

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de las
maquinarias de la Empresa Río Blanco S. A. C. para minimizar los costos
de mantenimiento correctivo**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTOR

Hubert Gonzales Gonzales

ASESOR

Alexander Querevalu Morante

<https://orcid.org/0000-0001-5672-6829>

Chiclayo, 2023

**Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la
confiabilidad de las maquinarias de la Empresa Río Blanco S. A.
C. para minimizar los costos de mantenimiento correctivo**

PRESENTADA POR

Hubert Gonzales Gonzales

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO INDUSTRIAL

APROBADA POR

Mariella Vidarte Llaja

PRESIDENTE

Ana Maria Caballero Garcia

SECRETARIO

Alexander Querevalu Morante

VOCAL

Dedicatoria

*Con todo mi amor dedico esta tesis a **Emilia Gonzales**, mi amada madre por su infinito amor.*

*A mis hermanos, hermanas, sobrinos y sobrinas por su tiempo, paciencia, amor, apoyo y
compañía.*

*En memoria, a mi amado padre, **Pedro Gonzales Garnique** y a mi abuelito **Maximino Flores
Gonzales** por cuidarme y guiarme desde cielo.*

Agradecimientos

*A **DIOS**: Por darme la vida.*

*A **MIS PADRES**: Por su amor y dedicación.*

*A **MI ASESOR**: Por su confianza y tiempo.*

*A **LOS DOCENTES**: Por compartir sus enseñanzas y vivencias.*

*A **MIS AMIGOS**: Por compartir gratos momentos.*

Gonzales Gonzales V1

INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	8%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	doku.pub Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1%
6	maquqam.com Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1%
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%

ÍNDICE

Resumen	10
Abstract	11
I. INTRODUCCIÓN	12
II. MARCO TEÓRICO	15
2.1. ANTECEDENTES.....	15
2.2. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS	17
2.2.1. Mantenimiento.....	17
2.2.2. Objetivos del mantenimiento.....	17
2.2.3. Paradigmas del mantenimiento.....	18
2.2.4. Tipos de mantenimiento.....	19
2.2.5. Indicador de confiabilidad.....	21
2.2.6. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	22
III. METODOLOGIA	24
3.1. Características de la metodología.....	24
3.2. Importancia del mantenimiento centrado en confiabilidad	24
3.3. Confiabilidad operacional.....	25
3.4. Personal involucrado	26
3.5. Metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad.....	27
3.6. Herramientas Claves	27
3.7. Contexto operacional.....	28
3.8. Funciones y sus estándares de funcionamiento.....	30
3.9. Tareas preventivas.....	32
3.10. Costos de mantenimiento	33
IV. RESULTADOS.....	34
4.1. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA	34
4.1.1. La empresa.....	34
4.1.2. Diagnóstico del mantenimiento realizado en la empresa.....	41
4.2. ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLAS DE LA MAQUINARIA ...	68
4.2.1. Número de Prioridades de Riesgo.....	68
4.2.2. Análisis de modo y efecto de fallas del Cargador de Ruedas 01	69
4.2.3. Análisis de modo y efecto de fallas del Camión Cañero 02	71
4.2.4. Resultados del AMEF de las máquinas	72
4.2.5. Hojas de información	73
4.2.6. Hojas de decisión	74
4.3. PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD	76
4.3.1. Planificación del mantenimiento.....	76

4.3.2. Plan de mantenimiento	77
V. DISCUSION.....	83
5.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA.....	88
5.2.1. Costos del plan de mantenimiento	88
5.2.2. Costo beneficio.....	92
5.2.3. Evaluación economica.....	92
VI. CONCLUSIONES	94
6.1. CONCLUSIONES	94
VII. RECOMENDACIONES	95
VIII. LISTA DE REFERENCIAS.....	96
IX. ANEXOS	98

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cambios en el mantenimiento con el tiempo	18
Tabla 2. Cambios en la formulación de los programas de mantenimiento	18
Tabla 3. Cambios en la confiabilidad de los equipos	19
Tabla 4. Flota de transporte de la empresa	37
Tabla 5. Datos del Cargador de Ruedas	37
Tabla 6. Datos del Camión Cañero Volvo FH400	38
Tabla 7. Datos de Carreta Famecus.....	38
Tabla 8. Personal auditado de la empresa	43
Tabla 9. Resultados de la auditoría del departamento de mantenimiento en la empresa	43
Tabla 10. Frecuencia de falla de las maquinarias en el año 2018	45
Tabla 11. Tiempo de reparación por máquinas en el año 2018.....	46
Tabla 12. Costo de parada por máquina en el año 2018 (soles/año)	48
Tabla 13. Horas extras durante el año 2018 por reparación de máquinas	49
Tabla 14. Costos Total de Reparación en el año 2018 (soles / año)	51
Tabla 15. Costo de mantenimiento con costo por parada de máquina en el año 2018 (soles/año)	53
Tabla 16. Resumen general de indicadores de auditoría de mantenimiento	57
Tabla 17. Confiabilidad de la maquinaria en el año 2018.....	58
Tabla 18. Tiempo Medio de Reparación en el año 2018.....	59
Tabla 19. Tiempo Medio Entre Fallas por Maquinaria en el año 2018.....	60
Tabla 20. Disponibilidad de las Maquinarias desde enero a diciembre de 2018	61
Tabla 21. Resumen general de indicadores de la evaluación de la maquinaria año 2018.....	61
Tabla 22. Resultados de criticidad de la maquinaria.....	62
Tabla 23. Criticidad de la maquinaria	63
Tabla 24. Datos de vida del cargador de ruedas 01	64
Tabla 25. Parámetros de Weibull del cargador de ruedas 01	65
Tabla 26. Datos de vida del camión cañero 02.....	66
Tabla 27. Parámetros de Weibull del camión cañero 02.....	66
Tabla 28. Etapa de vida de las máquinas bajo evaluación	67
Tabla 29. Gravedad del RPN.....	68
Tabla 30. Ocurrencia del RPN	68
Tabla 31. Detección del RPN	69

Tabla 32. AMEF del Cargador de Ruedas VOLVO L120F.....	70
Tabla 33. AMEF del Camión cañero VOLVO FH400	71
Tabla 34. Resumen de los AMEF a las máquinas en estado crítico.....	72
Tabla 35. Hoja de información de Cargador de Ruedas 01.....	73
Tabla 36. Hoja de información de Camión Cañero 02.....	73
Tabla 37. Hoja de decisión de Cargador de ruedas 01	74
Tabla 38. Hoja de decisión de Camión cañero 02.....	75
Tabla 39. Plan de mantenimiento general propuesto	79
Tabla 40. Actividades mensuales realizadas por el Ing. Mecánico Eléctrico	80
Tabla 41. Actividades diarias realizadas por el Técnico Mecánico	81
Tabla 42. Actividades semanales realizadas por el Técnico Mecánico	81
Tabla 43. Actividades mensuales realizadas por el Técnico Mecánico	81
Tabla 44. Actividades diarias realizadas por el Electricista.....	81
Tabla 45. Actividades semanales realizadas por el Electricista	82
Tabla 46. Actividades diarias realizadas por el Operario.....	82
Tabla 47. Actividades semanales realizadas por el Operario.....	82
Tabla 48. Actividades mensuales realizadas por el Operario.....	82
Tabla 49. Cronograma Anual del Plan de Mantenimiento Propuesto para el Cargador de Ruedas 01	84
Tabla 50. Cronograma Anual del Plan de Mantenimiento Propuesto para el Camión Cañero 02	85
Tabla 51. Tiempo de paro programado para Cargador de Ruedas 01.....	86
Tabla 52. Tiempo de paro programado para Camión Cañero 02.	87
Tabla 53. Nueva confiabilidad	87
Tabla 54. Nueva mantenibilidad	88
Tabla 55. Nueva disponibilidad	88
Tabla 56. Costo mano de obra para mantenimiento en Cargador 01	89
Tabla 57. Costo mano de obra para mantenimiento en Camión 02	90
Tabla 58. Costo total anual del Plan de Mantenimiento propuesto.....	91
Tabla 59. Cálculo del VAN y TIR	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Preguntas del M.C.C.	23
Figura 2. Sistema de confiabilidad operacional	25
Figura 3. Equipo de trabajo de M.C.C.	26
Figura 4. Las siete preguntas del RCM	27
Figura 5. Esquema para conducir el RCM	28
Figura 6. Diagrama de análisis EPS	29
Figura 7. Fallas funcionales	31
Figura 8. Ejemplo de modo de falla de una bomba.....	31
Figura 9. Organigrama de la empresa de Transportes Río Blanco S. A. C.....	35
Figura 10. Ingresos de los años 2014 – 2018 de la empresa	36
Figura 11. Diagrama de análisis del proceso de Transportes Río Blanco S. A. C.	39
Figura 12. Organigrama del departamento de mantenimiento de la empresa	42
Figura 13. Resultado gráfico de la auditoría en la empresa	44
Figura 14. Representación porcentual del tiempo de parada por máquina	47
Figura 15. Costos totales de mantenimiento	54
Figura 16. Procedimiento para el mantenimiento correctivo en la empresa	55
Figura 17. Curva de la bañera del cargador de ruedas 01	65
Figura 18. Curva de la bañera del camión cañero 02	67

Resumen

La investigación se basó en un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad de la maquinaria dentro de la empresa Transportes Río Blanco S. A. C. con el objetivo de reducir los costos de mantenimiento correctivo. Esta empresa se dedica al transporte de carga de caña de azúcar y tiene una flota de 16 vehículos que emplea para realizar su actividad. En el desarrollo se diagnosticó que el tipo de mantenimiento realizado por la empresa es el mantenimiento correctivo tercerizado que durante el año 2018 el costo total fue de S/. 63 220 y que generó ingresos no percibidos que ascendieron a S/. 602 880 por la inoperatividad de las máquinas y horas extras del personal valorizadas en S/. 80 109,38 para cubrir las 5 024 horas de parada de la maquinaria. Se encontraron como máquinas en escala crítica que requieren de un plan de mantenimiento el cargador de ruedas 01 y el camión cañero 02.

Se realizaron los AMEF de las máquinas en estado crítico, se elaboraron las hojas de información y las hojas de decisión en base al árbol de decisiones para posteriormente elaborar el plan de mantenimiento con el responsable y la periodicidad de cada actividad. Con este plan se redujeron los costos de mantenimiento en S/. 7 224,55 y se incrementaron los ingresos en S/. 85 851,01. El costo de la propuesta es de S/. 23 431,94. Se obtiene un VAN de S/. 215 776,29 y un TIR de 255% y una relación costo – beneficio de 4,54 por lo que se concluye que el plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad es viable y rentable.

Palabras clave: *Mantenimiento preventivo, RCM, confiabilidad, transporte de carga*

Abstract

The investigation was based on a preventive maintenance plan focused on the reliability of the machinery within the company Transportes Río Blanco S.A. C. with the objective of reducing corrective maintenance costs. This company is dedicated to the transport of sugarcane cargo and has a fleet of 16 vehicles that it uses to carry out its activity. In the development it was diagnosed that the type of maintenance performed by the company is the outsourced corrective maintenance that during 2018 the total cost was S/. 63 220 and that generated non-perceived income that amounted to S/. 602 880 for the inoperativity of the machines and overtime of the personnel valued at S/. 80 109.38 to cover the 5 024 hours of machinery stop. Critical scale machines that require a maintenance plan are the wheel loader 01 and the cane truck 02.

The AMEF of the machines in critical condition were carried out, the information sheets and the decision sheets were prepared based on the decision tree to subsequently prepare the maintenance plan with the person in charge and the periodicity of each activity. With this plan, maintenance costs were reduced by S/. 7 224,55 and revenues increased by S/. 85 851,01. The cost of the proposal is S/. 23,431.94. You get a GO of S/. 215,776.29 and a TIR of 255% and a cost-benefit ratio of 4,54 for which it is concluded that the preventive maintenance plan focused on reliability is viable and profitable.

Keywords: *Preventive maintenance, RCM, reliability, Freight transport*

I.INTRODUCCIÓN

Todos los productos que encontramos a nuestro alrededor llegaron a ese lugar como resultado de un transporte seguro, rápido y eficiente, en ocasiones, de la misma ciudad o de diferentes lugares del mundo y a menudo, de múltiples modos de transporte de los que se destaca el servicio terrestre. La carga está formada por todo tipo de productos y materiales, ya que, la mayoría de las industrias y actividades económicas de las que dependen productores y consumidores se basan en la distribución de bienes. Es por ello, que los clientes exigen el cumplimiento oportuno de los servicios contratados por lo que las empresas de transporte de carga buscan constantemente nuevas estrategias que les permitan reducir costos e incrementar la productividad de sus procesos para lograr una ventaja competitiva en el mercado en el que se desempeñan. [1]

Una de las estrategias que las empresas se han visto obligadas a emplear es la gestión del mantenimiento de sus activos, que se ha convertido en una actividad de gran importancia que se debe aplicar para evitar pérdidas por paradas no previstas debido a fallas en sus equipos que conlleven al incumplimiento de contratos e insatisfacción de sus clientes. [1]

Durante los últimos 20 años (1997 – 2017), el mantenimiento ha evolucionado más en comparación con otras disciplinas. Esta evolución se debe al incremento significativo principalmente en número y en variedad de los activos físicos (plantas industriales, equipos y edificios) que deben ser mantenidos y perdurar, mediante el desarrollo de diseños más complejos, de nuevos métodos de mantenimiento y la definición de responsabilidades de cada método planteado. [2]

A nivel mundial, la industria de carga transporta trillones de dólares en mercancías cada año a todos los rincones del globo; en el año 2015, el comercio mundial de estas mercancías se valoró en aproximadamente 16 trillones de dólares y el 8% de la distribución global de carga se dio por carretera, este modo es el segundo más empleado después del transporte marítimo. El transporte por carretera en el año 2015 registró 32 000 billones de toneladas por kilómetro y en el año 2050 se esperan 83 000 billones de toneladas, un 25% de la demanda total de la carga global. Es por ello, que se ha implementado el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) dentro de la Gestión de Mantenimiento de las organizaciones debido a que transforma la relación entre los activos fijos y las personas encargadas de su

mantenimiento y operación. A su vez, permite que nuevos activos sean introducidos a la cadena de producción o servicio con rapidez, efectividad y precisión. [3]

En América Latina, el transporte automotor de carga más importante es el modo de transporte terrestre, ya que, le corresponde la movilización de un aproximado del 70% de las cargas nacionales; en países como Colombia y Brasil, los grandes sistemas de carga de bienes han sido piezas fundamentales para la transformación del sector transporte, los cuales, han marcado en estas grandes ciudades una tendencia evolutiva; y cada uno se ha implantado en contextos distintos; generando alternativas y avances no solo en la ingeniería, sino en la gestión de las instituciones, la sociedad y la estructura urbana donde se desarrolló el sistema de carga. De la misma manera, los procesos de implementación y desarrollo del mantenimiento han brindado numerosas lecciones y aprendizajes para la nueva tendencia en los países latinoamericanos. [1]

En el Perú, el transporte de carga es de vital importancia para la movilización de materia prima, insumos, productos y mercaderías en el intercambio comercial que influyen en el crecimiento económico del país, ya que, la calidad del servicio, la capacidad de movilización y los precios tienen una significativa incidencia en la economía y el PBI del sector transporte ha sido directamente proporcional al PBI global. El transporte de carga por carretera es el más utilizado representando el 73,8% debido a su versatilidad al combinar factores como rapidez, flexibilidad de rutas, costo, disponibilidad, buena cobertura geográfica, etc. que permiten un mejor desempeño en la prestación del servicio. Por lo cual, se debe contar con una gestión de mantenimiento que permita que las empresas de transporte sean más competitivas y eviten pérdidas monetarias y de clientes por paradas imprevistas de sus maquinarias. [4]

En Lambayeque, el número de unidades de transporte de carga se ha incrementado de 815 en el año 2003 a 3 954 en el año 2012, esto demuestra el avance del sector transporte debido al incremento de la demanda y la aparición de nuevas empresas que brindan ese servicio que generan una mayor competencia. Es en esta región donde se ubica la empresa de TRANSPORTES RÍO BLANCO S. A. C. identificada con RUC 20539015576 que inició sus actividades en el año 2013 y se dedica al transporte de carga y descarga de caña de azúcar trabajando con maquinaria propia y teniendo como destino final Pucalá. Esta organización desarrolla una gestión de mantenimiento netamente correctiva a sus maquinarias, es decir, espera la existencia de la falla para actuar, generando paradas imprevistas en el servicio que brinda, lo que eleva sus costos al sub contratar el servicio de reparación para poder mantener a

su flota en el frente de trabajo. Esto retrasa el cumplimiento de los contratos con los clientes, lo que lleva a incrementar los costos por horas extras trabajadas por su personal para cumplir con el servicio pactado del recojo de caña. Es por ello que surge la siguiente problemática: ¿En cuánto minimiza los costos de mantenimiento correctivo un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de las maquinarias de la empresa?

Por tal motivo, se propone un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de las maquinarias de la empresa de Transportes Río Blanco S. A. C. para minimizar los elevados costos de mantenimiento correctivo. Esto se logra mediante el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos: (1) Diagnosticar la situación actual del mantenimiento realizado en la empresa, (2) Elaborar el Análisis del Modo y Efecto de Fallas de la maquinaria, (3) Elaborar el Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y (4) Realizar la evaluación económica de la propuesta.

Con este plan de mantenimiento, la empresa evita los costos elevados por fallas de sus maquinarias e incrementa la productividad de cada una de ellas velando por su correcto funcionamiento y cuidando sus activos fijos que son la base de sus ingresos. Asimismo, se estudia la situación actual de una empresa que se dedica a prestar el servicio de transporte de carga para encontrar mejoras que permitan su crecimiento en un mercado competitivo el cual sirve como punto de partida para todas aquellas empresas de este rubro que quieran lograr una ventaja y diferenciación de la competencia.

II.MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Rodríguez, Bonet y Pérez [5], en su artículo publicado en el año 2013, “**Propuesta de sistema de mantenimiento a los vehículos de transporte urbano y agrícola de una base de transporte de carga**”; manifiestan que el mantenimiento es una herramienta propia de la ingeniería que utiliza gran cantidad de recursos, por lo tanto, establecieron como objetivo el proponer nuevos métodos para la realización del trabajo, formatos para entender y comprender nuevas cartas de mantenimiento diario a la salida y a la llegada de cada viaje así como la implantación e interrelación de nuevos pensamientos relacionados con la gestión del mantenimiento. Como sustento se aplicaron fórmulas matemáticas para poder validar todos los resultados obtenidos en el estudio que permitieron que la toma de decisiones sea con precisión. Las mejores propuestas fueron implementadas en algunas empresas, permitiendo obtener grandes beneficios económicos, materializándose estas propuestas en aumentos considerables de la disponibilidad técnica de flota. El análisis técnico económico se realizó para identificar el ciclo de mantenimiento adecuado a implementar, el cual consistió en la evaluación de costos directos e indirectos. Finalmente, se determinaron como prioridades cuatro filtros diferentes para el caso particular de una empresa de transportes que cuenta con un total de 68 cuñas tractivas y se esperó un ahorro por cada unidad de 246 CUC y por concepto de costos de mantenimiento, se lograría un ahorro total en el parque de 16 728 CUC.

Díaz – Concepción, *et al.* [6], en su artículo publicado en el año 2016, “**Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de trasmisión eléctrica**”; establecieron como objetivo principal el diseño de una herramienta estratégica bajo la modalidad de encuesta en una empresa dedicada a la trasmisión eléctrica que permita conocer si es oportuna la implementación de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad como base para la gestión del mantenimiento dentro de la organización; para ello, los autores determinaron si era posible implementar esta herramienta en la organización. En el desarrollo del estudio, se validó dicha herramienta obteniendo un valor del 92% en el caso de la primera variable que demuestra la confiabilidad de la metodología. Y para el caso de la segunda variable el valor obtenido fue de 72% considerándose aceptable.

Vishnu y Regikumar [7], en su artículo publicado en el año 2016, “**Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study**”; tuvieron como objetivo

proponer un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad partiendo del Análisis de Jerarquía de Procesos; establecieron como metodología de trabajo el análisis del historial de mantenimientos de una unidad del proceso de Dióxido de Titanio en la empresa Travancore Titanium Products Ltd.; posteriormente, los autores hicieron uso del Análisis de Criticidad y del Análisis de modos de falla y los resultados indicaron que para poder plantear una estrategia de mantenimiento centrado en la confiabilidad se requiere un mantenimiento preventivo y no seguir con los mantenimientos programados o correctivos, esto se demostró mediante la simulación de cada equipo y del sistema en general. Además, los costos que implicaron establecer una estrategia de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad fueron menores a los costos incurridos en mantenimiento correctivo en la organización.

Piechnicki, Loures and Santos [8], en su artículo publicado en el año 2017, **“A conceptual framework of knowledge conciliation to decision making support in RCM deployment”**; tuvieron como objetivo proponer un marco teórico sobre la función de mantenimiento para la implementación de un modelo personalizado de Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) de tal manera que sirva de base para cada etapa. Mediante la investigación se dieron a conocer diferentes técnicas y herramientas que permiten la aplicación del RCM en organizaciones con diferentes realidades y se detectó que al definir las estrategias adecuadas para la implementación se aumenta la confiabilidad del sistema y se reducen los costos.

Diestra, Esquiviel y Guevara [9], en su artículo publicado en el año 2017, **“Programa de Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (RCM), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad”**; tuvieron como objetivo diseñar un plan de mantenimiento para dos puentes grúa del área de producción de una empresa. Para ello, realizaron un diagnóstico del mantenimiento actual de las máquinas recolectando el número de fallas que presentaron durante los últimos 3 años, posteriormente realizaron una matriz de criticidad de los elementos de cada máquina para jerarquizar los más críticos y realizar el AMEF (Análisis de Modos y Efectos de fallas); luego se aplicó el árbol lógico de decisión para determinar el tipo de mantenimiento. Se definieron 52 tareas de mantenimiento, de las cuales, el 10% eran correctivas, se calculó la confiabilidad de las máquinas y se elaboró el programa de mantenimiento.

2.2. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS

2.2.1. Mantenimiento

Para Moubray, el mantenimiento es el aseguramiento de los elementos físicos para que puedan seguir desempeñando sus funciones. [10]

Según García, el mantenimiento son la totalidad de actividades que se desarrollan de manera ordenada y siguiendo un orden lógico, con la finalidad de conservar los equipos, las herramientas y demás activos fijos de las diferentes áreas de una empresa, en condiciones de operatividad. [11]

2.2.2. Objetivos del mantenimiento

Según García, el mantenimiento debe cumplir dos objetivos fundamentales: la reducción de los costos de producción y la garantía de un nivel alto de disponibilidad; teniendo en cuenta lo siguiente [12]:

- ❖ Garantizar la disponibilidad de los equipos y las instalaciones para la producción de los bienes o servicios.
- ❖ Disminuir los costos de paradas de producción que son ocasionadas por la deficiencia en el mantenimiento de las máquinas.
- ❖ Aumentar la vida útil de los equipos, herramientas y activos fijos de una empresa.

Todo ello es necesario reforzar con lo mencionado por García [11]; donde pone en énfasis que el objetivo primordial, es el de crear conciencia a todas las áreas de la organización de cada uno de los beneficios que se obtienen del mantenimiento; ya sea, en el incremento de la vida útil de los activos como en la mejora de la calidad y el aumento de la seguridad de las operaciones y por último, la búsqueda de la protección del medio ambiente.

2.2.3. Paradigmas del mantenimiento

La idea general del mantenimiento en los últimos años ha cambiado (Tabla 1) debido al incremento de la mecanización, las nuevas técnicas de mantenimiento, maquinaria con mayor complejidad y un nuevo enfoque de la organización. [10]

Estos cambios están poniendo a prueba los conocimientos del personal que labora en el área de mantenimiento que busca un nuevo camino con la implementación de estrategias con diferentes acciones de mejora. [11]

Tabla 1. Cambios en el mantenimiento con el tiempo

Mantenimiento de antes	Mantenimiento de ahora
Preservación del activo fijo.	Preservación de la “función” del activo.
El mantenimiento rutinario es para prevenir fallos.	El mantenimiento rutinario es para evitar, reducir y eliminar las consecuencias de los fallos.
El objetivo principal del mantenimiento es optimizar la disponibilidad de los activos al mínimo coste.	El mantenimiento afecta todos los aspectos de un negocio (seguridad, calidad, servicio al cliente, etc.) no solo disponibilidad y costos.

Fuente: Moubray, 2014 [10]

También existen cambios en la formulación de los programas de mantenimiento (Tabla 2).

Tabla 2. Cambios en la formulación de los programas de mantenimiento

Mantenimiento de antes	Mantenimiento de ahora
Los gerentes deben formular las políticas de mantenimiento y los programas deben ser desarrollados por personal calificado.	Las políticas de mantenimiento deben ser formuladas por personal cercano a los activos y la gerencia debe proveer los recursos necesarios.
Es posible encontrar siempre una solución rápida a todos los problemas de efectividad del mantenimiento.	Los problemas de mantenimiento se resuelven mejor en dos fases: cambiar la forma de pensar en la gente y lograr que ellos apliquen los nuevos conocimientos.
Se desarrollan políticas genéricas para casi todos los activos físicos.	Políticas genéricas de mantenimiento se desarrollan para los activos físicos cuyas funciones y estándares de operación sean similares.
Tres tipos básicos de mantenimiento: predictivo, preventivo y correctivo.	Cuatro tipos básicos de mantenimiento: predictivo, preventivo, correctivo y detectivo.

Fuente: Moubray, 2014 [10]

Se observan también cambios en la confiabilidad de los equipos y los accidentes que se ocasionan por múltiples fallos son previsible (Tabla 3):

Tabla 3. Cambios en la confiabilidad de los equipos

Mantenimiento de antes	Mantenimiento de ahora
Los equipos aumentan su probabilidad de fallo con el paso del tiempo.	La probabilidad de fallo de los equipos no aumenta con los años de antigüedad.
La forma más segura y rápida de mejorar el desempeño de un equipo con baja disponibilidad es cambiando el diseño.	Mejorando la forma como es operado el equipo y su mantenimiento es menos costoso mejorar el desempeño de los equipos con baja disponibilidad.
El mantenimiento mayor (reemplazo general) es más económico y efectivo que el basado en las condiciones.	El mantenimiento basado en las condiciones es más efectivo y económico que el mantenimiento mayor a lo largo de la vida de los activos.
Los incidentes serios o catastróficos accidentes con múltiples fallos son mala suerte y no se pueden gerenciar.	Los fallos múltiples se pueden gerenciar mediante sistemas de protección.

Fuente: Moubray, 2014 [10]

2.2.4. Tipos de mantenimiento

Existen cuatro tipos básicos de mantenimiento: correctivo, preventivo, funcional y predictivo.

2.2.4.1. Mantenimiento correctivo

Para Mora, consiste en la reparación pronta de fallas y averías presentadas siendo los operarios de los equipos los responsables de dar a conocer la ocurrencia de las fallas a los encargados del mantenimiento para su pronta reparación. [13]

La principal tarea que efectúa el mantenimiento correctivo es la reparación de las fallas imprevistas que no fueron planificadas; teniendo en cuenta antes de la reparación, examinar y detectar la causa del daño. [11]

El mantenimiento correctivo es reparar los defectos que han ocurrido o que se tiene conocimiento de que han ocurrido; es el más fácil de implementar, pero tiene las siguientes desventajas básicas [14]:

- ❖ El fallo puede ocurrir a una hora inconveniente o en algún lugar inconveniente (equipo móvil) de manera que el personal y los repuestos para la reparación no se encontrarán disponibles.
- ❖ Al permitir un fallo en una máquina / equipo, los costos pueden ser muy altos.
- ❖ Hay plantas que proveen un servicio especial o realizan una actividad continua que no pueden parar su proceso porque ocasionarían daños y pérdidas.

2.2.4.2. Mantenimiento preventivo

Es una agrupación de actividades que han sido programadas para las máquinas que se encuentran funcionando y que permiten en forma económica, continuar su operación con eficiencia y seguridad buscando prevenir las fallas y paros imprevistos [11].

Surge de la necesidad de disminuir los costos del mantenimiento correctivo y lo que representa, teniendo como meta reducir cada una de las fallas a niveles mínimos y convertir la solución de cada falla en aprendizaje para mejorar continuamente, asegurando en principio la mantenibilidad, la confiabilidad y la disponibilidad del sistema productivo con la aplicación eficaz del plan. [13]

En síntesis, el mantenimiento preventivo es realizar rondas de supervisión / sustitución en periodos de tiempo fijos; es un avance comparado con el mantenimiento correctivo, pero no el método óptimo para tener la máxima confiabilidad y seguridad, ya que, los fallos no se presentan en intervalos regulares provocando tres desventajas básicas [14]:

- ❖ Algunos fallos ocurrirán entre los intervalos de reparación y esto puede resultar inconveniente e inesperado.
- ❖ Al ser una reparación general, puede provocar pérdida de producción al tomar un tiempo considerable para revisar todos los elementos.
- ❖ Durante la revisión, muchos componentes que se encuentran en buenas condiciones se desmontarán o se cambiarán sin necesidad y puede realizarse algún error en el reensamble y la condición final del equipo puede llegar a ser peor que antes de que se realizara la intervención.

2.2.4.3. Mantenimiento funcional

Según Moubray, radica en buscar fallos no evidentes que afectan mayormente a los sistemas de protección y realizar una verificación periódica de que estos funcionen. [14]

2.2.4.4. Mantenimiento predictivo

Este tipo ayuda a detectar una falla antes de que vengan graves consecuencias mediante un análisis de los criterios establecidos de funcionamiento. Asocia la evolución de estos criterios (parámetros) con la evolución de las fallas para deducir el tiempo donde la falla tomará relevancia y planificar las intervenciones para evitar que sea grave sin interferir con el funcionamiento normal de la planta. [13]

Dentro de las ventajas del mantenimiento predictivo tenemos: Reduce el tiempo de parada, optimiza la gestión del personal del área de mantenimiento, realiza un seguimiento de la evolución de un defecto en el tiempo, da a conocer el tiempo límite de actuación que evite fallas imprevistas y facilita el análisis de las averías. [10]

Para el monitoreo de la condición de una máquina dentro del mantenimiento predictivo se emplea: la visión para detectar fugas, humos y cambios de color por recalentamiento, el olfato para las fugas y recalentamientos, la audición para ruidos anormales y el tacto para detectar anormales temperaturas o vibraciones. [10]

2.2.5. Indicador de confiabilidad

Para Gaither y Frazier, es la probabilidad de que una máquina no se descomponga, que funcione mal o que requiera reparación en un periodo dado de tiempo. La reducción de las incidencias de fallas y los costos incurridos en la producción por las fallas se dan siempre y cuando se pueda incrementar la confiabilidad de una máquina. Este indicador se mide mediante la siguiente fórmula [15]:

$$R = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} \times 100$$

Donde:

R: Confiabilidad

MTBF: Tiempo medio entre fallas

MTTR: Tiempo medio para reparación

A) Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Está dado por el tiempo promedio que un activo cumple su función sin interrupción, producto de una falla. Se representa en la siguiente fórmula:

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total de operación en el periodo}}{\textit{Número total de fallas}}$$

B) Tiempo medio para reparación (MTTR)

Está dado por el tiempo para reparar un activo fijo después de una falla funcional. Se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total para restaurar la operación después de cada falla}}{\textit{Número de fallas}}$$

2.2.6. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, también conocido por sus siglas M.C.C. en español y R.C.M. en inglés, surgió en la industria de la aviación comercial de Norteamérica con la cooperación de entidades gubernamentales (NASA) y del sector privado como la industria de aviones. [16]

El M.C.C. ha sido empleado desde el año 1974 en Estados Unidos por el Departamento de Defensa en su sistema militar como su filosofía de mantenimiento, ya que, promueve el uso de tecnologías nuevas en el área del mantenimiento. [10]

Los beneficios del R.C.M. en la industria de aviones han provocado que otros sectores como las centrales termoeléctricas, plantas nucleares, petroleras, gas, químicas e incluso industrias manufactureras adapten la filosofía a sus necesidades operacionales. [16]

Según Amendola, el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es un método empleado para determinar de forma sistemática qué acciones se deben tomar para garantizar que los activos fijos continúen desarrollando sus funciones para los que fueron adquiridos en el contexto operacional presente. [17]

Parra y Crespo (2012), definen el M.C.C. como el proceso de gestión del mantenimiento, mediante el cual un equipo de trabajo conformado por diversidad de especialistas se encarga de perfeccionar la fiabilidad de operación de un sistema, delimitando actividades eficientes de mantenimiento con base en la criticidad de los activos que son del mencionado sistema. [16]

Para Moubray, es un método que ayuda a comprobar las óptimas políticas de mantenimiento para cumplir con los parámetros requeridos por los procesos productivos basado en lo siguiente [14]:

- ❖ Estudio que es enfocado en funciones.
- ❖ Estudios realizados por equipos de trabajo (mantenimiento, operaciones, especialistas, etc.) que son guiados por un experto en el método conocido como facilitador.

Para ubicar la base conceptual de la metodología es importante responder las preguntas que se observan en la Figura 1.

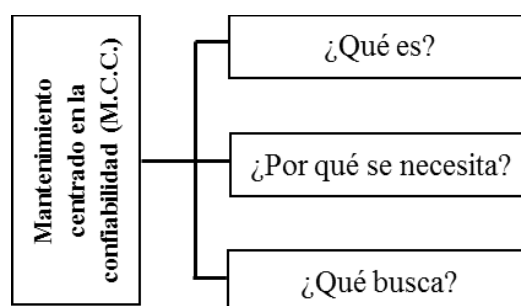


Figura 1. Preguntas del M.C.C.

Fuente: Moubray, 2014 [10]

En síntesis, el R.C.M. es una filosofía de gestión del mantenimiento donde un equipo de especialistas de diferentes disciplinas (multidisciplinario) se encarga de perfeccionar la confiabilidad de las operaciones de un sistema que funciona bajo restricciones establecidas con actividades de mantenimiento más efectivas en base a la criticidad de los activos del sistema. [10]

III. METODOLOGIA

3.1. Características de la metodología

La correcta aplicación del M.C.C. permite que las organizaciones identifiquen tácticas útiles de mantenimiento que permitan el cumplimiento de los parámetros solicitado por sus procesos productivos, además permiten incrementar la rentabilidad de la organización. [10]

A continuación, se resume las singularidades generales del M.C.C. o R.C.M. según Parra y Crespo [16]:

- ❖ El R.C.M. se basa en un procedimiento sistemático general que permite un cambio cultural.
- ❖ El R.C.M. permite la implementación de planes óptimos de mantenimiento de mediano a largo plazo.

3.2. Importancia del mantenimiento centrado en confiabilidad

El M.C.C. es imprescindible porque [10]:

- ❖ Da respuesta a las flaquezas que surgen de las perspectivas tradicionales sobre mantenimiento.
- ❖ Asocia el riesgo de la empresa con las fallas en los activos.
- ❖ Facilita de modo sistemático la delimitación del enfoque óptimo que debería darse a los recursos del mantenimiento.

La adaptación de esta metodología busca demarcar estrategias que [16]:

- ❖ Mejoren la productividad de las operaciones de los activos.
- ❖ Mejoren el enlace costo / efectividad de las actividades de mantenimiento.
- ❖ Mejoren la seguridad.
- ❖ Minimicen la ocurrencia de fallas.

3.3. Confiabilidad operacional

Según Parra y Crespo [16], es la capacidad de un proceso, una tecnología o del personal para cumplir la función esperada de ella respetando las limitaciones del diseño y el contexto operacional definido. Para optimizar un programa de confiabilidad operacional se requiere un análisis de los siguientes criterios operacionales: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenibilidad y confiabilidad de los equipos como se observa en la Figura 2. La variación de uno o todos estos parámetros altera el comportamiento general de la confiabilidad operacional.

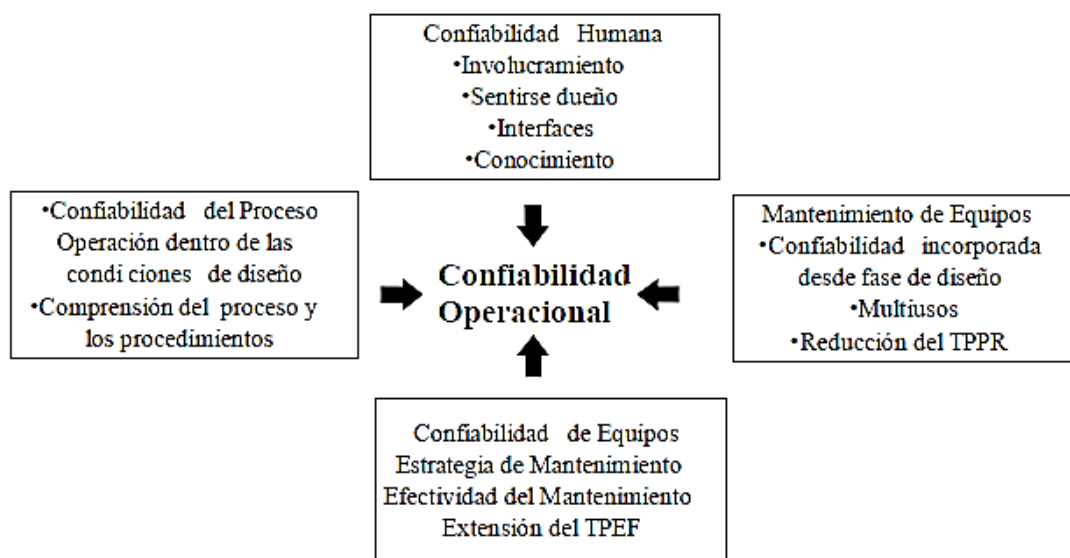


Figura 2. Sistema de confiabilidad operacional

Fuente: Parra y Crespo, 2012 [16]

3.4. Personal involucrado

A) Equipos naturales de trabajo

El personal encargado del mantenimiento no puede responder todas las preguntas generadas en relación al funcionamiento de los equipos por lo que debe estar involucrado personal operativo; por tal motivo, es importante que los equipos de trabajo para revisar los requisitos de mantenimiento estén conformados por al menos una persona de mantenimiento y una persona de producción; la antigüedad del personal es menos importante que el conocimiento de los equipos a evaluar. El grupo de revisión del R.C.M. debe estar integrado por el personal mostrado en la Figura 3. [16]

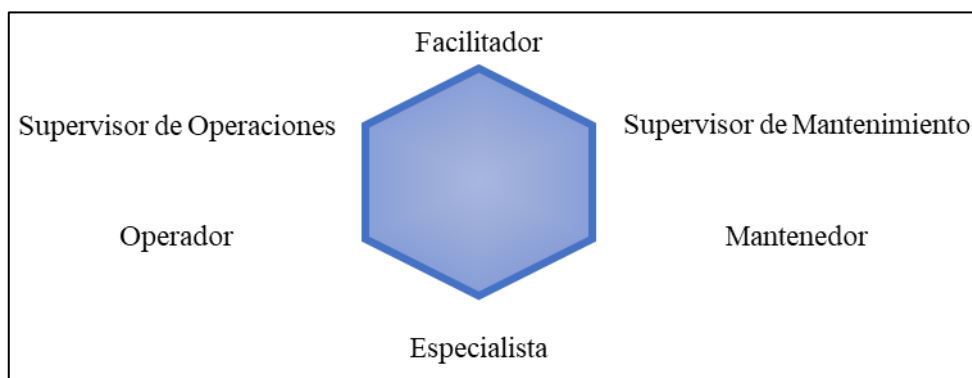


Figura 3. Equipo de trabajo de M.C.C.

Fuente: Parra y Crespo, 2012 [16]

B) El facilitador

El facilitador es el especialista bien entrenado en el M.C.C. que se encarga de que la metodología se aplique correctamente, que no se ignoren equipos o componentes críticos, que las reuniones se desarrollen razonablemente y que los documentos del M.C.C. se rellenen correctamente. [16]

C) Los auditores

Personal capacitado que tiene la responsabilidad total de comprobar que la metodología M.C.C. ha sido hecha correctamente. [16]

En conclusión, un equipo natural de trabajo es un grupo de personas con funciones diferentes que laboran juntas dentro de una organización por un determinado periodo de tiempo para realizar un análisis de los problemas de cada departamento con el objetivo de lograr un objetivo en común. [10]

3.5. Metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad

El R.C.M. sigue una metodología que permite distinguir aquellas necesidades de mantenimiento de los activos fijos en un contexto operacional, partiendo de siete preguntas [17], registradas en la Figura 4. [10]

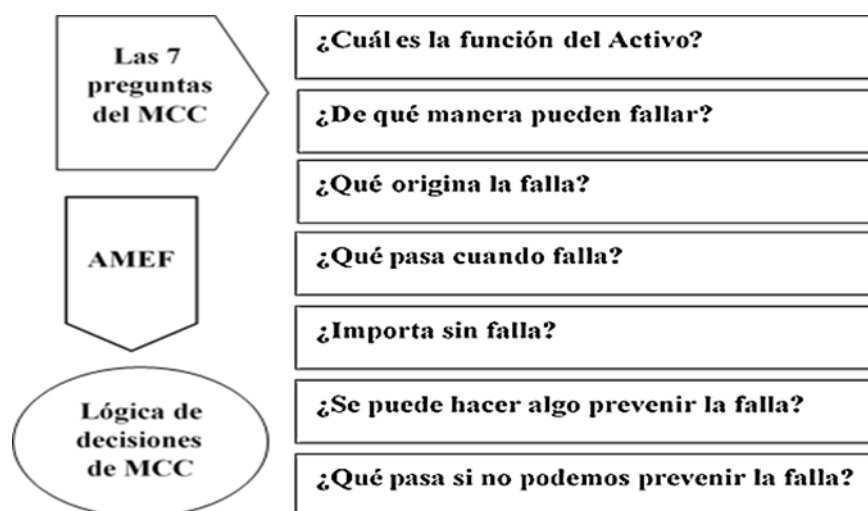


Figura 4. Las siete preguntas del RCM

Fuente: Amendola, 2006 [17]

El éxito de la implantación del M.C.C. o R.C.M. en cualquier industria dependerá del trabajo del equipo involucrado en el desarrollo del método al responder las siete preguntas. [17]

3.6. Herramientas Claves

Como se pudo apreciar en la Figura 4, las herramientas claves que utiliza el R.C.M. son el Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF o FMEA) y el árbol lógico de decisiones. [10]

A) Análisis del modo y efecto de fallas (FMEA)

Para García [11], el AMEF es un método que determina los modos de falla de los equipos, sus componentes o un sistema, la frecuencia con que se presentan y el impacto que generan para su clasificación por orden de importancia de las fallas encontradas, logrando determinar las actividades de mantenimiento para las áreas del sistema productivo que tengan un mayor beneficio económico con la finalidad de reducirlas o eliminarlas por completo. Esta técnica permite dar respuesta a las preguntas 1, 2, 3, 4 y 5 de la Figura 4.

B) Árbol Lógico de Decisión

Según la filosofía del R.C.M., es la herramienta que permite una selección óptima de las actividades de mantenimiento [17]; a partir de estas herramientas se da respuesta a las preguntas 6 y 7 de la Figura 4.

En forma general, Amendola [17] propone el siguiente esquema para conducir el R.C.M. detallando los pasos a seguir:

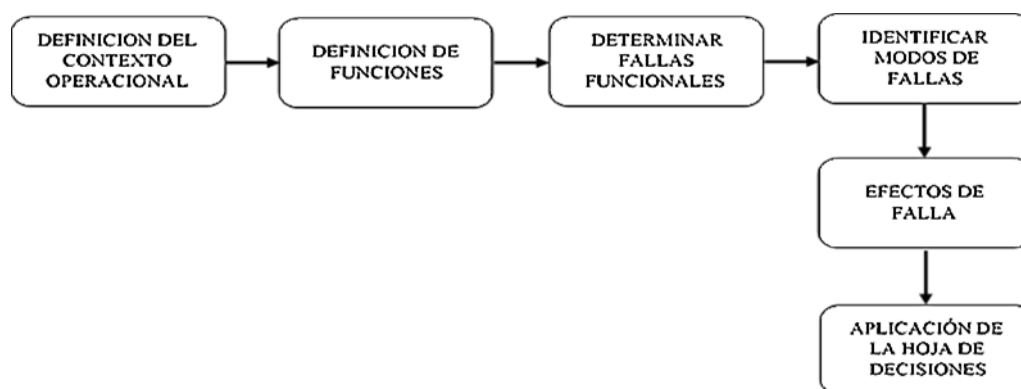


Figura 5. Esquema para conducir el RCM

Fuente: Amendola,2006 [17]

3.7. Contexto operacional

Se entiende por contexto organizacional el lugar, el entorno, las circunstancias de trabajo [18], también se puede definir como el entorno donde funciona el equipo [16].

Es relevante considerar la definición de unidades de proceso y sistema [10]:

A) Unidad de proceso

Conjunto lógico de sistemas que funcionan interrelacionados para brindar un servicio.

B) Sistema

Agrupación de elementos que se interrelacionan dentro de una unidad de proceso y que tiene una función propia.

La herramienta grafica para visualizar el contexto operacional es el diagrama EPS (entrada, proceso y salida) [10], el cual se muestra en la Figura 6.

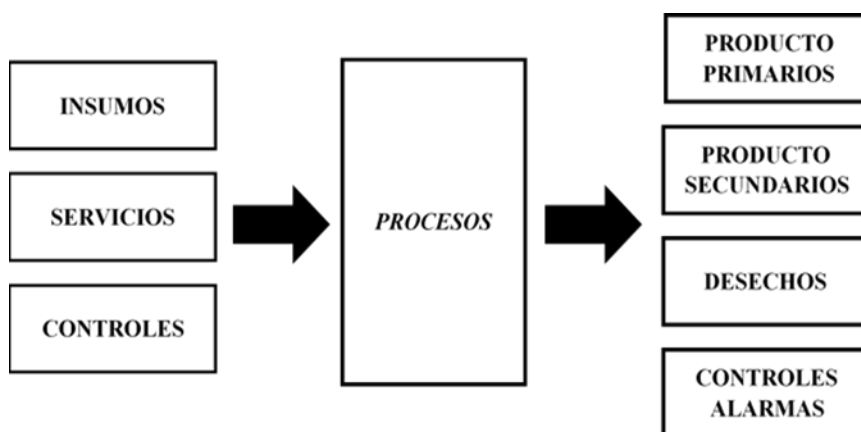


Figura 6. Diagrama de análisis EPS

Fuente: Amendola, 2006 [17]

Los detalles del diagrama EPS son [10]:

- ❖ **Insumos:** materia prima que debe ser transformada.
- ❖ **Servicios:** energía, agua, etc.
- ❖ **Controles:** entradas que permiten el arranque / parada del sistema.
- ❖ **Proceso:** descripción de las acciones a realizar por el sistema.
- ❖ **Producto primario:** principal producto del sistema.
- ❖ **Producto secundario:** derivados que se pueden aprovechar del proceso principal.
- ❖ **Desechos:** Productos que se descartan.
- ❖ **Servicios:** Servicios generados a otras partes del sistema o subsistemas.
- ❖ **Alarmas / controles:** señales de advertencia o control para otro sistema.

Para definir el sistema al cual se aplicará el M.C.C. o R.C.M. se propone los siguientes contextos [10]:

- ❖ Sistemas con alto contenido de tareas de mantenimiento planificado preventivo con sus costes.
- ❖ Sistemas con alto contenido de tareas de mantenimiento no planificado correctivo con sus costes.
- ❖ Combinación de los dos sistemas anteriores.
- ❖ Sistemas con alta contribución a paradas durante los dos últimos años en planta.
- ❖ Sistemas con altos riesgos respecto a seguridad y ambiente.
- ❖ Equipos genéricos con alto costo de mantenimiento.
- ❖ Sistemas donde no existe confianza en el mantenimiento existente.

3.8. Funciones y sus estándares de funcionamiento

Cada componente de los equipos en una planta se ha adquirido para cumplir una función o funciones determinadas y la pérdida total o parcial puede afectar a la organización [16].

El peso total sobre la organización dependerá de [16]:

- ❖ La función o funciones de los equipos en su contexto operacional.
- ❖ El comportamiento de los equipos para cumplir con sus funciones en ese contexto.

Como resultado, el proceso de M.C.C. inicia definiendo las funciones y los patrones de comportamiento funcional de los elementos de cada equipo en su contexto operacional y posteriormente se cuantifican los estándares [10].

A) Fallos funcionales

Es la incompetencia que tiene el componente de un equipo o sistema para cumplir con su funcionamiento deseado [10]. (Figura 7)

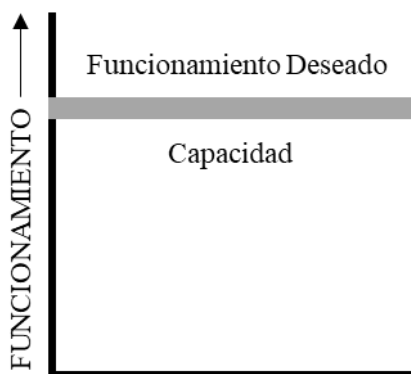


Figura 7. Fallas funcionales

Fuente: Moubray, 2014 [10]

B) Modos de fallo

Para Moubray [10], un modo de falla es cualquier suceso que causa una falla funcional. Se deben identificar aquellos que pueden causar pérdida de una función considerando la causa origen de cada fallo para evitar perder el tiempo tratando de resolver los síntomas. (Figura 8)

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			
		Sistema de bombeo de agua de refrigeración			
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la falla)	
1	Transferir agua desde el tanque X al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto	A	Incapaz de transferir agua	1 2 3 4 5 6 7	Cojinetes agarrotados Impulsador loco, suelto Impulsador trabado por un cuerpo extraño El cubo de acople falla por fatiga Motor quemado
		B	Transfiere menos de 800 litros por minuto	1 2 3	Válvula de ingreso trabada en posiciónetc. Impulsador gastado Línea de succión parcialmente bloqueada.etc.

Figura 8. Ejemplo de modo de falla de una bomba

Fuente: Moubray, 2014 [10]

C) Efectos de los fallos

Los efectos de falla son la explicación detallada de lo que pasa cuando ocurre un modo de falla para observar la relevancia de la falla y qué nivel de mantenimiento preventivo es el apropiado, por esta razón, al momento de identificar cada modo de falla es importante registrar los efectos de falla. Se deben tener en cuenta que efecto de falla y consecuencia de falla no tienen la misma

definición; para esto, un efecto de falla y la consecuencia de falla responden a la pregunta ¿qué ocurre? y ¿qué importancia tiene? respetivamente. [19]

D) Consecuencias de los fallos

Las consecuencias de cada fallo nos dicen si es necesario tratar de prevenirlas, después de haberse planteado la siguiente pregunta: ¿Cómo y cuánto importa cada fallo? [12]

Las consecuencias de los fallos pueden dividirse en cuatro grupos [12]:

- ❖ **Consecuencias de los fallos no evidentes:** Son aquellos que no generan efecto directo, pero pueden exponer a la empresa a fallas con consecuencias serias.
- ❖ **Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente:** Consecuencias de seguridad si propician lesiones o la muerte del personal y consecuencias de medio ambiente si infringen normativas respecto al cuidado del ambiente.
- ❖ **Consecuencias operacionales:** Si afecta a la línea de producción.
- ❖ **Consecuencias no operacionales:** No afectan a la seguridad ni a la operación; existen costos de reparación.

3.9. Tareas preventivas

El R.C.M. reconoce las siguientes tres categorías más importantes dentro de las tareas preventivas [17]:

- ❖ Tareas “a condición”
- ❖ Tareas de reacondicionamiento
- ❖ Tareas de sustitución cíclica

La ventaja del M.C.C. es la forma en la que provee criterios simples y de fácil comprensión sobre qué tarea preventiva es posible en cualquier contexto, asimismo, la frecuencia en que se hace y quién debe hacerla. Por otro lado, también prioriza las tareas de forma descendiente y al ser factible se pregunta si merece ser atendida [19].

3.10. Costos de mantenimiento

Mora [13], menciona que existen los siguientes costos relacionados al mantenimiento.

A) Costos Fijos: son todos aquellos relacionados con las acciones planeadas de mantenimiento, y toman en cuenta los valores que se generan al usar todos los instrumentos que se requieren para llevarlas a cabo.

B) Costos Variables: Son aquellos que aparecen con las fallas o reparaciones no planeadas. Y su valor depende de todas aquellas herramientas que se utilizan para el desarrollo de las reparaciones o las modificaciones de los activos fijos.

C) Costos Financieros: Los costos financieros están dados por la inversión en repuestos, materias primas, y la duplicidad de los equipos para aumentar la confiabilidad y otros indicadores asociados.

D) Costos de la no disponibilidad por fallas: Reparaciones o modificaciones necesarias por causa de las fallas fortuitas se deja de percibir un monto de dinero por la no utilización de una maquinaria. Siendo este el costo más importante en los costos de mantenimiento.

La estimación del costo de no disponibilidad se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Costo de la no disponibilidad} = \text{Costo de la producción en tiempo} \times (1 - \text{disponibilidad en tiempo})$$

IV.RESULTADOS

4.1. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA

Para el desarrollo de este objetivo se describió en primer lugar, el panorama general de la organización que tiene la empresa (el servicio que brinda, los recursos que emplea y el proceso que realiza) para posteriormente hacer el diagnóstico del mantenimiento en la empresa evaluando las funciones de este departamento (auditoría del departamento de mantenimiento, análisis de criticidad de los equipos y análisis gráfico del comportamiento de los equipos mediante el método gráfico de Weibull).

4.1.1. La empresa

La empresa Transportes Río Blanco S. A. C. identificada con RUC 20539015576 y con dirección legal en Calle Chongoyape # 411 en urbanización Latina, distrito de José Leonardo Ortiz, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, inició su funcionamiento el 01 de febrero de 2013 con CIU 60230 dedicada a la actividad comercial de transporte de carga por carretera.

Esta organización dirigida por el señor Wilson Vega Castro cuenta con una flota propia de 4 cargadores, 8 camiones “cañeros” y 4 carretas y su actividad es el transporte de caña de azúcar de distintos puntos de nuestra región, principalmente de Pomalca y Tumán hacia los ingenios azucareros de Pucalá.

El organigrama estructural se presenta en la Figura 9 donde se observa al Gerente General como representante legal y dueño de la institución, asimismo, en el siguiente nivel tiene una secretaria encargada de los contratos de la maquinaria para la carga y transporte de la caña de azúcar y asesoría legal y contable tercerizada; el tercer nivel de la empresa tiene un jefe de operaciones que se encarga de enviar el personal y la maquinaria necesaria para cumplir con los contratos y un supervisor de mantenimiento encargado de velar por las máquinas de la institución; finalmente, en el cuarto nivel está el asistente de operaciones cuya función es controlar la entrada y salida de los recursos de la empresa (maquinaria y personal); y el auxiliar de

mantenimiento, el cual se contrató para analizar las causas de las fallas de las máquinas y determinar el requerimiento de mantenimiento correctivo.

Asimismo, la empresa cuenta con 12 choferes aptos para la conducción y manejo de maquinaria pesada que se encargan de la carga de la caña de azúcar mediante los cargadores a los camiones y de su respectivo transporte al distrito de Pucalá.

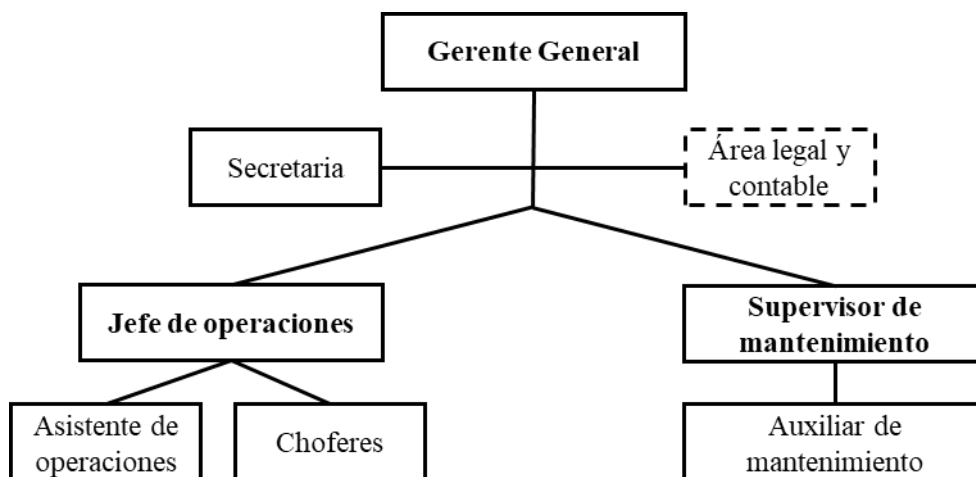


Figura 9. Organigrama de la empresa de Transportes Río Blanco S. A. C.

Fuente: La empresa

La institución tiene como principal objetivo el cumplir con los contratos en las fechas acordadas y por ser nueva en el mercado, no le da gran importancia al mantenimiento de sus maquinarias por lo que no tiene definido un plan de mantenimiento preventivo que evite que las maquinarias dejen de trabajar por fallas que pudieron haberse evitado o prevenido; de tal manera que, cuando surge una parada por fallas de la maquinaria destinada a cumplir un contrato, se incurre a horas extra del personal para no dejar insatisfecho al cliente.

Por otro lado, la organización terceriza el mantenimiento de sus maquinarias por no contar con los repuestos necesario para hacerlo; subcontrata el servicio de reparación de sus máquinas de tal manera que estas tengan un buen funcionamiento y rendimiento en su trabajo.

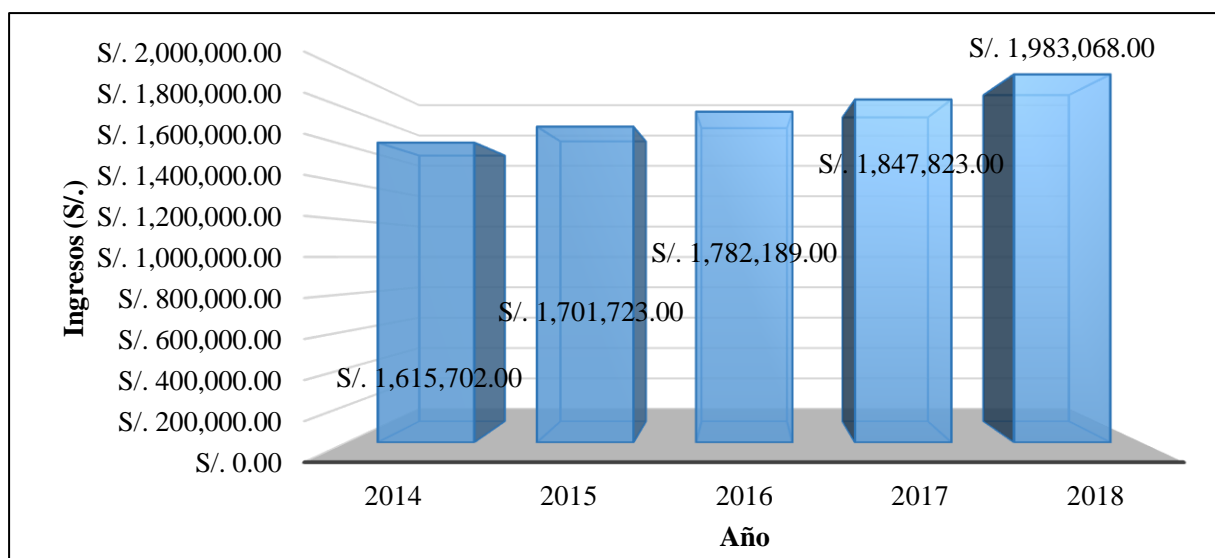


Figura 10. Ingresos de los años 2014 – 2018 de la empresa

Fuente: La empresa

En la Figura 10 se muestran los ingresos de los años 2014 al 2018 que tuvo la empresa teniendo un incremento de aproximadamente el 5% por año llegando a S/ 1 983 068,00 en el 2018.

4.1.1.1. Producto

En el Perú, la producción de azúcar se ve reflejada en dos departamentos: La Libertad con el 44% y Lambayeque con el 33%, siendo las principales zonas en la última región mencionada los distritos de Tuman, Pomalca y Pucalá [20]. Por esta razón, la empresa Transportes Río Blanco S. A. C. ofrece el servicio de carga y transporte de caña de azúcar en la región Lambayeque desde distintos puntos hacia el distrito de Pucalá donde se encuentran los ingenios azucareros como Agropucalá S. A. A. e Industrial Pucalá S. A. C., los cuales son los destinatarios finales del producto mencionado.

4.1.1.2. Recursos del Proceso

Los recursos para brindar el servicio de carga y transporte de caña de azúcar que emplea la empresa son su flota de maquinaria pesada conformada por 4 cargadores, 8 camiones y 4 carretas y su personal de choferes que son un total de 12 personas aptas para el manejo de dicha maquinaria.

Tabla 4. Flota de transporte de la empresa

Maquinaria	Abreviatura	Marca	Modelo	Cantidad	Año de compra
Cargador 01	C01	Volvo	L120E	1	2014
Cargador 02	C02	Volvo	L120F	1	2016
Cargador 03	C03	Volvo	L120F	1	2016
Cargador 04	C04	Volvo	L120F	1	2016
Camión "Cañero" 01	CC01	Volvo	FH400	1	2012
Camión "Cañero" 02	CC02	Volvo	FH400	1	2012
Camión "Cañero" 03	CC03	Volvo	FH400	1	2014
Camión "Cañero" 04	CC04	Volvo	FH400	1	2014
Camión "Cañero" 05	CC05	Volvo	FH400	1	2016
Camión "Cañero" 06	CC06	Volvo	FH400	1	2016
Camión "Cañero" 07	CC07	Volvo	FH400	1	2017
Camión "Cañero" 08	CC08	Volvo	FH400	1	2017
Carreta 01	CR01	Famecus	-	1	2015
Carreta 02	CR02	Famecus	-	1	2016
Carreta 03	CR03	Famecus	-	1	2012
Carreta 04	CR04	Famecus	-	1	2012

Fuente: La empresa

En la Tabla 4 se encuentra plasmada la flota de transporte de la empresa con su respectiva denominación abreviada, marca, modelo, cantidad y año de adquisición.

La descripción de la función de los cargadores se visualiza en la Tabla 5 donde los cuatro son del mismo modelo y marca variando el año de adquisición: el C01 en el año 2014 y el C02, C03 y C04 en el año 2016.

Tabla 5. Datos del Cargador de Ruedas

Ítem	Datos
Nombre del equipo	Cargador de ruedas Volvo L120E
Función	Se emplea para la carga y descarga de la caña de azúcar a los camiones y carretas.
Ficha técnica	<i>Anexo 1</i>

Fuente: La empresa

La descripción de la función de los camiones cañeros se observa en la Tabla 6 donde los ocho son del mismo modelo y marca variando el año de compra: el CC01 y el CC02 en el año 2012, el CC03 y el CC04 en el año 2014, el CC05 y el CC06 en el año 2016 y los dos últimos (CC07 y CC08) en el año 2017.

Tabla 6. Datos del Camión Cañero Volvo FH400

Ítem	Datos
Nombre del equipo	Camión Cañero Volvo FH400
Función	Transporte de la caña de azúcar
Ficha técnica	<i>Anexo 2</i>

Fuente: La empresa

La descripción de la función de las carretas se visualiza en la Tabla 7 donde las cuatro son del mismo modelo y marca variando el año de adquisición: la CR01 en el año 2015, la CR02 en el año 2016 y las dos últimas (CR03 y CR04) en el año 2012.

Tabla 7. Datos de Carreta Famecus

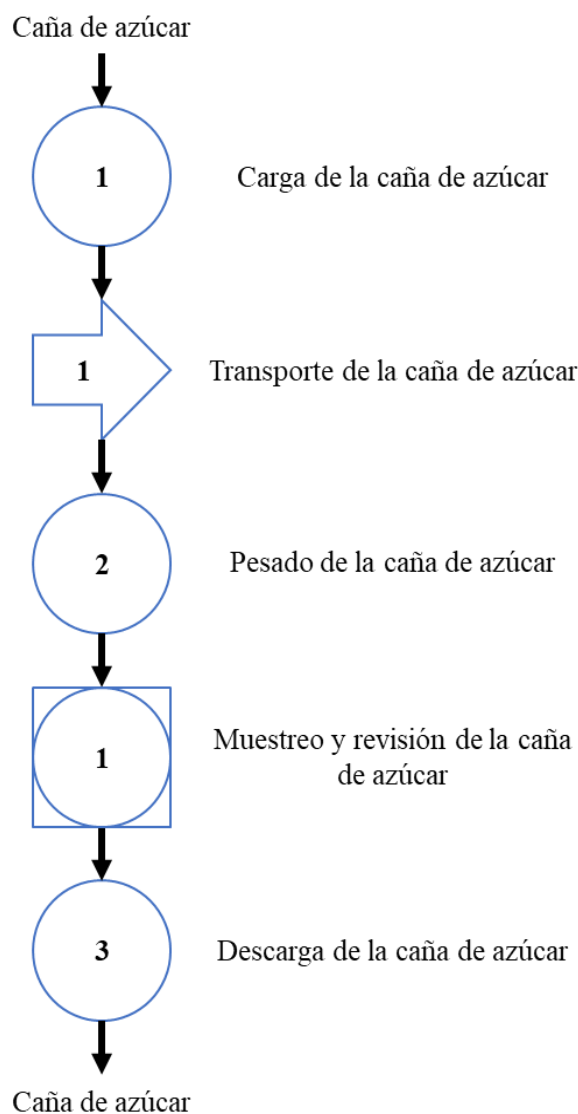
Ítem	Datos
Nombre del equipo	Carreta Famecus
Función	Transporte de la caña de azúcar
Ficha técnica	<i>Anexo 3</i>

Fuente: La empresa

4.1.1.3. Descripción del Proceso

La empresa bajo estudio se dedica al transporte de carga de caña de azúcar por lo que sus tres etapas básicas son la de carga, transporte y descarga del producto agregando las etapas de muestreo y pesado que se realizan en el ingenio azucarero a donde va destinada la carga como se presenta en la Figura 11. Asimismo, el producto no sufre ninguna transformación durante el proceso realizado por Transportes Río Blanco S. A. C. debido a que solo es un servicio de traslado de la caña de azúcar.

El transporte de la caña de azúcar desde el campo hasta el ingenio azucarero de destino, siempre ha sido un rol determinante en el desarrollo de la industria azucarera, esto debido a que una vez que se corta la gramínea, solo se tiene 24 horas para trasladarse a la fábrica para ser procesado, ya que, si excede este tiempo, el producto entra en proceso de óxido – reducción que deteriora sus propiedades por lo que requiere de un transporte eficiente.



Actividad	Cantidad
Operación	3
Transporte	1
Combinado	1

Figura 11. Diagrama de análisis del proceso de Transportes Río Blanco S. A. C.

Fuente: La empresa

A) Etapa de carga

En la etapa de alza o carga de la caña de azúcar, se emplean los cargadores de rueda para levantar los manojos de caña cortada hasta el camión que realizará el transporte. Para ello, existen algunos requisitos que los operadores de las máquinas cargadoras deben considerar:

- ❖ El cargador no deberá pasar sobre el carril de caña para evitar daños al producto cosechado.
- ❖ Para tomar el manojo de caña, deberá posicionar el garfio del cargador adelante y con el apilador empujar para un mejor agarre del producto y así evitar pérdidas.
- ❖ La carga deberá ser ubicada de manera ordenada en el camión, evitando dejar espacios vacíos.
- ❖ Deberá verificar que la carga de la caña quede equilibrada en el camión para realizar un buen amarre y evitar pérdidas del producto.
- ❖ Antes de salir de la empresa, deberá verificar que la máquina se encuentre en adecuadas condiciones de operación y servicio para evitar tiempo y dinero perdidos por desperfectos mecánicos al realizar su labor de carga de caña de azúcar.

B) Etapa de transporte

Debido a que el transporte es la etapa principal del proceso realizado por la empresa, ya que, se debe recolectar y trasladar la materia prima disponible en campo con alta eficiencia para el suministro oportuno de los ingenios azucareros; durante esta etapa, los choferes deben seguir las siguientes recomendaciones:

- ❖ Deberá verificar que la caña de azúcar se encuentre dentro de la carreta y de lo contrario, hacer que corten las partes sobresalientes.
- ❖ Deberá respetar las leyes de tránsito existentes y manejar con prudencia.
- ❖ Conducirá por la ruta asignada en la empresa.
- ❖ Acatará las órdenes que se le dé dentro del ingenio azucarero para el pesado y la descarga de la caña de azúcar.

C) Etapa de pesado

En la entrada al ingenio azucarero puede existir una demora para pesar y descargar la caña; el camión ingresa a la balanza para determinar el peso total. Usualmente, cada camión lleva entre 20 a 30 toneladas de caña de azúcar.

D) Etapa de muestreo y revisión

En esta etapa, se toman muestras del producto, verificando las características correspondientes para la descarga de la caña de azúcar y el rendimiento que se obtendrá de la materia prima recibida.

E) Etapa de descarga

Para esta etapa, el conductor entrega el comprobante de envío y realiza la descarga en presencia del supervisor encargado de recepcionar el producto en el ingenio azucarero, después deberá limpiar el vehículo utilizado con el fin de evitar botar los residuos en la carretera, asimismo, el chofer recibirá el comprobante de peso y de las pruebas del muestreo para el productor y para la empresa.

Al finalizar estas etapas, se realizará el pesado del camión vacío para determinar el peso neto de la materia prima que fue trasladada en ese vehículo.

4.1.2. Diagnóstico del mantenimiento realizado en la empresa

Las empresas que se dedican al transporte de carga, basan sus ingresos en la disponibilidad y rendimiento de su maquinaria, para ello, es importante tener un mantenimiento oportuno para cumplir con los contratos y evitar pérdida de tiempo y elevados costos por desperfectos mecánicos. Por tal motivo, se realizó el análisis en el área de mantenimiento de la empresa Transportes Río Blanco S. A. C. con datos del año 2018.

El departamento de mantenimiento de la empresa se encuentra representada por el supervisor que es un ingeniero mecánico eléctrico y el auxiliar que es un técnico mecánico, ambos son los encargados de velar por el buen funcionamiento de la maquinaria. El organigrama del departamento se visualiza en la Figura 12. La empresa no tiene más personal en esta área por lo que existen limitaciones que conllevan a subcontratar el servicio de reparación de las máquinas cuando surge algún desperfecto o falla.

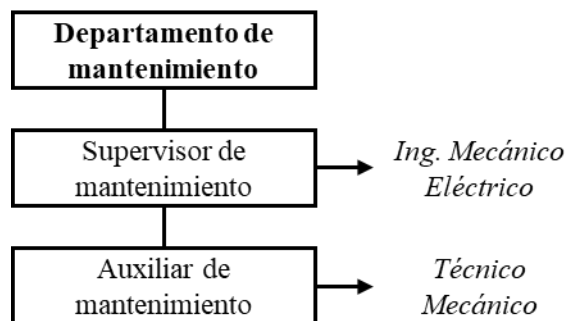


Figura 12. Organigrama del departamento de mantenimiento de la empresa

Fuente: La empresa

4.1.2.1. Auditoría del departamento de mantenimiento

Se realizó una auditoría propuesta por el ingeniero Jaime Collantes Bohórquez en el departamento de mantenimiento, cuyo procedimiento se observa en el Anexo 4. Las personas que fueron encuestadas se visualizan en la Tabla 8, las cuales desarrollaron 120 preguntas divididas en 12 categorías (10 preguntas por categoría).

Las categorías evaluadas fueron:

- ❖ **Categoría 1:** Organización del departamento de mantenimiento
- ❖ **Categoría 2:** Administración del departamento de mantenimiento
- ❖ **Categoría 3:** Planeamiento del mantenimiento
- ❖ **Categoría 4:** Programación del mantenimiento
- ❖ **Categoría 5:** Personal del departamento de mantenimiento
- ❖ **Categoría 6:** Ejecución del departamento de mantenimiento
- ❖ **Categoría 7:** Supervisión en el departamento de mantenimiento
- ❖ **Categoría 8:** Abastecimiento del departamento de mantenimiento
- ❖ **Categoría 9:** Procesos de gestión para el departamento de mantenimiento
- ❖ **Categoría 10:** Sistemas informáticos para el departamento de mantenimiento
- ❖ **Categoría 11:** Seguridad para el departamento de mantenimiento
- ❖ **Categoría 12:** Clima y cultura organizacional para el departamento de mantenimiento

Tabla 8. Personal auditado de la empresa

Leyenda	Persona	Puesto
1	WVC	Gerente Titular
2	JPS	Supervisor de Mantenimiento
3	RPO	Auxiliar de Mantenimiento
4	FGC	Operador de cargador
5	FTB	Operador de camión
6	DTT	Jefe de operaciones
7	RPU	Asistente de operaciones

Fuente: Propia

Los resultados de la auditoría se presentan en la Tabla 9 obteniendo que el departamento de mantenimiento solo cumple con el 16% de todos los ítems evaluados. En la Figura 13 se visualiza el radar con los resultados generales por categoría.

Tabla 9. Resultados de la auditoría del departamento de mantenimiento en la empresa

Nº	Categorías	Peso (/10)	Puntaje (%)	Categoría Ponderada
1	Organización	9	2,76	24,4%
2	Administración	8	1,49	11,5%
3	Planeamiento del Mantenimiento	7	1,36	9,7%
4	Programación del Mantenimiento	9	1,00	8,6%
5	Personal	7	1,70	12,1%
6	Ejecución del Mantenimiento	8	1,30	10,4%
7	Supervisión	7	1,00	6,9%
8	Abastecimiento	6	2,01	12,1%
9	Procesos de Gestión	5	1,00	5,3%
10	Sistemas informáticos	6	1,00	5,9%
11	Seguridad	8	1,00	8,0%
12	Clima & Cultura organizacional	8	2,89	23,1%
Total Auditoría				16%

Fuente: Ingeniero Jaime Collantes Bohórquez

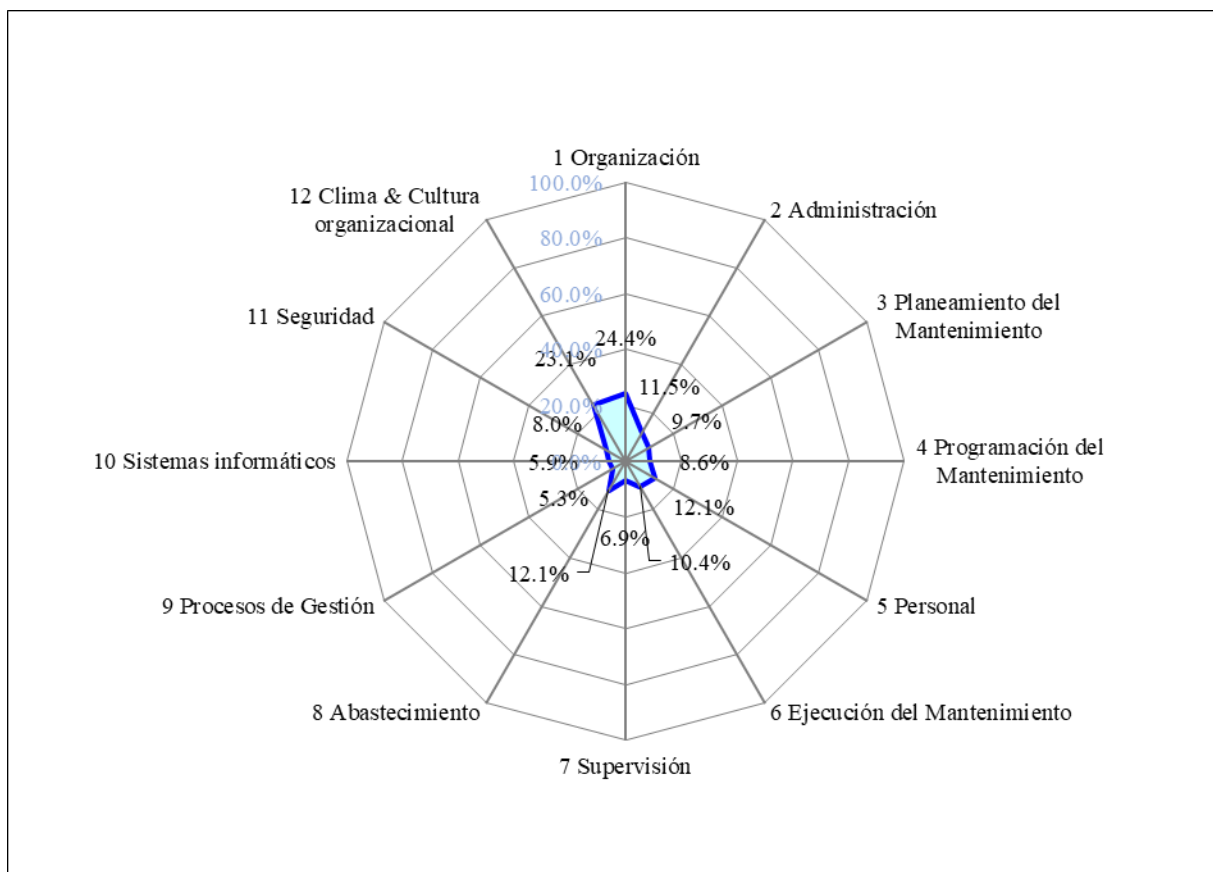


Figura 13. Resultado gráfico de la auditoría en la empresa

Fuente: Ingeniero Jaime Collantes Bohórquez

Los resultados por categorías obtenidos se describen y explican a continuación:

A) Organización del departamento de mantenimiento

Respecto a la organización, el departamento no tiene un documento que les detalle sus funciones y responsabilidades, pero verbalmente sí conocen algunos alcances y solo existe el procedimiento para enviar a realizar el mantenimiento (Figura 16); el resultado de la categoría fue de 24,4%. Es el ítem con mayor calificación.

B) Administración del departamento de mantenimiento

En lo concerniente a administración, el departamento no tiene una comunicación constante con los choferes sobre el estado de la maquinaria, ya que, mayormente, se habla cuando ocurren fallas o desperfectos mecánicos; el apoyo de gerencia y del departamento de operaciones no se refleja en la puntuación brindada por los encuestados. El resultado de la categoría es de 11,5%.

C) Planeamiento del mantenimiento

No existe un planeamiento del mantenimiento establecido debido a que el departamento tiene el enfoque de que debe surgir una falla para enviar a la maquinaria a que le realicen un mantenimiento a una empresa tercera; esto se refleja en el resultado obtenido de 9,7%. El personal tiene los conocimientos teóricos para realizar un plan de mantenimiento, pero como no recibe el apoyo de gerencia y carece de repuestos que lo lleve a la práctica, se limita a esperar que informen sobre una falla o desperfecto mecánico.

Esto ha conllevado a observar fallas con más frecuencia y a tener paradas ocasionadas por el mantenimiento con horas extras del personal:

a. Frecuencias de fallas

En la Tabla 10 se muestra las frecuencias de fallas mecánicas que presentaron cada una de las máquinas durante el año 2018, siendo el Cargador 01 (28 fallas) el que tuvo mayor frecuencia de fallas de los cargadores de ruedas, el Camión Cañero 02 (29 fallas) en los camiones y la Carreta 03 (25 fallas) de todas las carretas que posee la empresa.

Tabla 10. Frecuencia de falla de las maquinarias en el año 2018

Maquinaria	# Fallas (veces)	Maquinaria	# Fallas (veces)
Cargador 01	28	Camión ("Cañero") 05	24
Cargador 02	22	Camión ("Cañero") 06	25
Cargador 03	25	Camión ("Cañero") 07	22
Cargador 04	24	Camión ("Cañero") 08	25
Camión ("Cañero") 01	27	Carreta 01	23
Camión ("Cañero") 02	29	Carreta 02	21
Camión ("Cañero") 03	24	Carreta 03	25
Camión ("Cañero") 04	24	Carreta 04	21
Total		389 fallas	

Fuente: La empresa

Los datos de la Tabla 10 se obtuvieron de una entrevista con los operarios de las maquinarias, ya que no contaban con una hoja de control de mantenimiento. (Anexo 5)

b. Paradas por reparación de maquinaria

El nivel alto de paradas de las maquinarias de la empresa se debe al concepto de mantenimiento, las cuales se dan a conocer en la Tabla 11, donde se muestra que el tiempo total de reparación en el año 2018 fue de 301 440 minutos o su equivalente en horas, 5 024 horas al sumar todos los tiempos de reparación existentes en ese año bajo evaluación.

Tabla 11. Tiempo de reparación por máquinas en el año 2018

Maquinaria	Tiempo total de reparación (horas)	Tiempo total de reparación (minutos)
Cargador 01	331,00	19 860,00
Cargador 02	307,00	18 420,00
Cargador 03	312,00	18 720,00
Cargador 04	312,00	18 720,00
Camión ("Cañero") 01	332,00	19 920,00
Camión ("Cañero") 02	332,50	19 950,00
Camión ("Cañero") 03	309,50	18 570,00
Camión ("Cañero") 04	320,50	19 230,00
Camión ("Cañero") 05	307,50	18 450,00
Camión ("Cañero") 06	306,50	18 390,00
Camión ("Cañero") 07	304,00	18 240,00
Camión ("Cañero") 08	308,50	18 510,00
Carreta 01	309,00	18 540,00
Carreta 02	303,00	18 180,00
Carreta 03	320,00	19 200,00
Carreta 04	309,00	18 540,00
Total	5 024,00	301 444,00

Fuente: Propia

De la Tabla 11, se procedió al cálculo del porcentaje de tiempo de parada para el periodo del año 2018, considerando que el tiempo total de producción fue de 552 960,00 minutos.

$$\% \text{ Tiempo de parada} = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Tiempo total de producción}} \times 100$$

$$\% \text{ Tiempo de parada} = \frac{301\,440,00 \text{ min}}{552\,960,00 \text{ min}} \times 100$$

$$\% \text{ Tiempo de parada} = 54,00\%$$

El tiempo total de parada representa el 54% del total del tiempo de producción.

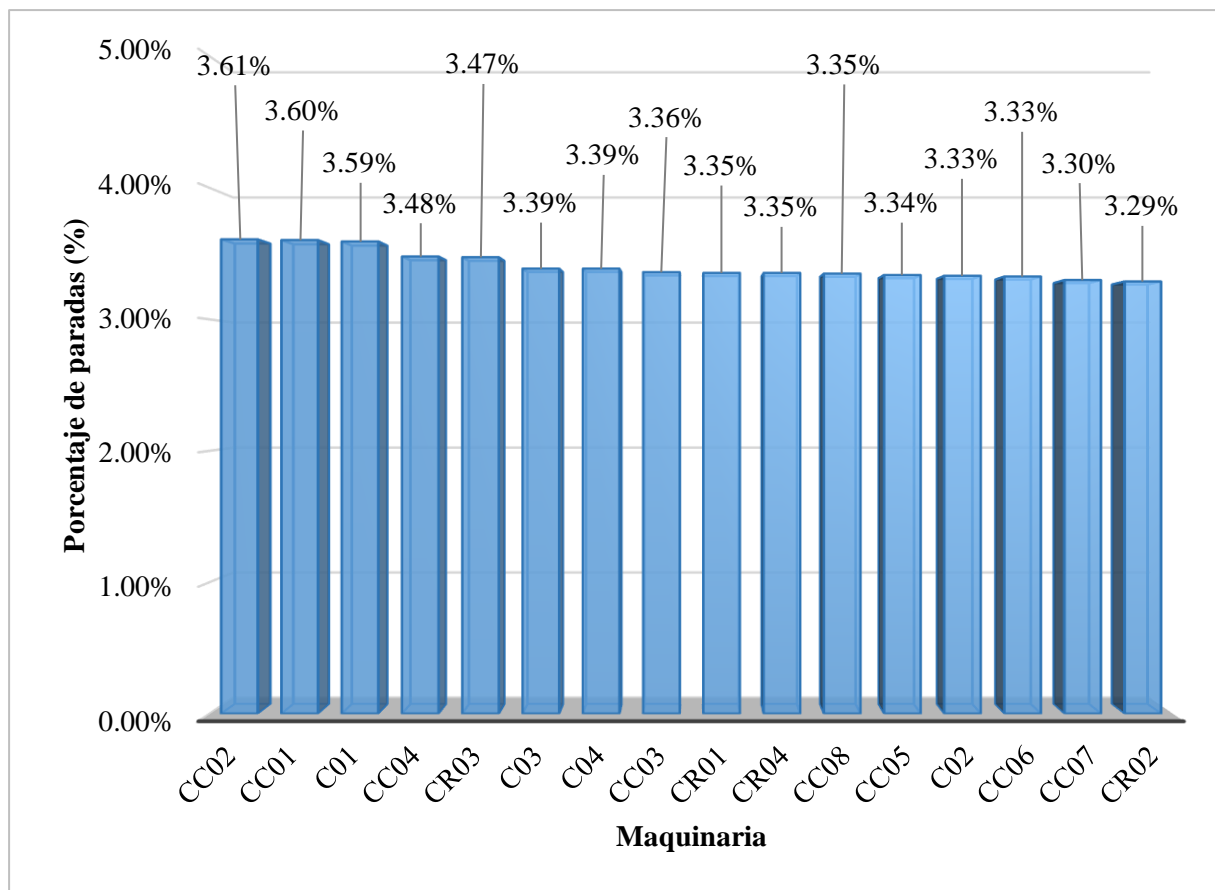


Figura 14. Representación porcentual del tiempo de parada por máquina

Fuente: Propia

En la Figura 14 se observa el porcentaje del tiempo total de parada por máquina en relación al tiempo de producción del año 2018 siendo el Camión Cañero 02 el que más tiempo inoperativo tuvo con el 3,61% seguido del Camión Cañero 01 con el 3,60% y el Cargador 01 con 3,59%.

El costo de parada por maquinaria es aquella cantidad de dinero dejado de recibir por parte de la empresa por no poder atender el servicio requerido debido a maquinarias en estado de reparación.

Siendo el ingreso por hora de S/. 120,00 soles, según información brindada por el gerente de la empresa, en la Tabla 12 se plasman los costos mencionados y se puede observar como resultado que el Camión Cañero 02 es la maquinaria que tiene mayores costos por parada, esto es efecto de tener un mayor tiempo total de reparación.

Tabla 12. Costo de parada por máquina en el año 2018 (soles/año)

Maquinaria	Tiempo total de reparación	Ingresos no percibido por hora	Costo por parada por máquina
Cargador 01	331,00	S/. 120,00	S/. 39 720,00
Cargador 02	307,00	S/. 120,00	S/. 36 840,00
Cargador 03	312,00	S/. 120,00	S/. 37 440,00
Cargador 04	312,00	S/. 120,00	S/. 37 440,00
Camión ("Cañero") 01	332,00	S/. 120,00	S/. 39 840,00
Camión ("Cañero") 02	332,50	S/. 120,00	S/. 39 900,00
Camión ("Cañero") 03	309,50	S/. 120,00	S/. 37 140,00
Camión ("Cañero") 04	320,50	S/. 120,00	S/. 38 460,00
Camión ("Cañero") 05	307,50	S/. 120,00	S/. 36 900,00
Camión ("Cañero") 06	306,50	S/. 120,00	S/. 36 780,00
Camión ("Cañero") 07	304,00	S/. 120,00	S/. 36 480,00
Camión ("Cañero") 08	308,50	S/. 120,00	S/. 37 020,00
Carreta 01	309,00	S/. 120,00	S/. 37 080,00
Carreta 02	303,00	S/. 120,00	S/. 36 360,00
Carreta 03	320,00	S/. 120,00	S/. 38 400,00
Carreta 04	309,00	S/. 120,00	S/. 37 080,00
Total	5 024,00	S/. 1 920,00	S/. 602 880,00

Fuente: Propia

Para la empresa el dinero no percibido por tener su maquinaria parada durante el periodo de enero a diciembre del año 2018, obtenido al multiplicar el tiempo total de reparación en horas por el ingreso no percibido para cada máquina, fue un total de **S/. 602 880,00** soles.

c. Horas extras del personal por reparación de maquinaria

Para poder cumplir con todos los servicios contratados, la empresa se ve obligada a emplear horas extras que compensen las horas de inactividad o de reparación de las maquinarias a causa de las constantes fallas ocasionados por los motivos ya mencionados.

Cada chofer de las diferentes unidades de transporte trabaja 48 horas a la semana, la totalidad de horas de los 12 choferes es de 2 304 horas como se observa en el siguiente cálculo:

$$H - H \text{ mensual} = \# \text{trabajadores} \times \text{horas a la semana} \times 4 \frac{\text{semanas}}{\text{mes}}$$

$$H - H \text{ mensual} = 12 \text{ operarios} \times 48 \frac{\text{horas}}{\text{semana}} \times 4 \frac{\text{semanas}}{\text{mes}}$$

$$H - H \text{ mensual} = 2\,304 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$$

Sin embargo, la empresa incurre en la utilización de horas extras para poder cumplir con los contratos de servicios ya acordados, por el motivo de las constantes fallas en sus maquinarias que incumplen con el nivel de operatividad de las mismas en las horas de trabajo.

En la Tabla 13 se detallan la cantidad de horas extras incurridas por la empresa en el año 2018 con su costo respectivo (S/. 9,50 por hora adicional), teniendo en cuenta el registro de asistencia y control de los recursos (personal y máquinas), siendo noviembre el mes donde se registraron más horas extra con un costo total de S/. 7 609,50.

Tabla 13. Horas extras durante el año 2018 por reparación de máquinas

Mes	Horas extras (horas)	Costo total (S/.)
Enero	685	6 507,5
Febrero	620	5 890
Marzo	651	6 184,5
Abril	668	6 346
Mayo	695	6 602,5
Junio	678	6 441
Julio	714	6 783
Agosto	725	6 887,5
Septiembre	734	6 973
Octubre	776	7 372
Noviembre	801	7 609,5
Diciembre	798	7 581
Total	8 545	81 177,5

Fuente: La empresa

D) Programación del mantenimiento

En la empresa, no existe un programa de mantenimiento preventivo; al no existir un plan definido, los choferes solo avisan cuando ocurre una falla o desperfecto mecánico lo que ocasiona ingresos no percibidos durante el tiempo de reparación (Tabla 12); ya que, todo lo realizado por el departamento se basa en mantenimiento correctivo. El porcentaje obtenido de los componentes evaluados fue de 8,6%. Los ingresos no percibidos representaron en el año 2018 el 90,51% del costo total de mantenimiento (Tabla 13).

$$\% \text{ Ingresos no percibidos por parada de máquina} = \frac{\text{Ingresos no percibidos por parada por máquina}}{\text{Costo total de mantenimiento}} \times 100$$

$$\% \text{ Ingresos no percibidos por parada de máquina} = \frac{S/602\,880,00}{S/666\,100,00} \times 100$$

$$\% \text{ Costo H - H} = 90,51\%$$

E) Personal del departamento de mantenimiento

Respecto al personal del departamento de mantenimiento, la empresa solo cuenta con un supervisor y un auxiliar de mantenimiento, ambos con carrera profesional y técnica respetivamente; tienen conocimiento teórico pero no práctico por lo que existe carencia de personas con experiencia para realizar el mantenimiento; asimismo, no reciben capacitaciones externas debido a que el gerente, no le da la importancia debida a la programación de mantenimientos y solo subcontrata el servicio de mantenimiento cuando sea requerido. La categoría tuvo como resultado 12,1%. En relación a los choferes, la empresa no brinda la capacitación respectiva para no incurrir en gastos adicionales, lo que conlleva una formación inadecuada del personal que lleva al descuido de la maquinaria.

F) Ejecución del mantenimiento

En la ejecución del mantenimiento, no existen planes ni programas definidos, el departamento solo se encarga de subcontratar a otra empresa para realizar el mantenimiento de la maquinaria (Figura 16) obteniéndose un resultado de 10,4%.

Los costos de mantenimiento son las cantidades monetarias canceladas por concepto de las acciones ejecutadas para mantener o reparar la maquinaria. Sin embargo, la concepción del mantenimiento es considerada por el dueño de la empresa como un gasto que se incurre cada vez que su maquinaria sufre algún desperfecto durante la realización de sus labores. La actitud del gerente de la empresa pasa a sus operadores; quienes dejan de lado el cuidado de las máquinas a su cargo y solo muestran preocupación cuando la máquina sufre alguna parada forzada por alguna falla mecánica.

a. Costo total de reparación

El costo total de reparación está dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Costo total de reparación} = \text{Costo H - H} + \text{Costo de repuestos}$$

$$\text{Costo total de reparación} = 2\,300 + 13\,760$$

$$\text{Costo total de reparación} = \text{S/} \mathbf{16\,060}$$

Donde:

- ❖ **Costo H-H:** es el costo de las horas - hombre del personal de mantenimiento.
- ❖ **Costo de repuestos:** es el costo de cada uno de los repuestos necesarios para tener la maquinaria en condiciones de funcionamiento óptimas. (Anexo 6)

Tabla 14. Costos Total de Reparación en el año 2018 (soles / año)

Maquinaria	Costo H-H	Costo repuestos	Costo total de reparación
Cargador 01	S/. 2 300,00	S/. 13 760,00	S/. 16 060,00
Cargador 02	S/. 450,00	S/. 1 000,00	S/. 1 450,00
Cargador 03	S/. 550,00	S/. 1 550,00	S/. 2 100,00
Cargador 04	S/. 600,00	S/. 1 500,00	S/. 2 100,00
Camiones ("Cañeros") 01	S/. 1 170,00	S/. 8 220,00	S/. 9 390,00
Camiones ("Cañeros") 02	S/. 1 870,00	S/. 11 170,00	S/. 13 040,00
Camiones ("Cañeros") 03	S/. 600,00	S/. 3 910,00	S/. 4 510,00
Camiones ("Cañeros") 04	S/. 1 450,00	S/. 5 550,00	S/. 7 000,00
Camiones ("Cañeros") 05	S/. 300,00	S/. 490,00	S/. 790,00
Camiones ("Cañeros") 06	S/. 350,00	S/. 810,00	S/. 1 160,00
Camiones ("Cañeros") 07	S/. 100,00	S/. 350,00	S/. 450,00
Camiones ("Cañeros") 08	S/. 500,00	S/. 610,00	S/. 1 110,00
Carreta 01	S/. 200,00	S/. 880,00	S/. 1 080,00
Carreta 02	S/. 50,00	S/. 500,00	S/. 550,00
Carreta 03	S/. 530,00	S/. 1 770,00	S/. 2 300,00
Carreta 04	S/. 80,00	S/. 50,00	S/. 130,00
Total	S/. 11 100,00	S/. 52 120,00	S/. 63 220,00

Fuente: Propia

En la Tabla 14 se muestran los costos totales de reparación de las máquinas; puede observarse como resultado que el Cargador 01, es la maquinaria con mayor costo. En el año 2018 los costos de reparación ascendieron a **S/. 63 220,00**.

De la Tabla 14 se puede obtener los siguientes indicadores:

❖ **Costo de H-H:**

$$\% \text{ Costo } H - H = \frac{\text{Costo } H - H}{\text{Costo total de reparación}} \times 100$$

$$\% \text{ Costo } H - H = \frac{S/11\ 100,00}{S/63\ 220,00} \times 100$$

$$\% \text{ Costo } H - H = 17,56\%$$

El cálculo indica que el costo de H - H representa el 17,56% del costo total de reparación.

❖ **Costo de repuestos:**

$$\% \text{ Costo de repuestos} = \frac{\text{Costo de repuestos}}{\text{Costo total de reparación}} \times 100$$

$$\% \text{ Costo de repuestos} = \frac{S/52\ 120,00}{S/63\ 220,00} \times 100$$

$$\% \text{ Costo de repuestos} = 82,44\%$$

El cálculo indica que el costo de repuestos representa el 82,44% del costo total de reparación.

b. Costo Total de Mantenimiento

El costo total de mantenimiento está dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Costo total de mtto} = \text{Costo total de reparación} + \text{Ingreso no percibido por parada de máquina}$$

Donde:

- ❖ **Costo total de reparación:** es la sumatoria del costo H-H con el costo de los repuestos que se incurren para tener la maquinaria en óptimo funcionamiento.

- ❖ **Ingreso no percibido por parada por máquina:** está dado por el ingreso no percibido por tener las maquinarias en reparación.

Tabla 15. Costo de mantenimiento con costo por parada de máquina en el año 2018 (soles/año)

Maquinaria	Costo total de reparación		Ingreso no percibido por parada de máquina	Costo total de mantenimiento
	Costo H-H	Costo repuestos		
Cargador 01	S/. 2 300,00	S/. 13 760,00	S/. 39 720,00	S/. 55 780,00
Cargador 02	S/. 450,00	S/. 1 000,00	S/. 36 840,00	S/. 38 290,00
Cargador 03	S/. 550,00	S/. 1 550,00	S/. 37 440,00	S/. 39 540,00
Cargador 04	S/. 600,00	S/. 1 500,00	S/. 37 440,00	S/. 39 540,00
Camiones ("Cañeros") 01	S/. 1 170,00	S/. 8 220,00	S/. 39 840,00	S/. 49 230,00
Camiones ("Cañeros") 02	S/. 1 870,00	S/. 11 170,00	S/. 39 900,00	S/. 52 940,00
Camiones ("Cañeros") 03	S/. 600,00	S/. 3 910,00	S/. 37 140,00	S/. 41 650,00
Camiones ("Cañeros") 04	S/. 1 450,00	S/. 5 550,00	S/. 38 460,00	S/. 45 460,00
Camiones ("Cañeros") 05	S/. 300,00	S/. 490,00	S/. 36 900,00	S/. 37 690,00
Camiones ("Cañeros") 06	S/. 350,00	S/. 810,00	S/. 36 780,00	S/. 37 940,00
Camiones ("Cañeros") 07	S/. 100,00	S/. 350,00	S/. 36 480,00	S/. 36 930,00
Camiones ("Cañeros") 08	S/. 500,00	S/. 610,00	S/. 37 020,00	S/. 38 080,00
Carreta 01	S/. 200,00	S/. 880,00	S/. 37 080,00	S/. 38 160,00
Carreta 02	S/. 50,00	S/. 500,00	S/. 36 360,00	S/. 36 910,00
Carreta 03	S/. 530,00	S/. 1 770,00	S/. 38 400,00	S/. 40 700,00
Carreta 04	S/. 80,00	S/. 50,00	S/. 37 080,00	S/. 37 210,00
Total	S/. 63 220,00		S/. 602 880,00	S/. 666 100,00

Fuente: Propia

En la Tabla 15 se muestra el detalle del costo total de mantenimiento en el año 2018 donde se muestran el valor en soles del costo de parada por maquinaria, los cuales se han calculado teniendo en cuenta el total de los servicios dejados de atender por su respectivo costo, a causa de tener maquinarias inoperativas o no aptas para su uso. En resumen, estos costos han sido detallados con el fin de tener una visión completa de los costos totales de mantenimiento, de tal manera que se refleje las pérdidas económicas de manera cuantitativa.

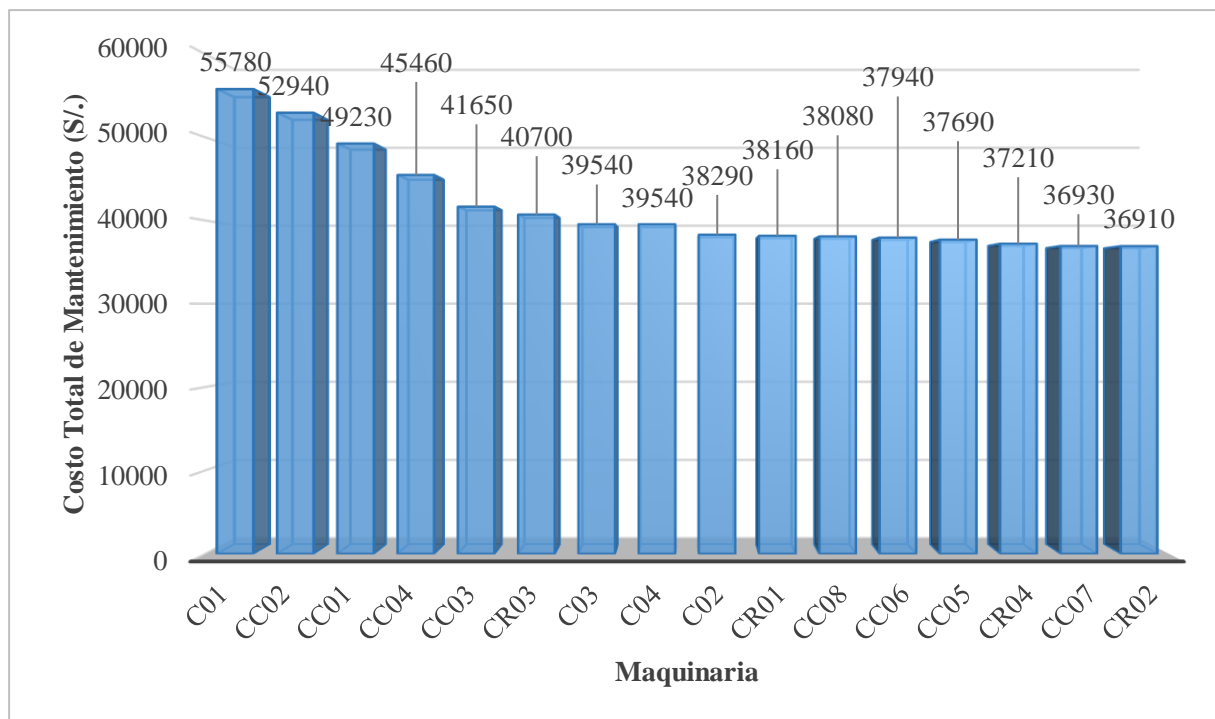


Figura 15. Costos totales de mantenimiento

Fuente: Propia

En la Figura 15 se observa que la máquina con mayor costo total de mantenimiento es el C01 seguido del CC02 y CC01.

De la Tabla 15 se puede obtener el siguiente indicador:

❖ **Costo total de reparación:**

$$\% \text{ Costo total de reparación} = \frac{\text{Costo total de reparación}}{\text{Costo total de mantenimiento}} \times 100$$

$$\% \text{ Costo total de reparación} = \frac{S/63\,220,00}{S/666\,100,00} \times 100$$

$$\boxed{\% \text{ Costo } H - H = 9,49\%}$$

El indicador determina que el costo total de reparación representa el 9,49% del costo total de mantenimiento.

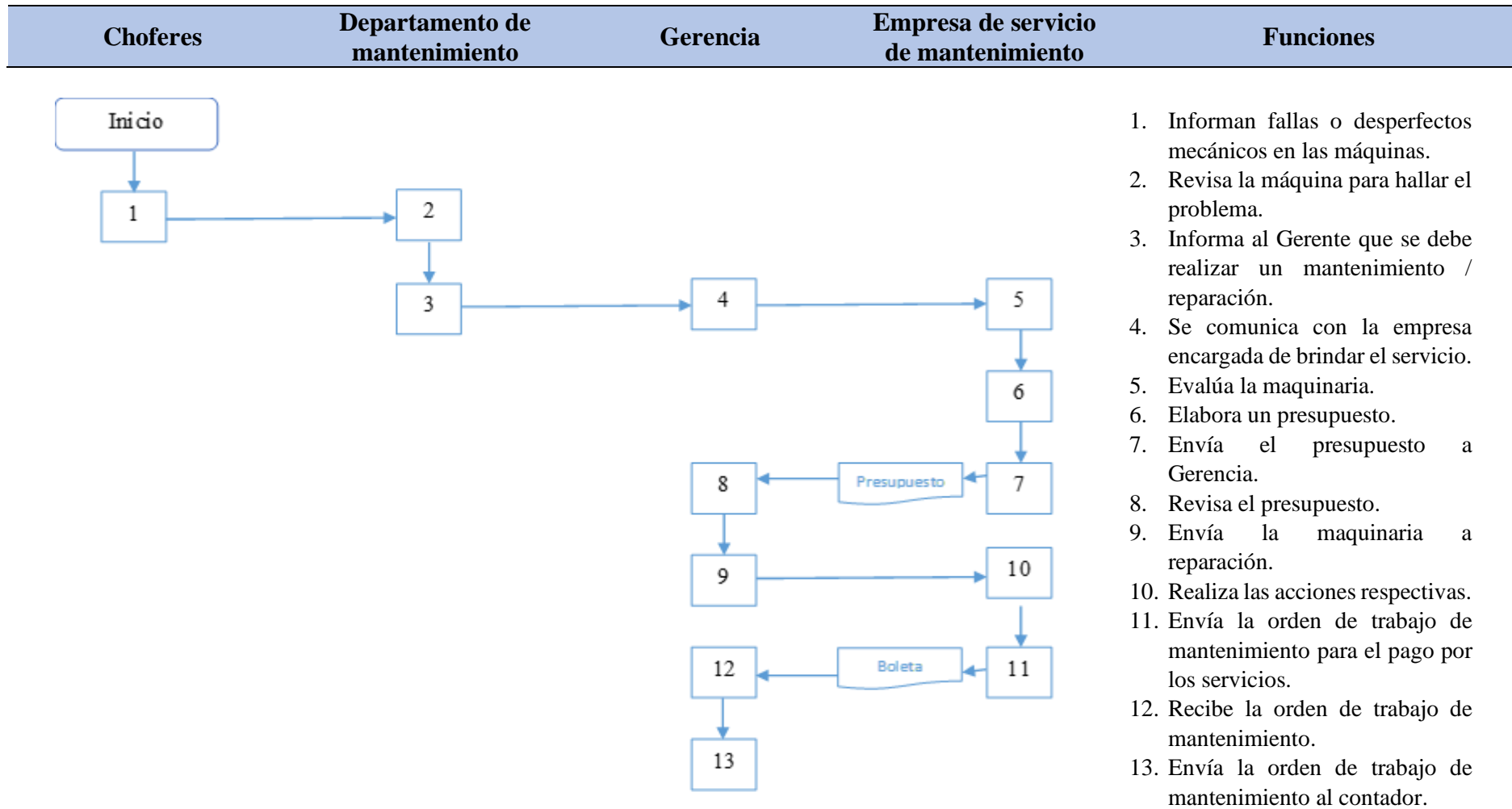


Figura 16. Procedimiento para el mantenimiento correctivo en la empresa

Fuente: Propia

G) Supervisión en el departamento de mantenimiento

Para la supervisión del departamento, por parte de la gerencia no existe un control permanente sobre los trabajadores del área ni una evaluación por alguna entidad externa, por otro lado, el departamento de operaciones desconoce sobre las actividades que se realiza en el departamento de mantenimiento. La categoría tuvo un resultado de 6,9%.

H) Abastecimiento para el departamento de mantenimiento

En lo concerniente al abastecimiento, el almacén del departamento carece de repuestos porque no se realiza en la misma empresa el mantenimiento, sino que se terceriza, solo tiene los elementos básicos como llantas y aceite para la maquinaria. El resultado obtenido fue de 12,1%.

I) Procesos de gestión del departamento de mantenimiento

Al no existir planificación ni programación del mantenimiento establecidos en la empresa, el departamento no cuenta con un proceso de gestión con métodos y procedimientos estandarizados, solo se basa en mandar a reparar las máquinas con fallas sin escatimar en los costos en los que se incurre con el propósito de que sigan funcionando. Esta categoría obtuvo uno de los resultados más bajos; 5,3%.

J) Sistemas informáticos para el departamento de mantenimiento

Respecto a esta categoría, la empresa carece de un sistema informático que le permita registrar datos sobre los equipos, las fallas o desperfectos mecánicos, los mantenimientos que se han realizado, los costos y los repuestos que se tiene; solo se maneja la información en un Excel que no tiene mayor trascendencia. El porcentaje obtenido fue de 5,9%.

K) Seguridad para el departamento de mantenimiento

La empresa no cuenta con políticas de seguridad establecidas para el departamento según las actividades que deben realizarse debido a que el mantenimiento es tercerizado; no se les da relevancia a las medidas de seguridad necesarias para realizar sus actividades tanto el supervisor, el auxiliar y los choferes. El resultado fue de 8,0%.

L) Clima y cultura organizacional para el departamento de mantenimiento

El departamento de mantenimiento en la empresa no se encuentra totalmente determinado por lo que existen conflictos por la falta de información y conocimiento, existe contacto mínimo con los otros departamentos y con la gerencia teniendo una relación superficial entre ellos; sin embargo, el ambiente laboral obtuvo una puntuación de 23,1%.

En la Tabla 16 se visualiza el resumen general de todos los indicadores obtenidos en la auditoría de mantenimiento realizada a la empresa.

Tabla 16. Resumen general de indicadores de auditoría de mantenimiento

Indicador	Medida	Periodo Año 2018
Frecuencia de fallas		
Número de fallas totales	#	389
Paradas por reparación de maquinarias		
Tiempo total de paradas	Horas	5 024
Representación porcentual	%	54%
Costo total de paradas	S/.	S/. 602 880,00
Horas extras		
Número de horas extras	#	8 545
Costo de horas extras	S/.	S/. 80 109,38
Costo de mantenimiento	S/.	S/. 666 100,00
Costo de reparación	S/.	S/. 63 220,00
Representación porcentual de reparación	%	9,49%
<i>Costo H – H</i>	S/.	<i>S/. 11 100,00</i>
<i>Representación porcentual H - H</i>	%	<i>17,56%</i>
<i>Costo de repuestos</i>	S/.	<i>S/. 52 120,00</i>
<i>Representación porcentual de repuestos</i>	%	<i>82,44%</i>
Ingresos no percibidos	S/.	S/. 602 880,00
Representación porcentual de ingresos no percibidos	%	90,51%

Fuente: Propia

4.1.2.2. Indicadores de mantenimiento

Para la evaluación del estado de la maquinaria se consideró los tres indicadores básicos del mantenimiento durante el año 2018: Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad.

A) Confiabilidad

Es la probabilidad de que la maquinaria cumpla su función en las condiciones y el periodo establecidos. Se determina bajo la siguiente fórmula:

$$\text{Confiabilidad} = \frac{\text{Tiempo total de operación (min)}}{\text{Tiempo programado para producir (min)}}$$

$$\text{Confiabilidad} = \frac{987,5 \text{ (h)}}{1\,320 \text{ (h)}} = 0,7481$$

Tabla 17. Confiabilidad de la maquinaria en el año 2018

Maquinaria	Tiempo programado (horas/año)	Tiempo operativo (horas/año)	Confiabilidad
CC02	1 320	987,5	74,81%
CC01	1 320	988	74,85%
C01	1 320	989	74,92%
CC04	1 320	999,5	75,72%
CR03	1 320	1000	75,76%
C03	1 320	1008	76,36%
C04	1 320	1008	76,36%
CC03	1 320	1010,5	76,55%
CR01	1 320	1011	76,59%
CR04	1 320	1011	76,59%
CC08	1 320	1011,5	76,63%
CC05	1 320	1012,5	76,70%
C02	1 320	1013	76,74%
CC06	1 320	1013,5	76,78%
CC07	1 320	1016	76,97%
CR02	1 320	1017	77,05%

Fuente: Propia

En la Tabla 17 se visualiza el nivel de confiabilidad de menor a mayor de las máquinas, siendo el Camión Cañero 02 el que tiene el menor porcentaje (74,81%). Según Gasca, Camargo y Medina en su artículo “Sistema para evaluar la confiabilidad de los equipos críticos en el sector industrial” [21], recomiendan que este valor debe ser superior al 80%.

B) Mantenibilidad

Es la probabilidad de que la maquinaria en estado de fallo pueda ser reparada bajo condiciones dadas en un determinado periodo de tiempo. La fórmula es la siguiente:

$$MTTR = \frac{\text{Número de horas de paro por fallas}}{\text{Número de fallas}}$$

$$MTTR = \frac{332,5 \text{ (horas)}}{29 \text{ (fallas)}} = 11,47$$

Tabla 18. Tiempo Medio de Reparación en el año 2018

Maquinaria	Tiempo de paro (horas/año)	Fallas	MTTR (horas/falla)
CC02	332,5	29	11,47
C01	331	28	11,82
CC06	306,5	25	12,26
CC01	332	27	12,30
CC08	308,5	25	12,34
CO3	312	25	12,48
CR03	320	25	12,80
CC05	307,5	24	12,81
CC03	309,5	24	12,90
C04	312	24	13,00
CC04	320,5	24	13,35
CR01	309	23	13,43
CC07	304	22	13,82
C02	307	22	13,95
CR02	303	21	14,43
CR04	309	21	14,71

Fuente: Propia

En la Tabla 18 se visualiza el tiempo promedio para reparar de menor a mayor de las máquinas, el tiempo medio de reparación del camión cañero 02 es de 11,47 horas por cada falla.

C) Disponibilidad

Es la proporción de tiempo en que una maquinaria estuvo apta para ser usada. La fórmula del indicador es la siguiente:

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

$$\text{Disponibilidad} = \frac{34,05}{(34,05 + 11,47)} \times 100 = 74,81\%$$

En la Tabla 19 se visualizan los resultados del cálculo el tiempo medio entre fallas (MTBF) que permitió conocer el tiempo promedio entre una falla a otra durante el año 2018 a partir de la siguiente fórmula:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de periodo (horas)} - \text{Tiempo total de paros (horas)}}{\text{Número de fallas}}$$

$$MTBF = \frac{1\,320\text{ (h)} - 332,5\text{ (h)}}{29\text{ (fallas)}} = 34,05$$

Tabla 19. Tiempo Medio Entre Fallas por Maquinaria en el año 2018

Maquinaria	Tiempo total disponible (horas/año)	Tiempo de no operación (horas/año)	Cantidad de Fallas	MTBF (horas/falla)
CC02	1 320	332,5	29	34,05
C01	1 320	331	28	35,32
CC01	1 320	332	27	36,59
CR03	1 320	320	25	40,00
C03	1 320	312	25	40,32
CC08	1 320	308,5	25	40,46
CC06	1 320	306,5	25	40,54
CC04	1 320	320,5	24	41,65
C04	1 320	312	24	42,00
CC03	1 320	309,5	24	42,10
CC05	1 320	307,5	24	42,19
CR01	1 320	309	23	43,96
C02	1 320	307	22	46,05
CC07	1 320	304	22	46,18
CR04	1 320	309	21	48,14
CR02	1 320	303	21	48,43

Fuente: Propia

La disponibilidad se calcula con los datos obtenidos de las Tablas 18 y 19 presentándose en la Tabla 20 donde se observa que Camión Cañero 02 es el que tiene menor disponibilidad. Según Gasca, Camargo y Medina en su artículo “Sistema para evaluar la confiabilidad de los equipos críticos en el sector industrial” [21], recomiendan que este valor debe ser superior al 80%.

Tabla 20. Disponibilidad de las Maquinarias desde enero a diciembre de 2018

Maquinaria	MTBF (horas/falla)	MTTR (horas/falla)	Disponibilidad (%)
CC02	34,05	11,47	74,81%
CC01	36,59	12,30	74,85%
C01	35,32	11,82	74,92%
CC04	41,65	13,35	75,72%
CR03	40,00	12,80	75,76%
C03	40,32	12,48	76,36%
C04	42,00	13,00	76,36%
CC03	42,10	12,90	76,55%
CR01	43,96	13,43	76,59%
CR04	48,14	14,71	76,59%
CC08	40,46	12,34	76,63%
CC05	42,19	12,81	76,70%
C02	46,05	13,95	76,74%
CC06	40,54	12,26	76,78%
CC07	46,18	13,82	76,97%
CR02	48,43	14,43	77,05%

Fuente: Propia

En la Tabla 21 se visualiza el resumen general de los indicadores de mantenimiento por cada maquinaria evaluados mediante los datos del año 2018.

Tabla 21. Resumen general de indicadores de la evaluación de la maquinaria año 2018

Maquinaria	Confiabilidad	MTTR (horas)	MTBF (horas)	Disponibilidad
C01	74,92%	11,82	35,32	74,92%
C02	74,81%	13,95	46,05	74,81%
C03	76,36%	12,48	40,32	76,36%
C04	76,36%	13,00	42,00	76,36%
CC01	74,85%	12,30	36,59	74,85%
CC02	74,81%	11,47	34,05	74,81%
CC03	76,55%	12,90	42,10	76,55%
CC04	75,72%	13,35	41,65	75,72%
CC05	76,70%	12,81	42,19	76,70%
CC06	76,78%	12,26	40,54	76,78%
CC07	76,97%	13,82	46,18	76,97%
CC08	76,63%	12,34	40,46	76,63%
CR01	76,59%	13,43	43,96	76,59%
CR02	77,05%	14,43	48,43	77,05%
CR03	75,76%	12,80	40,00	75,76%
CR04	76,59%	14,71	48,14	76,59%

Fuente: La empresa

4.1.2.3. Análisis de criticidad de la maquinaria

Se realizó el cálculo de criticidad de la maquinaria mediante una ficha de evaluación que se visualiza en el Anexo 7 dada por el ingeniero Jaime Collantes Bohórquez donde se considera: 1) el efecto sobre el servicio que proporciona, 2) el valor técnico – económico, 3) la magnitud a la que afecta la falla (a. al equipo, b. al servicio, c. al operador, d. a la seguridad en general), 4) la probabilidad de falla, 5) la flexibilidad de la máquina en el sistema, 6) la dependencia logística, 7) la dependencia de la mano de obra y 8) la facilidad de reparación. Los resultados obtenidos se encuentran plasmados en la Tabla 22 y resumidos en la Tabla 23 donde 2 máquinas se encuentran en escala de referencia regular, 12 máquinas en escala de importante y 2 máquinas en escala crítica. Las máquinas con escala de referencia crítica se consideraron para la elaboración del Plan de Mantenimiento Preventivo, estos son: Camión cañero 02 y Cargador de ruedas 01.

Tabla 22. Resultados de criticidad de la maquinaria

Ítem	Código	Nombre del equipo	Ponderación											Escala de referencia	
			1	2	3a	3b	3c	3d	4	5	6	7	8		Total
1	C01	Cargador de rueda 01	4	3	1	1	1	1	2	1	0	2	0	16	Crítico
2	C02	Cargador de rueda 02	4	3	1	1	1	1	0	1	0	2	0	14	Importante
3	C03	Cargador de rueda 03	2	3	1	1	1	1	1	1	0	2	0	13	Importante
4	C04	Cargador de rueda 04	2	3	1	1	1	1	1	1	0	2	0	13	Importante
5	CC01	Camión cañero 01	4	3	1	1	1	1	1	1	0	2	0	15	Importante
6	CC02	Camión cañero 02	4	3	1	1	1	1	2	1	0	2	0	16	Crítico
7	CC03	Camión cañero 03	4	3	1	1	1	1	1	1	0	2	0	15	Importante
8	CC04	Camión cañero 04	4	3	1	1	1	1	1	1	0	2	0	15	Importante
9	CC05	Camión cañero 05	2	3	1	1	1	1	1	1	0	2	0	13	Importante
10	CC06	Camión cañero 06	2	3	1	1	1	1	1	1	0	2	0	13	Importante
11	CC07	Camión cañero 07	2	3	1	1	1	1	0	1	0	2	0	12	Importante
12	CC08	Camión cañero 08	2	3	1	1	1	1	1	1	0	2	0	13	Importante
13	CR01	Carreta 01	2	3	0	0	1	1	1	1	0	2	0	11	Importante
14	CR02	Carreta 02	2	3	0	0	1	1	0	1	0	2	0	10	Regular
15	CR03	Carreta 03	2	3	0	0	1	1	2	1	0	2	0	12	Importante
16	CR04	Carreta 04	2	3	0	0	1	1	0	1	0	2	0	10	Regular

Fuente: Ingeniero Jaime Collantes Bohórquez

En la tabla 22 la escala de referencia se obtuvo mediante la aplicación de la encuesta dada por el ingeniero Jaime Collantes Bohórquez al personal de mantenimiento de la empresa para clasificar la maquinaria según la escala de referencia dada que se visualiza en el Anexo 7.

Tabla 23. Criticidad de la maquinaria

Ítem	Código	Nombre del equipo	Ponderación	Escala de referencia	¿se incluye en el PMP?
1	C01	Cargador de rueda 01	16	Crítico	Sí
2	C02	Cargador de rueda 02	14	Importante	No
3	C03	Cargador de rueda 03	13	Importante	No
4	C04	Cargador de rueda 04	13	Importante	No
5	CC01	Camión cañero 01	15	Importante	No
6	CC02	Camión cañero 02	16	Crítico	Sí
7	CC03	Camión cañero 03	15	Importante	No
8	CC04	Camión cañero 04	15	Importante	No
9	CC05	Camión cañero 05	13	Importante	No
10	CC06	Camión cañero 06	13	Importante	No
11	CC07	Camión cañero 07	12	Importante	No
12	CC08	Camión cañero 08	13	Importante	No
13	CR01	Carreta 01	11	Importante	No
14	CR02	Carreta 02	10	Regular	No
15	CR03	Carreta 03	12	Importante	No
16	CR04	Carreta 04	10	Regular	No

Fuente: Ingeniero Jaime Collantes Bohórquez

En la tabla 23 se observa el resumen de la criticidad de la maquinaria y la selección de las máquinas que requieren un mantenimiento preventivo debido a que se encuentran en escala de crítico.

4.1.2.4. Análisis gráfico de vida útil de los equipos

Se analizó la vida útil de los equipos mediante el modelo gráfico de Weibull para la evaluación del comportamiento de la maquinaria de la empresa. Los rangos medios empleados se obtuvieron del Anexo 8.

Se determinaron los datos necesarios para la aplicación del método para las máquinas con una escala crítica dentro del análisis de criticidad elaborado en la tabla 23 para su inclusión en el plan de mantenimiento preventivo.

A) Cargador de ruedas 01

La información requerida para el Cargador de ruedas 01 se observa en la tabla 24 y en el Anexo 9 se visualiza la gráfica en el papel Weibull donde la línea morada representa la recta de los

puntos verdes producidos por la intersección del rango medio (eje vertical) y el tiempo entre fallas acumulado (eje horizontal) de 8 muestras; la línea azul representa el parámetro de escala “ η ” que parte de la intersección de la línea “ η estimator” con la línea morada; la línea marrón permite obtener el parámetro “ β ” al formar una perpendicular con la línea morada, asimismo, se obtiene el P_μ que al colocarse en el eje vertical e interceptarse con la línea morada nos da la media “ μ ” (línea amarilla).

Tabla 24. Datos de vida del cargador de ruedas 01

Equipo: Cargador de ruedas 01			
Número de fallas	Tiempo entre fallas TBF	TBF Acumulado	Rango medio (%)
1	84	84	2,47%
2	72	156	5,99%
3	54	210	9,51%
4	48	258	13,03%
5	24	282	16,55%
6	30	312	20,07%
7	50	362	23,59%
8	16	378	27,11%
9	28	406	30,63%
10	15	421	34,15%
11	32	453	37,67%
12	24	477	41,19%
13	48	525	44,71%
14	72	597	48,23%
15	68	665	51,76%
16	14	679	55,28%
17	24	703	58,80%
18	32	735	62,32%
19	11	746	65,84%
20	28	774	69,36%
21	15	789	72,88%
22	34	823	76,40%
23	45	868	79,92%
24	28	896	83,44%
25	12	908	86,96%
26	9	917	90,48%
27	24	941	94,20%
28	12	953	97,60%

Fuente: Propia

En la tabla 25 se visualiza los parámetros establecidos mediante el método gráfico de Weibull para el cargador de ruedas 01.

Tabla 25. Parámetros de Weibull del cargador de ruedas 01

Equipo: Cargador de ruedas 01	
Parámetro de Forma	β 1,75
Parámetro de Escala	η 650
Parámetro de Localización	γ 0
Vida Promedio	μ 600

Fuente: Propia

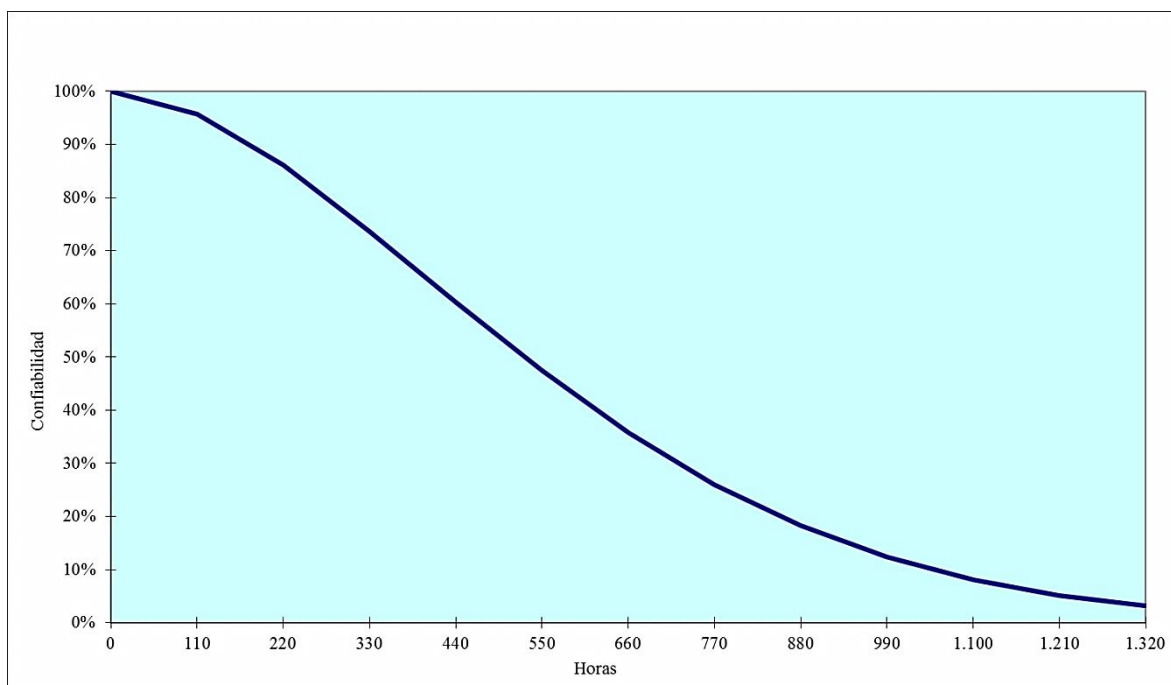


Figura 17. Curva de la bañera del cargador de ruedas 01

Fuente: Propia

En la figura 17 se visualiza la forma de la curva de la bañera para el cargador de ruedas 01, que indica que está ocurriendo un desgaste de la maquinaria ocasionado por las fallas.

B) Camión cañero 02

En la tabla 26 se plasman los datos necesarios para la aplicación del método. Se realiza el mismo procedimiento que para el cargador de ruedas 01 en el papel de Weibull graficado en el Anexo 10.

Tabla 26. Datos de vida del camión cañero 02

Equipo: Camión cañero 02			
Número de fallas	Tiempo entre fallas TBF	TBF Acumulado	Rango medio (%)
1	90	90	2,39%
2	87	177	5,79%
3	78	255	9,19%
4	48	303	12,59%
5	24	327	15,99%
6	2	329	19,39%
7	16	389	22,79%
8	2	405	26,19%
9	15	429	29,59%
10	48	444	32,99%
11	60	476	36,39%
12	24	478	39,79%
13	48	526	43,19%
14	70	596	46,59%
15	68	664	50,00%
16	20	684	53,40%
17	24	708	56,80%
18	3	711	60,20%
19	11	722	63,60%
20	28	750	67,00%
21	60	810	70,40%
22	16	826	73,80%
23	24	850	77,20%
24	15	865	80,60%
25	32	897	84,00%
26	2	899	87,40%
27	24	923	90,80%
28	12	935	94,20%
29	72	1007	97,60%

Fuente: Propia

En la tabla 27 se encuentran los parámetros obtenidos de la gráfica en el papel Weibull.

Tabla 27. Parámetros de Weibull del camión cañero 02

Equipo: Camión cañero 02	
Parámetro de Forma	β 1,8
Parámetro de Escala	η 650
Parámetro de Localización	γ 0
Vida Promedio	μ 600

Fuente: Propia

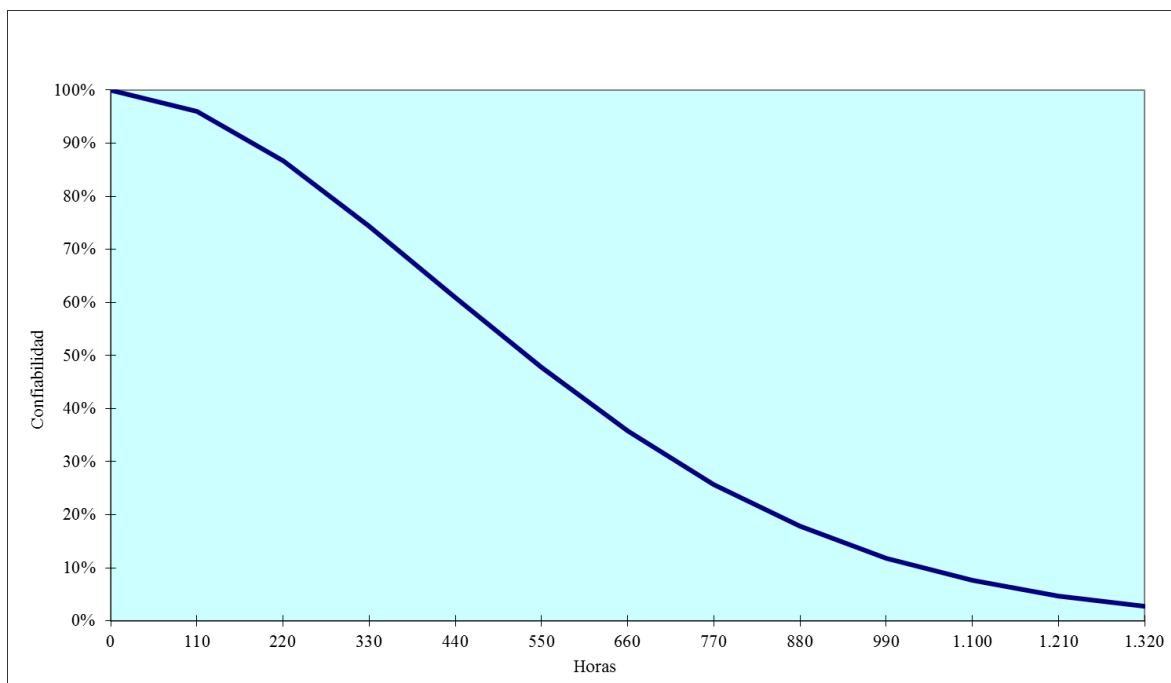


Figura 18. Curva de la bañera del camión cañero 02

Fuente: Propia

En la figura 18 se visualiza la forma de la curva de la bañera para el camión cañero 02, que indica que está ocurriendo un desgaste de la maquinaria ocasionado por las fallas.

C) Resumen del análisis mediante el método Weibull

Se determinó la etapa según la curva de la bañera y el parámetro de forma “ β ” donde: “ β ” < 1, Etapa de Fallos Infantiles; “ β ” = 1, Etapa de Fallos Aleatorios y “ β ” > 1, Etapa de Fallos de Desgaste.

Tabla 28. Etapa de vida de las máquinas bajo evaluación

#	Equipo	Parámetro β			Etapa de vida
		$\beta < 1$	$\beta = 1$	$\beta > 1$	
1	Cargador de ruedas 01			1,75	Fallos de Degaste
2	Camión Cañero 02			1,8	Fallos de Degaste

Fuente: Propia

En la Tabla 28 se visualiza la etapa en la que se encuentran las máquinas evaluadas que según Gasca, Camargo y Medina en su artículo “Sistema para evaluar la confiabilidad de los equipos críticos en el sector industrial” [21] se encuentran dentro de fallos de desgaste.

4.2. ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLAS DE LA MAQUINARIA

En este objetivo se desarrolló el Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF) de la maquinaria que se encuentra en escala de referencia crítico según la evaluación de la criticidad de la maquinaria: Cargador de ruedas 01 y Camión Cañero 02.

4.2.1. Número de Prioridades de Riesgo

Para la realización de los AMEF, se consideró la elaboración del Número de Prioridad de Riesgos (RPN) que se obtiene de la multiplicación de la gravedad (g), el nivel de ocurrencia (o) y la facilidad de detección (d) que se detallan a continuación:

4.2.1.1. Gravedad de la falla (g)

Tabla 29. Gravedad del RPN

Tipos	Descripción	Puntaje
Ínfima	Falla imperceptible	1
Escasa	Falla menor	2 - 3
Baja	Falla inminente	4 - 5
Media	Falla que no detiene al equipo	6 - 7
Elevada	Falla crítica	8 - 9
Muy Elevada	Falla con riesgos de seguridad	10

Fuente: Aplicación del RCM a motores de gas

En la tabla 29 se visualiza la escala según la gravedad de la falla, desde el puntaje de 1 cuando es una falla imperceptible hasta el puntaje de 10 cuando es una falla con riesgo de seguridad.

4.2.1.2. Ocurrencia de la falla (o)

Tabla 30. Ocurrencia del RPN

Descripción	Puntaje
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2 - 3
1 falla cada año	4 - 5
1 falla entre 6 meses y un año	6 - 7
1 falla entre 1 a 6 meses	8 - 9
1 falla al mes	10

Fuente: Aplicación del RCM a motores de gas

En la tabla 30 se visualiza la escala según la ocurrencia de la falla, desde el puntaje de 1 cuando ocurre cada más de 2 años hasta el puntaje de 10 cuando ocurre cada mes.

4.2.1.3. Detección de la falla (d)

Tabla 31. Detección del RPN

Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2 – 3
Moderada	4 – 5
Frecuente	6 – 7
Elevada	8 – 9
Muy Elevada	10

Fuente: Aplicación del RCM a motores de gas

En la tabla 31 se visualiza la escala según la detección de la falla, desde el puntaje de 1 cuando es obvia hasta el puntaje de 10 cuando es muy elevada.

Las características de análisis del RPN son:

- ❖ $RPN > 200$ - *Inacceptable (I)*
- ❖ $200 > RPN > 125$ - *Reducción deseable (R)*
- ❖ $125 > RPN$ - *Acceptable (A)*

4.2.2. Análisis de modo y efecto de fallas del Cargador de Ruedas 01

El cargador de ruedas VOLVO L120F consta de los siguientes componentes:

- ❖ Sistema de motor de combustión interna
- ❖ Sistema de enfriamiento
- ❖ Sistema eléctrico
- ❖ Sistema de lubricación
- ❖ Sistema estructural
- ❖ Sistema hidráulico
- ❖ Sistema de combustible

Tabla 32. AMEF del Cargador de Ruedas VOLVO L120F

Equipo						Cuadro	Fecha		
Cargador de Ruedas 01						1 de 2	25/05/19		
Piezas		Fallas			Condiciones Existentes				
Nombre	Función	Modo de falla	Efectos Potenciales	Causas Probables	Controles Actuales	G	O	D	RPN
Sistema de motor de combustión interna	Genera la potencia para el arranque del cargador	Rotura de conductores	El cargador no funciona	Desgaste de camisetas	Mantenimiento preventivo	7	4	3	84
		Deformación de rodamientos		Cojinetes rayados		8	5	4	160
		Obstrucción del motor		Conductos obstruidos		4	3	1	12
Sistema de enfriamiento	Filtra los sólidos	Rotura del filtro	El cargador no funciona	Filtro deteriorado	Mantenimiento preventivo	5	7	1	35
		Obstrucción		Suciedad en el filtro		7	2	3	14
Sistema eléctrico - electrónico	Permite el arranque	Deformación	El cargador no funciona	Desgaste del sin fin del arrancador	Mantenimiento preventivo	7	3	4	84
Sistema de lubricación	Evita la fricción en zonas de contacto	Deformación	El cargador no funciona	Cañerías obstruidas	Mantenimiento preventivo	5	5	2	50
Sistema estructural	Soporta al cargador	Rotura	El cargador no funciona	Desgaste de base	Mantenimiento preventivo	7	2	3	42
				Mal uso del operario		4	4	2	32
Sistema hidráulico	Permite accionar los mandos del cargador	Deformación	El cargador no funciona	Mangueras quemadas	Mantenimiento preventivo	7	4	1	28
Sistema de combustible	Permite el funcionamiento del cargador	Rotura	El cargador no funciona	Tanque roto	Mantenimiento preventivo	8	3	2	48

4.2.3. Análisis de modo y efecto de fallas del Camión Cañero 02

En la tabla 32 se observa el AMEF del cargador de ruedas 01 donde el sistema de motor de combustión es el que tiene mayor RPN.

El camión cañero VOLVO FH400 consta de los siguientes componentes: Sistema de caja de cambios, Sistema de luces, Sistema eléctrico, Sistema de frenos, Sistema estructural y Sistema de combustible.

Tabla 33. AMEF del Camión cañero VOLVO FH400

Equipo						Cuadro			Fecha
Camión Cañero						2 de 2			25/05/2019
Piezas		Fallas			Condiciones Existentes				
Nombre	Función	Modo de falla	Efectos Potenciales	Causas Probables	Controles Actuales	G	O	D	RPN
Sistema de caja de cambios	Funcionamiento del camión	Deformación	Pérdida de velocidad del camión	Desgaste de dientes del tren principal	Mantenimiento preventivo	8	6	4	192
Sistema de luces	Guían al conductor	Obstrucción	Paro del camión	Suciedad en los faros	Mantenimiento preventivo	7	4	4	112
Sistema eléctrico	Permite el arranque	Deformación	Paro del camión	Desgaste arrancador	Mantenimiento preventivo	7	3	4	84
Sistema de frenos	Funcionamiento del camión	Obstrucción	Paro del camión	Desgaste de pastillas de frenos	Mantenimiento preventivo	8	5	3	120
Sistema estructural I	Soporta al camión	Rotura	Paro del camión	Desgaste de bolsas de aire		7	2	2	28
				Manipulación incorrecta del operario	4	4	2	32	
Sistema de combustible	Permite el funcionamiento del camión	Obstrucción en la bomba	Paro del camión	Descalibración de los inyectores	Mantenimiento preventivo	8	3	2	48

En la tabla 33 se observa el AMEF del camión cañero 02 donde el sistema de caja de cambios es el que tiene mayor RPN.

4.2.4. Resultados del AMEF de las máquinas

Tabla 34. Resumen de los AMEF a las máquinas en estado crítico

Máquina	Nombre	Modo de falla	Efectos Potenciales	Causas Probables	Controles Actuales	RPN	Nivel
Cargador de ruedas	Sistema de motor de combustión interna	Rotura de conductores	El cargador no funciona	Desgaste	Mantenimiento preventivo	84	A
		Deformación de rodamientos		Falta de engrasado		160	R
		Obstrucción del motor		Suciedad		12	A
	Sistema de enfriamiento	Rotura del filtro	El cargador no funciona	Desgaste	Mantenimiento preventivo	35	A
		Obstrucción		Suciedad		14	A
	Sistema eléctrico - electrónico	Deformación	El cargador no funciona	Desgaste	Mantenimiento preventivo	84	A
	Sistema de lubricación	Deformación	El cargador no funciona	Falta de engrasado	Mantenimiento preventivo	50	A
	Sistema estructural	Rotura	El cargador no funciona	Desgaste	Mantenimiento preventivo	42	A
				Mal uso del operario		32	A
Sistema hidráulico	Deformación	El cargador no funciona	Falta de engrasado	Mantenimiento preventivo	28	A	
Sistema de combustible	Rotura de piñones	El cargador no funciona	Desgaste	Mantenimiento preventivo	48	A	
Camión cañero	Sistema de caja de cambios	Deformación	Pérdida de velocidad del camión	Desgaste de dientes de piñón.	Mantenimiento preventivo	192	R
	Sistema de luces	Obstrucción	Paro del camión	Suciedad en los faros	Mantenimiento preventivo	112	A
	Sistema eléctrico	Deformación	Paro del camión	Desgaste	Mantenimiento preventivo	84	A
	Sistema de frenos	Obstrucción	Paro del camión	Desgaste de pastillas de frenos	Mantenimiento preventivo	120	A
	Sistema estructural	Rotura	Paro del camión	Desgaste de uniones	Mantenimiento preventivo	28	A
				Manipulación incorrecta del operario		32	A
Sistema de combustible	Obstrucción en la bomba	Paro del camión	Piñones desgastados	Mantenimiento preventivo	48	A	

En la tabla 34 se encuentra el resultado de los AMEF de las máquinas en estado crítico según la evaluación de criticidad.

4.2.5. Hojas de información

Tabla 35. Hoja de información de Cargador de Ruedas 01

Equipo	Cargador de Ruedas 01			
Sistema	Función (F)	Modo de fallo (MF)	Causa probable (CP)	Efectos potenciales
Sistema de motor de combustión interna	1. Genera la potencia para el arranque del cargador	A. Rotura de conductores	1. Desgaste	El cargador no funciona
		B. Deformación de rodamientos	1. Falta de engrasado	
		C. Obstrucción del motor	1. Suciedad	
Sistema de enfriamiento	2. Filtra los sólidos	A. Rotura del filtro	1. Desgaste	El cargador no funciona
		B. Obstrucción	1. Suciedad	
Sistema eléctrico - electrónico	3. Permite el arranque	A. Deformación	1. Desgaste	El cargador no funciona
Sistema de lubricación	4. Evita la fricción en zonas de contacto	A. Deformación	1. Falta de engrasado	El cargador no funciona
Sistema estructural	5. Soporta al cargador	A. Rotura	1. Desgaste 2. Mal uso del operario	El cargador no funciona
Sistema hidráulico	6. Permite accionar los mandos del cargador	A. Deformación	1. Falta de engrasado	El cargador no funciona
Sistema de combustible	7. Permite el funcionamiento del cargador	A. Rotura de piñones	1. Desgaste	El cargador no funciona

Tabla 36. Hoja de información de Camión Cañero 02

Equipo	Camión cañero 02			
Sistema	Función (F)	Modo de fallo (MF)	Causa probable (CP)	Efectos potenciales
Sistema de caja de cambios	1. Funcionamiento del camión	A. Deformación	1. Desgaste de dientes de piñón.	Pérdida del control del camión
Sistema de luces	2. Guían al conductor	A. Obstrucción	1. Suciedad en los faros	Paro del camión
Sistema eléctrico	3. Permite el arranque	A. Deformación	1. Desgaste	Paro del camión
Sistema de frenos	4. Funcionamiento del camión	A. Obstrucción	1. Desgaste de pastillas de frenos	Paro del camión
Sistema estructural	5. Soporta al camión	A. Rotura	1. Desgaste de uniones	Paro del camión
			2. Manipulación incorrecta del operario	
Sistema de combustible	6. Funcionamiento del camión	A. Obstrucción en la bomba	1. Piñones desgastados	Paro del camión

4.2.6. Hojas de decisión

Las hojas de información de la maquinaria en escala de referencia crítica se visualizan en la Tabla 35 para el cargador de ruedas 01 y en la Tabla 36 para el camión cañero 02 donde se resume la función, el modo de falla, la causa probable y los efectos potenciales para emplearlos en las hojas de decisión correspondientes.

Tabla 37. Hoja de decisión de Cargador de ruedas 01

Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H	H	H	Tareas a falta de			Tarea propuesta	Intervalo inicial	Realiza la tarea
							1	2	3						
F	C	MF	H	S	E	O	S	N	N	N	N	N	H	H	S
							1	2	3	4	5	4			
1	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado de los conductores	Mensual	Mecánico
1	B	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Engrasar los rodamientos correctamente	Diario	Operario
1	C	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Realizar limpieza del motor	Mensual	Operario
2	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado de los filtros	Trimestral	Mecánico
2	B	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Realizar limpieza de los filtros	Trimestral	Operario
3	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado del sistema eléctrico - electrónico	Diario	Electricista
4	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Engrasar el sistema de lubricación	Semanal	Operario
5	A	1	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado del cargador	Semanal	Operario
5	A	2	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Capacitar al personal	Mensual	Ingeniero
6	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar el sistema hidráulico	Mensual	Operario
7	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar el estado de los piñones	Semanal	Mecánico

En la Tabla 37 se visualiza la hoja de decisión de la maquinaria en la escala de referencia crítica del cargador de ruedas 01, esta se elaboró según las preguntas del árbol de decisiones que se encuentra en el Anexo 11.

Tabla 38. Hoja de decisión de Camión cañero 02

Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Tareas a falta de			Tarea propuesta	Intervalo inicial	Realiza la tarea
F	C P	M F	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	S	N	N	N	S	N	N	N	N	Verificar caja de cambios	Diario	Mecánico
2	A	1	S	S	N	S	N	S	S	N	N	N	Realizar limpieza a los faros	Diario	Operario
3	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Revisar el sistema eléctrico	Diario	Electricista
4	A	1	S	S	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar estado del sistema de frenos	Diario	Mecánico
5	A	1	S	S	N	N	N	S	N	N	N	N	Verificar estado del camión	Diario	Operario
5	A	2	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Capacitar al personal	Anual	Ingeniero
6	A	1	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Revisar estado de los piñones	Mensual	Mecánico

En la Tabla 38 se visualiza la hoja de decisión de la maquinaria en la escala de referencia crítica del camión cañero 02 que se elaboró usando como base las preguntas del árbol de decisiones que se encuentra en el Anexo 11.

4.3. PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

Para desarrollar este objetivo, se realizó la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad, el cual es vital debido a que presenta un conjunto de tareas coordinadas para controlar el proceso de mantenimiento.

4.3.1. Planificación del mantenimiento

Para la planificación del mantenimiento se empleó la herramienta de calidad 5W y 1H, siguiendo sus lineamientos:

4.3.1.1. What - ¿Qué se ha estado haciendo?

El tipo de mantenimiento realizado es el correctivo tercerizado, en el cual el operario espera a que se presenten fallos en la maquinaria para poder dar solución a los problemas dados, lo que implica desmontar los sistemas para encontrar la causa de la falla de los equipos.

4.3.1.2. Who – ¿Quién lo está haciendo?

El personal que realiza el mantenimiento en los equipos es una empresa tercera luego del diagnóstico dado por el supervisor y el auxiliar de mantenimiento de Transportes Río Blanco S. A. C.

4.3.1.3. When - ¿Cuándo se hará?

El plan de mantenimiento se basa en las horas de uso de los equipos, por lo que, para ejecución óptima del mismo, estos deben tener un controlador de horas, para saber con exactitud el tiempo en el que se debe realizar las acciones correctivas pertinentes. Debe evitarse el mantenimiento correctivo, previniendo y planificando.

4.3.1.4. Why - ¿Por qué debe hacerse?

Transportes Río Blanco S. A. C., al ser una empresa privada con ingresos elevados, debe de tener un plan de mantenimiento preventivo propio que pueda desarrollarse en la empresa y evitar paros imprevistos en la maquinaria, ya que esto le ocasiona el incremento en los costos.

4.3.1.5. Where - ¿Dónde debería hacerse?

Las actividades de mantenimiento en su totalidad deben realizarse dentro de la empresa Transportes Río Blanco S. A. C.

4.3.1.6. How - ¿Cómo debería hacerse?

La estrategia empleada es un mantenimiento preventivo basado en el RCM, por lo que se debe cumplir con los requisitos y objetivos establecidos. Esta estrategia es la base de la propuesta de implementación de nuevo programas de mantenimiento a futuro, ya que, en la presente investigación solo se trabaja con las máquinas en escala crítica.

4.3.2. Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento desarrollado es un proceso sistemático del que se despliegan alternativas para la implementación de un mantenimiento basado en confiabilidad mediante:

- Creación del registro de mantenimiento.
- Codificación e inventario de los equipos operativos.
- Categorización de la maquinaria.
- Empleo del método AMFE (Análisis Modal de Falla y Efecto) para analizar potenciales fallas y brindar posibles soluciones.
- Plan de mantenimiento preventivo

4.3.2.1. Creación del registro de mantenimiento

Documento empleado para registrar reportes por día de las tareas realizadas por el personal encargado del mantenimiento, registrando el historial de fallas de cada uno de los equipos, que facilita el control para los próximos mantenimientos, reduciendo y optimizando los tiempos y costos del mismo.

Es una herramienta vital para el mantenimiento preventivo, ya que permite conocer los equipos con mayores problemas al transcurrir el tiempo, y establecer estrategias para eliminar los problemas.

El formato servirá para registrar las tareas diarias de mantenimiento y también para cuando existan paros imprevistos o para la planificación de futuros mantenimientos, el supervisor debe utilizar este documento diariamente junto con sus colaboradores.

4.3.2.2. Codificación e inventario de los equipos operativos

Los equipos se describieron en el punto 3.1.1.2., de la investigación, y su codificación en la Tabla 4.

4.3.2.3. Categorización de los equipos

Se realizó el proceso de categorización o priorización de los equipos existentes en la empresa, para conocer las máquinas con mayores problemas, su influencia en los diferentes procesos y así enfocar todo el esfuerzo y conocimientos en la elaboración del plan preventivo para dicha máquina.

El proceso de priorización se realizó mediante el análisis de criticidad de las máquinas en el punto 3.1.2.3., y el resultado en la Tabla 23; teniendo como máquinas más críticas el cargador de ruedas 01 y el camión cañero 02.

4.3.2.4. Método AMFE

El método AMFE se aplicó para el cumplimiento del objetivo 2 de la investigación y se visualiza en las Tablas 32 y 33, las hojas de información en las Tablas 35 y 36 y las hojas de decisión en las Tablas 37 y 38.

4.3.2.5. Plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad

El plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad (RCM) se realizó teniendo como base los equipos es escala críticos, los cuales son el cargador de ruedas 01 y el camión “cañero” 02.

En la Tabla 39 se observa el plan de mantenimiento general con las actividades a realizar según el equipo al que pertenezca, el encargado y la frecuencia; este se obtuvo del desarrollo de los AMEF, las hojas de información y las hojas de decisión registradas en el objetivo anterior.

Tabla 39. Plan de mantenimiento general propuesto

Plan de Mantenimiento Transportes Río Blanco S. A. C.							
Equipo	Actividad	Materiales	Herramientas	Periodo	Encargado	Condición de máquina	Tiempo de ejecución (min)
Cargador de Ruedas 01	Verificar estado de los conductores			Diario	Mecánico	-	-
	Engrasar los rodamientos correctamente	Trapo industrial, grasa lubricante	Llaves: 5/8, 3/4, 7/8, desarmadores y pinzas	Semanal	Operario	Máquina parada	15
	Realizar limpieza del motor	Trapo industrial, lubricante	Compresora de aire	Semanal	Operario	Máquina parada	15
	Verificar estado de los filtros	Trapo industrial	Llave de correa para filtros	Semanal	Mecánico	Máquina parada	10
	Realizar limpieza de los filtros	Trapo industrial	Llave de correa para filtros	Diario	Operario	Máquina parada	15
	Verificar estado del sistema eléctrico - electrónico	Trapo industrial, cables, fusibles, relee	Llave: 8, 10,11, desarmadores, alicates y multímetro digital	Semanal	Electricista	Máquina parada	15
	Engrasar el sistema de lubricación	Trapo industrial, lubricante	Llaves: 5/8, 3/4, 7/8	Semanal	Operario	Máquina parada	15
	Verificar estado del cargador	Trapo industrial	Llave: desarmadores, alicates y multímetro digital, escáner	Semanal	Operario	Máquina parada	10
	Capacitar al personal	charlas y cursos de capacitación	laptop, cuadernos, lapiceros	Mensual	Ingeniero	-	-
	Verificar el sistema hidráulico	Trapo industrial	Llave: desarmadores, alicates y escáner	Mensual	Operario	Máquina parada	10
Verificar el estado de los piñones	Trapo industrial, grasa lubricante	Llaves, dados, palancas 1/2 y 3/4 desarmadores y pinzas	Semanal	Mecánico	Máquina parada	10	

Camión Cañero 02	Verificar estado de la caja de cambios		Llave: desarmadores	Diario	Operario	Máquina parada	10
	Realizar limpieza a los faros	Trapo industrial	Llaves, 10,11,13 dados 10, 11, 13, palanca 1/2 desarmadores y pinzas	Diario	Operario	Máquina parada	5
	Revisar el sistema eléctrico	Trapo industrial, cables, fusibles, rele	Llave: 8, 10,11, desarmadores, alicates y multímetro digital	Diario	Electricista	Máquina parada	10
	Verificar estado del sistema de frenos	Trapo industrial, grasa lubricante	Llave: 1/2, 9/16, desarmadores, alicates y martillo	Diario	Mecánico	Máquina parada	10
	Verificar estado del camión	Trapo industrial, grasa lubricante	Llaves, desarmadores y alicates	Diario	Operario	Máquina parada	10
	Capacitar al personal	charlas y cursos de capacitación	laptop, cuadernos, lapiceros	Mensual	Ingeniero	-	-
	Revisar estado de los piñones	Trapo industrial, grasa lubricante	Llaves, dados, palancas 1/2 y 3/4 desarmadores y pinzas	Mensual	Mecánico	Máquina parada	10

El plan de mantenimiento de la Tabla 39 se detalla a continuación según el responsable y la frecuencia de realización (diario, semanal y mensual) estableciendo la fecha para la ejecución:

➤ **Ingeniero Mecánico Eléctrico**

○ **Actividades mensuales**

En la tabla 40 se visualizan las actividades mensuales que debe realizar el Ingeniero Mecánico Eléctrico para dar cumplimiento al Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Tabla 40. Actividades mensuales realizadas por el Ing. Mecánico Eléctrico

Equipos	Actividad	Fecha de ejecución
C01	Capacitar al personal	Último día laborable de la primera semana del mes
CC02	Capacitar al personal	Último día laborable de la primera semana del mes

➤ **Técnico mecánico**

○ **Actividades diarias**

En la tabla 41 se visualizan las actividades diarias que debe realizar el Técnico Mecánico para dar cumplimiento al Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Tabla 41. Actividades diarias realizadas por el Técnico Mecánico

Equipos	Actividad	Fecha de ejecución
C01	Verificar estado de los conductores	Todos los días laborables
CC02	Verificar estado del sistema de frenos	Todos los días laborables

○ **Actividades semanales**

En la tabla 42 se visualizan las actividades semanales que debe realizar el Técnico Mecánico para dar cumplimiento al Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Tabla 42. Actividades semanales realizadas por el Técnico Mecánico

Equipos	Actividad	Fecha de ejecución
C01	Verificar el estado de los piñones	Primer día laborable de cada semana
C01	Verificar estado de los filtros	Primer día laborable de cada semana

○ **Actividades mensuales**

En la tabla 43 se visualizan las actividades mensuales que debe realizar el Técnico Mecánico para dar cumplimiento al Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Tabla 43. Actividades mensuales realizadas por el Técnico Mecánico

Equipos	Actividad	Fecha de ejecución
CC02	Revisar estado de los piñones	Último día laborable de la primera semana del mes

➤ **Electricista**

○ **Actividades diarias**

En la tabla 44 se visualizan las actividades diarias que debe realizar el Electricista para dar cumplimiento al Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Tabla 44. Actividades diarias realizadas por el Electricista

Equipos	Actividad	Fecha de ejecución
CC02	Revisar el sistema eléctrico	Todos los días laborables

○ **Actividades semanales**

En la tabla 45 se visualizan las actividades semanales que debe realizar el Electricista para dar cumplimiento al Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Tabla 45. Actividades semanales realizadas por el Electricista

Equipos	Actividad	Fecha de ejecución
C01	Verificar estado del sistema eléctrico - electrónico	Primer día laborable de cada semana

➤ **Operario**

○ **Actividades diarias**

En la tabla 46 se visualizan las actividades diarias que debe realizar el Operario para dar cumplimiento al Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Tabla 46. Actividades diarias realizadas por el Operario

Equipos	Actividad	Fecha de ejecución
C01	Realizar limpieza de los filtros	Todos los días laborables
	Realizar limpieza a los faros	Todos los días laborables
CC02	Verificar estado de la caja de cambios	Todos los días laborables
	Verificar estado del camión	Todos los días laborables

○ **Actividades semanales**

En la tabla 47 se visualizan las actividades semanales que debe realizar el Operario para dar cumplimiento al Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Tabla 47. Actividades semanales realizadas por el Operario

Equipos	Actividad	Fecha de ejecución
C01	Engrasar el sistema de lubricación	Primer día laborable de cada semana
	Engrasar los rodamientos correctamente	Primer día laborable de cada semana
	Realizar limpieza del motor	Primer día laborable de cada semana
	Verificar estado del cargador	Primer día laborable de cada semana

○ **Actividades mensuales**

En la tabla 48 se visualizan las actividades mensuales que debe realizar el Operario para dar cumplimiento al Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Tabla 48. Actividades mensuales realizadas por el Operario

Equipos	Actividad	Fecha de ejecución
C01	Verificar el sistema hidráulico	Último día laborable de la primera semana del mes

V. DISCUSION

Con el fin de organizar el cronograma del plan de mantenimiento que se propone, se recomienda que se pueda realizar en una hoja de cálculo Excel, para distribuir los mantenimientos que se tienen descritos. De esta manera, se programarán actividades de mantenimiento en un horizonte de 1 año, y así poder evaluar la propuesta presentada.

En la Tablas 49 y 50 se presentan los cronogramas anuales de las actividades a realizar para el Cargador de Ruedas 01 y el Camión Cañero 02. En el Anexo 12 se encuentran los formatos para las órdenes de trabajo de mantenimiento, el reporte de averías, el mantenimiento rutinario y el check list de las actividades.

Leyenda:

D	Diario	S	Semanal	M	Mensual
---	--------	---	---------	---	---------

5.1.1.1. Nuevos indicadores de mantenimiento

En las Tablas 51 y 52 se presenta el tiempo que toma en desarrollarse cada actividad que se desarrollará en el plan de mantenimiento propuesto, tanto para el Cargador de Ruedas 01 como para el Camión Cañero 02.

Tabla 51. Tiempo de paro programado para Cargador de Ruedas 01.

Máquina	Actividad	Periodo	Tiempo de ejecución (Minutos)	Veces por Año	Minutos al año	Horas al año
Cargador de Ruedas 01	Engrasar los rodamientos correctamente	Semanal	15	48	720,00	12,00
	Realizar limpieza del motor	Semanal	15	48	720,00	12,00
	Verificar estado de los filtros	Semanal	10	48	480,00	8,00
	Realizar limpieza de los filtros	Diario	15	288	4320,00	72,00
	Verificar estado del sistema eléctrico - electrónico	Semanal	15	48	720,00	12,00
	Engrasar el sistema de lubricación	Semanal	15	48	720,00	12,00
	Verificar estado del cargador	Semanal	10	48	480,00	8,00
	Verificar el sistema hidráulico	Mensual	10	12	120,00	2,00
	Verificar el estado de los piñones	Semanal	10	48	480,00	8,00
Total						146,00

Tabla 52. Tiempo de paro programado para Camión Cañero 02.

Máquina	Actividad	Periodo	Tiempo de ejecución (Minutos)	Veces por Año	Minutos al año	Horas al año
Camión Cañero 02	Verificar estado de la caja de cambios	Diario	10	288	2880,00	48,00
	Realizar limpieza a los faros	Diario	5	288	1440,00	24,00
	Revisar el sistema eléctrico	Diario	10	288	2880,00	48,00
	Verificar estado del sistema de frenos	Diario	10	288	2880,00	48,00
	Verificar estado del camión	Diario	10	288	2880,00	48,00
	Revisar estado de los piñones	Mensual	10	12	120,00	2,00
Total						218,00

Nueva confiabilidad

En la Tabla 53 se presenta la nueva confiabilidad con valores de 88,94% para el Cargador de Ruedas 01 y de 83,48% para el Camión Cañero 02.

Asimismo, se tiene una variación con respecto a la confiabilidad del diagnóstico de un 16% y 10% respectivamente.

Tabla 53. Nueva confiabilidad

Máquina	Nuevo Tiempo total de operación	Tiempo programado	Confiabilidad anterior	Nueva Confiabilidad	Variación
Cargador de Ruedas 01	1174	1320	74,92%	88.94%	16%
Camión Cañero 02	1102	1320	74,81%	83.48%	10%

Nueva mantenibilidad

En la Tabla 54 se presenta la nueva mantenibilidad con valores de 5,21 horas para el Cargador de Ruedas 01 y de 7,52 horas para el Camión Cañero 02.

Asimismo, se tiene una variación con respecto a la mantenibilidad del diagnóstico de un 56% y 34% respectivamente.

Tabla 54. Nueva mantenibilidad

Máquina	Tiempo para restaurar (horas)	Número de fallas	Tiempo medio para restaurar MTTR anterior	Nuevo Tiempo medio para restaurar MTTR	Variación
Cargador de Ruedas 01	146	28	11,82	5,21	56%
Camión Cañero 02	218	29	11,47	7,52	34%

Nueva Disponibilidad

En la Tabla 55 se presenta la nueva disponibilidad con valores de 87,56% para el Cargador de Ruedas 01 y de 80,22% para el Camión Cañero 02.

Asimismo, se tiene una variación con respecto a la confiabilidad del diagnóstico de un 14% y 7% respectivamente.

Tabla 55. Nueva disponibilidad

Máquina	Nuevo Tiempo medio entre fallas MTBF	Nuevo Tiempo medio para restaurar MTTR	Disponibilidad anterior	Nueva Disponibilidad	Variación
Cargador de Ruedas 01	36,71	5,21	74,92%	87,56%	14%
Camión Cañero 02	30,48	7,52	74,81%	80,22%	7%

5.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA

Después de realizado el plan de mantenimiento preventivo, en este objetivo se elaboró la evaluación económica de la propuesta para la obtención de los indicadores económicos costo – beneficio, VAN y TIR.

5.2.1. Costos del plan de mantenimiento

Las Tablas 56 y 57 muestran el costo total de la mano de obra para los 02 equipos críticos, según las horas totales anuales de mantenimiento preventivo.

Tabla 56. Costo mano de obra para mantenimiento en Cargador 01

Máquina	Actividad	Encargado	Horas al año	Costo H-H (S/)	Costo M.O. (S/.)
Cargador de Ruedas 01	Engrasar los rodamientos correctamente	Operario	12	4,84	58,13
	Realizar limpieza del motor	Operario	12	4,84	58,13
	Verificar estado de los filtros	Mecánico	8	5,10	40,83
	Realizar limpieza de los filtros	Operario	72	4,84	348,75
	Verificar estado del sistema eléctrico - electrónico	Electricista	12	5,10	61,25
	Engrasar el sistema de lubricación	Operario	12	4,84	58,13
	Verificar estado del cargador	Operario	8	4,84	38,75
	Verificar el sistema hidráulico	Operario	2	4,84	9,69
	Verificar el estado de los piñones	Mecánico	8	5,10	40,83
Total			146		714,48

Tabla 57. Costo mano de obra para mantenimiento en Camión 02

Máquina	Actividad	Encargado	Horas al año	Costo H-H (S/.)	Costo M.O. (S/.)
Camión Cañero 02	Verificar estado de la caja de cambios	Operario	48	4,84	232,50
	Realizar limpieza a los faros	Operario	24	4,84	116,25
	Revisar el sistema eléctrico	Electricista	48	5,10	245,00
	Verificar estado del sistema de frenos	Mecánico	48	5,10	245,00
	Verificar estado del camión	Operario	48	4,84	232,50
	Revisar estado de los piñones	Mecánico	2	5,10	10,21
Total			218		1 081,46

Tabla 58. Costo total anual del Plan de Mantenimiento propuesto

Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Implantación del plan				1 400,00
Comunicación interna	Global	1	200,00	200,00
Capacitación	Global	12	100,00	1200,00
Materiales				18 516,00
Trapo industrial	Kg	24	4,00	96,00
Grasa	Galón	6	150,00	900,00
Lubricante	Litro	96	37,50	3600,00
Limpiador de motor y aditivo	Galón	48	120,00	5760,00
Limpiador de filtros por 0,5 l	Litro	48	70,00	3360,00
Lmpiador de faros por 20ml	ml	240	20,00	4800,00
Repuestos				1 120,00
Rodamiento	Unidad	4	80,00	320,00
Relee	Unidad	4	50,00	200,00
Piñones	Unidad	8	75,00	600,00
Mano de obra				1 795,94
Mano de obra Cargador 01	Global	1	714,48	714,48
Mano de obra Camión 02	Global	1	1081,46	1081,46
Material de oficina				600,00
Útiles de oficina por mes	Global	12	50,00	600,00
Total				23 431,94

La Tabla 58 presenta el costo total anual para la implementación del plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad, el mismo que asciende a **S/. 23 431,94**.

5.2.2. Costo beneficio

El beneficio que resulta de la aplicación del plan de mantenimiento propuesto será evitar los costos por mantenimiento por paradas no planificadas de los 02 equipos críticos que fueron evaluados. Esto es 16 060,00 y 13 040,00 respectivamente.

El costo de la implementación de la propuesta es de S/. 23 431,94. Por lo que también se puede precisar que se obtiene un ahorro de S/. 5 668,06.

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{29\ 100,00}{23\ 431,94}$$

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = 1,24$$

Esto significa que por cada sol que se invierte en el plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad, el beneficio será de 0,24 soles.

5.2.3. Evaluación económica

Para el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) se consideraron los 10 años de depreciación usuales de la maquinaria a una tasa del 12% considerando el flujo como el beneficio (ahorro) que se obtiene al aplicar el plan de mantenimiento basado en confiabilidad. Para el Flujo inicial se considera el costo de implantación de la propuesta. En la Tabla 59 se visualiza el VAN con los 5 primeros años de lanzada la propuesta.

Tabla 59. Cálculo del VAN y TIR

BENEFICIOS	Unidad	0	1	2	3	4	5
Costo Carguero 01	S/.	S/. 0,00	S/. 55,780.00	S/. 55 780,00	S/. 55 780,00	S/. 55 780,00	S/. 55 780,00
Costo Camión Ruedas 02	S/.		S/. 52,940.00	S/. 52 940,00	S/. 52 940,00	S/. 52 940,00	S/. 52 940,00
Total Beneficios		S/. 0,00	S/. 108,720.00	S/. 108 720,00	S/. 108 720,00	S/. 108 720,00	S/. 108 720,00
COSTOS							
Comunicación interna	S/.	S/. 200,00	S/. 200,00	S/. 200,00	S/. 200,00	S/. 200,00	S/. 200,00
Capacitación	S/.	S/. 1 200,00	S/. 1 200,00	S/. 1 200,00	S/. 1 200,00	S/. 1 200,00	S/. 1 200,00
Trapo industrial	S/.	S/. 96,00	S/. 96,00	S/. 96,00	S/. 96,00	S/. 96,00	S/. 96,00
Grasa	S/.	S/. 900,00	S/. 900,00	S/. 900,00	S/. 900,00	S/. 900,00	S/. 900,00
Lubricante	S/.	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00
Limpiador de motor y aditivo	S/.	S/. 5 760,00	S/. 5 760,00	S/. 5 760,00	S/. 5 760,00	S/. 5 760,00	S/. 5 760,00
Limpiador de filtros por 0,5 l	S/.	S/. 3 360,00	S/. 3 360,00	S/. 3 360,00	S/. 3 360,00	S/. 3 360,00	S/. 3 360,00
Limpiador de faros por 20ml	S/.	S/. 4 800,00	S/. 4 800,00	S/. 4 800,00	S/. 4 800,00	S/. 4 800,00	S/. 4 800,00
Rodamiento	S/.	S/. 320,00	S/. 320,00	S/. 320,00	S/. 320,00	S/. 320,00	S/. 320,00
Relee	S/.	S/. 200,00	S/. 200,00	S/. 200,00	S/. 200,00	S/. 200,00	S/. 200,00
Piñones	S/.	S/. 600,00	S/. 600,00	S/. 600,00	S/. 600,00	S/. 600,00	S/. 600,00
Mano de obra Cargador 01	S/.	S/. 714,48	S/. 714,48	S/. 714,48	S/. 714,48	S/. 714,48	S/. 714,48
Mano de obra Camión 02	S/.	S/. 1 081,46	S/. 1 081,46	S/. 1 081,46	S/. 1 081,46	S/. 1 081,46	S/. 1 081,46
Útiles de oficina por mes	S/.	S/. 600,00	S/. 600,00	S/. 600,00	S/. 600,00	S/. 600,00	S/. 600,00
Total Costos		S/. 23 431,94	S/. 23 431,94	S/. 23 431,94	S/. 23 431,94	S/. 23 431,94	S/. 23 431,94
UTILIDAD BRUTA		-S/. 23 431,94	S/. 85 288,06	S/. 85 288,06	S/. 85 288,06	S/. 85 288,06	S/. 85 288,06
Depreciación			S/. 224,00	S/. 224,00	S/. 224,00	S/. 224,00	S/. 224,00
Utilidad antes Impuestos			S/. 85 512,06	S/. 85 512,06	S/. 85 512,06	S/. 85 512,06	S/. 85 512,06
Impuestos			S/. 25 653,62	S/. 25 653,62	S/. 25 653,62	S/. 25 653,62	S/. 25 653,62
UTILIDAD NETA		-S/. 23 431,94	S/. 59 858,44	S/. 59 858,44	S/. 59 858,44	S/. 59 858,44	S/. 59 858,44

VAN S/. 215,776.29

TIR 255%

B/C 4.54

Con estos indicadores se concluye que el plan de mantenimiento RCM es viable y rentable para la empresa.

VI. CONCLUSIONES

6.1. CONCLUSIONES

1. Se elaboró un diagnóstico de la situación actual del mantenimiento realizado por la empresa a su flota de transporte para determinar su estado. La empresa realiza mantenimiento correctivo tercerizado cuyos costos en el año 2018 ascendieron a un total de S/. 63 220,00. Al realizarse la auditoría en el departamento se determinó un total de 8 545 horas extra del personal por parada de maquinaria y un total de 389 fallas en las diferentes máquinas. Asimismo, se obtuvieron ingresos no percibidos valorizados en un total de S/. 602 880,00 por las 5 024 horas de inoperatividad de las máquinas. Se determinó las máquinas en estado crítico que requieren de mantenimiento preventivo mediante la evaluación de criticidad y se seleccionaron las de escala crítica para el plan de mantenimiento, esta fueron el cargador de ruedas 01 y el camión cañero 02.
2. Se elaboró los análisis de modo y efecto de falla de las máquinas en estado crítico para determinar las fallas, modos de falla, efectos de falla y con esos datos elaborar las hojas de información y tomar una decisión en base al árbol de decisiones empleando la hoja de decisión.
3. Se realizó el plan de mantenimiento preventivo del cargador 01 y el camión cañero 02 al ser los dos equipos en una escala crítica según el análisis de criticidad determinando los responsables y la periodicidad con la finalidad de prevenir las fallas, evitar las paradas y reducir los costos que se generan por mantenimiento correctivo.
4. En la evaluación económica del plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad se obtiene un VAN de S/. 215 776,29 y un TIR de 255% y una relación costo – beneficio de 4.54.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar el plan de mantenimiento preventivo de la totalidad de los equipos (cargadores, camiones “cañeros” y carretas) que tiene la empresa para determinar los beneficios globales en la reducción de costos de mantenimiento correctivo.
2. Elaborar un programa anual de todos los planes de mantenimiento de los equipos (cargadores, camiones “cañeros” y carretas) de la empresa empleando la herramienta de ofimática Excel para llevar data histórica exacta de los equipos.
3. Seguir las actividades establecidas dentro del Plan de Mantenimiento centrado en confiabilidad para pasar de Mantenimiento Preventivo a Mantenimiento Predictivo.


VIII. LISTA DE REFERENCIAS

- [1] J. A. Barbero y P. Guerrero, «El transporte automotor de carga en América Latina,» 2017. [En línea]. Available: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/8227/El-transporte-automotor-de-carga-en-America-Latina-Soporte-logistico-de-la-produccion-y-el-comercio.PDF?sequence=1>. [Último acceso: 27 Febrero 2019].
- [2] IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial, Gestión y Planificación del Mantenimiento Industrial, Lima: Grupo América Factorial S.A.C., 2008.
- [3] Organización Internacional de Normalización, «Tendencias del transporte,» 2017. [En línea]. [Último acceso: 27 Febrero 2019].
- [4] Ministerio de comercio exterior y turismo, «Guía de orientación al usuario del transporte terrestre,» Junio 2015. [En línea]. Available: https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/facilitacion_comercio_exterior/Guia_Transporte_Terrestre_13072015.pdf. [Último acceso: 27 Febrero 2019].
- [5] E. Rodríguez Pérez, C. M. Bonet Borjas y L. Pérez Quiñones, «Propuesta de sistema de mantenimiento a los vehículos de transporte urbano y agrícola de una base de transporte de carga,» *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. XXII, n° 2, pp. 61-67, 2013.
- [6] A. Díaz Concepción, L. Villar Ledo, J. Cabrera Gómez, A. S. Gil Henríquez, R. Mata Alonzo y A. J. Rodríguez Piñeiro, «Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica,» *Ingeniería Mecánica*, vol. XIX, n° 3, pp. 137-142, 2016.
- [7] C. R. Vishnu y V. Regikumar, «Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study,» *Procedia Technology*, vol. XXV, pp. 1080-1087, 2016.
- [8] F. Piechnicki, E. Loures y E. Santos, «A conceptual framework of knowledge conciliation to decision,» *Procedia Manufacturing*, vol. XI, pp. 1135-1144, 2017.
- [9] J. P. Diestra Quevedo, L. Esquiviel Paredes y R. Guevara Chinchayan, «Programa de Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (RCM), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad,» *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, vol. IV, n° 1, 2017.
- [10] J. Moubray, Mantenimiento centrado en la confiabilidad, Madrid, 2014.
- [11] O. García Palencia, Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial, Bogotá: Ediciones de la U, 2012.
- [12] S. García, Organización y gestión integral de mantenimiento, Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A., 2003.
- [13] L. A. Mora Gutiérrez, Mantenimiento. Planeación, ejecución y control, México D.F.: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V., 2009.
- [14] J. Moubray, Mantenimiento centrado en la confiabilidad, Madrid, 2004.
- [15] N. Gaither y . G. Fraizer, Administración de la producción y operaciones, Madrid: Ediciones Internacional Thompson, 2000.

- [16] C. A. Parra Márquez y A. Crespo Márquez, *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos*, Sevilla: Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento, 2012.
- [17] L. J. Amendola, *Gestión de Proyectos de Activos Industriales*, Valencia: Ediciones Universidad Politécnica de Valencia, 2006.
- [18] F. J. González Fernández, *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*, Madrid: Fundación Confemetal, 2003.
- [19] J. Gutiérrez, «Desarrollo de una estrategia de mantenimiento basado en RCM para líneas de transmisión de 115kv,» *Scientia Et Technica*, vol. xv, n° 42, pp. 11 - 18, 2009.
- [20] R. Arroyo, «¿Cuánta azúcar se produce en el norte y se importa al Perú?,» *El Comercio*, 06 Junio 2017.
- [21] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO , «Seguimiento del Mercado del arroz de la FAO,» FAO, 27 Abril 2018. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/economic/est/publicaciones/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/>. [Último acceso: 15 Febrero 2019].
- [22] P. Méndez del Villar, «Informativo mensual del mercado de arroz,» Infoarroz - Cirad, Enero 2018. [En línea]. Available: http://www.infoarroz.org/portal/uploadfiles/20180211112138_15_ia0118es.pdf. [Último acceso: 19 Febrero 2019].
- [23] Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI, «Arroz,» MINAGRI, 24 Agosto 2018. [En línea]. Available: http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/nota-coyuntura-arroz-280818_2.pdf. [Último acceso: 24 Febrero 2019].
- [24] RPP Noticias, «Lambayeque cuenta con el mayor porcentaje de arroz almacenado,» RPP, 25 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://rpp.pe/peru/lambayeque/lambayeque-cuenta-con-el-mayor-porcentaje-de-arroz-almacenado-noticia-1152252>. [Último acceso: 21 Febrero 2019].
- [25] P. Viveros, «Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo,» *Revista chilena de ingeniería*, vol. XXI, n° 1, pp. 125 - 138, 2013.
- [26] D. Sillivant, «Reliability Centered Maintenance Cost Modeling: Lost Opportunity Cost,» *University of Alabama in Huntsville*, 2015.
- [27] Organización Internacional de Normalización, «Tendencias del transporte,» Pearson, Madrid, 2017.


IX. ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica del cargador de ruedas Volvo L120E

Cargador de Ruedas Volvo L120E		
	Transmisión	
	Tipo de transmisión	Volvo HTE205
	Número de marchas adelante	4
	Número de marchas atrás	4
	Velocidad máxima hacia adelante	35,1 km/h
	Velocidad máxima marcha atrás	35,1 km/h
Sistema Hidráulico		
Presión de la válvula de regulación	25 000 kPa	
Capacidad de la bomba	145 L/min	
Tiempo de elevación	5,4 s	
Tiempo de descarga	2,1 s	
Tiempo de bajada	2,5 s	
Pala		
Fuerza de arranque	159,9 kN	
Despeje sobre el suelo de descargas a máxima elevación	2 750 mm	
Ancho de la pala	2 880 mm	
Capacidad de pala colmada	3,3 m ³	
Motor		
Fabricante	Volvo	
Modelo	D7D LA E2	
Potencia efectiva	166,3 kW	
Potencia total	167 kW	
Potencia media en	1 800 rpm	
Cilindrada	7,1 L	
Momento de fuerza tomado en	1 400 rpm	
Número de cilindros	6	
Momento de fuerza máxima	1 020 Nm	
Explotación		
Tamaño del neumático	23.5R25 L3	
Peso útil	18 960 kg	
Volumen del combustible	215 L	
Volumen del fluido del sistema hidráulico	143 L	
Volumen de aceite del motor	21 L	
Volumen del fluido del sistema refrigerante	70 L	
Volumen del fluido del sistema de transmisión	38 L	
Volumen del fluido del eje delantero / diferencial	36 L	
Volumen del fluido del eje trasero / diferencial	41 L	
Peso límite de equilibrio estático	14 180 kg	
Radio de giro	6 405 mm	
Tensión de funcionamiento	24 V	
Amperaje del generador	55 amperios	
Balaceo del eje trasero	26 grados	
Dimensiones		
Longitud con la pala a nivel del suelo	8 250 mm	
Altura máxima hasta el codo del brazo	4 110 mm	
Anchura entre neumáticos	2 680 mm	
Alcance a máxima elevación y descarga	1 350 mm	
Altura hasta la parte superior de la cabina	3 360 mm	
Despeje sobre el suelo	400 mm	
Eje de ruedas	3 200 mm	

Fuente: Empresa Volvo

Anexo 2. Ficha técnica del camión cañero FH400

Camión "Cañero" FH400		
	Fórmula rodante	4 x 2 tracto
	Distancia entre ejes	3 700 mm
	Radio de giro	6 700 mm
	Capacidad eje delantero	7 100 kg
	Capacidad eje posterior	13 000 kg
	PBV Técnico	20 100 kg
	PBC Máximo	70 000 kg
Motor		D13A 400
Potencia	1 800 rpm	
Torque	1 400 rpm	
Cilindrada	12,8 L	
Rango económico	1 600 rpm	
Caja de cambios		VT2214B
Torque máximo	2 200 Nm	
Accionamiento	Manual / Por cables	
Número de marchas hacia adelante / reversa	14 (12 + 2 ultralentas) / 4R	
Suspensión delantera		FAL 7.1
Tipo	Ballestas Parabólicas	
Amortiguador	2	
Carga	7.1	
Eje Posterior		RSS1360
Bloqueo de diferencial	(4 x 2T / 6 x 2T)	
Cubos reductores	Entre ejes	
Relaciones de reducción	No	
Capacidad de arrastre	2,47 / 2,85 / 3,08	
Cabina		Litera
Altura Interna	1 710 mm	
Largo Interno	1 950 mm	
Ancho Interno	2 170 mm	
Suspensión Posterior		RAD - L90 4 x 2
Tipo	Ballestas Parabólicas	
Amortiguador	2	
Barra estabilizadora	Sí	
Carga Vertical	13 T	
Frenos	Disco / Tambor	
Tanque de combustible		FH 4 x 2 T
Volumen	450 L derecha + 170 L izquierda	
Ruedas y neumáticos		Ruedas disco de acero
Aro	8,25 x 22,5"	
Neumáticos	295 / 80R22,5"	

Fuente: Empresa Volvo

Anexo 3. Ficha técnica de la carreta Famecus

Carreta Famecus



Longitud	13 m x 2,6 m
Ejes	3
Aro	71,5 pulgadas
Mamparón	1,8 m
Suspensión	Mecánica con muelles
Piso	Plancha estriada
Engranajes	2 velocidades
Winches laterales	6
Sistema neumático	4 pulmones simples y 2 pulmones dobles
Sistema eléctrico	Faros laterales y posteriores

Fuente: Empresa Famecus

Anexo 4. Auditoría de mantenimiento

Para la auditoría de mantenimiento se realizó una encuesta brindada por el ingeniero Jaime Collantes Borges donde consta de 12 categorías con 10 preguntas respectivas como se observa en la siguiente Tabla:

Diagnóstico de Mantenimiento								
Empresa		TRANSPORTES RÍO BLANCO S.A.C.						
1	Organización del departamento de Mantenimiento	Puntaje						
Nº	Componentes	1	2	3	4	5	6	7
1,01	Claridad de la ubicación del Departamento de Mantenimiento dentro de la organización de su empresa.	4	8	7	3	4	2	3
1,02	Claridad de la Organización del departamento de Mantenimiento de su empresa.	2	4	5	3	2	1	1
1,03	Autonomía que el departamento de mantenimiento tiene dentro de la Organización de su empresa.	1	4	2	1	1	1	1
1,04	¿Cómo calificaría la organización del departamento de mantenimiento en la organización?	1	2	5	3	1	1	1
1,05	¿Cómo calificaría las vías de comunicación entre el dpto. de mantenimiento con los otros departamentos?	1	4	5	2	3	3	2
1,06	¿Cómo calificaría las vías de comunicación internas del departamento de mantenimiento?	4	8	7	1	1	1	1
1,07	Grado de Impacto de mantenimiento sobre la ganancia de su empresa.	7	8	7	1	1	1	1
1,08	El departamento de mantenimiento tiene definidas claramente sus funciones.	2	5	6	1	2	1	1
1,09	El departamento de mantenimiento tiene claramente definidas sus responsabilidades.	1	5	6	1	1	1	1
1,10	El departamento de mantenimiento es considerado para toma de decisiones por los demás departamentos.	4	3	2	1	1	3	2
2	Administración del departamento de Mantenimiento	Puntaje						
Nº	Componentes	1	2	3	4	5	6	7
2,01	¿Cómo calificaría el Apoyo de la Gerencia de Operaciones al departamento de mantenimiento?	4	2	1	1	2	3	2
2,02	¿Cómo calificaría la comunicación de todos los dptos. de su empresa con el dpto. de mantenimiento?	6	3	5	3	4	4	5
2,03	¿Cómo calificaría el Apoyo del departamento de Recursos Humanos al departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
2,04	¿Cómo calificaría el Apoyo del departamento de Logística al departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
2,05	¿Cómo calificaría el Apoyo de las divisiones de Ventas al departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
2,06	¿Cómo calificaría el Apoyo del departamento de Sistemas al departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
2,07	¿Cómo calificaría el Apoyo del departamento de Contabilidad al departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1

2,08	¿Cómo calificaría el Apoyo del departamento de Finanzas al departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
2,09	¿Cómo calificaría el Apoyo del departamento de Control de Calidad al departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
2,10	La información de la planta le llega a Mantenimiento a tiempo y en forma.	1	2	1	1	1	2	2
3	Planeamiento del Mantenimiento	Puntaje						
Nº	Componentes	1	2	3	4	5	6	7
3,01	¿Cómo calificaría el Planeamiento de mantenimiento dentro de la Organización de su empresa?	2	3	2	1	1	1	1
3,02	¿Cómo calificaría la Recepción de solicitudes de servicio de producción por el dpto. de Mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
3,03	¿Cómo calificaría el manejo de Ordenes de trabajo en el departamento de mantenimiento?	2	2	1	1	1	1	1
3,04	¿Cómo calificaría el Planeamiento de la Mano de obra en el departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
3,05	¿Cómo calificaría el Planeamiento de Materiales en el departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
3,06	¿Cómo calificaría el Planeamiento del Equipo de Mantenimiento en el departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
3,07	¿Cómo calificaría el Planeamiento de los contratistas en el departamento de mantenimiento?	5	6	4	2	1	2	2
3,08	¿Cómo calificaría la Coordinación de fechas para realizar mantenimiento con Producción?	1	1	1	1	1	1	1
3,09	¿Cómo calificaría el Planeamiento del mantenimiento preventivo en el departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
3,10	¿Cómo calificaría el Reporte de cumplimiento de mantenimiento planeado por el dpto. de mantenimiento?	2	3	2	1	1	1	1
4	Programación del Mantenimiento	Puntaje						
Nº	Componentes	1	2	3	4	5	6	7
4,01	¿Cómo calificaría la programación del mantenimiento dentro de la Organización de su empresa?	1	1	1	1	1	1	1
4,02	¿Cómo calificaría la Programación de las solicitudes de servicio de producción?	1	1	1	1	1	1	1
4,03	¿Cómo calificaría la Programación de la Orden de trabajo en el departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
4,04	¿Cómo calificaría la Programación de la Mano de obra en el departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
4,05	¿Cómo calificaría la Programación de Materiales en el departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
4,06	¿Cómo calificaría la Programación del Equipo de Mantenimiento en el departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
4,07	¿Cómo calificaría la Programación de los contratistas en el departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
4,08	¿Cómo calificaría la Coordinación con Producción para la entrega de máquina para realizar mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
4,09	¿Cómo calificaría la Programación del mantenimiento preventivo en el departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
4,10	¿Cómo calificaría el Reporte de cumplimiento de mantenimiento programado por el dpto. de mantenimiento.	1	1	1	1	1	1	1

5 Personal del departamento de mantenimiento								
5	Personal del departamento de mantenimiento	Puntaje						
Nº	Componentes	1	2	3	4	5	6	7
5,01	El departamento de Mantenimiento tiene el personal en cantidad suficiente?	2	1	1	1	1	1	1
5,02	El departamento de Mantenimiento tiene el personal con calidad técnica?	4	2	1	2	2	2	2
5,03	El departamento de Mantenimiento tiene el personal con experiencia suficiente?	4	2	2	2	2	2	2
5,04	El personal de Mantenimiento conocen y están involucrados con los objetivos de la Empresa?	3	1	2	1	1	1	1
5,05	El personal de Mantenimiento está involucrado con los objetivos propios de su departamento?	3	1	1	1	1	1	1
5,06	El personal de Mantenimiento es evaluado y calificado periódicamente?	1	1	1	1	1	1	1
5,07	Facilidad para cubrir al personal de Mantenimiento. (10 cuando es muy fácil)	3	4	2	4	4	2	2
5,08	El personal de Mantenimiento trabajan solos y son responsables de las tareas que realizan.	4	2	1	1	2	3	1
5,09	El personal de Mantenimiento tiene habilidades para resolver problemas y tomar decisiones solos.	4	2	1	1	1	2	1
5,10	El personal del Mantenimiento recibe capacitación técnica externa permanentemente.	1	1	1	1	1	1	1
6 Ejecución del Mantenimiento								
6	Ejecución del Mantenimiento	Puntaje						
Nº	Componentes	1	2	3	4	5	6	7
6,01	El personal de Mantenimiento acciona en base a planes y programas.	1	2	1	1	1	1	1
6,02	El departamento de mantenimiento participa en la elaboración de los programas de producción?	1	1	1	1	1	1	1
6,03	¿Cómo calificaría la aplicación del concepto de MP en la planta, inspección y revisión planeadas?	1	1	1	1	1	1	1
6,04	¿Cómo calificaría el desempeño del dpto. de mantenimiento para resolver los problemas de emergencia?	4	3	2	1	1	1	1
6,05	El dpto. de mantenimiento devuelve las solicitudes de mantto. con la información de los trabajos realizados?	2	2	1	1	1	1	1
6,06	El departamento de mantenimiento tiene archivos de documentación técnica e historial de equipos al día?	2	1	2	1	1	1	1
6,07	El departamento de mantenimiento dispone de repuestos y suministros generales en los almacenes?	2	1	2	1	1	1	1
6,08	El dpto. de mantenimiento dispone de suficientes herramientas, equipos y máquinas en buen estado?	2	1	1	1	1	1	1
6,09	El departamento de mantenimiento presta atención, estudia y resuelve los casos de fallas repetitivas?	3	2	2	1	1	1	1
6,10	El departamento de mantenimiento dispone con suficiente datos sobre costos y presupuestos?	2	2	2	1	1	1	1
7 Supervisión en el departamento de Mantenimiento								
7	Supervisión en el departamento de Mantenimiento	Puntaje						
Nº	Componentes	1	2	3	4	5	6	7
7,01	Existe supervisión del personal de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
7,02	La supervisión de mantenimiento conoce sus obligaciones técnicas, funciones y responsabilidades?	1	1	1	1	1	1	1

7,03	La supervisión elabora los planes y programas de actividades de Mantenimiento y los controla?	1	1	1	1	1	1	1
7,04	La supervisión conoce, cumple y hace cumplir la política y objetivos del departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
7,05	La supervisión maneja y aplica la economía y control de costos de mantenimiento de su empresa?	1	1	1	1	1	1	1
7,06	La supervisión de mantenimiento de la planta sabe escuchar a su personal?	1	1	1	1	1	1	1
7,07	La supervisión de mantenimiento de la planta analiza y resuelve problemas por sí misma?	1	1	1	1	1	1	1
7,08	La supervisión de mantenimiento de la planta sabe escuchar a otro personal de otros departamentos?	1	1	1	1	1	1	1
7,09	La supervisión de mantenimiento tiene fluida relación con los niveles superiores de la planta?	1	1	1	1	1	1	1
7,10	¿Cómo calificaría la relación entre los Supervisores de Operaciones con los supervisores de Mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
8	Abastecimiento para el departamento de mantenimiento	Puntaje						
Nº	Componentes	1	2	3	4	5	6	7
8,01	¿Cómo calificaría la respuesta a las solicitudes de compras pedidos por el dpto. de mantenimiento?	5	3	3	1	1	1	1
8,02	Los Almacenes de repuestos para mantenimiento están correctamente ordenados?	5	2	1	1	1	1	1
8,03	¿Cómo están los mecanismos de recepción de repuestos para mantenimiento en calidad y cantidad?	3	3	2	1	1	1	1
8,04	Se compra en base a especificaciones precisas del departamento de mantenimiento?	2	2	1	1	1	1	1
8,05	El Catálogo de Componentes (repuestos) de la planta es permanentemente actualizado?	2	2	1	1	1	1	1
8,06	Disponibilidad de repuestos, materiales y suministros para mantenimiento?	2	2	1	1	1	1	1
8,07	El departamento de Mantenimiento de la planta tiene participación en el proceso de compra?	5	2	1	1	1	1	1
8,08	El Registro de Proveedores para mantenimiento es actualizado permanentemente?	2	1	1	1	1	1	1
8,09	Se respetan los niveles máximos / mínimo de existencias para mantenimiento? (stock)	2	1	1	1	1	1	1
8,10	Es fácil contratar servicios de terceros para mantenimiento?	6	5	6	8	8	7	7
9	Procesos de Gestión para el departamento de mantenimiento	Puntaje						
Nº	Componentes	1	2	3	4	5	6	7
9,01	¿Cómo calificaría los Planes a Mediano y Largo plazo del departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
9,02	¿Cómo calificaría las Metas y Objetivos para Todos los Niveles del departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
9,03	¿Cómo calificaría el Presupuesto del departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
9,04	¿Cómo calificaría los Métodos y procedimientos del departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
9,05	¿Cómo calificaría los Indicadores de Medición del Desempeño del departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1

9,06	¿Cómo calificaría los Indicadores de Control de Costos del departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
9,07	¿Cómo calificaría los Indicadores de Control de mano de obra del departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
9,08	¿Cómo calificaría los Evaluación del desempeño individual en el departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
9,09	¿Cómo calificaría los Proceso de Selección de Personal en el departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
9,10	El grado de Conocimiento de las necesidades del Cliente interno por parte del dpto. de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
10	Sistemas informáticos para el departamento de mantenimiento	Puntaje						
Nº	Componentes	1	2	3	4	5	6	7
10,01	Existe un Sistema Informático de Mantenimiento en la organización?	1	1	1	1	1	1	1
10,02	Existe un Registro de Equipos en el Sistema Informático de su empresa?	1	1	1	1	1	1	1
10,03	Existe un programa para la Gestión de Orden de trabajo en el Sistema Informático de su empresa?	1	1	1	1	1	1	1
10,04	Existe un programa para el Planeamiento de trabajos de mantto. en el Sistema Informático de su empresa?	1	1	1	1	1	1	1
10,05	Existe un programa para la Programación de trabajos de mantto. en el Sistema Informático de su empresa?	1	1	1	1	1	1	1
10,06	Existe un programa para el Control de Existencias (stock) en el Sistema Informático de su empresa?	1	1	1	1	1	1	1
10,07	Existe una base de datos para el Historial de los Equipos en el Sistema Informático de su empresa?	1	1	1	1	1	1	1
10,08	Existe un programa para el Control de costos en el Sistema Informático de su empresa?	1	1	1	1	1	1	1
10,09	Existe un programa para el Monitoreo de la Condición de Equipos en el Sistema Informático de su empresa?	1	1	1	1	1	1	1
10,10	Existe un programa para medir rendimiento de los Equipos en el Sistema Informático de su empresa?	1	1	1	1	1	1	1
11	Seguridad para el departamento de mantenimiento	Puntaje						
Nº	Componentes	1	2	3	4	5	6	7
11,01	¿Cómo calificaría a la Política de Seguridad del departamento de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
11,02	¿Cómo calificaría a los Procedimientos de seguridad del departamento de Mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
11,03	¿Cómo calificaría el cumplimiento de política y procedimientos de seguridad por el dpto. de mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
11,04	¿Cómo calificaría el Conocimiento del Impacto sobre seguridad por el departamento de mantenimiento ?	1	1	1	1	1	1	1
11,05	La política de seguridad del departamento de mantenimiento es actualizada permanentemente?	1	1	1	1	1	1	1
11,06	¿Cómo calificaría la Política de seguridad para trabajos en lugares confinados en el departamento de Mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
11,07	¿Cómo calificaría la Política de seguridad para trabajos en caliente en el departamento de Mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1

11,08	¿Cómo calificaría la Política de seguridad para trabajos con peligro de lesiones por aprisionamiento en Mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
11,09	¿Cómo calificaría la Política de seguridad contra incendios en el departamento de Mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
11,10	¿Cómo calificaría la Política de seguridad contra sustancias nocivas en el departamento de Mantenimiento?	1	1	1	1	1	1	1
12	Clima & Cultura organizacional para el departamento de mantenimiento	Puntaje						
Nº	Componentes	1	2	3	4	5	6	7
12,01	¿Cómo calificaría al Trabajo en equipo en el departamento de mantenimiento?	6	2	3	1	1	3	3
12,02	¿Cómo calificaría al Trabajo en equipo entre el departamento de mantenimiento y los demás departamentos?	5	8	9	6	7	7	8
12,03	¿Cómo calificaría la Productividad en el departamento de mantenimiento?	3	2	1	1	1	1	1
12,04	¿Cómo calificaría la Sensibilidad de Cambio en el departamento de mantenimiento?	6	7	8	1	1	1	1
12,05	¿Cómo calificaría las Condiciones de Trabajo en el departamento de mantenimiento?	5	3	4	1	1	1	1
12,06	¿Cómo calificaría la Motivación en el departamento de mantenimiento?	4	3	2	1	1	1	1
12,07	¿Cómo calificaría la Filosofía y análisis de errores en el departamento de mantenimiento?	4	5	5	1	1	1	1
12,08	¿Cómo calificaría la Confiabilidad en el departamento de mantenimiento?	5	6	8	1	1	1	1
12,09	¿Cómo calificaría el Enfoque del cliente interno por parte del departamento de mantenimiento?	4	3	2	1	1	1	1
12,10	¿Cómo calificaría la Calidad las actividades del departamento de mantenimiento?	3	5	3	1	1	1	1

En la Tabla mostrada a continuación se observa las 12 categorías con el peso respectivo según la influencia y relevancia de la persona encuestada respecto al departamento de mantenimiento desde 1 hasta 10, obteniendo el promedio de los pesos que sirvió para el cálculo de los resultados.

N°	Categorías	Peso (/10)							Peso
		1	2	3	4	5	6	7	
1	Organización del departamento de Mantenimiento	10	10	10	8	8	8	8	9
2	Administración del departamento de Mantenimiento	10	10	10	7	7	5	5	8
3	Planeamiento del Mantenimiento	10	10	10	5	5	5	5	7
4	Programación del Mantenimiento	10	10	10	8	8	7	7	9
5	Personal del departamento de mantenimiento	10	10	10	5	5	5	5	7
6	Ejecución del Mantenimiento	10	10	10	8	8	5	5	8
7	Supervisión en el departamento de Mantenimiento	10	9	9	5	5	5	5	7
8	Abastecimiento para el departamento de mantenimiento	10	10	8	5	5	2	2	6
9	Procesos de Gestión para el departamento de mantenimiento	10	10	9	2	2	2	2	5
10	Sistemas informáticos para el departamento de mantenimiento	10	9	8	2	2	5	5	6
11	Seguridad para el departamento de mantenimiento	10	10	10	8	8	5	5	8
12	Clima & Cultura organizacional para el departamento de mantenimiento	10	10	10	8	8	5	5	8

Anexo 5. Datos de fallos de la maquinaria

FALLAS DE LAS MAQUINARIAS DE LA EMPRESA DE TRANSPORTE RIO BLANCO																	
N°	Operario	Maquinaria	# Fallas al mes												# Fallas al año		
			1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°			
1	Op. C. 01	Cargador 01	3	2	2	2	2	2	2	3	3	2	3	2	2	28	
2	Op. C. 02	Cargador 02	1	2	2	2	2	2	3	1	2	2	1	2	2	22	
3	Op. C. 03	Cargador 03	2	2	1	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2	25	
4	Op. C. 04	Cargador 04	1	2	2	1	2	2	2	3	2	2	3	2	2	24	
5	Op. C. C. 01	Camión ("Cañero") 01	2	2	3	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2	27	
6	Op. C. C. 02	Camión ("Cañero") 02	4	2	2	2	2	2	2	3	3	2	3	2	2	29	
7	Op. C. C. 03	Camión ("Cañero") 03	2	1	2	2	2	2	2	1	3	2	3	2	2	24	
8	Op. C. C. 04	Camión ("Cañero") 04	2	2	2	2	1	1	2	3	2	3	2	2	2	24	
9	Op. C. C. 05	Camión ("Cañero") 05	1	2	2	2	2	2	2	1	3	2	3	2	2	24	
10	Op. C. C. 06	Camión ("Cañero") 06	2	1	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	25	
11	Op. C. C. 07	Camión ("Cañero") 07	2	1	2	2	2	2	2	3	2	2	1	1	2	22	
12	Op. C. C. 08	Camión ("Cañero") 08	2	1	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	2	25	
13		Carreta 01	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	23	
14		Carreta 02	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	21	
15		Carreta 03	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	25	
16		Carreta 04	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	21	
																Total de fallas	389

Fuente: Propia

Anexo 6. Costo de mano de obra y repuestos del mantenimiento 2018

Mes	Maquinaria	Costo mano de obra S/.	Costo de repuestos
Enero	Camiones ("Cañeros") 01	S/120.00	S/950.00
	Camiones ("Cañeros") 02	S/150.00	S/4,100.00
	Carreta 02	S/50.00	S/500.00
	Cargador 03	S/150.00	S/200.00
	Cargador 01	S/250.00	S/800.00
Febrero	Cargador 01	S/500.00	S/4,000.00
	Cargador 02	S/250.00	S/800.00
	Camiones ("Cañeros") 02	S/50.00	S/80.00
	Camiones ("Cañeros") 04	S/50.00	S/300.00
	Camiones ("Cañeros") 01	S/50.00	S/300.00
Marzo	Cargador 02	S/150.00	S/200.00
	Cargador 04	S/150.00	S/200.00
	Carreta 01	S/50.00	S/500.00
	Carreta 03	S/50.00	S/500.00
	Camiones ("Cañeros") 03	S/100.00	S/160.00
Abril	Camiones ("Cañeros") 02	S/120.00	S/3,600.00
	Camiones ("Cañeros") 05	S/50.00	S/30.00
	Camiones ("Cañeros") 03	S/100.00	S/200.00
	Camiones ("Cañeros") 02	S/600.00	S/350.00
	Camiones ("Cañeros") 07	S/50.00	S/300.00
Mayo	Camiones ("Cañeros") 06	S/50.00	S/300.00
	Camiones ("Cañeros") 04	S/1,000.00	S/900.00
	Cargador 03	S/150.00	S/800.00
	Carreta 03	S/80.00	S/50.00
	Carreta 04	S/80.00	S/50.00
Junio	Camiones ("Cañeros") 01	S/150.00	S/2,500.00
	Camiones ("Cañeros") 02	S/300.00	S/700.00
	Camiones ("Cañeros") 01	S/50.00	S/20.00
	Camiones ("Cañeros") 08	S/50.00	S/50.00
Julio	Cargador 01	S/1,000.00	S/1,500.00
	Cargador 04	S/50.00	S/300.00
	Cargador 02	S/300.00	S/800.00
	Camiones ("Cañeros") 01	S/200.00	S/150.00
	Camiones ("Cañeros") 03	S/100.00	S/250.00
Agosto	Carreta 03	S/50.00	S/300.00
	Camiones ("Cañeros") 02	S/150.00	S/80.00
	Camiones ("Cañeros") 07	S/50.00	S/50.00
	Camiones ("Cañeros") 01	S/150.00	S/250.00
	Camiones ("Cañeros") 02	S/100.00	S/80.00
	Camiones ("Cañeros") 02	S/50.00	S/1,200.00
	Camiones ("Cañeros") 02	S/250.00	S/900.00
Septiembre	Cargador 01	S/50.00	S/1,200.00
	Cargador 01	S/150.00	S/4,500.00

	Cargador 01	S/100.00	S/180.00
	Cargador 01	S/150.00	S/80.00
	Cargador 03	S/50.00	S/300.00
	Cargador 03	S/50.00	S/50.00
	Camiones ("Cañeros") 08	S/50.00	S/80.00
Octubre	Camiones ("Cañeros") 01	S/400.00	S/350.00
	Camiones ("Cañeros") 01	S/100.00	S/4,000.00
	Camiones ("Cañeros") 02	S/250.00	S/4,100.00
	Camiones ("Cañeros") 02	S/50.00	S/160.00
	Carreta 03	S/100.00	S/20.00
	Camiones ("Cañeros") 05	S/150.00	S/80.00
	Camiones ("Cañeros") 05	S/50.00	S/300.00
Noviembre	Cargador 01	S/100.00	S/1,500.00
	Cargador 03	S/150.00	S/200.00
	Cargador 04	S/150.00	S/200.00
	Carreta 01	S/100.00	S/80.00
	Carreta 01	S/50.00	S/300.00
	Carreta 03	S/250.00	S/900.00
	Camiones ("Cañeros") 04	S/250.00	S/250.00
Diciembre	Camiones ("Cañeros") 08	S/150.00	S/80.00
	Camiones ("Cañeros") 08	S/200.00	S/100.00
	Camiones ("Cañeros") 03	S/300.00	S/3,300.00
	Camiones ("Cañeros") 06	S/150.00	S/80.00
	Camiones ("Cañeros") 06	S/50.00	S/50.00
	Camiones ("Cañeros") 06	S/50.00	S/300.00
	Camiones ("Cañeros") 06	S/50.00	S/80.00

Anexo 7. Cálculo de criticidad de la maquinaria

En la Tabla mostrada a continuación se encuentra la encuesta para calcular la criticidad de las máquinas:

VARIABLES	CONCEPTO	PONDERACIÓN	OBSERVACIONES	
Efecto sobre el Servicio que proporciona				
1	Para	4		
	Reduce	2		
	No para	0		
Valor Técnico - Económico:				
2	Considerar el costo de Adquisición, Operación y Mantenimiento	Alto	3	Más de U\$ 20000
		Medio	2	
		Bajo	1	Menos de U\$ 1000
La falla Afecta:				
3	a. Al Equipo en sí:	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 general:	Si	1	Posibilidad de accidente a otras personas u otros equipos cercanos.
		No	0	
Probabilidad de Falla (Confiability)				
4		Alta	2	Se puede asegurar que el equipo va a trabajar correctamente cuando se le necesite?
		baja	0	
Flexibilidad del Equipo en el Sistema:				
5		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
Dependencia Logística:				
6		Extranjero	2	Repuestos se tienen que importar
		Loc./Ext.	1	Algunos repuestos se compran localmente.
		Local	0	Repuestos se consiguen localmente.
Dependencia de la Mano de Obra:				
7		Terceros	2	El Mantenimiento requiere contratar a terceros.
		Propia	0	El Mantenimiento se realiza con personal propio.
Facilidad de Reparación (Mantenibilidad):				
8		Baja	1	Mantenimiento difícil.
		Alta	0	Mantenimiento fácil.

La escala de referencia se presenta en la siguiente Tabla:

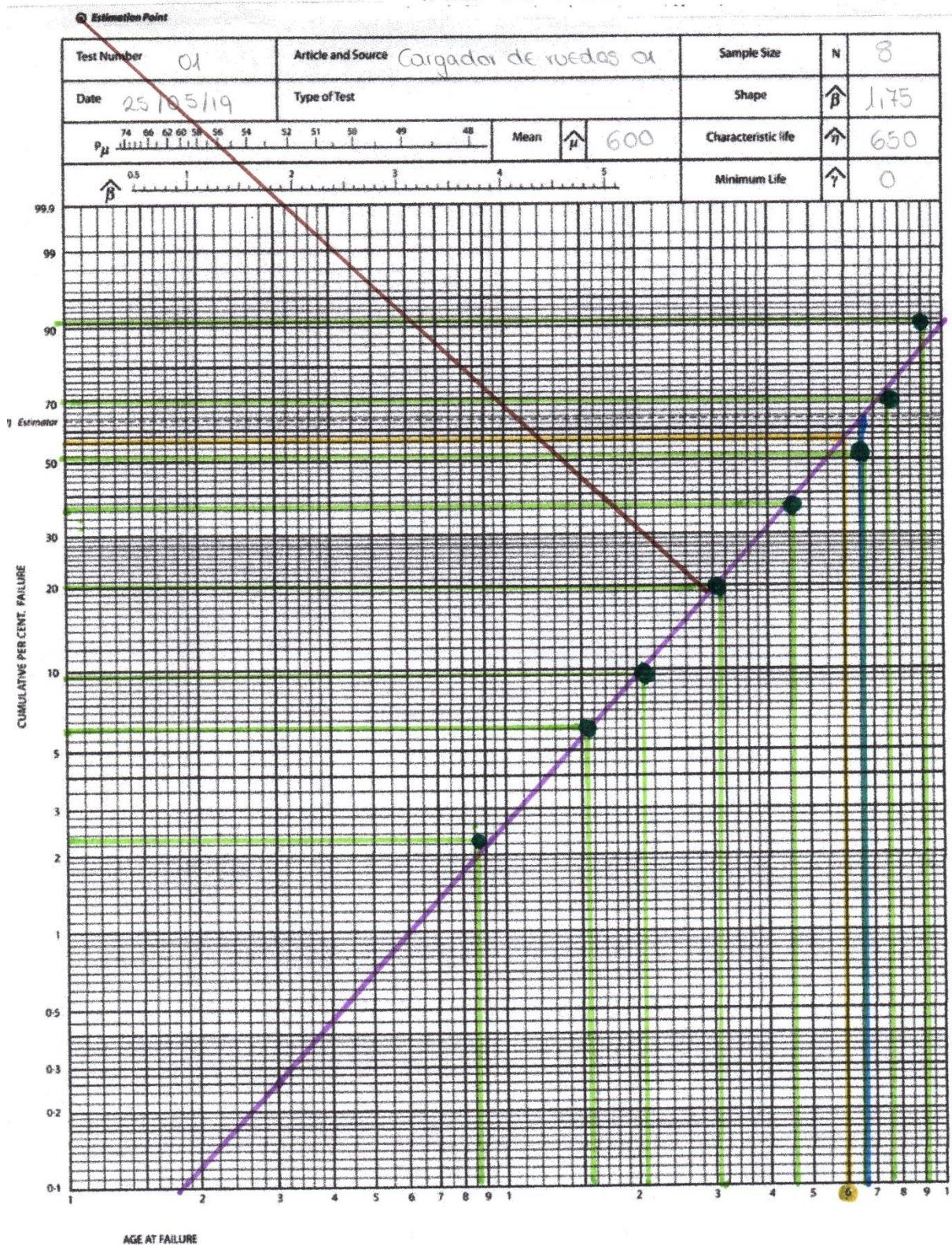
CRITICA	16 a 20
IMPORTANTE	11 a 15
REGULAR	06 a 10
OPCIONAL	00 a 05

Anexo 8. Rangos medios para gráfica de Weibull

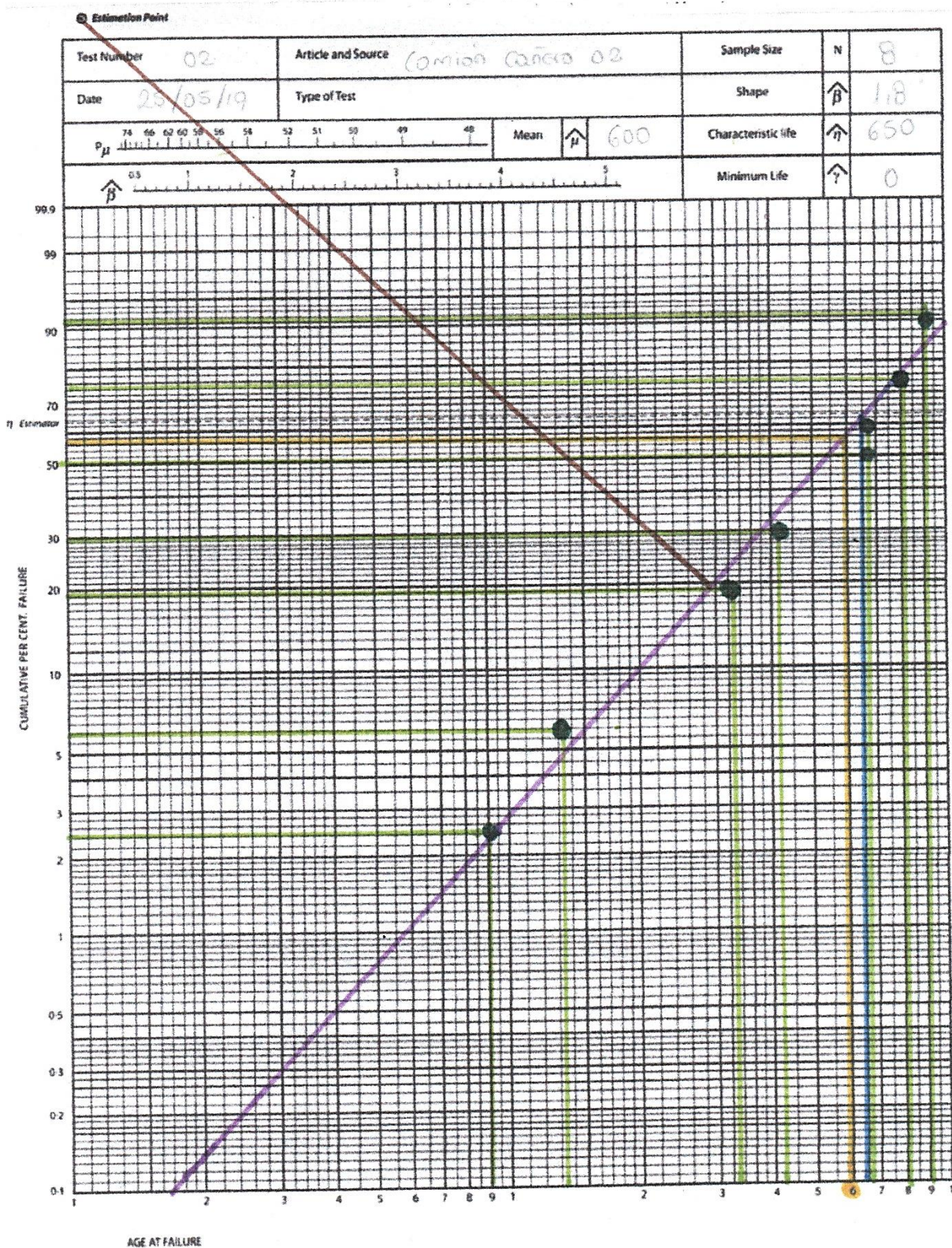
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	0,5900	0,2929	0,2063	0,1591	0,1294	0,1091	0,0943	0,0820	0,0741	0,0670	0,0611	0,0561	0,519	0,0483	0,0452	1
2		0,7071	0,5000	0,3864	0,3147	0,2655	0,2295	0,2021	0,1806	0,1632	0,1489	0,1368	0,1266	0,1178	0,1101	2
3			0,7937	0,6136	0,5000	0,4218	0,3648	0,3213	0,2871	0,2594	0,2366	0,2175	0,2013	0,1873	0,1751	3
4				0,8409	0,6853	0,5782	0,5000	0,4404	0,3935	0,3557	0,3244	0,2982	0,2760	0,2568	0,2401	4
5					0,8706	0,7345	0,6352	0,5596	0,5000	0,4519	0,4122	0,3789	0,3506	0,3263	0,3051	5
6						0,8909	0,7705	0,6787	0,6065	0,5481	0,5000	0,4596	0,4253	0,3958	0,3700	6
7							0,9057	0,7979	0,7129	0,6443	0,5878	0,5404	0,5000	0,4653	0,4350	7
8								0,9170	0,8194	0,7406	0,6756	0,6211	0,5747	0,5347	0,5000	8
9									0,9259	0,8368	0,7634	0,7018	0,6494	0,6042	0,5650	9
10										0,9330	0,8511	0,7825	0,7240	0,6737	0,6300	10
11											0,9389	0,8632	0,7987	0,7432	0,6949	11
12												0,9439	0,8743	0,8127	0,7599	12
13													0,9481	0,8822	0,8249	13
14														0,9517	0,8899	14
15															0,9548	15

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	0,0424	0,0400	0,0378	0,0358	0,0341	0,0330	0,0315	0,0301	0,0288	0,0277	0,0266	0,0256	0,0247	0,0239	0,0231	1
2	0,1034	0,09775	0,0922	0,0874	0,0831	0,0797	0,0761	0,0728	0,0698	0,0670	0,0645	0,0621	0,0599	0,0579	0,0559	2
3	0,1644	0,1530	0,1465	0,1390	0,1322	0,1264	0,1207	0,1155	0,1108	0,1064	0,1023	0,0986	0,0951	0,0919	0,0888	3
4	0,2254	0,2125	0,2009	0,1905	0,1812	0,1731	0,1653	0,1582	0,1517	0,1457	0,1402	0,1351	0,1303	0,1259	0,1217	4
5	0,2865	0,2709	0,2553	0,2421	0,2302	0,2198	0,2099	0,2009	0,1927	0,1851	0,1781	0,1716	0,1655	0,1599	0,1546	5
6	0,3475	0,3275	0,3097	0,2937	0,2793	0,2665	0,2545	0,2437	0,2337	0,2245	0,2159	0,2081	0,2007	0,1939	0,1875	6
7	0,4085	0,3850	0,3641	0,3453	0,3283	0,3132	0,2997	0,2864	0,2746	0,2638	0,2538	0,2445	0,2359	0,2279	0,2204	7
8	0,4695	0,4425	0,4184	0,3968	0,3774	0,3599	0,3438	0,3291	0,3156	0,3032	0,2917	0,2810	0,2711	0,2619	0,2533	8
9	0,5305	0,5000	0,4728	0,4484	0,4264	0,4066	0,3884	0,3718	0,3566	0,3425	0,3295	0,3175	0,3063	0,2959	0,2862	9
10	0,5915	0,5575	0,5272	0,5000	0,4755	0,4533	0,4330	0,4145	0,3975	0,3819	0,3674	0,3540	0,3415	0,3299	0,3191	10
11	0,6525	0,6150	0,5816	0,5516	0,5245	0,5000	0,4776	0,4572	0,4385	0,4212	0,4053	0,3905	0,3767	0,3639	0,3519	11
12	0,7135	0,6725	0,6359	0,6032	0,5736	0,5466	0,5223	0,5000	0,4795	0,4606	0,4431	0,4270	0,4119	0,3979	0,3848	12
13	0,7746	0,7300	0,6903	0,6547	0,6226	0,5933	0,5669	0,5427	0,5204	0,5000	0,4810	0,4635	0,4471	0,4319	0,4177	13
14	0,8356	0,7875	0,7447	0,7063	0,6717	0,6400	0,6115	0,5854	0,5614	0,5393	0,5189	0,5000	0,4823	0,4659	0,4506	14
15	0,8966	0,8450	0,7991	0,7579	0,7207	0,6867	0,6561	0,6281	0,6024	0,5787	0,5568	0,5364	0,5176	0,5000	0,4835	15
16	0,9576	0,9025	0,8535	0,8095	0,7698	0,7334	0,7007	0,6708	0,6433	0,6180	0,5946	0,5729	0,5528	0,5340	0,5164	16
17		0,9680	0,9078	0,8610	0,8188	0,7801	0,7454	0,7135	0,6843	0,6574	0,6325	0,6094	0,5880	0,5680	0,5493	17
18			0,9622	0,9126	0,8678	0,8268	0,7900	0,7562	0,7253	0,6967	0,6704	0,6459	0,6232	0,6020	0,5822	18
19				0,9642	0,9169	0,8735	0,8346	0,7990	0,7662	0,7361	0,7082	0,6824	0,6584	0,6360	0,6151	19
20					0,9659	0,9202	0,8792	0,8417	0,8072	0,7754	0,7461	0,7189	0,6936	0,6700	0,6480	20
21						0,9669	0,9238	0,8844	0,8482	0,8148	0,7840	0,7554	0,7288	0,7040	0,6808	21
22							0,9684	0,9271	0,8891	0,8542	0,8218	0,7918	0,7640	0,7380	0,7137	22
23								0,9698	0,9301	0,8935	0,8597	0,8283	0,7992	0,7720	0,7466	23
24									0,9711	0,9329	0,8976	0,8648	0,8344	0,8060	0,7795	24
25										0,9722	0,9354	0,9013	0,8696	0,8400	0,8124	25
26											0,9733	0,9378	0,9048	0,8740	0,8453	26
27												0,9743	0,9400	0,9080	0,8782	27
28													0,9752	0,9420	0,9111	28
29														0,9760	0,9440	29
30															0,9768	30

Anexo 9. Weibull de cargador de ruedas 01



Anexo 10. Weibull de camión cañero 02



Anexo 11. Árbol de decisiones

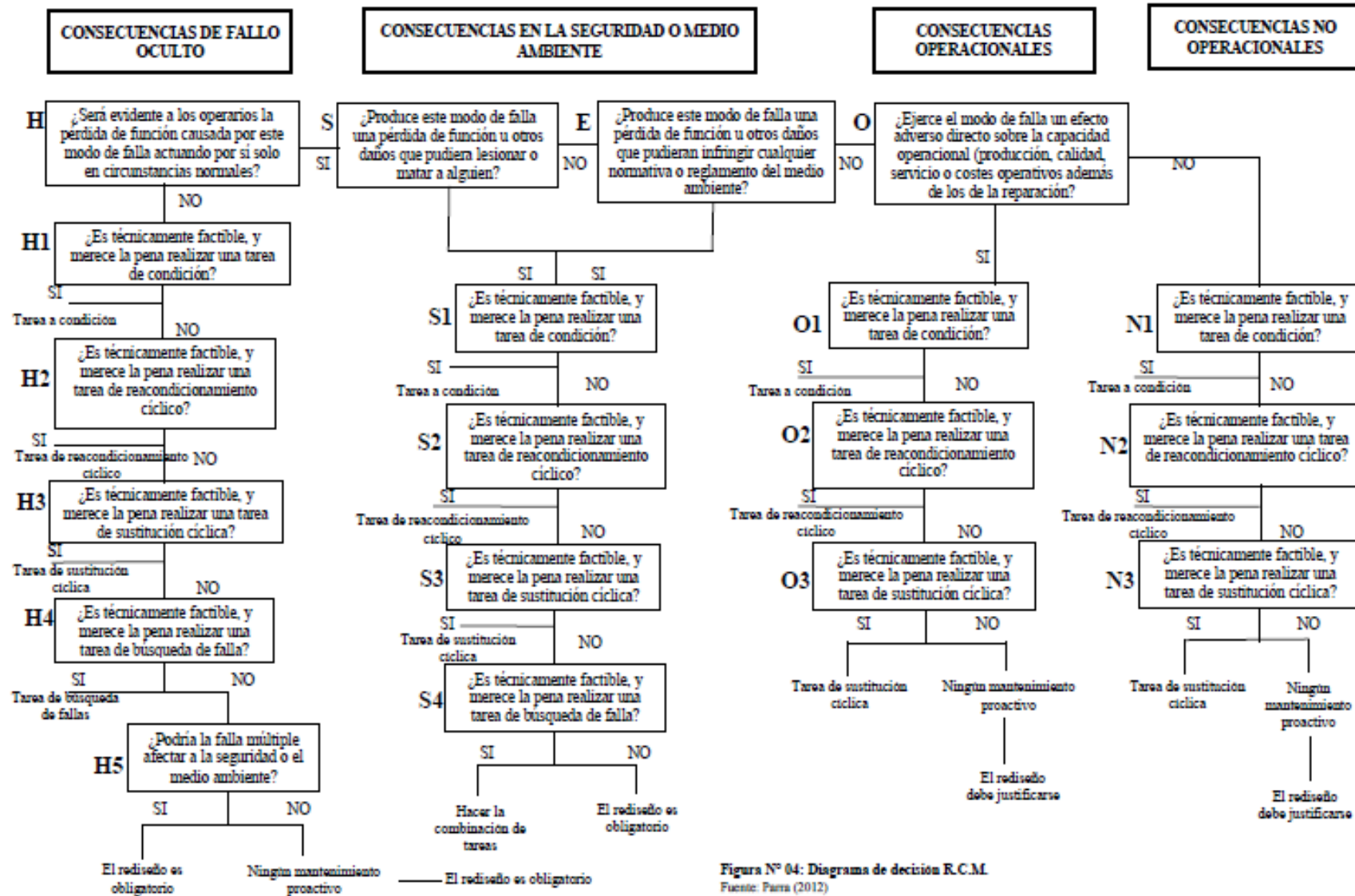


Figura N° 04: Diagrama de decisión R.C.M.
Fuente: Para (2012)

Anexo 12. Formatos del Plan de mantenimiento

Formato de orden de trabajo

EMPRESA RÍO BLANCO S.A.C.	PLAN DE MANTENIMIENTO		N° de orden	
	Orden de trabajo			
Equipo		Código		
Modelo		Marca		
Prioridad	<i>Urgente</i>	<i>Importante</i>	<i>Rutinario</i>	<u> </u> / <u> </u> / <u> </u>
Responsable				
Descripción de la actividad de mantenimiento				
Fecha	<i>Hora de inicio</i>		<i>Hora de cúmimo</i>	
Falla	Observaciones		Medidas	
<i>Autorizado por</i>			<i>Firma</i>	

Formato de reporte de averías

EMPRESA RÍO BLANCO S.A.C.	PLAN DE MANTENIMIENTO		N° de orden	
	Reporte de averías			
Equipo		Código		
Modelo		Marca		
Prioridad	<i>Urgente</i>	<i>Prioritario</i>	<i>Normal</i>	
Responsable				
Fecha				
Fecha	<i>Hora de reporte</i>		<i>Hora de término</i>	
Reporte detallado				
<i>Recepcionado por</i>			<i>Firma</i>	

Formato de check list de actividades de mantenimiento

EMPRESA RÍO BLANCO S.A.C.		PLAN DE MANTENIMIENTO			Frecuencia		
		Check list de actividades					
Máquina	Actividad	Encarga do	Realizada		No Realizada		Firm a
			Fecha	Observacio nes	Reprogramac ión	Motiv o	
<i>Responsa ble</i>				<i>Firma</i>			