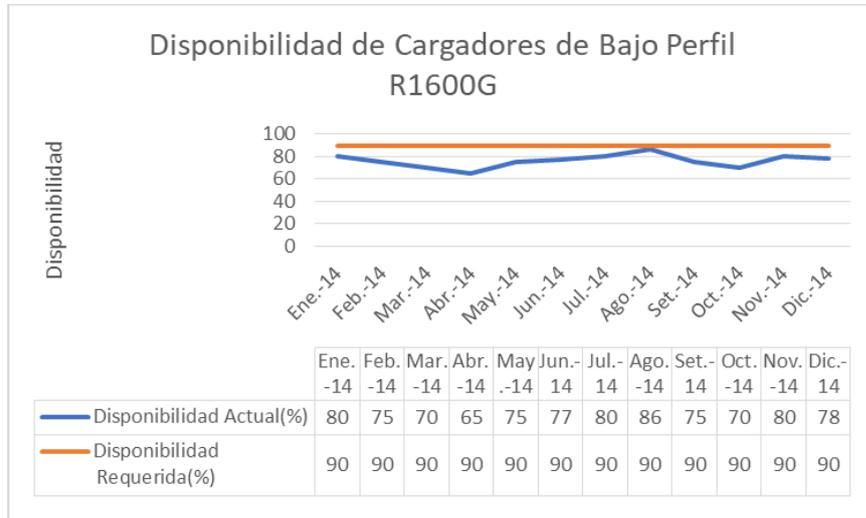


Figura 1.4. Disponibilidad del Scoop Periodo 2014

Los responsables de mantenimiento enfrentan un gran reto en el cumplimiento de las metas de producción anual 300TM con mineral de cobre proporcionado a la planta, el cual no se ha logrado por tener baja disponibilidad en los equipos.

Al realizar el análisis del plan de mantenimiento preventivo actual, se evidencian que las causas que genera este problema son las deficiencias en la planificación de las actividades de mantenimiento preventivo, lubricación, limpieza, capacitación del personal para solucionar problemas en los equipos que deben ejecutarse en los cargadores de bajo perfil R1600G, sumado al actual plan de mantenimiento el cual no ha sido revisado por un largo periodo y que tiene tareas básica que no están estandarizadas ni alineadas a los sistemas modernos que poseen actualmente los equipos, cada uno de los técnicos realiza mantenimientos en base a sus criterios. Además, el plan de mantenimiento fue elaborado sin seguir una metodología establecida de acuerdo con las recomendaciones del fabricante teniendo como consecuencia problemas de baja disponibilidad (A) del 85% y baja confiabilidad MTBF (Mean Time Between failure) Tiempo Promedio entre Fallas de 70 horas, por lo cual resulta imperioso de un plan adecuado de mantenimiento.

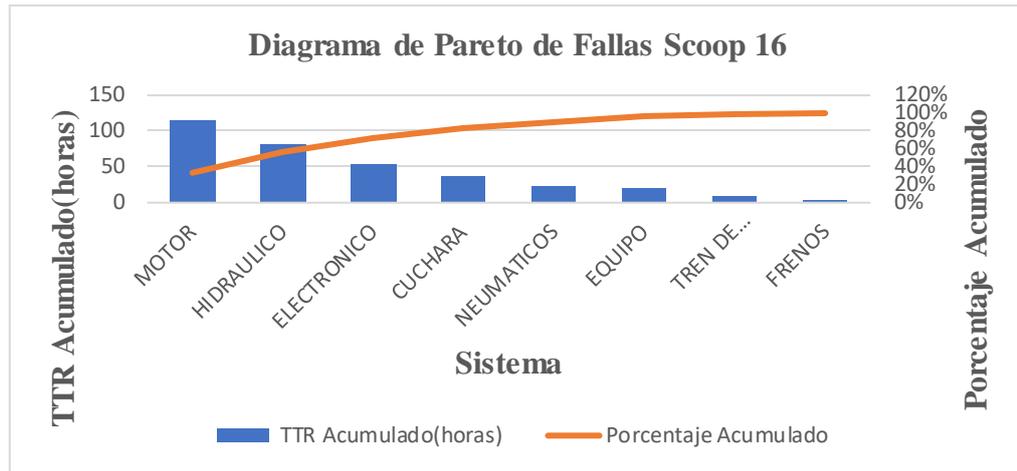


Figura 1.5. Estadística de falla para el Scoop No. 16 por sistemas

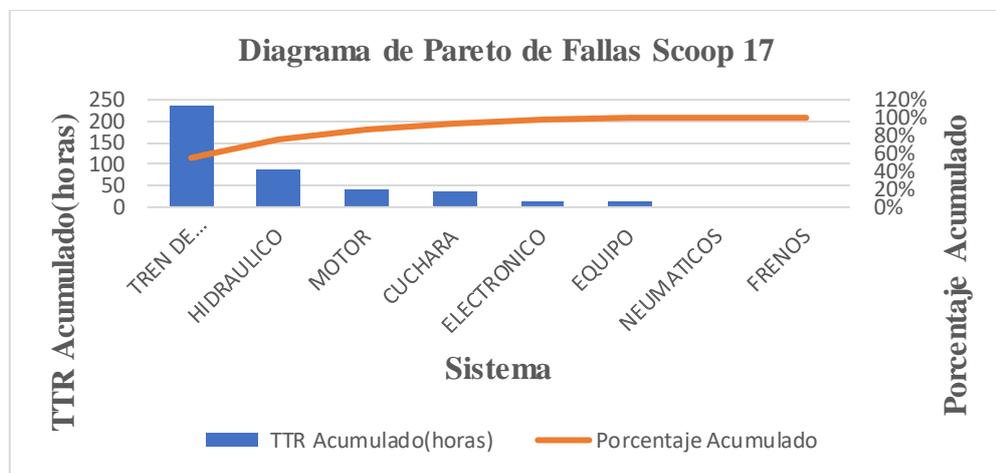


Figura 1.6. Estadística de falla para el Scoop No. 17 por sistemas

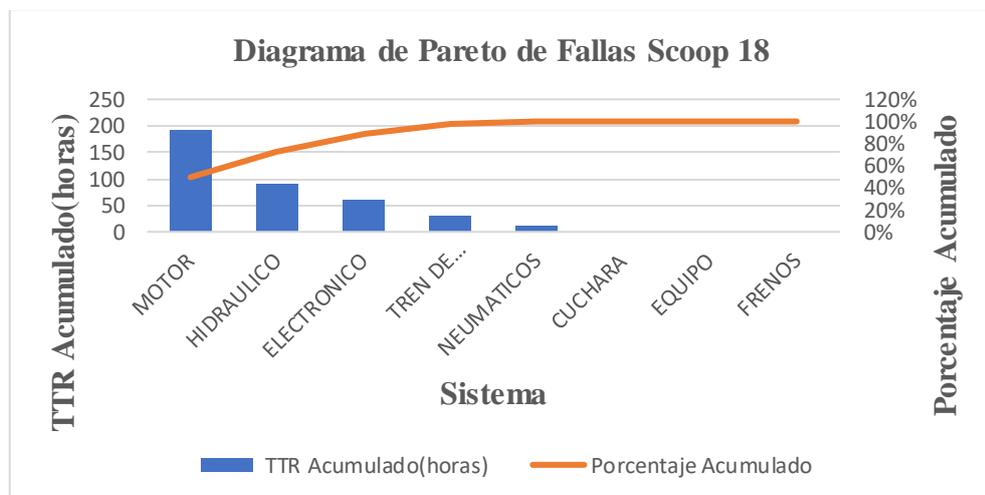


Figura 1.7. Estadística de falla para el Scoop No. 18 por sistemas

1.3. Formulación del Problema:

1.3.1. Problema Principal

¿Será el plan de mantenimiento actual el que está ocasionando la baja disponibilidad en los Equipos Underground?

1.3.2. Problemas Secundarios

1. ¿Cómo afecta el análisis de criticidad de los sistemas principales del Cargador de bajo Perfil en el aumento de la disponibilidad?
2. ¿En cuánto incrementará la disponibilidad del equipo al elaborar el FMEA de los sistemas más críticos?
3. ¿De qué manera la evaluación de los indicadores de mantenimiento MTBF, MTTR, disponibilidad mecánica comprobará la efectividad del Diseño del Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)?
4. ¿De qué forma al ejecutar las nuevas tareas del plan de mantenimiento basada en la aplicación del RCM impactará en la productividad y reducción de los costos de mantenimiento?

1.4. Justificación

Esta investigación tiene una **justificación teórica**, ya que se fundamenta en el uso de teorías existentes relacionadas a las variables de estudio, como el mantenimiento basado en RCM en los equipos materia de estudio con el propósito de revalidar los principios y conceptos de dichas teorías y confirmar los resultados obtenidos con otras investigaciones.

En igual forma, presenta una **justificación práctica**, dado que busca resolver un problema de la Empresa Minera de Extracción de cobre, donde se evidencia la baja disponibilidad mecánica de la flota de Cargadores de Bajo Perfil R1600G, que representa una oportunidad de mejora para revisar e implementar nuevas prácticas del mantenimiento basado en el RCM, además de permitir seleccionar los indicadores de gestión del mantenimiento para medir y controlar, cuantificablemente el nuevo diseño del plan de mantenimiento y así obtener una

disponibilidad (A) benchmarking 90% y una confiabilidad MTBF (Mean Time Between failure) de 125 horas.

Asimismo, representa una **justificación económica** dada por el ahorro y optimización de recursos en el área de mantenimiento debido a la nueva implementación de una nueva estrategia de mantenimiento basada en la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) que permita garantizar equipos más confiables con una alta disponibilidad

1.5. Importancia

De la misma forma, tiene importancia, puesto que se dirige hacia los clientes internos y externos de la empresa debido a que al diseñar un plan de mantenimiento basado en el RCM lograra incrementar una mayor disponibilidad de la flota de Cargadores de Bajo Perfil frente a la necesidad requerida por el cliente, generando una mejor gestión del mantenimiento en el área, una optimización de los recursos, menores costos de mantenimiento e incrementando la productividad.

1.6. Objetivos:

1.6.1. Objetivos Generales:

Incrementar la disponibilidad mecánica de los Equipos Underground en una empresa minera de extracción de cobre con un Plan de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad.

1.6.2. Objetivos Específicos:

1. Realizar un análisis de criticidad de los sistemas principales del Cargador de bajo Perfil para aumentar la disponibilidad de los equipos.
2. Elaborar el FMEA de los sistemas más críticos para mejorar el plan de mantenimiento actual.
3. Evaluar los indicadores de mantenimiento MTBF, MTTR, disponibilidad mecánica para comprobar la efectividad del Diseño del Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).
4. Ejecutar las nuevas tareas del plan de mantenimiento basada en la aplicación del RCM para la reducción de los costos de mantenimiento.

1.7. Hipótesis:

1.7.1. Hipótesis General:

Mediante un Plan de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad se logrará incrementar la disponibilidad mecánica en los equipos Underground en una empresa minera de extracción de cobre

1.7.2. Hipótesis Específica:

1. Realizando un análisis de criticidad de los sistemas principales del Cargador de bajo Perfil permitirá aumentar la disponibilidad de los equipos.
2. Elaborando el FMEA de los sistemas más críticos permitirá mejorar el plan de mantenimiento actual.

3. Evaluando los indicadores de mantenimiento MTBF, MTTR, disponibilidad mecánica permitirá comprobar la efectividad del Diseño del Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).
4. Ejecutando las nuevas tareas del plan de mantenimiento basada en la aplicación del RCM permitirá la reducción de los costos de mantenimiento.

1.8. Variables y Operacionalización de Variables:

MATRIZ OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES					
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	OPERACIONALIZACIÓN		ESCALA DE MEDICIÓN
			DIMENSIONES	INDICADORES	
Variable Independiente: Diseño de un Plan de Mantenimiento basado en la confiabilidad RCM (X)	Metodología desarrollada, con la finalidad de determinar las mejores políticas para optimizar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas	Se aplicará la metodología del RCM para analizar la criticidad de los equipos e identificar en función de los modos de falla estableciendo nuevas tareas de mantenimiento, siendo monitoreadas y controladas por los indicadores.	<input type="checkbox"/> Nivel de Criticidad de equipos.	Numero de Prioridad de Riesgo (en unidades numéricas del 1 al 1000)	Ordinal
			<input type="checkbox"/> FMEA Actual	Modos de fallos (en unidades numéricas) Listado de Tareas de mantenimiento (en unidades numéricas).	Numérico
			<input type="checkbox"/> MTBF actual	$\frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número de fallas}}$	Horas
			<input type="checkbox"/> MTTR actual	$\frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}}$	Horas
			<input type="checkbox"/> Costos actuales	Costo Total de Mantenimiento actual	Numérico
			<input type="checkbox"/> Métricas del Mantenimiento	$\text{MTBF} = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número de fallas}}$ $\text{MTTR} = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}}$ Costo Total de Mantenimiento proyectado	Horas Horas Numérico
Variable dependiente: Disponibilidad Mecánica (Y)	Es la probabilidad de que un sistema, equipo o componente realice la función prevista cuando sea requerida.	Las métricas del mantenimiento son indicadores para monitorizar la eficacia de los procesos de mantenimiento.			

1.9. Metodología de la Investigación:

1.9.1. Unidad de Análisis:

El presente trabajo de investigación se considera como unidad de análisis a los equipos CORE Cargadores de Bajo Perfil R1600G, de los cuales se ha escogido como muestra de análisis 3 del total de 20 equipos que transportan el mineral de la Mina hacia la Planta de tratamiento de mineral, ubicado dentro de una Unidad Minera de Extracción de cobre en los socavones.

La unidad minera se ubica en el distrito de Aija, provincia de Recuay, región de Ancash, a una altitud aproximada de operación entre los 4000 y 4500 msnm.

1.9.2. Fuentes de Información:

a) Fuentes Primarias:

Estos datos se recopilaron durante un período de 12 meses (enero a diciembre de 2014) mediante el uso de formularios escritos a mano preparados por personal de mantenimiento, informes diarios y tarjetas de mantenimiento. Estas tarjetas de mantenimiento incluyen el tiempo hasta la falla, el contador de horas de la máquina y el tiempo hasta las reparaciones.

b) Fuentes Secundarias:

Estos datos se recopilaron de los manuales del fabricante los cuales sirvieron para contrastar los planes actuales de mantenimiento y tomar como base para la actualización de las tareas de mantenimiento.

1.9.3. Tipo y Nivel de Investigación

1.9.3.1. Investigación Aplicada:

El tipo de estudio es Aplicada, porque se tiene el propósito de diseñar un plan de mantenimiento basado en el RCM para lograr un objetivo (incrementar la disponibilidad).

1.9.2.2. Nivel de Investigación:

a. Descriptiva. Porque se detallan los diversos hechos, razones o causas incidentes en la realidad problemática (baja disponibilidad mecánica),

las mismas que se constituyeron en las causas fundamentales que motivaron la necesidad de investigar y diseñar un nuevo plan de mantenimiento.

- b. Explicativa.** Porque se requiere probar las hipótesis relación causa-efecto de los fenómenos (Plan de mantenimiento y disponibilidad).

1.9.4. Diseño de investigación:

El presente trabajo de investigación con respecto a su enfoque es de tipo cuantitativo, definido según tres características epistemológicas:

- Desde el punto de vista de la percepción de la realidad es objetiva excluyente al buscar la recolección de datos de las paradas de los equipos mediante el uso de ordenes de trabajo, historiales, informes diarios de mantenimiento.
- Desde el punto de vista del razonamiento es deductivo porque contrasta la hipótesis en base a la aplicación de la metodología basada en la confiabilidad RCM.
- Desde la perspectiva del investigador trabaja los datos cuantificables, analizando el contexto operacional de los equipos como agente externo de manera objetiva.
- En función de la posibilidad que se tiene para manipular las variables disponibilidad y plan de mantenimiento, la investigación cuantitativa puede subdividirse en **Cuasiexperimental** debido a que la disponibilidad no puede manipularse ni controlarse directamente.

1.9.5. Periodo de investigación

Se efectuó el desarrollo a partir del 10 de enero del 2014 hasta el 31 diciembre del año 2015 en la Compañía Minera de Extracción de cobre.

Capítulo II. Marco Teórico, Conceptual

2.1. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad:

El análisis de RCM (Electro-Technical), 1991)⁷ es un enfoque de evaluación sistemática para el desarrollo y optimización de un programa de mantenimiento (PM). El RCM utiliza un árbol de decisión lógica para identificar los requisitos de mantenimiento del equipo según la seguridad y consecuencias operacionales de cada error y mecanismos de degradación responsables de estos fracasos (Electric Power Research Institute). El RCM es un enfoque que se desarrolló en la década de 1960. En muchos sectores de la industria, ciertos PM las tareas se consideran ya sea innecesaria, porque tenían poco impacto en las operaciones de la planta o muy conservador en el sentido que realizaron más actividades frecuentemente de PM que en realidad necesita los equipos. Estos hechos fueron descubiertos en la industria aeronáutica cuando United Airlines llevó a cabo un estudio en la década de 1960 a reevaluar la estrategia de PM para el Boeing 747. Uno de los sorprendentes resultados del estudio fue que el 89% de los componentes exhibieron características de falla para los cuales la revisión o reemplazo programado no era eficaz. Solo el 11% de los componentes mostró una característica de falla que justificaba una revisión o reemplazo programado como parte de las acciones de PM. Esto fue una revelación de la forma de trabajar actualmente, necesitando de manera urgente un nuevo enfoque en el mantenimiento de los componentes.

El enfoque de RCM es mantener la función del sistema en lugar de restaurar el equipo a una condición ideal. El enfoque RCM se usó inicialmente en las industrias aeronáutica y nuclear para mantener aeronaves y plantas. Desde entonces ha ganado aceptación en otros sectores industriales como en el sector energético (mantenimiento de plantas), sector transporte (mantenimiento de infraestructuras) y otros.

⁷ Electro-Technical), I. (. (1991). Vocabulario internacional, Capítulo 191: Fiabilidad y calidad de servicio.

2.1.1. Proceso RCM (Blache, 1994):

El proceso RCM inicia con las siguientes siete preguntas básicas:

1. ¿Cuáles son las funciones y asociado a estándares de rendimiento del activo en su presente contexto de la operación?
2. ¿De qué maneras puede no cumplir con sus funciones?
3. ¿Qué causa cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿De qué manera importa cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Basado en las respuestas a estas preguntas, el proceso de RCM sugiere los requisitos de mantenimiento adecuado para el sistema en su contexto operativo. Las cuatro funciones clave de RCM los siguientes:

- a) **Preservar la función del sistema:** esta es la característica principal para comprender el proceso de RCM. Esto obliga al analista a entender sistemáticamente las funciones del sistema que deben conservarse y cómo puede perder en términos funcionales falta y no en términos de fallas del equipo.
- b) **Identificación de modos de fallo** que pueden causar fallas de funcionamiento: la identificación de modos de falla se lleva a cabo mediante el examen de cada componente para delinear cómo podría fallar y causar un fallo funcional específico.
- c) **Priorizando fallos funcionales:** fallos funcionales y sus modos de falla relacionados no son igual de importante. Priorizar los modos de falla, es posible decidir cómo asignar los limitados presupuestos y recursos sistemáticamente. En otras palabras, es el propósito de priorizar es hacer una asignación eficiente y acceso de recursos.
- d) **Selección de tareas de mantenimientos aplicables y eficaces:** cada modo de falla se aborda en su orden de prioridad para identificar posibles acciones de PM (Mantenimiento Preventivo). Cada acción del PM debe ser aplicable en el sentido de que, si se realiza, cumplirá uno de los objetivos del PM; es decir,

prevenir o mitigar la falla, detectar el inicio de la falla o descubrir una falla oculta. Cada tarea debe ser también eficaz, en el sentido que estamos dispuestos a proveer lo necesario recursos para hacer esa tarea.

La filosofía RCM para el PM es la siguiente. Vale la pena si se trata de una tarea preventiva con éxito con las consecuencias de la falta que se pretende evitar. Esto implica que una tarea preventiva debe ser técnicamente factible (es decir, puede lograr el objetivo) y vale la pena hacerlo.

2.1.2. Implementación de RCM

Implementación de RCM consiste en los siguientes siete pasos:

1. Seleccione un elemento de descomposición jerárquica del objeto diseñado para Implementación de RCM y la recopilación de información.
2. Definir los límites del elemento.
3. Describir el elemento y dibujar un diagrama de bloques funcionales.
4. Definir las funciones de los items y fallas funcionales – conserve las funciones.
5. Realizar un análisis de modo y efectos de falla (FMEA), identificar los modos de falla que puede afectar a la función.
6. Realizar un análisis de árbol de decisión lógica (LTA), priorice las necesidades de la función a través de los modos de falla.
7. Seleccionar de una lista de tareas de mantenimiento, seleccionar tareas de PM sólo efectivas y aplicables.

2.1.3. Funciones. Parámetros de funcionamiento y contexto operacional, el primer paso en el proceso del RCM es definir las funciones básicas de cada activo en su contexto operacional, o sea determinar qué es lo que los usuarios quieren que haga y asegurar que es capaz de realizarlo, las funciones se dividen en:

- ❖ **Función esencial:** Define la función principal o prevista. En el caso de una planta térmica de energía, es suministrar energía eléctrica a la demanda a los consumidores que forman parte de la red.

- ❖ **Funciones auxiliares:** Son necesarios para apoyar la función principal. Son generalmente menos claro que las funciones esenciales. Por ejemplo, "preservar la integridad líquida" es una función auxiliar de una bomba y su falta pueden causar un peligro crítico si el líquido es tóxico o corrosivo.
- ❖ **Funciones protectoras:** El objetivo es proteger a las personas de lesiones y proteger contra el daño al medio ambiente. Ejemplos de estos son relés que ofrezcan una protección contra picos de corriente, lavadores de gases en chimeneas que quitar materia de partículas a proteger el medio ambiente.
- ❖ **Funciones de información:** Estos incluyen monitoreo de condiciones, indicadores, alarmas y así sucesivamente.

2.1.4. Efectos de Fallas. En este paso se describe que pasa cuando ocurre un modo de falla, un efecto de falla no es lo mismo que una consecuencia de falla, el efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?, mientras que una consecuencia de falla responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene?, al describir un efecto de falla se debe hacer lo siguiente:

- ✓ La evidencia que se ha producido por la falla
- ✓ La forma en que la falla, supone una amenaza para la seguridad o en ambiente
- ✓ La forma en que afecta producción o la operación
- ✓ Los daños físicos causados por la falla
- ✓ Que debe hacerse para reparar la falla.

2.1.5. Consecuencias de Las Fallas. En este paso se responde a la pregunta ¿En qué sentido es importante cada falla? para determinar cuáles son las fallas que más afectan la organización y cuáles no, debido a las consecuencias de las fallas, se pueden afectar las operaciones, la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente, las consecuencias se dividen en cuatro grupos, las consecuencias por fallas ocultas, consecuencias ambientales, seguridad, operacionales y no operacionales.

2.1.6. Tareas de Mantenimiento Preventivo y Predictivo. En este paso se da respuesta a las preguntas ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir esta falla? y ¿Qué sucede si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva apropiada?, el objetivo de este punto es decidir qué acciones pueden tomarse para manejar las fallas, las acciones pueden dividirse en dos categorías: Tareas proactivas y “acciones a falta de”. Las tareas proactivas se llevan a cabo antes de que ocurra una falla, con el objetivo que el componente llegue a un estado de falla y abarcan las tareas de mantenimiento preventivo y predictivo, pero cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva es necesario realizar “acciones a falta de” que incluyen procedimientos de búsqueda de fallas, rediseño y mantenimiento a rotura. La factibilidad técnica de una tarea de mantenimiento se define como:

“Una tarea es técnicamente factible si físicamente permite reducir o realizar una acción que reduzca las consecuencias del modo de falla asociado, a un nivel que sea aceptable al usuario del activo (JHON, 1997)⁸

Al conocer los modos y efectos de las fallas y sus consecuencias, podemos determinar si la falla es merecedora de prevención, esfuerzos para predecirla, algún tipo de intervención periódica para evitarla, rediseño para eliminarla, o simplemente ninguna acción. Para realizar este proceso se debe seguir el árbol lógico de decisiones del RCM y de esta forma encontrar cuáles son las tareas adecuadas y el programa de mantenimiento a realizar a los activos físicos.

⁸ JHON, M. (1997). Reliability-Centered Maintenance RCM II (Vol. 2). New York: Industrial Press Inc.

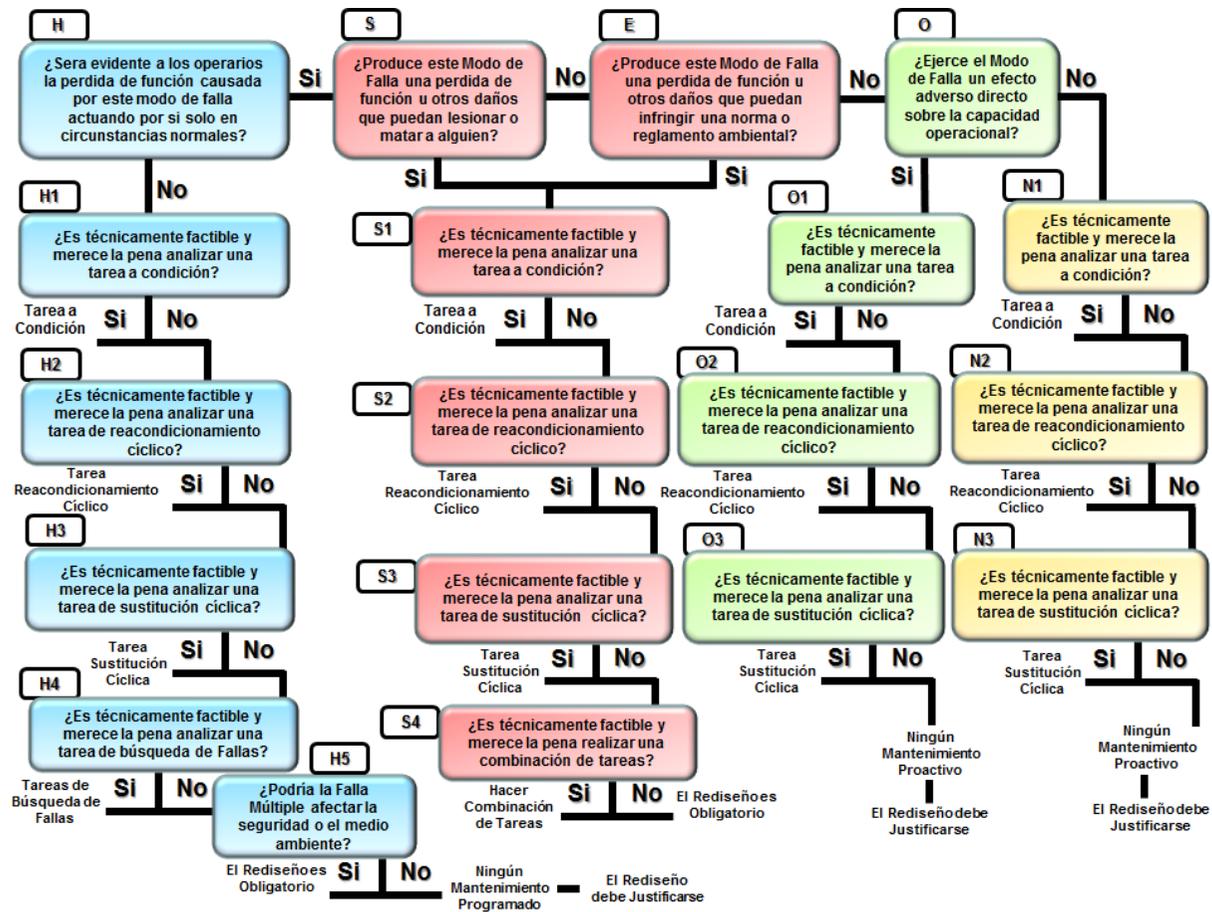


Figura 2.1: Árbol lógico de decisiones del RCM

Fuente: Reliability-Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray

2.1.7. Indicadores de Gestión de Mantenimiento Equipo Minero

El desempeño de cualquier equipo minero depende de tres factores críticos, el diseño del producto, la aplicación donde es usado y el mantenimiento que recibe durante toda su vida de servicio. El mantenimiento es el factor que ofrece a la gerencia de mantenimiento la mejor oportunidad para influir y controlar el desempeño de los equipos debido a que los fabricantes cuando diseñan un equipo lo hacen para unas particulares condiciones de operación y hacen unas recomendaciones genéricas de la tareas de mantenimiento a realizar además la aplicación de los equipos es muy variable incluso en una misma mina las condiciones de operación cambian con el tiempo de trabajo, generalmente estas condiciones de operación se vuelven más severas a medida que la mina crece y se hace más profunda, por lo tanto es el usuario final el que tiene una enorme capacidad de influenciar en el desempeño de los equipos mineros, para cuantificar el desempeño de los equipos se deben tener criterios de medición claramente establecidos debido a que sin estos parámetros de medición la gerencia de mantenimiento se basaría en la intuición, las mediciones que se deben hacer en el mantenimiento de equipo minero son, Tiempo Promedio entre fallas (Mean Time Between failure MTBF), Tiempo Promedio para Reparar (Mean Time To Repair MTTR) y Disponibilidad (Availability A), sin el manejo adecuado de estos indicadores no se pueden mejorar los procesos de mantenimiento

“No se puede administrar lo que no se puede controlar, No se puede controlar lo que no se puede medir, No se puede medir sin un objetivo y sin un objetivo No se puede mejorar” (CATERPILLAR, 2005)⁹

2.1.7.1. Tiempo Promedio entre fallas (MTBF). Es el más importante parámetro de medición de la gerencia de mantenimiento de equipo minero, es la frecuencia promedio de eventos de paradas de los equipos expresadas en horas, se obtiene dividiendo el total de horas operadas sobre el número de paradas. Las más exitosas operaciones que administran y mantienen equipos mineros tienen largos periodos de operación continua o MTBF altos, el MTBF es una medida que combina

⁹ CATERPILLAR. (2005). Performance Metrics for Mobile Mining Equipment. Prioria: Caterpillar Inc, USA: Handbook KPI (pp. 20-40). Dealer CAT.

los efectos de la confiabilidad inherente de la máquina y la efectividad de la gerencia de mantenimiento, la fórmula del MTBF es la siguiente:

$$\text{MTBF(horas)} = \frac{\text{Horas Operadas}}{\text{Numero de paradas}}$$

Las horas operadas se toman del odómetro de la máquina y el número de paradas se obtienen de la historia en las ordenes de trabajo, el punto de referencia o Benchmark de MTBF para equipos mineros varía según el modelo de la máquina, para Cargadores de Bajo Perfil Caterpillar R1600G el MTBF es de 125 horas (CATERPILLAR, 2005),

2.1.7.2. Tiempo Promedio para Reparar (MTTR). Es el tiempo promedio de las paradas de los equipos, se expresa en horas. Las reparaciones planeadas, la administración y la ejecución son todos los factores que contribuyen a la duración de la parada de una máquina, el MTTR es un indicador que cuantifica el tiempo de la reparación, que tan rápidas o lentas son las reparaciones en la parada de un equipo. El MTTR combina los efectos de la mantenibilidad inherente de la máquina y la eficiencia de la organización de mantenimiento, se calcula de la siguiente forma:

$$\text{MTTR(horas)} = \frac{\text{Total Tiempo de Paradas}}{\text{Numero de paradas}}$$

El Benchmark de MTTR para equipos mineros varia también según los tipos y modelos de máquinas, para Cargadores de Bajo Perfil Caterpillar R1600G es de 3 a 6 horas (CATERPILLAR, 2005)

2.1.7.3. Disponibilidad (A). Es la relación entre el MTBF (frecuencia promedio de fallas) y la suma del MTBF y MTTR (Duración Promedio de paradas) y se expresa en porcentaje, se calcula con la siguiente formula

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

El Benchmark de la disponibilidad para equipos mineros varia también según los tipos y modelos de máquinas, para Cargadores de Bajo Perfil Caterpillar R1600G debe ser de 90% (CATERPILLAR, 2005)

2.2. Marco Conceptual (Norma UNE-EN Mantenimiento, 2003):

- **Gestión de la confiabilidad** aborda las cuestiones de gestión en el contexto de la gestión el diseño, fabricación y operación de sistemas y productos confiables. Aquí el énfasis es en el punto de vista de negocio, ya que la falta de fiabilidad tiene consecuencias en términos de costo, tiempo perdido y en algunos casos, el bienestar de un individuo o incluso la seguridad de una nación.
- **FMEA** (failure mode effects Analysis) es un método utilizado para identificar los posibles modos de fallo de los componentes de un sistema y determinar los efectos.
- **Activo:** Maquinaria utilizada en el proceso de pulido de vidrio.
- **Avería:** fenómeno que se presenta en un activo y que puede inducir a una falla.
- **Caracterización:** es la codificación que se asigna a cada componente de la maquina identificado en la jerarquía de equipos, puede ser numérica, alfabética, alfanumérica y con símbolos, siempre y cuando sea identificable para los operarios en la empresa
- **Correctivo:** Operación de mantenimiento realizada después de que ha sucedido la falla.
- **Falla:** evento en el cual el activo se detiene y deja de realizar su operación normal.
- **Fallos Funcionales:** Se presenta cuando el activo no puede ejecutar su función dentro de los parámetros que se han establecido como aceptables para el funcionamiento dentro de su contexto operacional.
- **Jerarquía de equipos:** la jerarquización que se le da a los activos, para identificar en mayor detalle los componentes de la misma, y permitir mayor claridad en el análisis de modos de fallo.
- **Operación:** Función que debe cumplir un activo normalmente.

- **Operarios:** persona encargada de operar el activo y es el primero en detectar posibles fallos.
- **Orden de trabajo (OT):** formato en el que se contemplan las actividades puntuales a realizar con respecto al mantenimiento.
- **RCA:** Análisis de Causa Raíz
- **RCM:** Mantenimiento centrado en confiabilidad (siglas en inglés Reliability Centered Maintenance).
- **ROI:** índice de retorno de inversión Vs inversión requerida.
- **RPN:** Número ponderado de riesgo, cuantifica el riesgo de modos de fallo en los activos.

Capítulo III. Desarrollo del Trabajo de Investigación

3.1. Cargador de Bajo Perfil R1600G:

El cargador subterráneo R1600G está diseñado para una alta producción, carga y empuje de bajo costo por tonelada en aplicaciones mineras subterráneas. Su diseño compacto con rendimiento ágil, construcción sólida y mantenimiento simplificado aseguran una excelente productividad, larga duración y bajos costos de operación. (CAT, 2018)¹⁰

A continuación, se describen los sistemas principales del equipo con la finalidad de tener un overview del funcionamiento de los sistemas y sea de fácil ayuda para realizar el FMEA a cada uno de ellos.



Figura 3.1. Cargador de Bajo perfil R1600G

¹⁰ CAT, M. (2018). DEALER CAT.COM.PE. Obtenido de <https://www.ferreyros.com.pe/productos/maquinas/cargadores/cargadores-de-bajo-perfil>

3.1.1 Sistema de Combustible

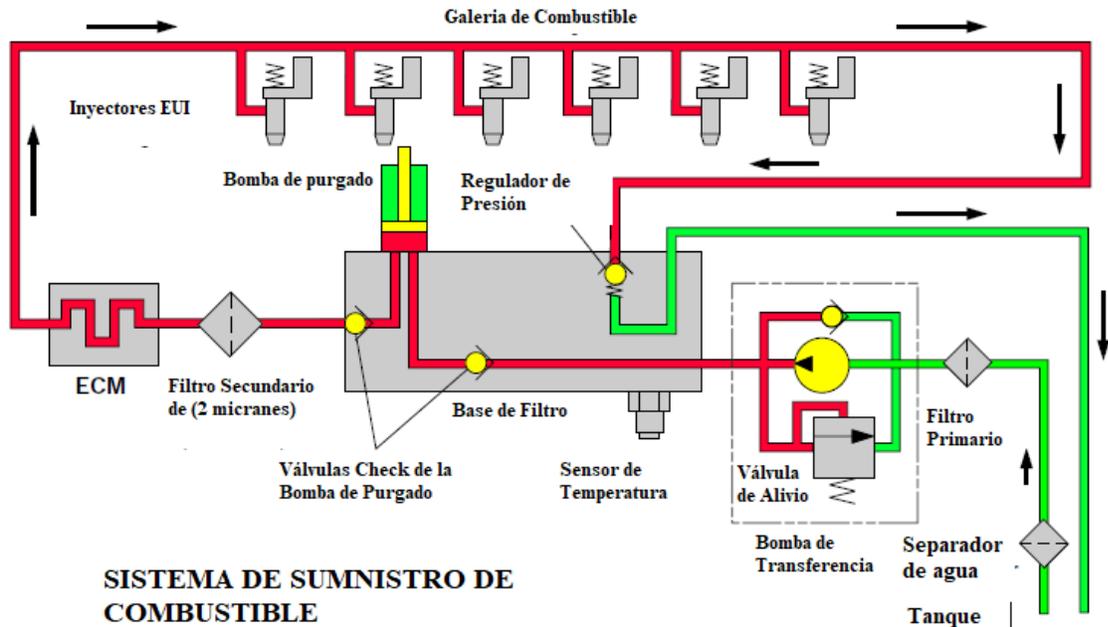


Figura 3.2. Sistema de Suministro de Combustible

El sistema de inyectores unitarios electrónicos consta de los siguientes sistemas: el sistema mecánico y el sistema electrónico. El sistema mecánico consta del sistema de suministro de combustible de baja presión y los inyectores unitarios electrónicos. El sistema electrónico proporciona control electrónico completo de todas las funciones del motor. El sistema de control electrónico consta de los tres siguientes tipos de componentes: entrada, control y salida.

Hay cinco componentes principales en el sistema de combustible con inyectores unitarios electrónicos:

- Inyectores unitarios electrónicos
- Bomba de transferencia de combustible
- ECM
- Sensores
- Solenoides

Los inyectores unitarios electrónicos producen presiones de inyección del combustible de hasta 207.000 kPa (30.000 lb/pulg²). Además, los inyectores unitarios electrónicos se activan hasta 19

veces por segundo a velocidad nominal. La bomba de transferencia de combustible extrae combustible del tanque, lo suministra a los inyectores y presuriza el sistema entre 60 y 125 LB/PULG². El ECM es una computadora potente que controla todas las funciones principales del motor. Los sensores son dispositivos electrónicos que vigilan los parámetros de rendimiento del motor. Los sensores de rendimiento del motor miden la presión, la temperatura y la velocidad. Esta información se envía al ECM por medio de una señal. Los solenoides son dispositivos electrónicos que utilizan corrientes electrónicas del ECM para cambiar el rendimiento del motor. El solenoide del inyector es un ejemplo de un solenoide.

3.1.2. Sistema de Enfriamiento

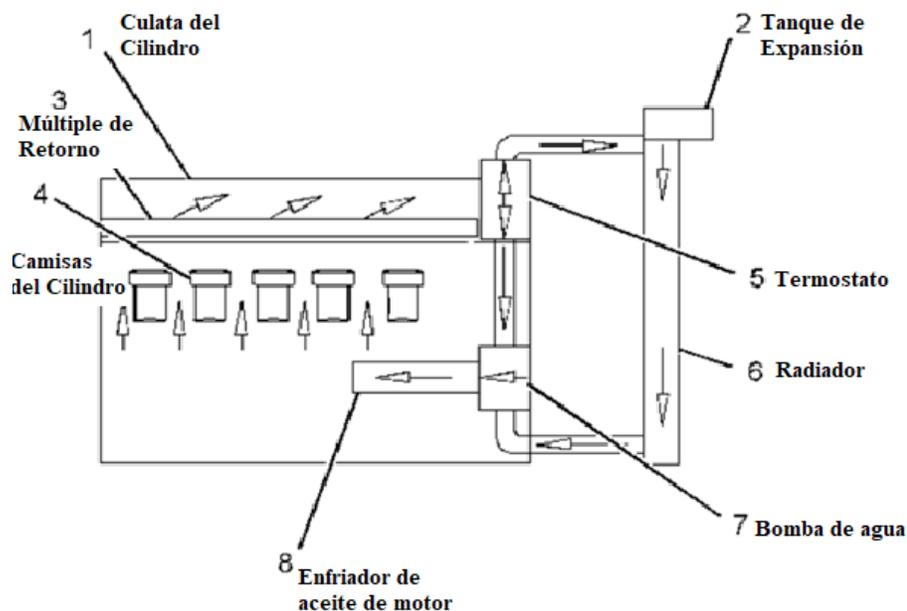


Figura 3.3. Sistema de Enfriamiento

La bomba de agua (7) extrae el refrigerante de la parte inferior del radiador. La bomba de agua se encuentra en el lado derecho de la caja del engranaje de sincronización delantero.

El rodete de la bomba de agua gira a 1,37 veces la velocidad del motor. Un engranaje loco impulsa la bomba de agua. El engranaje del cigüeñal hace girar el engranaje loco. Dos cojinetes de bolas soportan el eje de la bomba de agua. Un cojinete de bolas se encuentra en la caja de la bomba de agua. El otro cojinete de bolas se encuentra en la caja del engranaje de sincronización delantero. La cara del rodete de la bomba de agua está abierta. El rodete es fabricado de hierro fundido. La

tapa trasera es una fundición de matriz de aluminio. El sello de la bomba de agua es un sello de cartucho que se encuentra en el lado de admisión de la bomba de agua para proporcionar buen flujo de agua alrededor del sello para enfriarlo.

Se bombea el refrigerante a través del enfriador del aceite del motor (8). El refrigerante fluye luego hacia el múltiple de suministro. El múltiple de suministro, que se encuentra en el bloque motor, distribuye el refrigerante alrededor de la porción superior de las camisas de cilindro. En cada cilindro, el refrigerante fluye desde la camisa del cilindro a la culata. La culata está dividida en secciones de enfriamiento para cada cilindro. En la culata, el refrigerante fluye a través del centro del cilindro y de la maza del asiento del inyector. En el centro del cilindro, el refrigerante fluye alrededor del manguito del inyector encima de la lumbrera de escape. El refrigerante sale entonces hacia el múltiple de retorno (3). El múltiple de retorno acumula el refrigerante de cada cilindro y dirige el flujo hacia la caja del regulador del termostato (5). Cuando el termostato del refrigerante está en la posición cerrada, el refrigerante fluye a través del termostato. Esto permite que el refrigerante vaya directamente de regreso a la bomba de agua para volver a circular sin necesidad de pasar por el radiador. Cuando el termostato está en la posición abierta, el refrigerante pasa por el radiador y de nuevo a la entrada de la bomba de agua.

3.1.3. Sistema de Admisión de Aire y Escape

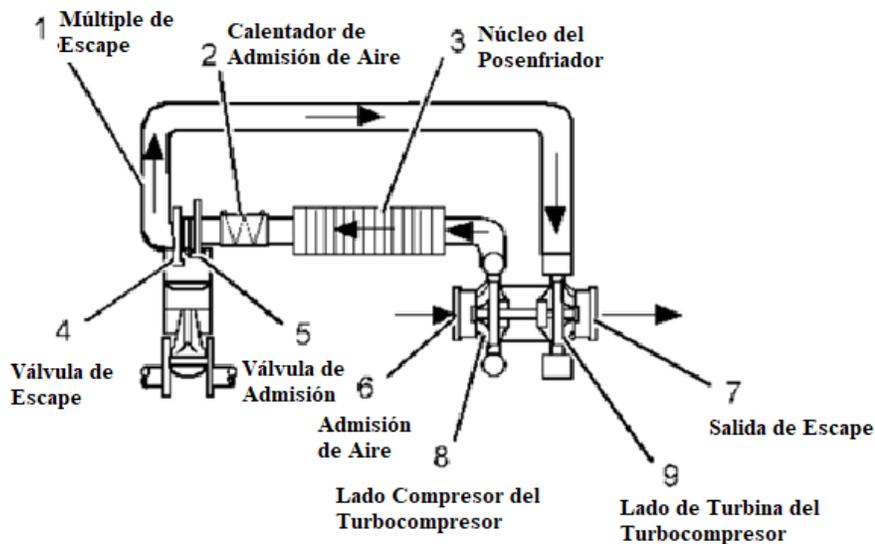


Figura 3.4. Sistema de Admisión de Aire y Escape

Los componentes del sistema de escape y de admisión de aire controlan la calidad y la cantidad de aire disponible para la combustión.

La rueda del compresor del turbocompresor (8) succiona el aire de admisión a través del filtro de aire hasta la admisión de aire (6). El aire se comprime y se calienta a aproximadamente 150 °C (302 °F) antes de enviarlo al posenfriador (3). Cuando el aire fluye por el posenfriador, la temperatura del aire comprimido desciende a alrededor de 43 °C (109 °F). El enfriamiento del aire de admisión aumenta la eficiencia de la combustión. El aumento de la eficiencia de la combustión contribuye al logro las siguientes ventajas:

- Consumo de combustible inferior
- Aumento en la entrega de potencia

Desde el posenfriador, el aire se fuerza hasta ingresar al múltiple de admisión. Las válvulas de admisión (5) controlan el flujo de aire que se dirige desde las cámaras de admisión hasta los cilindros. Hay dos válvulas de admisión y dos válvulas de escape (4) para cada cilindro. Las válvulas de admisión se abren cuando el pistón desciende en la carrera de admisión. Cuando estas válvulas se abren, el aire comprimido enfriado del orificio de admisión se succiona hasta el interior del cilindro. Las válvulas de admisión se cierran y el pistón comienza a moverse hacia arriba en la carrera de compresión. El aire en el cilindro se comprime. Cuando el pistón está cerca de la parte superior de la carrera de compresión, se inyecta combustible al cilindro. El combustible se mezcla con el aire y comienza la combustión. Durante la carrera de potencia, la fuerza de la combustión empuja el pistón hacia abajo. Las válvulas de escape se abren y los gases de escape se empujan a través del orificio de escape en el múltiple de escape (1) a medida que el pistón vuelve a subir en la carrera de escape. Después de la carrera de escape, las válvulas de escape se cierran y el ciclo comienza otra vez.

Los gases de escape del múltiple de escape (1) entran por el lado de la turbina del turbocompresor para hacer girar la rueda de turbina del turbocompresor (9). La rueda de turbina está conectada al eje que impulsa la rueda del compresor. Los gases de escape del turbocompresor pasan a través de la salida de escape (7), un silenciador y un tubo de escape vertical.

El Módulo de Control Electrónico (ECM) controla el calentador de admisión de aire (2). El calentador de admisión de aire facilita el arranque del motor y reduce el humo blanco durante el arranque del motor.

3.1.4. Sistema de Lubricación

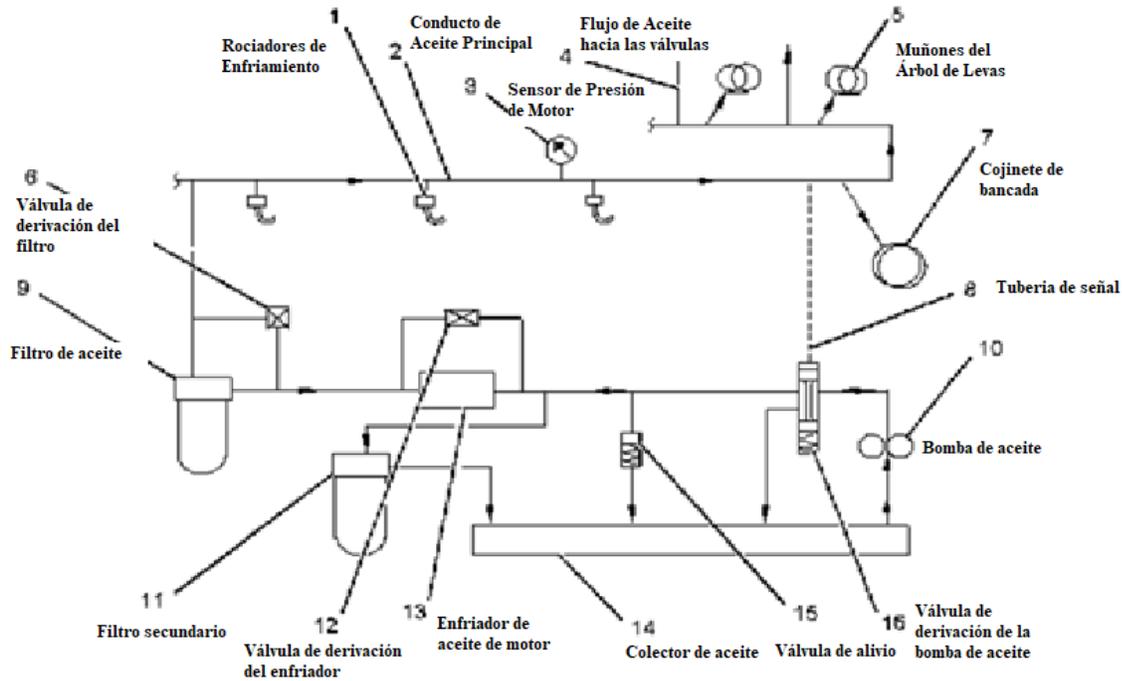


Figura 3.5. Sistema de Lubricación

La bomba de aceite del motor está montada en la parte trasera del tren de engranajes delanteros en el lado inferior derecho del motor. Un engranaje loco del engranaje del cigüeñal impulsa la bomba de aceite del motor. El aceite se extrae del sumidero, a través de la válvula de derivación de la bomba de aceite, en el camino hacia el enfriador de aceite del motor. La válvula de derivación controla la presión del aceite de la bomba de aceite del motor. La bomba de aceite del motor puede proporcionar aceite excesivo al sistema de lubricación. Cuando esto ocurre, la presión del aceite aumenta y la válvula de derivación se abre. La válvula de derivación abierta permite que el exceso de aceite regrese al sumidero.

La válvula de alivio de alta presión regula la alta presión en el sistema. La válvula de alivio de alta presión permitirá que el aceite regrese al sumidero cuando la presión del aceite alcance 680 kPa

(100 lb/pulg²). El aceite fluye entonces a través del enfriador de aceite del motor. El enfriador de aceite del motor usa refrigerante del motor para enfriar el aceite. La válvula de derivación del enfriador de aceite dirige el flujo de aceite a través del enfriador de aceite del motor mediante dos métodos diferentes.

Aproximadamente el cinco por ciento del flujo de aceite atraviesa un conducto que conduce hasta el filtro de aceite secundario (si tiene). El aceite fluye a través del filtro de derivación y llega al sumidero de aceite del motor. El flujo de aceite principal fluye ahora hacia el filtro primario de aceite del motor. Cuando el diferencial de presión del aceite a través de la válvula de derivación del filtro del aceite alcanza 200 kPa (29 lb/pulg²), la válvula permite que el flujo de aceite no pase por el filtro primario de aceite del motor para lubricar las piezas del motor. La válvula de derivación proporciona lubricación inmediata a los componentes del motor cuando haya una restricción en el filtro primario de aceite del motor debido a las siguientes condiciones:

- Aceite frío con alta viscosidad
- Filtro primario de aceite del motor taponado

El sistema de lubricación proporciona aceite filtrado a 110°C (230°F) y a 275 kPa (40 lb/pulg²) aproximadamente en las condiciones nominales de operación del motor. La válvula de derivación de la bomba de aceite es controlada por la presión del múltiple de aceite del motor y no por la presión de la bomba de aceite. La presión del múltiple de aceite del motor es independiente de la caída de presión causada por el filtro de aceite del motor y el enfriador de aceite del motor.

La válvula de derivación del enfriador de aceite mantiene la temperatura del aceite del motor a 110°C (230°F). La válvula de alivio de alta presión, que se encuentra en la base del filtro, protege los filtros y otros componentes durante los arranques en frío. La presión de apertura de la válvula de alivio de alta presión es de 695 kPa (100 lb/pulg²). El filtro secundario de aceite es un filtro de cinco micrones que filtra el cinco por ciento del flujo de aceite antes de regresar el aceite al sumidero. La presión de apertura de la válvula de derivación del filtro de aceite es de 170 kPa (25 lb/pulg²). El sensor de presión de aceite del motor forma parte del sistema de protección del motor.

Los cojinetes del cartucho del turbocompresor se lubrican mediante la tubería de suministro de aceite, que fluye desde el conducto principal de aceite, y la tubería de drenaje del aceite devuelve el aceite al sumidero.

El aceite filtrado fluye a través del conducto de aceite principal (2) en el bloque motor a los siguientes componentes:

- Rociadores de enfriamiento del pistón (1)
- Mecanismo de válvulas
- Cojinetes de árbol de levas
- Cojinetes de bancada
- Turbocompresor

Los rociadores de enfriamiento del pistón proporcionan cantidades abundantes de aceite al pistón. El aceite se utiliza para eliminar el calor del pistón. También se utiliza el aceite como lubricante.

El respiradero permite que los gases del motor escapen del cárter. El escape de gases del motor se libera a la atmósfera a través de una manguera. Esto impide que el aumento de presión pueda ocasionar fugas en los sellos o en las empaquetaduras.

3.1.5. Sistema de Control y Monitoreo Electrónico de La Máquina

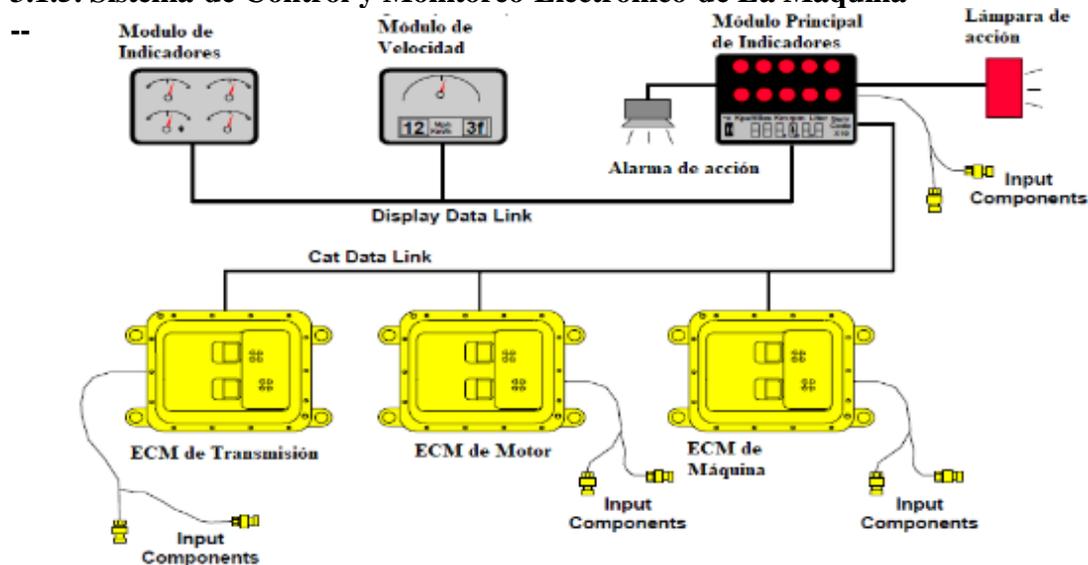


Figura 3.6. Sistema de Control y Monitoreo

El sistema de monitoreo Caterpillar es un sistema de monitoreo modular y flexible que incluye: un módulo de pantalla principal, varios interruptores y sensores, una lámpara de acción y una alarma de acción. El sistema también puede incluir un módulo de medidor de velocímetro / tacómetro, dependiendo de la aplicación de la máquina.

Esta ilustración muestra la relación del sistema de monitoreo Caterpillar con otros sistemas de control electrónico que se encuentran en una máquina Caterpillar típica.

El "corazón" del sistema es el módulo de pantalla principal donde se recibe y procesa la información de los interruptores, sensores y a través del enlace de datos CAT. El módulo de visualización principal activa varias salidas.

3.1.6. Sistema de Dirección:

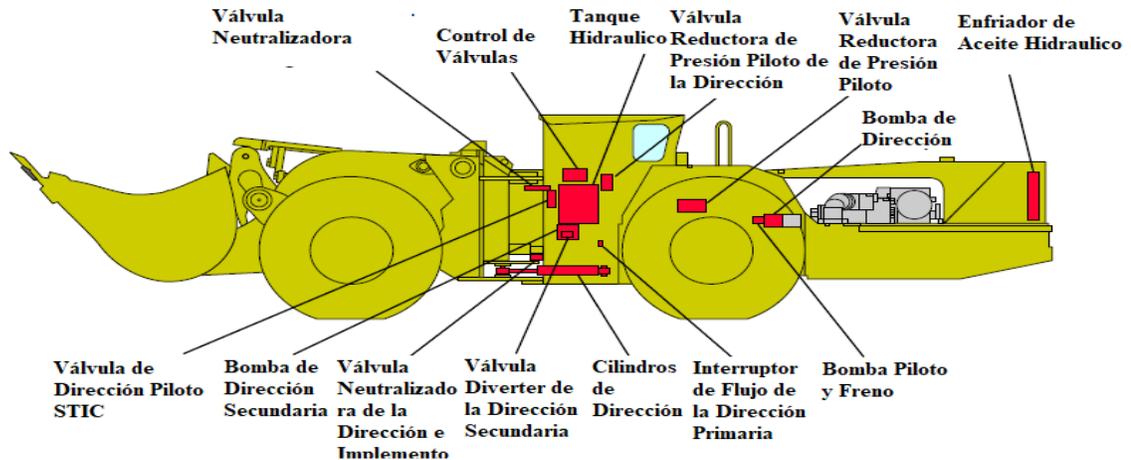


Figura 3.7. Sistema de Dirección

La máquina Load Haul Dump R1600G está equipada con dirección STIC. Un sistema de dirección secundario está disponible como opción.

El sistema hidráulico de dirección se compone de dos circuitos: el circuito piloto y el circuito de alta presión. El sistema de dirección comparte aceite con el sistema hidráulico.

Los componentes principales del circuito piloto son la bomba piloto y de frenado, la válvula reductora de presión piloto, la válvula selectora y de control de presión, la válvula neutralizadora de la dirección y del implemento, la válvula reductora de presión piloto de la dirección, la válvula piloto de la dirección STIC y las válvulas neutralizadoras de la dirección.

Los componentes principales del circuito de alta presión son la bomba de dirección, la válvula de control de dirección y los cilindros de dirección.

3.1.7. Sistema de Frenos

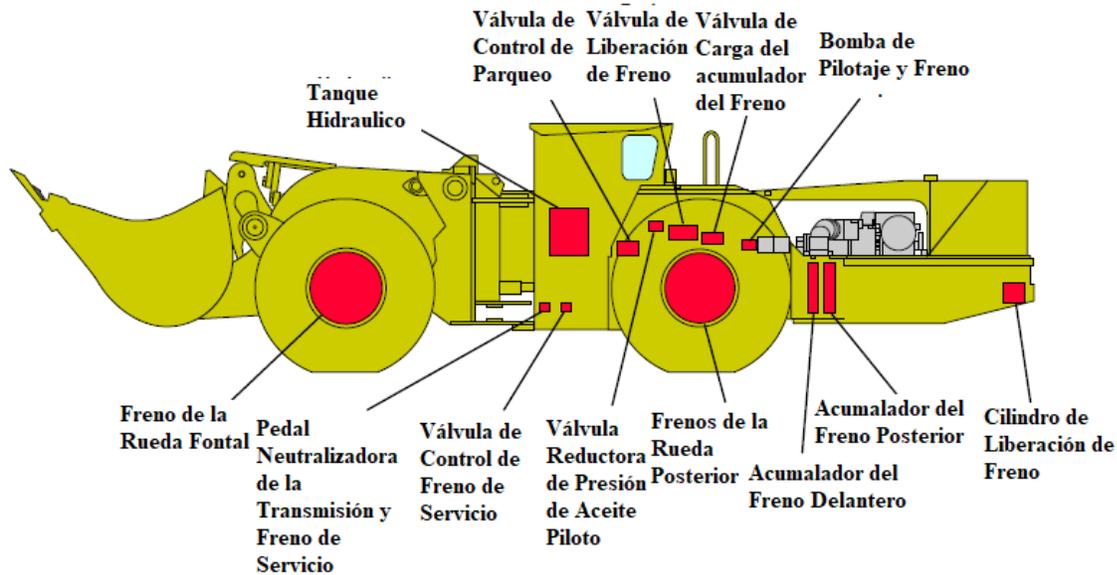


Figura 3.8. Sistema de Frenos

El sistema de frenado incluye un circuito de freno de servicio y un circuito de freno de estacionamiento que acciona los frenos de las cuatro ruedas de la máquina. Los frenos de servicio se aplican mediante presión de aceite y se liberan mediante la fuerza de un resorte. Los frenos de estacionamiento se activan y desactivan por resorte mediante la presión del aceite. El aceite para el circuito de frenado se almacena en el tanque hidráulico.

Los componentes principales del circuito del freno de servicio son el piloto y la bomba de frenado, la válvula de carga del acumulador del freno, el acumulador del freno, la válvula de control del freno de servicio, los frenos de las ruedas delanteras y los frenos de las ruedas traseras.

Los componentes principales del circuito del freno de estacionamiento son el piloto y la bomba de frenado, la válvula de control del freno de estacionamiento, los frenos de las ruedas delanteras y los frenos de las ruedas traseras.

3.1.8. Sistema Hidráulico

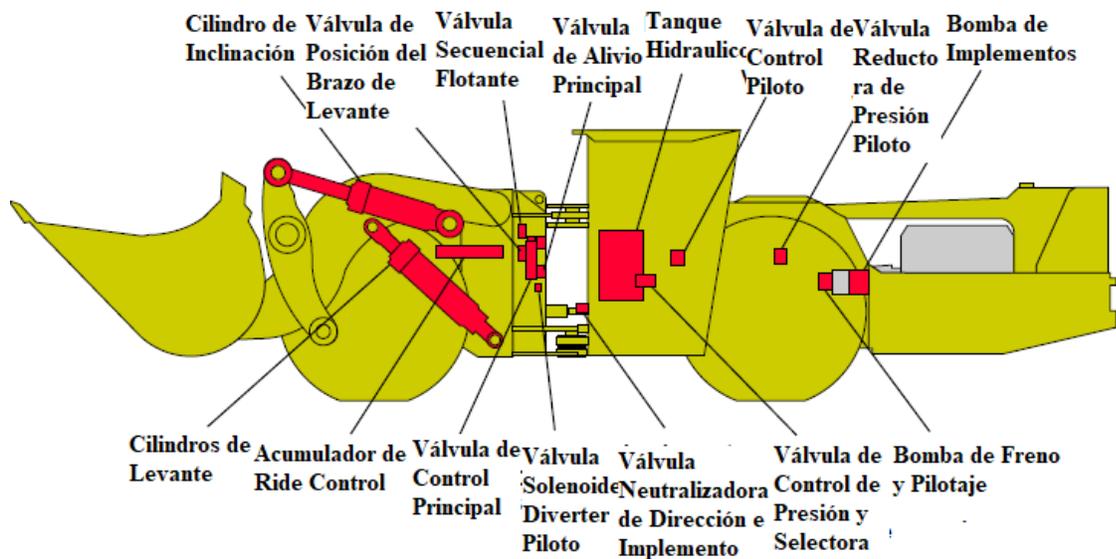


Figura 3.9 Sistema de Hidráulico

El sistema hidráulico del implemento tiene dos sistemas: el sistema piloto y el sistema principal. El sistema de aceite principal (implemento) es un sistema de centro abierto controlado por el sistema de aceite piloto. El aceite del sistema de implementos se almacena en el tanque hidráulico.

Los componentes principales del sistema piloto son: bomba piloto y de frenado, válvula reductora de presión de aceite piloto, válvula selectora y de control de presión, válvula de control piloto y válvula neutralizadora del implemento y de la dirección.

Los componentes principales del sistema del implemento principal son: bomba del implemento, válvula de control principal, cilindro de inclinación y cilindros de levante.

3.1.9. Tren de Fuerza

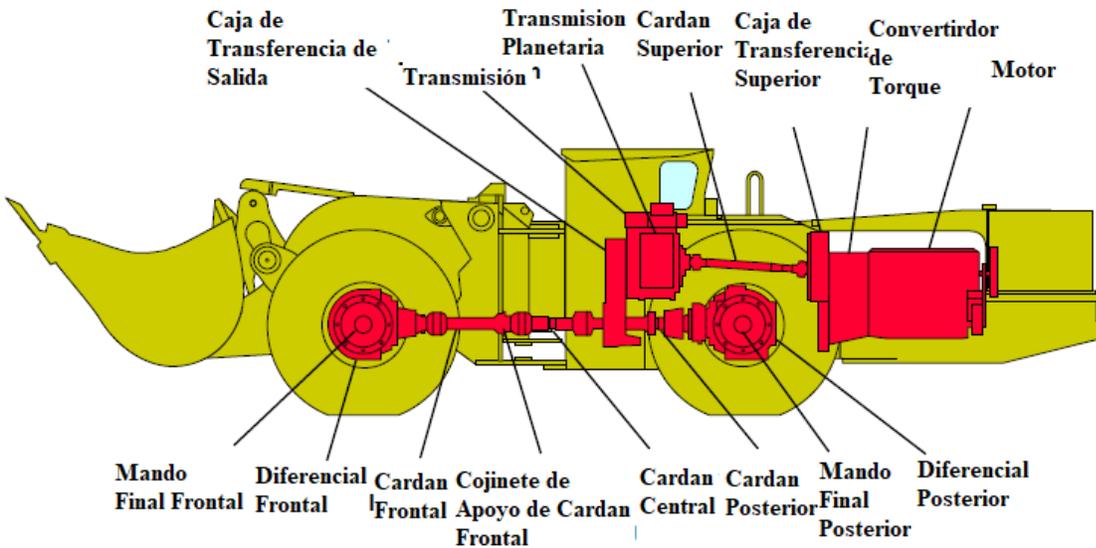


Figura 3.10. Sistema de Tren de Fuerza

Esta ilustración muestra el flujo de energía a través del tren de fuerza de la máquina de carga, transporte y descarga R1600G.

La potencia del motor se envía desde el volante al convertidor de par. La carcasa del convertidor de par está atornillada a la carcasa del volante del motor. El eje de salida del convertidor de par está conectado a los engranajes ascendentes. La potencia de los engranajes ascendentes se envía a través del eje de transmisión superior al eje de entrada del planetario de la transmisión.

La caja de transferencia superior tiene dos funciones: transferir potencia del convertidor de par a la transmisión y accionar la bomba del implemento, la bomba de dirección, la bomba piloto y de frenado, la bomba de carga de la transmisión y la bomba de barrido del convertidor de par.

La transmisión controla la velocidad y la dirección de la máquina con seis embragues en el planetario de la transmisión.

El eje de salida planetario de la transmisión está conectado al engranaje de entrada de los engranajes de transferencia de salida. La energía se envía a través del engranaje de entrada de los engranajes de transferencia de salida al engranaje de salida. El engranaje de salida envía potencia a través del eje de transmisión trasero al diferencial trasero. Los engranajes de transferencia de salida también envían potencia a través del eje de transmisión central y el eje de transmisión delantero al diferencial delantero.

Los engranajes diferenciales hacen girar los semiejes hacia los mandos finales delanteros y mandos finales traseros.

Los mandos finales hacen girar las ruedas.

El eje delantero es fijo y el eje trasero oscila.

3.2. Análisis Situacional de los Cargadores de Bajo Perfil

3.2.1. Recopilación de Datos

La elección de los tres Scoops No 16,17 y 18 se realizó en base a las condiciones similares de trabajo que vienen realizando en los socavones de la minera, además estos presentan horas de trabajo muy parecidas y fueron adquiridas a Caterpillar y presentan el mismo lote de fabricación, esto conlleva a comparar su funcionamiento y parámetros de operación bajo los mismos estándares de diseño y operación.

El primer paso en el análisis de confiabilidad es la recopilación de datos. Para realizar un análisis de mantenimiento efectivo, es esencial contar con datos precisos y completos. Los datos de mantenimiento presentados en este documento se refieren a tres Cargadores de Bajo Perfil R1600G (Scoop No 16, 17 y 18) Caterpillar. Estos datos se recopilaron durante un período de 12 meses (enero a diciembre de 2014) mediante el uso de formularios escritos a mano preparados por personal de mantenimiento, informes diarios y tarjetas de mantenimiento. Estas tarjetas de mantenimiento incluyen el tiempo hasta la falla, el contador de horas de la máquina y el tiempo hasta las reparaciones. Antes de analizar las características de la máquina y los datos de fallas, la máquina debe clasificarse en varios sistemas y subsistemas para categorizar los tipos de fallas que ocurren en la máquina. Estas clasificaciones dependerán de los registros de mantenimiento que lleve el personal de mantenimiento, así como del razonamiento que describa estos registros. En este trabajo se aplica el mantenimiento preventivo como un subsistema con el fin de asegurar un correcto mantenimiento. El mantenimiento preventivo se define como las acciones realizadas en un intento de retener un artículo en una condición específica al proporcionar una inspección, detección y prevención sistemáticas de fallas incipientes. El subsistema de clasificación útil para una flota de tres Cargadores de Bajo Perfil se presentó en la Tabla 3.1.

Sub-Sistema	Código
Motor	MO
Tren de Fuerza	TR
Hidraulico	HI
Frenos	FR
Equipo	EQ
Electronico	EL
Cuchara	CU
Neumaticos	NE

Tabla 3.1. Codificación de Subsistemas

3.2.2. Clasificación de Datos

Se han realizado tres pasos básicos antes del análisis de datos para determinar las características de confiabilidad.

Estos son la recopilación de datos de diferentes fuentes de la mina, la clasificación de los datos requeridos para el análisis y la clasificación de datos en la forma requerida para el análisis (tiempo entre fallas (TBF), tiempo de reparación (TTR), frecuencia de reparación, avería total horas, horas totales de trabajo, horas totales de mantenimiento, etc.

Diseñamos nuestras propias tablas para ordenar los datos cronológicamente. La parte de los datos recopilados para el Cargador de Bajo Perfil R1600G (Scoop No.16, No.17 y No.18) se dan en la Tabla 3.2, 3.3 y 3.4, respectivamente.

No	Sistemas Reparados	TTR(hours)	TTR Acumulado	TBF(hours)	(i-1)TBF	TBF Acumulado
1	MOTOR	18	18	97	0	97
2	ELECTRONICO	10	28	103	97	200
3	MOTOR	8	36	80	103	280
4	TREN DE FUERZA	8	44	70	80	350
5	HIDRAULICO	12	56	53	70	403
6	MOTOR	6	62	52	53	455
7	ELECTRONICO	6	68	30	52	485
8	ELECTRONICO	5	73	169	30	654
9	MOTOR	12	85	39	169	693
10	NEUMATICOS	4	89	40	39	733
11	ELECTRONICO	4	93	44	40	777
12	FRENOS	5	98	106	44	883
13	CUCHARA	12	110	50	106	933
14	HIDRAULICO	12	122	28	50	961
15	NEUMATICOS	12	134	32	28	993
16	HIDRAULICO	10	144	81	32	1074
17	ELECTRONICO	12	156	73	81	1147
18	MOTOR	6	162	31	73	1178
19	MOTOR	8	170	96	31	1274
20	ELECTRONICO	9	179	4	96	1278
21	HIDRAULICO	12	191	56	4	1334
22	ELECTRONICO	8	199	104	56	1438
23	MOTOR	12	211	40	104	1478
24	MOTOR	27	238	8	40	1486
25	EQUIPO	12	250	66	8	1552
26	HIDRAULICO	8	258	108	66	1660
27	HIDRAULICO	8	266	63	108	1723
28	TREN DE FUERZA	10	276	44	63	1767
29	HIDRAULICO	8	284	66	44	1833
30	EQUIPO	8	292	122	66	1955
31	NEUMATICOS	8	300	108	122	2063
32	MOTOR	7	307	73	108	2136
33	CUCHARA	12	319	19	73	2155
34	CUCHARA	12	331	34	19	2189
35	HIDRAULICO	12	343	32	34	2221
36	MOTOR	12	355	46	32	2267
37	ELECTRONICO	10	365	36	46	2303

Tabla 3.2. Datos de fallas para el análisis basado en la confiabilidad del Scoop No. 16

No	Sistemas Reparados	TTR(hours)	TTR Acumulado	TBF(hours)	(i-1)TBF	TBF Acumulado
1	MOTOR	8	8	50	0	50
2	TREN DE FUERZA	4.5	12.5	6	50	56
3	HIDRAULICO	12	24.5	46	6	102
4	CUCHARA	12	36.5	102	46	204
5	NEUMATICO	8	44.5	68	102	272
6	HIDRAULICO	12	56.5	77	68	349
7	ELECTRONICO	4	60.5	226	77	575
8	MOTOR	10	70.5	179	226	754
9	TREN DE FUERZA	200.5	271	71	179	825
10	EQUIPO	12	283	75	71	900
11	HIDRAULICO	6	289	112	75	1012
12	CUCHARA	12	301	176	112	1188
13	TREN DE FUERZA	12	313	82	176	1270
14	TREN DE FUERZA	12	325	45	82	1315
15	ELECTRONICO	2	327	94	45	1409
16	MOTOR	8	335	6	94	1415
17	ELECTRONICO	6	341	39	6	1454
18	HIDRAULICO	12	353	24	39	1478
19	HIDRAULICO	4	357	21	24	1499
20	MOTOR	6	363	80	21	1579
21	HIDRAULICO	7	370	32	80	1611
22	CUCHARA	12	382	45	32	1656
23	HIDRAULICO	8	390	96	45	1752
24	HIDRAULICO	8	398	89	96	1841
25	TREN DE FUERZA	12	410	41	89	1882
26	MOTOR	10	420	103	41	1985
27	HIDRAULICO	14	434	64	103	2049
28	HIDRAULICO	7	441	108	64	2157

Tabla 3.3. Datos de fallas para el análisis basado en la confiabilidad del Scoop No. 17

No	Sistemas Reparados	TTR(hours)	TTR Acumulado	TBF(hours)	(i-1)TBF	TBF Acumulado
1	HIDRAULICO	6	3.17	60	0	60
2	ELECTRONICO	8	11.17	100	60	160
3	ELECTRONICO	7	18.17	73	100	233
4	HIDRAULICO	12	30.17	100	73	333
5	EQUIPO	8	38.17	87	100	420
6	MOTOR	8	46.17	61	87	481
7	ELECTRONICO	6	52.17	9	61	490
8	MOTOR	5	57.17	54	9	544
9	MOTOR	12	69.17	45	54	589
10	ELECTRONICO	4	73.17	54	45	643
11	ELECTRONICO	4	77.17	76	54	719
12	HIDRAULICO	7	84.17	62	76	781
13	HIDRAULICO	6	90.17	40	62	821
14	HIDRAULICO	12	102.17	17	40	838
15	ELECTRONICO	8	110.17	113	17	951
16	MOTOR	9	119.17	22	113	973
17	TREN DE FUERZA	5	124.17	71	22	1044
18	MOTOR	7	131.17	81	71	1125
19	ELECTRONICO	24	155.17	97	81	1222
20	HIDRAULICO	12	167.17	56	97	1278
21	HIDRAULICO	13	180.17	12	56	1290
22	HIDRAULICO	10	190.17	103	12	1393
23	ELECTRONICO	9	199.17	39	103	1432
24	ELECTRONICO	4	203.17	84	39	1516
25	HIDRAULICO	8	211.17	94	84	1610
26	MOTOR	14	225.17	106	94	1716
27	NEUMATICOS	12	237.17	87	106	1803
28	TREN DE FUERZA	9	246.17	35	87	1838
29	TREN DE FUERZA	9	255.17	97	35	1935
30	TREN DE FUERZA	9	264.17	108	97	2043
31	HIDRAULICO	12	276.17	81	108	2124
32	MOTOR	67	343.17	139	81	2263
33	MOTOR	69	412.17	133	139	2396

Tabla 3.4. Datos de fallas para el análisis basado en la confiabilidad del Scoop No. 18

2.3. Análisis de Los Parámetros Frecuencia de Reparación Mediante Métodos Gráficos

El siguiente paso fue analizar los datos mediante métodos gráficos con el fin de evaluar parámetros como la frecuencia de reparación, el tiempo entre fallas (TBF), el tiempo de reparación (TTR), el total de horas de trabajo y el tiempo total de reparación. Se calculan los TBF y TTR para subsistemas. La frecuencia de reparación, el tiempo total de reparación, el porcentaje de las reparaciones totales, el mínimo y el máximo para cada tipo de falla para los tres cargadores de bajo perfil (Scoop No 16,17 y 18) se proporcionan en la Tabla 3.5, 3.6 y 3.7. Los datos de las Tablas se pueden visualizar mejor en las figuras 3.11 y 3.12 para el Scoop No. 16, las figuras 3.13 y 3.14 para el Scoop No. 17 y las figuras 3.15 y 3.16 para el Scoop No 18. La figura 3.11, 3.13 y 3.15 se muestra el porcentaje de reparaciones totales y la frecuencia de las reparaciones en función del tipo de falla para cada uno de los Scoops No.16, 17 y 18. Al estudiar la figura 3.13 se puede ver que el sistema de motor e hidráulico son las reparaciones que ocurren con más frecuencia para el Scoop No. 16 y consumen la mayor parte del tiempo de reparación. También al estudiar la figura 3.14, se puede ver que los sistemas de tren de fuera e hidráulico son las reparaciones que ocurren con más frecuencia en el Scoop No.17 y consume la mayor cantidad de tiempo de reparación. Finalmente, al estudiar la figura 3.15, se puede ver que los sistemas de motor e hidráulico son las reparaciones que ocurren con más frecuencia en el Scoop No.18 y consume la mayor cantidad de tiempo de reparación. Estos gráficos brindan una mejor vista de las tendencias de fallas del equipo. En la Tabla 3.8 se proporciona un resumen del tiempo de funcionamiento, disponibilidad, el número total de reparaciones y el total de horas de reparación para los Scoops.

	Tipo de falla	MO	TR	HI	FR	EQ	EL	CU	NE
Scoop 16	Frecuencia de Reparación	10	2	8	1	2	8	3	3
	Tiempo de Reparación(horas)	116	18	82	5	20	64	36	24
	Porcentaje del total de Reparaciones	27%	5%	22%	3%	5%	22%	8%	8%
	Mínimo	6	8	8	5	8	4	12	4
	Máximo	27	10	12	5	12	12	12	12
	Promedio	11.6	9	10.25	5	10	8	12	8

Tabla 3.5. Resumen de las características de mantenimiento para cada tipo de falla del Scoop 16

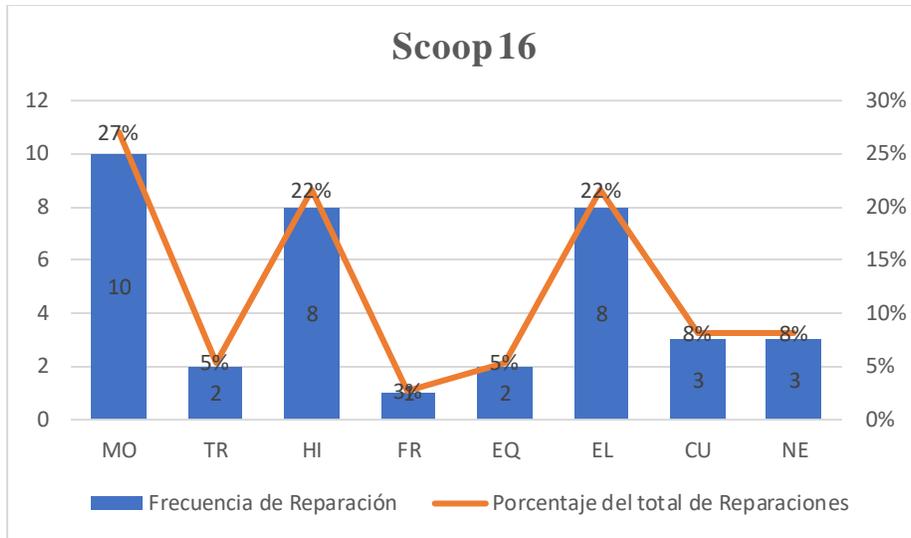


Figura 3.11. Frecuencia de reparación y porcentaje del total de reparaciones versus tipo de falla para el Scoop No. 16

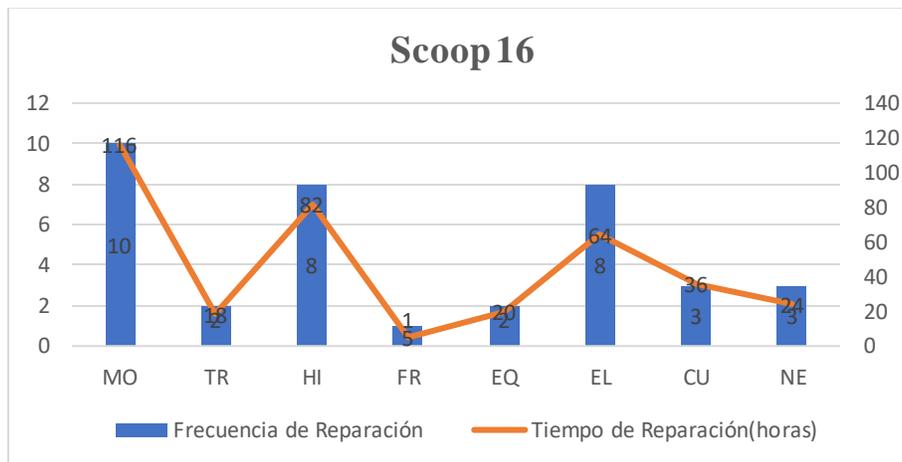


Figura 3.12. Tiempo de reparación y frecuencia de reparación versus al tipo de falla para el Scoop No. 16

		Tipo de falla	MO	TR	HI	EQ	EL	CU	NE
Scoop 17	Frecuencia de Reparación		5	5	10	1	3	3	1
	Tiempo de Reparación(horas)		42	241	90	12	12	36	8
	Porcentaje del total de Reparaciones		14%	14%	27%	3%	8%	8%	3%
	Mínimo		6	4.5	4	12	2	12	8
	Máximo		10	200.5	14	12	6	12	8
	Promedio		8.4	48.2	9	12	4	12	8

Tabla 3.6. Resumen de las características de mantenimiento para cada tipo de falla. del Scoop 17

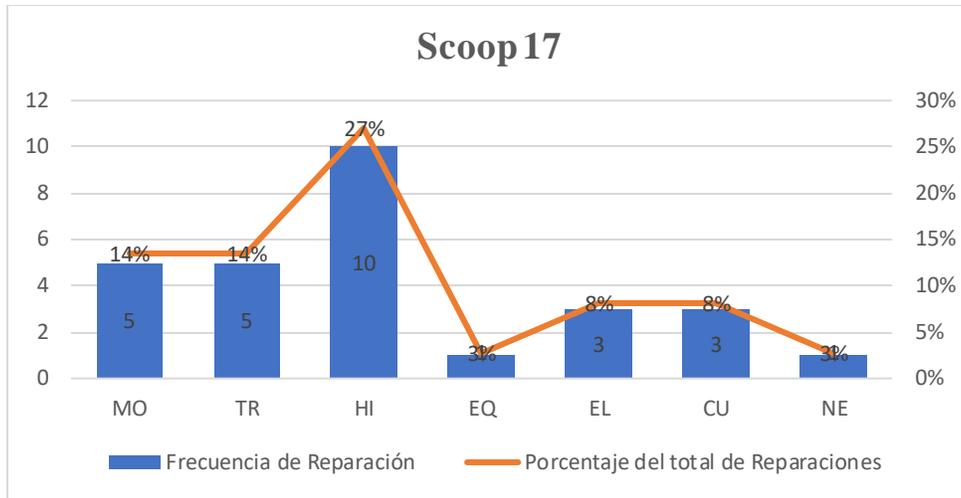


Figura 3.13. Frecuencia de reparación y porcentaje del total de reparaciones versus tipo de falla para el Scoop No. 17

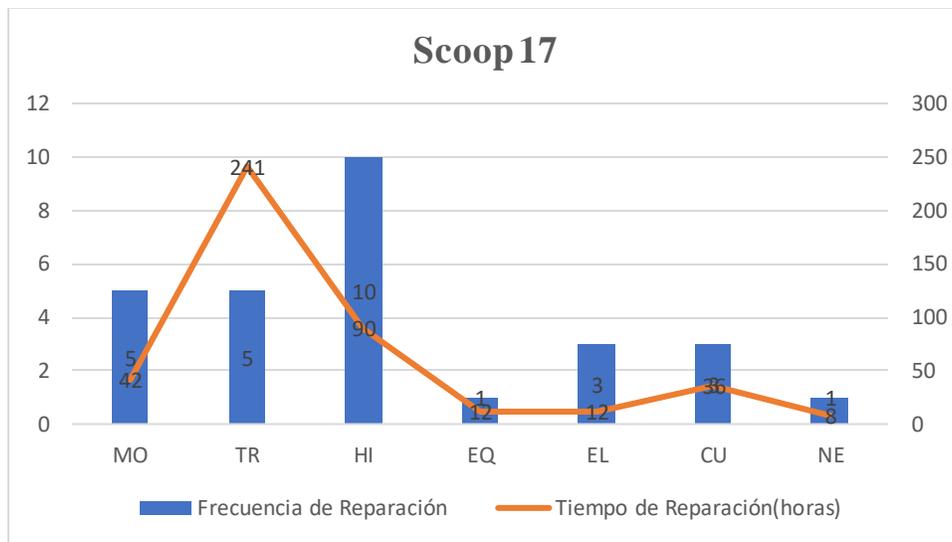


Figura 3.14. Tiempo de reparación y frecuencia de reparación versus al tipo de falla para el Scoop No. 17

Scoop 18	Tipo de falla	MO	TR	HI	EQ	EL	NE
	Frecuencia de Reparación	8	4	10	1	9	1
	Tiempo de Reparación(horas)	191	32	98	8	74	12
	Porcentaje del total de Reparaciones	22%	11%	27%	3%	24%	3%
	Mínimo	5	5	6	8	4	12
	Máximo	69	9	13	8	24	12
	Promedio	23.87	8	9.8	8	8.2	12

Tabla 3.7. Resumen de las características de mantenimiento para cada tipo de falla del Scoop 18

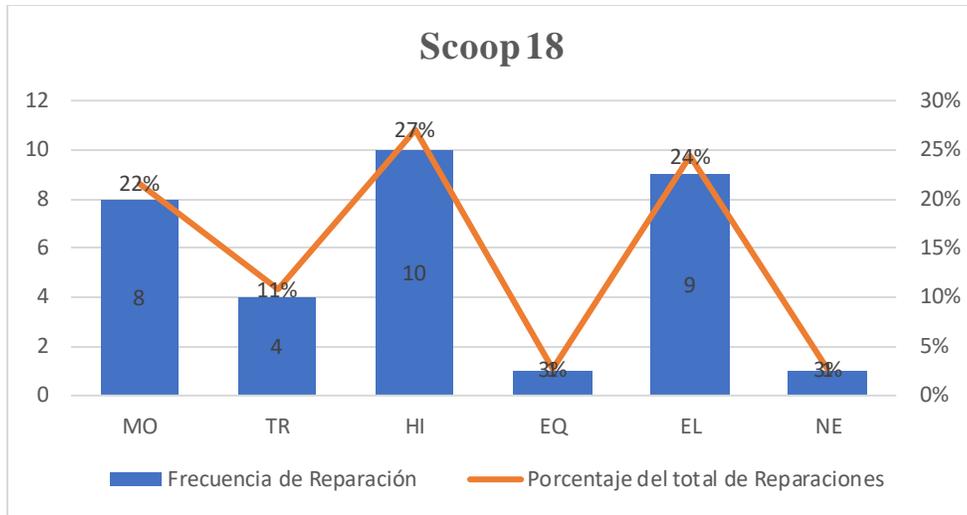


Figura 3.15. Frecuencia de reparación y porcentaje del total de reparaciones versus tipo de falla para el Scoop No. 18

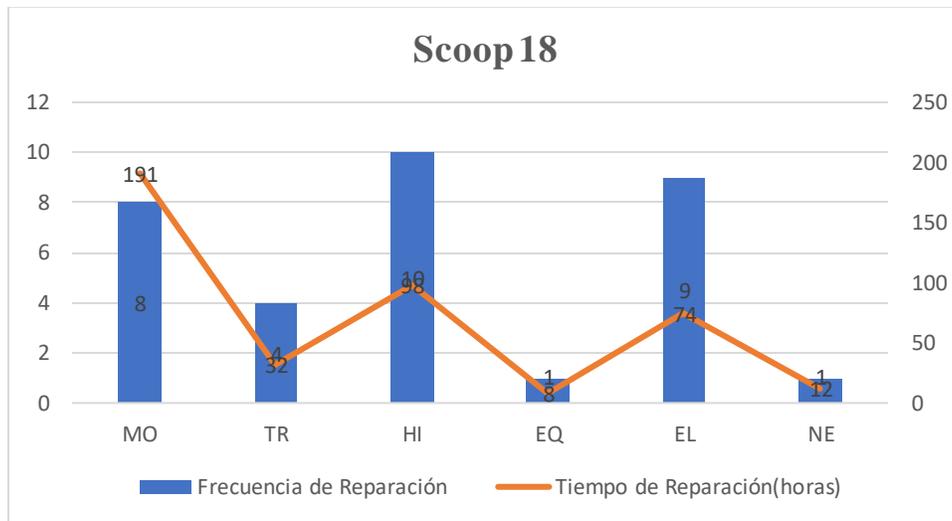


Figura 3.16. Tiempo de reparación y frecuencia de reparación versus al tipo de falla para el Scoop No. 18

	Scoop No.16	Scoop No.17	Scoop No.18
Horas de Operación	2303	2157	2396
Numero Total de Reparaciones	37	28	33
Horas Totales de Reparación	365	441	415
MTTR	9.86	15.75	12.58
MTBF	62.24	77.04	72.61
Disponibilidad	86%	83%	85%
Disponibilidad de Flota	85%		

Tabla 3.8. Resumen de las características de falla para la flota de Cargadores de Bajo Perfil.

3.3. Alternativas de Solución para la Selección de la Metodología de Gestión de Mantenimiento:

3.3.1. Justificación de la Metodología usada: Matriz AHP

Para realizar la selección de la metodología de gestión de mantenimiento se utilizó la metodología del Proceso Analítico Jerárquico, conocido en inglés como Analytic Hierarchy Process (AHP) para tomar una decisión más acertada e identificar la alternativa más adecuada de solución al problema de la baja disponibilidad de los Equipos Móviles Underground, se presentan alternativas para la comparación de metodologías de mantenimiento en base a las ventajas y desventajas de una respecto a otra según se muestra en la tabla 3.9. y los criterios de evaluación y ponderación de las tablas 3.10. y 3.11 respectivamente.

a) Alternativas de metodología de solución

En este proyecto se analizarán 03 metodologías para solucionar el problema de baja eficiencia de la línea de producción.

- Mantenimiento Productivo Total (TPM)
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)
- Justo a tiempo (JIT)

A continuación, en tabla, se presenta el análisis de las principales ventajas y desventajas de las tres metodologías mencionadas anteriormente

METODOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
TPM	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora productividad • Mejora la calidad • Reduce costos totales de producción • Participación de operador 	<ul style="list-style-type: none"> • Proyecto a largo de plazo • Mantenimiento básico • Costos inicial alto, pero bajo a largo plazo • Cambio de cultura organizacional
RCM	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis efectivo de confiabilidad • Reducción de costo de mantenimiento • Profesional altamente calificado 	<ul style="list-style-type: none"> • Proyecto a mediano plazo • Mantenimiento complejo y detallado • Alto costos en instrumentos de diagnostico
JIT	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el nivel de stock • Reducción costo de mantenimiento y producción • Planificación efectiva de repuestos e insumos a mediano y largo plazo 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruptura de stock por mala planificación • Mantenimiento complejo y detallado • Variación de costos según la planificación

Tabla 3.9. Análisis de metodologías entre TPM, RCM y JIT

b) Criterios de selección y resultado de metodología

Según las causas principales que afectan la baja de eficiencia de la línea de producción se menciona los siguientes criterios:

N°	Criterio de Evaluación
1	Eficiencia global de equipos
2	Competencia de personal
3	Tiempo de implementación
4	Inversión
5	5s
6	Logística repuestos e insumos

Tabla 3.10. Criterios de evaluación

Valorización Puntaje	Valor
Igual importancia	1
Mediamente importante	2
Importante	3
Muy Importante	5

Tabla 3.11. Valorización de Metodología

La matriz AHP inicialmente compara los criterios mencionados y logra como resultado el vector promedio de cada criterio evaluado.

Comparación por pares						
Criterio de evaluación	Eficiencia global de equipos	Competencia de personal	Tiempo de Implementación	Inversión	5s	Logística repuestos e insumos
Eficiencia global de equipos	1.00	3.00	3.00	3.00	5.00	5.00
Competencia de personal	0.33	1.00	2.00	3.00	3.00	5.00
Tiempo de Implementación	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00	3.00
Inversión	0.33	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
5s	0.20	0.33	0.33	0.50	1.00	3.00
Logística repuestos e insumos	0.20	0.20	0.33	0.33	0.33	1.00
Total	2.40	5.37	7.17	9.83	14.33	20.00

Tabla 3.12. Comparación entre criterios de evaluación

Matriz Normalizada						
Eficiencia global de equipos	Competencia de personal	Tiempo de Implementación	Inversión	5s	Logística repuestos e insumos	Vector Promedio
0.42	0.56	0.42	0.31	0.35	0.25	0.38
0.14	0.19	0.28	0.31	0.21	0.25	0.23
0.14	0.09	0.14	0.20	0.21	0.15	0.16
0.14	0.06	0.07	0.10	0.14	0.15	0.11
0.08	0.06	0.05	0.05	0.07	0.15	0.08
0.08	0.04	0.05	0.03	0.02	0.05	0.05

Tabla 3.13. Matriz Normalizada, Análisis y ponderación de criterios de evaluación

Luego estas metodologías se comparan con cada criterio mencionado, la cual se obtiene un vector promedio como observa en la siguiente tabla:

Criterio : Eficiencia global de equipos							
Comparación por pares				Matriz Normalizada			
Evaluación	RCM	TPM	JIT	RCM	TPM	JIT	Vector Promedio
RCM	1	5	5	0.71	0.81	0.45	0.66
TPM	0.2	1	5	0.14	0.16	0.45	0.25
JIT	0.2	0.2	1	0.14	0.03	0.09	0.09
Total	1.4	6.2	11				

Tabla 3.14. Comparación de criterio N°1 con cada metodología propuesta.

Criterio : Competencia de Personal							
Comparación por pares				Matriz Normalizada			
Evaluación	RCM	TPM	JIT	RCM	TPM	JIT	Vector Promedio
RCM	1.00	3.00	5.00	0.65	0.71	0.45	0.61
TPM	0.33	1.00	5.00	0.22	0.24	0.45	0.30
JIT	0.20	0.20	1.00	0.13	0.05	0.09	0.09
Total	1.53	4.20	11.00				

Tabla 3.15. Comparación de criterio N°2 con cada metodología propuesta.

Criterio : Tiempo de Implementacion							
Comparación por pares				Matriz Normalizada			
Evaluación	RCM	TPM	JIT	RCM	TPM	JIT	Vector Promedio
RCM	1.00	3.00	5.00	0.65	0.69	0.56	0.63
TPM	0.33	1.00	3.00	0.22	0.23	0.33	0.26
JIT	0.20	0.33	1.00	0.13	0.08	0.11	0.11
Total	1.53	4.33	9.00				

Tabla 3.16. Comparación de criterio N°3 con cada metodología propuesta.

Criterio : Inversion							
Comparación por pares				Matriz Normalizada			
Evaluación	RCM	TPM	JIT	RCM	TPM	JIT	Vector Promedio
RCM	1	2	5	0.59	0.63	0.45	0.56
TPM	0.5	1	5	0.29	0.31	0.45	0.35
JIT	0.2	0.2	1	0.12	0.06	0.09	0.09
Total	1.7	3.2	11				

Tabla 3.17. Comparación de criterio N°4 con cada metodología propuesta.

Criterio: 5S							
Comparación por pares				Matriz Normalizada			
Evaluación	RCM	TPM	JIT	RCM	TPM	JIT	Vector Promedio
RCM	1.00	0.33	1.50	0.65	0.05	0.25	0.32
TPM	3.00	1.00	3.00	1.96	0.15	0.50	0.87
JIT	0.66	0.33	1.00	0.43	0.05	0.17	0.22
Total	1.53	6.50	6.00				

Tabla 3.18. Comparación de criterio N°5 con cada metodología propuesta.

Criterio : Logística repuestos e insumos							
Comparación por pares				Matriz Normalizada			
Evaluación	RCM	TPM	JIT	RCM	TPM	JIT	Vector Promedio
RCM	1	2	1	0.40	0.50	0.33	0.41
TPM	0.5	1	1	0.20	0.25	0.33	0.26
JIT	1	1	1	0.40	0.25	0.33	0.33
Total	2.5	4	3				

Tabla 3.19. Comparación de criterio N°6 con cada metodología propuesta.

Finalmente, realiza la suma de productos entre Metodologías y promedio total de cada criterio la cual se obtiene como mayor porcentaje de 53% al RCM como decisión final.

Criterio de Evaluación	Eficiencia global de equipos	Competencia de personal	Tiempo de Implementación	Inversión	5S	Logística repuestos e Insumos	Resultados
RCM	0.66	0.61	0.63	0.56	0.32	0.41	0.53
TPM	0.25	0.30	0.26	0.35	0.87	0.26	0.38
JIT	0.09	0.09	0.11	0.09	0.21	0.33	0.17

Tabla 3.20. Resultado de la Evaluación.

Para comprobar la comparación de criterios si son coherentes o correcta ponderación, para ello se realiza el cálculo de consistencia (con la finalidad de que no exista ninguna inclinación para alguna alternativa en la metodología), se multiplica la matriz inicial con vector promedio obteniendo la relación de consistencia para cada criterio luego se suma los valores obteniendo la relación de consistencia máxima N_{max} : 6.36.

Criterio de evaluación	Eficiencia global de equipos	Competencia de personal	Tiempo de Implementación	Inversión	5s	Logística repuestos e insumos	Vector Promedio	Relación de Consistencia
Eficiencia global de equipos	1.00	3.00	3.00	3.00	5.00	5.00	0.38	2.48
Competencia de personal	0.33	1.00	2.00	3.00	3.00	5.00	0.23	1.46
Tiempo de Implementación	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00	3.00	0.16	0.99
Inversión	0.33	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00	0.11	0.68
5s	0.20	0.33	0.33	0.50	1.00	3.00	0.08	0.47
Logística repuestos e insumos	0.20	0.20	0.33	0.33	0.33	1.00	0.05	0.28
Total	2.40	5.37	7.17	9.83	14.33	20.00		6.36

Tabla 3.21. Relación de consistencia Nmax

RESULTADOS DE CONSISTENCIA		
Fomulas	Criterio de evaluación	Resultados
$CI=(N_{max}-n)/(n-1)$	CI:Indice de consistencia	0.07272656
$RI=1.98*(N-2)/n$	RI:consistencia aleatoria	1.32
$CR=CI/RI$	CR:Relacion de consistencia	0.05509588
n=numero de criterios	Resultado Razonable $CR<0.1$	Razonable

Tabla 3.22. Resultados de la relación de consistencia

3.3.2. Verificación del Supuesto IID

La verificación del supuesto de que las fallas son independientes e idénticamente distribuidas (IID) es fundamental. Si la suposición de que los datos son independientes no es válida, entonces las técnicas estadísticas clásicas para el análisis de confiabilidad pueden no ser apropiadas (Law & Kelton, 1991).¹¹

La independencia de la muestra significa que los datos están libres de tendencias y cada falla es independiente de la falla anterior o posterior. Los datos distribuidos de forma idéntica significan que todos los datos de la muestra se obtienen de la misma distribución de probabilidad (Vagenas., 2003).¹²

¹¹ Law A.M., Kelton W.D., 1991. Simulation modeling and analysis. Second Edition. New York: McGraw-Hill.

¹² Vagenas, N., Kazakidis, V., Scoble, M., Espley, S., 2003. Applying a maintenance methodology for excavation reliability. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 17, 4-19.

Dos métodos gráficos comunes que se utilizan para evaluar la independencia de la muestra son la prueba de tendencia y la prueba de correlación en serie. La prueba de tendencias se puede utilizar para determinar tendencias en los patrones de falla de una máquina completa o de un subsistema individual. Una prueba de tendencia implica graficar el número de fallas acumuladas contra el tiempo acumulado entre fallas. La presencia de una tendencia indica correlación. La forma del gráfico de tendencia revelará si un equipo está experimentando una tasa de fallas decreciente (mejorando) o una tasa de fallas creciente (deteriorándose).

Una gráfica lineal indica que no hay una tendencia observable en la tasa de fallas. Un aumento en la tasa de falla se representa mediante una línea de tendencia con una pendiente en constante aumento, mientras que una disminución en la tasa de falla se ilustra mediante una línea de tendencia con una pendiente en constante disminución. Las Fig. 3.17, 3.19 y 3.21 ilustran la prueba de tendencia para el Cargador de Bajo Perfil R1600G No. 16,17 y 18 respectivamente. Como se puede ver en las figuras, la prueba de tendencia muestra una línea recta y significa que los datos están libres de tendencia. Por lo tanto, se satisface el primer criterio para datos independientes e idénticamente distribuidos.

La prueba de correlación serial es una gráfica de los pares de datos (X_i, X_{i-1}) para $i = 1, \dots, n$, donde n es el número de falla. Si las X son independientes, entonces los puntos deben estar dispersos al azar en el diagrama. Si las X son dependientes o están correlacionadas, los puntos deben estar a lo largo de una línea. Es importante tener en cuenta que los puntos de datos deben trazarse en el orden en que se recopilaron. En la Fig. 3.18, 3.20 y 3.22 se muestran un diagrama de dispersión del tiempo entre fallas (TBF) para el Cargador de Bajo Perfil R1600G No. 16,17 y 18 respectivamente. Los puntos están dispersos aleatoriamente por toda la trama. Esto indica que los datos están libres de correlaciones y se puede suponer que son independientes. Por lo tanto, podemos aceptar la suposición de datos independientes e idénticamente distribuidos (IID) para los tres Cargadores de Bajo Perfil y, en consecuencia, los datos pueden ajustarse a distribuciones de probabilidad teóricas para cálculos de confiabilidad.

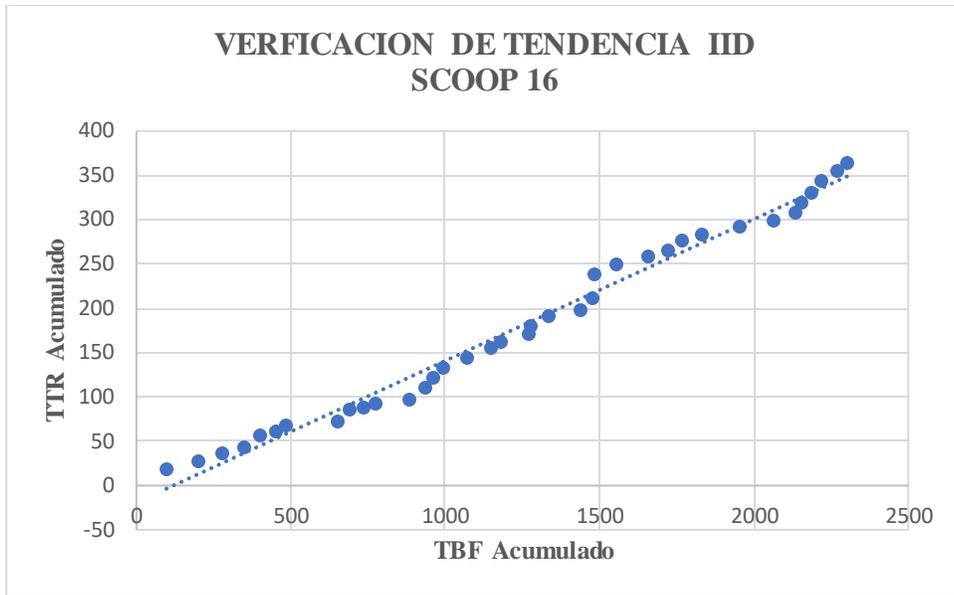


Figura 3.17. Gráfico de tendencia para el Scoop No. 16

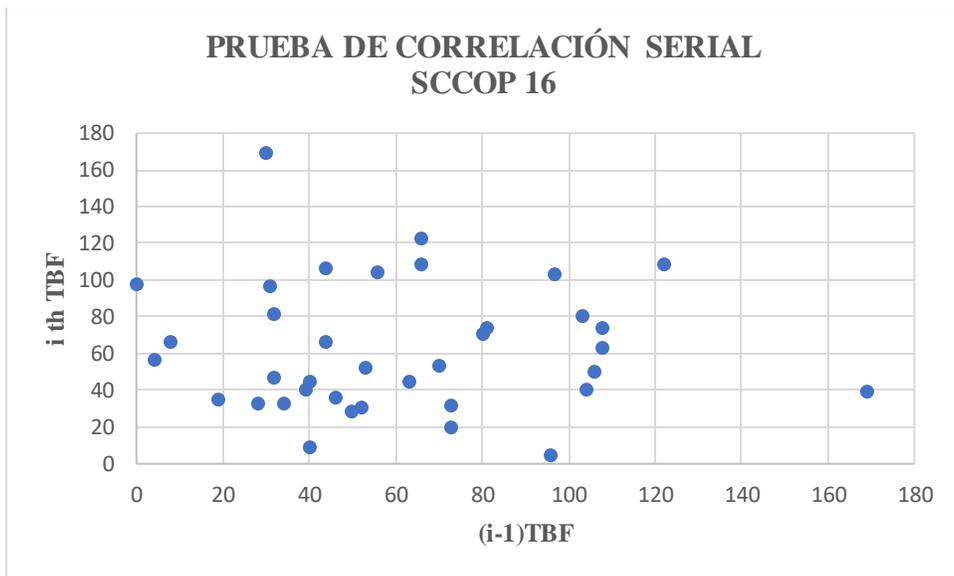


Figura 3.18. Gráfico de dispersión para la correlación serial de prueba para el Scoop No. 16

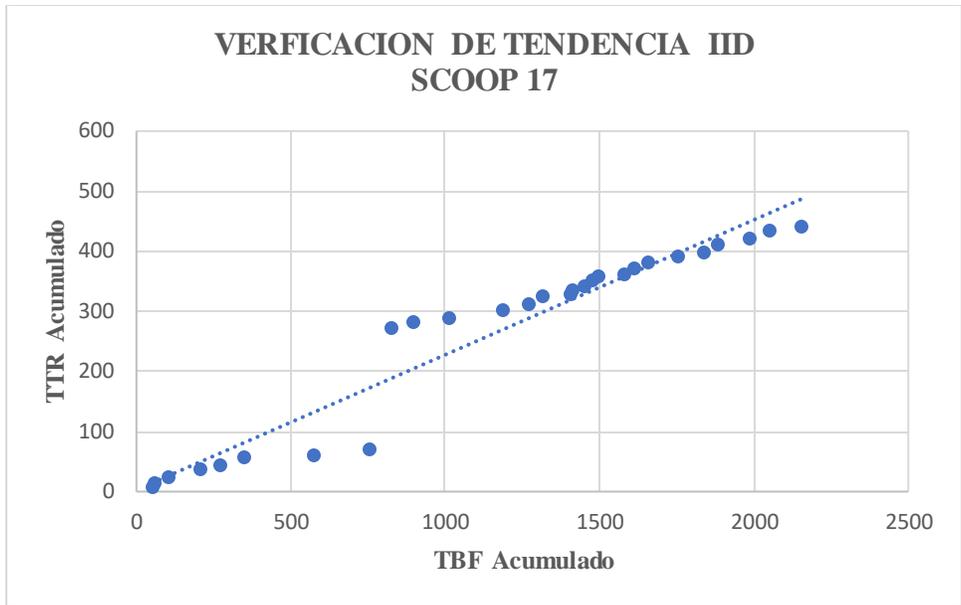


Figura 3.19. Gráfico de tendencia para el Scoop No. 17

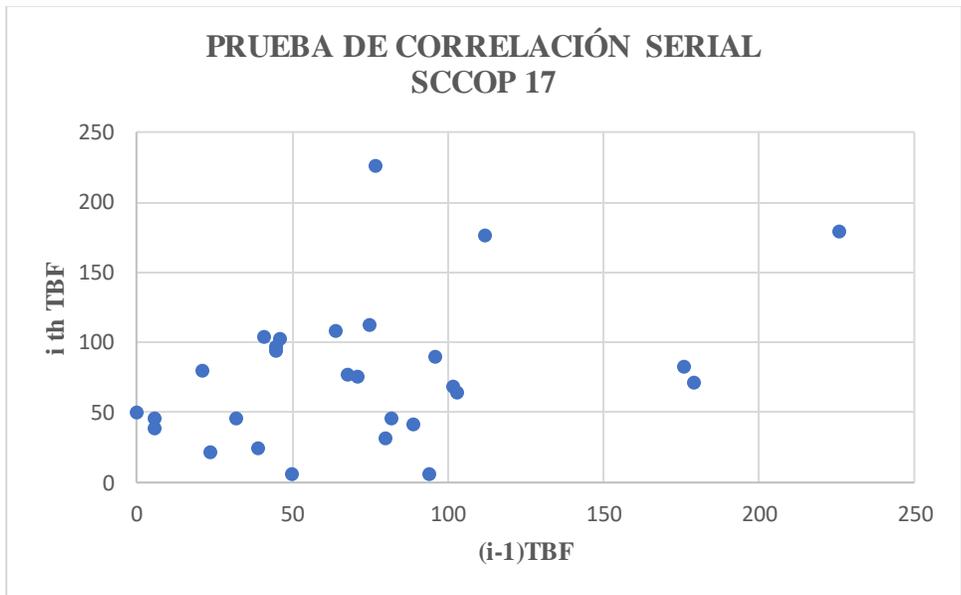


Figura 3.20. Gráfico de dispersión para la correlación serial de prueba para el Scoop 17

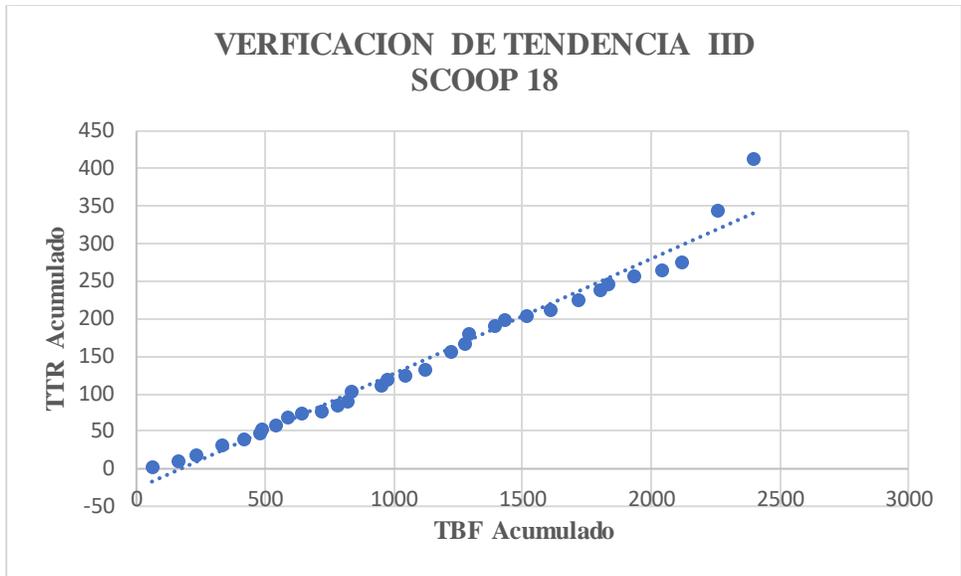


Figura 3.21. Gráfico de tendencia para el Scoop No. 18

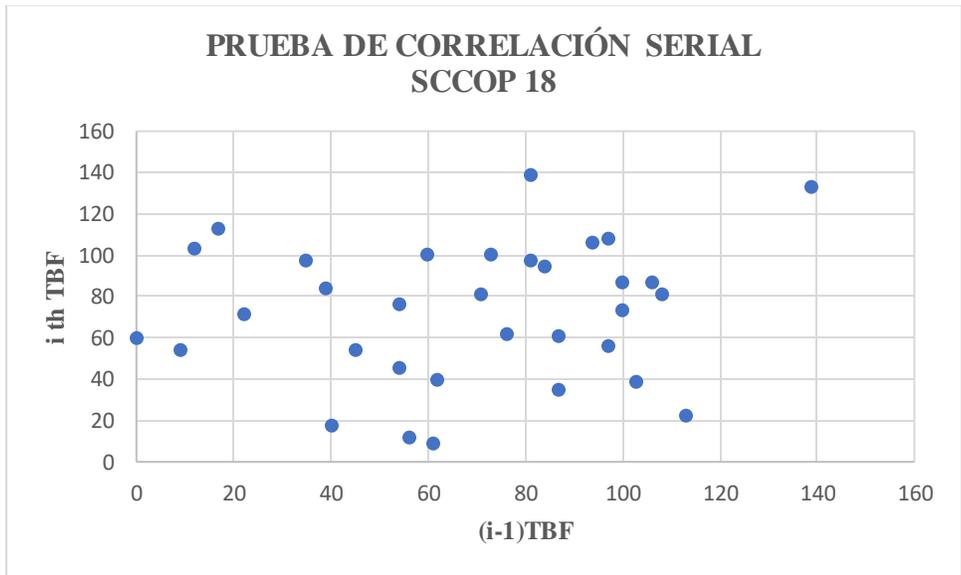


Figura 3.22. Gráfico de dispersión para la correlación serial de prueba para el Scoop 18

3.3.3. Evaluar La Bondad de Ajuste de un Modelo de Distribución de Probabilidad a las Fallas

Una vez que se han recopilado los datos y se ha determinado que están libres de correlaciones y tendencias, el siguiente paso es evaluar la bondad de ajuste de un modelo de distribución de probabilidad a las fallas. Las distribuciones de probabilidad teóricas ofrecen el beneficio de suavizar cualquier irregularidad en los datos recopilados y contribuyen a tomar decisiones imparciales sobre un proceso o sistema. Los dos métodos más comunes para evaluar la bondad de ajuste de un conjunto de datos son la prueba de Chi-Cuadrado y la prueba de Anderson-Darling. Una de las pruebas no paramétricas más utilizadas para evaluar la bondad de ajuste de los tiempos de reparación y el tiempo entre fallas es la prueba de Anderson-Darling (adj). La prueba examina las diferencias entre la distribución teórica y la distribución acumulativa observada.

Esta prueba se puede realizar fácilmente utilizando un paquete de software de ajuste de distribución de probabilidad (MINITAB). Se probó la bondad de ajuste de los datos de los Cargadores de Bajo Perfil (Scoop No. 16,17 y 18). Se ajustaron cuatro métodos de distribución como el parámetro Weibull, el parámetro Exponencial 1, el parámetro Exponencial 2 y Lognormal a los datos de tiempo entre fallas (TBF).

La Tabla 4.23. ilustra los resultados de estas pruebas para los datos de TBF utilizando el software MINITAB. Este software evalúa la bondad de ajuste de una distribución de probabilidad a los datos utilizando distribuciones de probabilidad teóricas.

Los valores bajo la prueba Anderson-Darling indican la desviación máxima entre la distribución acumulativa de los datos y la distribución de probabilidad teórica del modelo TBF para cada subsistema y para toda la máquina. Para la prueba de Anderson-Darling, los mejores valores son los más bajos calculados para cada una de las cuatro distribuciones de probabilidad teóricas.

Scoop 16	Anderson-Darling(adj)					Mejor Ajuste	
	Subsistema	Weibull	Lognormal	Exponencial	Exponencial 2 parámetros		
	MO	1.537	1.694	1.833	1.863		Weibull
	HI	1.737	1.918	2.833	2.534		Weibull
Máquina	0.797	1.489	3.631	3.14	Weibull		

Tabla 3.23. Resultados de la evaluación de Bondad de Ajuste para la determinación de la mejor distribución de ajuste para los datos TBF (sistema motor, hidráulico y máquina) del Scoop No. 16

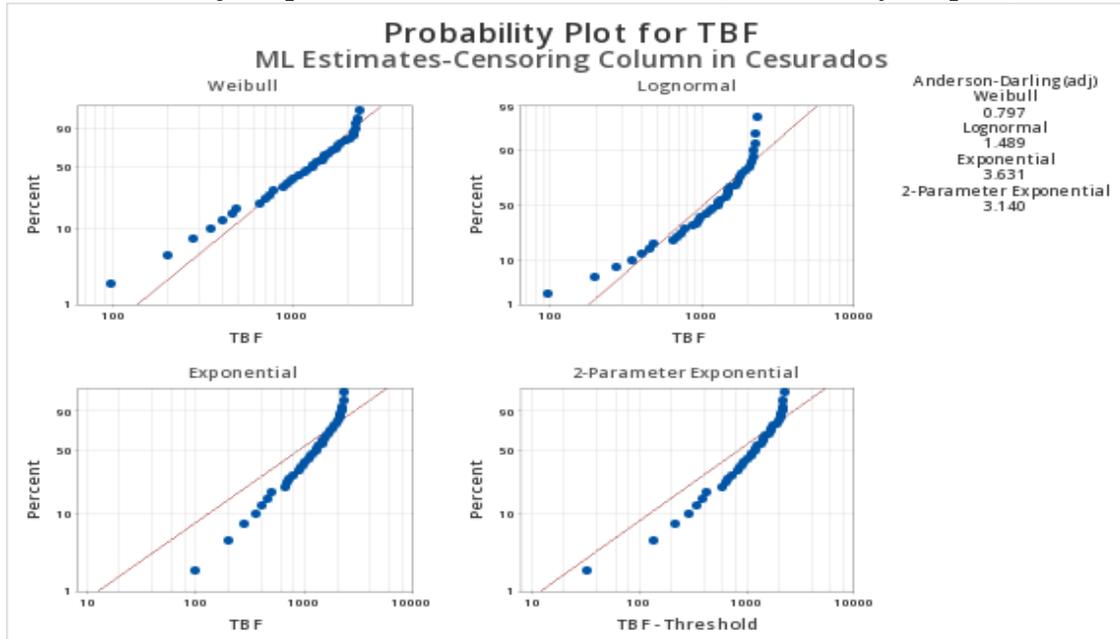


Figura 3.23. Resultados de la evaluación de Bondad de Ajuste para la determinación de la mejor distribución de ajuste para los datos TBF de máquina del Scoop No. 16.

Scoop 17	Anderson-Darling(adj)					Mejor Ajuste	
	Subsistema	Weibull	Lognormal	Exponencial	Exponencial 2 parámetros		
	TR	2.8	2.923	2.882	2.951		Weibull
	HI	2.083	2.371	2.616	2.661		Weibull
Máquina	1.984	2.852	2.838	2.812	Weibull		

Tabla 3.24. Resultados de la evaluación de Bondad de Ajuste para la determinación de la mejor distribución de ajuste para los datos TBF (sistema transmisión, hidráulico y máquina) del Scoop No.

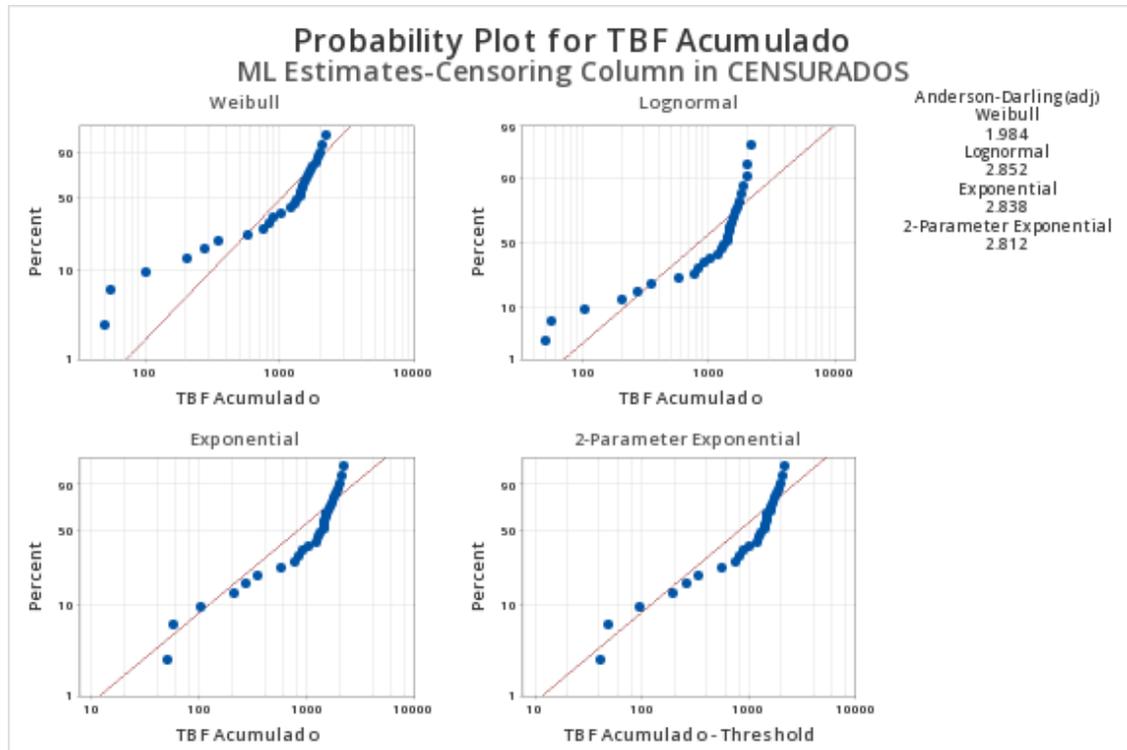


Figura 3.24. Resultados de la evaluación de Bondad de Ajuste para la determinación de la mejor distribución de ajuste para los datos TBF de máquina del Scoop No. 17.

Scoop 18	Anderson-Darling(adj)					Mejor Ajuste
	Subsistema	Weibull	Lognormal	Exponencial	Exponencial 2 parámetros	
MO		1.834	1.843	2.193	1.787	Exponencial 2 parámetros
HI		1.641	2.039	2.171	2.273	Weibull
Máquina		0.604	1.232	2.579	2.455	Weibull

Tabla 3.25. Resultados de la evaluación de Bondad de Ajuste para la determinación de la mejor distribución de ajuste para los datos TBF (motor, hidráulico y máquina) del Scoop No. 18

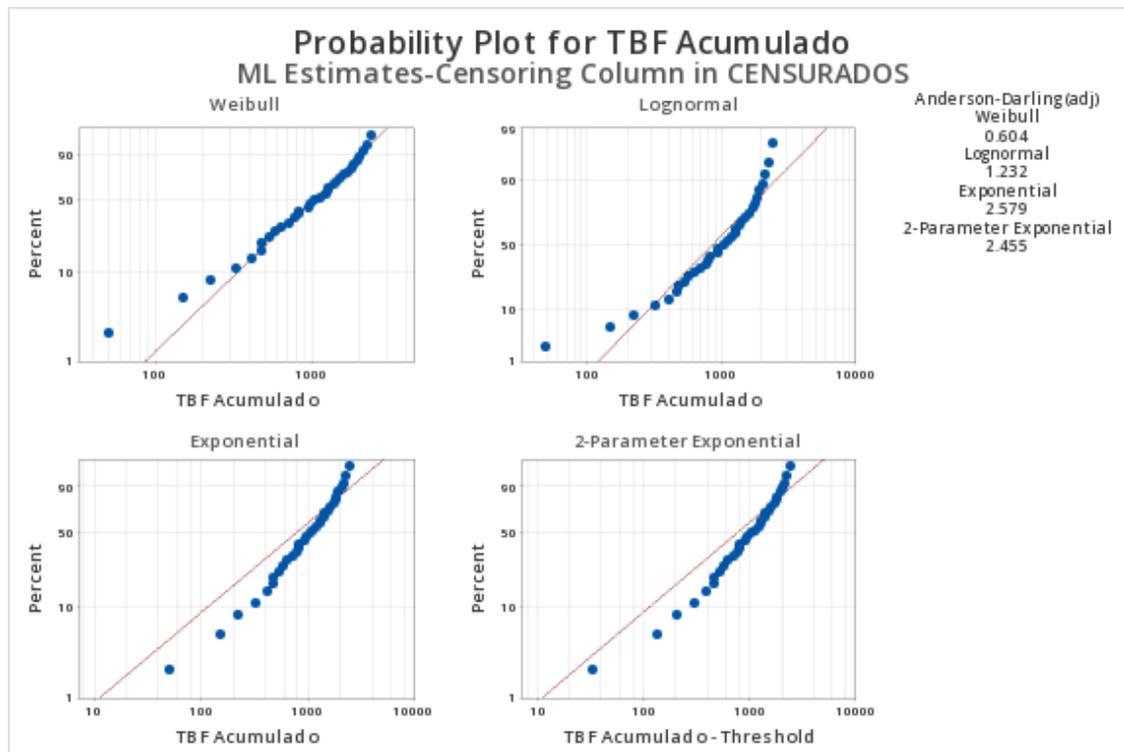


Figura 3.25. Resultados de la evaluación de Bondad de Ajuste para la determinación de la mejor distribución de ajuste para los datos TBF de máquina del Scoop No. 18

3.4. Diseño del Plan De Mantenimiento:

3.4.1. Planificación de actividades:

Para el cumplimiento de esta actividad, se identificaron los objetivos del plan y se organizaron las actividades necesarias para el cumplimiento de estos propósitos. Para ello, se diseñó un cronograma que se representa en un diagrama de Gantt, el cual fue realizado bajo la metodología de mejora continua denominada ciclo de Deming:

- a) Planificar: en esta fase se hizo la identificación de las fallas, la selección de los equipos a mejorar y la planeación de las actividades.
- b) Hacer: se ejecutaron las actividades planificadas en la etapa anterior de acuerdo como el modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- c) Verificar: se desarrollaron los índices posteriores a la implementación para evaluar los cambios en las dimensiones de estudio.
- d) Actuar: se evaluaron las mejoras y se determinaron nuevas oportunidades para el futuro.

ACTIVIDADES	MESES/SEMANAS											
	ENERO 2015			FEBRERO 2015			MARZO 2015					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fase I. Planificar												
Definición del modelo de RCM a implementar												
Planificación de actividades de mejora:												
1. Determinación de los equipos con menores niveles de disponibilidad												
2. Definir las características y los sistemas que contienen el equipo seleccionado												
3. Análisis de modo de fallas para los equipos y máquinas de la empresa												
4. Plan de mantenimiento preventivo												
5. Control y seguimiento del plan de mantenimiento												
6. Adquisición de Stock de Repuestos												
7. Capacitación al personal												
Asignación de responsabilidades y plazos de entrega												
Estimación de costos mediante presupuesto de Implementación												
Fase II. Hacer												
1. Determinación de los equipos con menores niveles de disponibilidad:												
Cálculo de indicadores base de mantenimiento (MTTR, MTBF, disponibilidad).												
Identificación de los equipos con menor disponibilidad.												

ACTIVIDADES	MESES/SEMANAS											
	ENERO 2015			FEBRERO 2015			MARZO 2015					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2. Definir las características y los sistemas que contienen el equipo seleccionado												
Identificación de equipos.												
Elaboración de hoja técnica de cada equipo a intervenir												
Elaboración de lista de partes.												
3. Análisis de modo de fallas para los equipos y máquinas de la empresa												
Elaboración del análisis de modo de fallas para los equipos y máquinas de la empresa.												
Elaboración del análisis de fallas para los equipos críticos.												
Determinación de criterios de gravedad												
Determinación de criterios de probabilidad de falla												
Determinación de criterios de detectabilidad de falla												
Evaluación del efecto, la causa de la falla y los controles actuales que utiliza la empresa												
4. Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM												
Elaboración de plan de mantenimiento preventivo de los equipos críticos.												
5. Control y seguimiento del plan de mantenimiento												
Actividades de control y seguimiento.												
Formatos de control e inspección.												

ACTIVIDADES	MESES/SEMANAS											
	ENERO 2015			FEBRERO 2015			MARZO 2015					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6. Adquisición de Stock de Repuestos												
Determinación de inventario												
Cotización de compras.												
7. Capacitación al personal												
Formación en metodología RCM.												
Formación en mecánica básica.												
Formación en mantenimiento de partes electrónicas.												
Fase III. Verificar												
Recolección de datos para evaluar resultados post implementación												
Cálculo y comparación de índice de disponibilidad												
Cálculo de los indicadores de costo y beneficio												
Fase IV. Actuar												
Evaluación de resultados con la dirección												

Planificación de Actividades para el Diseño del Plan de Mantenimiento

3.4.2. Determinación de Los Sistemas Críticos para cada Uno de Los Cargadores de Bajo Perfil (SCOOP N° 16,17 Y18)

3.4.2.1. Análisis Por Pareto “SCOOP N°16”

Sistema	TTR Acumulado(horas)	Porcentaje Acumulado
MOTOR	116	33%
HIDRAULICO	82	57%
ELECTRONICO	54	73%
CUCHARA	36	83%
NEUMATICOS	24	90%
EQUIPO	20	96%
TREN DE FUERZA	10	99%
FRENOS	5	100%

Tabla 3.26. Análisis del TTR por Pareto Scoop 16

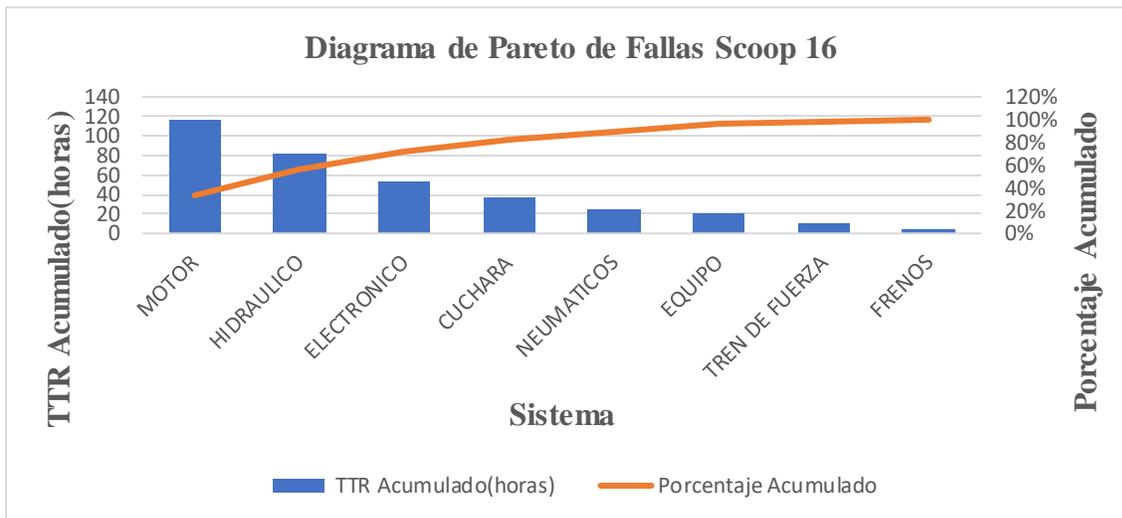


Figura 3.26. Los sistemas de motor e hidráulico presentan la mayor cantidad de horas por parada de la máquina.

FALLAS MAS RECURRENTES EN LOS SISTEMAS CRITICOS SEGÚN EL DIAGRAMA DE PARETO				
Sistema	Fallas 1	Fallas 2	Fallas 3	Falla 4
MOTOR	Cambio de Inyectores	Cambio de Mecanismo de Valvulas por Desgaste	Desgaste de Fajas	Problemas de Recalentamiento
HIDRAULICO	Falla de Bomba Hidraulica	Falla de Lineas Hidraulicas		

Tabla 3.27. Tipo de fallas para los sistemas más críticos.

3.4.2.2. Análisis Por Pareto “SCOOP N°17”

Sistema	TTR Acumulado(horas)	Porcentaje Acumulado
TREN DE FUERZA	236.5	55%
HIDRAULICO	90	76%
MOTOR	42	86%
CUCHARA	36	94%
ELECTRONICO	12	97%
EQUIPO	12	100%
NEUMATICOS	0	100%
FRENOS	0	100%

Tabla 3.28. Análisis del TTR por Pareto Scoop 17

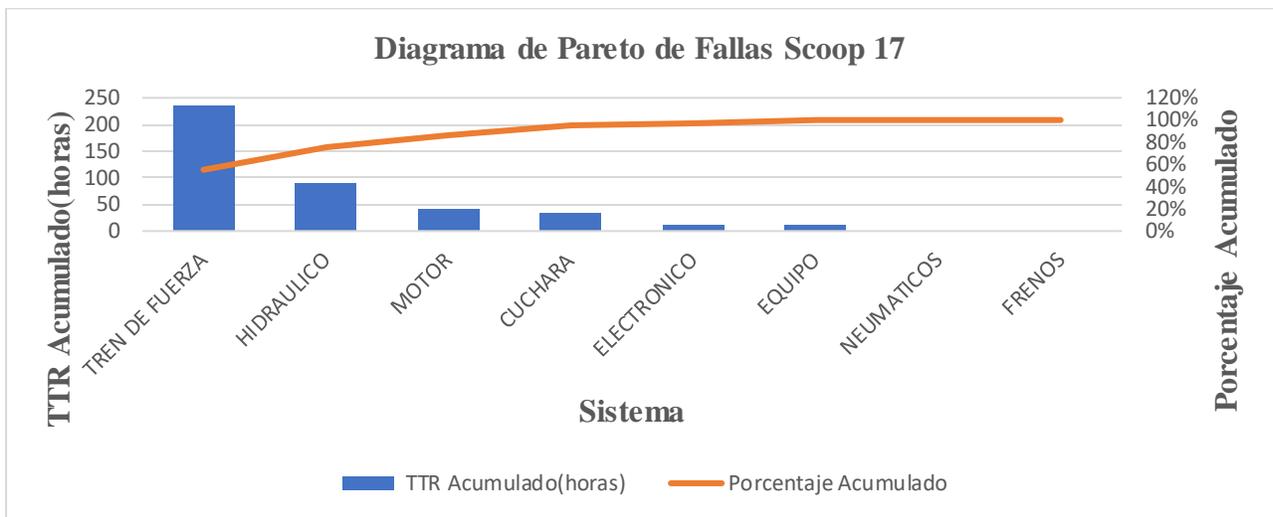


Figura 3.27. Los sistemas de transmisión e hidráulico presentan la mayor cantidad de horas por parada de la máquina

FALLAS RECURRENTE EN LOS SISTEMAS CRITICOS SEGÚN EL DIAGRAMA DE PARETO		
Sistema	Fallas 1	Fallas 2
TREN DE FUERZA	Reparacion General de la Transmision por Falla Interna	Reparación de Cardan
HIDRAULICO	Falla de Bomba Hidraulica	Falla de Lineas Hidraulicas

Tabla 3.29. Tipo de fallas para los sistemas más críticos.

3.4.2.3. Análisis Por Pareto “SCOOP N°18”

Sistema	TTR Acumulado(horas)	Porcentaje Acumulado
MOTOR	191	49%
HIDRAULICO	92	73%
ELECTRONICO	59	89%
TREN DE FUERZA	32	97%
NEUMATICOS	12	100%
CUCHARA	0	100%
EQUIPO	0	100%
FRENOS	0	100%

Tabla 3.30. Análisis del TTR por Pareto Scoop 18

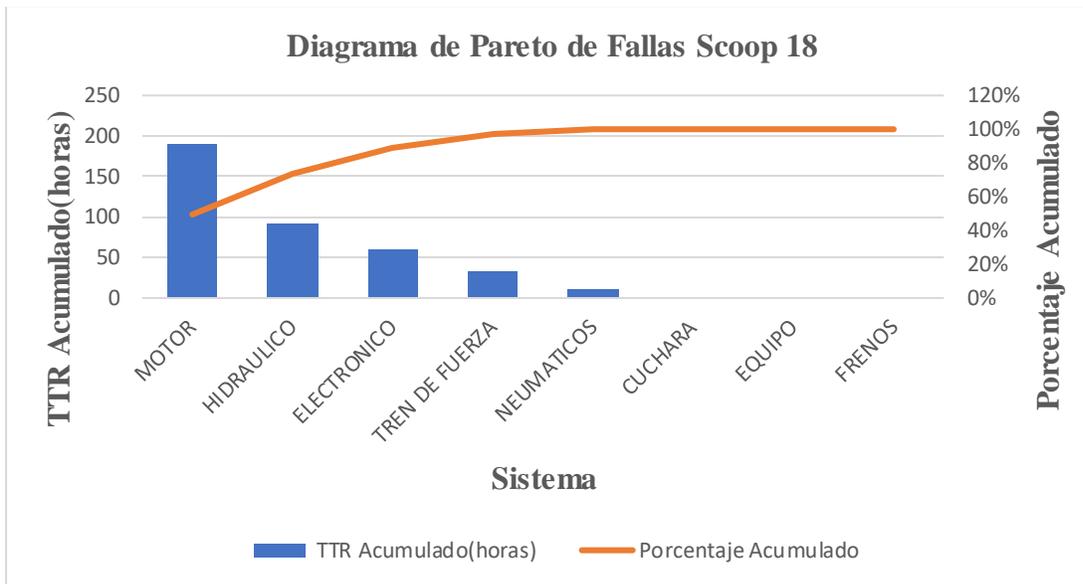


Figura 3.28. Los sistemas de motor e hidráulico presentan la mayor cantidad de horas por parada de la máquina

FALLAS RECURRENTES EN LOS SISTEMAS CRITICOS SEGÚN EL DIAGRAMA DE PARETO			
Sistema	Fallas 1	Fallas 2	Fallas 3
MOTOR	Reparacion general del motor por falla de eje de levas	Cambio de Mecanismo de Valvulas por Desgaste	Problemas de Recalentamiento falla del termostato
HIDRAULICO	Falla de Bomba Hidraulica	Falla de Lineas Hidraulicas	

Tabla 3.31. Tipo de fallas para los sistemas más críticos.

3.5. El Procedimiento de FMEA

La realización de FMEA comienza con la selección de una máquina a analizar. La relación entre la máquina y su entorno de trabajo debe entenderse claramente para poder decidir sobre los efectos y las razones de los posibles fallos. Una vez que se ha decidido el alcance del FMEA, el plan de investigación adicional es el siguiente:

- 1) Categorice los subsistemas del sistema / máquina seleccionados según el tipo de falla.
- 2) Analizar el funcionamiento de un componente y sus subcomponentes. De hecho, cada función debe determinarse y los criterios de descomposición de la función deben caracterizarse por completo.
- 3) Identifica los modos de falla del elemento. Para cada modo de falla, se analiza la causa raíz y sus consecuencias.
- 4) Desarrollar diseños de control que reconozcan sistemas, modos e impactos de las fallas y analizar su viabilidad de cada uno.
- 5) Evaluar los riesgos de cada modo de falla. El riesgo se estima mediante el número de prioridad de riesgo (RPN), que se puede calcular multiplicando la severidad, la ocurrencia y la detección. Un RPN alto indica un alto riesgo de esa falla y debe tomarse medidas para reducirlo.
- 6) Finalmente, el análisis realizado FMEA se registran en nuestro software de mantenimiento para futuros casos.

3.6. Parámetros Indexados Al Riesgo

La técnica FMEA no solo se usa para identificar el modo de falla potencial, sino que también se usa para priorizar los modos de falla en base a una evaluación de parámetros indexados de riesgo. En general, la priorización de fallas críticas se puede determinar mediante el cálculo del valor del Número de prioridad de riesgo (RPN). Esto se puede lograr multiplicando los índices de O, S y D de cada falla.

1) Severidad (S)

La severidad evalúa la gravedad del impacto del peligro potencial que se produce. La puntuación S se evalúa contra el impacto del efecto provocado por el modo de falla.

2) Ocurrencia (O)

La ocurrencia estima la recurrencia de un riesgo o riesgos potenciales que ocurrirán para una circunstancia o un marco determinados. La puntuación de probabilidad se evalúa frente a la probabilidad de que el efecto ocurra como resultado de un modo de falla.

3) Detección (D)

La detectabilidad es la probabilidad de que se identifique la avería antes de distinguir el efecto de la avería en el procedimiento o marco que se está evaluando. La puntuación D se evalúa contra la capacidad de reconocer el resultado del modo de avería.

4) Número de prioridad de riesgo (RPN)

RPN es el resultado de la clasificación de tres fuentes de datos (severidad, ocurrencia y detección). Esto se puede utilizar en el momento de evaluar el riesgo de una falla.

$RPN = \text{Severidad (S)} \times \text{Ocurrencia (O)} \times \text{Detección (D)}$.

RPN da instrucciones para clasificar las posibles averías e identificar las acciones recomendadas para los cambios de esquema o proceso que reducirían la gravedad o la ocurrencia. Las clasificaciones de parámetros indexados de riesgo (S, O y D) para la estimación de RPN se dan en la Tabla 4.32, 4.33, 4.34 y 4.35.

Rango NPR	Calificación
500 – 1000	Alto riesgo de falla
125 – 499	Riesgo de falla medio
1 – 124	Riesgo de falla bajo
0	No existe riesgo de falla

Tabla 3.32. NPR

Escala de Clasificación de Severidad		
Ponderación	Descripción	Criterio
1	Sin Efecto	Ningún efecto perceptible.
2	Molestia	Apariencia o ruido audible, maquina operable, el item no se ajusta a las condiciones de trabajo. Defecto detectado por clientes discriminatorios (<25%)
3	Molestia	Apariencia o ruido audible, maquina operable, el item no se ajusta a las condiciones de trabajo. Defecto detectado por clientes discriminatorios (50%)
4	Molestia	Apariencia o ruido audible, maquina operable, el item no se ajusta a las condiciones de trabajo. Defecto detectado por clientes discriminatorios (>75%)
5	Degradación de la función secundaria	Degradación de la función secundaria (máquina operable, pero funciones de confort / conveniencia a un nivel reducido de rendimiento).
6	Pérdida de función secundaria	Pérdida de función secundaria (vehículo operable, pero funciones confort / conveniencias inoperables).
7	Degradación de la función primaria	Degradación de la función primaria (máquina operable, pero con un nivel de rendimiento reducido)
8	Pérdida de función primaria	Pérdida de la función principal (máquina inoperativa, no afecta la operación segura del vehículo).
9	Cumplimiento de normativas y / o seguridad	El modo de falla potencial afecta la operación segura de la máquina y / o implica el incumplimiento de las regulaciones gubernamentales con advertencia.
10	Cumplimiento de normativas y / o seguridad	El modo de falla potencial afecta la operación segura del vehículo y / o implica el incumplimiento de las regulaciones gubernamentales sin previo aviso.

Tabla 3.33. Escala de clasificación de la Severidad

Escala de Clasificación de Ocurrencia		
Ponderación	Descripción	Criterio
1	Muy bajo	La falla se elimina mediante control preventivo.
2	Bajo	No se observaron fallas asociadas con un diseño casi idéntico o en la simulación y prueba del diseño.
3	Bajo	Solo fallas aisladas asociadas con un diseño casi idéntico o en simulación y prueba de diseño.
4	Moderado	Fallos aislados asociados con un diseño similar o en simulación y pruebas de diseño.
5	Moderado	Fallos ocasionales asociados con diseños similares o en simulación y pruebas de diseño.
6	Moderado	Fallos frecuentes asociados con diseños similares o en simulación y pruebas de diseño.
7	Alto	La falla es incierta con un nuevo diseño, una nueva aplicación o un cambio en el ciclo de trabajo / condiciones de operación.
8	Alto	La falla es probable con un nuevo diseño, una nueva aplicación o un cambio en el ciclo de trabajo / condiciones de operación.
9	Alto	La falla es inevitable con un nuevo diseño, una nueva aplicación o un cambio en el ciclo de trabajo / condiciones de operación.
10	Muy alto	Nueva tecnología / nuevo diseño sin historia.

Tabla 3.34. Escala de clasificación de la Ocurrencia

Escala de Clasificación de Detección		
Ponderación	Descripción	Criterio
1	Casi Seguro	Tienen métodos de detección probados mientras esta en la fase de diseño conceptual
2	Muy Alto	Tiene muy alto grado de eficacia
3	Alto	Tiene alto grado de eficacia
4	Moderadamente Alto	Tiene moderadamente alto grado de eficacia
5	Medio	Tiene medio grado de eficacia
6	Bajo	Tiene bajo grado de eficacia
7	Ligero	Tiene muy bajo grado de eficacia
8	Muy ligero	Tiene la efectividad más baja en cada categoría aplicable
9	Remoto	No se ha comprobado, no es fiable o se desconoce la eficacia.
10	Casi Imposible	No hay técnica disponible o conocida

Tabla 3.35. Escala de clasificación de Detección

Máquina		Scoop 16		Sistema			Motor				Facilitador	Carlos Plasencia Marchena					
Función	Falla Funcional	Modo potencial de falla	Efecto potencial de falla	S E V	Causa(s) potencial de la falla	O C U	Controles actuales del proceso de prevención?	D E T	Controles actuales de detección?	N P R	Acciones recomendadas	Responsabilidad y día de culminación	Resultados de las acciones				
													Fecha de Aplicación	Acciones tomadas	S E V	O C U	D E T
1. Suministrar flujo de combustible presurizado (5,000 psi) a la cámara de combustión para se genere la potencia para la máquina.	A-Bajo suministro de combustible presurizado a la cámara de combustión	1. Desgaste prematuro de los inyectores. Tipo A.	Falta de potencia para realizar los trabajos de carguo y descarga, además de parada del motor inesperadamente.	7	Partes Internas del inyector presentan desgaste prematuro debido a la contaminación del combustible.	5	Cambio de filtros, combustibles y aceites de acuerdo al manual del fabricante	4	Toma de muestras de presión de combustible y escaneo de motor cada 1000 horas.	140	Análisis de muestra de aceite y combustible, toma de parámetros de motor cada 500 Horas, Revisión de los depósitos de almacenamiento de combustible.	Supervision/Tecnico Lider. 15/01/2015	Equipo presenta alta performance durante el ciclo de trabajo, tiene una alta respuesta a las diferentes condiciones de trabajo.	2	3	3	18
		2. Combustión incompleta. Tipo B.	Derateo del motor, pérdida de potencia y de productividad del operador, excesivo humo negro	7	La relación aire combustible es pobre ocasionando una combustión incompleta, los solenoides de los inyectores no se energizan completamente y no se tiene un buen control de la valvula de retención del solenoide.	6	Revisión del buen funcionamiento de las valvulas solenoides mediante el escaner de la marca según el manual del fabricante.	3	Revisión del buen funcionamiento de las valvulas solenoides mediante la prueba de corte de cilindros y activación de los solenoides con el escaner cada 1000 horas.	126	Escaneo de los solenoides de los inyectores cada 500 horas aprovechando la parada de la maquina en su mantenimiento preventivo.	Supervision/Tecnico Lider. 06/01/2015	Detección temprana de las posibles falla de los solenoides de los inyectores, disminuyendo las paradas de la máquina.	2	3	3	18

Tabla 3.36 AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 16. Componente Inyectores

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas " a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por:
							S1	S2	S3						
F	F F	M F	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
							N1	N2	N3						
1	A	1	S	N	N	S	S						Analisis de muestra de aceite y combustible, toma de parametros de motor cada 500 Horas, Revision de los depositos de almacenamiento de combsutible.	Cada 500 horas.	Supervision/Tecnico Lider.
1	A	2	S	N	N	S	S						Escaneo de los solenoides de los inyectores cada 500 horas aprovechando la parada de la maquina en su mantenimiento preventivo.	Cada 500 horas.	Supervision/Tecnico Lider.

Tabla 3.37 Hoja de decisión Scoop 16. Componente Inyectores

Máquina		Scoop 16 y 18		Sistema			Motor				Facilitador	Carlos Plasencia Marchena					
				Sub-Sistema/Componente			Mecanismo de Válvulas				Fecha de Aplicación	02/01/2015					
Función	Falla Funcional	Modo potencial de falla	Efecto potencial de falla	S E V	Causa(s) potencial de la falla	O C U	Controles actuales del proceso de prevención?	D E T	Controles actuales de detección?	N P R	Acciones recomendadas	Responsabilidad y día de culminación	Resultados de las acciones				
													Acciones tomadas				S E V
1. Transferir el movimiento/potencia que se genera de la rotación del cigüeñal hacia los levanta válvulas y balancines para que se pueda accionar los inyectores y se de la combustión.	A-No se transmite la potencia eficientemente a los balancines para el accionamiento de los inyectores.	1. Desgaste prematuro de los balancines. Tipo B.	Derateo del motor, pérdida de fuerza y pérdida de productividad del operador, excesivo humo negro	7	El desgaste prematuro de los balancines provocan una excesiva holgura de las válvulas provocando que no haya una buena hermeticidad en la cámara de la combustión durante el ciclo de potencia, esto se debe a la falta de lubricación.	6	Inspección del mecanismo de válvulas durante los mantenimientos generales de 2000 horas.	4	Toma de muestras de aceite de motor en cada cambio de aceite (cada 125 horas) para verificar la tendencia de partículas ferrosas que suelen ser un indicador de desgaste de los balancines.	168	Verificar cada 500 horas la holgura de las válvulas de admisión y escape aprovechando las paradas por mantenimiento preventivo, además de verificar el sistema de lubricación que hace que el contacto metal a metal sea mas suave y no se genere un desgaste acelerado de los balancines.	Supervision/Tecnico Lider. 06/01/2015	Detección temprana del desgaste de los balancines para programar su cambio oportunamente, disminuyendo las paradas de la máquina.	4	4	4	64
		2. Calibración de Válvulas realizado con incorrecto procedimiento. Tipo B	Fractura de los componentes del mecanismo de balancines e impacto de las válvulas contra la cabeza del pistón generando una parada del motor inesperadamente.	5	Al momento de realizar las calibración de válvula no se tiene la herramienta adecuada para torqupear según la especificación del fabricante 22 ± 5 lb ft, solo se hace con llave y no con un torquimetro, por tal motivo se genera una soltura excesiva en las válvulas.	6	Uso adecuado de herramientas como torquimetro y calibrador de laminas para su correcta especificación	4	Revisión del juego de válvulas durante los periodos de mantenimiento cada 1000 y 2000 horas.	120	Verificar cada 500 horas la holgura de las válvulas de admisión y escape aprovechando las paradas por mantenimiento preventivo, además de verificar el sistema de lubricación que hace que el contacto metal a metal sea mas suave y no se genere un desgaste acelerado de los balancines.	Supervision/Tecnico Lider. 1501/2015	Detección temprana del desgaste de los balancines para programar su cambio oportunamente, disminuyendo las paradas de la máquina.	4	4	4	64

Tabla 3.38 AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 16 y 18. Mecanismo de Válvulas

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas " a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por:
							S1	S2	S3						
F	F F	M F	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
							N1	N2	N3						
1	A	1	S	N	N	S	S						Verificar cada 500 horas la holgura de las valvulas de admision y escape aprovechando las paradas por mantenimiento preventivo, ademas de verificar el sistema de lubricación que hace que el contacto metal a metal sea mas suave y no se genere un desgaste acelerado de los balancines.	Cada 500 horas.	Supervision/Tecnico Lider.
1	A	2	S	N	N	S	S						Verificar cada 500 horas la holgura de las valvulas de admision y escape aprovechando las paradas por mantenimiento preventivo, ademas de verificar el sistema de lubricación que hace que el contacto metal a metal sea mas suave y no se genere un desgaste acelerado de los balancines.	Cada 500 horas.	Supervision/Tecnico Lider.

Tabla 3.39 Hoja de decisión Scoop 16 y 18. Mecanismo de Válvulas

Máquina		Scoop 16		Sistema			Motor			Facilitador	Carlos Plasencia Marchena						
				Sub-Sistema/Componente			Correa de distribución			Fecha de Aplicación	02/01/2015						
Función	Falla Funcional	Modo potencial de falla	Efecto potencial de falla	S E V	Causa(s) potencial de la falla	O C U	Controles actuales del proceso de prevención?	D E T	Controles actuales de detección?	N P R	Acciones recomendadas	Responsabilidad y día de culminación	Resultados de las acciones				
													Acciones tomadas	S E V	O C U	D E T	N P R
1.La correa de distribución ayuda a transmitir la potencia a los componentes internos del motor.	A-No se transmite la potencia eficientemente a los componentes que conforman la distribución.	1.Desalineamiento. Tipo B	No se transmite la potencia eficientemente a la bomba de agua, afectando el sistema de enfriamientos generando recalentamiento en el motor y en la máquina.	5	Desgaste prematuro por incorrecta instalación.	5	Revisar el alineamiento de las fajas cada 2000 horas de trabajo durante los mantenimientos generales de la máquina	6	Uso del procedimiento del manual de pruebas y ajuste del fabricante(SISWEB)	150	Revisar el alineamiento de las fajas cada 1000 horas durante un mantenimiento semi general.	Supervision/Tecnico Lider. 25/01/2015	Equipo presenta alta performance durante el ciclo de trabajo, tiene una alta respuesta a las diferentes condiciones de trabajo.	2	3	3	18
		2.Soltura de la correa de la distribución. Tipo B.	Sonido anormal de la faja de la distribución, perdida de eficiencia de la maquina.	4	Tensión extremadamente baja. Pérdida de tensión durante el funcionamiento.	5	Revisar la tensión de las fajas cada 2000 horas de trabajo durante los mantenimientos generales de la maquina	6	Utilizar el Tensiometro Sonico para una rapida y eficaz medición de la tensión.	120	Adiestrar al operador sobre el uso adecuado de la herramienta para que durante la operación si escuche un sonido extraño pueda tomar acción. Ademas de la revision periodica de la tension cada 1000 horas de operación.	Supervision/Tecnico Lider. 26/01/2015	Detección temprana de las posibles falla de las fajas, disminuyendo las paradas de la máquina.	2	3	3	18
		3.Rotura de la faja de distribución. Tipo B.	Posible fractura de componentes principales de la distribución, así como también parada del equipo.	4	Cuerpo extraño entre la correa y la polea puede llegar a romper las cuerdas de tracción; o la correa puede estar retorcida 90° o volteada antes de su montaje, o puede que se haya forzado en la polea, por ejemplo, mediante el uso de un objeto afilado, como un destornillador.	5	Inspeccionar y realizar limpieza del motor cada 250 horas durante su mantenimiento preventivo.	5	Utilizar el check list de inspección del motor.	100	Adiestrar al operador sobre el mantenimiento autonomo que debe realizar diariamente a la máquina.	Jefe de Mantenimiento 26/01/2015	Aumenta la disponibilidad de la maquina aprovechando los cambios de turnos para realizar debidamente las inspecciones rutinarias.	2	3	3	18

Tabla 3.40 AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 16. Componente Correa de distribución

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas " a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por:
							S1	S2	S3						
F	F F	M F	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
							N1	N2	N3						
1	A	1	S	N	N	S	S						Revisar el alineamiento de las fajas cada 1000 horas durante un mantenimiento semi general.	Cada 1000 horas.	Supervision/Tecnico Lider.
1	A	2	S	N	N	S	S						Adiestrar al operador sobre el uso adecuado de la herramienta para que durante la operación si escuche un sonido extraño pueda tomar acción. Además de la revision periodica de la tension cada 1000 horas de operación.	Cada 1000 horas.	Supervision/Tecnico Lider.
1	A	3	S	N	N	S	S						Adiestrar al operador sobre el mantenimiento autonomo que debe realizar diariamente a la máquina.	Check list diario	Jefe de Mantenimiento

Tabla 3.41 Hoja de decisión Scoop 16. Componente Correa de distribución

Máquina		Scoop 16 y 18		Sistema		Motor			Facilitador	Carlos Plasencia Marchena							
Función	Falla Funcional	Modo potencial de falla	Efecto potencial de falla	S E V	Sub-Sistema/Componente	O C U	Termostato			Fecha de Aplicación	Responsabilidad y día de culminación	Resultados de las acciones					
							Controles actuales del proceso de prevención?	D E T	Controles actuales de detección?			N P R	Acciones recomendadas	Acciones tomadas	S E V	O C U	D E T
1.El termostato se encarga de regular el flujo de refrigerante o agua al radiador para mantener la temperatura óptima de la máquina; es decir, evita que estos líquidos fluyan dentro del motor hasta que estos no hayan alcanzado su temperatura de funcionamiento de acuerdo con las especificaciones del fabricante.	A-Falta de regulación o control del pase de refrigerante hacia el radiador.	1.Que se mantenga cerrado la válvula interna del termostato. Tipo B.	Que se eleve la temperatura del motor. En estos casos extremos el motor se recalienta hasta el punto de llegar a fundirse.	6	Falla de componentes internos del termostato por tiempo excesivo de uso, además malas prácticas de utilización de un refrigerante inadecuado y/o contaminado al momento del suministro.	5	Toma de los parámetros de motor durante los mantenimientos preventivos de 2000 horas	6	Revisión y verificación de los indicadores de temperatura del refrigerante del motor en el display del equipo.	180	Instruir al personal técnico para cambiar el termostato según lo indica el manual del fabricante cada 3000 horas o 2 años el que se cumpla primero.	Supervision/Técnico Líder. 25/01/2015	Maquina presenta alta performance durante el ciclo de trabajo, no se presenta algun evento de alta temperatura y se evita las paradas de la maquina.	2	3	3	18
		2.Que se mantenga abierto la válvula interna del termostato. Tipo B.	Que baje la temperatura del motor. En estos casos, el motor se enfriará y esto podría desgastarlo por fricción, pues los metales se contraen por la temperatura. Incluso, el sensor de temperatura del refrigerante, al medir una baja temperatura, se inyectará más combustible para compensar. Por consiguiente, las emisiones contaminantes se elevarán y el rendimiento disminuirá.	6	Falla de componentes internos del termostato por tiempo excesivo de uso, además malas prácticas de utilización de un refrigerante inadecuado y/o contaminado al momento del suministro.	5	Toma de los parámetros de motor durante los mantenimientos preventivos de 2000 horas	6	Revisión y verificación de los indicadores de temperatura del refrigerante del motor en el display del equipo.	180	Instruir al personal técnico para cambiar el termostato según lo indica el manual del fabricante cada 3000 horas o 2 años el que se cumpla primero.	Supervision/Técnico Líder. 26/01/2015	Maquina presenta alta performance durante el ciclo de trabajo, no se presenta algun evento de alta temperatura y se evita las paradas de la maquina.	2	3	3	18

Tabla 3.42 AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 16 y 18. Componente Termostato

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas " a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por:
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
							O1	O2	O3						
1	A	1	S	N	N	S	S						Instruir al personal tecnico para cambiarr el termostato según lo indica el manual del fabricante cada 3000 horas o 2 años el que se cumpla primero.	Cada 3000 horas o 2 años lo que ocurra primero	Supervision/Tecnico Lider.
1	A	2	S	N	N	S	S						Instruir al personal tecnico para cambiarr el termostato según lo indica el manual del fabricante cada 3000 horas o 2 años el que se cumpla primero.	Cada 3000 horas o 2 años lo que ocurra primero	Supervision/Tecnico Lider.

Tabla 3.43 Hoja de decisión Scoop 16 y 18. Componente Termostato

Máquina		Scoop 16,17 y 18		Sistema			Hidráulico				Facilitador	Carlos Plasencia Marchena					
				Sub-Sistema/Componente			Bomba de Implementos				Fecha de Aplicación	02/01/2015					
Función	Falla Funcional	Modo potencial de falla	Efecto potencial de falla	S E V	Causa(s) potencial de la falla	O C U	Controles actuales del proceso de prevención?	D E T	Controles actuales de detección?	N P R	Acciones recomendadas	Responsabilidad y día de culminación	Resultados de las acciones				
													Acciones tomadas				
1. El conjunto de bomba de implementos suministra caudal presurizado a cada uno de los circuitos hasta llegar a sus respectivos cilindros de levante, dirección, circuito de pilotaje y freno.	A-Bajo suministro o perdida de caudal presurizado hacia los implementos	1.Desgaste or cavitación de componentes internos de la bomba Tipo B.	El tiempo del ciclo de trabajo aumenta, impactando en la producción.	6	Los componentes internos de la bomba como los platos de presión presentan cavitación y/o aireación por un mal proceso de purgado del sistema durante alguna reparación y/o mantenimiento.	5	Purgar los sistemas hidraulicos según lo indica el manual del fabricante.	6	Toma de muestra de aceite hidraulico para monitorear la tendencia de desgaste de metales de cobre, acero y aluminio.	180	Seguir un instructivo interno que se adjunta en los anexos para el correcto purgado y colocar punto de purgado en la zona de la tubería a la salida de la bomba..	Supervision/Tecnico Lider. 25/01/2015	Maquina no presenta fugas continua por falta de limpieza y aumenta la disponibilidad de la máquina.	3	3	3	27
		2.Fractura del perno N/P 9T-5112 de fijación de componente interno de la bomba Tipo B.	Sonido extraño en el sistema generando Parada no programada de la máquina y contaminación general del sistema hidraulico.	7	Fractura del perno 9T-5112 que une los componentes internos de la bomba genera partículas contaminantes en todo el sistema hidraulico generando la parada del máquina. Falla de producto.	7	Toma de los parametros de motor durante los mantenimientos preventivos de 2000 horas	7	Revisión de la bomba hidraulica cada 2000 horas, y cambio de bomba completa o componentes que presenten desgaste anormal.	*En una primera medida se realiza el envio de la bomba hidraulica nueva para que sea revisada en el taller hidraulico, por ejemplo el torque de los pernos. *Usar bomba de reemplazo nuevas premium en lugar de las reman que no alcanzaban a las horas de inspección de la bombas durante el mantenimiento. *Finalmente el fabricante opto por reemplazar el conjunto de bomba de implementos de vanes por otra de engranajes eliminandose el problema en su totalidad.	Supervision/Tecnico Lider. 26/01/2015	Maquina presenta alta performance durante el ciclo de trabajo y se evita las paradas de la maquina	3	3	3	27	

Tabla 3.44 AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 16,17 y 18. Componente Bomba de Implementos

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas " a falta de "			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por:
							S1	S2	S3						
F	F F	M F	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
							N1	N2	N3						
1	A	1	S	N	N	S	S						Seguir un instructivo interno que se adjunta en los anexos para el correcto purgado y colocar punto de purgado en la zona de la tubería a la salida de la bomba.	Cada vez que se realice algún servicio de mantenimiento en el sistema hidráulico.	Supervision/Tecnico Lider.
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N	N	N	S	En una primera medida se realiza el envío de la bomba hidráulica nueva para que sea revisada en el taller hidráulico, por ejemplo el torque de los pernos. *Usar bomba de reemplazo nuevas premium en lugar de las reman que no alcanzaban a las horas de inspección de la bombas durante el mantenimiento. *Finalmente el fabricante opto por reemplazar el conjunto de bomba de implementos de vanes por otra de engranajes eliminandose el problema en su totalidad.	Inicialmente cada 100 horas aprovechando los mantenimientos PM3 y luego realizar el cambio por la bomba mejorada previo acuerdo con el cliente.	Supervision/Tecnico Lider.

Tabla 3.45 Hoja de decisión Scoop 16,17 y 18. Componente Bomba de Implementos

Máquina		Scoop 16,17 y 18		Sistema			Hidráulico				Facilitador	Carlos Plasencia Marchena					
				Sub-Sistema/Componente			Lineas hidráulicas				Fecha de Aplicación	02/01/2015					
Función	Falla Funcional	Modo potencial de falla	Efecto potencial de falla	S E V	Causa(s) potencial de la falla	O C U	Controles actuales del proceso de prevención?	D E T	Controles actuales de detección?	N P R	Acciones recomendadas	Responsabilidad y día de culminación	Resultados de las acciones				
													Acciones tomadas		S E V	O C U	D E T
1. Suministrar un conducto para que el fluido se desplace hacia los componentes principales del sistema hidraulico.	A-Bajo suministro de fluido hacia los componentes.	1. Resequeadad de líneas hidráulicas y mal armado en taller. Tipo B	Contaminacion del sistema hidraulico y perdida de presión hidráulica.	5	Conexiones de abrazaderas, sellos anulares presentan falla de armado en taller, ademas las líneas presentan resacamiento por falta de limpieza acelerando la falla de armado.	6	Limpieza de la maquina cada 2000 horas de trabajo.	6	Monitoreo del analisis de muestras de aceite para ver la tendencia del Si(polvo) por ingreso de la contaminación por la fuga.	180	Compra de una hidrolavadora para una limpieza mas efectiva y eficiente e inspección continua en un periodo mas corto cada 250 horas.	Supervision/Tecnico Lider. 25/01/2015	Maquina no presenta fugas continua por falta de limpieza y aumenta la disponibilidad de la máquina.	3	3	4	36
		2. Montaje incorrecto de líneas hidráulicas. Tipo B.	Contaminacion del sistema hidraulico y perdida de presión hidráulica.	5	Las líneas hidráulicas no estan bien instaladas en la maquina generando el roce entre ellas, ademas no se le ha dado la orientación correcta en solo dos planos tal como indica el fabricante.	6	Usar el manual de montaje de líneas hidráulicas para su correcta instalación, ademas de revisión periodica del estado de las líneas.	6	Check list de control diario.	180	Usar el manual actual virtual de montaje de manguera en https://his.cat.com/ para un mejor ruteo de las mismas.	Supervision/Tecnico Lider. 26/01/2015	Maquina presenta alta performance durante el ciclo de trabajo y se evita las paradas de la maquina	3	3	4	36

Tabla 3.46 AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 16,17 y 18. Componente líneas hidráulicas

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas " a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por:
							S1	S2	S3						
F	F F	M F	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Compra de una hidrolavadora para una limpieza mas efectiva y eficiente e inspección continua en un periodo mas corto cada 250 horas.	Cada 250 horas.	Supervision/Tecnico Lider.
1	B	1	S	N	N	S	S						Usar el manual actual virtual de montaje de manguera en https://his.cat.com/ para un mejor ruteo de las mismas.	Aplicación de Check list durante el inicio de labor en cada cambio de turno.	Supervision/Tecnico Lider.

Tabla 3.47 Hoja de decisión Scoop 16,17 y 18. Componente líneas hidráulicas

Máquina		Scoop 17		Sistema			Transmisión				Facilitador	Carlos Plasencia Marchena					
				Sub-Sistema/Componente			Servotransmisión				Fecha de Aplicación	02/01/2015					
Función	Falla Funcional	Modo potencial de falla	Efecto potencial de falla	S E V	Causa(s) potencial de la falla	O C U	Controles actuales del proceso de prevención?	D E T	Controles actuales de detección?	N P R	Acciones recomendadas	Responsabilidad y día de culminación	Resultados de las acciones				
													Acciones tomadas		S E V	O C U	D E T
1.La servotransmisión planetaria utilizan un engranaje planetario para transmitir potencia y realizar los cambios de velocidades y dirección.	A-No se transmite la potencia eficientemente al momento de realizar los cambios	1.Desgaste y fractura de la jaula del rodamiento. Tipo B	No se realizan los cambios para realizar los movimientos de traslación durante la operación.	8	Las partículas encontradas en el screen de la transmisión corresponden al desprendimiento de la guarda de retención de aceite del rodamiento frontal N/P 7T-8816 que ubica entre el Carrier planetario de los embragues #2 y #3 y el engranaje solar del embrague #1. Al desprenderse, la guarda ingresó entre los dientes del acople dentado del embrague #1 y sus respectivos engranajes planetarios; lo cual terminó por fragmentarlo. El desprendimiento de la guarda de retención de aceite del rodamiento mencionado en el párrafo anterior se debería a posibles daños en la superficie de la guarda generados durante la instalación en fabrica.	7	Ninguno.	8	Monitoreo de aceite es muy limitado ya que las partículas desprendidas son grandes mayor a 100 micrones que no se puede detectar por los instrumentos y equipos de laboratorio, se reviso los resultados y se observo un ligero incremento de las partículas ferrosas y luego de mas de 5000 horas de trabajo se produjo la falla catastrófica.	448	Reportar al fabricante sobre el problema de montaje del rodamiento en fábrica e instruir al personal tecnico para inspeccionar cada 1000 horas los screen de la transmisión para poder observar algunas partículas extrañas, instruir al operador sobre completar el reporte de inspección diario para una temprana detección sobre algun rudio anormal.	Supervision/Tecnico Líder. 25/01/2015	Maquina presenta alta performance durante el ciclo de trabajo, no se presenta algun evento de incremento de partículas ferrosas en el SOS y en el Screen de la Transmisión.	8	3	3	72

Tabla 3.48 AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 17. Componente Transmisión

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas " a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por:
							S1	S2	S3						
F	F F	M F	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
							N1	N2	N3						
1	A	1	S	N	N	S	S						Reportar al fabricante sobre el problema de montaje del rodamiento en fábrica e instruir al personal tecnico para inspeccionar cada 1000 horas los screen de la transmisión para poder observar algunas particulas extrañas, instruir al operador sobre completar el reporte de inspección diario para una temprana detección sobre algun ruido anormal.	Cada 1000 horas.	Supervision/Tecnico Lider.

Tabla 3.49 Hoja de decisión Scoop 17. Componente Transmisión

Máquina		Scoop 17		Sistema			Transmisión				Facilitador	Carlos Plasencia Marchena					
				Sub-Sistema/Componente			Cardan de Mando Superior				Fecha de Aplicación	02/01/2015					
Función	Falla Funcional	Modo potencial de falla	Efecto potencial de falla	S E V	Causa(s) potencial de la falla	O C U	Controles actuales del proceso de prevención?	D E T	Controles actuales de detección?	N P R	Acciones recomendadas	Responsabilidad y día de culminación	Resultados de las acciones				
												Acciones tomadas	S E V	O C U	D E T	N P R	
La función del cardan es transmitir el esfuerzo de rotación del motor a las ruedas motrices de la máquina.	A-No se transmite el movimiento de rotación de la caja de mando de rotación hacia el eje diferencial posterior	1.Fractura de los pernos del cardan que une la caja de engranajes de transferencia y el eje diferencial posterior. Tipo B	No se transmite el movimiento de rotación de la caja de mando de rotación hacia el eje diferencial posterior, por lo tanto la máquina presenta parada no programada.	7	El manual de armado no indicaba la secuencia correcta de torquedo y de colocar a los hilos de los pernos el liquido LOCTITE. Durante el montaje no se seguía un procedimiento estandar y correcto	6	Ninguno.	7	Se verifica el estado de los cardanes durante los mantenimientos generales de 2000 horas.	294	Instruir al personal tecnico para inspeccionar cada 500 horas el torque de los pernos de los cardanes y en caso de realizar algun cambio o desmontaje de los cardanes utilizar el nuevo procedimiento de ajuste y secuencia en el torquedo de los pernos según lo indica el manual del fabricante número de media RENR7834.	Supervision/Tecnico Lider. 25/01/2015	Maquina presenta alta performace durante el ciclo de trabajo, no se presenta algun evento de soltura en los pernos del tren cardanico y se evita las paradas de la maquina.	2	3	2	12

Tabla 3.50 AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 17. Componente Cardan de Mando Superior

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas " a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por:
							S1	S2	S3						
F	F F	M F	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Instruir al personal tecnico para inspeccionar cada 500 horas el torque de los pernos de los cardanes y en caso de realizar algun cambio o desmontaje de los cardanes utilizar el nuevo procedimiento de ajuste y secuencia en el torqueado de los pernos según lo indica el manual del fabricante número de media RENR7834.	Cada 500 horas.	Supervision/Tecnico Lider.

Tabla 3.51. Hoja de decisión Scoop 17. Componente Cardan de Mando Superior

Máquina		Scoop 18		Sistema			Motor				Facilitador	Carlos Plasencia Marchena					
				Sub-Sistema/Componente			Motor				Fecha de Aplicación	02/01/2015					
Función	Falla Funcional	Modo potencial de falla	Efecto potencial de falla	S E V	Causa(s) potencial de la falla	O C U	Controles actuales del proceso de prevención?	D E T	Controles actuales de detección?	N P R	Acciones recomendadas	Responsabilidad y día de culminación	Resultados de las acciones				
													Acciones tomadas				S E V
1. Generar la potencia producto del ciclo de la combustión y transferir a los demás sistemas de tren de fuerza e hidráulico para la operación de la máquina.	A. El motor no genera la potencia para los sistemas de la máquina.	1. El motor presenta sonido extraño y no arranca. Tipo A.	Parada total de la máquina por falta de el funcionamiento del motor, pérdida de la producción	8	Falla de motor se debió a la falta de lubricación por desgaste excesivo de la bomba de aceite de motor, la cual dio como resultado el desgaste por contacto por rodadura del eje de levas con sus cojinetes, especialmente el cilindro #6 el cual daño los pushrod por el impacto genero doblamiento y desalineamiento en el mecanismos de válvulas dañando las válvulas de admisión y escape.	7	Mantenimiento preventivo de motor cada 125 horas.	4	Medición de los parámetros de presión y temperatura del motor cada 2000 horas, así como también monitoreo de la tendencia de desgaste de las partículas ferrosas de las muestras de aceite.	224	Revisión de los parámetros de presión de motor cada 1000 horas y un eficiente control de la tendencia de desgaste de las partículas ferrosas en los análisis de muestras de aceite de motor. En caso de encontrarse algún parámetro fuera de lo especificado evaluar, ajustar y/o cambiar según sea necesario	Supervision/Tecnico Lider. 25/01/2015	El motor cumple con su tiempo de vida que indica el fabricante que oscila entre 14000 a 15000 horas de trabajo.	3	3	3	27

Tabla 3.52. AMEF y Análisis de Criticidad Scoop 18. Componente Motor

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas " a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por:
							S1	S2	S3						
F	F F	M F	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
							N1	N2	N3						
1	A	1	S	N	N	S	S						Revisión de los parámetros de presión de motor cada 1000 horas y un eficiente control de la tendencia de desgaste de las partículas ferrosas en los análisis de muestras de aceite de motor. En caso de encontrarse algún parámetro fuera de lo especificado evaluar, ajustar y/o cambiar según sea necesario.	Cada 1000 horas y toma de muestras de aceite de motor cada 125 horas	Supervisión/Técnico Líder.

Tabla 3.53. Hoja de decisión Scoop 18. Componente Motor

3.7. NUEVO PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL RCM

Descripción	Frecuencia de Servicio													
	Cada 10 horas de servicio o cada día		Cada 50 horas de servicio o cada semana		Cada 125 horas de servicio o cada mes		Cada 500 horas de servicio o cada 3 meses		Cada 1000 horas de servicio o cada 6 meses		Cada 2000 horas de servicio o cada año		Cada 3000 horas de servicio o cada año	
	ACTUAL	PROPUESTO	ACTUAL	PROPUESTO	ACTUAL	PROPUESTO	ACTUAL	PROPUESTO	ACTUAL	PROPUESTO	ACTUAL	PROPUESTO	ACTUAL	PROPUESTO
Cojinetes de la articulación de varillaje y cilindros ejes de cardan - Lubricar	X	X												
Conces - Inspeccionar/Ajustar		X												
Sistema de frenos - Probar		X												
Nivel de aceite y refrigerante - Comprobar	X	X												
Elemento primario del filtro de aire del motor - Limpiar/Reemplazar		X												
Filtro de aire de la cabina - Limpiar/Reemplazar		X												
Separador de agua del sistema de combustible - Drenar		X												
Infilado de los neumáticos - Comprobar		X												
Realizar el pagado del sistema hidráulico				X										
Nivel del electrólito de la batería - Comprobar				X										
Aceite y filtro del motor - Cambiar				X										
Filtro Primario del Sistema de Combustible - Limpiar/Reemplazar				X										
Filtro secundario del sistema de combustible - Reemplazar				X										
Reservador del cárter - Limpiar					X									
Tapa y colador del tanque de combustible - Limpiar					X									
Filtro de aceite del sistema hidráulico - Reemplazar					X									
Filtro de aceite de la transmisión - Reemplazar					X									
Acumulador del freno - Comprobar						X								
Acetate de diferencial y mando final (Con enfriador de aceite del eje) - Cambiar							X							
Estructura de protección contra vuelcos (ROPS) y Estructura de protección contra objetos que caen (FOPS) - Inspeccionar							X							
Acetate de la transmisión - Cambiar							X							
Análisis de muestra de aceite							X							
Análisis de muestra de combustible							X							
Escamos de Inyectores							X							
Inspección y toma de parámetros del Sistema de Lubricación							X							
Inspección y re-torqueado de peanos de cardanes							X							
Revisar alineamiento y tensión de las fajas							X							
Inspección de la bomba hidráulica							X							
Inspección de los filtros magnetizadores de la transmisión							X							
Sistema de desconexión del freno - Probar								X						
Inyector inyectante electrónico - Inspeccionar/Ajustar								X						
Luz de las vibras del motor - Comprobar/Ajustar								X						
Acetate del sistema hidráulico - Cambiar									X					
Válvula de alivio del tanque hidráulico - Limpiar									X					
Tambor compresor - Inspeccionar									X					
Refrigerante del sistema de enfriamiento (DEAC) - Cambiar										X				
Probadador de refrigerante de larga duración (ELC) para sistemas de enfriamiento - Ajustar											X			
Tapa de presión del sistema de enfriamiento - Limpiar/Reemplazar												X		
Temperatura del agua del sistema de enfriamiento - Reemplazar													X	
Poseñador del motor - Comprobar														X

Tabla 3.54. Nuevo Plan de Mantenimiento de acuerdo con la aplicación del RCM.

3.8. Proyección de Resultados Periodo 2015

Se procede a aplicar el plan de mantenimiento realizando un piloto a los equipos seleccionados que son los Cargadores de Bajo Perfil R1600G #16,17 y 18 para lo cual se obtiene los siguientes resultados.

3.8.1. Cálculo de la Disponibilidad de la Flota Periodo 2015:

Sistemas Reparados	TTR(hours)	TTR Acumulado	TBF(hours)	(i-1)TBF	TBF Acumulado
TREN DE FUERZA	12	12	108	0	108
CUCHARA	16	28	156	108	264
EQUIPO	6	34	148	156	412
FRENOS	4	38	118	148	530
FRENOS	9	47	140	118	670
HIDRAULICO	12	59	116	140	786
HIDRAULICO	2	61	126	116	912
ELECTRONICO	4	65	155	126	1067
NEUMATICOS	5	70	155	155	1222
HIDRAULICO	2	72	109	155	1331
ELECTRONICO	4	76	144	109	1475
HIDRAULICO	12	88	106	107	1581
MOTOR	15	103	139	106	1720
HIDRAULICO	6	109	98	139	1818
CUCHARA	2	111	131	98	1949
HIDRAULICO	10	121	81	131	2030
EQUIPO	9	130	107	81	2137
HIDRAULICO	18	148	131	107	2268
HIDRAULICO	12	160	108	131	2376
ELECTRONICO	16	176	109	108	2485
HIDRAULICO	12	188	106	109	2591

Tabla 3.55. Datos de fallas para el análisis basado en la confiabilidad del Scoop No. 16 periodo 2015

Sistemas Reparados	TTR(hours)	TTR Acumulado	TBF(hours)	(i-1)TBF	TBF Acumulado
HIDRAULICO	14	14	150	0	150
HIDRAULICO	8	22	133	150	283
MOTOR	10	32	110	133	393
HIDRAULICO	3	35	135	110	528
HIDRAULICO	6	41	120	135	648
HIDRAULICO	4	45	129	120	777
HIDRAULICO	5	50	176	129	953
HIDRAULICO	4	54	113	176	1066
HIDRAULICO	2	56	80	113	1146
HIDRAULICO	10	66	168	80	1314
HIDRAULICO	6	72	112	168	1426
TREN DE FUERZA	112	184	172	112	1598
TREN DE FUERZA	12	196	129	172	1727
HIDRAULICO	11	207	145	129	1872
MOTOR	52	259	100	145	1972
TREN DE FUERZA	3	262	155	100	2127
NEUMATICO	10	272	130	155	2257
TREN DE FUERZA	25	297	87	130	2344
HIDRAULICO	4	301	178	87	2522
TREN DE FUERZA	2	303	125	178	2647
HIDRAULICO	8	311	138	125	2785
HIDRAULICO	8	319	145	138	2930
HIDRAULICO	8	327	96	145	3026
TREN DE FUERZA	24	351	89	22	3115
TREN DE FUERZA	12	363	141	89	3256
TREN DE FUERZA	2	365	178	141	3434

Tabla 3.56. Datos de fallas para el análisis basado en la confiabilidad del Scoop No. 17 periodo 2015

Sistemas Reparados	TTR(hours)	TTR Acumulado	TBF(hours)	(i-1)TBF	TBF Acumulado
CUCHARA	10	10	119	0	119
HIDRAULICO	9	19	151	119	270
ELECTRONICO	4	23	174	151	444
HIDRAULICO	4	27	121	174	565
EQUIPO	9	36	151	121	716
ELECTRONICO	4	40	78	151	794
HIDRAULICO	10	50	112	78	906
HIDRAULICO	12	62	113	112	1019
HIDRAULICO	11	73	166	113	1185
HIDRAULICO	12	85	145	166	1330

Tabla 3.57. Datos de fallas para el análisis basado en la confiabilidad del Scoop No. 18 periodo 2015

	Scoop No.16	Scoop No.17	Scoop No.18
Horas de Operación	2591	3434	1330
Numero Total de Reparaciones	21	26	10
Horas Totales de Reparación	188	365	85
MTTR	8.95	14.04	8.50
MTBF	123.38	132.08	133.00
Disponibilidad	93%	90%	94%
Disponibilidad de Flota	93%		

Tabla 3.58. Resumen de las características de falla para la flota de Cargadores de Bajo Perfil. Periodo 2015

Se puede observar que aplicando los criterios de FMEA y criticidad y a la vez implementando las tareas de mantenimiento específicas (Diseño del Nuevo Plan de Mantenimiento) para cada modo de falla se ha logrado aumentar la disponibilidad de flota hasta un 93% (tabla 3.58).

3.9. Reducción de los Costos de Mantenimiento al Aplicar RCM

Los costos iniciales de implementación del RCM son altos ya que el costo de las tareas de mantenimiento reactivo no se puede reducir inmediatamente en comparación con el incremento del costo de las tareas de mantenimiento planificadas y basadas en condiciones. Además, las herramientas tecnológicas, la formación y las líneas de base del estado de los equipos necesitan una alta inversión inicial para postularse a un nuevo programa RCM (NASA RCM Guide, 2008). Algunas aplicaciones se amortizan en tan solo dos semanas, aunque el período de recuperación suele ser de meses (Jhon Moubray, 1997).¹³ Aún más, se presentó su artículo de investigación que indica que el punto de equilibrio de la inversión de la implementación de RCM con fines de lucro se puede lograr después de uno o dos años cuando el costo del mantenimiento reactivo disminuye a medida que se evitan fallas y las tareas de mantenimiento preventivo se reemplazan por monitoreo de condición, lo que reduce el costo general de tareas de mantenimiento. Por lo tanto, el programa RCM completamente implementado puede generar ahorros significativos a largo plazo. La presentación gráfica de este problema se ilustra en la Figura 3.29. A largo plazo, debido a la estrategia RCM proactiva, las actividades de

¹³ JHON, M. (1997). Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc.

mantenimiento reactivo se reducirán y el costo general de mantenimiento disminuirá con una mayor disponibilidad y funcionalidad de las instalaciones.

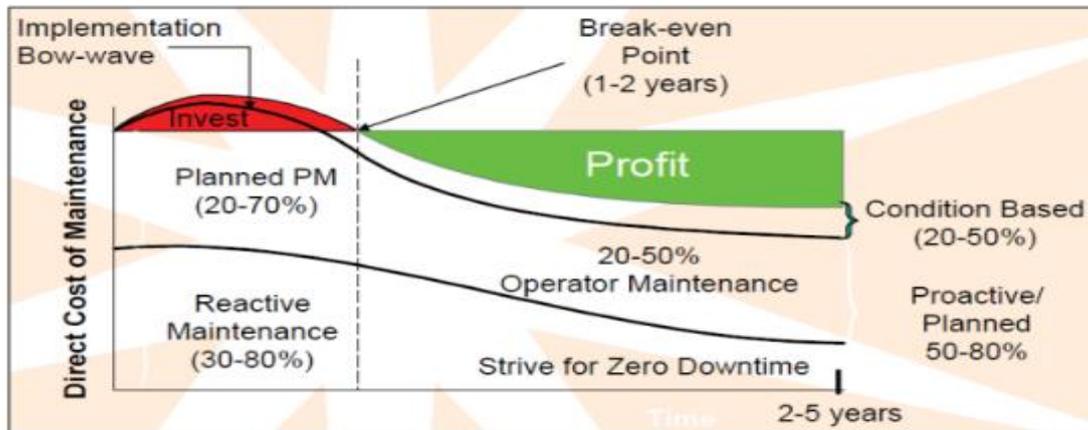


Figura 3.29. Fuente: NASA, Reliability centered maintenance guide for facilities and collateral equipment. 2008.

Costos Consolidados Promedios de los 03 Scoops R1600G por paradas no programadas		
Gastos Directos	Periodo 2014	Periodo 2015(Aplicación RCM)
Mano de Obra(\$)	\$36,630.00	\$19,140.00
Gastos Indirectos	Periodo 2014	Periodo 2015(Aplicación RCM)
Repuestos(\$)	\$55,820.00	\$18,360.00
Insumos(\$)	\$8,800.00	\$4,550.00
Perdida por detención del equipo(\$)	\$35,100.00	\$17,000.00
Perdidas por detención de la producción(\$)	\$125,000.00	\$40,000.00
Costos Totales de Mantenimiento	\$261,350.00	\$99,050.00

Tabla 3.59. Costos Totales de Mantenimiento antes y después de la aplicación del RCM

Se puede observar que implementando RCM se logró una reducción significativa de los costos totales de mantenimiento más del 50% de los costos iniciales en el periodo 2014.

Capítulo IV. Discusión de Resultados y Contrastación de Hipótesis

4.1. Contrastación de Hipótesis

Luego de obtener los resultados con la metodología RCM observamos que existe una influencia significativa en la disponibilidad inicial del 85% con respecto a la final 93%.

1. La data recogida de las tablas 3.2 a la 3.4 durante el periodo 2014 nos muestran que los datos son Independientes e Idécticamente Distribuidas (IID) según se muestran en las figuras 3.17 a la 3.22, la cuales pueden ser sometidas a las técnicas estadísticas clásicas para el análisis de confiabilidad.
2. El análisis de Prueba de Bondad de Ajuste de acuerdo con las tablas 3.23 a la 3.25 nos da como resultado que la distribución de Weibull es la que mejor se ajusta a la data y deberían estudiados bajo esos criterios.
3. Los resultados obtenidos durante la toma de data en el periodo 2014 de los Cargadores de Bajo Perfil N°16,17 y 18 nos muestran que los sistemas más críticos son motor e hidráulico para el Scoop 16 (Tabla 3.27), tren de fuerza e hidráulico para el Scoop 17(Tabla 3.29) y motor e hidráulico para el Scoop 18(Tabla 3.31), los cuales representan el mayor número de horas de paradas de los equipos.
4. La disponibilidad inicial de la flota (Scoops N°16,17 y 18) se encuentra en el 85% según se muestra en la tabla 3.8, por debajo de los estándares de clase mundial y requisitos del cliente para cumplir con su producción.
5. Mediante el análisis FMEA y evaluación de los riesgos (RPN) de cada modo de falla se pudo desarrollar controles para disminuir el impacto de las fallas y analizar su viabilidad de cada uno (tablas 3.36 a la 3.53).
6. Luego de la implementación del RCM mediante el análisis realizado la disponibilidad de la flota durante el periodo 2015 alcanzo un 93% con MTTR de 10.49 horas y MTBF 129 horas (tabla 3.58), alcanzando los estándares de clase mundial.
7. Los costos totales de mantenimiento del periodo 2015 se redujeron más de la mitad en comparación con el periodo anterior 2014 (tabla 3.59).

Conclusiones

1. Los estudios de mantenimiento y confiabilidad deben ser una parte integral de la gestión de la ingeniería minera para la utilización efectiva de los recursos y para lograr una mayor productividad. En la presente tesis, el estudio de la flota de cargadores de bajo perfil R1600G N°16,17 y 18 nos muestran que los sistemas más críticos son motor e hidráulico para el Scoop 16, tren de fuerza e hidráulico para el Scoop 17 y motor e hidráulico para el Scoop 18, los cuales representan el mayor número de horas de paradas de los equipos. Estos sistemas presentan reparaciones que ocurren con mayor frecuencia y consumen la mayor cantidad de tiempos de reparación. Estos sistemas son críticos desde el punto de vista de la confiabilidad. La distribución de Weibull proporcionó la distribución que mejor se ajustaba, en la mayoría de los casos, a los datos de tiempo entre fallas de tres Cargadores de Bajo Perfil R1600G.
2. Realizando el FMEA y evaluación de los riesgos (RPN) de cada modo de falla se pudo desarrollar controles para disminuir el impacto de las fallas y analizar su viabilidad de cada uno de ellos, mejorando la planificación y el estado actual de mantenimiento, recogiendo las buenas prácticas e implementando tareas críticas que ayuden a mejorar y lograr la disponibilidad del 93%, con MTTR de 10.49 horas y MTBF 129 horas, alcanzando los estándares de clase mundial.
3. Finalmente, los costos totales de mantenimiento disminuyeron en más de la mitad comparando los periodos 2014 y 2015.

Recomendaciones

1. El presente estudio tuvo por finalidad aplicar la metodología de RCM así como de cambiar la cultura del personal de mantenimiento, por lo que se recomienda que se continúe con la mejora de los planes de mantenimiento las demás flotas de equipos de mina y planta que forman parte de la Unidad Minera de Extracción de Cobre.
2. Se recomienda realizar un Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) de las flotas auxiliares de equipos de la Unidad Minera, para conocer el impacto que tendrían las posibles fallas, para que el personal técnico y de ingeniería mejore la gestión de mantenimiento.
3. Asimismo, se recomienda determinar el ciclo óptimo de mantenimiento de todos los equipos de producción de la planta concentradora de la Unidad Minera, en base a sus respectivos historiales de fallas y con las herramientas aquí estudiadas. Todo esto con el propósito de reducir el coste optimizando la gestión de mantenimiento.
4. Se recomienda adquirir un sistema ERP para un mejor reporte y control del mantenimiento que impactaría en un análisis a tiempo real de la confiabilidad
5. Realizar auditorías internas y externas periódicamente en el área de mantenimiento, con la finalidad que se pueda verificar la implementación del RCM y ver el estado de madurez de la gestión del mantenimiento logrando disminuir las brechas apuntando a ser una empresa de Clase Mundial.
6. Realizar capacitaciones permanentes al personal estable con el fin de lograr que estas herramientas de confiabilidad se vuelvan parte de la cultura de la persona y de la empresa.
7. Contratar personal calificado en al área de mantención con experiencia no solo practica sino con conocimientos en herramientas cualitativos y cuantitativos de mantenimiento, con el fin de asegurar la preservación de lo logrado e impulsar su mejora continua.

Referencias

- Blache, K. y. (1994). *Procedimientos de la fiabilidad anual y Symposium de la mantenibilidad* .
- Blancas Hidalgo, J. L. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar el mantenimiento preventivo de las metradoras automáticas de la empresa Indeco S.A.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Aplicada Tipo Cuantitativa. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_0311763ec843cd27e54bfca42b91691b
- CAT, M. (2018). *DEALER CAT.COM.PE*. Obtenido de <https://www.ferreyros.com.pe/productos/maquinas/cargadores/cargadores-de-bajo-perfil>
- CATERPILLAR. (2005). *Performance Metrics for Mobile Mining Equipment. Prioria: Caterpillar Inc.USA: Handbook KPI (pp. 20-40).Dealer CAT.*
- David Jesús Barros Chaparro , Guillermo Valencia Ochoa, Lisandro Vargas Henríquez. (2014). Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo, Aplicada de tipo Cuantitativa. *Scientia et Technica Año XIX*, Vol. 19, No. 2. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84931680008>
- Electro-Technical), I. (. (1991). *Vocabulario internacional, Capitulo 191: Fiabilidad y calidad de servicio.*
- JHON, M. (1997). *Reliability-Centered Maintenance RCM II (Vol.2)*. New York: Industrial Press Inc.
- Juan Pablo Diestra Quevedo, L. E. (2017). Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (rcm), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad. *Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación VOL4/N° 1, Aplicada Tipo Cualitativa*. Obtenido de <https://revistas.uss.edu.pe>
- Norma UNE-EN Mantenimiento. (2003). *Gestión de la confiabilidad.Parte 3-11: Guía de aplicación. Mantenimiento centrado en la fiabilidad.*
- Pérez Negreiros, Raúl Martín; Cáceres Torres, Paúl Luis. (2017). *Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la mejora del mantenimiento de una prensa de rodillos HPGR*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Tarar, M. A. (March 21-22, 2014, Dubai (UAE)). Study Reliability Centered Maintenance (RCM) of Rotating Equipment through Predictive Maintenance. *2nd International Conference on Research in Science, Engineering and Technology (ICRSET'2014)*, Tipo Cuantitativa . doi:<http://dx.doi.org/10.15242/IIE.E0314595>

W. Pobporn, O. N. (2014). Reliability Centered Maintenance (RCM). Implementation on PEA Power Distribution Systems: A, Case Study of Bang-Pa-In Branch Office, Aplicada Tipo Cuantitativa. *GMSARN International Journal*, 41 - 46. Obtenido de <http://gmsarnjournal.com/home/wp-content/uploads/2015/08/vol8no2-2.pdf>

Xian Min Ma, X. R. (2014). Research on Maintenance Strategy of Coal Mining Vehicle Based on RCM,. *Applied Mechanics and Materials Vols 543-547*, Aplicada de tipo Cuantitativa, 126-129. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.543-547.126

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de Consistencia

1

Anexo 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA			
DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD(RCM) PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LOS EQUIPOS UNDERGROUND EN UNA EMPRESA MINERA DE EXTRACCIÓN DE COBRE			
<p>Problema General: ¿Será el plan de mantenimiento actual el que está ocasionando la baja disponibilidad en los Equipos Underground?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>1. ¿Cómo afecta el análisis de criticidad de los sistemas principales del Cargador de bajo Perfil en el aumento de la disponibilidad?</p> <p>2. ¿En cuánto incrementará la disponibilidad del equipo al elaborar el FMEA de los sistemas más críticos?</p> <p>3. ¿De qué manera la evaluación de los indicadores de mantenimiento MTBF, MTTR, disponibilidad mecánica comprobó la efectividad del Diseño del Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)?</p> <p>4. ¿De qué forma al ejecutar las nuevas tareas del plan de mantenimiento basada en la aplicación del RCM impactará en la productividad y reducción de los costos de mantenimiento?</p>	<p>Objetivos:</p> <p>Objetivo General:</p> <p>□ Incrementar la disponibilidad mecánica de los Equipos Underground en una empresa minera de extracción de cobre con un Plan de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <p>1. Realizar un análisis de criticidad de los sistemas principales del Cargador de bajo Perfil para aumentar la disponibilidad de los equipos.</p> <p>2. Elaborar el FMEA de los sistemas más críticos para mejorar el plan de mantenimiento actual.</p> <p>3. Evaluar los indicadores de mantenimiento MTBF, MTTR, disponibilidad mecánica para comprobar la efectividad del Diseño del Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).</p> <p>4. Ejecutar las nuevas tareas del plan de mantenimiento basada en la aplicación del RCM para la reducción de los costos de mantenimiento.</p>	<p>Hipótesis:</p> <p>Hipótesis General:</p> <p>□ Mediante un Plan de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad se logrará incrementar la disponibilidad mecánica en los equipos Underground en una empresa minera de extracción de cobre</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <p>1. Realizando un análisis de criticidad de los sistemas principales del Cargador de bajo Perfil permitirá aumentar la disponibilidad de los equipos.</p> <p>2. Elaborando el FMEA de los sistemas más críticos permitirá mejorar el plan de mantenimiento actual.</p> <p>3. Evaluando los indicadores de mantenimiento MTBF, MTTR, disponibilidad mecánica permitirá comprobar la efectividad del Diseño del Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).</p> <p>4. Ejecutando las nuevas tareas del plan de mantenimiento basada en la aplicación del RCM permitirá la reducción de los costos de mantenimiento.</p>	<p>Variabes:</p> <p>Variable Independiente:</p> <p>□ Diseño de un Plan de Mantenimiento basado en la confiabilidad RCM(X)</p> <p>Dimensiones:</p> <p>□ Nivel de Criticidad de equipos(actual)</p> <p>□ FMEA(actual)</p> <p>□ Tiempo medio entre fallas (actual)</p> <p>□ Tiempo medio entre reparaciones (actual)</p> <p>Costos Actuales.</p> <p>Indicadores:</p> <p>□ Numero de Prioridad de Riesgo (en unidades numéricas del 1 al 1000)</p> <p>□ Modos de fallos (en unidades numéricas)</p> <p>□ Estado de tareas de mantenimiento (en unidades numéricas).</p> <p>□ Tiempo medio entre fallas (en unidades de tiempo horas).</p> <p>□ Tiempo medio entre reparaciones (en unidades de tiempo horas).</p> <p>Costo total de Mantenimiento Actual (en unidades numéricas).</p> <p>Variable dependiente:</p> <p>□ Disponibilidad Mecánica (en unidades de porcentaje)(Y)</p> <p>Dimensiones:</p> <p>Métricas del Mantenimiento</p> <p>Indicadores:</p> <p>□ MTBF (en unidades de tiempo horas).</p> <p>□ MTTR (en unidades de tiempo horas).</p> <p>Costo total de Mantenimiento Proyectado.(en unidades numéricas).</p>

Matriz de Consistencia