



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**



**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO  
PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DEL  
VOLQUETE MERCEDES BENZ MODELO ACTROS 4144K DE LA  
EMPRESA MUR WY S.A.C.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**RENZO LEON CARI VALENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DEL VOLQUETE MERCEDES BENZ MODELO ACTROS 4144K DE LA EMPRESA MUR WY S.A. C.**

AUTOR

**RENZO LEON CARI VALENCIA**

RECuento de palabras

**33635 Words**

RECuento de caracteres

**174037 Characters**

RECuento de páginas

**133 Pages**

Tamaño del archivo

**2.5MB**

Fecha de entrega

**May 3, 2023 3:30 AM GMT-5**

Fecha del informe

**May 3, 2023 3:32 AM GMT-5**

### ● 10% de similitud general

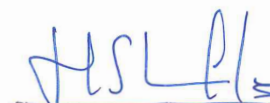

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)

  
  
Ing. Julio Freddy Chura Acero  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
CIP: 135145  
V/O  
Sub. Director de Investigación  
EPIME.

  
  
MSc. Henry Shuta Lloclla  
Ingeniero Mecánico Electricista  
CIP: 91224

Resumen



## DEDICATORIA

Les dedico a ustedes este logro amado padres Salomón y Julia, como una meta más conquistada. gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y superación.

A mi esposa Mary, a mis hijos Jeremy y Sofía. Quienes me brindaron su apoyo, comprensión e infinita paciencia, permitiéndome llevar a cabo un proyecto que pasó de ser un objetivo personal a un emprendimiento familiar. a ellos, mi eterno amor y aprecio.

**Renzo Leon Cari Valencia**



## AGRADECIMIENTO

Doy las gracias a Dios no sólo por las bendiciones que me da a lo largo de la vida, sino también por guiarme a lo largo de mi existencia, por ser el apoyo y la fuerza en los momentos de dificultad y debilidad.

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno por acogerme en sus ambientes. A la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, a los docentes por las enseñanzas y experiencia brindadas en mi formación como profesional competente e íntegro para el servicio en la sociedad.

**Renzo Leon Cari Valencia**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 14**

**ABSTRACT..... 15**

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN..... 16**

**1.2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO ..... 17**

**1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 17**

1.3.1. Objetivo general..... 17

1.3.2. Objetivos específicos ..... 17

## **CAPITULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN ..... 18**

**2.2 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO ..... 22**

2.2.1. Objetivos del Mantenimiento..... 23

**2.3. TIPOS DE MANTENIMIENTO ..... 23**

2.3.1 Mantenimiento Correctivo ..... 23

2.3.2 Mantenimiento Preventivo..... 25



2.3.3 Mantenimiento Predictivo.....	28
<b>2.4. NUEVAS EXPECTATIVAS DEL MANTENIMIENTO.....</b>	<b>30</b>
2.4.1. Mantenimiento Productivo Total (T.P.M.) .....	32
2.4.2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (R.C.M.) .....	33
<b>2.5. MANTENIMIENTO PROACTIVO .....</b>	<b>34</b>
2.5.1. Fases del mantenimiento proactivo.....	35
2.5.2. Etapas para implementar el mantenimiento proactivo .....	35
<b>2.6. METODOLOGÍA (RAM) .....</b>	<b>36</b>
2.6.1. Etapas del Análisis (RAM) .....	38
2.6.2. Objetivos del análisis RAM .....	41
2.6.3. Consideraciones para el análisis RAM .....	41
2.6.4. Beneficio de un programa RAM.....	42
<b>2.7. INDICADORES DEL MANTENIMIENTO .....</b>	<b>42</b>
2.7.1. Confiabilidad.....	42
2.7.2. Mantenibilidad .....	45
2.7.3. Disponibilidad.....	46
<b>2.8. INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO (KPI) .....</b>	<b>47</b>
2.8.1. Disponibilidad Mecánica (Disp M%) .....	47
2.8.2. Disponibilidad Física (Disp F%).....	47
2.8.3. Utilización (U %).....	48
2.8.4. Tiempo medio entre fallas (MTBF) .....	48
2.8.5. Tiempo medio entre reparaciones (MTTR) .....	48
<b>2.9. VOLQUETE MERCEDES BENZ MODELO ACTROS 4144K.....</b>	<b>49</b>
2.9.1. Especificaciones del volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K.....	50
2.9.2. Dimensiones del volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K.....	51



2.9.3. Sistemas del volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K ..... 52

### CAPITULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

**3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO ..... 60**

**3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN..... 60**

**3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN ..... 61**

3.3.1. Tipo de investigación ..... 61

3.3.2. Técnicas de recolección de datos ..... 62

3.3.3. Técnicas de análisis de datos ..... 65

3.3.4. Método de la investigación. .... 65

3.3.5. Unidades de información ..... 66

**3.4. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN..... 66**

3.4.1. Diagnóstico de la Situación Actual. .... 66

3.4.2. Estrategias de Mantenimiento ..... 67

3.4.3. Control de Uso de Equipos ..... 68

3.4.4. Control de Plan de Mantenimientos..... 68

3.4.5. Control de Inspección de Equipos. .... 68

3.4.6. Programa de Intercambio de Componentes. .... 69

3.4.7. Análisis de Rendimientos de Mantenimiento. .... 70

3.4.8. Diagrama de Pareto de la disponibilidad mecánica (Disp. Mec. %)..... 70

3.4.9. Tiempo Promedio para Fallas (MTBF)..... 72

3.4.10. Tiempo Medio entre Reparaciones (MTTR). .... 73

3.4.11. Fallas por Sistemas y Subsistemas..... 73

3.4.12. Análisis de Modo y Efectos de Fallas. .... 74

3.4.13. Análisis de Criticidad..... 77



3.4.14. Árbol de decisiones .....	79
3.4.15. Metodología (RAM) .....	81
<b>3.5. PROCESAMIENTO DE DATOS.....</b>	<b>86</b>
<b>3.6. VARIABLES .....</b>	<b>86</b>
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>4.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....</b>	<b>87</b>
4.1.1. Análisis de modos, efectos de falla (AMFE) .....	88
4.1.2. Análisis de criticidad.....	92
4.1.3. Análisis de los componentes críticos. ....	94
4.1.4. Análisis RAM .....	101
<b>4.2 DISEÑO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PROACTIVO. ....</b>	<b>110</b>
4.2.1. Gestión del Mantenimiento Proactivo.....	110
4.2.2. Organización Estructural de la Gestión del Mantenimiento Proactivo...	111
4.2.3. Programación del Mantenimiento Proactivo.....	114
4.2.4. Stock de Repuestos en Almacén .....	120
4.2.5. Administración de la gestión del mantenimiento proactivo.....	123
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>126</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>127</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>132</b>

**ÁREA:** Mecánica

**TEMA:** Mantenimiento Proactivo

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 10 de mayo del 2023





## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Aspectos para la gestión del mantenimiento.....	22
<b>Figura 2:</b> Enfoque Sistémico Integral Kantiano de Mantenimiento Estratégico. ....	31
<b>Figura 3:</b> Estructura proactiva empresarial.....	34
<b>Figura 4:</b> Proceso de identificación de oportunidades de mejora.....	38
<b>Figura 5:</b> Etapas fundamentales del análisis (RAM).....	39
<b>Figura 6:</b> Diagrama de bloques en serie. ....	44
<b>Figura 7:</b> Diagrama de bloques en paralelo. ....	44
<b>Figura 8:</b> Dimensiones camión Mercedes Benz Actros 4144K.....	51
<b>Figura 9:</b> Estructura Motor OM 501 LA, del volquete Mercedes Benz Actros 4144K. 52	
<b>Figura 10:</b> Sistema eléctrico del volquete Mercedes Benz Actros 4144K. ....	53
<b>Figura 11:</b> Árbol de transmisión del volquete Mercedes Benz Actros 4144K.....	54
<b>Figura 12:</b> Kit de embrague del volquete Mercedes Benz Actros 4144K.....	55
<b>Figura 13:</b> Caja de Cambios Modelo G240-16 del volquete MB Actros 4144K. ....	55
<b>Figura 14:</b> Sistema hidráulico de dirección del volquete MB Actros 4144K.....	56
<b>Figura 15:</b> Sistema Chasis estructura del volquete Mercedes Benz Actros 4144K. ....	57
<b>Figura 16:</b> Sistema de Suspensión del volquete Mercedes Benz Actros 4144K.....	58
<b>Figura 17:</b> Sistema de Frenos del volquete Mercedes Benz Actros 4144K. ....	59
<b>Figura 18:</b> Formato check list Volquete Mercedes Benz Actros 4144K.....	63
<b>Figura 19:</b> Formato de orden de trabajo. ....	64
<b>Figura 20:</b> Base de datos para el Volquete Mercedes Benz Actros 4144K.....	65
<b>Figura 21:</b> Organigrama Personal MUR WY proyecto minero Arasi.....	66
<b>Figura 22:</b> Diagrama de flujo diagnóstico actual del volquete MB Actros 4144K. ....	67
<b>Figura 23:</b> Formato propuesto para el control de inspecciones de equipos.....	69
<b>Figura 24:</b> Formato propuesto para el control de componentes. ....	70
<b>Figura 25:</b> Formato propuesto para el reporte de indicadores mensuales. ....	70
<b>Figura 26:</b> Diagrama de Pareto de la disponibilidad mecánica periodo 2022. ....	72
<b>Figura 27:</b> Diagrama de Pareto para el tiempo promedio para fallas. ....	72
<b>Figura 28:</b> Diagrama de Pareto para el tiempo medio entre fallas. ....	73
<b>Figura 29:</b> Diagrama de Pareto de identificación de fallas.....	74
<b>Figura 30:</b> Hoja de trabajo de AMFE. ....	74
<b>Figura 31:</b> Formato de hoja de trabajo propuesto (AMFE). ....	75
<b>Figura 32:</b> Diagrama de flujo para el análisis de criticidad. ....	77



<b>Figura 33:</b> Escala de criticidad con valor referencial. ....	78
<b>Figura 34:</b> Variables para el análisis de la criticidad de equipos.....	78
<b>Figura 35:</b> Tabla para la ponderación de criticidad. ....	79
<b>Figura 36:</b> Diagrama de flujo modalidad de falla del volquete MB Actros 4144K. ....	80
<b>Figura 37:</b> Diagrama de flujo para la inspección del volquete MB Actros 4144K. ....	81
<b>Figura 38:</b> Diagrama de bloques de los sistemas del Volquete MB Actros 4144K. ....	84
<b>Figura 39:</b> Diagrama causa – efecto del volquete Mercedes Benz Actros 4144K. ....	87
<b>Figura 40:</b> Hoja de trabajo AMFE para el volquete Mercedes Benz Actros 4144K. ....	88
<b>Figura 41:</b> Hoja de trabajo AMFE para el sistema de motor. ....	89
<b>Figura 42:</b> Hoja de trabajo AMFE para el sistema de refrigeración.....	89
<b>Figura 43:</b> Hoja de trabajo AMFE para el sistema de lubricación. ....	90
<b>Figura 44:</b> Hoja de trabajo AMFE para el sistema de transmisión.....	91
<b>Figura 45:</b> Hoja de trabajo AMFE para el sistema eléctrico. ....	91
<b>Figura 46:</b> Hoja de trabajo AMFE para el sistema de frenos. ....	92
<b>Figura 47:</b> Escala de criticidad para los sistemas del volquete MB Actros 4144K.....	93
<b>Figura 48:</b> Cálculo de criticidad según ponderación. ....	94
<b>Figura 49:</b> Resumen del cálculo de criticidad por sistema. ....	94
<b>Figura 50:</b> Análisis de criticidad de componentes del sistema de frenos. ....	95
<b>Figura 51:</b> Análisis de criticidad de componentes del sistema de motor.....	96
<b>Figura 52:</b> Análisis de criticidad de componentes del sistema de transmisión.....	97
<b>Figura 53:</b> Análisis de criticidad de componentes del sistema de suspensión.....	98
<b>Figura 54:</b> Análisis de criticidad de componentes del sistema de llantas.....	99
<b>Figura 55:</b> Componentes críticos del Sistema de Frenos, Motor y Transmisión.....	100
<b>Figura 56:</b> Componentes Importantes del Sistema de Frenos y Suspensión. ....	101
<b>Figura 57:</b> Diagrama de Pareto sistemas intervenidos del volquete MB Actros 4144K .....	103
<b>Figura 58:</b> Diagrama de bloques para el sistema de frenos .....	103
<b>Figura 59:</b> Grafica de probabilidad de distribución paramétrica. ....	104
<b>Figura 60:</b> Grafica de probabilidad Weibull. ....	105
<b>Figura 61:</b> Diagrama de bloques para el sistema de Motor .....	107
<b>Figura 62:</b> Grafica de probabilidad de distribución paramétrica. ....	107
<b>Figura 63:</b> Grafica de probabilidad Weibull. ....	108
<b>Figura 64:</b> Proceso para la Gestión de Mantenimiento Proactivo. ....	112
<b>Figura 65:</b> Proceso de inspección del Camión Volquete MB Actros 4144K .....	113



<b>Figura 66:</b> Frecuencia de mantenimiento en intervalos de horas de trabajo.....	114
<b>Figura 67:</b> Materiales eh insumos por mantenimiento preventivo. ....	115
<b>Figura 68:</b> Data histórico de mantenimientos preventivos. ....	116
<b>Figura 69:</b> Programa de intercambio de componentes. ....	117
<b>Figura 70:</b> Control de engrase y relleno de lubricante.....	118
<b>Figura 71:</b> Control del programa de trabajos diarios .....	119
<b>Figura 72:</b> Control del programa de mantenimiento mensual. ....	119
<b>Figura 73:</b> Diagrama de procesos para la adquisición de repuestos. ....	121
<b>Figura 74:</b> Cuadro de seguimiento semanal del stock de mantenimiento. ....	122
<b>Figura 75:</b> Pareto del stock de mantenimiento. ....	123



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Especificaciones técnicas Mercedes Benz Actros 4144K. ....	50
<b>Tabla 2:</b> Descripción del equipo. ....	60
<b>Tabla 3:</b> Disponibilidad mecánica mensual. ....	71
<b>Tabla 4:</b> Valores para los criterios de frecuencia. ....	76
<b>Tabla 5:</b> Valores para los criterios de Gravedad. ....	76
<b>Tabla 6:</b> Valores para los criterios de Detección. ....	76
<b>Tabla 7:</b> Cuadro resumen de sistemas del volquete para su análisis. ....	93
<b>Tabla 8:</b> Resumen del análisis de criticidad del sistema de frenos. ....	95
<b>Tabla 9:</b> Resumen del análisis de criticidad del sistema de motor. ....	96
<b>Tabla 10:</b> Resumen del análisis de criticidad del sistema de transmisión. ....	97
<b>Tabla 11:</b> Resumen del análisis de criticidad del sistema de suspensión. ....	98
<b>Tabla 12:</b> Resumen del análisis de criticidad del sistema de llantas. ....	99
<b>Tabla 13:</b> Resumen de sistemas intervenidos del volquete MB Actros 4144K. ....	102
<b>Tabla 14:</b> Intervalos de confianza para el sistema de frenos ....	106
<b>Tabla 15:</b> Intervalos de confianza para el sistema de Motor ....	109
<b>Tabla 16:</b> Denominación del mantenimiento según frecuencia en horas ....	114
<b>Tabla 17:</b> Costo de mantenimiento según frecuencia en horas. ....	115



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>TPM:</b>	Mantenimiento Productivo Total.
<b>RCM:</b>	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.
<b>LTDA:</b>	Limitada.
<b>AMFE:</b>	Análisis Modal de Fallos y Efectos.
<b>MB:</b>	Mercedes Benz.
<b>MTTR:</b>	Tiempo Promedio para Reparar.
<b>MTBF:</b>	Tiempo Promedio entre Fallas.
<b>NPR:</b>	Numero Prioritario de Riesgo.
<b>RAM:</b>	Disponibilidad mantenibilidad y confiabilidad.
<b>OT:</b>	Orden de Trabajo.
<b>KPI:</b>	Indicador Clave de Rendimiento.
<b>PMP:</b>	Programa de mantenimiento Preventivo.
<b>SOS:</b>	Muestreo de aceite programado.
<b>PCR:</b>	Programa de Reemplazo de Componentes.
<b>SC:</b>	Solicitud de Compra



## RESUMEN

La falta de procedimientos en la Gestión del Mantenimiento, provoca que en ocasiones el mantenimiento se torne totalmente correctivo en lugar de planificado, originando una baja disponibilidad mecánica, el presente proyecto de investigación es de tipo descriptivo no experimental, transversal, el estudio se realizó en el proyecto minero Arasi ubicado en el departamento de Puno, provincia de Lampa, distrito de Ocuwiri, y tuvo como objetivo principal diseñar un plan de mantenimiento proactivo para incrementar la disponibilidad mecánica, disminuir el tiempo entre fallas de los sistemas y componentes críticos del volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K de la empresa MUR WY S.A.C; mediante la metodología AMFE, se analizó el historial de fallas a través de la generación de un ranking de criticidad de los sistemas, jerarquizando las fallas, seguido del Análisis RAM, el cual permite conocer la distribución de los sistemas críticos mediante el diagrama de bloques, para determinar la confiabilidad de los sistemas críticos se utilizó el programa Minitab considerando una distribución Weibull, obteniendo intervalos de confianza en horas de trabajo para los sistemas analizados, se demostró la importancia de gestionar las inspecciones y la frecuencia de los mantenimientos preventivos, asociando especialmente el reemplazo de componentes críticos en las actividades preventivas; concluyéndose como sistemas críticos el sistema de frenos y el sistema motor junto con sus elementos internos. Con base en estos resultados, se recomendaron acciones proactivas y la mejora de los planes de mantenimiento por medio de diagramas de proceso, todo esto con el propósito de incrementar la disponibilidad mecánica del volquete Mercedes Benz Actros 4144K.

**Palabras Clave:** Mantenimiento, predictivo, proactivo, reactivo.



## ABSTRACT

The lack of procedures in Maintenance Management, causes that sometimes the maintenance becomes totally corrective instead of planned, causing a low mechanical availability, this research project is descriptive non-experimental, cross-sectional, the study was conducted in the Arasi mining project located in the department of Puno, province of Lampa, district of Ocuvi, and its main objective was to design a proactive maintenance plan to increase the mechanical availability, decrease the time between failures of the systems and critical components of the Mercedes Benz dump truck model Actros 4144K of the company MUR WY S. A. C; by means of the FMEA methodology, the failure history was analyzed through the generation of a criticality ranking of the systems, hierarchizing the failures, followed by the RAM Analysis, which allows to know the distribution of the critical systems by means of the block diagram, to determine the reliability of the critical systems, the Minitab program was used considering a Weibull distribution, obtaining confidence intervals in working hours for the systems analyzed, the importance of managing inspections and the frequency of preventive maintenance was demonstrated, associating especially the replacement of critical components in preventive activities; The braking system and the engine system together with its internal elements were concluded as critical systems. Based on these results, proactive actions and the improvement of the maintenance plans were recommended by means of process diagrams, all this with the purpose of increasing the mechanical availability of the Mercedes Benz Actros 4144K dump truck.

**Keywords:** Maintenance, predictive, proactive, reactive.



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

Dentro de toda empresa que brinda servicios en minería, surge la necesidad de implementar acciones que motiven el cumplimiento de los objetivos propuestos. Donde el personal se ve en la necesidad de plantear nuevas innovaciones en este mundo altamente competitivo, requiere también del ingenio de estrategias contundentes para continuar brindando el servicio con altos porcentajes de confiabilidad.

Mediante la metodología (RAM) se clasificará cada uno de los subsistemas identificados a nivel práctico del volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K, para luego realizar el Análisis de modos de fallos y su efecto (AMFE), basándonos en las órdenes de trabajos por fallas aleatorias, las reparaciones, las paradas parciales y totales, por último, se desarrollará el plan de mantenimiento proactivo para la vida útil del equipo,

Este resultado nos permitirá maximizar el tiempo promedio entre fallas (MTBF) y minimizar el tiempo promedio para reparar (MTTR).

### **1.1. PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN**

El proceso productivo del camión volquete mercedes Benz modelo Actros 4144K en el proyecto minero Arasi, consta principalmente del acarreo de material sea mineral o desmonte del punto de carguío al punto de pads lixiviacion o botadero según sea el caso, debiendo de cumpliendo este ciclo de trabajo de forma segura, para este proceso productivo se considera al volquete como un activo crítico, por tal motivo urge garantizar la disponibilidad mecánica del volquete con la finalidad de evitar la reincidencia de fallas, que comprometan el cumplimiento de metas programadas del proyecto minero Arasi.





## **1.2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

El presente proyecto de investigación se justifica por la baja disponibilidad mecánica con un promedio mensual del 82% del volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K, el cual presenta una gran cantidad en horas por paradas no programadas; Lo cual repercute principalmente en el cumplimiento del acarreo de material; teniendo un programado de 758,880. toneladas de mineral y 431,613 toneladas de desmote mensualmente en las obras del proyecto minero ARASI, de la misma forma también se ve afectado el valorizado mensual de la empresa MUR WY S.A.C. por el alquiler del equipo, por el no cumplimiento de las horas mínimas de trabajo del equipo.

## **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Objetivo general**

- Diseñar un plan de mantenimiento proactivo para incrementar la disponibilidad mecánica, disminuir el tiempo medio entre fallas de los sistemas y componentes críticos del volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K de la empresa MUR WY S.A.C.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Evaluar la gestión del mantenimiento actual de la empresa MUR WY S.A.C. para el volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K.
- Analizar los tipos de parada por mantenimientos correctivos en los sistemas y componentes de acuerdo al historial de paradas, según la orden de trabajo realizado al volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K.



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

Este capítulo engloba el desarrollo de una revisión bibliográfica para dar a conocer los conceptos que engloban la mejora continua en la gestión del mantenimiento, así como las características propias del camión volquete Mercedes Benz Actros 4144K. A continuación, se describe su desarrollo.

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de un mantenimiento proactivo surge a la necesidad de disminuir los mantenimientos correctivos; ya que este obligaba a detener los trabajos, con sus correspondientes retrasos y pérdidas económicas. El mantenimiento proactivo busca anticiparse a los acontecimientos, reducir los tiempos entre fallas por averías y conseguir una mayor disponibilidad mecánica mediante acciones de mejora.

Tomando en cuenta los proyectos que se mencionan líneas abajo, se pretende incrementar la disponibilidad mecánica del volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K. Mediante el Análisis de modos de fallos y su efecto teniendo en cuenta su criticidad (AMFE), análisis de la metodología de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad (RAM) finalmente las metodologías estudiadas en los proyectos que se mencionan en seguida tienen el objetivo de mejorar la disponibilidad y confiabilidad de una flota de equipos.

**David Alejandro Vega Alfonso Y Luis Antonio Jiménez Ávila (2015)**, en su investigación para obtener el Título de grado en Ingeniería Mecánica, tesis internacional (Colombia) “Propuesta de Mantenimiento Proactivo Para Prodimal Ltda” tuvo como objetivo; Proponer una estrategia de mantenimiento proactivo para el manejo táctico-operativo de los equipos y maquinarias del proceso operativo de Prodimal Ltda. En la



medida en que se busca mejoras y optimizar el proceso productivo y a la vez lograr la competitividad en el mercado emergente, se consideró necesario utilizar herramientas comerciales estratégicas, entre una de ellas la gestión del mantenimiento, cuyo principal objetivo fue la de prolongar la vida útil de un activo con mejoras continuas y una mejor práctica. Con este fin se consideró necesario estudiar las condiciones actuales de trabajo de la empresa para seleccionar de manera objetiva la mejor estrategia de mantenimiento proactivo, se partió por la recopilación de información, analizar la característica, la recopilación para documentar (manuales, procedimientos, manuales, formatos) e implementar planes y procedimientos de Mantenimiento Productivo Total (TPM), que es la estrategia recomendada para la gestión de activos Producto de la empresa Prodimetal Ltda.

**Luis Fernando León Lecca (2017)**, en su investigación para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico, tesis nacional titulada “mantenimiento proactivo basado en el análisis y monitoreo de aceite lubricante aplicado a la flota de tractocamiones freightliner" tuvo como objetivo; implementar un Plan de mantenimiento proactivo, para la flota de equipos tractocamiones Freightliner; utilizando el análisis de las muestra de aceite de dos unidades, basadas en el análisis y monitoreo de aceite como herramienta clave, para disminuir las paradas imprevistas.

En su trabajo de investigación busca desarrollar un mantenimiento proactivo basado en el análisis y seguimiento de los lubricantes aplicados a los motores del tracto camión Freightliner de la empresa Transpesa según lo requiera el contexto operacional. Para ello se realizó un análisis de severidad en base a las paradas y reparaciones de los dos semirremolques, por ser los remolques con mayor índice de paradas no programadas durante el transporte de material. Luego, se aplican técnicas para analizar las causas y efectos de las fallas del aceite del motor. Luego se tomaron muestras de las dos unidades



para realizar análisis de aceite usado en los respectivos motores, estas muestras fueron llevadas al laboratorio para su análisis y su reporte nos permitiría determinar que contaminante es el elemento es el que provoca mayor desgaste en el motor, para realizar un seguimiento; o en su caso, mejorar las acciones preventivas para reducir las partículas contaminantes en el aceite. Finalmente, se realizó un análisis de los resultados obtenidos, donde los aportes fueron reducir las actividades de remediación no planificadas, aumentar las horas de operación de las unidades y por ende una mayor disponibilidad y rendimiento del tracto camión.

**Any Katherine, Martínez Durand y Porfirio, Minchan Pompa (2019)**, en su investigación para obtener el grado de ingeniero de minas, tesis nacional titulada “mejora en la gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de carguío y acarreo de una empresa minera de la libertad” tuvo como objetivo; Demostrar cómo una mejor gestión del mantenimiento aumentará la disponibilidad mecánica de los equipos de carga y descarga de una empresa minera en La Libertad.

En esta investigación se tuvo como objetivo principal lograr una mejora en la gestión de mantenimiento en una empresa minera de la Libertad, donde se busca conseguir incrementar la disponibilidad mecánica de camiones marca Mercedes Benz Actros4144K y excavadora en la marca modelo CAT 390D, para lo cual se ha desarrollado el diseño de la gestión del mantenimiento; la investigación fue del tipo descriptivo, logrando así los siguientes resultados. Se puede identificar y analizar las causas de la baja disponibilidad mecánica, debido al incumplimiento de un programa de mantenimiento preventivo, la realización de una pésima gestión en la adquisición de repuestos, la falta de flujo de trabajo, la falta del registro de las fallas de las máquinas y la falta de la constante capacitaciones al grupo de trabajo. Se realizaron mejoras en la



gestión de mantenimiento en la empresa minera la Libertad para lograr incrementar la disponibilidad mecánica.

**Darwin Virgilio, Palacios Rojas (2020)**, en su investigación Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Mecánico Electricista, tesis nacional titulada “Mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica del camión volquete Mercedes Benz Actros modelo 3344K en el proyecto Shahuindo” tuvo como objetivo; Determinar el impacto del mantenimiento orientado a la confiabilidad del camión volquete Mercedes Benz modelo ACTROS 3344K con la finalidad de incrementar la disponibilidad mecánica en el proyecto Shahuindo.

En este caso, el principal problema a responder es: ¿Cómo influye el mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) para los camiones volquete Mercedes Benz modelo Actros 3344K en la disponibilidad mecánica en el proyecto minero de Shahuindo? De igual forma, el objetivo principal a determinar es el efecto del mantenimiento enfocado a la confiabilidad (RCM) para los volquetes Mercedes Benz modelo Actros 3344K para mejorar la disponibilidad mecánica en el proyecto minero Shahuindo. Del mismo modo, se tiene una hipótesis determinada; El mantenimiento enfocado a la confiabilidad del volquete Mercedes Benz Actros 3344K tiene aspectos positivos en la mejora de la disponibilidad mecánica de los equipos del proyecto Shahuindo. La muestra incluye un camión volquete Mercedes Benz Actros 3344K de Stracon S.A. para tal efecto la hipótesis general planteada en la encuesta se prueba al nivel del 95%, y el método utilizado en el análisis estadístico es la prueba de Student. Se concluyó que la disposición mecánica del camión volquete Mercedes Benz Actros 3344K, que completó las pruebas de mantenimiento aplicadas sobre confiabilidad, fue un resultado de 90,92%, superior al 83% del contratista original. Los resultados fueron ampliamente discutidos en el marco del proyecto minero.

## 2.2 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

La principal función del mantenimiento es sostener en el tiempo la funcionalidad y el buen estado de las máquinas. Sobre esta premisa, es factible entender la evolución del área de mantenimiento a lo largo de los diferentes períodos, de acuerdo con las necesidades de sus clientes, que son todas aquellas unidades o empresas de procesos o servicios que generan bienes reales o intangibles a través del uso de estos activos. (Mora, 2009)

Precisamente, surge el mantenimiento como un coste necesario para prevenir o reducir los fallos y su frecuencia cuando se producen. Así, el mantenimiento está relacionado con la necesidad de evitar o reducir los fallos y su frecuencia en el momento en que se producen. (Rodríguez, 2008)

La idea tradicional de mantenimiento atraviesa un cambio motivado por el hecho de que los equipos están ahora más automatizados y su diseño es más complicado. Por otra parte, se han perfeccionado nuevas técnicas y métodos de análisis, planificación y ejecución del mantenimiento, así como una nueva visión de la empresa y sus responsabilidades. (Milano, 2005)

**Figura 1:** Aspectos para la gestión del mantenimiento.



Fuente: Diaz (2004), Técnicas de Mantenimiento Industrial.



La planificación de la actividad de mantenimiento identifica los recursos necesarios para el mantenimiento, incluidos los recursos humanos, la administración, los equipos, las herramientas y el espacio necesarios para llevar a cabo la tarea de mantenimiento de forma eficaz y alcanzar los objetivos del departamento de mantenimiento. (Ben-Daya et al., 2009)

### **2.2.1. Objetivos del Mantenimiento**

El diseño e implementación de cualquier sistema en la organización y su posterior automatización debe tener siempre en cuenta que sirve a determinados objetivos. Cualquier sofisticación del sistema debe plantearse con mucha cautela para evitar el no cumplimiento de los objetivos o dificultar su realización. (Molina, 2011)

En lo que se refiere al mantenimiento, su organización e información debe estar orientada a la obtención constante de los siguientes objetivos.

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida de la máquina.

### **2.3. TIPOS DE MANTENIMIENTO**

En las actividades de mantenimiento pueden distinguirse las siguientes definiciones: mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo, los cuales se detallan a continuación.

#### **2.3.1 Mantenimiento Correctivo**

El mantenimiento correctivo es requerido cada vez que una pieza se rompe o en todo caso este no realiza sus funciones adecuadamente. Las acciones de mantenimiento deben llevarse a cabo para solucionar la falla y devolver al equipo o sistema su funcionalidad adecuada. En determinadas situaciones, no es posible una funcionalidad



completa del equipo y se acepta una funcionalidad mínima requerida para dar el soporte necesario en el proceso productivo. (Gullo & Dixon, 2021)

La corrección se realiza luego del inicio de la falla, lo que lleva a un funcionamiento degradado. Por lo general, las inspecciones revelan esta degradación. La reparación propiamente dicha puede realizarse antes o después de la falla, en función de nuestra evaluación de las consecuencias de la falla. (Narayan, 2005)

Este tipo de mantenimiento se clasifica en dos ramas:

- Correctivo no programado.
- Correctivo programado.

#### **2.3.1.1 Correctivo no programado**

Este concepto hace referencia a las intervenciones que se efectúan de forma inmediata, ya que algún equipo que ofrece un servicio indispensable ha dejado de hacerlo, por cualquier motivo, y hay que actuar de forma urgente, Los trabajos a realizar en este caso van encaminados a la recuperación inmediata de la calidad del servicio. (Dounce, 2007)

#### **2.3.1.2 Correctivo programado**

Se refiere a las actividades que se realizan en equipos o máquinas que prestan un servicio trivial, aunque son necesarias, no son imprescindibles para prestar una buena calidad de servicio, por lo que es preferible programar su atención. (Dounce, 2007)

#### **2.3.1.3 Historia**

A finales del siglo XVIII y principios del XIX, en plena revolución industrial, con la aparición de las primeras máquinas, comenzaron los trabajos de reparación, se iniciaron los conceptos de la competitividad de costos, surgieron en las grandes empresas, los primeros temores sobre las averías o paradas que se daban en la producción. En la década





de 1920, aparecieron las primeras estadísticas sobre los índices de averías en motores y equipos de aviación. (Molina, 2011)

#### **2.3.1.4. Ventajas**

No requiere una infraestructura excesiva, bastará con un grupo de operarios competentes, por lo que el coste de mano de obra será mínimo, primando más la experiencia y pericia de los operarios que la capacidad de análisis o estudio del tipo de problema que se produzca. Es ventajoso en equipos que no intervienen inmediatamente en la producción, donde la implantación de otro sistema sería poco rentable. (Molina, 2011)

#### **2.3.1.5. Desventajas**

En la producción se producen paradas y averías imposibles de prever que afectan a la planificación de manera incontrolada. Normalmente existe una baja calidad en las reparaciones por la rapidez de la intervención, y la urgencia de sustituir antes que reparar definitivamente, con lo que se produce un hábito de trabajar con deficiencias, una sensación de insatisfacción e impotencia, puesto que este tipo de intervenciones a menudo generan otras con el paso del tiempo debido a la mala reparación, por lo que será muy complicado acabar con dicha inercia. (Molina, 2011)

### **2.3.2 Mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento preventivo es el que se efectúa de forma proactiva con la finalidad de evitar un fallo o una avería. Por su naturaleza, el mantenimiento preventivo pretende encontrar fallas, problemas, problemas inminentes o tendencias que conducen a problemas antes de que se conviertan en fallos que requieran acciones correctivas. (Gullo & Dixon, 2021)

El método del mantenimiento preventivo es el más común para las máquinas y sistemas industriales. Con esta metodología, el mantenimiento se efectúa a intervalos



fijos. Puede ser horas, kilómetros o tiempo de servicio. Los intervalos suelen elegirse de forma que sólo el 1-2 % de la máquina tenga una falla en ese período. (Kumar et al., 2016)

El mantenimiento preventivo consiste en la realización de un régimen de verificaciones periódicas, programadas con criterios lógicos, de los componentes de los activos del activo fijo de la planta y de sus equipos, con el objeto de detectar deficiencias en las condiciones y estados de estos elementos que pudieran provocar paradas de la producción de manera fortuita o deterioros importantes en máquinas, equipos o instalaciones, y efectuar de manera constante los trabajos de mantenimiento necesarios en la planta para evitar tales situaciones, a través de la realización de ajustes o reparaciones, mientras las averías potenciales se encuentren en su estado inicial de desarrollo. (Álvarez, 2004)

En ciertas ocasiones, merece la pena sustituir un sistema en funcionamiento antes de que esté presente una falla. Por lo general, la razón para sustituir un sistema o componente que funciona es que el costo de hacerlo es pequeño en comparación con el costo de responder a una falla que se produce durante la operación del equipo. (Álvarez, 2004)

Se han definido históricamente hasta dos tipos de políticas de mantenimiento preventivo. Se denominan sustitución por envejecimiento o ciclo de vida y sustitución por sistema o conjunto de sistemas. Ambos pueden ser analizados mediante los conceptos de procesos y el tipo de trabajo al que está expuesto el equipo.

Últimamente se ha podido distinguir entre una pequeña reparación, donde se puede restablecer el funcionamiento de un equipo que falla sin modificar el nivel de riesgo, o una reparación completa, por la que se obtiene la función de nivel de riesgo correspondiente para un nuevo equipo. (Nachlas, 1995)



### **2.3.2.1 Historia:**

En la Segunda Guerra Mundial, el mantenimiento experimentó una importante evolución debido a las aplicaciones militares. En dicha evolución, los mantenimientos preventivos consistieron en su mayoría en inspeccionar la aeronaves cada vez que estos iniciara su vuelo y en reemplazar ciertos componentes de acuerdo con las horas de utilización del mismo. (Molina, 2011)

### **2.3.2.2. Ventajas:**

Hacerlo correctamente, requiere un amplio conocimiento de las máquinas y un manejo de los registros históricos que ayudarán notablemente en el control de la maquinaria e instalaciones.

El cuidado permanente implica un óptimo estudio de conservación cuya aplicación efectiva es imprescindible para contribuir a un correcto sistema de calidad así como a la mejora continua para el mantenimiento preventivo. (Molina, 2011)

La reducción de las acciones correctivas representa una reducción de los costes de producción y un incremento de la disponibilidad, lo que permite planificar el trabajo del personal de mantenimiento y anticipar las piezas o repuestos necesarios. El mejor momento para detener las actividades de producción se establece de mutuo acuerdo con el usuario del equipo y la empresa.

### **2.3.2.3. Desventajas:**

- Constituye una importante inversión inicial en equipamiento y en mano de obra. Su elaboración debe estar a cargo de ingenieros y técnicos especializados.
- Si no se analiza adecuadamente el nivel de mantenimiento preventivo, pueden producirse sobrecostes de mantenimiento sin mejoras significativas de la disponibilidad.



- El trabajo rutinario, al prolongarse en el tiempo, produce desmotivación en el personal, por lo que hay que crear sistemas imaginativos para convertir el trabajo repetitivo en un trabajo que genere satisfacción y compromiso; la participación de los trabajadores en el mantenimiento preventivo es esencial para el éxito del plan. (Molina, 2011)

### **2.3.3 Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo contribuye principalmente a detectar cuándo, dónde y por qué es propenso que se produzca una falla en los equipos. A nivel secundario, el mantenimiento predictivo contribuye a optimizar el inventario y permite minimizar los problemas relacionados con la calidad y la fiabilidad. Respalda la planificación de las operaciones y, a su vez, disminuye los costes de las mismas. El éxito de la aplicación del mantenimiento predictivo depende del acceso a los datos de los equipos, de la capacidad de detectar tendencias y de poder vincularlas al funcionamiento del sistema. (Kumar et al., 2016)

Según este método, el mantenimiento se realiza basándose en la predicción de futuras paradas o averías del equipo. La predicción se basa en el análisis de tendencias de los datos de diagnóstico recopilados mediante técnicas como el análisis de vibraciones o del aceite lubricante. Normalmente, la necesidad de mantenimiento no habría sido evidente sin el análisis de los datos de diagnóstico. (Palmer, 2006)

El mantenimiento predictivo consiste en prever el posible punto de avería de un componente de una máquina para poder sustituirlo, de acuerdo con un plan, justo antes de que falle. De este modo, se minimiza el tiempo de inactividad del equipo y se maximiza la vida útil del componente. (Alpízar, 2005)

Esta técnica parte de la experiencia de que la mayoría de los componentes de una máquina dan algún tipo de advertencia antes de fallar. Percibir los síntomas con los que



la máquina nos advierte requiere varias pruebas no destructivas, por ejemplo, el análisis del aceite, análisis de las vibraciones y la medición de la temperatura. (Alpízar, 2005)

El uso de estas técnicas de diagnóstico del estado de las máquinas dará lugar a un mantenimiento sustancialmente por encima de los anteriores.

El mantenimiento predictivo hace posible que la dirección de la empresa controle las máquinas y los programas de mantenimiento, y no al contrario. En las empresas en las que se utiliza el mantenimiento predictivo, prácticamente en todo momento se conoce el estado general de las máquinas, lo que permite hacer programaciones más precisas. (Díaz, 2004)

En el mantenimiento predictivo se emplean distintas disciplinas. El más importante de ellos son los análisis periódicos de vibraciones. Ha quedado demostrado en varias ocasiones que, de todos los análisis no destructivos que pueden realizarse en una máquina, la señal de vibración proporciona la mayor cantidad de información sobre su funcionamiento interno. (Días, 2004)

Algunas máquinas que pueden verse afectadas negativamente en caso de avería podrían tener instalado un monitor de vibraciones permanente. Con este monitor, sonará una alarma cuando el nivel de vibración exceda un cierto valor predeterminado. De este modo se evitan fallos que avanzan rápidamente y provocan una parada catastrófica. (Smith, 2003)

Esta modalidad de mantenimiento se fundamenta en la anticipación del fallo antes de que se produzca. Consiste en adelantarnos al fallo o al momento en que el equipo o elemento deja de funcionar en sus condiciones óptimas en un proceso productivo.

### **2.3.3.1 Historia**

En la década de 60 se empezaron a utilizar técnicas de inspección mecánica mediante el análisis de vibraciones y ruidos. El primer analizador de espectro de



vibraciones que utilizaba la FFT (transformada rápida de Fouries) fue creado por Bruel Kjaer.(Molina, 2011)

### **2.3.3.2 Ventajas**

Intervenir en el equipamiento o realizar el cambio de un elemento, nos exige dominar los procesos y disponer de algunos datos técnicos, que nos comprometan a un método de trabajo científicamente riguroso y objetivo. (Molina, 2011)

### **2.3.3.3 Desventajas**

La aplicación de este tipo de sistema exige una importante inversión inicial, dado que los equipos e instrumentos de análisis de vibraciones son caros. Además, es necesario asignar personal para la lectura periódica de los datos que se van a analizar. (Molina, 2011)

Es preciso que el personal sea capaz de interpretar los datos generados por los equipos de diagnóstico para extraer las conclusiones oportunas, tarea que requiere amplios conocimientos técnicos.

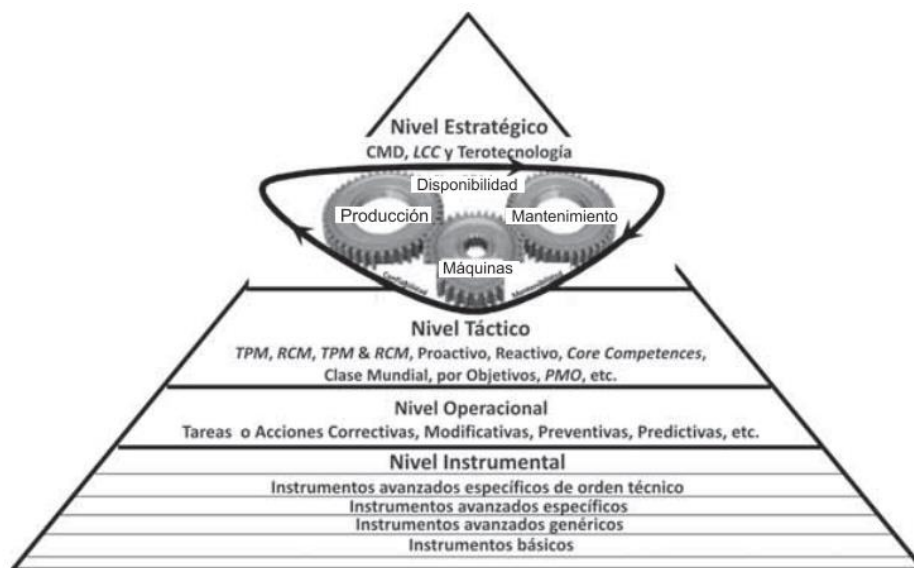
Debido a todos estos motivos, se puede justificar la implantación de este sistema en aquellas máquinas o instalaciones en las que las paradas intempestivas provocan cuantiosas pérdidas en el proceso productivo. (Molina, 2011)

## **2.4. NUEVAS EXPECTATIVAS DEL MANTENIMIENTO**

El continuo crecimiento del nivel de mecanización hace que los periodos improductivos afecten cada vez de forma más significativa a la producción, los costes totales y la prestación de servicios a los clientes.

La tendencia mundial hacia los sistemas de producción "justo a tiempo", que reducen el número de productos almacenados por pedido, hace cada vez más evidente que las pequeñas averías pueden provocar el cierre de toda una planta. Esta consideración está planteando grandes exigencias a la funcionalidad del mantenimiento.

**Figura 2:** Enfoque Sistémico Integral Kantiano de Mantenimiento Estratégico.



Fuente: Mora (2009), Mantenimiento, planeación, ejecución y control.

La automatización se traduce en una estrecha relación entre el estado del equipo y la calidad del producto. Además, los estándares de calidad son cada vez más exigentes. Esto plantea mayores expectativas a las tareas de mantenimiento. (Baptista, 2019)

Otra de las características de esta creciente mecanización es que cada vez resultan más graves las consecuencias para la seguridad y/o al medio ambiente de las averías en las instalaciones. Por otra parte, las normas en estos dos campos también están mejorando en respuesta a un mayor interés por parte de la dirección, los sindicatos, los medios de comunicación y el gobierno.

Por último, el coste del mantenimiento continúa aumentando, tanto en términos absolutos como en proporción al gasto total. Para algunas empresas, es el segundo gasto de explotación más elevado y, en algunos casos, incluso el primero. En consecuencia, en apenas treinta años, lo que antes casi no suponía ningún gasto se ha convertido en la prioridad más importante para el control de costes. (Escudero, 2007)



### **2.4.1. Mantenimiento Productivo Total (T.P.M.)**

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) hace hincapié en la gran importancia de involucrar al personal de producción y de mantenimiento para conseguir un conjunto de equipos e infraestructuras de producción más eficientes, una reducción de las inversiones necesarias para ellos y un aumento de la eficiencia del sistema de producción.

El T.P.M. enfoca las fronteras de la producción. Es sencillo de describir, pero no necesariamente de aplicar. Deseamos alcanzar una mayor producción a bajo coste a partir de nuestra configuración actual eliminando los residuos (mantenimiento ajustado), gestionando las pérdidas de producción para reducir la incertidumbre en el proceso de producción (gestión de la calidad total). Asimismo, pretendemos que la empresa sea segura, ágil, flexible y un buen entorno de trabajo. (Levitt, 2011)

El objetivo de un programa de TPM es mejorar la productividad y la calidad, así como incrementar la confianza de los empleados y la satisfacción en el puesto de trabajo. Anteriormente, el mantenimiento preventivo se consideraba un procedimiento sin valor añadido, pero en la actualidad es un requisito esencial para prolongar el ciclo de vida de las máquinas en una industria. El TPM es un enfoque innovador del mantenimiento que perfecciona la operatividad de los equipos, eliminando las averías y propiciando el mantenimiento autónomo de los operadores a través de actividades cotidianas en las que participa todo el personal. (Singh et al., 2013)

Es un sistema organizativo donde la responsabilidad no sólo recae en el área de mantenimiento, sino sobre toda la estructura de la empresa. “El buen funcionamiento de las máquinas o instalaciones depende y es responsabilidad de todos”. (Nakajima, 1988)  
Este sistema está orientado a lograr:

- Cero accidentes
- Cero defectos.





- Cero fallas.

Persigue la eliminación del despilfarro para garantizar la calidad, evitando averías y accidentes, incrementando la confiabilidad de las máquinas a través de una adecuada programación del mantenimiento preventivo.

Para ello, hace uso del desarrollo de un conjunto de actividades y metodologías fundamentales que permiten incrementar la productividad. (Rodríguez, 2008)

#### **2.4.2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (R.C.M.)**

El RCM es un método de mantenimiento estructurado que consiste en determinar la mejor estrategia de mantenimiento para un sistema. Comienza por identificar las prestaciones requeridas del equipo en su contexto operativo, determina los modos de fallo y causas probables y, a continuación, detalla los efectos y consecuencias de los fallos. En síntesis, esta metodología permite seleccionar las tareas de mantenimiento adecuadas, orientadas a los modos de fallo identificados. (Baptista, 2019)

El proceso RCM es un método estructurado que requiere que el analista fundamente las necesidades de mantenimiento respondiendo a siete preguntas:

1. ¿Cuáles son las funciones y las normas de rendimiento asociadas del activo en su contexto operativo actual?
2. ¿De qué manera no cumple sus funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada fallo funcional?
4. ¿Qué ocurre cuando se produce cada fallo?
5. ¿Qué importancia tiene cada fallo?
6. ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir cada fallo?
7. ¿Qué hay que hacer si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) se emplea como método que permite optimizar el mantenimiento centrandolo las actividades en el funcionamiento

del sistema y no en la propia máquina. De este modo, se tiene en cuenta la importancia de las máquinas que componen el sistema y se interviene sobre ellas en función de su relevancia, consiguiendo mejoras considerables sin desperdiciar recursos. (Rodríguez, 2008)

## 2.5. MANTENIMIENTO PROACTIVO

Un mantenimiento proactivo corresponde a una táctica de mantenimiento dirigida principalmente hacia la detección e intervención de las causas que generan el desgaste de la maquinaria y provocan su avería. (Mora, 2009)

**Figura 3:** Estructura proactiva empresarial.

Filosofía o táctica de mantenimiento	Táctica de mantenimiento proactivo	
	Categorías del mantenimiento	Acciones preventivas
Divisiones categóricas del mantenimiento, acciones o tareas	Planificado predictivo basado en condición	Averías Reparaciones
Organización	Planeado	No planeado
Plan presupuestal	Normal	Gastos extras

Fuente: Mora (2009), Mantenimiento, planeación, ejecución y control.

Las acciones del mantenimiento proactivo consisten básicamente en identificar mediante diagnóstico y evaluaciones realizadas al equipo para corregir las causas de sus averías. El reemplazo de los componentes del equipo depende de que los indicadores de las causas de avería se encuentren dentro de los parámetros aceptables, para lo cual son indispensables técnicas de mantenimiento predictivo como el análisis de lubricantes.

En caso de que ya se hayan complementado los métodos de mantenimiento predictivo (análisis de muestras de aceite), esto supondrá pasar al siguiente nivel dentro de un programa de mantenimiento proactivo y le ayudará a:

- Eliminar fallas recurrentes



- Reducir sus costos de mantenimiento
- Reducir el tiempo de paros
- Mejorar la calidad de sus productos
- Aumentar la vida útil de sus maquinas
- Optimizar la eficiencia de su planta
- Mejorar su planificación
- Dirige la capacitación a su personal

### **2.5.1. Fases del mantenimiento proactivo**

#### **2.5.1.1. Identificación de las causas de los fallos**

Se trata de los fallos que producen la degradación del componente, pero no llega a generar un fallo evidente, por lo tanto. El operador no se percata de la pérdida de productividad del equipo y la única forma de encontrar esta degradación del componente que ayuda a evitar la falla es la metodología proactiva.

#### **2.5.1.2. Eliminación de las fallas recurrentes**

En el mantenimiento proactivo se utilizan técnicas de diagnóstico y predictivas para aumentar considerablemente la vida útil de las máquinas y reducir las actividades de mantenimiento. Mediante esta técnica, se busca la causa raíz del fallo para controlarla o eliminarla.

### **2.5.2. Etapas para implementar el mantenimiento proactivo**

Para la etapa de implementación del mantenimiento proactivo se tiene que identificar por lo menos tres métodos de mantenimiento como precedente para el diseño del mantenimiento proactivo, se tiene identificado los siguientes.

#### **2.5.2.1. Mantenimiento correctivo**

En este método el área de mantenimiento de equipos solo se encarga de realizar los mantenimientos a los equipos unas ves que este quede inoperativo, para tal caso solo



se busca reemplazar los componentes, repuestos de un sistema cuando esta falla. En esta primera etapa identificada. se genera un histórico de fallas ingresados en una data digital para su posterior análisis.

#### **2.5.2.2. Mantenimiento preventivo**

En este método el área de planeamiento encargado de programar los mantenimientos necesita la información de reemplazo de componentes por horas de servicio en un equipo. esta información lo consigue gracias al histórico de fallas que posee un equipo durante un periodo de tiempo, con el objetivo de reemplazar los componentes antes de que se produzca la falla, programar la reparación de los equipos antes de que se produzca la falla.

#### **2.5.2.3. Mantenimiento predictivo**

Con esta metodología se toman una serie de acciones a corregir cuando el monitoreo de condiciones detecta el problema, para el caso de estudio es importante monitorear los compartimientos de aceite, extraer una muestra de aceite en cada mantenimiento preventivo para su análisis en un laboratorio especializado el cual emitirá un informe a partir de éste se podrá verificar cualquier desviación de una muestra. Monitorear las condiciones para detectar posibles fallas y programar las tareas de mantenimiento.

#### **2.5.2.4 mantenimiento proactivo**

Evitar problemas en el mantenimiento identificando y corrigiendo las causas raíz de los fallos, evitando así situaciones que conducen a fallos prematuros de los componentes, lo que permite reducir los costes totales de mantenimiento de la empresa.

### **2.6. METODOLOGÍA (RAM)**

En la actualidad se tiene varios enfoques para desarrollar datos históricos de fallas y posterior a ello tomar decisiones en base a metodologías de ingeniería de la



confiabilidad cualitativas o cuantitativas. Se puede utilizar para evaluar estas fallas mediante el análisis de modos y efectos de los fallos (AMFE) o de la misma manera considerar la metodología del mantenimiento centrado en la fiabilidad (MCR).

Sin embargo, incluso tomando estos métodos, no es posible definir en su totalidad qué sistema, o subsistemas de un equipo afectan a la disponibilidad del equipo. es por eso que se innova para desarrollar, el análisis de fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM) en sus siglas en ingles. el cual permite definir cuantitativamente las fallas.

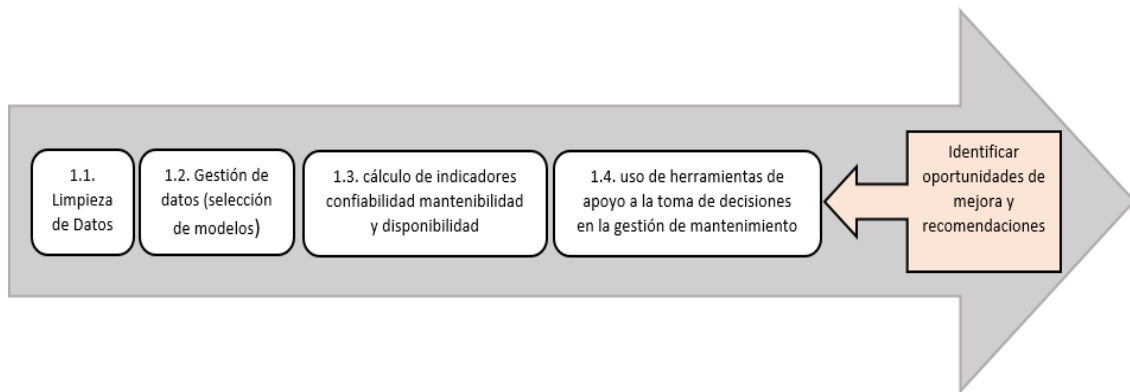
Aplicando el análisis RAM se puede averiguar cuantitativamente la disponibilidad del sistema, la fiabilidad y la mantenibilidad de los equipos y qué subsistemas y equipos críticos inciden más en el rendimiento del sistema. El análisis RAM puede ejecutarse para un solo equipo con varios componentes o para un sistema complejo con múltiples equipos.(Calixto, 2016)

A un nivel metodológico, la implementación del análisis de fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM) debería considerar los procesos comunes necesarios para la identificación de posibilidades de mejora, y así generar recomendaciones.(Barberá et al., 2012)

Estos procesos se pueden resumir en cuatro puntos.

- Depuración de datos
- Tratamiento de datos (modelos de ajuste),
- Cálculos numéricos de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (obtención de la primera aproximación a la criticidad clasificación de los equipos bajo estos parámetros)
- Herramientas de apoyo a la gestión y al mantenimiento (mejora de la toma de decisiones a partir de la información de los indicadores).

**Figura 4:** Proceso de identificación de oportunidades de mejora.



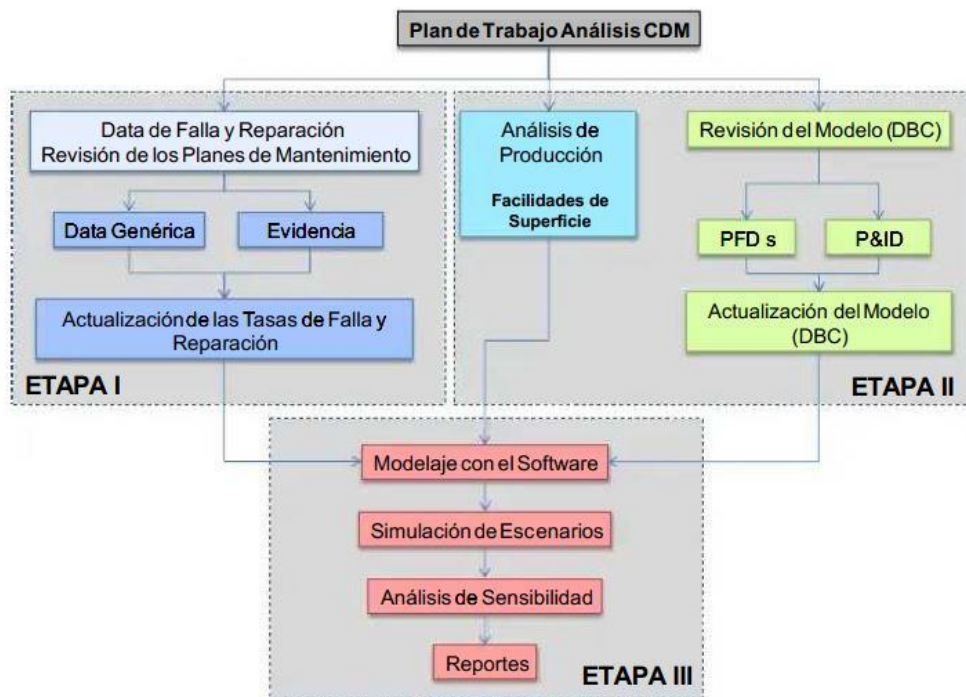
Fuente: Barberá et al., (2012) metodología RAM.

Evidentemente, no es posible identificar y corregir todas las posibles causas que provocan pérdidas en la producción. Por tanto, se propone utilizar el principio de Pareto para encontrar y corregir las principales fuentes de falla en los equipos, como se muestra en la figura 16.3. La atención debe centrarse en encontrar y corregir el número reducido de factores importantes que contribuyen al tiempo de inactividad no programado, e ignorar los numerosos factores sin importancia. (Sutton, 2015)

### **2.6.1. Etapas del Análisis (RAM)**

El plan de trabajo para un análisis (RAM), se desarrolla en tres etapas fundamentales, tal como se muestra en la Figura 4. (Yañez M. et al., 2010)

**Figura 5:** Etapas fundamentales del análisis (RAM).



Fuente: (Aguero, Gomez de la Vega, et al., 2010)

### 2.6.1.1. Etapa I

Consiste en la determinación de los índices de fallas y reparación de los componentes o equipos que conforman el sistema, así como la verificación de los planes de mantenimiento programados. Para esta etapa se realizan los siguientes pasos:

#### 2.6.1.1.1. Recopilación de Datos Históricos Propios

Numerosas empresas que buscan la mejora constante de sus operaciones han realizado un gran esfuerzo en la recopilación de información de campo de los datos de fallas (tipo y frecuencia) de reparación de sus equipos. La importancia de la cantidad y la calidad que tiene este tipo de información para este estudio es grande ya que reduce los valores de incertidumbre en el análisis.

#### 2.6.1.1.2. Recopilación de Opinión de Expertos

Hay casos en los que no se dispone de suficiente información de campo, en ausencia de ésta, existen metodologías que permiten recoger información basada en la



opinión de expertos. Se entiende por opinión de expertos aquella información aportada por personas con conocimientos y experiencia contrastada en la gestión de los sistemas analizados y cuya opinión, debidamente recopilada y procesada, se convierte en una fuente de información muy importante. (Agüero, Gomez de la Vega, et al., 2010)

#### **2.6.1.1.3. Revisión y Validación de las Bases de Datos**

representa la última etapa de la fase I de un análisis RAM, de manera que es importante elegir un equipo con mucha experiencia en el conocimiento del comportamiento de las fallas y las reparaciones en el equipo incluido en el análisis. (Agüero, Gomez de la Vega, et al., 2010)

#### **2.6.1.2. Etapa II**

Esta etapa corresponde a la revisión y verificación de la estructura del modelo y se llevara a cabo según las fases descritas a continuación. (Agüero, Gomez de la Vega, et al., 2010)

##### **2.6.1.2.1. Construcción del Diagrama de Bloques de Disponibilidad**

En esta primera fase de la segunda etapa, se debe de representar la configuración del sistema productivo en un modelo de diagrama de bloques y diagramas de procesos.

Es sumamente importante que la elaboración de este modelo se haga desde el punto de vista de la confiabilidad y no desde el punto de vista del proceso, puesto que es muy frecuente que se cometan errores en esta fase. (Agüero, Freitas, et al., 2010)

##### **2.6.1.2.2 Revisión de la representatividad del modelo**

En esta fase se verifica la representatividad del modelo diagramado del sistema de producción en estudio, que se somete a pruebas de verificación de la lógica de la confiabilidad en sesiones con expertos en el proceso de producción. (Agüero, Freitas, et al., 2010)





### **2.6.1.3. Etapa III**

Es la combinación de los resultados obtenidos en las etapas I y II. Una vez determinadas las tasas de fallas y reparaciones de cada uno de los bloques de disponibilidad a considerar en el modelo, y comprobada la representatividad del modelo de diagrama de bloques de disponibilidad, estos datos se introducen en herramientas o programas informáticos diseñados para tal fin. (Agüero, Gomez de la Vega, et al., 2010)

### **2.6.2. Objetivos del análisis RAM**

Entre los objetivos más importantes de la metodología RAM se encuentran:

- Predicción de escenarios de paradas o fallas en los procesos de producción, con ayuda del modelamiento de procesos de deterioro y fallas que soportan equipos, subsistemas y sistemas del proceso.
- Identificación de las consecuencias de escenarios probables, teniendo en cuenta la configuración de los sistemas, confiabilidad de equipos, filosofía de operación, políticas de mantenimiento, de esta manera se optimizan estrategias de mantenimiento.
- Presentación de análisis de criticidad para identificar riesgos en equipos y sistemas, con el fin de plantear actividades de mitigación.

### **2.6.3. Consideraciones para el análisis RAM**

El modelado mediante la metodología RAM constituye una herramienta de simulación en la que se tienen en consideración las repercusiones de la:

- Confiabilidad de equipos.
- Configuración del sistema.
- Tasa de falla y reparabilidad.
- Pérdidas de producción y sus consecuencias.
- Confiabilidad humana.



- Perdidas de capacidad del sistema debido a la degradación.
- Tiempos muertos por mantenimientos preventivos.
- Disponibilidad de recursos humanos y materiales.
- Probabilidades de falla de eventos no deseados.

#### **2.6.4. Beneficio de un programa RAM**

Los beneficios de un programa RAM eficaz son los siguientes:

- Aumento de la producción y la rentabilidad
- Aumento de la productividad - Reducción de la inversión
- Reducción de los costes de mantenimiento
- Reducción de los inventarios
- Aumento de la satisfacción del cliente
- Reconocimiento personal
- Vida personal
- Mejora de la percepción pública.

### **2.7. INDICADORES DEL MANTENIMIENTO**

Un indicador se ha definido como la asociación de las variables cuantitativas o cualitativas, que hace posible apreciar la situación y las tendencias de cambio generadas en el sistema o equipo analizado. Los indicadores permiten conocer si la misión, los objetivos y las metas se están logrando, y esto conforma la filosofía de gestión de las empresas, por lo tanto, los indicadores permiten evaluar la gestión de una empresa. (Beltrán, 2011)

#### **2.7.1. Confiabilidad**

Los ingenieros de fiabilidad se sustentan en la teoría de la probabilidad y en la teoría de la fiabilidad a partir de la definición y las técnicas de fiabilidad. Para explicar la ingeniería de la fiabilidad se emplean numerosas técnicas de ingeniería, como la



predicción de la fiabilidad, el análisis de Weibull, la gestión térmica, las pruebas de fiabilidad, las pruebas de vida útil acelerada y la técnica de la herencia tecnológica (IT). (Osarenren, 2015)

La confiabilidad puede definirse de diversas maneras:

- La idea de que algo es apto para el propósito con respecto al tiempo.
- La capacidad de un dispositivo o sistema para funcionar como se ha diseñado
- La resistencia a los fallos de un producto o sistema
- La capacidad de un producto o sistema para realizar una función requerida en condiciones establecidas durante un período de tiempo determinado
- La probabilidad de que una unidad funcional desempeñe su función durante un intervalo de tiempo determinado en las condiciones establecidas

La confiabilidad está muy relacionada con la calidad del producto y a menudo se ha considerado como un componente de la misma. La calidad se define cualitativamente como el grado de satisfacción con las exigencias de los usuarios de un producto. La confiabilidad tiene que ver con el tiempo que el producto sigue cumpliendo su función después de entrar en funcionamiento. Una baja calidad del producto implica una menor confiabilidad, al igual que una alta calidad implica una alta confiabilidad. (Mora, 2009)

La confiabilidad es la probabilidad de que un equipo o sistema, cumpla su función en condiciones específicas y durante un período de tiempo determinado, llamada también fiabilidad. Las horas de funcionamiento de un equipo entre dos fallas consecutivas es una medida de la confiabilidad de dicho equipo o sistema, mientras menor sea el número de fallas y mayor el tiempo promedio entre fallas, mayor será la confiabilidad. Gracias a este indicador es posible realizar un buen análisis de fallas, lo que contribuye a un nivel importante en el desarrollo del programa de mantenimiento. El resultado de este análisis

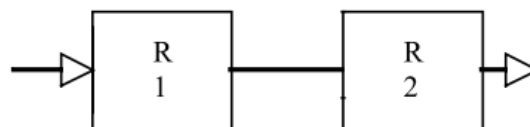
dependerá del historial de fallos de un equipo durante cada periodo de su vida útil.  
(Rodríguez, 2008)

### 2.7.1.1. Diagrama de bloques de confiabilidad (RBD)

El primer paso en la evaluación de la confiabilidad de un sistema es la elaboración de un diagrama de bloques de fiabilidad (RBD), Este diagrama indica las conexiones lógicas entre los componentes y activos del sistema. (Elsayed, 2021)

El sistema suele estar formado por varios componentes y activos que pueden estar en configuraciones en serie, en paralelo o en combinación para proporcionarnos la confiabilidad diseñada (inherente). El análisis RBD consiste en reducir el sistema a simples bloques de componentes y activos en serie y paralelo que pueden ser analizados utilizando las fórmulas matemáticas. (Gulati R and Smith R, 2013)

**Figura 6:** Diagrama de bloques en serie.



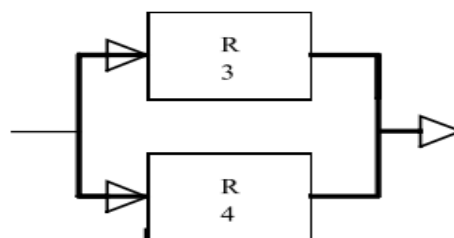
Elaboración propia.

La confiabilidad de un sistema con varios componentes en serie se calcula multiplicando la fiabilidad individual de cada componente,

$$R_{sys} = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times \dots \times R_n \quad \dots \dots \dots$$

(2.1)

**Figura 7:** Diagrama de bloques en paralelo.



Elaboración propia.



la confiabilidad de un sistema paralelo, tal y como se muestra, suele obtenerse a partir de la siguiente fórmula matemática:

$$R_{\text{sys}} = R_3 + R_4 - (R_3 \times R_4) \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

### 2.7.2. Mantenibilidad

La capacidad de mantenibilidad para un componente o sistema defectuoso es la probabilidad de que pueda volver a su estado operativo en un período de tiempo determinado, bajo las condiciones establecidas para su funcionamiento y con los procedimientos y recursos necesarios para tal fin. (Sutton, 2015)

La mantenibilidad puede expresarse como un proceso de desarrollo de métodos y técnicas para efectuar el mantenimiento de sistemas y equipos en aplicaciones de campo.

La mantenibilidad se compone de características de diseño tanto cualitativas como cuantitativas.

Desde el punto de vista cualitativo, la mantenibilidad es la disciplina de ingeniería que se enfoca en el desempeño del mantenimiento por parte del sistema que se está diseñando, en colaboración con personal de mantenimiento con conocimientos y capacitación especializados que utiliza los procedimientos de mantenimiento prescritos. Desde un punto de vista cuantitativo, la mantenibilidad es una función de diseño basada en el tiempo que maximiza la simplicidad y las ganancias en la economía de recursos para restaurar el funcionamiento del sistema a una condición especificada tras la pérdida de rendimiento del sistema crítico. (Gullo & Dixon, 2021)

La mantenibilidad es un indicador que mide el tiempo de reparación de los equipos y la prontitud de su mantenimiento, realizado siempre en condiciones óptimas, evitando riesgos para las personas y el medio ambiente. (Rodríguez, 2008)



Por su parte, Nava (2008) nos explica que se trata de la probabilidad de que el equipo vuelva a funcionar normalmente tras producirse el fallo, en las condiciones de mantenimiento preestablecidas.

### 2.7.3. Disponibilidad

La disponibilidad es la probabilidad de que un equipo o sistema cumpla su función durante un periodo de tiempo determinado y este se mantenga constante. Al igual que la confiabilidad y la mantenibilidad, la disponibilidad es una probabilidad. Por lo tanto, las reglas de la teoría de las probabilidades son aplicables a la disponibilidad cuando ésta se cuantifica. (Ebeling, 2010)

En los últimos años, el gerente de una empresa ha llegado a considerar el tiempo de actividad de los equipos como un elemento clave para el éxito de cualquier estrategia operativa. El reconocimiento de esta necesidad ha llevado a utilizar la disponibilidad de los equipos entre los indicadores clave de rendimiento de una organización de mantenimiento. (Galar et al., 2017)

La disponibilidad se ha considerado una de las medidas de rendimiento de confiabilidad más importantes de los equipos o sistemas de mantenimiento, ya que incluye tanto la tasa de fallas como la tasa de reparaciones de los equipos o sistemas. De hecho, la importancia de la disponibilidad ha llevado a los fabricantes y usuarios de sistemas críticos a indicar los valores de disponibilidad en las especificaciones de los equipos y sistemas. (Elsayed, 2021)

Según Rodríguez (2008) la disponibilidad se define como la probabilidad de que una máquina o sistema esté preparada para producción en un período de tiempo determinado, o sea que no esté parada por averías o ajustes.

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

Donde:

- MTBF = Tiempo medio entre fallas; es el tiempo en promedio que se espera que un equipo falle, en otras palabras, se podría decir que es el tiempo entre una falla y la otra.
- MTTR = Mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que el equipo quedo inoperativo por una falla

## 2.8. INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO (KPI)

Una práctica habitual en las empresas es el desarrollo de indicadores clave de rendimiento (KPI) los cuales permiten conocer el porcentaje de calidad, identificar los activos que necesitan atención de prioridad para modificarlas y evaluar el impacto de la mejora.

### 2.8.1. Disponibilidad Mecánica (Disp M%)

La disponibilidad mecánica viene siendo definida a la fecha como la relación entre las horas trabajadas en el proceso productivo y las horas empleadas para su reparación.

Según Rodríguez (2008) Para un período determinado, es calculado dividiendo el número de horas trabajadas entre la suma de horas trabajadas y las horas usadas en las paradas mecánicas.

Este indicador por sí solo no es un buen referente para medir una gestión de mantenimiento, porque nada nos dice sobre lo que ocurrió en el intervalo de medición.

$$Disp M(\%) = \frac{(Hr Prog - Hr Mtto)}{Hr Prog} \times 100 \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

- DM=Horas programadas–Horas operadas por reparación / Horas programadas \*100
- Optimo: 92% en Maquinaria Nueva y, 85% en Maquinaria Usada.

### 2.8.2. Disponibilidad Física (Disp F%)

Disposición de tener la maquina operativa respecto del tiempo físico. Depende de la eficacia y eficiencia del área de mantenimiento.



$$Disp F(\%) = \frac{(Hr\ fis - Hr\ Mtto)}{Hr\ fis} \times 100 \quad \dots \dots \dots (2.5)$$

### 2.8.3. Utilización (U %)

Utilización de la máquina con respecto a la disposición mecánica de la misma. Depende de la Eficacia de la planificación del trabajo.

$$U(\%) = \frac{Hr\ Maq}{(Hr\ Prog - Hr\ Mtto)} \times 100 \quad \dots \dots \dots (2.6)$$

### 2.8.4. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

El Tiempo Medio Entre Fallas conocido como MTBF, por sus siglas en inglés (Mean Time Between Failures, es un indicador que Se define como el tiempo medio en el que un equipo funciona sin fallos, es decir, el tiempo medio que transcurre entre un fallo y el siguiente. este indicador se obtiene de la siguiente manera:

$$MTBF(Hr) = \frac{HrOper}{\#Fallas} \quad \dots \dots \dots (2.7)$$

- Tiempo productivo = Tiempo disponible – Tiempo de inactividad (por fallas)
- MTBF=Tiempo productivo / Número de fallas
- Optimo: 80 Hrs. en equipos nuevos y 60 Hrs. equipos usados

### 2.8.5. Tiempo medio entre reparaciones (MTTR)

Con este indicador de desempeño se muestra el tiempo medio que tardan las reparaciones o intervenciones en la máquina por motivos mecánicos. Corresponde al tiempo que la máquina está en estado de reparación (inoperativo para el trabajo). Aporta información sobre la correcta gestión de la planificación y del taller de mantenimiento, incluyendo al área de logística y otras áreas operativas de la empresa implicadas con el cuidado de los recursos necesarios para la ejecución de los servicios al cliente.

El Tiempo Medio Entre Reparaciones conocido como MTTR, por sus siglas en inglés (Mean Time Through Repair), es un indicador del tiempo estimado de inactividad





de un equipo durante su reparación. Se obtiene de la siguiente manera: (Global Services, 1996)

$$MTTR(Hr) = \frac{Hr\ Mtto}{\#Paradas} \dots \dots \dots (2.8)$$

MTTR=Tiempo de inactividad (por fallas) / Número de fallas Optimo: entre 3 y 6 horas

MTTR: > ó = 3 horas significa un alto porcentaje de reparaciones no programadas.

MTTR: > 6 horas significa ineficiencias o excesivas demoras en las reparaciones.

## 2.9. VOLQUETE MERCEDES BENZ MODELO ACTROS 4144K

El volquete Mercedes Benz modelo Actroz 4144K fue fabricado con la más alta ingeniería alemana, para desempeñar trabajos de acarreo de materiales tanto en la industria de obras civiles como en la minería, con el fin de maximizar la rentabilidad con bajos costos de operación. Ofrece eficiencia y rentabilidad para las operaciones de carga más exigentes, al disponer de una capacidad útil de hasta 50 toneladas de peso bruto. (Mercedes Benz, 2016)

Con la Cambios Modelo G240-16, el cual permite al conductor acoplar las marchas cómodamente sin ningún esfuerzo, lo cual repercute en su condición física. Además, la selección óptima de las distintas marchas permite una conducción económica y una disminución en el consumo de combustible.

El volquete cuenta con tambores de freno en todas las ruedas. adicionalmente incluye retardador hidráulico Voith R115 Sistema Telligent, el cual Ofrece una alta deceleración en el frenado, la sincronización de la distribución de la presión de frenado y el desgaste de los forros de freno, una precisa regulación del ABS/ASR, además de una cómoda división del trabajo del freno en el volquete en todo tipo de condiciones de carga. (Mercedes Benz, 2016)

El volquete es un equipo utilizado en movimientos de tierra, trabajos de demolición, etc., que consiste en una estructura de acero que puede vaciarse girando sobre

su eje cuando se retira un pasador que la sujeta a las barras. Un equipo dotado de una caja articulada, con un dispositivo mecánico que le permite bascular para vaciar la carga transportada.

El volquete es un equipo de motor, diseñado para transportar productos y mercancías, a diferencia de los turismos/coches, que suelen tener una construcción monocasco, muchos camiones se construyen sobre una estructura resistente llamada chasis (bastidor). La mayor parte de la estructura está integrada por un chasis portante, generalmente un marco estructural, una cabina y una estructura para transportar la carga.

Los camiones se han ido especializando y adoptando una serie de características propias del trabajo al cual se le destina. Ha sido una evolución desde una simple caja hasta la forma y las características adecuadas a la materia por transportar: peligrosa, líquida, refrigerada, en giro continuo que impida el fraguado, abiertos, cerrados, con grúa, etcétera. (Mercedes Benz, 2016)

### 2.9.1. Especificaciones del volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K

**Tabla 1:** Especificaciones técnicas Mercedes Benz Actros 4144K.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Modelo del motor	OM 501 LA EURO V
Tipo de motor	6 cilindros en V, turbo e intercooler
Potencia de motor	435CV (470HP) @ 1800 r.p.m.
Par motor	2100 Nm @ 1080 rpm
Baterías	2x12/165 V/Ah
Sistema de inyección	Bomba - conductor - inyector (PLD)
Freno de motor	Top Brake (comprensión a las válvulas)
Velocidad máxima	98 km/h
Tipo de embrague	MFZ 400 Bi disco servo asistido

---

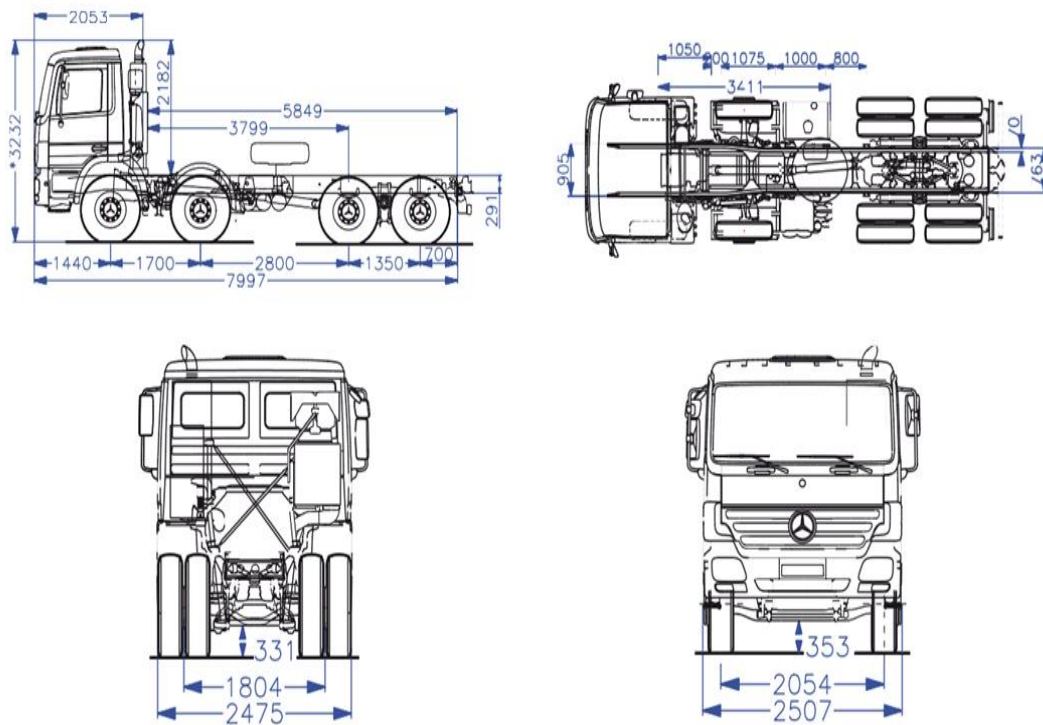
Caja de cambios	G 240-16 / 11.7 - 0,69
Marchas sincronizadas	16 con sistema Telligent EPS II
Suspensión delantera	Muelles parabólicos Capacidad 9.000 Kgs
Suspensión trasera	Muelles parabólicos Capacidad 18.000 Kgs
Capacidad de carga	39.074 kg
Peso bruto vehicular	48,000 kg.

---

Fuente: Mercedes Benz (2016), Ficha técnica del fabricante.

### 2.9.2. Dimensiones del volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K

**Figura 8:** Dimensiones camión Mercedes Benz Actros 4144K.



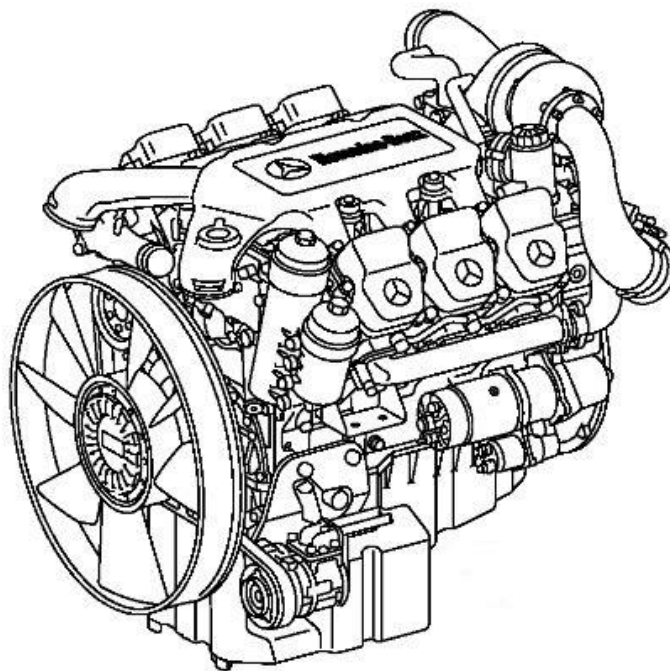
Fuente: Mercedes Benz (2016), ficha técnica del fabricante.

### 2.9.3. Sistemas del volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K

#### 2.9.3.1. Sistema Motor

El volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K posee un motor modelo OM 501 LA, de tipo 6 cilindros con una configuración en V, la potencia de este motor es de 435 caballos de vapor a 1800 rpm, el cual es suficiente para realizar los trabajos de transporte de material en las condiciones del terreno más difíciles. (Mercedes Benz, 2008)

**Figura 9:** Estructura Motor OM 501 LA, del volquete Mercedes Benz Actros 4144K.



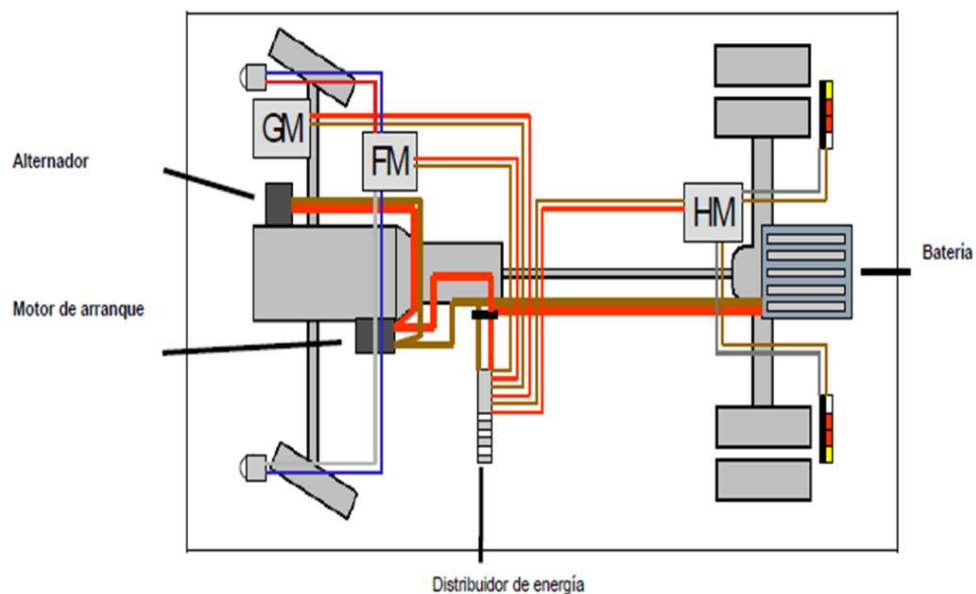
Fuente: Mercedes Benz (2022) manual de mantenimiento.

El motor produce la fuerza, la potencia que se requiere para mover el tren de fuerza, caja de cambios, árbol de transmisión, coronas y mandos finales, el montaje del motor es delantero de 6 cilindros de combustión interna, el combustible es Diesel. (Mercedes Benz, 2022)

### 2.9.3.2. Sistema Eléctrico Electrónico

En la serie de vehículos Actros se utiliza un sistema de interconexión en red del sistema eléctrico/ electrónico denominado KontAct. La alimentación para los 3 grupos funcionales se realiza desde el distribuidor de energía. La unidad de control electrónica principal del sistema es el Módulo Básico “GM”. (Mercedes Benz, 2008)

**Figura 10:** Sistema eléctrico del volquete Mercedes Benz Actros 4144K.



Fuente: Mercedes Benz (2008), manual de mantenimiento.

Donde:

GM: Caja de fusibles

FM: Modulo frontal de control

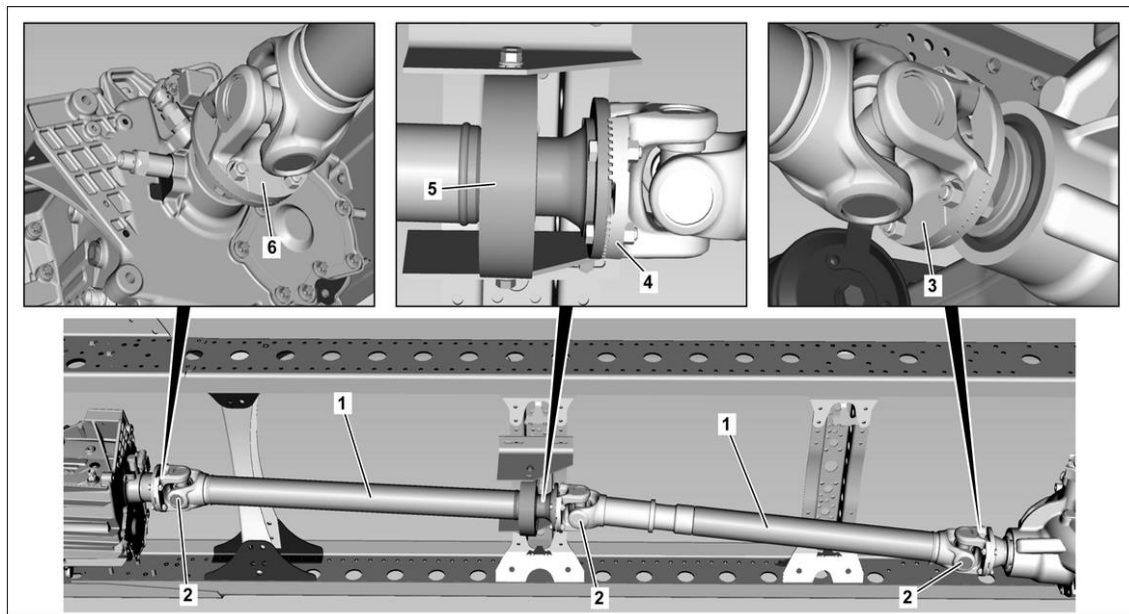
HM: Modulo trasero de control

El sistema de carga funciona cuando el motor está en marcha, ya que el alternador genera la corriente para el sistema eléctrico. Un regulador de tensión situado en el sistema eléctrico controla la salida de corriente para mantener la batería totalmente cargada. un circuito de arranque funcionara sólo cuando se activa el interruptor de arranque. Una correcta conexión a tierra de los sistemas eléctricos del vehículo y del motor es esencial para un funcionamiento correcto y fiable del vehículo. (Zuñiga, 2021)

### 2.9.3.3. Sistema Tren de Transmisión

Se le da el término de transmisión a todos los elementos que intervienen en el proceso de transmitir la potencia suministrada por el motor a las ruedas motrices que tienen que traccionar el vehículo. (Labra, 2018)

**Figura 11:** Árbol de transmisión del volquete Mercedes Benz Actros 4144K.



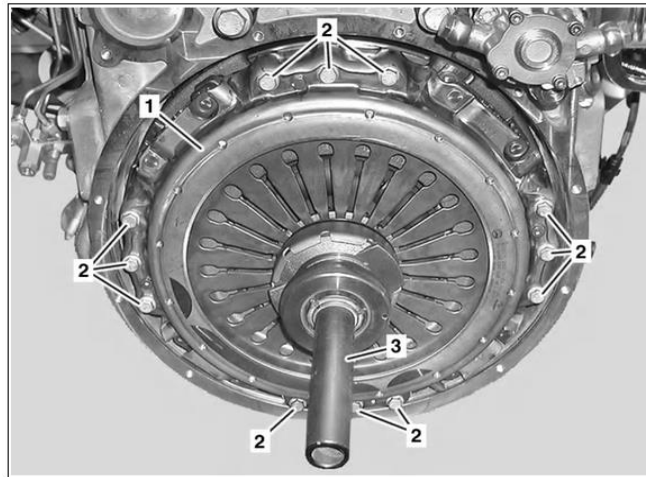
Fuente: Mercedes Benz (2022), manual de mantenimiento.

Donde:

1. Árbol de transmisión
2. Cabeza de horquilla fija
3. Unión por brida del eje trasero
4. Unión por brida del cojinete intermedio del árbol de transmisión
5. Cojinete intermedio del árbol de transmisión
6. Unión por brida del cambio



**Figura 12:** Kit de embrague del volquete Mercedes Benz Actros 4144K.

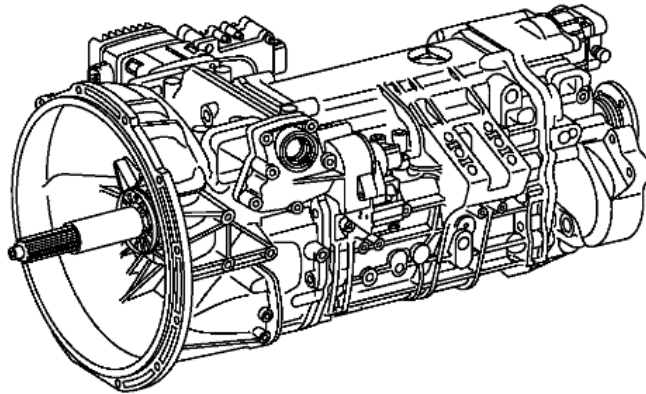


Fuente: Mercedes Benz (2022), manual de mantenimiento.

Donde:

1. unidad de plato de apriete del embrague
2. tornillos
3. mandril de centrado

**Figura 13:** Caja de Cambios Modelo G240-16 del volquete MB Actros 4144K.



Fuente: Mercedes Benz (2022), manual de mantenimiento.

#### 2.9.3.4. Sistema Hidráulico

En la época actual, la gran mayoría de las máquinas de movimiento de tierras utilizan, en mayor o menor medida, sistemas hidráulicos para el correcto funcionamiento,

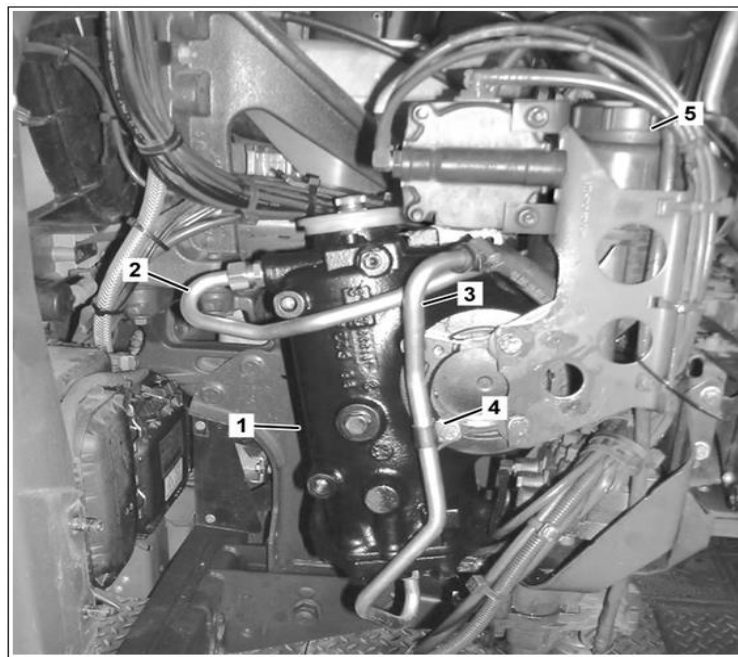
razón de la gran importancia de la hidráulica en la configuración y el funcionamiento de los equipos.

Los sistemas hidráulicos son métodos relativamente simples para aplicar grandes fuerzas que se pueden controlar y dirigir de la manera más conveniente. (Herrera, 2018)

### 2.9.3.5. Sistema Dirección

La conducción de los volquetes difícilmente puede realizarse sin una dirección asistida. Es por eso necesario un sistema que incremente la fuerza de maniobra ejercida por el conductor. El sistema de dirección para el volquete Mercedes Benz consta de una caja de dirección con Sistema LS6 / LS8. (Velasquez, 2021)

**Figura 14:** Sistema hidráulico de dirección del volquete MB Actros 4144K.



Fuente: Mercedes Benz (2022), manual de mantenimiento.

Donde:

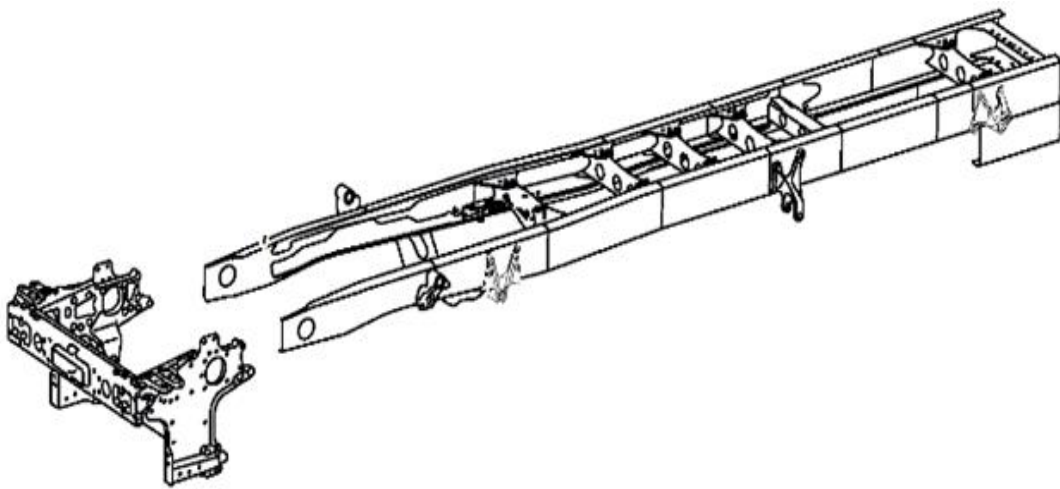
1. Caja de dirección
2. Cañería de ingreso de fluido
3. Cañería de retorno de fluido
4. Seguro de sujeción de cañería



### 2.9.3.6. Sistema Chasis Estructura

El bastidor del volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K se basa en principios probados de construcción y potencia, para un fácil y correcto montaje de componentes y las superestructuras. El material de fabricación es de Acero de alta resistencia E500 TM para una mayor estabilidad y capacidad de carga. Con protección anticorrosiva permanente. Puntos de fijación en el bastidor de consolas preinstaladas en los largueros del bastidor del chasis. por último, el Parachoques es de acero sólido de tres piezas, con 2.5 mm de grosor. (Mercedes Benz, 2008)

**Figura 15:** Sistema Chasis estructura del volquete Mercedes Benz Actros 4144K.

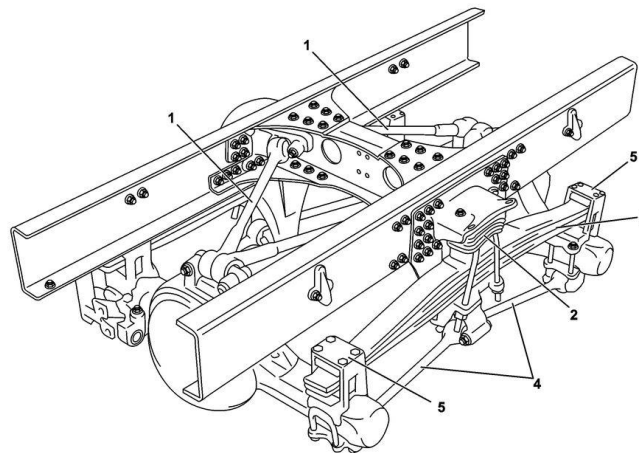


Fuente: Mercedes Benz (2022), manual de mantenimiento.

### 2.9.3.7. Sistema Suspensión

El sistema de suspensión del volquete es una de las partes más importantes dentro de su estructura, ya que hace agradable el manejo del vehículo. Hoy en día, se ha conseguido un gran avance tecnológico para el diseño de suspensiones capaces de ofrecer una buena maniobrabilidad, funcionalidad y un escaso mantenimiento del vehículo, de manera que se pueden encontrar muchas variantes según el tipo de carga y de servicio al que se dedique. Se dispone de suspensiones mecánicas y neumáticas con sofisticados diseños, cuyas capacidades oscilan entre las 4 y las 30 toneladas.

**Figura 16:** Sistema de Suspensión del volquete Mercedes Benz Actros 4144K.



Fuente: Mercedes Benz (2022), manual de mantenimiento.

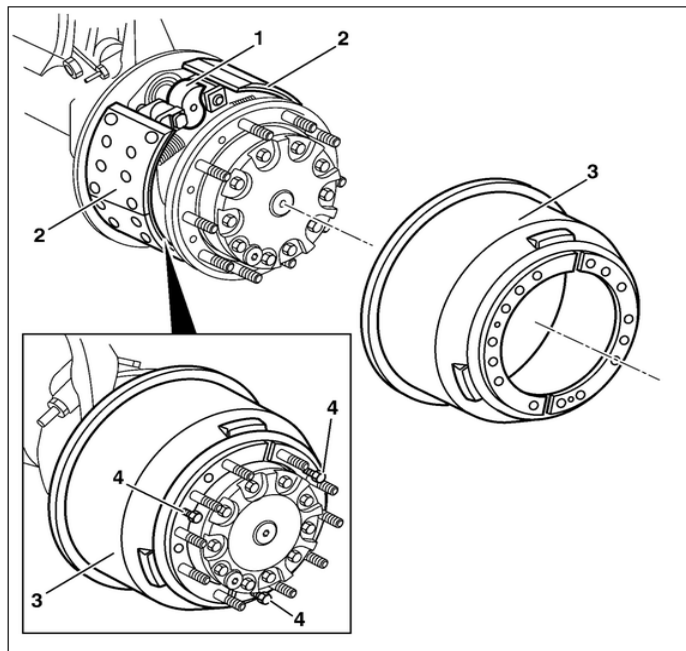
Donde:

1. Barra en V
2. Resorte progresivo
3. Paquete de muelles
4. Tirantes de sujeción
5. Grilletes de muelle

### **2.9.3.8. Sistema de Frenos**

El sistema de frenos es un dispositivo de dos piezas provisto de un dispositivo de seguridad que se incorpora de serie en todos los vehículos Mercedes Benz. Está compuesto por un freno de aire comprimido dotado de dos circuitos de freno independientes de accionamiento neumático a una presión constante de 10 bares y un control de la fuerza de frenado en función de la carga. Este vehículo cuenta con frenos de Tambor en los Ejes Delanteros y posteriores. (Labra, 2018)

**Figura 17:** Sistema de Frenos del volquete Mercedes Benz Actros 4144K.



Fuente: Mercedes Benz (2022), manual de mantenimiento.

Donde:

1. leva de freno
2. Zapata de freno
3. Tambor de freno

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

El proyecto minero Arasi S.A.C. Se encuentra ubicada en el departamento de Puno, provincia de Lampa, distrito de Ocuwiri, ubicado a una altitud de 4,966 msnm. Con las siguientes coordenadas UTM.

- Latitud: 15°14'51.16"Sur
- Longitud: 70°48'57.65"Oeste

#### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

- **Población**

Para el presente proyecto de investigación la población a considerar será la flota de volquetes Mercedes Benz, los cuales realizan los trabajos de cierre de mina en el proyecto minero Arasi.

- **Muestra**

Tomaremos como muestra un volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K propiedad de la empresa MUR WY S.A.C. este modelo de volquete es el que se usa en mayor cantidad en los proyectos mineros del sur del país.

**Tabla 2:** Descripción del equipo.

<b>Datos del Equipo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Flota</b>	Volquete
<b>Marca</b>	Mercedes Benz
<b>Modelo</b>	ACTROS 4144K
<b>Fabricación del Equipo</b>	2015
<b>Serie</b>	WD3NHAAA1FL966550
<b>Placa</b>	ALC-712

Elaboración propia.



### **3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1. Tipo de investigación**

Por el tipo de trabajo que se realiza en el área de mantenimiento de equipos de la empresa MUR WY S.A.C. el nivel de investigación será del tipo descriptiva, para obtener situaciones, contextos y eventos. Además, podrá describir, analizar eh interpretar el histórico de cada actividad de mantenimiento realizado, con el propósito de incrementar los indicadores claves de desempeño de acuerdo a los niveles exigidos por el cliente.

El método de investigación para cada objetivo específico es del tipo no experimental, transversal. La toma de datos se centra en un momento de tiempo determinado, para conocer la característica del evento. el diseño es longitudinal para observar las características de los eventos a través del tiempo.

En ese sentido, este proyecto de investigación de tipo descriptiva, Permitir al investigador definir los valores a medir, en este caso los conceptos, las variables, los componentes. Explicar las causas y los efectos por último predecir su ocurrencia. De la misma forma la recolección de datos lo puede realizar el mismo investigador. (Hernández, 2006)

En la investigación descriptiva se conoce, identifica y describe las características esenciales del fenómeno en estudio, también es empleado para conocer las características, los rasgos, cualidades de un fenómeno en un momento determinado de tiempo. En base a la información obtenida en la etapa de recolección de datos. (Carrasco, 2009)

Un estudio descriptivo busca especificar propiedades, trabaja sobre realidades de hechos, y se mide cada una de ellas independientemente de las otras, su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta del fenómeno en estudio. (Rodríguez, 2008)

### 3.3.2. Técnicas de recolección de datos

Este Documento puede ser un objeto o elemento material que contiene información procesada sobre eventos, hechos, sucesos o acontecimientos que se han dado en el transcurso del tiempo, y que poseen referencias valiosas (datos, cifras, fichas, índices, indicadores, etc.) para un trabajo de investigación. (Carrasco, 2009)

Para Hernández (2006) la recolección de datos necesariamente debe tener un plan detallado de los procedimientos que conduzcan a reunir datos con propósito específico y fundamentalmente tener la confiabilidad de estos datos los cuales permitirán juzgar apropiadamente el fenómeno en estudio.

Para la obtención de la información se realiza un procedimiento sistemático que implica tres actividades vinculadas estrechamente entre sí:

- Instrumento de medición (encuesta, entrevista, observación, experimento, etc.)
- Equipos de medición.
- Codificación de datos.

Un instrumento de medición es cualquier recurso del cual se valga el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. Tener en cuenta que el instrumento de medición debe cubrir dos requisitos de confiabilidad y validez. (Quezada, 2010)

#### 3.3.2.1. Check-list

Es un reporte diario que es ejecutado por el personal de campo, técnicos responsables de equipos el cual realiza una inspección visual del equipo indicando que fallas se ha identificado para luego reportar inmediatamente al supervisor y por último informar al área de planeamiento quien realizara el registro en una data digital.

Para el caso de estudio se diseñó el siguiente formato según los datos requeridos por el área de planeamiento para su fácil interpretación y posterior a ellos generar la



programación de trabajos por sistema según insumos y materiales con los que se cuenta en almacén.

**Figura 18:** Formato check list Volquete Mercedes Benz Actros 4144K.

CHECK LIST VOLQUETE MB ACTROS 4144K		Version: 01 Codigo: CL_001 Pagina 1 de 1	
EQUIPO :			
PLACA :			
FECHA :			
HOROMETRO/KILOMETRAJE :			
EVALUACION	BUENO	MALO	OBSERVACIONES
<b>MOTOR</b>			
NIVEL DE ACEITE MOTOR			
ESTADO VISUAL DE COMPONENTES			
FUGAS DE ACEITE			
FUGAS DE PETROLEO			
FUGAS DE REFRIGERANTE Y MANGUERAS			
ESTADO DE MANGUERAS			
ESTADO DE FAJAS (VENTILADOR, ALTERNADOR, ETC)			
<b>SISTEMA ELECTRICO</b>			
LUZ ALTA			
LUZ BAJA			
LUCES INTERMITENTES			
LUZ DE ESTACIONAMIENTO			
LUZ DE RETROCESO			
LUCES DE FRENO			
LUCES INTERIORES			
ESTADO DE CABLEADO			
BORNES Y BATERIAS			
CIRCULINA			
ALARMA DE RETROCESO			
LIMPIA PARABRISAS			
<b>SISTEMA DE FRENOS</b>			
NIVEL DE LIQUIDO DE FRENO			
ZAPATAS DE FRENO			
COMPRESOR			
TANQUE DE AIRE			
CANERIAS			
FUGAS DE LIQUIDO DE FRENO			
<b>SISTEMA DE DIRECCION</b>			
NIVEL DE LIQUIDO DE DIRECCION			
BARRA DE DIRECCION			
BRAZO DE DIRECCION			
TERMINALES DE DIRECCION			
BOMBA DE DIRECCION			
CAJA DE DIRECCION			
MANGUERAS Y CANERIAS			
FUGAS DE HIDROLINA			
<b>SISTEMA DE TRANSMISION</b>			
NIVEL DE ACEITE DE CAJA			
ESTADO VISUAL DE CAJA			
PALANCA DE CAMBIOS			
FUGA DE ACEITE			
CARDAN			
CRUCETAS DE CARDAN			
NIVEL DE ACEITE DE CORONA			
<b>SISTEMA DE SUSPENSIÓN</b>			
CONJUNTO DE MUELLES DELANTEROS			
CONJUNTO DE MUELLES POSTERIORES			
AMORTIGUADORES DELANTEROS			
AMORTIGUADORES POSTERIORES			
BARRA ESTABILIZADORA			
BIELA DE BARRA ESTABILIZADORA			
<b>ACCESORIOS</b>			
ESPEJOS			
TABLERO DE CONTROL			
LUCES DE TABLERO			
PLUMILLAS			
VIDRIOS DE VENTANAS			
ASIENTOS			
PISOS			
LLANTAS			
CINTURON DE SEGURIDAD			
ESTINGUIDOR			
CONOS DE SEGURIDAD (2)			
TRIANGULO DE SEGURIDAD			
LLANTA DE REPUESTO			
EQUIPO DE RUEDA			
BOTIQUIN			
<b>OBSERVACIONES</b>			

\_\_\_\_\_  
JEFE DE MANTENIMIENTO

\_\_\_\_\_  
MEC. EVALUADOR

\_\_\_\_\_  
OPERADOR

Elaboración propia.

### 3.3.2.2. Orden de trabajo

Es el formato para el control de los mantenimientos correctivos y preventivos de los equipos, donde se indica las horas de parada, el sistema que se interviene, la



descripción de la falla, descripción del modo de fallo y por último el trabajo realizado.

Este registro es importante consolidarlo para generar un historial del equipo.

**Figura 19:** Formato de orden de trabajo.

ORDEN DE TRABAJO		Version: 01			
		Codigo: OT_001			
		Pagina 1 de 1			
<b>DATOS DEL EQUIPO :</b>		<b>DNI TÉCNICO:</b>	<b>HR INI</b>	<b>HR FIN</b>	
Código de Equipo:	Tipo Equipo:				
Hora de Parada:	Hora de Entrega:				
Horómetro Parada:	Horómetro Entrega:				
Área de Trabajo:	Fecha de Entrega:				
<b>TIPO DE INTERVENCIÓN:</b>		<b>FASE DE MANTENIMIENTO</b>		<b>TIPO DE PARADA:</b>	
MP - Mantenimiento Preventivo <input type="checkbox"/>		Mantenimiento Mecánico <input type="checkbox"/>		PROGRAMADA <input type="checkbox"/>	
MCP - Mantenimiento Correctivo Programado <input type="checkbox"/>		Elementos de Desgaste <input type="checkbox"/>		NO PROGRAMADA <input type="checkbox"/>	
MCNP - Mantenimiento Correctivo No Programado <input type="checkbox"/>		Lubricación <input type="checkbox"/>			
MPD - Mantenimiento Predictivo <input type="checkbox"/>		Neumaticos <input type="checkbox"/>			
		Carrilería <input type="checkbox"/>			
<b>SISTEMA</b>					
SIST._MOTOR <input type="checkbox"/>	SIST._AACC <input type="checkbox"/>	SIST._DIRECCION <input type="checkbox"/>			
SIST._ELECTRICO_ELECTRONICO <input type="checkbox"/>	SIST._CABINA <input type="checkbox"/>	SIST._FRENOS <input type="checkbox"/>			
SIST._HIDRAULICO <input type="checkbox"/>	SIST._CHASIS_Y_ESTRUCTURA <input type="checkbox"/>	SIST._PERFORACION <input type="checkbox"/>			
SIST._TREN_DE_FUERZA <input type="checkbox"/>	SIST._CARRILERIA <input type="checkbox"/>	SIST._SUSPENSION <input type="checkbox"/>			
SIST._IMPLEMENTOS <input type="checkbox"/>	SIST._LLANTAS <input type="checkbox"/>	Otros: _____			
<b>SUBSISTEMA:</b>		<b>ESTADO INICIAL DE EQUIPO</b>		<b>ESTADO FINAL DE EQUIPO</b>	
<b>COMPONENTE/PIEZA:</b>		<b>INOP.</b>	<b>STB</b>	<b>OP</b>	<b>INOP</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA - FALLA</b>					
<b>DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLA: QUÉ OCASIONÓ LA FALLA?</b>					
<b>DESCRIPCIÓN DE TRABAJO REALIZADO</b>					
TRABAJO CONCLUIDO		TRABAJAJO PENDIENTE			
NOMBRES Y APELLIDOS TÉC. DE MANTENIMIENTO		NOMBRES Y APELLIDOS SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO		NOMBRES Y APELLIDOS V°B° PLANEAMIENTO	
NOMBRES Y APELLIDOS TÉC. DE MANTENIMIENTO		NOMBRES Y APELLIDOS SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO		NOMBRES Y APELLIDOS V°B° JEFE DE MANTENIMIENTO	

Elaboración propia.

### 3.3.2.3. Historial de equipo

Una vez ejecutado un trabajo correctivo, preventivo se tendrá que plasmar el trabajo en el formato de Orden de Trabajo, con la finalidad de realizar el registro en un



archivo Excel (Data OT.) tendrá que ser un formato que permita generar datos para su análisis posterior.

**Figura 20:** Base de datos para el Volquete Mercedes Benz Actros 4144K.

CONTROL DE ORDENES DE TRABAJO												Version: 01
												Codigo: OT_001
												Página 1 de 1
COD. MINA	FECHA	HORA DE PARADA	HOROMETRO PARADA	TIPO INTERVENCIÓN	SUBTIPO INTERVENCIÓN	TIPO DE PARADA	SISTEMA	SUBSISTEMA	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	PROBLEMA (FALLA O FALLA POTENCIAL)	MODO DE FALLA (QUÉ ORIGINÓ LA FALLA?)	LABOR (QUÉ TRABAJO SE REALIZÓ?)

\_\_\_\_\_  
Tecnico Mecanico                                  Supervisor de Mantenimiento                                  Planner de Mantenimiento

Elaboración propia.

**3.3.3. Técnicas de análisis de datos**

Para el análisis de datos se aplicarán dos tipos de técnicas entre ellas la de campo; debido a que será necesario acumular un historial de paradas no programadas de intervenciones mecánicas realizadas al equipo para analizarlas y cuantificarlas según los indicadores claves de mantenimiento. Y las bibliográficas para obtener información referente al tema de estudio.

Además, será necesario contar con la información proveniente de internet para acceder a la información actualizada globalmente; respecto al tema de estudio.

**3.3.4. Método de la investigación.**

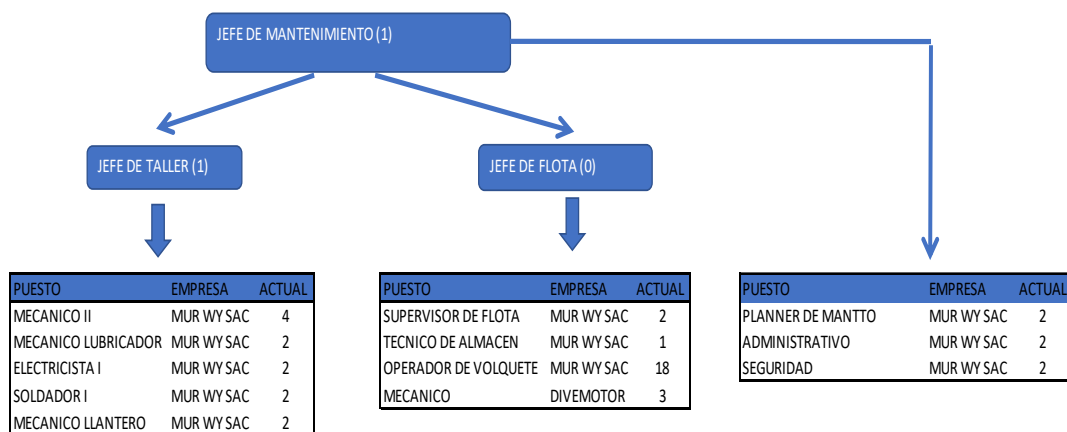
El método utilizado para el diseño de un mantenimiento proactivo para el volquete mercedes Benz modelo Actros 4144K para incrementar la disponibilidad mecánica consta fundamentalmente de los siguientes pasos:

- Diagnóstico de la situación actual del volquete mercedes Benz modelo Actros 4144K.
- Detalle de las funciones de cada sistema y subsistema para determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla.
- Identificar los componentes más críticos.
- Determinar la disponibilidad mecánica mediante el uso del historial de fallas.

### 3.3.5. Unidades de información

Para cumplir con los objetivos planteados, se deberá observar la unidad de información, para lo cual se contó con la participación del jefe de mantenimiento, supervisores, personal técnico y operadores pertenecientes a la población en estudio. Cabe señalar que todo este personal cuenta con amplia experiencia en mantenimiento de equipos.

**Figura 21:** Organigrama Personal MUR WY proyecto minero Arasi.



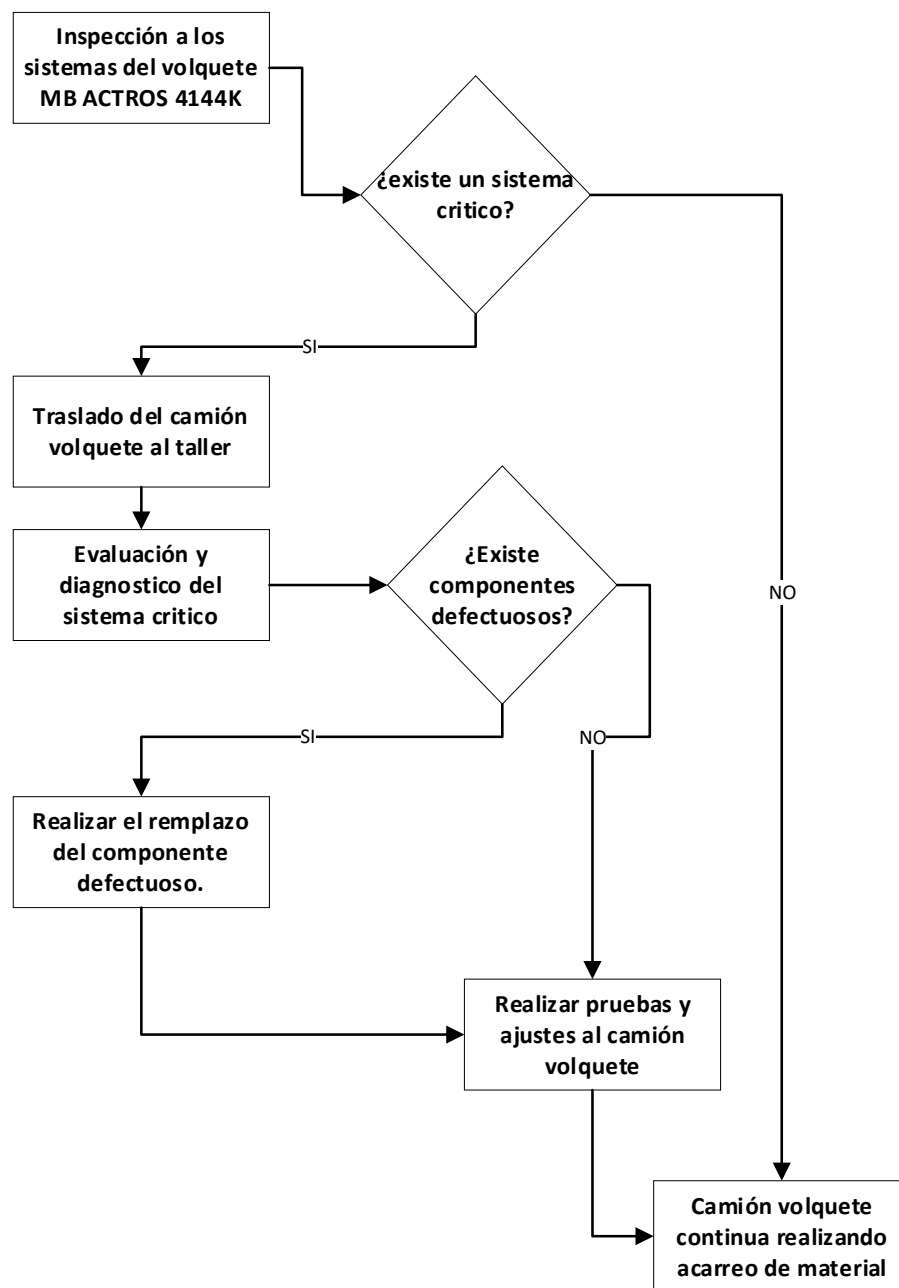
Elaboración propia.

## 3.4. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.4.1. Diagnóstico de la Situación Actual.

El diagnóstico de la situación actual lo realizamos a partir de un diagrama lógico y su análisis, con el que podremos determinar el estado real del volquete Mercedes Benz.

**Figura 22:** Diagrama de flujo diagnóstico actual del volquete MB Actros 4144K.



Elaboración propia.

### 3.4.2. Estrategias de Mantenimiento

Estas estrategias de mantenimiento para los equipos deben de ser elaboradas en función a las recomendaciones de los mantenimientos establecidas por el fabricante, monitoreo de condiciones de trabajo de los equipos, frecuencias de mantenimiento establecidas en base a las tendencias de análisis de fluidos (Scheduled Oil Sampling –



SOS) y mejora continua establecida en los planes de mantenimiento los cuales se deben de ser desarrollados exclusivamente por el personal de planeamiento mantenimiento de los equipos.

La aplicación de las estrategias de mantenimiento correctamente nos permitirá garantizar indicadores de desempeño (KPI) con porcentajes por encima del target exigido por minera, esto incidirá al incremento de la Disponibilidad Mecánica del Volquete Mercedes Benz Actros 4144K debidos a que cada una de ellas va acompañada con planes de mantenimiento y actividades a ejecutarse durante los mantenimientos.

### **3.4.3. Control de Uso de Equipos**

Este control nos permitirá tener el control de uso de los equipos en horas y/o kilometrajes durante el servicio de alquiler así también poder analizar el dimensionamiento de equipos según el cliente u operación, para establecer programas de mantenimiento acorde a la frecuencia de trabajo.

### **3.4.4. Control de Plan de Mantenimientos.**

La frecuencia de los mantenimientos preventivos para el volquete Mercedes Benz Actros 4144K ya se encuentra estimado según fabricante y en función a las condiciones de trabajo de los equipos se tiene la siguiente denominación (M, M+Z1, M+Z2, M+Z3) los cuales se requieren contralar por medio de la “Precisión de Mantenimiento” y al “Cumplimiento de Mantenimiento”.

### **3.4.5. Control de Inspección de Equipos.**

Para poder programar los mantenimientos en los equipos, minimizar los tiempos de parada de los equipos, obtener una mayor confiabilidad y gestionar los trabajos pendientes por realizar (Backlog's) en los equipos se recomienda una estrategia de “Inspección y Lubricación” establecida en base a una cantidad de horas promedio de trabajo de los equipos y convertido a una frecuencia de días. Esto permitirá gestionar

datos, como el consumo de lubricante que podrían darse en un tiempo determinado esto con la finalidad de programar intervenciones mecánicas.

**Figura 23:** Formato propuesto para el control de inspecciones de equipos.

CONTROL DE INSPECCION - CAMIONES VOLQUETES MB 4144K							Version: 01	
							Codigo: CI_001	
							Página 1 de 1	
FECHA	TIPO	RESPONSABLE	EQUIPO	SISTEMA	HOROMETRO	REPORTE	TRABAJO A REALIZAR	STATUS

Elaboración propia.

#### 3.4.6. Programa de Intercambio de Componentes.

Para poder garantizar la operatividad de los equipos según lo establecido como Vida Util (Hasta Overhaul o Renovación) se debe de contar con una estrategia de “Intercambio de Componentes” los cuales deben de ser estimados en base a las horas establecidas según Programa de Reemplazo de Componentes (Program Component Replace – PCR) con el soporte del “Taller de Reparación de Componentes” y el “Laboratorio de Pruebas: Dinamómetro y Banco de Transmisiones” de propiedad de MUR WY S.A.C quienes brindan el soporte permanente con personal especializado a todos sus clientes.

**Figura 24:** Formato propuesto para el control de componentes.

PROGRAMA DEINTERCAMBIO DE COMPONENTES - CAMIONES VOLQUETES MB 4144K					Version: 01				
					Codigo: PIC_001				
					Pagina 1 de 1				
Ubicación	Cod. Mina	Sistema	Actividad	Componente	PROX. INTERVENCIÓN				Horómetro Actual
					PCR Fabrica	PCR	Horas del Componente	Faltantes P/Cambio	

Elaboración propia.

### 3.4.7. Análisis de Rendimientos de Mantenimiento.

Para garantizar los mejores índices de operatividad a menor costo se realizan cálculo y análisis de rendimientos mediante indicadores KPI. Para esto se debe de tener una buena gestión de los datos ya que estos permitirán tener indicaros confiables.

**Figura 25:** Formato propuesto para el reporte de indicadores mensuales.

PROGRAMA DEINTERCAMBIO DE COMPONENTES - CAMIONES VOLQUETES MB 4144K										Version: 01			
										Codigo: PIC_001			
										Pagina 1 de 1			
COD MINA	Horometro del Equipo	Hr. Fisica	Hr Prog.	Hr Maq.	Hr Mto(24)	Hr Mto(20)	Disp Fis%	Disp Mec%	Factor Uso%	Utiliz%	MTBF.	MTTR	COMENTARIO

Elaboración propia.

### 3.4.8. Diagrama de Pareto de la disponibilidad mecánica (Disp. Mec. %)

Este indicador mide la operatividad de la máquina e indica el tiempo en porcentaje que la máquina ha estado trabajando en el proceso productivo, debiendo este cumplir con

las horas de trabajo programadas por el cliente, el cual disminuye si el equipo entra a mantenimiento correctivo o preventivo.

Rangos del Indicador:

- Equipo Usado 85% a 92 %
- Equipo Nuevo 92% a 97%

En la siguiente tabla se muestra la disponibilidad mensual, considerando los meses de enero hasta agosto del año 2022 para el Volquete Mercedes Benz Actros 4144K.

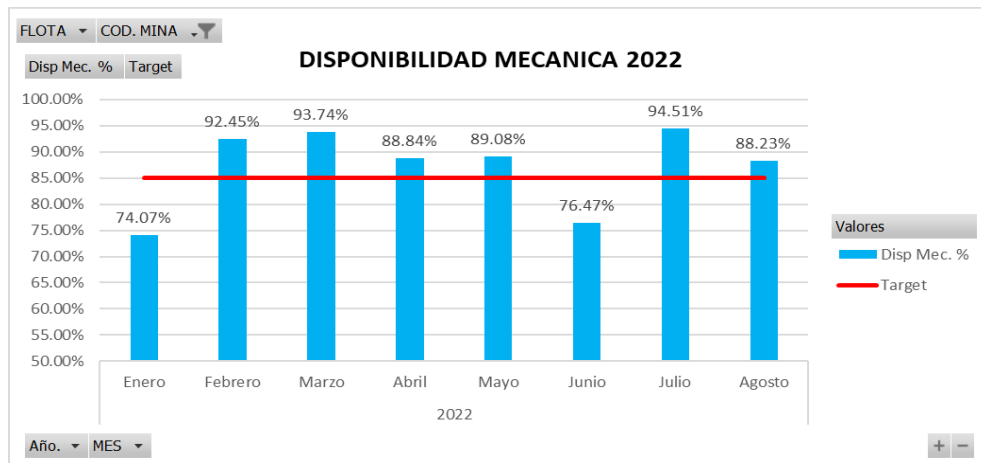
**Tabla 3:** Disponibilidad mecánica mensual.

<b>Año</b>	<b>MES</b>	<b>Disp Mec. %</b>	<b>Target</b>
<b>2022</b>	<b>Enero</b>	74.07%	85.00%
<b>2022</b>	<b>Febrero</b>	92.45%	85.00%
<b>2022</b>	<b>Marzo</b>	93.74%	85.00%
<b>2022</b>	<b>Abril</b>	88.84%	85.00%
<b>2022</b>	<b>Mayo</b>	89.08%	85.00%
<b>2022</b>	<b>Junio</b>	76.47%	85.00%
<b>2022</b>	<b>Julio</b>	94.51%	85.00%
<b>2022</b>	<b>Agosto</b>	88.23%	85.00%

Elaboración propia.

De la misma forma se tiene el diagrama de Pareto de la disponibilidad mecánica con un target del 85%, siendo el **target** el objetivo mensual esperado, se puede apreciar que los meses de enero y junio son los periodos con un indicador de desempeño bajo referente a la disponibilidad mecánica.

**Figura 26:** Diagrama de Pareto de la disponibilidad mecánica periodo 2022.

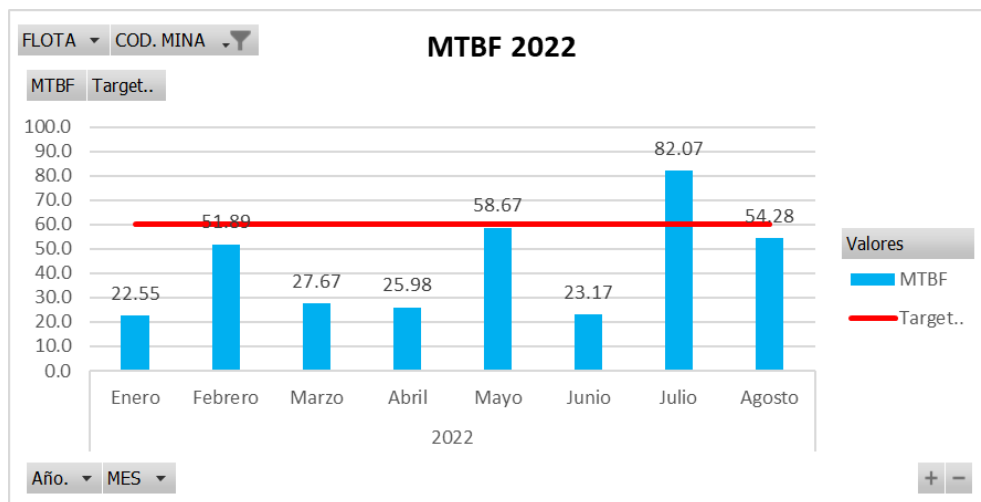


Elaboración propia.

### 3.4.9. Tiempo Promedio para Fallas (MTBF).

El MTBF siendo un indicador indirecto donde se mide el tiempo de confiabilidad, este valor debe ser siempre lo más alto posible en horas ya que nos indicará cuanto tiempo puede estar operando la máquina sin fallar, teniendo un rango mínimo de 60 horas entre fallas.

**Figura 27:** Diagrama de Pareto para el tiempo promedio para fallas.



Elaboración propia.

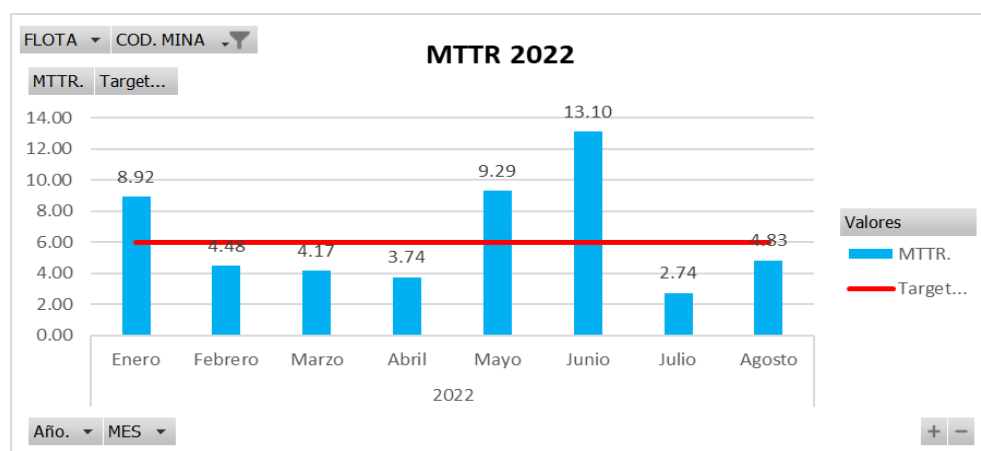


### 3.4.10. Tiempo Medio entre Reparaciones (MTTR).

El tiempo medio entre reparaciones mide la duración de las reparaciones, ésta debe encontrarse en un rango de 3 y 6 horas lo que indicará la mantenibilidad del equipo y la buena efectividad del mantenimiento.

El tiempo medio entre reparaciones será inferior a 2 en los periodos de medición de las máquinas con fallos de vida temprana, ya que no hay un retraso correctivo excesivo y éstos no se producen en cantidades considerables.

**Figura 28:** Diagrama de Pareto para el tiempo medio entre fallas.

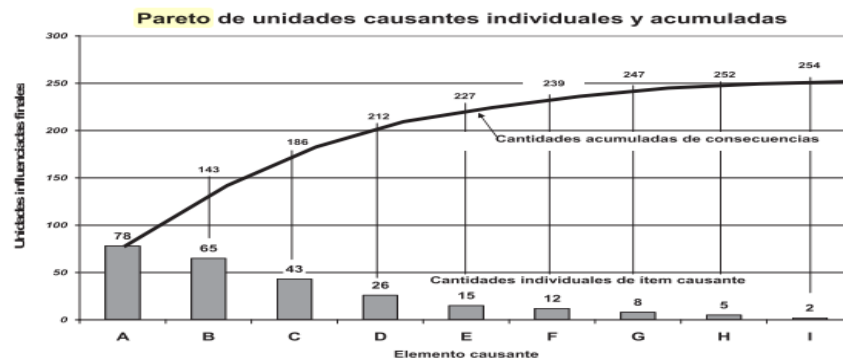


Elaboración propia.

### 3.4.11. Fallas por Sistemas y Subsistemas.

Para identificar los sistemas y subsistemas con la mayor cantidad de intervenciones, se tendrá que analizar el archivo Excel generado a partir de las ordenes de trabajo. Para conseguir los datos requeridos se realizará el uso de un diagrama de Pareto por sistemas, el cual nos indica según jerarquización las intervenciones realizadas, teniendo esta información podemos tomar acciones proactivas que permitan disminuir la causa principal que ocasiona las paradas.

**Figura 29:** Diagrama de Pareto de identificación de fallas.



Fuente: Mora (Mora, 2009), Mantenimiento, planeación, ejecución y control.

### 3.4.12. Análisis de Modo y Efectos de Fallas.

El objetivo fundamental del (AMEF) consiste en determinar todos los modos en que puede fallar un activo en un proceso productivo, e identificar las distintas consecuencias o efectos del fallo del mismo.

El análisis de modos de fallo y efectos (AMFE) es una denominación que se da a un conjunto de actividades que se llevan a cabo para garantizar que las fallas potenciales de un activo se hayan reconocido y que se tomarán las medidas adecuadas para evitar que el activo en lo posterior presente alguna anomalía en su funcionamiento. (Moubray, 1997)

Es necesario centrarse con mayor rigor en la detección de fallas ocultas, debido a que los modos de fallo en sistemas complejos necesitan de equipos de diagnóstico específicos.

**Figura 30:** Hoja de trabajo de AMFE.

SISTEMA : Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya - Tacna		AMEF	
SUB SISTEMA :			
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)
1	A	1	
	B	1	

Fuente: Moubray (Moubray, 1997), Hoja de trabajo AMFE.

El primer paso es identificar el equipo, indicar la función que desempeña en el proceso productivo, la falla funcional, modo de falla, efecto y consecuencia de la falla. Y por último se tendría que calcular el Número Prioritario de Riesgo (N.P.R.)

Para el caso de estudio el volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K, la función que desempeña en el proceso productivo del proyecto minero ARASI es la de trasladar material, mineral o desmonte según sea la programación del trabajo diario generado por minera. Este trabajo lo debe de realizar a una velocidad de 40 a 50 kilómetros/hora cumpliendo un ciclo de trabajo sin interrupciones de forma segura.

A continuación, se muestra el cuadro de la hoja de trabajo AMFE propuesto del cual obtendremos datos los cuales serán sometidos a un análisis para determinar el número de riesgo prioritario que permitirá conocer el sistema crítico del Volquete mercedes Benz Actros 4144K.

**Figura 31:** Formato de hoja de trabajo propuesto (AMFE).

FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	CONSECUENCIA (\$)	F	G	D	N.P.R.
	A.	1	1	1					
		2	2	2					
		3	3	3					
	B.	1	1	1					
		2	2	2					
		3	3	3					

Elaboración propia.

Donde:

- Frecuencia (F): Es la probabilidad de que se manifieste una modalidad de falla dentro de un tiempo determinado que suele coincidir con la vida útil del elemento examinado.

**Tabla 4:** Valores para los criterios de frecuencia.

Frecuencia (F)	
Criterio de Ocurrencia	Valor
Imposible	1
Remoto	2
Ocasional	3
Frecuente	4
Muy Frecuente	5

Elaboración propia.

- Gravedad (G): Es la Gravedad de la Falla y normalmente se expresa mediante niveles de criticidad.

**Tabla 5:** Valores para los criterios de Gravedad.

Gravedad (G)	
Criterio de Gravedad	Valor
Insignificante	1
Moderado	2
Importante	3
Crítico	4
Catastrófico	5

Elaboración propia.

- Detección (D): Consiste en estimar todas las posibilidades de identificar/diagnosticar y de eliminar/prevenir el origen de una falla incluso antes de que se manifiesten sus efectos sobre el sistema o la persona.

**Tabla 6:** Valores para los criterios de Detección.

Detección (D)	
Criterio de Detección	Valor
Detección muy elevada	1
Detección elevada	2
Detección moderada	3
Detección escasa	4
Detección muy escasa	5

Elaboración propia.

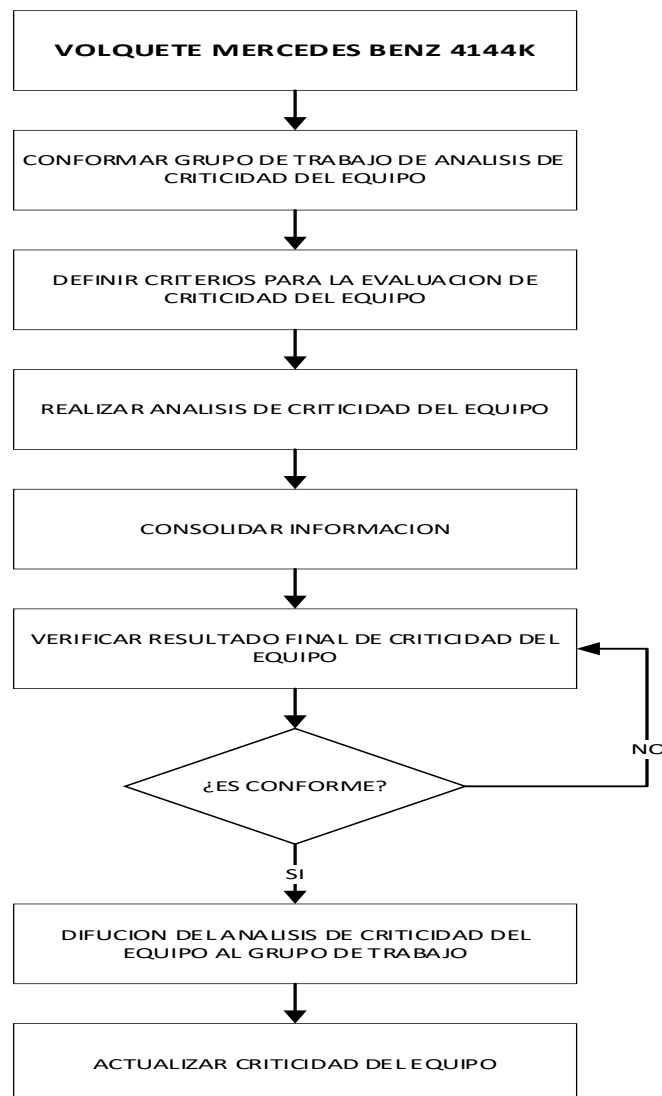
**El número de prioridad de riesgos (NPR)** se obtiene al multiplicar los datos obtenidos en la frecuencia de la falla, en la gravedad de la falla y el nivel de detección de la falla. Este dato obtenido nos permite priorizar las acciones a tomar.

$$NPR = F * G * D \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

### 3.4.13. Análisis de Criticidad

En esta etapa se establecerá la jerarquía o prioridad de atención de la falla del subsistema o sistema que genero la parada del equipo.

**Figura 32:** Diagrama de flujo para el análisis de criticidad.



Elaboración propia.

**Figura 33:** Escala de criticidad con valor referencial.

CRITICIDAD		
Nivel de Criticidad	Valor	Riesgo o Peligo
Crítico	19 - 25	
Importante	13 - 18	
Regular	07 - 12	
Opcional	00 - 06	

Elaboración propia.

**Figura 34:** Variables para el análisis de la criticidad de equipos.

Criticidad de los Equipos				
ÍTEM	VARIABLES	CONCEPTO	PONDERACION	OBSERVACIONES
<b>1</b>	<b>Efecto sobre el Servicio que proporciona:</b>			
		Para	4	¿Se detiene todo el proceso productivo?
		Reduce	2	¿No se cumple en su totalidad el proceso productivo?
		No para	0	se cumple el proceso productivo
<b>2</b>	<b>Valor Técnico - Económico:</b>			
	Considerar el costo de Adquisición, Operación y Mantenimiento.	Alto	3	Más de U\$ XXXXX ¿Cuánto es en su empresa?
		Medio	2	
		Bajo	1	Menos de U\$ XXXX ¿Cuánto es en su empresa?
<b>3</b>	<b>La falla Afecta:</b>			
	a. Al Equipo en si	Si	1	¿Deteriora otros componentes?
		No	0	
	b. Al Servicio	Si	1	¿Origina problemas a otros equipos?
		No	0	
	c. Al operador:	Riesgo	1	¿Posibilidad de accidente del operador?
		Sin Riesgo	0	
	d. A la seguridad en grl.	Si	1	¿Posibilidad de accidente a otras personas u otros equipos cercanos?
		No	0	
<b>4</b>	<b>Probabilidad de Falla (Confiability):</b>			
		Alta	2	¿Se puede asegurar que el equipo va a trabajar correctamente cuando se le necesite?
		baja	0	
<b>5</b>	<b>Flexibilidad del Equipo en el Sistema:</b>			
		Único	2	No existe otro igual o similar
		By pass	1	El sistema puede seguir funcionando.
		Stand by	0	Existe otro igual o similar no instalado
<b>6</b>	<b>Dependencia Logística:</b>			
		Extranjero	2	Repuestos se tienen que importar
		Loc./Ext.	1	Algunos repuestos se compran localmente.
		Local	0	Repuestos se consiguen localmente.
<b>7</b>	<b>Dependencia de la Mano de Obra:</b>			
		Terceros	2	El Mantenimiento requiere contratar a terceros.
		Propia	0	El Mantenimiento se realiza con personal propio.
<b>8</b>	<b>Facilidad de Reparación (Mantenibilidad):</b>			
		Baja	1	Mantenimiento difícil.
		Alta	0	Mantenimiento fácil.

Elaboración Propia.

Para la propuesta del plan de mantenimiento se seguirá el método propuesto en base a la criticidad y de acuerdo al valor del RPN los valores se tomarán de la tabla

(AMFE) y para la ponderación del análisis de criticidad por sistema se desarrollará de acuerdo a la siguiente tabla.

**Figura 35:** Tabla para la ponderación de criticidad.

		Cálculo de la criticidad												Version: 01		
														Codigo: AC_001		
														Pagina 1 de 1		
EQUIPO: _____		REALIZADO POR: _____						Nº OT: _____								
MODELO: _____		FECHA: _____														
ITEM	CODIGO	NOMBRE DEL SISTEMA	PONDERACION												ESCALA DE REFERENCIA	¿SE INCLUYE EN EL PMP?
			1	2	3A	3B	3C	3D	4	5	6	7	8	TOTAL		
1														0	<sin evaluar>	NO
2														0	<sin evaluar>	NO
3														0	<sin evaluar>	NO
4														0	<sin evaluar>	NO
5														0	<sin evaluar>	NO
6														0	<sin evaluar>	NO
7														0	<sin evaluar>	NO
8														0	<sin evaluar>	NO
9														0	<sin evaluar>	NO
10														0	<sin evaluar>	NO
11														0	<sin evaluar>	NO
12														0	<sin evaluar>	NO
13														0	<sin evaluar>	NO
14														0	<sin evaluar>	NO
15														0	<sin evaluar>	NO

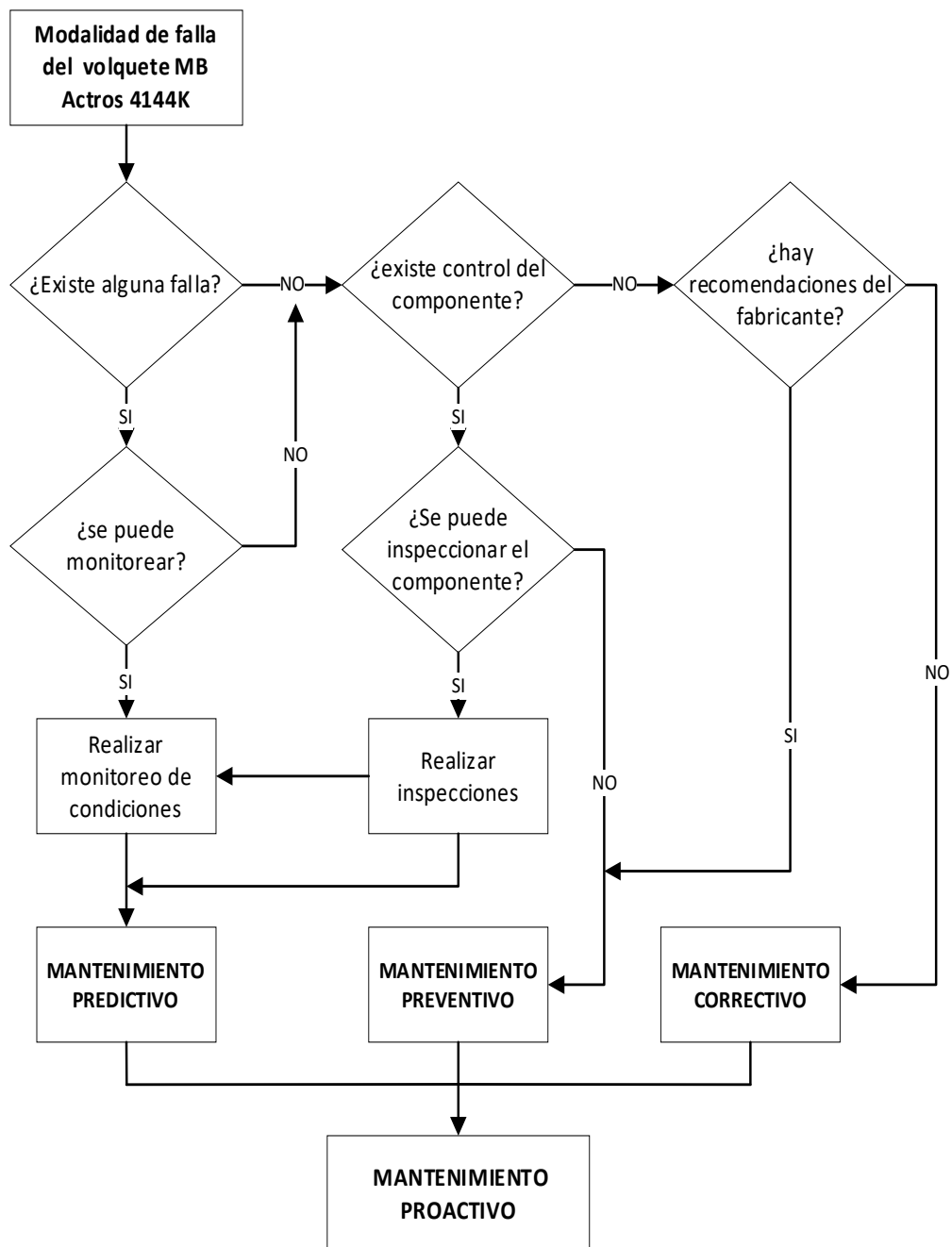
Elaboración propia.

### 3.4.14. Árbol de decisiones

El árbol de decisión es una excelente herramienta para ayudar a tomar decisiones acertadas entre varias posibilidades, ya que su esquema permite seleccionar una u otra alternativa en diferentes secuencias de análisis para así obtener las distintas opciones y decisiones posibles.

El resultado posible, en este caso, corresponde a diferentes alternativas de opciones de mantenimiento o de no mantenimiento y se contempla como un elemento fundamental para determinar el tipo de servicio a ejecutar, siendo un elemento conocido por el personal técnico involucrado en la ejecución de los servicios planificados.

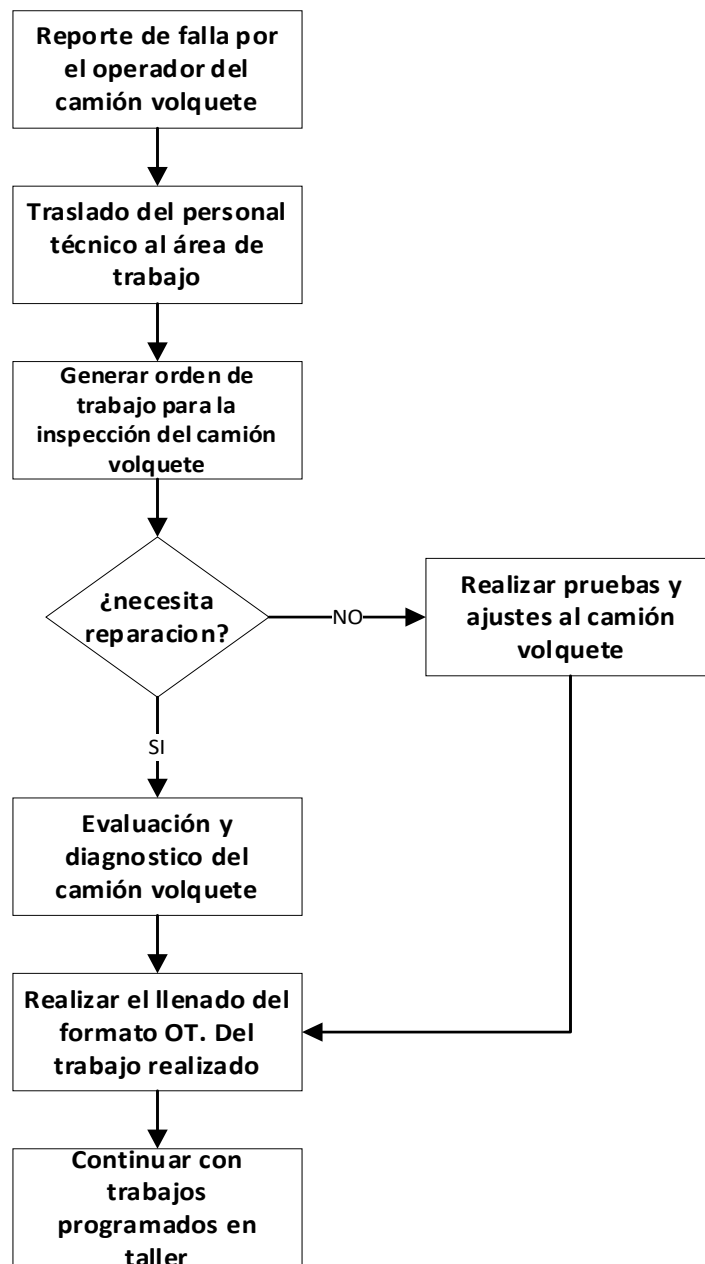
**Figura 36:** Diagrama de flujo modalidad de falla del volquete MB Actros 4144K.



Elaboración propia.



**Figura 37:** Diagrama de flujo para la inspección del volquete MB Actros 4144K.



Elaboración propia.

El diagrama de flujo generado permitirá el cumplimiento de la actividad de mantenimiento, dando a conocer al personal involucrado los procedimientos a seguir si se presentara alguna falla en el volquete Mercedes Benz Actros 4144K.

#### 3.4.15. Metodología (RAM)

En un mundo tecnológico actual, la sociedad quiere que los sistemas mecánicos (automóviles, aviones, máquinas de construcción, ordenadores, electrodomésticos, etc.)



continúen funcionando durante toda su vida útil. Cuando se produce una falla, los resultados pueden ser catastróficos: lesiones, pérdida de vidas y/o costosas demandas judiciales. Con mayor frecuencia, las fallas recurrentes provocan molestias, inconvenientes y una insatisfacción permanente de los clientes que puede cambiar la posición de una empresa en el mercado.

Para que un equipo realice las funciones requeridas, los productos mecánicos como un volquete comprenden una serie de subsistemas (o módulos) y estos componentes están estrechamente interconectados en el mecanismo funcional. Cada módulo del sistema mecánico suele especificarse como un bloque funcional que se representa como confiabilidad.

El fallo de un componente del módulo suele considerarse como la interrupción del bloque funcional. Por lo tanto, es necesario que el ingeniero mecánico identifique todas las funciones relevantes y los criterios de desempeño relacionados con cada función prevista. (Woo, 2020)

Para analizar la flota involucrada es necesaria emplear la metodología de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad (RAM), con la finalidad de generar la confianza en los resultados.

### **3.4.15.1. Etapa I**

#### **3.4.15.1.1. Recopilación de Datos Históricos Propios:**

En la recolección de datos se usó el formato de orden de trabajo (OT) el cual tiene como responsable para su llenado al técnico quien realiza la intervención al equipo. Es importante que este formato sea validado por el supervisor y el jefe de mantenimiento. Para garantizar la calidad de la información, el formato tendrá que tener las firmas correspondientes del supervisor y el jefe de mantenimiento al momento de entregarlos al

área de planeamiento de mantenimiento. Por último, esta información se deberá ingresar a un archivo Excel (Data OT.) una vez ingresado la información se tendrá la confianza de contar con datos reales para reducir los valores de incertidumbre al momento de analizarlos.

#### **3.4.15.1.1.2. Recopilación de Opinión de Expertos**

Es importante contar con la opinión de profesionales con experiencia en el rubro del mantenimiento, ello permitirá contar con la interpretación objetiva de los resultados.

Para este caso de estudio, teniendo el objetivo de incrementar la disponibilidad mecánica del volquete Mercedes Benz Actros 4144K, se contó con el soporte de técnicos mecánicos e ingenieros con lo que se garantiza la veracidad de la información brindada.

#### **3.4.15.1.2. Etapa II**

Esta etapa consiste en la revisión y verificación de la arquitectura del modelo y se lleva a cabo según los pasos que se detallan a continuación:

##### **3.4.15.1.2.1. Construcción del Diagrama de Bloques de Disponibilidad**

Un diagrama de bloques de disponibilidad es una matriz orientada al éxito que ilustra cómo el funcionamiento de varios bloques funcionales puede garantizar el cumplimiento de la función del sistema.

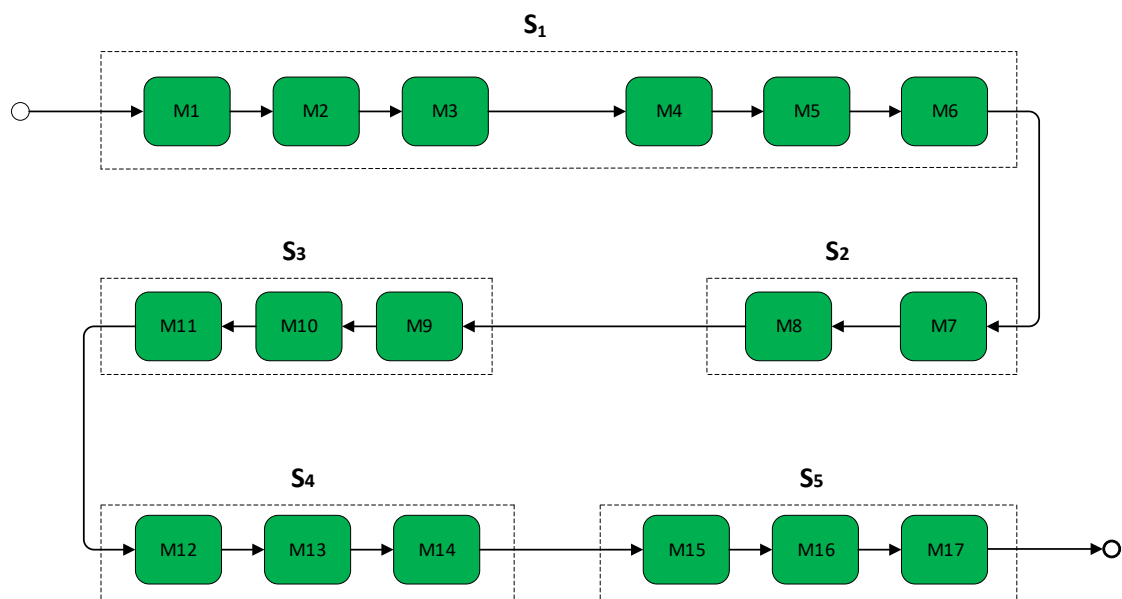
Este diagrama de bloques es adecuado para sistemas en los que no importa el orden de fallo. Por ejemplo, considere el volquete. A medida que el motor genera energía mecánica, esta se transfiere a la transmisión, los mandos finales de tracción y por último a la rueda.

Cada bloque representa un módulo crítico como por ejemplo la transmisión, el diagrama de bloques puede tener la configuración en serie, configuración en paralelo y las combinaciones de estas. Por ejemplo, una configuración en serie indica que todos los

módulos deben funcionar para el funcionamiento del sistema. Una configuración en paralelo indica que al menos uno de los módulos debe funcionar.

Para el caso de estudio del volquete mercedes Benz Actros 4144K se generó el diagrama de bloques considerando los sistemas, subsistemas y componentes, en la figura se muestra el diagrama de bloques teniendo una disposición en serie.

**Figura 38:** Diagrama de bloques de los sistemas del Volquete MB Actros 4144K.



Elaboración propia.

Donde:

- S1: sistema de motor
- S2: sistema de embrague
- S3: sistema tren de transmisión
- S4: Sistema chasis estructura
- S5: sistema eléctrico electrónicos

#### 3.4.15.1.2.2 Revisión de la representatividad del modelo

para el cumplimiento de esta fase se recurre a pruebas de verificación en coordinación con expertos. El diagrama de bloques debe de incluir todos los componentes del sistema crítico en estudio, ya que obviar un componente produciría una confiabilidad



errónea del sistema analizado. Para evitar inconvenientes en esta fase se tubo accesos al manual de partes brindado por el fabricante como también al software XENTRY propio de la marca MERCEDES BENZ.

### **3.4.15.1.3. Etapa III**

Esta última etapa consta de la combinación de los resultados obtenidos en las etapas I y II. Una vez determinadas las tasas de fallas y reparaciones de cada uno de los bloques de disponibilidad a considerar en el modelo, y comprobada la representatividad del modelo de diagrama de bloques de disponibilidad, estos datos se análisis para obtener la confiabilidad del sistema.

Los productos del Análisis RAM son los que a continuación se listan:

- Base de datos técnicos, operacionales y de confiabilidad de equipos.
- Predicción estocástica de la disponibilidad para el periodo de tiempo requerido y producción en riesgo o pérdidas de producción factibles de ocurrencia para el mismo periodo.
- Predicción estocástica de la indisponibilidad del proceso asociada a los mantenimientos preventivos o planificados.
- Estructura de criticidad de equipos y sistemas, basado en su impacto en el factor de disponibilidad, la cual permite identificar los equipos y sistemas de alto impacto en el
- proceso. Dicha estructura permite proponer acciones de mitigación basados en un análisis costo-riesgo.
- Recomendaciones técnicas y lista de acciones para mitigar el riesgo e incrementar la disponibilidad.



### 3.5. PROCESAMIENTO DE DATOS

Considerando que existirán varios parámetros de diseño, su procesamiento conllevará un análisis multivariado, que nos permitirá analizar las conexiones entre las variables independientes y dependientes. Para ello, se recopilará todo el historial de fallas del volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K.

Instrumentos:

- Office 2016 (Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft power point)
- XENTRY Portal
- Método de Pareto
- Diagrama Ishikawa
- Software Minitab

Los datos recolectados serán procesados utilizando herramientas de software como: Microsoft - Excel representados a través de tablas y gráficos, con la ayuda de estos se analizarán los modos de fallo para tomar acciones que reduzcan el mantenimiento correctivo.

### 3.6. VARIABLES

- Independientes:
  - Gestión de Mantenimiento.
  - Análisis de las intervenciones mecánicas por mantenimientos correctivos.
- Dependientes:
  - Número de Paradas del volquete mercedes Benz 4144K.
  - Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)
  - Tiempo medio de reparación (MTTR)
  - Disponibilidad Mecanica (Disp M.)

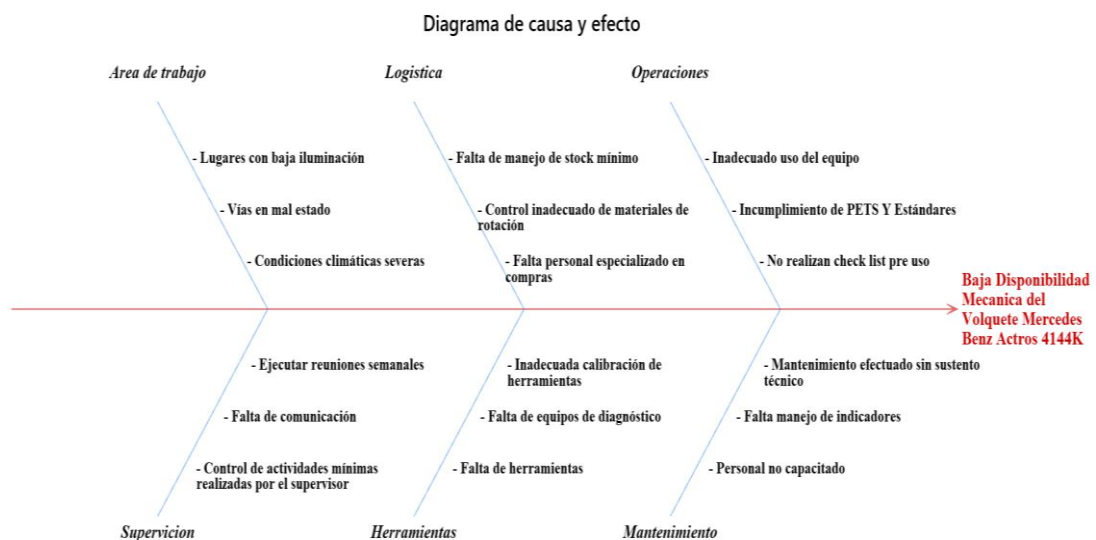
## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En este cuarto capítulo se realiza una interpretación y análisis de los datos recabados de las fuentes de información antes mencionadas, para obtener los conceptos relevantes respecto al problema de investigación y responder a los objetivos planteados en relación a las dimensiones en que se divide la variable operacional Gestión del Mantenimiento.

**Figura 39:** Diagrama causa – efecto del volquete Mercedes Benz Actros 4144K.



Elaboración propia.

El diagrama de causa y efecto nos indica todos los factores que influyen en la baja disponibilidad mecánica del volquete Mercedes Benz Actros 4144K, el área de trabajo, la supervisión, las herramientas en el taller de mantenimiento, el trabajo del volquete en operaciones y por último la gestión del mantenimiento realizado por jefatura de mantenimiento.

#### 4.1.1. Análisis de modos, efectos de falla (AMFE)

De acuerdo al procedimiento planteado para el diseño del mantenimiento proactivo para el objetivo de incrementar la disponibilidad mecánica se ejecutará con la hoja de trabajo AMFE.

Este estudio considera al volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K, la función que desempeña en el proceso productivo del proyecto minero ARASI es la de trasladar material, mineral o desmote según sea la programación del trabajo diario generado por minera. Este trabajo lo debe de realizar a una velocidad de 40 a 50 kilómetros/hora cumpliendo un ciclo de trabajo sin interrupciones de forma segura.

Para el caso de estudio se obtienen los siguientes datos según formato planteado.

**Figura 40:** Hoja de trabajo AMFE para el volquete Mercedes Benz Actros 4144K.

		HOJA DE TRABAJO AMFE						Version: 01	
								Codigo: AMFE_001	
								Pagina 1 de 1	
EQUIPO: CAMION VOLQUETE		REALIZADO POR: RCV				Nº OT: 46800			
MODELO: ACTROS 4144K		FECHA: 12/08/2022							
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	CONSECUENCIA (\$)	F	G	D	N.P.R.	
Trasladar material de desmote a razón de 40 a 50 km/hr; de manera segura.	Carga desmote a menos de 40 km/hr	Perdida de potencia	Reparación no esperada	perdidas en la produccion	3	4	3	36	
		No ingresan los cambios altos	Reparación no esperada	Mantenimiento de alto costo	3	4	3	36	
		Regulador de freno averiado	Posible accidente vehicular	Imposición de multa e indemnización por accidente de trabajo	3	5	1	24	
		Filtro de aire obstruido	Reparación no esperada	Mantenimiento de alto costo	2	3	2	12	
	No carga material de desmote	Turbo compresor dañado	Reparación no esperada	Mantenimiento de alto costo	2	4	3	24	
		Módulo de control de marchas averiado	Parada de máquina	Perdidas en la produccion	2	2	3	12	
		Caja de cambios averiado	Parada de máquina	Perdidas en la produccion	2	4	3	24	
		Diferencial / Corona	Parada de máquina	Perdidas en la produccion	2	4	3	24	
		Kit de embrague desgastado	Parada de máquina	Perdidas en la produccion	2	4	3	24	

Elaboración propia.

los resultados obtenidos dan a conocer el modo de falla que debe de evitarse para no tener perdidas en la producción y costos de reparación imprevistas, en este caso se tiene identificado según el resultado N.P.R. los datos en los intervalos de 24 y 36 como críticos.



De la misma forma este análisis se realizará por sistemas del volquete Mercedes Benz 4144K, teniendo como resultado los siguientes cuadros que se muestran a continuación.

**Figura 41:** Hoja de trabajo AMFE para el sistema de motor.

		HOJA DE TRABAJO AMFE				Version: 01		
						Codigo: AMFE_001		
						Pagina 1 de 1		
EQUIPO: CAMION VOLQUETE		REALIZADO POR: RCV				SISTEMA: MOTOR		
MODELO: ACTROS 4144K		FECHA: 12/08/2022				Nº OT:		
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	CONSECUENCIA (\$)	F	G	D	N.P.R.
Transmitir 435HP de potencia al tren de fuerza del camion a 1800 r.p.m.	No transmitir potencia indicada al tren de fuerza	Mono Block fisurado	Reparación no esperada por fuga de adite y/o refrigerante.	Mantenimiento de alto costo	2	5	4	40
		Pistón dañado	Reparación no esperada por pérdida de hermeticidad de cámara de combustión.	Mantenimiento de alto costo	2	5	4	40
		Culata fisurada	Reparación no esperada por fuga de refrigerante y/o aceite.	Mantenimiento de alto costo	2	5	3	30
	Bajas r.p.m. del motor	Metal de biela desgastado.	Parada del equipo por juego excesivo en el alojamiento de la Biela.	perdidas en la produccion	3	2	3	18
		Anillos de pistón desgastados	para del equipo por Pérdida de hermeticidad de cámara de combustión.	perdidas en la produccion	3	2	3	18
		Desgaste de válvulas de admisión y/o escape.	Parada del Equipo por Rotura de válvulas de admisión y/o escape.	perdidas en la produccion	3	2	3	18

Elaboración propia.

Del análisis AMFE se tiene los resultados N.P.R. entre los intervalos 30 y 40 como críticos. Los cuales se deberán de prevenir para continuar el proceso productivo.

**Figura 42:** Hoja de trabajo AMFE para el sistema de refrigeración.

		HOJA DE TRABAJO AMFE				Version: 01		
						Codigo: AMFE_001		
						Pagina 1 de 1		
EQUIPO: CAMION VOLQUETE		REALIZADO POR: RCV				SISTEMA: REFRIGERACION		
MODELO: ACTROS 4144K		FECHA: 12/08/2022				Nº OT:		
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	CONSECUENCIA (\$)	F	G	D	N.P.R.
Mantener una temperatura de funcionamiento del motor entre los 81 y 100 °C	Alta temperatura del refrigerante del Motor	Recalentamiento excesivo del motor	Reparación prematura del motor	Mantenimiento de alto costo	2	4	3	24
		Pérdida de propiedades del refrigerante.	Parada del equipo por perdida de refrigerante.	perdidas en la produccion	2	4	4	32
	Temperatura del refrigerante por encima de los 100 °C.	Termostato averido	Parada del equipo por averia del termostato.	perdidas en la produccion	2	3	3	18
		Bomba de agua averiada	Reparación no esperada por averia de la bomba de agua.	Mantenimiento de alto costo	2	4	3	24

Elaboración propia.

Este sistema de refrigeración cumple una función vital para el Motor, el análisis realizado para este sistema da como resultado Numero Prioritario de Riesgo N.P.R. los

intervalos entre 24 y 32 los cuales se puede tomar como críticos para prevenir paradas imprevistas del Volquete Mercedes Benz 4144k.

**Figura 43:** Hoja de trabajo AMFE para el sistema de lubricación.

		HOJA DE TRABAJO AMFE				Version: 01		
						Codigo: AMFE_001		
						Pagina 1 de 1		
EQUIPO: CAMION VOLQUETE		REALIZADO POR: RCV				SISTEMA: LUBRICACION		
MODELO: ACTROS 4144K		FECHA: 12/08/2022				Nº OT:		
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	CONSECUENCIA (\$)	F	G	D	N.P.R.
Transferir el aceite lubricante desde el cárter hacia los filtros de aceite y a todo los compartimientos del motor.	Incapaz de contener el aceite lubricante por fugas en el sistema	Pérdida de aceite por cañerías.	Parada del equipo por avería del termostato.	perdidas en la produccion	3	3	2	18
		Empaquetadura de cárter dañada	Reparación no esperada por fuga de acite y/o refrigerante.	Mantenimiento de alto costo	3	3	2	18
		Nivel de aceite por debajo del mínimo.	Parada del equipo por avería del termostato.	perdidas en la produccion	3	3	2	18
	Incapaz de transferir el aceite lubricante a una presión inferior a 32 psi.	Enfriador de aceite obstruido	Reparación no esperada por fuga de acite y/o refrigerante.	Mantenimiento de alto costo	2	4	3	24
		Bomba de aceite averiada	Reparación no esperada por fuga de acite y/o refrigerante.	Mantenimiento de alto costo	2	4	3	24
		Válvula de alivio defectuosa	Reparación no esperada por fuga de acite y/o refrigerante.	Mantenimiento de alto costo	2	4	3	24

Elaboración propia.

el sistema de lubricación cumple tres funciones indispensables en el interior del motor, la de lubricar todas las partes móviles, limpiar la cámara de combustión, sellar la cámara de combustión conjuntamente con los anillos del pistón. Si bien este sistema es fundamental para el correcto funcionamiento del motor, es también el sistema que más confiabilidad brinda para que el motor siga generando la fuerza motriz requerida.

Para el sistema de lubricación según el análisis AMFE se tiene los resultados NPR. En el intervalo de 24 como modo de falla crítico.

**Figura 44:** Hoja de trabajo AMFE para el sistema de transmisión.

		HOJA DE TRABAJO AMFE				Version: 01 Codigo: AMFE_001 Pagina 1 de 1		
EQUIPO: CAMION VOLQUETE		REALIZADO POR: RCV				SISTEMA: TRANSMISIÓN		
MODELO: ACTROS 4144K		FECHA: 12/08/2022				Nº OT:		
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	CONSECUENCIA (\$)	F	G	D	N.P.R.
Transmitir la energía mecánica a las ruedas.	Kit de embrague dañado	disco de embrague desgastado	Reparación no esperada por desgaste de disco de embrague.	Mantenimiento de alto costo	2	4	3	24
		collarin dañado	Reparación no esperada por avería de collarin.	Mantenimiento de alto costo	2	4	3	24
		plato presor dañado	Reparación no esperada por avería de plato presor.	Mantenimiento de alto costo	2	4	3	24
	Dificultad al generar cambios de velocidades	los mandos para los cambios no funcionan	Parada del equipo por avería en los mandos.	perdidas en la producción	3	2	2	12
		modulo de control de marchas averiado	Parada del equipo por avería en el modulo de control de marchas.	perdidas en la producción	2	4	2	16
		caja de cambios averiado	Reparación no esperada por avería en componentes internos de	Mantenimiento de alto costo	2	5	2	20
	No transmite la potencia a las ruedas	arbol de transmision dañado	Reparación no esperada por avería del arbol de transmision.	Mantenimiento de alto costo	2	5	2	20
		diferencial averido	Reparación no esperada por avería del diferencial.	Mantenimiento de alto costo	2	5	2	20

Elaboración propia.

Para el sistema de transmisión como NPR se considera el numero 24 como crítico.

**Figura 45:** Hoja de trabajo AMFE para el sistema eléctrico.

		HOJA DE TRABAJO AMFE				Version: 01 Codigo: AMFE_001 Pagina 1 de 1		
EQUIPO: CAMION VOLQUETE		REALIZADO POR: RCV				SISTEMA: ELECTRICO		
MODELO: ACTROS 4144K		FECHA: 12/08/2022				Nº OT:		
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	CONSECUENCIA (\$)	F	G	D	N.P.R.
Proveer la fuente de energía para arrancar el motor.	Incapaz de hacer arrancar el motor	Bendix del motor de arranque pegado	Reparación no esperada por la falla.	Perdidas en la producción	2	2	2	8
		El inducido del motor de arranque de motor quemado	Reparación no esperada por la falla.	Perdidas en la producción	2	2	2	8
		Rodamiento del arrancador en mal estado	Reparación no esperada por falla.	Perdidas en la producción	2	2	2	8
	Incapaz de suministrar energía	Batería descargada	Flujo de corriente y voltaje nulo.	Perdidas en la producción	2	2	2	8
		Bornes de batería en mal estado o sulfatadas.	Flujo de corriente y voltaje nulo.	Perdidas en la producción	2	2	2	8
		Conexiones eléctricas dañadas o sueltas	Reparación no esperada por la falla.	Perdidas en la producción	3	2	2	12

Elaboración propia.

Para el sistema de transmisión como NPR se considera el numero 12 como crítico.

**Figura 46:** Hoja de trabajo AMFE para el sistema de frenos.

		HOJA DE TRABAJO AMFE						Version: 01	
								Codigo: AMFE_001	
								Pagina 1 de 1	
EQUIPO: CAMION VOLQUETE		REALIZADO POR: RCV				SISTEMA: FRENOS			
MODELO: ACTROS 4144K		FECHA: 12/08/2022				Nº OT:			
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	CONSECUENCIA (\$)	F	G	D	N.P.R.	
disminuir la velocidad del volquete ante un obstáculo imprevisto en el ciclo de trabajo.	Incapaz de disminuir la velocidad del volquete.	Pedal de freno averiado	Reparación no esperada por avería del pedal de freno.	Mantenimiento de alto costo	3	4	2	24	
		Cañerías de freno dañado	Parada del equipo por fuga de aire por cañería.	perdidas en la producción	3	3	2	18	
		Cilindros de freno dañado	Parada del equipo por avería del cilindro de freno.	perdidas en la producción	3	4	2	24	
	demora excesiva en la disminución de velocidad del equipo.	Regulador de freno dañado	Reparación no esperada por regulador de freno averiado.	perdidas en la producción	3	4	3	36	
		Zapatas de freno desgastado	Reparación no esperada por zapatas de freno desgastado.	Mantenimiento de alto costo	3	4	4	48	
		Tambor de freno desgastado	Reparación no esperada por tambor de frenos desgastado.	Mantenimiento de alto costo	2	4	3	24	

Elaboración propia.

Siendo el sistema de frenos indispensable para el correcto desenvolvimiento del operador en las actividades de acarreo de material, según el número prioritario de riesgo los intervalos entre 36 y 48 se van a considerar como críticos para tomar acciones preventivas sobre ellos.

#### 4.1.2. Análisis de criticidad.

Analizar la criticidad y realizar la jerarquización de los sistemas y componentes que conforman el Volquete Mercedes Benz Actros 4144K, con base a su impacto operacional, impacto en la calidad del producto, seguridad del personal y de las operaciones e impacto en el medio ambiente.

Con el registro de las fallas (DATA OT) del volquete Mercedes Benz Actros 4144K podemos realizar el análisis de criticidad para los sistemas que lo conforman. Para el periodo de estudio se tiene el registro de los siguientes sistemas que se muestran en la tabla a continuación:

**Tabla 7:** Cuadro resumen de sistemas del volquete para su análisis.

<b>Nombre del sistema</b>	<b>Función</b>
Sistema motor	Generar energía mecánica, a partir de la combustión.
Sistema de lubricación	Distribuir el aceite a todas las partes móviles dentro del motor.
Sistema de refrigeración	Disipar el calor para que el motor no se sobrecaliente.
Sistema de transmisión	Transferir la potencia que genera el motor a las ruedas del vehículo.
Sistema suspensión	Conciliar el confort y la estabilidad en la conducción de un vehículo.
Sistema frenos	Reducir o impedir el movimiento del vehículo.
Sistema eléctrico - electrónico	Conjunto de instalaciones que permite la distribución de energía.
Sistema llantas	Aportan estabilidad y ser punto de apoyo con el terreno.

Elaboración propia

**Figura 47:** Escala de criticidad para los sistemas del volquete MB Actros 4144K.

ESCALA DE REFERENCIA	
<b>CRITICA</b>	16 a 20
<b>IMPORTANTE</b>	11 a 15
<b>REGULAR</b>	06 a 10
<b>OPCIONAL</b>	00 a 05

Elaboración propia.

Los valores de ponderación deben asignarse calificando el equipo según su incidencia en cada variable. Este paso requiere de un buen entendimiento del equipo, de su sistema, de su funcionamiento, de su valor y de los daños que podría causar una avería. Para obtener el valor ponderado para cada equipo este se debe de agruparlas para clasificarlas de acuerdo a la escala de referencia que se haya presentado y buscando una distribución con sesgo izquierdo, como se muestra en la figura, a fin de obtener el

programa de mantenimiento preventivo el cual nos permitirá acercarnos al costo mínimo de la actividad de mantenimiento.

**Figura 48:** Cálculo de criticidad según ponderación.

Cálculo de la criticidad														Version: 01		
														Codigo: AC_001		
														Pagina 1 de 1		
EQUIPO: CAMION VOLQUETE MERCEDES BENZ				REALIZADO POR: RCV				Nº OT: _____								
MODELO: ACTROS 4144K				FECHA: 10-09-2022												
ITEM	CODIGO	NOMBRE DEL SISTEMA	PONDERACION											ESCALA DE REFERENCIA	¿SE INCLUYE EN EL PMP?	
			1	2	3A	3B	3C	3D	4	5	6	7	8			TOTAL
1		Sistema Motor	2	3	1	1	1	1	0	0	1	2	1	13	IMPORTANTE	SI
2		Sistema de Lubricacion	2	2	1	0	0	0	0	1	1	0	0	7	REGULAR	NO
3		Sistema de Transmision	2	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	11	IMPORTANTE	SI
4		Sistema Suspension	2	2	0	0	0	0	2	0	1	0	0	7	REGULAR	NO
5		Sistema Frenos	4	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	17	CRITICO	SI
6		Sistema Electrico Electronico	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	OPCIONAL	NO
7		Sistema Llantas	2	2	0	1	1	1	2	1	1	0	0	11	IMPORTANTE	SI

Elaboración propia

De acuerdo al análisis del cálculo de criticidad realizado por sistemas se obtuvo el siguiente cuadro resumen teniendo como sistema crítico al sistema de frenos por su importancia en las actividades productivas del proyecto minero Arasi, Como sistema importante tenemos el sistema de motor, el sistema de transmisión y el sistema de llantas.

**Figura 49:** Resumen del cálculo de criticidad por sistema.

RESUMEN	Escala de referencia	CANTIDAD
	CRITICO	2
	IMPORTANTE	3
	REGULAR	2
	OPCIONAL	1

Elaboración propia

#### 4.1.3. Análisis de los componentes críticos.

Del análisis de los eventos registrados por sistemas realizado al Volquete Mercedes Benz Actros 4144K, se procede a realizar el análisis de criticidad de los componentes que conforman el sistema. De acuerdo al método propuesto se obtienen los siguientes datos que se muestran en las siguientes tablas.

Teniendo en cuenta la tabla 4.3 se realizará el análisis considerando como crítico al componente que tenga un valor entre 15 y 20 tales como se muestra en las siguientes

tablas, adicional se incluye una columna (¿SE INCLUYE EN EL PMP) en el cual se indicará si el componente se incluye en los programas de mantenimiento preventivo?

**Figura 50:** Análisis de criticidad de componentes del sistema de frenos.

Cálculo de la criticidad													Version: 01			
													Codigo: AC_001			
													Pagina 1 de 1			
EQUIPO: CAMION VOLQUETE MERCEDES BENZ			REALIZADO POR: RCV			SISTEMA: FRENOS										
MODELO: ACTROS 4144K			FECHA: 10/09/2022			Nº OT:										
ITEM	CODIGO	COMPONENTES DEL SISTEMA	PONDERACION											ESCALA DE REFERENCIA	¿SE INCLUYE EN EL PMP?	
			1	2	3A	3B	3C	3D	4	5	6	7	8			TOTAL
1	42158	Sensor de desgaste de los forros de freno LH	2	2	1	0	0	0	0	1	1	0	1	8	REGULAR	NO
2	42159	Sensor de desgaste de los forros de freno RH	2	2	1	0	0	0	0	1	1	0	1	8	REGULAR	NO
3	42231	Placa portafrenos	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
4	42232	Tomillo, placa portafrenos	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
5	42233	Zapata de freno	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO	SI
6	42234	Forro, zapata de freno	4	2	1	1	1	1	2	1	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
7	42235	Perno, zapata de freno	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
8	42238	Resorte recuperador	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
9	42239	Rodillo/perno de zapata de freno	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
10	42240	Casquillo, rodillo/perno de zapata de freno	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
11	42241	Eje de levas de freno	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO	SI
12	42242	Casquillo, eje de levas de freno	4	2	1	1	1	1	2	1	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
13	42243	Regulador de varillaje de freno	4	2	1	1	1	1	2	1	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
14	42245	Chapa protectora del freno	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
15	42247	Tapón chapa protectora de freno	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
16	42248	Remachado, forro de freno	4	2	1	1	1	1	2	1	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
17	42249	Caballote de cojinete, eje de levas de freno	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
18	42251	Tambor de freno	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO	SI
19	42255	Perno, disco de mando, dispositivo de reajuste de freno	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
20	42257	Retén, eje de levas de freno	2	2	1	0	0	0	0	1	1	0	1	8	REGULAR	NO
21	42260	Seguro, rodillo/perno de zapata de freno	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
22	42496	Chapa de seguridad, zapatas de freno	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
23	43232	Soporte, cilindro de freno de rueda	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
24	43233	Cilindro de freno, de membrana	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO	SI
25	43234	Cilindro combinado	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO	SI
26	43236	Soporte, cilindro combinado	4	2	1	1	1	1	2	1	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
27	43237	Guarnición estanqueizante cilindro de freno de membrana	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
28	43242	Atomiladura/pieza en T/empalme de aire comprimido	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
29	43243	Empalme de comprobación, aire comprimido	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO

Elaboración propia.

**Tabla 8:** Resumen del análisis de criticidad del sistema de frenos.

Escala de referencia	CANTIDAD
CRITICO	5
IMPORTANTE	5
REGULAR	19
OPCIONAL	0

Elaboración propia.

Para este sistema se tiene seis componentes críticos y uno importante, para el plan de acción se considera necesario contar con stock mínimo del componente observado con la finalidad de minimizar los tiempos de paradas del Volquete Mercedes Benz Actros 4144K todo esto incidirá en incrementar la disponibilidad mecánica del volquete.

**Figura 51:** Análisis de criticidad de componentes del sistema de motor.

Cálculo de la criticidad													Version: 01			
													Codigo: AC_001			
													Pagina 1 de 1			
EQUIPO: CAMION VOLQUETE MERCEDES BENZ			REALIZADO POR: RCV			SISTEMA: MOTOR										
MODELO: 4144K			FECHA: 11-09-2022			Nº OT:										
ITEM	CODIGO	COMPONENTES DEL SISTEMA	PONDERACION											ESCALA DE REFERENCIA	¿SE INCLUYE EN EL PMP?	
			1	2	3A	3B	3C	3D	4	5	6	7	8			TOTAL
1	01202	culata de motor	4	3	1	1	1	1	2	2	2	0	1	18	CRITICO	SI
2	01202	Junta de culata	4	3	1	1	1	1	0	2	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
3	01205	Anillo de asiento de válvula, válvula de escape	2	2	1	1	0	0	0	2	1	0	1	10	REGULAR	NO
4	01206	Guía de válvula, válvula de escape	2	2	1	1	1	1	0	2	1	0	1	12	IMPORTANTE	SI
5	01223	Guía de válvula, válvula de admisión	2	2	1	1	1	1	0	2	1	0	1	12	IMPORTANTE	SI
6	01224	Anillo de asiento de válvula, válvula de admisión	2	2	1	1	0	0	0	2	1	0	1	10	REGULAR	NO
7	01231	Casquillo protector inyector	2	2	1	1	0	0	0	2	1	0	1	10	REGULAR	NO
8	01001	Bloque motor	4	3	1	1	1	1	2	2	2	0	1	18	CRITICO	SI
9	01003	Camisa de cilindro	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI
10	01012	Anillo toroidal, camisa de cilindro	4	3	1	1	0	0	0	2	1	0	1	13	IMPORTANTE	SI
11	01016	Espiga de fijación/pasador cilindrico	2	2	1	1	0	0	0	2	1	0	1	10	REGULAR	NO
12	01017	Junta, collar de la camisa de cilindro	2	2	1	1	0	0	0	2	1	0	1	10	REGULAR	NO
13	00101B	Anillo rascador, camisa de cilindro	2	2	1	1	0	0	0	2	1	0	1	10	REGULAR	NO
14	01021	Tapa de cierre, orificio dejado, canal de aceite	2	2	1	1	0	0	0	2	1	0	1	10	REGULAR	NO
15	03312	Tapón roscado, tobera proyectora de aceite, refrigeración de	2	2	1	1	0	0	0	2	2	0	1	11	IMPORTANTE	SI
16	05003	Cojinete del árbol de levas	4	3	1	1	0	0	0	2	1	0	1	13	IMPORTANTE	SI
17	13036	Racor tubería de líquido refrigerante compresor sistema de a	2	2	1	1	1	1	0	2	1	0	1	12	IMPORTANTE	SI
18	018142	Válvula de retención de aceite, filtro de aceite	4	3	1	1	0	0	0	2	1	0	1	13	IMPORTANTE	SI
19	20059	Racor de unión tubería de purga de aire líquido refrigerante	2	2	1	1	0	0	0	2	1	0	1	10	REGULAR	NO
20	01101	Cárter de aceite, motor	4	3	1	1	1	1	0	2	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
21	01421	Tubo de llenado de aceite	2	2	1	1	1	0	0	0	1	0	1	9	REGULAR	NO
22	18325	Sensor de nivel de llenado cárter de aceite motor	4	3	1	1	1	1	0	2	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
23	03102	Cojinete de biela	4	3	1	1	1	0	0	2	1	0	1	14	IMPORTANTE	SI
24	03201	Biela	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI
25	03301	Pistón, motor	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI
26	03302	Aro de compresión	4	3	1	1	0	0	2	2	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
27	03303	Aro rascador de aceite	4	3	1	1	0	0	2	2	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
28	03001	Cigüeñal	4	3	1	1	1	1	2	2	2	0	1	18	CRITICO	SI
29	03002	Rueda del cigüeñal	4	3	1	1	1	0	0	2	1	0	1	14	IMPORTANTE	SI
30	05001	Árbol de levas	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI
31	05201	Válvula de admisión	4	3	1	1	1	1	0	2	2	1	0	16	CRITICO	SI
32	05202	Válvula de escape	4	3	1	1	1	0	2	2	1	0	1	16	CRITICO	SI
33	05221	Vástago	2	2	1	1	0	0	0	2	1	0	1	10	REGULAR	NO
34	05222	Varilla levantaválvula	2	2	1	1	0	0	0	2	1	0	1	10	REGULAR	NO
35	05302	Casquillo de cojinete palanca oscilante/balancín	2	2	1	1	0	0	0	2	1	0	1	10	REGULAR	NO
36	05306	Grapa de seguridad/anillo de seguridad eje de balancines	2	2	1	1	0	0	0	2	1	0	1	10	REGULAR	NO
37	0532E	Palanca oscilante/balancín válvula de admisión	2	2	1	1	0	0	0	2	1	0	1	10	REGULAR	NO
38	05048	Sensor de posición árbol de levas	4	3	1	1	0	0	0	2	1	0	1	13	IMPORTANTE	SI
39	07774	Tubería de inyección PLD	2	2	1	1	0	1	0	2	1	0	1	11	IMPORTANTE	SI
40	07775	Inyector de combustible, motor diésel, PLD	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI
41	07778	Bomba de inyección solidaria a la culata PLD	4	3	1	1	1	1	2	2	2	0	1	18	CRITICO	SI
42	07781	Unidad de control PLD	4	3	1	1	0	0	0	2	1	0	1	13	IMPORTANTE	SI
43	07783	Tubería de combustible refrigeración unidad de control moto	2	2	1	1	0	0	0	2	1	0	1	10	REGULAR	NO
44	09308	colector de aire de admision	4	3	1	1	0	1	0	2	1	0	1	14	IMPORTANTE	SI
45	09301	Turbocompresor por gases de escape	4	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	13	IMPORTANTE	SI
46	14125	Colector de gases de escape	4	3	1	1	0	1	0	2	1	0	1	14	IMPORTANTE	SI
47	15001	Arrancador	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI
48	15101	Alternador	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI
49	18001	Bomba de aceite, motor	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI
50	20001	Bomba de líquido refrigerante	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI

Elaboración propia.

**Tabla 9:** Resumen del análisis de criticidad del sistema de motor.

Escala de referencia	CANTIDAD
CRITICO	15
IMPORTANTE	20
REGULAR	15
OPCIONAL	0

Elaboración propia.



**Figura 52:** Análisis de criticidad de componentes del sistema de transmisión.

Cálculo de la criticidad														Version: 01		
														Codigo: AC_001		
														Pagina 1 de 1		
EQUIPO: CAMION VOLQUETE MERCEDES BENZ				REALIZADO POR: RCV				SISTEMA: TRANSMISION								
MODELO: 4144K				FECHA: 12/10/2022				Nº OT:								
ITEM	CODIGO	COMPONENTES DEL SISTEMA	PONDERACION											ESCALA DE REFERENCIA	¿SE INCLUYE EN EL PMP?	
			1	2	3A	3B	3C	3D	4	5	6	7	8			TOTAL
1	25041	Plato presor de embrague	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI
2	25102	Horquilla de desembrague	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI
3	25138	Disco de embrague, embrague bidisco	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI
4	26006	caja de cambios	4	3	1	1	1	1	0	2	2	0	1	16	CRITICO	SI
5	35021	Sensor de temperatura aceite del engranaje del eje trasero	2	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	14	IMPORTANTE	SI
6	35101	Diferencial primer eje	2	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	11	IMPORTANTE	SI
7	35311	Sernieje de eje trasero	4	3	1	1	1	1	0	2	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
8	35341	Cubo de rueda trasera	2	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	11	IMPORTANTE	SI
9	35559	Diferencial segundo eje	2	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	11	IMPORTANTE	SI
10	41001	Árbol de transmisión	2	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	11	IMPORTANTE	SI
11	41002	Pieza desplazable, árbol de transmisión	2	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	11	IMPORTANTE	SI
12	41003	Estrella de la articulación de cruceta	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	7	REGULAR	NO
13	41004	Cojinete de agujas, articulación de cruceta	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	7	REGULAR	NO
14	41011	Cojinete, Árbol de transmisión	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	7	REGULAR	NO
15	41012	Rodamiento radial rígido, árbol de transmisión	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO	SI
16	41019	Articulación de cruceta	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO	SI
17	41021	Cojinete intermedio del árbol de transmisión	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	7	REGULAR	NO
18	41022	Caballote de cojinete, árbol de transmisión	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	7	REGULAR	NO
19	41031	Brida de acoplamiento, cojinete intermedio	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	7	REGULAR	NO
20	41041	Brida de la articulación de cruceta árbol de transmisión	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI
21	41042	Tornillo/tuerca brida de la articulación de cruceta	4	2	1	1	1	1	0	2	1	0	1	14	IMPORTANTE	SI
22	41057	Árbol de transmisión cambio/caja de transferencia	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI
23	41058	Árbol de transmisión cambio cojinete intermedio	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI
24	41062	Árbol de transmisión, cojinete central	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO	SI

Elaboración propia.

**Tabla 10:** Resumen del análisis de criticidad del sistema de transmisión.

Escala de referencia	CANTIDAD
CRITICO	10
IMPORTANTE	8
REGULAR	6
OPCIONAL	0

Elaboración propia.

**Figura 53:** Análisis de criticidad de componentes del sistema de suspensión.

<b>Cálculo de la criticidad</b>		Version: 01
		Codigo: AC_001
		Pagina 1 de 1

EQUIPO: CAMION VOLQUETE MERCEDES BENZ

REALIZADO POR: RCV

SISTEMA: SUSPENSION

MODELO: 4144K

FECHA: 13/10/2022

Nº OT:

ITEM	CODIGO	COMPONENTES DEL SISTEMA	PONDERACION											ESCALA DE REFERENCIA	¿SE INCLUYE EN EL PMP?	
			1	2	3A	3B	3C	3D	4	5	6	7	8			TOTAL
1	3201K	Tornillo soporte de cojinete brazo triangular	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
2	3201N	Tapa de cierre apoyo de ballesta	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
3	32030	Elemento elástico eje trasero	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	7	REGULAR	NO
4	32041	Ballesta trasera	4	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	13	IMPORTANTE	SI
5	32042	Perno capuchino, muelle del eje trasero	4	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	8	REGULAR	NO
6	32043	Brida de ballesta/ballesta trasera	4	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	9	REGULAR	NO
7	32044	Brida de ballesta trasera	4	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	9	REGULAR	NO
8	32045	Eje de ballesta/casquillo, ballesta trasera	4	2	1	1	1	1	0	1	1	0	1	13	IMPORTANTE	SI
9	32047	Brida trasera de ballesta	4	2	1	1	1	1	0	1	1	0	1	13	IMPORTANTE	SI
10	32049	Resorte adicional	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	7	REGULAR	NO
11	32050	Suplemento brida ballesta, detrás	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
12	32054	Apoyo de ballesta, eje trasero	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
13	32055	Cojinete, apoyo de ballesta	4	3	1	1	1	1	0	1	1	0	1	14	IMPORTANTE	SI
14	32056	Tuerca anular, asiento, apoyo de ballesta	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
15	32058	Junta anular soporte de ballesta	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	7	REGULAR	NO
16	32059	Junta tapa de cierre soporte de ballesta	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	7	REGULAR	NO
17	32062	Cabalete de cojinete, brazo longitudinal - eje trasero	2	2	1	1	1	1	0	1	1	0	1	11	IMPORTANTE	SI
18	32063	Tornillo, cojinete de ballesta/brazo	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
19	32064	Cabalete de cojinete, brazo longitudinal - bastidor	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
20	32065	Tornillo, cabalete de apoyo, brazo longitudinal	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
21	32066	Brazo longitudinal	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO	SI
22	32067	Brazo longitudinal, cabeza de rótula	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
23	32069	Tornillo, brazo longitudinal	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
24	32077	Cojinete de ballesta exterior	4	3	1	1	1	1	0	1	1	0	1	14	IMPORTANTE	SI
25	32078	Pieza intermedia, muelle del eje trasero	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
26	32080	Articulación central, suspensión de acero/neumática	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO	SI
27	32082	Brazo transversal, cabeza de rótula	4	3	1	1	1	1	0	1	1	0	1	14	IMPORTANTE	SI
28	32086	Cabalete de cojinete, brazo transversal - eje trasero	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
29	32087	Tornillo soporte de cojinete, eje trasero	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	6	REGULAR	NO
30	32094	Brazo triangular de una pieza	4	3	1	1	1	1	0	1	1	0	1	14	IMPORTANTE	SI
31	32247	Ballesta parabólica eje trasero	4	3	1	1	1	1	2	0	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
32	32428	Tuerca, brida de ballesta, eje trasero	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	7	REGULAR	NO

Elaboración propia.

**Tabla 11:** Resumen del análisis de criticidad del sistema de suspensión.

Escala de referencia	CANTIDAD
CRITICO	2
IMPORTANTE	9
REGULAR	21
OPCIONAL	0

Elaboración propia.

**Figura 54:** Análisis de criticidad de componentes del sistema de llantas.

Cálculo de la criticidad														Version: 01		
														Codigo: AC_001		
														Pagina 1 de 1		
EQUIPO: CAMION VOLQUETE MERCEDES BENZ				REALIZADO POR: RCV				SISTEMA: LLANTAS								
MODELO: 4144K				FECHA: 14-10-2022				Nº OT:								
ITEM	CODIGO	COMPONENTES DEL SISTEMA	PONDERACION											ESCALA DE REFERENCIA	¿SE INCLUYE EN EL PMP?	
			1	2	3A	3B	3C	3D	4	5	6	7	8			TOTAL
1	40001	Aro (acero)	4	3	1	1	1	1	2	0	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
2	40003	Embellecedor de rueda, llanta de disco	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	OPCIONAL	NO
3	40005	Muelle embellecedor de rueda	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	OPCIONAL	NO
4	40006	Tornillo, embellecedor de rueda	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	OPCIONAL	NO
5	40007	Pesa de equilibrado, muelle de sujeción rueda	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	6	REGULAR	NO
6	40009	Tope de goma, embellecedor	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	5	OPCIONAL	NO
7	4000E	Anillo protector tuerca de rueda	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	6	REGULAR	NO
8	40013	Brida de unión llanta Trilex	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	6	REGULAR	NO
9	40017	Llanta de disco de aleación ligera	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	5	OPCIONAL	NO
10	40021	Tuerca de rueda	4	3	1	1	1	1	2	0	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
11	40022	Perno de tuerca de rueda	4	3	1	1	1	1	2	0	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
12	40024	Cubierta, tuerca de rueda	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	6	REGULAR	NO
13	40031	Llanta Trilex	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	6	REGULAR	NO
14	40101	Neumático	4	3	1	1	1	1	2	0	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
15	40102	Cámara, neumático	4	3	1	1	1	1	2	0	1	0	1	15	IMPORTANTE	SI
16	40104	Válvula de neumático	4	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	13	IMPORTANTE	SI
17	40105	Caperuza de válvula	4	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	13	IMPORTANTE	SI
18	40106	Cinta de llanta/cinta de pestaña	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	6	REGULAR	NO
19	40107	Prolongación de válvula	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	5	OPCIONAL	NO
20	40111	Neumático con propiedades de marcha de emergencia	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	5	OPCIONAL	NO
21	40112	Soporte, válvula	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	5	OPCIONAL	NO
22	40113	Zapata de fijación	4	3	1	1	1	1	0	1	1	0	0	13	IMPORTANTE	SI
23	40114	Tuerca, terminal de apriete	4	3	1	1	1	1	0	1	1	0	0	13	IMPORTANTE	SI
24	40115	Cubo de rueda, de estrella	4	3	1	1	1	1	0	1	1	0	0	13	IMPORTANTE	SI
25	40116	Desgaste de los neumáticos, borde lateral interior	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	OPCIONAL	NO
26	40117	Desgaste de los neumáticos, borde lateral exterior	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	OPCIONAL	NO
27	40191	Anillo de marcha de emergencia blindaje	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	OPCIONAL	NO
28	40222	Rueda y neumático con propiedades de marcha de emerger	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	OPCIONAL	NO
29	5801T	Cubierta tuerca de rueda (accesorios)	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	OPCIONAL	NO
30	5801U	Anillo protector tuerca de rueda (accesorios)	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	OPCIONAL	NO

Elaboración propia.

Del análisis realizado al sistema de llantas, se puede observar que no se tiene componentes críticos, se observa con más incidencia las escalas de opcional, crítico y por último la escala regular.

**Tabla 12:** Resumen del análisis de criticidad del sistema de llantas.

Escala de referencia	CANTIDAD
CRITICO	0
IMPORTANTE	10
REGULAR	6
OPCIONAL	14

Elaboración propia.

Teniendo ya identificado los componentes críticos que afectan el normal desarrollo de las actividades del volquete en el proyecto minero Arasi. Se presenta el

siguiente cuadro resumen para incluirlos en el plan de acción con la finalidad de incrementar la disponibilidad mecánica.

**Figura 55:** Componentes críticos del Sistema de Frenos, Motor y Transmisión.

Resumen Cálculo de la criticidad													Version: 01			
													Codigo: AC_001			
													Página 1 de 1			
EQUIPO: CAMION VOLQUETE MERCEDES BENZ						REALIZADO POR: RCV										
MODELO: 4144K						FECHA: 20/10/2022						Nº OT:				
SISTEMA	ITEM	CODIGO	COMPONENETES DEL SISTEMA	PONDERACION										ESCALA DE REFERENCIA		
				1	2	3A	3B	3C	3D	4	5	6	7		8	TOTAL
FRENOS	5	42233	Zapata de freno	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO
FRENOS	11	42241	Eje de levas de freno	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO
FRENOS	18	42251	Tambor de freno	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO
FRENOS	24	43233	Cilindro de freno, de membrana	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO
FRENOS	25	43234	Cilindro combinado	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO
MOTOR	1	01202	culata de motor	4	3	1	1	1	1	2	2	2	0	1	18	CRITICO
MOTOR	8	01001	Bloque motor	4	3	1	1	1	1	2	2	2	0	1	18	CRITICO
MOTOR	9	01003	Camisita de cilindro	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
MOTOR	24	03201	Biela	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
MOTOR	25	03301	Pistón, motor	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
MOTOR	28	03001	Cigüeñal	4	3	1	1	1	1	2	2	2	0	1	18	CRITICO
MOTOR	30	05001	Árbol de levas	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
MOTOR	31	05201	Válvula de admisión	4	3	1	1	1	0	2	2	1	0	1	16	CRITICO
MOTOR	32	05202	Válvula de escape	4	3	1	1	1	0	2	2	1	0	1	16	CRITICO
MOTOR	40	07775	Injector de combustible, motor diésel, PLD	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
MOTOR	41	07778	Bomba de inyección solidaria a la culata PLD	4	3	1	1	1	1	2	2	2	0	1	18	CRITICO
MOTOR	47	15001	Arrancador	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
MOTOR	48	15101	Alternador	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
MOTOR	49	18001	Bomba de aceite, motor	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
MOTOR	50	20001	Bomba de líquido refrigerante	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
TRANSMISION	1	25041	Plato presor de embrague	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
TRANSMISION	2	25102	Horquilla de desembrague	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
TRANSMISION	3	25138	Disco de embrague, embrague bidisco	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
TRANSMISION	4	26006	caja de cambios	4	3	1	1	1	1	0	2	2	0	1	16	CRITICO
TRANSMISION	15	41012	Rodamiento radial rígido, árbol de transmisión	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO
TRANSMISION	16	41019	Articulación de cruceta	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO
TRANSMISION	20	41041	Brida de la articulación de cruceta árbol de transmisión	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
TRANSMISION	22	41057	Árbol de transmisión cambio/caja de transferencia	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
TRANSMISION	23	41058	Árbol de transmisión cambio cojinete intermedio	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
TRANSMISION	24	41062	Árbol de transmisión, cojinete central	4	3	1	1	1	1	2	2	1	0	1	17	CRITICO
SUSPENSION	21	32066	Brazo longitudinal	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO
SUSPENSION	26	32080	Articulación central, suspensión de acero/neumática	4	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	16	CRITICO

Elaboración propia.

Utilizando los valores de la tabla 25, aplicando la valoración correspondiente tenemos las acciones de mantenimiento propuestas de acuerdo al valor de criticidad de cada elemento para el sub sistema de trituración:

**Figura 56:** Componentes Importantes del Sistema de Frenos y Suspensión.

Resumen Cálculo de la criticidad											Version: 01					
											Codigo: AC_001					
											Página 1 de 1					
EQUIPO: CAMION VOLQUETE MERCEDES BENZ				REALIZADO POR: RCV				Nº OT:								
MODELO: 4144K				FECHA: 20/10/2022												
SISTEMA	ITEM	CODIGO	COMPONENTES DEL SISTEMA	PONDERACION								TOTAL	ESCALA DE REFERENCIA			
				1	2	3A	3B	3C	3D	4	5			6	7	8
FRENOS	6	42234	Forro, zapata de freno	4	2	1	1	1	1	2	1	1	0	1	15	IMPORTANTE
FRENOS	12	42242	Casquillo, eje de levas de freno	4	2	1	1	1	1	2	1	1	0	1	15	IMPORTANTE
FRENOS	13	42243	Regulador de varillaje de freno	4	2	1	1	1	1	2	1	1	0	1	15	IMPORTANTE
FRENOS	16	42248	Remachado, forro de freno	4	2	1	1	1	1	2	1	1	0	1	15	IMPORTANTE
FRENOS	26	43236	Soporte, cilindro combinado	4	2	1	1	1	1	2	1	1	0	1	15	IMPORTANTE
MOTOR	2	01202	Junta de culata	4	3	1	1	1	1	0	2	1	0	1	15	IMPORTANTE
MOTOR	4	01206	Guía de válvula, válvula de escape	2	2	1	1	1	1	0	2	1	0	1	12	IMPORTANTE
MOTOR	5	01223	Guía de válvula, válvula de admisión	2	2	1	1	1	1	0	2	1	0	1	12	IMPORTANTE
MOTOR	10	01012	Anillo toroidal, camisa de cilindro	4	3	1	1	0	0	0	2	1	0	1	13	IMPORTANTE
MOTOR	15	03312	Tapón roscado, tobera proyectora de aceite, refrigeración	2	2	1	1	0	0	0	2	2	0	1	11	IMPORTANTE
MOTOR	16	05003	Coinete del árbol de levas	4	3	1	1	0	0	0	2	1	0	1	13	IMPORTANTE
MOTOR	17	13036	Racor tubería de líquido refrigerante compresor sistema de	2	2	1	1	1	1	0	2	1	0	1	12	IMPORTANTE
MOTOR	18	018142	Válvula de retención de aceite, filtro de aceite	4	3	1	1	0	0	0	2	1	0	1	13	IMPORTANTE
MOTOR	20	01101	Cárter de aceite, motor	4	3	1	1	1	1	0	2	1	0	1	15	IMPORTANTE
MOTOR	22	18325	Sensor de nivel de llenado cárter de aceite motor	4	3	1	1	1	1	0	2	1	0	1	15	IMPORTANTE
MOTOR	23	03102	Coinete de biela	4	3	1	1	1	0	0	2	1	0	1	14	IMPORTANTE
MOTOR	26	03302	Aro de compresión	4	3	1	1	0	0	2	2	1	0	1	15	IMPORTANTE
MOTOR	27	03303	Aro rascador de aceite	4	3	1	1	0	0	2	2	1	0	1	15	IMPORTANTE
MOTOR	29	03002	Rueda del cigüeñal	4	3	1	1	1	0	0	2	1	0	1	14	IMPORTANTE
MOTOR	38	05048	Sensor de posición árbol de levas	4	3	1	1	0	0	0	2	1	0	1	13	IMPORTANTE
MOTOR	39	07774	Tubería de inyección PLD	2	2	1	1	0	1	0	2	1	0	1	11	IMPORTANTE
MOTOR	42	07781	Unidad de control PLD	4	3	1	1	0	0	0	2	1	0	1	13	IMPORTANTE
MOTOR	44	09308	colector de aire de admisión	4	3	1	1	0	1	0	2	1	0	1	14	IMPORTANTE
MOTOR	45	09301	Turbocompresor por gases de escape	4	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	13	IMPORTANTE
MOTOR	46	14125	Colector de gases de escape	4	3	1	1	0	1	0	2	1	0	1	14	IMPORTANTE
TRANSMISION	5	35021	Sensor de temperatura aceite del engranaje del eje trase	2	3	1	1	1	1	2	1	1	0	1	14	IMPORTANTE
TRANSMISION	6	35101	Diferencial primer eje	2	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	11	IMPORTANTE
TRANSMISION	7	35311	Semieje de eje trasero	4	3	1	1	1	1	0	2	1	0	1	15	IMPORTANTE
TRANSMISION	8	35341	Cubo de rueda trasera	2	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	11	IMPORTANTE
TRANSMISION	9	35559	Diferencial segundo eje	2	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	11	IMPORTANTE
TRANSMISION	10	41001	Árbol de transmisión	2	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	11	IMPORTANTE
TRANSMISION	11	41002	Pieza desplazable, árbol de transmisión	2	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	11	IMPORTANTE
TRANSMISION	21	41042	Tomillo/tuerca brida de la articulación de cruceta	4	2	1	1	1	1	0	2	1	0	1	14	IMPORTANTE
SUSPENSION	4	32041	Ballesta trasera	4	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	13	IMPORTANTE
SUSPENSION	8	32045	Eje de ballesta/casquillo, ballesta trasera	4	2	1	1	1	1	0	1	1	0	1	13	IMPORTANTE
SUSPENSION	9	32047	Brida trasera de ballesta	4	2	1	1	1	1	0	1	1	0	1	13	IMPORTANTE
SUSPENSION	13	32055	Coinete, apoyo de ballesta	4	3	1	1	1	1	0	1	1	0	1	14	IMPORTANTE
SUSPENSION	17	32062	Caballete de cojinete, brazo longitudinal - eje trasero	2	2	1	1	1	1	0	1	1	0	1	11	IMPORTANTE
SUSPENSION	24	32077	Coinete de ballesta exterior	4	3	1	1	1	1	0	1	1	0	1	14	IMPORTANTE
SUSPENSION	27	32082	Brazo transversal, cabeza de rótula	4	3	1	1	1	1	0	1	1	0	1	14	IMPORTANTE
SUSPENSION	30	32094	Brazo triangular de una pieza	4	3	1	1	1	1	0	1	1	0	1	14	IMPORTANTE
SUSPENSION	31	32247	Ballesta parabólica eje trasero	4	3	1	1	1	1	2	0	1	0	1	15	IMPORTANTE
LLANTAS	1	40001	Aro (acero)	4	3	1	1	1	1	2	0	1	0	1	15	IMPORTANTE
LLANTAS	10	40021	Tuerca de rueda	4	3	1	1	1	1	2	0	1	0	1	15	IMPORTANTE
LLANTAS	11	40022	Perno de tuerca de rueda	4	3	1	1	1	1	2	0	1	0	1	15	IMPORTANTE
LLANTAS	14	40101	Neumático	4	3	1	1	1	1	2	0	1	0	1	15	IMPORTANTE
LLANTAS	15	40102	Cámara, neumático	4	3	1	1	1	1	2	0	1	0	1	15	IMPORTANTE
LLANTAS	16	40104	Válvula de neumático	4	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	13	IMPORTANTE
LLANTAS	17	40105	Caperuza de válvula	4	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	13	IMPORTANTE
LLANTAS	22	40113	Zapata de fijación	4	3	1	1	1	1	0	1	1	0	0	13	IMPORTANTE
LLANTAS	23	40114	Tuerca, terminal de apriete	4	3	1	1	1	1	0	1	1	0	0	13	IMPORTANTE
LLANTAS	24	40115	Cubo de rueda, de estrella	4	3	1	1	1	1	0	1	1	0	0	13	IMPORTANTE

Elaboración propia.

#### 4.1.4. Análisis RAM

Para el análisis de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad (RAM) se utilizará la metodología propuesta, teniendo los resultados del análisis (AMFE) seguido de la jerarquización de los componentes críticos. Se aplicará la metodología de diagrama

de bloques para los sistemas críticos identificados con el objetivo de sincerar la baja disponibilidad de los sistemas observados.

**Tabla 13:** Resumen de sistemas intervenidos del volquete MB Actros 4144K

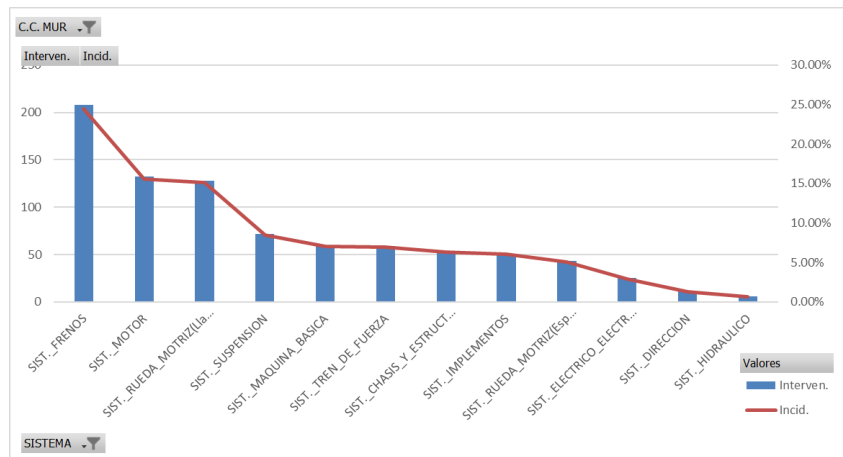
<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Interven.</b>	<b>Incid.</b>
SIST._FRENOS	208	24.50%
SIST._MOTOR	132	15.55%
SIST._RUEDA_MOTRIZ(Llantas)	128	15.08%
SIST._SUSPENSION	72	8.48%
SIST._MAQUINA_BASICA	60	7.07%
SIST._TREN_DE_FUERZA	59	6.95%
SIST._CHASIS_Y_ESTRUCTURA	54	6.36%
SIST._IMPLEMENTOS	51	6.01%
SIST._RUEDA_MOTRIZ(Espárragos)	43	5.06%
SIST._ELECTRICO_ELECTRONICO	25	2.94%
SIST._DIRECCION	11	1.30%
SIST._HIDRAULICO	6	0.71%
<b>Total general</b>	<b>849</b>	<b>100.00%</b>

Elaboración propia.

Según se puede apreciar en la tabla 13. donde se observa con mayor incidencia el sistema de frenos con 208 intervenciones mecánicas, seguido de sistema de motor con 132 intervenciones y por último el sistema rueda motriz (llanta) con 128 intervenciones mecánicas.

Estos datos obtenidos se procesarán según su incidencia en porcentaje, se dará prioridad a los sistemas con mayor cantidad de intervenciones mecánicas con el objetivo de generar el programa de intercambio de componentes y a la vez diseñar el intervalo de inspecciones y mantenimientos preventivos.

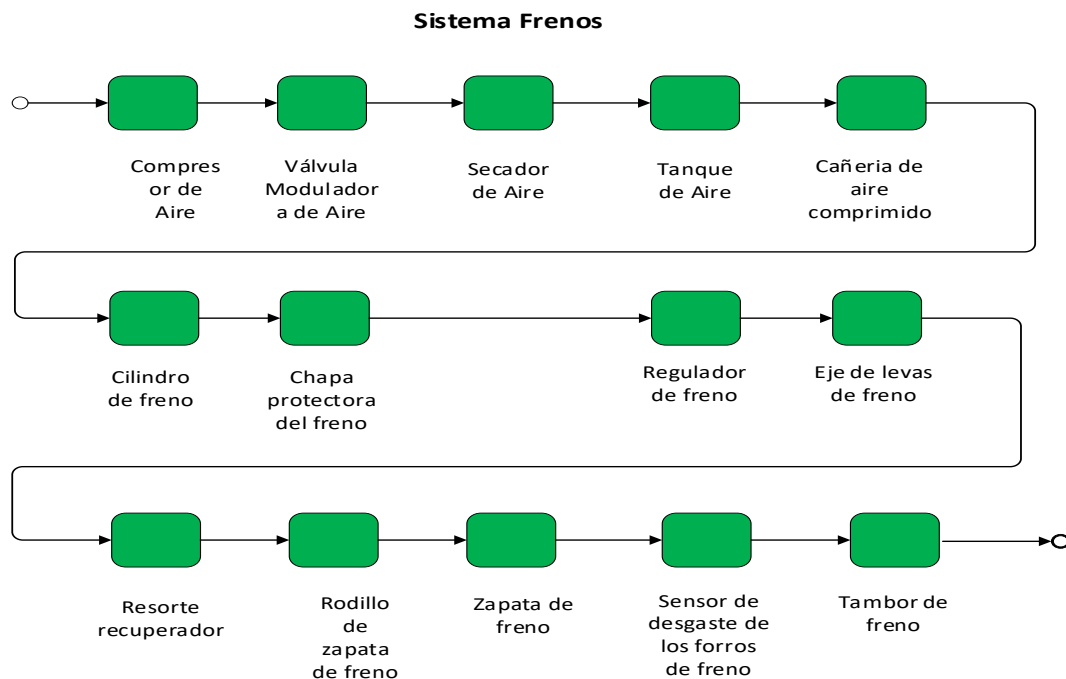
**Figura 57:** Diagrama de Pareto sistemas intervenidos del volquete MB Actros 4144K



Elaboración propia.

Para el sistema de frenos con una incidencia del 24.5% se tiene el siguiente diagrama de bloques en una disposición en serie.

**Figura 58:** Diagrama de bloques para el sistema de frenos



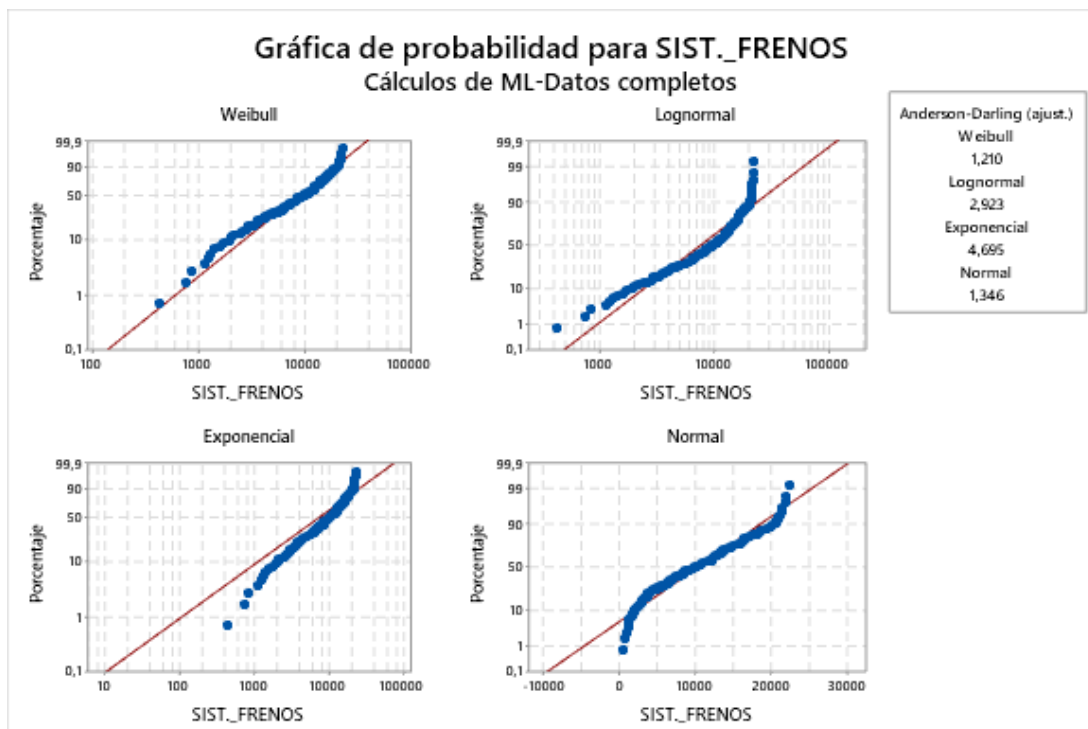
Elaboración propia.

Se puede apreciar que se tiene una configuración en serie lo que indica que para garantizar el funcionamiento correcto del sistema todos los componentes deben de

cumplir su función adecuadamente con la finalidad de garantizar una confiabilidad del 95%.

Para obtener la confiabilidad requerida se analizará la frecuencia de intervenciones realizadas al sistema de frenos del volquete mercedes Benz. Se procede a evaluar la confiabilidad del sistema utilizando el software Minitab.

**Figura 59:** Grafica de probabilidad de distribución paramétrica.



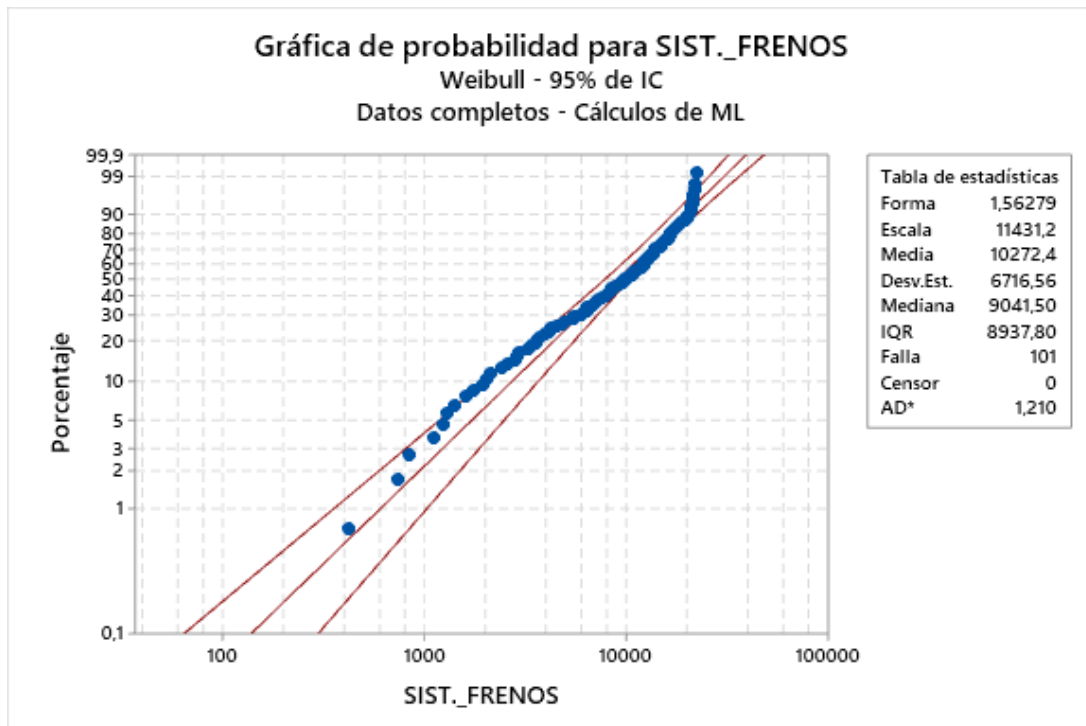
Elaboración propia

En la gráfica de probabilidad para el sistema de frenos teniendo como variable el intervalo de horas de parada por mantenimientos correctivos del volquete mercedes Benz Actros 4144K se obtiene una distribución Weibull con una bondad de ajuste de 1.210.

De los datos analizados se puede apreciar que estos se ajustan a una distribución Weibull, el siguiente paso a realizar será la de genera la gráfica de probabilidad de la confiabilidad para el sistema de frenos según la frecuencia de mantenimientos correctivos realizados al volquete Mercedes Benz 4144K.



**Figura 60:** Grafica de probabilidad Weibull.



Elaboración propia

Según los intervalos generaron nos muestran que el valor de  $\beta$  es mayor que 1, esto indica que se encuentra en una etapa de tasa de fallas creciente, terminando su vida útil.

A continuación, se muestra la tabla resumen del grafico de la figura 59 el cual nos brinda los intervalos de confianza en horas los cuales podemos tomar de acuerdo al porcentaje de confiabilidad que se necesita obtener, esta información es importante pues permitirá generar el programa de mantenimiento proactivo, disminuir el tiempo medio entre fallas todo esto con el objetivo de garantizar la disponibilidad mecánica del Camión volquete Mercedes Benz 4144K.

**Tabla 14:** Intervalos de confianza para el sistema de frenos

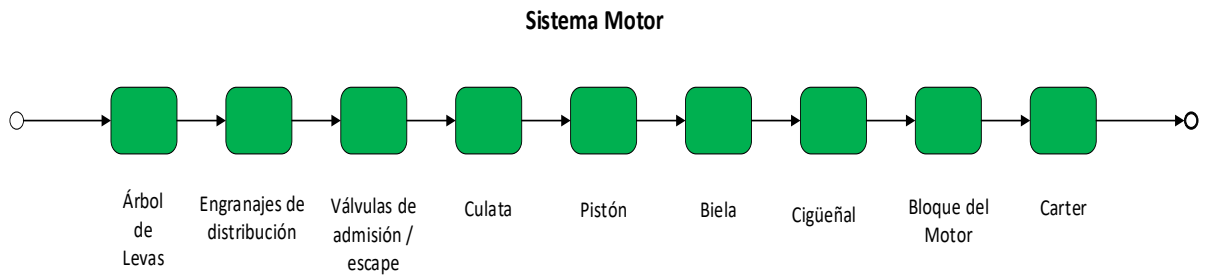
Porcentaje	Horas operacionales	limite Inferior	limite Superior
1%	602,185	354,206	1023,77
2%	941,368	593,857	1492,24
3%	1224,21	804,434	1863,04
4%	1476,50	998,623	2183,05
5%	1708,79	1181,84	2470,68
6%	1926,68	1357,05	2735,43
7%	2133,62	1526,10	2983,00
8%	2331,89	1690,25	3217,10
9%	2523,11	1850,42	3440,34
10%	2708,48	2007,28	3654,62
20%	4377,90	3474,18	5516,70
30%	5910,19	4877,20	7161,98
40%	7437,43	6302,43	8776,83
50%	9041,50	7807,39	10470,7
60%	10809,3	9455,46	12357,1
70%	12872,9	11344,6	14607,2
80%	15500,3	13676,3	17567,5
90%	19492,5	17058,2	22274,2
91%	20058,6	17523,7	22960,3
92%	20681,0	18031,8	23719,4
93%	21374,1	18593,5	24570,7
94%	22158,9	19224,2	25541,5
95%	23067,3	19948,0	26674,4
96%	24152,5	20804,2	28039,8
97%	25512,4	21865,0	29768,3
98%	27362,7	23288,9	32149,1
99%	30373,2	25563,4	36087,9

Elaboración propia

De acuerdo a la tabla número 14 de probabilidad de confiabilidad del sistema, al 95% se recomienda generar el programa de intercambio de componentes críticos del sistema de frenos entre los intervalos de 1181.84 a 2470.68. este intervalo deberá de considerarse en los programas de mantenimiento preventivo con la finalidad de minimizar tiempos improductivos del Camión volquete mercedes Benz 4144K.

Para el sistema de Motor con una incidencia del 15.55% se tiene el siguiente diagrama de bloques en una disposición en serie.

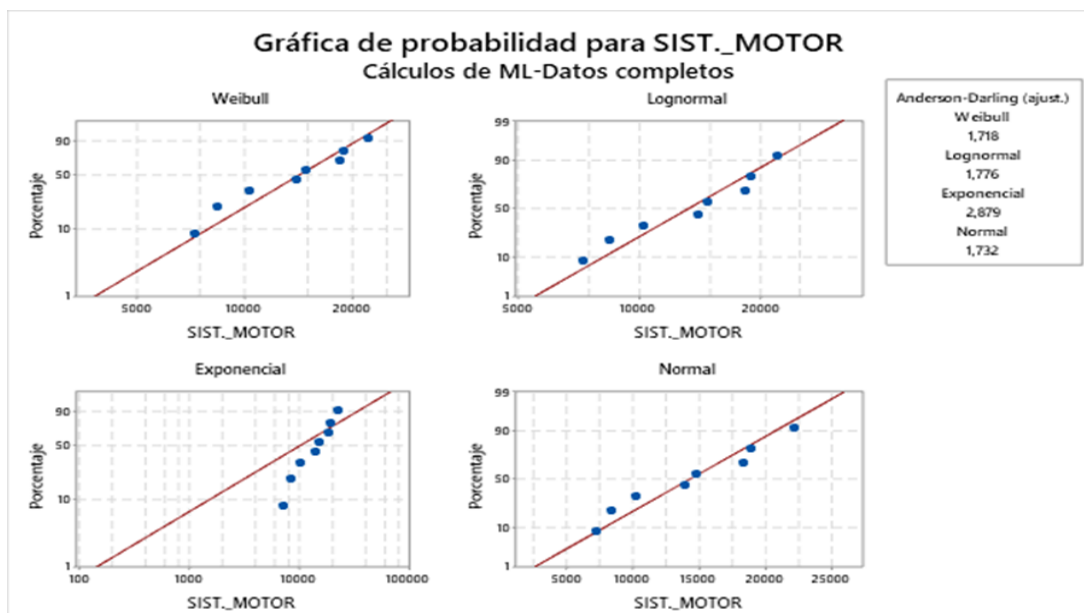
**Figura 61:** Diagrama de bloques para el sistema de Motor



Elaboración Propia

Para obtener la confiabilidad requerida se analizará la frecuencia de intervenciones realizadas al sistema de Motor del camión volquete mercedes Benz. Se procede a evaluar la confiabilidad del sistema utilizando el software Minitab

**Figura 62:** Grafica de probabilidad de distribución paramétrica.

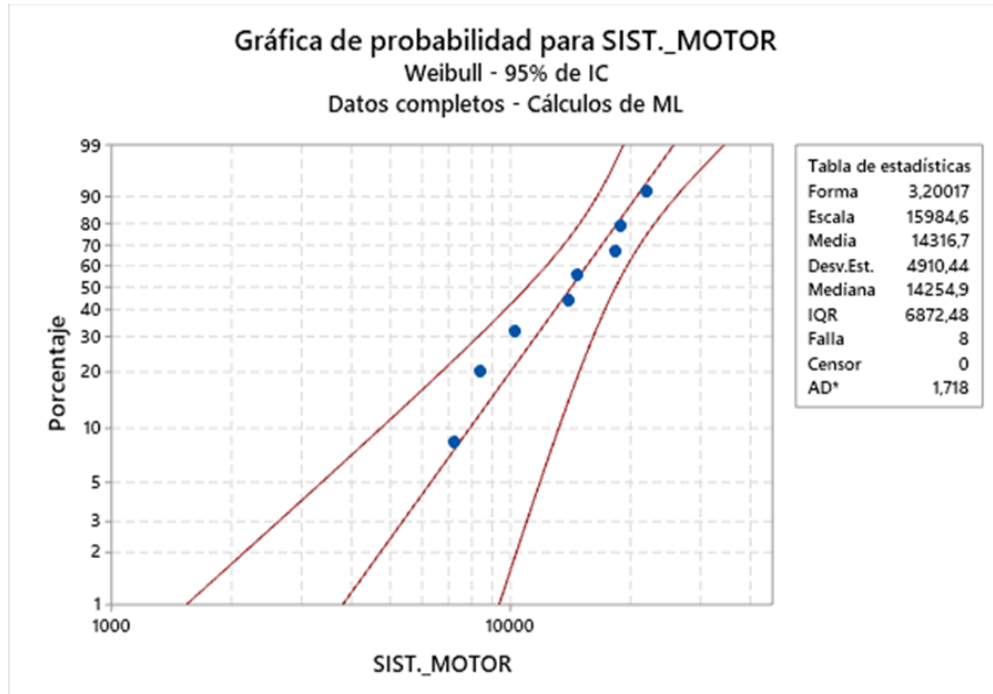


Elaboración Propia.

De los datos analizados se puede apreciar que estos se ajustan a una distribución Weibull con una bondad de ajuste de 1.718, el siguiente paso a realizar será la de genera la gráfica de probabilidad para la confiabilidad del sistema de motor según la frecuencia

de mantenimientos correctivos realizados al Camión volquete Mercedes Benz Actros 4144K.

**Figura 63:** Grafica de probabilidad Weibull.



Elaboración Propia

Según los intervalos generaron nos muestran que el valor de  $\beta$  es mayor que 1, esto indica que se encuentra en una etapa de tasa de fallas creciente, terminando su vida útil.

De los datos analizados se muestra la tabla resumen del grafico de la figura 63, el cual nos brinda los intervalos de confianza en horas. Del cual se pueden considerar el intervalo que mejor se ajuste a nuestras necesidades para incrementar la disponibilidad mecánica del equipo.

**Tabla 15:** Intervalos de confianza para el sistema de Motor

Porcentaje	Horas Operacionales	Límite Inferior	Limite Superior
1%	3796,80	1537,09	9378,56
2%	4722,50	2151,60	10365,3
3%	5368,97	2620,42	11000,5
4%	5883,43	3014,81	11481,6
5%	6318,57	3362,14	11874,7
6%	6699,97	3676,37	12210,3
7%	7042,23	3965,74	12505,4
8%	7354,54	4235,61	12770,1
9%	7643,12	4489,68	13011,5
10%	7912,37	4730,63	13234,1
20%	10003,4	6711,86	14909,1
30%	11582,3	8301,29	16160,2
40%	12958,2	9713,59	17286,5
50%	14254,9	11034,2	18415,7
60%	15553,9	12312,5	19648,6
70%	16939,3	13591,2	21112,2
80%	18547,5	14932,4	23037,8
90%	20743,8	16504,0	26073,0
91%	21035,9	16692,3	26509,8
92%	21352,2	16891,3	26991,1
93%	21698,7	17103,9	27527,9
94%	22084,2	17333,8	28136,4
95%	22521,8	17587,0	28841,2
96%	23033,1	17873,0	29682,9
97%	23657,5	18209,1	30736,1
98%	24480,4	18632,2	32164,2
99%	25760,6	19251,5	34470,4

Elaboración propia

De acuerdo a la tabla de probabilidad número 15 de confiabilidad del sistema, al 95% se recomienda generar el programa de intercambio de componentes críticos del sistema de motor entre los intervalos de 3362.14 a 11874.7. este intervalo deberá de considerarse en los programas de mantenimiento preventivo con la finalidad de minimizar tiempos improductivos del Camión volquete mercedes Benz 4144K.



## **4.2 DISEÑO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PROACTIVO.**

### **4.2.1. Gestión del Mantenimiento Proactivo.**

Para el diseño del mantenimiento proactivo del Volquete Mercedes Benz Actros 4144K se debe tener en cuenta las necesidades de un cambio que esta requiere en cuanto a su estructura. Para que los trabajos sean eficientes se debe programar, controlar y planificar las acciones llevadas a cabo en el área de mantenimiento, para poder incrementar el tiempo medio entre fallas y minimizar el tiempo medio de reparación del Volquete Mercedes Benz Actros 4144K.

Los procesos del área de mantenimiento son:

- 1. Planificación
- 2. Programación
- 3. Ejecución
- 4. Seguimiento

A continuación, se menciona las funciones que deben de desempeñar el personal del área de mantenimiento según su puesto de trabajo.

- Jefe de Taller: responsable de la gestión de mantenimiento de la operación de los equipos durante la ejecución del contrato.
- Planner de mantenimiento: Programación Anual, Mensual y Corto plazo, Semanal, diario (Mecánica, Electricidad, Soldadura, Neumático, Lubricación, Instrumentación, Inspección), Administración Vida Útil, Control de Componentes, Componentes mayores críticos y Componentes menores críticos.
- Supervisores de Mantenimiento: Responsables de la supervisión de la ejecución de los trabajos de mantenimiento correctivos, preventivos y predictivos en cada una de las guardias, filtrar los informes presentados por los técnicos al área de planeamiento.



- Técnico Mecánico de camiones: Técnico mecánico especialista en camiones volquete con experiencia en calibraciones de motor, evaluaciones en transmisión, entre otros, conocimiento de análisis de fallas, hidráulica, mantenimiento, trabajos de engrase, mantenimientos preventivos, predictivos, generar informes de los mantenimientos realizados.
- Técnico Eléctrico: Personal técnico con conocimiento referente al funcionamiento eléctrico – electrónico del volquete, con experiencia en manejo de software especializados como Xentry, generar informes de los diagnósticos realizados.
- Técnicos Soldador: Personal técnico especialista en soldadura de tolvas, realizar trabajos de manufactura, inspección de implementos en campo generar informe de inspecciones.

La correcta aplicación de las estrategias de mantenimiento nos permitirá garantizar una mayor Disponibilidad Mecánica debido a que cada una de ellas va acompañada de programas de mantenimiento y actividades a ejecutarse durante la realización de los mismos.

Nuestro análisis de estrategias a presentar ha sido analizado en función a la siguiente información:

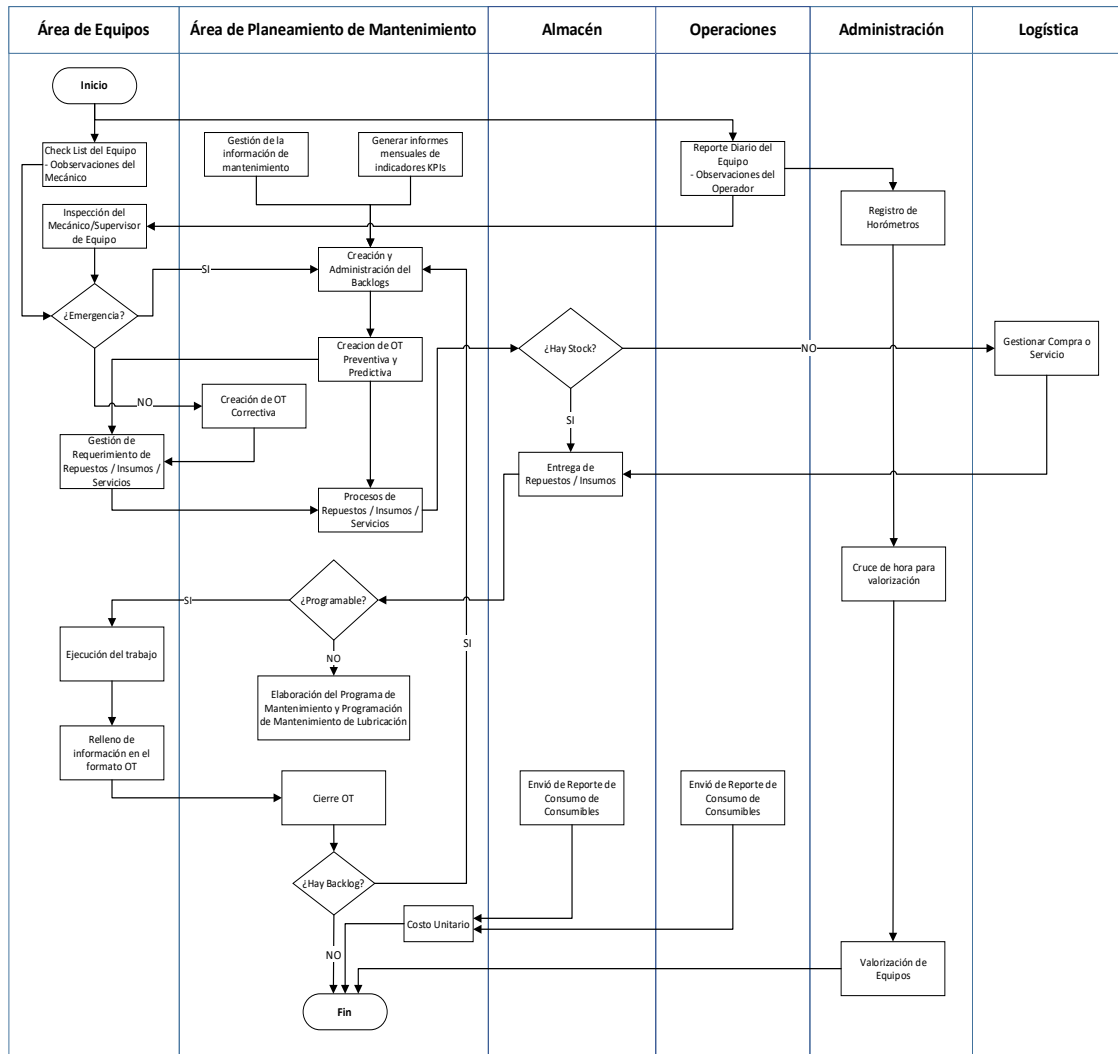
- Tiempo de uso del camión volquete Mercedes Benz Actros 4144K.
- Frecuencias de mantenimiento preventivo.
- Estrategia de inspección y lubricación.
- Programa de intercambio de componentes.

#### **4.2.2. Organización Estructural de la Gestión del Mantenimiento Proactivo.**

Se va considerar para la organización estructural dos diagramas de procesos el primero será dedicado para el área de mantenimiento y el segundo será dedicado para el operador del Volquete Mercedes Benz Actros 4144K.

El primer diagrama estructural va acorde a las necesidades de la empresa, donde se busca organizar los procesos por etapas según las áreas involucradas de una manera eficiente y rápida.

**Figura 64:** Proceso para la Gestión de Mantenimiento Proactivo.

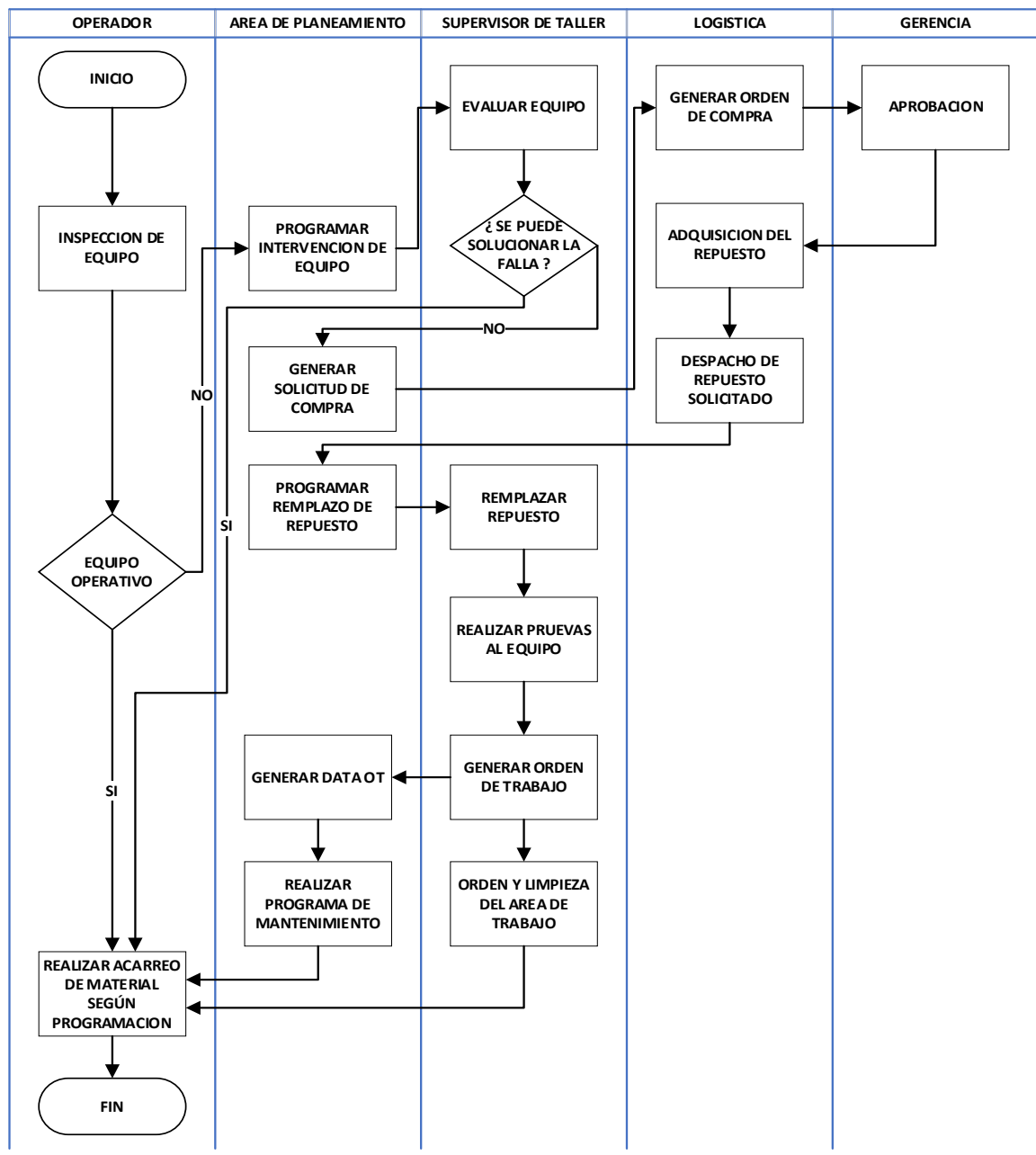


Elaboración Propia

El segundo diagrama busca incluir en las actividades de mantenimiento el reporte de inspección pre uso del volquete realizado por el operador según formato check list (Figura 18), el cual será necesario para detectar fallas y programar correctivos en los intervalos del mantenimiento preventivo como parte de la gestión del mantenimiento proactivo.



**Figura 65:** Proceso de inspección del Camión Volquete MB Actros 4144K



Elaboración propia.

Los dos procedimientos propuestos se inician con la planificación de las necesidades de mantenimiento detectadas por inspección, necesidades de mantenimientos correctivos y/o monitoreo de condiciones, finaliza con la actualización del historial de mantenimiento del equipo el cual permitirá analizar mediante indicadores de desempeño

el proceso productivo del Volquete Mercedes Benz Actros 4144K a lo largo de su ciclo de vida.

#### 4.2.3. Programación del Mantenimiento Proactivo

Realizar un adecuado programa de mantenimiento preventivo, predicativo y correctivo-programado permitirá reducir los tiempos improductivos del camión volquete; para tal fin se tiene identificado la frecuencia de mantenimiento preventivo que se debe de llevar a cabo el cual se muestra en la siguiente imagen.

**Figura 66:** Frecuencia de mantenimiento en intervalos de horas de trabajo

M	M+Z1	M	M+Z2	M	M+Z1	M	M+Z2	M	M+Z1	M	M+Z3
400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000	4400	4800
5200	5600	6000	6400	6800	7200	7600	8000	8400	8800	9200	9600
10000	10400	10800	11200	11600	12000	12400	12800	13200	13600	14000	14400
14800	15200	15600	16000	16400	16800	17200	17600	18000	18400	18800	19200
19600	20000	20400	20800	21200	21600	22000	22400	22800	23200	23600	24000

Elaboración propia

**Tabla 16:** Denominación del mantenimiento según frecuencia en horas

Flota	Marca	Modelo	M	M+Z1	M+Z2	M+Z3
Volquete	Mercedes Benz	Actros 4144K	400Hrs	800Hrs	1600Hrs	4800Hrs

Elaboración propia

Donde:

- M: Mantenimiento preventivo del motor.
- M+Z1: Mantenimiento preventivo al compartimiento del motor y caja de cambios.
- M+Z2: Mantenimiento preventivo al compartimiento del motor, caja de cambios y diferenciales primer eje y segundo eje.
- M+Z3: Mantenimiento preventivo al compartimiento del motor, caja de cambios, diferenciales primer eje y segundo eje, caja de dirección y la evaluación del estado del camión volquete con el sistema de diagnóstico XENTRY.

Para cumplir con la frecuencia de mantenimientos preventivos se debe de contar con insumos y materiales en stock almacenes, si se da el caso de no contar con stock de materiales se debe de generar una SC por reposición de materiales de prioridad alta.

**Figura 67:** Materiales eh insumos por mantenimiento preventivo.

CONSUMO POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO						Version: 01				
						Codigo: MP_001				
						Pagina 1 de 1				
CAMION VOLQUETE MERCEDES BENZ 4144K						FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO				UND/ME D
						400	800	1600	4800	
CODIGO ALMACEN	NUMERO DE PARTE	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO US\$	COSTO POR PM	CANT	M	M+Z1	M+Z2	M+Z3	UND
FIL16401150	P550453	FILTRO DE ACEITE	13.6	13.6	1	1	1	1	1	Pza
FIL16404017	P550762	FILTRO DE COMBUSTIBLE	10.8	10.8	1	1	1	1	1	Pza
FIL16402074	P551869	FILTRO SEPARADOR DE AGUA	18.94	18.94	1		1	1	1	Pza
FIL16403044	P784457	AIRE PRIMARIO	51.3	102.6	2		1	1	1	Pza
FIL16401117	P550396	FILTRO DE DIRECCION	6.4	12.8	2		1	1	1	Pza
FIL16403149	P953571	FILTRO SECADOR DE AIRE	35.2	35.2	1			1	1	Pza
LUB05501065	15W40	MOTOR	7.86	78.6	10	1	1	1	1	Gln
LUB05501065	15W40	RETARDADOR	7.86	11.79	1.5		1	1	1	Gln
LUB05501138	80W90	CAJA DE CAMBIOS	7.62	38.1	5		1	1	1	Gln
LUB05501801	ACEITE ATF220 (BLDX5LT)	DIRECCION	10.91	16.365	1.5		1	1	1	Gln
LUB05501138	80W90	DIFERENCIAL POSTERIOR	7.62	76.2	10			1	1	Gln
LUB05501138	80W90	DIFERENCIAL REENVIO	7.62	83.82	11			1	1	Gln
LIM14502077	TRAPO INDUSTRIAL	TRAPO INDUSTRIAL	0.91	-	-	2	4	4	6	Kg
RECURSO HUMANO	TÉCNICO	MECÁNICO	23.53	47.06	2	1	1	1	1	-
RECURSO HUMANO	TÉCNICO	LUBRICACIÓN	11.42	11.42	1	1	1	1	1	-
RECURSO HUMANO	TÉCNICO	ELECTRICISTA	11.51						1	-
RECURSO HUMANO	TÉCNICO	SOLDADURA	13.08							-
RECURSO HUMANO	TÉCNICO	LLANTERÍA	77.52							-

Elaboración propia.

Del cuadro de materiales eh insumos para mantenimientos preventivos se puede deducir los costos por tipo de mantenimiento, el costo de mantenimiento permite general el presupuesto mensual según la cantidad de mantenimientos preventivos a realizarse.

**Tabla 17:** Costo de mantenimiento según frecuencia en horas

Modelo	Tipo de Mantto	Costo Filtros	Costo Lubricantes	Costo Insumos	Costo H-H	Duración	Total
ACTROS 4144K	M	\$ 24.40	\$ 78.60	\$ 1.82	\$ 58.48	3 Hrs	\$ 280.25
ACTROS 4144K	M+Z1	\$ 158.74	\$ 144.86	\$ 3.64	\$ 58.48	6 Hrs	\$ 658.10
ACTROS 4144K	M+Z2	\$ 193.94	\$ 304.88	\$ 3.64	\$ 58.48	6 Hrs	\$ 853.32
ACTROS 4144K	M+Z3	\$ 193.94	\$ 304.88	\$ 5.46	\$ 58.48	6 Hrs	\$ 855.14

Elaboración propia

Para el volquete Mercedes Benz Actros 4144K, se tiene identificado los siguientes intervalos de mantenimiento según histórico del cual se puede observar, que la frecuencia

de mantenimiento se aleja de las horas de mantenimiento ideal; recordar que cada desviación puede ocasionar el desgaste de componentes del sistema de motor prematuramente.

**Figura 68:** Data histórico de mantenimientos preventivos.

Codigo	Equipo	Tipo de PM	Hrs. PM Ideal	Fecha Programada	Fecha Realizada	Hrs. PM Realizado
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M	18000	02/09/2018	02/09/2018	18020
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M+Z1	18400	09/11/2018	09/11/2018	18356
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M	18800	15/12/2018	15/12/2018	18750
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M+Z3	19200	30/01/2019	30/01/2019	19186
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M	19600	08/03/2019	08/03/2019	19787
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M+Z1	20000	12/03/2019	12/03/2019	20091
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M	20400	23/05/2019	23/05/2019	20350
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M+Z2	20800	21/07/2019	21/07/2019	20830
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M	21200	22/08/2021	22/08/2021	21191
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M+Z1	21600	14/12/2021	14/12/2021	21590
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M	22000	28/01/2022	28/01/2022	22012
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M+Z2	22400	17/03/2022	17/03/2022	22434
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M	22800	20/07/2022	20/07/2022	22812
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M+Z1	23200	08/09/2022	08/09/2022	23186
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M	23600	18/10/2022	-	-
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M+Z3	24000	25/12/2022	-	-
VL-213	Volquete Mercedes Benz 4144K	M	24400	17/03/2023	-	-

Elaboración propia

Para garantizar el cumplimiento de los mantenimientos preventivos se recomienda difundir la frecuencia de mantenimiento a todo el personal involucrado en la conservación del equipo, el cumplimiento de esta actividad permite gestionar adecuadamente los tiempos para no comprometer el normal desarrollo del acarreo de material programado para el camión volquete mercedes Benz Actros 4144K.

Teniendo ya definido los intervalos de mantenimiento preventivos, se realizar el programa de intercambio de componentes, para tal efecto se empleará los intervalos de confiabilidad obtenidos en el análisis RAM. Teniendo la confiabilidad de los sistemas al 95% se obtiene el siguiente cuadro para el intercambio de los componentes críticos del Camión Volquete Mercedes Benz Actros 4144K.

**Figura 69:** Programa de intercambio de componentes.

						PROGRAMA DE INTERCAMBIO DE COMPONENTES - CAMIONES VOLQUETES MB 4144K			Version: 01	
									Codigo: PIC_001	
									Pagina 1 de 1	
Ubicación	Flota	Cod. Mina	Sistema	Actividad	Componente	PROX. INTERVENCIÓN				Horómetro Actual
						PCR Fabrica	PCR	Horas del Componente	Faltantes P/Cambio	
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Motor	Revisar	Motor Diesel		14,000	24,198	- 10,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Motor	Revisar	Bomba de agua		10,000	24,198	- 14,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Motor	Revisar	Turbocompresor		10,000	1,589	8,411	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Motor	Kit reparacion	Compresora		12,000	24,198	- 12,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Motor	Cambio	Vicostatico - Ventilador		14,000	24,198	- 10,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Motor	Cambio	Porta-Inyector (Inyectores)		10,000	1,589	8,411	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Motor	Cambiar	Unidades Inyectoras (Bomba Solidaria)		12,000	24,198	- 12,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Motor	Cambiar	Bomba de direccion (Tandem)		8,000	1,905	6,095	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Motor	Cambio	Correa Trapezoidal		3,000	24,198	- 21,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Motor	Cambio	Kit valvulas - Compresor		7,000	1,534	5,466	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Motor	Cambio	Camisa cilindro - Compresor		10,000	1,589	8,411	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Motor	Revisar	Volante motor		7,000	2,138	4,862	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Motor	Revisar	Enfriador de aceite motor		7,000	24,198	- 17,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Eje Cardan	Revisar	Cruceta de 1er Cardan		7,000	24,198	- 17,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Eje Cardan	Revisar	Cruceta de 2do Cardan (bebe)		14,000	3,314	10,686	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Eje Cardan	Cambio	Cojinete intermedio		4,500	24,198	- 19,698	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Susp. Posterior	Cambio	Cojin de goma B/T posterior		7,000	24,198	- 17,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Susp. Posterior	Revisar	Amortiguador posterior (1er eje)		6,000	24,198	- 18,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Susp. Posterior	Revisar	Amortiguador posterior (2do eje)		3,000	24,198	- 21,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Susp. Posterior	Revisar	Paquete de muelle RH - Eje posterior		3,000	24,198	- 21,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Susp. Posterior	Revisar	Paquete de muelle LH - Eje posterior		4,500	24,198	- 19,698	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Susp. Delantera	Revisar	Barra de direcion corta		4,500	24,198	- 19,698	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Susp. Delantera	Revisar	Amortiguador delantero		9,600	24,198	- 14,598	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Susp. Delantera	Cambio	Cojin de goma delantero		9,600	24,198	- 14,598	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Susp. Delantera	Revisar	Paquete de muelle RH - 1er eje delantero		9,000	24,198	- 15,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Susp. Delantera	Revisar	Paquete de muelle LH - 1er eje delantero		9,000	24,198	- 15,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Susp. Delantera	Revisar	Paquete de muelle RH - 2do eje delantero		6,000	24,198	- 18,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Susp. Delantera	Revisar	Paquete de muelle LH - 2do eje delantero		14,000	1,589	12,411	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Caja de Transmision y	Cambio	Kit plato de embrague		18,000	24,198	- 6,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Caja de Transmision y	Mantenimiento	Caja de transmision		6,500	24,198	- 17,698	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Caja de Transmision y	Cambio	Servo-Embrague		8,000	24,198	- 16,198	24,198
ARASI	VOLQUETE MERCEDES BENZ	VL-213	Caja de Transmision y	Cambio	Cilindro Transmisor de embrague		9,000	24,198	- 15,198	24,198

Elaboración Propia.

Para poder programar los mantenimientos del volquete, minimizar los tiempos de parada del mismo, obtener una mayor confiabilidad y gestionar los trabajos pendientes por realizar (Backlog's) para el volquete Mercedes Benz Actros 4144K se debe de contar con una estrategia de engrase y lubricación establecida en base a una cantidad de horas promedio de trabajo de los equipos y convertido a una frecuencia en días.







Es necesario mencionar que el personal de mantenimiento debe de ser distribuido de acuerdo a sus funciones, considerar que el personal debe de estar capacitado y entrenado de acuerdo a su especialidad para que así puedan realizar sus funciones en el área de trabajo o en la actividad programada sin ningún inconveniente.

El diseño del mantenimiento proactivo para incrementar la disponibilidad del volquete Mercedes Benz Actros 4144K se basa en seguir la secuencia de los siguientes pasos:

- Difundir el plan de mantenimiento diario, semanal y mensual.
- Asignar los formatos adecuados para gestión de mantenimiento.
- Establecer programas de capacitaciones.
- Desarrollo continuo de la gestión de mantenimiento.
- Evaluación mensual de la gestión de mantenimiento en la empresa MUR WY S.A.C.

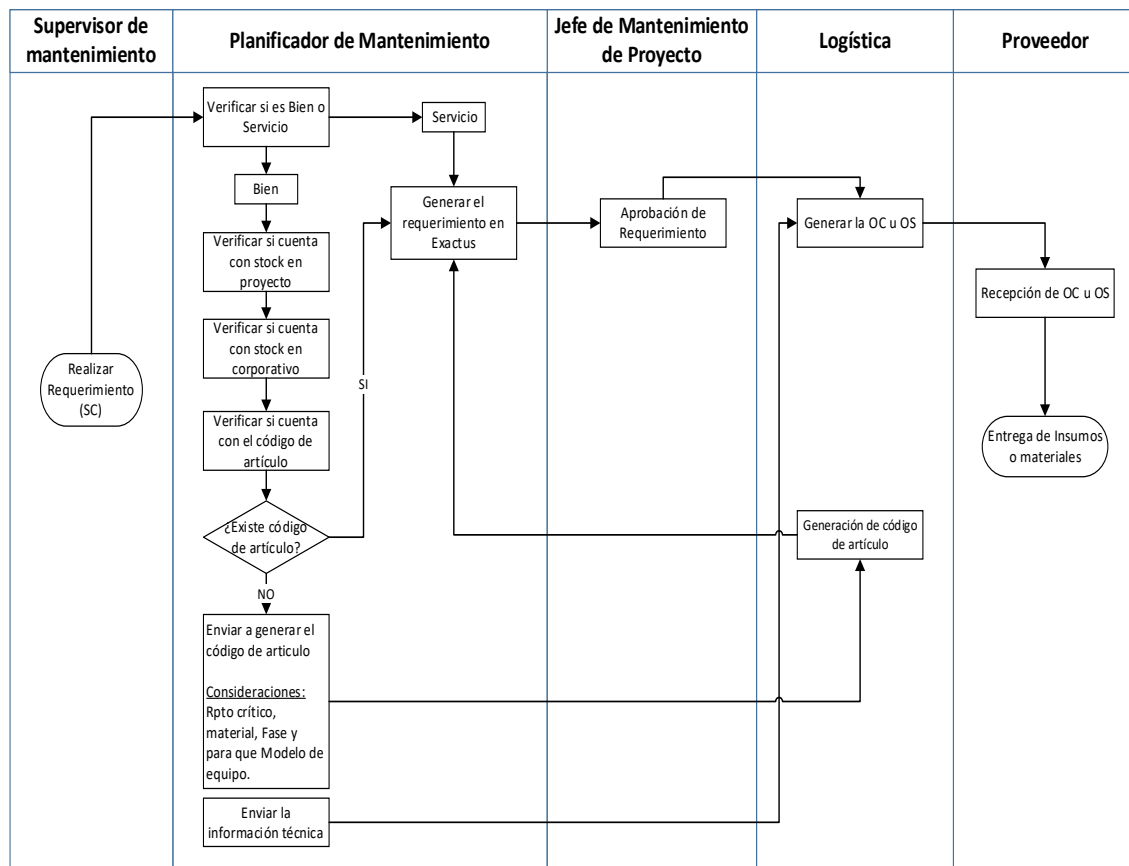
#### **4.2.4. Stock de Repuestos en Almacén**

Es importante contar con un stock de repuestos de alta rotación, así como también materiales e insumos que permitan dinamizar los mantenimientos correctivos programados, el stock adecuado de repuestos en almacén permite generar confianza en la atención de emergencias por mantenimientos correctivos no programados.

Es primordial establecer un procedimiento acorde a las necesidades actuales de la empresa, que asegure la calidad y continuidad en la adquisición de bienes y/o servicios contando con procesos claros, parámetros definidos y responsabilidades en cada etapa, proponiendo una cadena de valor en todo el ciclo logístico una vez generada la SC.



**Figura 73:** Diagrama de procesos para la adquisición de repuestos.



Elaboración propia.

Del diagrama de procesos para la adquisición de repuestos se puede definir los siguientes conceptos para dar a conocer las responsabilidades y limitaciones que se tiene al momento de generar una Solicitud de Compra (SC).

1. SOLICITUD DE COMPRA (SC) Todo requerimiento de adquisición de bienes o servicios es generado a partir de la necesidad de un área usuaria de la empresa. Esta solicitud de pedido se puede realizar a través de una Requisición de compra “R/Q” o Solicitud de Compra “S/C”, dependiendo de la naturaleza del bien o servicio a adquirir.

2. PLANNER APROBADOR: Aquella posición que tiene delegada la responsabilidad de aprobación de las SC en su etapa inicial convirtiéndose en la etapa crítica del nacimiento oficial de la SC de bienes y/o Servicios. En esta etapa el planner de

mantenimiento tiene la responsabilidad de filtrar en las diferentes bodegas si el artículo solicitado en realidad no existe para aprobar o desaprobar la SC.

3. PROCESAMIENTO SC: El proceso de compra de la SC validada y ejecutada dentro de los plazos definidos, velando por la optimización de precios, tiempos de atención y condiciones de pago, garantía y calidad de las adquisiciones.

4. RECEPCIÓN SC: Recepción exacta y conforme a los protocolos requeridos de los bienes adquiridos y velar por el adecuado almacenamiento y conservación.

5. APROBACIÓN: Mecanismo por el cual una jefatura, superintendencia o gerencia genera la aprobación para la adquisición de bienes o servicios, de acuerdo a los parámetros que se definan en cada etapa de la aprobación, constituyendo una aceptación explícita de la responsabilidad que esta contiene en todo su alcance.

Por otro lado, el seguimiento al incremento del stock de almacén y la variación del costo se debe de realizar semanalmente con la finalidad de minimizar los costos operativos. a continuación, se muestra el cuadro a considerar para el seguimiento del stock de almacenes.

**Figura 74:** Cuadro de seguimiento semanal del stock de mantenimiento.

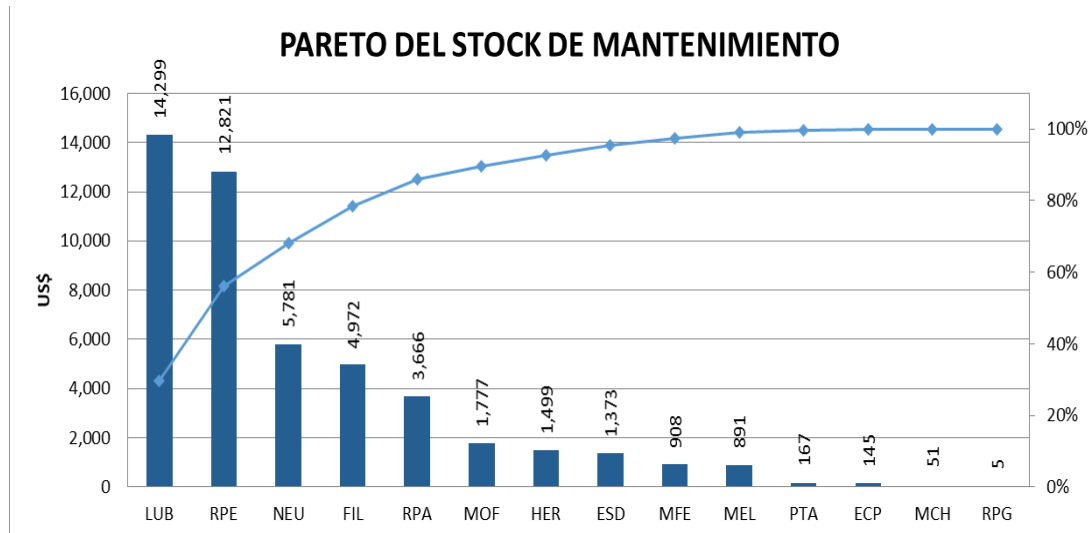
BODEGA	FAM	28-ago.-22	4-sep.-22	11-sep.-22	18-sep.-22	25-sep.-22	DIF. 2 ULT. SEM.
LUBRICANTES	LUB	14,720	14,453	14,529	14,540	14,299	\$ -241
RPTOS.EQUIPOS PESADOS	RPE	14,966	12,542	12,808	12,817	12,821	\$ 4
NEUMATICO Y ACC.	NEU	7,968	7,939	8,049	7,542	5,781	\$ -1,761
FILTROS ALTERNATIVOS	FIL	5,204	5,088	5,089	4,952	4,972	\$ 20
REPUESTOS ALTERNATIVOS	RPA	3,962	3,928	3,671	3,669	3,666	\$ -3
MATERIALES DE OFICINA	MOF	1,773	1,870	1,841	1,716	1,777	\$ 61
HERRAMIENTAS	HER	1,498	1,498	1,498	1,498	1,499	\$ 1
EQUIPOS, MATERIALES Y ACC. DE SOLDAR	ESD	1,408	1,359	1,359	1,362	1,373	\$ 11
MATERIALES FERRETERIA	MFE	976	920	917	909	908	\$ -1
MATERIALES ELECTRICOS	MEL	904	904	902	889	891	\$ 2
PERNOS,TUERCAS Y ARANDELAS	PTA	167	167	167	167	167	\$ 0
SUBMINISTROS Y ACCESORIOS DE COMPUTO	ECP	145	145	145	145	145	\$ 0
MANG. Y CONECTORES HIDRAULICOS	MCH	53	51	51	51	51	\$ 0
REPUESTOS GENERALES	RPG	5	5	5	5	5	\$ 0
<b>TOTAL</b>		<b>53,749</b>	<b>50,869</b>	<b>51,032</b>	<b>50,262</b>	<b>48,354</b>	<b>\$ -1,908</b>

Elaboración propia.

La Optimización de Inventarios, tiene como objetivo, la estimación del número óptimo de insumos y repuestos que debe de mantenerse en almacén para garantizar la

máxima rentabilidad y el mínimo impacto en la continuidad operacional en el proceso productivo.

**Figura 75:** Pareto del stock de mantenimiento.



Elaboración propia

#### 4.2.5. Administración de la gestión del mantenimiento proactivo

Para la correcta aplicación del mantenimiento proactivo se debe de contar o implementar una lista maestra de documentos y formatos que permitan la administración eficiente de la gestión de mantenimiento proactivo, los cuales se tendrán que actualizar diaria, semanal y mensualmente según prioridad. Para tal fin el personal involucrado en el área de mantenimiento tendrá la responsabilidad de gestionar los archivos con los nombres según se indica a continuación.

1. Diagrama de procesos de mantenimiento.
2. Planificación de Mantenimiento.
  - a. Plan Anual, Mensual.
    - i. Mantenimiento Preventivo.
    - ii. Correctivo Programado.
    - iii. Programa de Engrase.
    - iv. Inspecciones.



- b. Programación semanal
    - i. Mantenimiento Preventivo.
    - ii. Correctivo Programado.
    - iii. Programa de Engrase.
    - iv. Inspecciones.
  - c. Programación diaria.
  - d. Gestión de Backlog.
3. Ejecución de Mantenimiento
- a. Ejecución de Mantenimiento no programado
  - b. Ejecución de inspección
    - i. Programa de inspecciones, Pre mantenimiento
    - ii. Programa de engrase
  - c. Presentación de informe de fallas
    - i. Mantenimiento
    - ii. Operacional
    - iii. Factores externos
4. Confiabilidad
- a. Análisis de KPIS de confiabilidad
  - b. Análisis de MTBF
  - c. Análisis de MTTR
  - d. Utilización
  - e. Efectividad Global de Equipos
  - f. Top ten de fallas

La gestión de los archivos mencionados conjuntamente con los diagramas de procesos, el control de componentes, el cumplimiento de los mantenimientos preventivos



dentro de los intervalos recomendados y teniendo como visión la mejora continua de la gestión de mantenimiento, permitirá en gran medida conseguir indicadores de desempeño por encima del target exigido por el cliente o proyecto minero, cumpliendo en si con el objetivo de incrementar la disponibilidad Mecánica del Volquete Mercedes Benz Actros 4144K propiedad de la empresa MUR WY S.A.C.



## V. CONCLUSIONES

**PRIMERO:** Se realizó la evaluación de la gestión del mantenimiento de la empresa MUR WY S.A.C. para el volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K el cual permite dar a conocer la incidencia de fallas por sistemas, jerarquizando estas fallas que permitieron a través de su análisis conocer los componentes de los sistemas que más fallas presentaron en intervalos de tiempo y horas de trabajo.

**SEGUNDO:** El Análisis de los sistemas y sus componentes en función del historial de fallas permitió conocer los sistemas críticos, en este caso el sistema de frenos con 208 intervenciones obteniendo una incidencia del 24%, el sistema de motor con 132 intervenciones en su mayoría preventivas con una incidencia del 15.55% seguido del sistema de rueda motriz con 128 intervenciones mecánicas con una incidencia de 15.08% en su mayoría intervenciones preventivas rutinarias, mediante el uso del software Minitab con una distribución Weibull se generó los intervalos de confianza en horas para los sistemas estudiados, para el sistema de frenos con una confiabilidad del sistema al 95% los intervalos de inspección y mantenimiento serán en promedio a las 1708.79 horas de trabajo del equipo, para el sistema de motor considerando una confiabilidad del 95% se obtuvo los intervalos de inspección y lubricación con un promedio de 6318.57 horas de trabajo del equipo, estas intervenciones mecánicas deberán ser programadas en los mantenimientos preventivos los cuales necesitan ser estandarizados a una frecuencia de 400 horas de trabajo del volquete.

Por último, la integración entre las funciones de la Organización de Mantenimiento y la Organización de Materiales permite generar índices altos de Disponibilidad, Confiabilidad del Volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144K en el proceso productivo de cierre de mina en el proyecto minero Arasi.



## VI. RECOMENDACIONES

**PRIMERO:** Para poder implementar los nuevos intervalos obtenidos, para las intervenciones mecánicas a través del tiempo, será necesario realizar el estudio de costos y solo así se podrá tomar la decisión en cuanto a la viabilidad de las intervenciones mecánicas y de remplazo de componentes por tiempo de servicio.

**SEGUNDO:** Implementar programas de evaluación de criticidad en estudios posteriores para los sistemas y componentes, generar periódicamente indicadores de gestión del mantenimiento como la disponibilidad mecánica, disponibilidad física, utilización esto de la mano de la confiabilidad, mantenibilidad, y el cumplimiento del programa de mantenimiento, para evaluar la gestión de mantenimiento proactivo.

**TERCERO:** Continuar con la línea de investigación el cual debe de ser progresivo a través del tiempo, analizar semanal y mensualmente los tipos de intervenciones mecánicas. Recordar que un activo seguirá continuando sus funciones en el proceso productivo, hasta cumplir con su ciclo de vida, el cual puede en ocasiones ser indeterminado.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agüero, L. M., Freitas, M. M., Gómez de la Vega, M. H., & Nucette, P. G. (2010). *Confiabilidad Integral un enfoque practico TOMO III Aplicaciones especiales*. (Segunda Ed). imprenta campos. <http://www.reliarisk.com/w2/docs/Confiabilidad-Integral-TomoIII.pdf>
- Agüero, L. M., Gomez de la Vega, M. H., Gómez, M. B., & Gutierrez, U. E. (2010). *Confiabilidad integral un enfoque practico TOMO II Metodologias* (segunda ed). imprenta campos. <http://www.reliarisk.com/w2/docs/Confiabilidad-Integral-TomoII.pdf>
- Alpízar, V. E. (2005). *Operación, Mantenimiento y control de calidad* (2nd ed.). CAPRE/GTZ. <https://docplayer.es/4416770-Capitulo-5-mantenimiento.html>
- Baptista, J. (2019). *Industrial Maintenance: Techniques, Stories, and Cases* (primera ed). CRC Press LLC. <http://library.lol/main/2017AE8FE30349AC8FCC8B408BFD70AB>
- Barberá, L., Crespo, A., Viveros, P., & Kristjanpoller, F. (2012). RAM analysis of mining process: A case study of a Copper Smelting Process in the field of mining, Chile. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 45(31), 217–222. <https://doi.org/10.3182/20121122-2-ES-4026.00002>
- Beltrán, J. J. (2011). *Indicadores de Gestion* (3R (ed.); segunda ed).
- Ben-Daya, M., Duffuaa, Abdul Raou Salih O. Knezevic, J., & Ait-Kadi, D. (2009). *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. Springer.
- Calixto, E. (2016). Reliability, Availability, and Maintainability (RAM Analysis). In *Gas and Oil Reliability Engineering* (Second Edi). Gulf Professional Publishing. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-805427-7.00004-x>
- Carrasco, D. S. (2009). *Metodologia de la investigacion cientifica* (Segunda ed). Editorial San Marcos. <http://library.lol/main/FFD5735C93C7B886819B9607C534B431>
- Diaz, N. J. (2004). *Técnicas de Mantenimiento Industrial* (1st ed.). UNIVERSIDAD DE CADIZ. <https://es.scribd.com/doc/118413677/Tecnicas-de-mantenimiento-industrial-Juan-Diaz-Navarro>
- Dounce, V. E. (2007). La Productividad en el Mantenimiento Industrial. In *Tecnología de Máquinas* (Primera ed). Grupo Editorial Patria S.A. <https://www.casadellibro.com/libro-la-productividad-en-el-mantenimiento-industrial/9789682610899/623196>





- Ebeling, C. E. (2010). *An introduction to reliability and maintainability engineering* (2nd ed). Waveland. <http://library.lol/main/06B006A04C507F498670479815110E7E>
- Elsayed, E. A. (2021). *Reliability Engineering* (Tercera ed). Wiley. <http://library.lol/main/06B006A04C507F498670479815110E7E>
- Escudero, G. A. (2007). *Implantación de la Filosofía TPM en una Planta de Producción y Envasado*. Universidad Pontificia Comillas. <http://library.lol/main/06B006A04C507F498670479815110E7E>
- Galar, D., Peter, S., & Kumar, U. (2017). *Maintenance Costs and Life Cycle Cost Analysis* (Primera ed). CRC Press LLC. <http://library.lol/main/06B006A04C507F498670479815110E7E>
- Gulati R and Smith R. (2013). *Maintenance and Reliability Best Practices, Industrial Press, New York*. (Vol. 2009). <http://libgen.rs/book/index.php?md5=12A705266A09A3D5249C76E67DE7302E>
- Gullo, L. J., & Dixon, J. (2021). *Design for Maintainability* (Primera ed). Wiley. <http://libgen.rs/book/index.php?md5=05075716BD7CF37E07511713DC258505>
- Hernández, S. R. (2006). *Metodología de la investigación* (sexta edic, Issue December). Mc Graw Hill Interamericana editores S.A. <http://www.casadellibro.com/libro-metodologia-de-la-investigacion-5-ed-incluye-cd-rom/9786071502919/1960006>
- Herrera, A. R. V. (2018). Diseño de un plan de gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de equipos en la empresa SAN MARTIN CONTRATISTAS GENERALES S.A. en el proyecto TANTAHUATAY 2018. In *UPN. Universidad Privada del Norte*. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14944>
- Kumar, U., Ahmadi, A., Kumar, A., & Prabhakar, V. (2016). *Current Trends in Reliability , Availability , Maintainability and Safety*. Springer. <http://libgen.rs/book/index.php?md5=17588BD65F4F9F6A30F43BC7C459BA22>
- Labra, E. Q. (2018). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para la maquinaria pesada para movimiento de tierra, de la municipalidad provincial de CANCHIS - CUZCO*. Universidad Nacional del Altiplano. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/9408/Rosa\\_Enriquez\\_Yuca.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/9408/Rosa_Enriquez_Yuca.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Levitt, J. (2011). Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance. In *Industrial Press Inc* (Segunda ed). Industrial Press Inc.



- <http://libgen.rs/book/index.php?md5=DF2B20C2DFB09D2A99755EA6618C3DD>  
A
- Mercedes Benz. (2008). *Curso de Mantenimiento Actros*. <https://xentry.mercedes-benz.com/home/> <https://xentry.mercedes-benz.com/home/>
- Mercedes Benz. (2016). *Ficha Tecnica Actros 4144k Euro V*. <https://www.kaufmann.cl/documents/68916/5573e5a4-1bba-c523-e83f-18bb8c2efaa5>
- Mercedes Benz. (2022). *XENTRY Portal*. <https://xentry.mercedes-benz.com/home/>
- Milano, T. (2005). *Planificación y gestión del mantenimiento industrial un enfoque estratégico y operativo* (Primera ed). Editorial Panapo.
- Molina, J. (2011). *Mantenimiento y seguridad industrial*. 11. <https://studylib.es/doc/238891/mantenimiento-y-seguridad-industrial>
- Mora, A. G. (2009). Mantenimiento Planeación Ejecución y Control. In *Alfaomega* (Primera Ed, Vol. 1, Issue 69). Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México. <https://www.amazon.com>
- Moubray, J. (1997). Reliability-centred Maintenance. In *Reliability-centered maintenance. 2 nd Ed. USA: Elsevier*. (2nd ed.). Butterworth-Heinemann. <http://library.lol/main/4266F7AAA52FC7D50FB2B7429D40E003>
- Nachlas, A. J. (1995). *Fiabilidad* (Madrid (ed.); 4th ed.). [https://www.academia.edu/35345635/Joel\\_A.Nachlas\\_-\\_Fiabilidad](https://www.academia.edu/35345635/Joel_A.Nachlas_-_Fiabilidad)
- Nakajima, S. (1988). Introduction to TPM (Total Productive Maintenance). In *Productivity Press, Cambridge*. Productivity Press. [https://doi.org/http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm\\_intro.shtml](https://doi.org/http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.shtml)
- Narayan, V. (2005). Effective Maintenance Management Risk and Reliability Strategies for Optimizing Performance. In *Journal of Quality in Maintenance Engineering* (segunda ed, Vol. 11, Issue 1). industrial Pres Inc. <https://doi.org/10.1108/13552510510589406>
- Osarenren, J. (2015). *Integrated Reliability: Condition Monitoring and Maintenance of Equipment* (Primera ed). CRC Press LLC. <http://library.lol/main/DFE4B30B8266F12319C726128874A96A>
- Palmer, R. D. (2006). Maintenance Planning and Scheduling Handbook. In *Syria Studies* (Segunda ed, Vol. 7, Issue 1). Mc Graw Hill Interamericana editores S.A. <https://www.ebay.com/itm/354593697786>
- Quezada, N. L. (2010). Metodolgia De La Investigacion. In *Metodolgia De Invetigacion*.



- <http://library.lol/main/20839975EE8B78DF036B6D98FA443D6C>
- Rodríguez, A. J. (2008). *Gestión Del Mantenimiento* (Vol. 1).  
<https://es.scribd.com/doc/7497765/Gestion-del-mantenimiento>
- Singh, R., Gohil, A. M., Shah, D. B., & Desai, S. (2013). Total productive maintenance (TPM) implementation in a machine shop: A case study. *Procedia Engineering*, 51(NUI CONE 2012), 592–599. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.084>
- Sutton, I. (2015). Process risk and reliability management: Second edition. In *Process Risk and Reliability Management: Second Edition* (second edi). Gulf Professional Publishing, Elsevier Inc.  
<http://library.lol/main/108AEF12AF54162F2E72130A345AD897>
- Velasquez, W. L. (2021). *Comparación del mantenimiento productivo total y mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la efectividad en VOLQUETES FMX en la cooperativa minera SANTIAGO DE ANANEA LTDA, 2020.* Univercidad Nacional de Puno.  
<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3224867>
- Woo, S. (2020). Reliability Design of Mechanical Systems. In *Reliability Design of Mechanical Systems* (Second Edi). Springer International Publishing.  
<https://doi.org/10.1007/978-981-13-7236-0>
- Yañez M., M., Gómez de la Vega, H., Medina C., N., & Semeco S., K. (2010). *Confiabilidad integral un enfoque practico TOMO I Disciplinas* (segunda ed). imprenta campos. <http://www.reliarisk.com/w2/docs/Confiabilidad-Integral-TomoI.pdf>
- Zuñiga, P. alonso C. (2021). *Aplicación de AMFEC en la disminución del riesgo a la flota de tractores D6T de la empresa MOTA ENGIL en operaciones QUELLAVECO.* Universidad Catolica de Santa Maria.  
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/10582>



## ANEXOS

### ANEXO 1: Matriz de consistencia

Problema General	Objetivos Generales y Específicos	Hipotesis General	Variable y Tecnicas de Investigacion
¿Qué efecto tiene el análisis de las intervenciones mecánicas por mantenimientos correctivos del volquete MB Actros 4144K en la anticipación de las fallas como herramienta de un mantenimiento proactivo?	<p><b>Objetivo general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Diseñar un plan de mantenimiento proactivo para incrementar la disponibilidad mecánica, disminuir el tiempo medio entre fallas de los sistemas y componentes críticos del volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144k de la empresa MUR WY S.A.C.</li> </ul> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Evaluar la gestión del mantenimiento actual de la empresa MUR WY S.A.C. para el volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144k.</li> <li>•Analizar los tipos de parada por mantenimientos correctivos en los sistemas y componentes de acuerdo al historial de paradas, según la orden de trabajo realizado al volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144k.</li> </ul>	A través del diseño adecuado un plan de mantenimiento proactivo es posible incrementar la disponibilidad mecánica; permitiendo conocer el sistema y los componentes críticos del volquete Mercedes Benz modelo Actros 4144k de la empresa MUR WY SAC.	<p><b>Variables independientes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestion del Mantenimiento.</li> <li>- Análisis de las intervenciones mecánicas por mantenimientos correctivos.</li> </ul> <p><b>Variable dependiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Número de Paradas.</li> <li>-Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)</li> <li>-Tiempo medio de reparación (MTTR)</li> <li>-Disponibilidad Mecanica(Disp M.)</li> </ul>

Elaboración propia.



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Renzo Leon Cari Valencia, identificado con DNI: 46870595 en mi condición de egresado de:

**Escuela Profesional**,  **Programa de Segunda Especialidad**,  **Programa de Maestría o Doctorado**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA.

informo que he elaborado el/la  **Tesis** o  **Trabajo de Investigación** denominada:

“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DEL VOLQUETE MERCEDES BENZ MODELO ACTROS 4144K DE LA EMPRESA MUR WY S.A.C.”

para la obtención de  **Grado**,  **Título Profesional** o  **Segunda Especialidad**.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

**Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.** Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 25 de abril del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella





## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Renzo león Cari Valencia, identificado con DNI: 46870595 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA.

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DEL VOLQUETE MERCEDES BENZ MODELO ACTROS 4144K DE LA EMPRESA MUR WY S.A.C.”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 25 de abril del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella