

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA
INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERATIVA DE
CAMIONES-VOLQUETES DE UNA EMPRESA MINERA,
2021”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título
profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Ricardo Julio Abad Belen

Asesor:

Ing. Mg. Juan Carlos Durand Porras
<https://orcid.org/0000-0002-8400-5006>

Lima - Perú

DEDICATORIA

La presente investigación se lo dedico con mucho cariño y afecto; A mis maravillosos padres por tener su apoyo en todo momento brindándome salud y por darme la oportunidad de cumplir mis metas y creer siempre en mí.

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque él es mi apoyo incondicional, y en cada momento está junto a mí.

A mi familia que con sus diversas formas de apoyo me impulsan a seguir adelante.

A mi Asesor Mg. Ing. Juan Durand, por su valiosa colaboración, haberme brindado sus conocimientos y apoyo, ya que con sus correcciones oportunas me ha permitido la culminación del presente trabajo.

A mis hermanas por ser tan especial y brindarme su alegría.

A mis sobrinas(os) que con su cariño llena de alegría a mi corazón.

A todas las personas e instituciones que facilitaron la realización de esta investigación.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE ECUACIONES	8
RESUMEN EJECUTIVO.....	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	25
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	49
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	87
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
REFERENCIAS	101
ANEXOS	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Información general de la empresa.....	12
Tabla 2 Puntuaciones de causas según expertos.....	19
Tabla 3 Niveles para la evaluación de riesgos.....	39
Tabla 4 Análisis inicial MTBF periodo Inicial (Enero – Junio 2021).....	50
Tabla 5 Análisis inicial MTTR periodo inicial (Enero – Junio 2021).....	51
Tabla 6 Análisis de la disponibilidad Periodo inicial (enero a junio 2021).....	52
Tabla 7 Diagrama de Gantt de implementación.....	55
Tabla 8 Formato de control de orden en el área.....	58
Tabla 9 Implementación del análisis RCM.....	60
Tabla 10 Hoja de decisión RCM.....	62
Tabla 11 Análisis de Pareto de fallas.....	63
Tabla 12 Análisis del nivel de prioridad de riesgo en 6 meses - periodo inicial.....	65
Tabla 13 Análisis del nivel de prioridad de según tipo de falla.....	65
Tabla 14 Ficha de análisis AMEF.....	67
Tabla 15 Programa mensual de capacitaciones.....	70
Tabla 16 Resumen de capacitaciones.....	71
Tabla 17 Evidencia de capacitación.....	72
Tabla 18 Evaluación de capacitación.....	73
Tabla 19 Implementación de la supervisión.....	74
Tabla 20 Análisis del tiempo medio entre fallas total (Enero – Diciembre 2021).....	76
Tabla 21 Análisis del tiempo medio para reparaciones total (Enero – diciembre 2021) ...	78
Tabla 22 Análisis de la disponibilidad total (Enero – Diciembre 2021).....	79
Tabla 23 Costos de implementación.....	81
Tabla 24 Flujo de caja de implementación.....	82
Tabla 25 Indicadores financieros de implementación.....	86
Tabla 26 Análisis comparativo del periodo inicial al periodo final.....	88
Tabla 27 Análisis comparativo en promedio de periodo inicial - final para la disponibilidad.....	89
Tabla 28 Prueba de normalidad para el tiempo medio entre fallas.....	90
Tabla 29 Estadísticos de muestras emparejadas para el MTBF.....	91
Tabla 30 Estadísticos de la prueba T de Student para el MTBF.....	92

Tabla 31 Prueba de normalidad para el tiempo medio para reparaciones	93
Tabla 32 Estadísticos de muestras emparejadas para el MTTR	94
Tabla 33 Estadísticos de la prueba T de Student para el MTTR	95
Tabla 34 Prueba de normalidad para la disponibilidad	96
Tabla 35 Estadísticos de muestras emparejadas para el MTTR	97
Tabla 36 Estadísticos de la prueba T de Student para el MTTR	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la empresa	13
Figura 2 Organigrama de la empresa.....	14
Figura 3 Disponibilidad de equipos, real vs proyectado	15
Figura 4 Diagrama de causa – efecto	17
Figura 5 Diagrama de Pareto	20
Figura 6 Lineamientos de gestión del mantenimiento de equipos.....	28
Figura 7 Etapas para la implementación del RCM.....	30
Figura 8 Ventajas y desventajas del RCM.....	32
Figura 9 Implementación para el sistema AMEF	35
Figura 10 Beneficios de la implementación de la metodología AMEF	37
Figura 11 Análisis del tiempo medio entre fallas - Periodo inicial	50
Figura 12 Análisis del tiempo medio para reparaciones – Periodo inicial	52
Figura 13 Análisis de la disponibilidad - Periodo inicial	53
Figura 14 Elementos encontrados en la limpieza general	56
Figura 15 Programa de limpieza.....	57
Figura 16 Comparación entre el orden y limpieza en el área	59
Figura 17 Análisis de Pareto de fallas	64
Figura 18 Análisis de Pareto de fallas	66
Figura 19 Hoja de capacitación RCM	69
Figura 20 Análisis del tiempo medio entre fallas total (Enero – Diciembre 2021).....	77
Figura 21 Análisis del tiempo medio para reparaciones total	78
Figura 22 Análisis de la disponibilidad total (Enero – Diciembre 2021).....	80

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Formula de tareas de mantenimiento	38
Ecuación 2 Formula de la confiabilidad del proceso.....	39
Ecuación 3 Formula del NPR	39
Ecuación 4 Formula de la disponibilidad operativa	40
Ecuación 5 Formula del tiempo medio entre fallas (MTBF).....	45
Ecuación 6 Formula del tiempo medio para reparaciones (MTTR).....	45
Ecuación 7 Cálculo del costo de oportunidad del capital (COK).....	83
Ecuación 8 Cálculo del valor actual neto (VAN)	84
Ecuación 9 Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR)	85

RESUMEN EJECUTIVO

La investigación se realizó con el objetivo principal de determinar en qué medida la aplicación de la metodología, mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) incrementa la disponibilidad operativa de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021. En este sentido, fue necesario evaluar el contexto inicial, determinar las fallas críticas y establecer acciones correctivas y preventivas. La investigación cuenta con una metodología de enfoque cuantitativo, tipo aplicado y diseño experimental; la población y muestra corresponde a 12 camiones-volquetes evaluados durante 1 año y la técnica para la recolección de datos fue la observación directa.

Los resultados muestran el uso del Análisis modal de fallos y efectos (AMEF) para identificar puntos críticos en la transmisión, sistema eléctrico y suspensión, además ello explica el 80% de averías. El nuevo sistema de mantenimiento organizado y sistematizado permite detectar fallas ocultas y prevenir las fallas operacionales; luego se obtiene un cambio en promedio de la disponibilidad de 76.34% a 92.98%, el tiempo medio entre fallos (MTBF) paso de 13.66 a 37.96 horas y el tiempo medio de reparación (MTTR) se redujo de 4.2 a 2.3 horas. Adicionalmente, la implementación cuenta con viabilidad económica al lograr un valor actual neto (VAN) de S/.70,513.77 y una Tasa interna de retorno (TIR) de 52.37%.

Se concluye que la aplicación de la metodología RCM, incrementa la disponibilidad operativa en un 16.7%, de camiones-volquetes en la empresa minera.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Desde la perspectiva internacional, de acuerdo con Karajagikar y Sonawane (2021) los problemas, fallas o averías conducen a una gran pérdida de productividad, pérdida de producción y rendimiento esperado. La planificación de la estrategia de mantenimiento es una parte crucial y para ello existen varias técnicas adoptadas, como el mantenimiento de averías (BM), el mantenimiento preventivo (PM), el mantenimiento basado en condiciones (CBM), el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). La metodología RCM adoptada incluye una recopilación sistemática de datos de fallas y reparaciones de sistemas y subsistemas durante varios años relacionados con una línea de fabricación de láminas. Con base en los modos de falla del sistema de recolección de datos, se analizaron su efecto, el tiempo medio para fallar (MTTF) y el tiempo medio para reparar (MTTR). Por otro lado, se simula un modelo sistemático del estado actual de la planta que ha proporcionado disponibilidad, confiabilidad, criticidad y datos relacionados. Asimismo, el análisis de criticidad se utiliza para calcular el número de criticidad del equipo para los componentes críticos que se consideran elementos significativos para el mantenimiento.

Asimismo, a nivel global se observan los beneficios de la metodología RCM y se cuenta con el trabajo desarrollado por Yang et al. (2020) dado que, en la actualidad, es una metodología empleada internacionalmente para determinar la demanda de mantenimiento preventivo de los equipos y optimizar las estrategias de mantenimiento. Además, el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es una herramienta comúnmente utilizada para estudiar patrones de fallas del sistema para que proponga estrategias de mantenimiento óptimas para garantizar la confiabilidad del sistema y finalmente garantizar la seguridad de la manera más económica. Asimismo, e ha desarrollado y mejorado continuamente en la práctica, se destaca de muchas teorías de mantenimiento de equipos, se usa ampliamente en todos los ámbitos de la vida y ha logrado resultados significativos.

De forma similar, en Alrifay et al. (2020) se menciona que una de las preocupaciones más importantes en las operaciones se refiere a la disponibilidad y confiabilidad de equipos debido a la demanda del mercado, dado que hoy en día, se trabaja bajo una producción sin interrupciones que ha atraído mucha atención por parte de las industrias. Por lo tanto, el mantenimiento juega un papel fundamental para garantizar la confiabilidad con los objetivos clave de mejorar la eficiencia operativa y la vida útil del equipo. A partir de ello, se aplican diferentes estrategias de mantenimiento, tales como el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) que es una metodología que se puede utilizar para decidir qué actividades de mantenimiento deben realizarse para mantener el equipo funcionando dentro de su rango de función diseñado; el RCM puede elegir las tareas de mantenimiento más adecuadas, reducir la probabilidad de fallas y reducir sus consecuencias.

En el ámbito nacional, de acuerdo con Uribe (2020) la metodología RCM ha sido un factor clave para mejorar los procesos de mantenimiento en equipos del sector industrial, dado que se identificaron problemas sobre a la baja disponibilidad, constantes averías y prolongadas paradas de mantenimiento correctivo; todo ello repercute en la productividad y en el nivel de desempeño de las operaciones. Los lineamientos de la metodología permiten contar con herramientas complementarias como el análisis modal de fallas y efectos o técnicas del mantenimiento preventivo; asimismo, los pasos a seguir para la aplicación fueron la jerarquización de criticidad de fallas, la elección de los equipos más críticos, determinar los modos de cada falla, para luego establecer sus efectos y causas; por último, se evalúan las consecuencias y a partir de todo ello se elabora un plan de mantenimiento. Luego de la implementación de cambios se evidenció un incremento significativo en la disponibilidad de los equipos.

De forma similar, en Diestra, Esquivel y Guevara (2017) se desarrolla un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM; para ello fue importante conocer la situación inicial de la disponibilidad de los equipos, diagnosticar las fallas más relevantes e importantes a atender y evaluar las características de cada equipo según las indicaciones del funcionamiento. La herramienta empleada para el diagnóstico fue la matriz de criticidad, en donde se evalúa cada falla según su gravedad y frecuencia; por otro lado, con el árbol de decisión se pudo elegir la mejor alternativa respecto al mantenimiento, en tanto que de las

52 tareas desarrolladas el 90% corresponde a actividades preventivas y solo el 10% a correctivas. Finalmente, se evidencia un mejor funcionamiento de los equipos y se incrementa la confiabilidad; asimismo, logra una reducción de costos de reparación por USD \$ 3,531 dólares, lo cual refleja un beneficio económico por la implementación.

El análisis de la disponibilidad es un factor clave en las operaciones de toda empresa y de acuerdo con Ypanaqué, Chucuya y Esquivel (2017) para lograr un cambio significativo es necesario desarrollar sistemas de gestión y mantenimiento constante para alargar la vida útil de los equipos y mejorar su nivel de funcionamiento. La investigación es importante dado que desarrolla cambios en equipos pesados como grúas de 50 toneladas y para el cambio se elaboraron formatos de gestión, registro e inspección de las labores de mantenimiento. A partir de ello, se observa un incremento de la disponibilidad hasta 98.9%, en tanto que la confiabilidad aumenta en 3.2%, lo cual indica la efectividad del plan en base a los cambios.

1.1. Descripción de la empresa

La información de la empresa donde se realizó la investigación, se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Información general de la empresa

Información	Descripción
Razón Social	M&R INDUSTRIA E.I.R.L.
RUC	20603300174
Actividad económica	CIU – 74996: Otras actividades empresariales CIU - 7110: Actividades de ingeniería y consultoría técnica CIU – 4652: Venta al por mayor de equipos, repuestos y accesorios
Ubicación	Calle San Antonio Mz E Lote 21 – Santa Anita – Lima

Fuente: Elaboración propia

1.3. Organigrama de la empresa

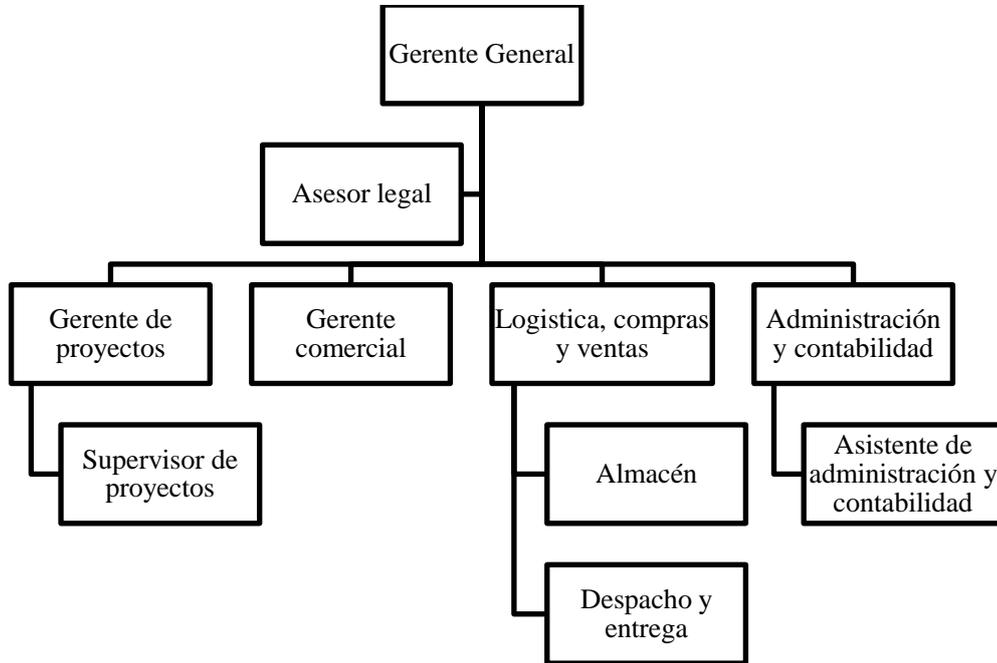


Figura 2 Organigrama de la empresa

Fuente: Tomado de M&R Industria EIRL (2018)

1.4. Funciones del área de la empresa

Las labores en el área se orientan en brindar servicios en implementación de gestión de mantenimiento preventivo - predictivo, fabricación, montaje y automatización orientados al sector de la minería, y plantas industriales. Se encuentra comprometida con entregar lo que prometemos y con fortalecer nuestras relaciones con los demás nuestros clientes. El objetivo es proporcionar continuamente a nuestros clientes productos y servicios que satisfagan su necesidad y que contribuya con sus negocios; en este sentido:

- Suministrar productos y servicios que satisfagan las expectativas de nuestros clientes y que cumplan los requisitos contractuales y legales.
- Trabajar con cliente para asistirles en sus negocios, desarrollaremos nuevos usos para sus productos y mejoraremos sus procesos de producción.

- Adoptar una gestión de calidad total y un enfoque de mejora continua para nuestros clientes.
- Establecer objetivos y metas con respecto a la calidad de nuestros servicios.
- Proporcionar la formación adecuada a nuestra organización.
- Comunicar periódicamente los resultados a todos los interesados, incluyendo empleados, proveedores y clientes pidiendo a cambio sus opiniones sobre nuestro desempeño.

1.5. Diagnóstico de la situación problemática - enero 2021 hasta junio 2021

Con relación a la problemática de la empresa, se han identificado las deficiencias e inconvenientes más resaltantes en el área de mantenimiento, en tanto que es importante contar con un sistema que organice dicha información. En el desarrollo de las operaciones se observaron deficiencias en el área de mantenimiento, lo cual se comprobó a través del incumplimiento de la meta de disponibilidad de los equipos, en tanto que la gerencia estipuló un valor meta para este indicador y a lo largo de la experiencia profesional se evidencia que cada vez su alcance era más lejano, tal como se presenta en la siguiente figura 3.

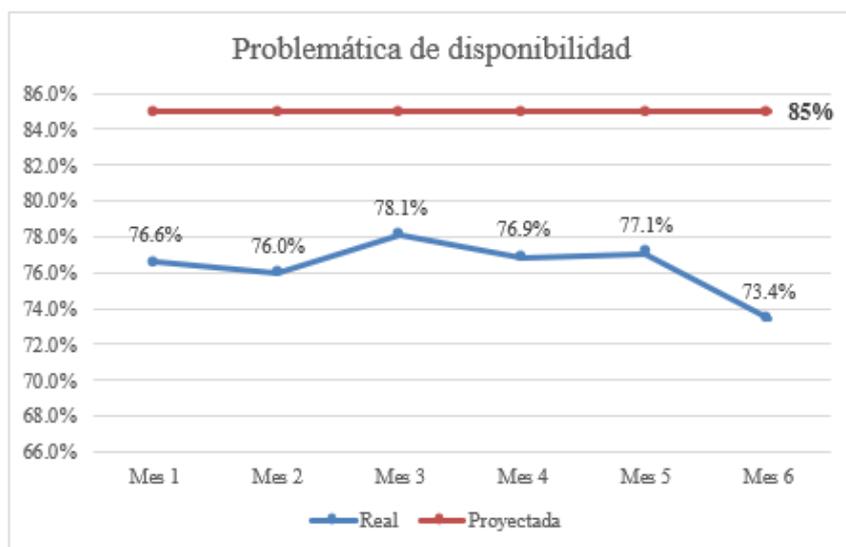


Figura 3 Disponibilidad de equipos, real vs proyectado

Fuente: Elaboración propia

La figura 3, evidencia que la disponibilidad proyectada por la empresa de 85% fue muy superior al escenario real, por lo que el autor de la presente investigación detectó la necesidad de mejorar el sistema de mantenimiento con el uso de herramientas de ingeniería. El punto crítico se alcanzó en el sexto mes del año 2021, en donde los valores de disponibilidad alcanzaron su valor más bajo de 73.4%, en este momento se detectó el problema y a través de una reunión con los encargados del área se tomó la decisión de aplicar un cambio significativo en la gestión de mantenimiento. Ya que el promedio de la disponibilidad del mes enero a junio llegó a 76.34%.

A partir de dicho escenario, el autor de la presente investigación, con el apoyo del personal del área de mantenimiento, analizó la problemática. En una reunión conjunta con los expertos en el tema y técnicos de máquinas se empleó la técnica de la lluvia de ideas para conocer la opinión sobre los aspectos negativos en las operaciones iniciales; este punto permite conocer a través del comentario sincero el análisis de la problemática. A partir de dicha información, se utilizó el Diagrama de Ishikawa o también llamado de causa – efecto para delimitar el problema central. En este sentido, con la colaboración de expertos en el tema se pudo conocer las causas que generan mayor impacto en el problema, lo cual corresponde al análisis de Pareto; toda esa información se presenta a continuación y lo cual lleva a la formulación de la siguiente interrogante del presente estudio: ¿En qué medida la aplicación de la metodología RCM incrementará la disponibilidad operativa de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021? El resumen de la problemática respecto a las causas que afectan el problema central se presenta en la figura 4.

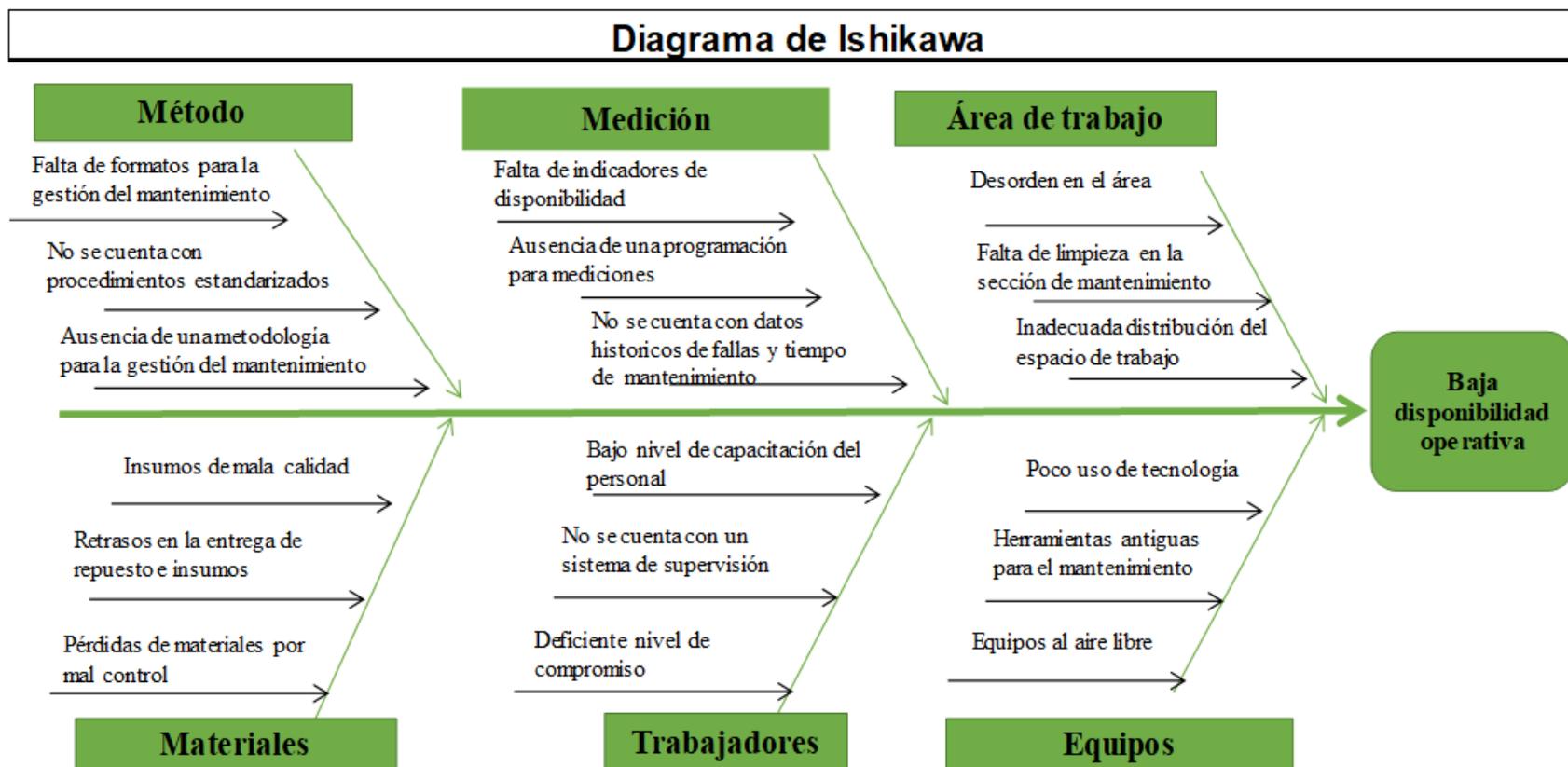


Figura 4 Diagrama de causa – efecto

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4, diagrama de causa – efecto se han listado las deficiencias e inconvenientes identificados en el área de mantenimiento y se han dividido según el enfoque que abordar. En primer lugar, respecto a la metodología es posible mencionar que se encontraron problemas relacionados a la falta de formatos para la gestión del mantenimiento, no se cuenta con procedimientos estandarizados y se evidencia la ausencia de una metodología para la gestión del mantenimiento. En segundo lugar, respecto a la medición, se comenta la falta de indicadores de disponibilidad, la ausencia de una programación para mediciones y que no se cuenta con datos históricos de fallas y tiempos de mantenimiento. Por otro lado, el análisis en el área de trabajo se observa la inadecuada distribución del espacio de trabajo, la falta de limpieza en la sección de mantenimiento y un claro desorden en el área.

Asimismo, se han identificado inconvenientes sobre los materiales de trabajo tales como los insumos de mala calidad, los retrasos en la entrega de repuestos y la pérdida de materiales por un deficiente control. De forma complementaria, en el análisis de la mano de obra se comenta que existe un bajo nivel de capacitación del personal, no se cuenta con un sistema de supervisión y se evidencia el deficiente compromiso de los trabajadores con los objetivos de la empresa. Finalmente, respecto a la maquinaria y equipos para el mantenimiento se observa el poco uso de tecnología de punta, las herramientas son antiguas y los equipos se encuentran expuestos al aire libre.

El análisis con el diagrama de Ishikawa permite determinar que el problema central gira en torno a la baja disponibilidad operativa de los equipos. Para un análisis más profundo del impacto de cada causa se recurrió a 6 expertos en el tema que puntuaron del 0 al 10, siendo 10 la calificación de mayor influencia y 0 la menor, cada una de las causas expresadas en el análisis de causa – efecto. A partir de ello, se elaboró la siguiente tabla con los puntajes totales, frecuencia relativa y acumulada.

Tabla 2

Puntuaciones de causas según expertos

	Descripción de Partida	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Punt.	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
1	Ausencia de una metodología para la gestión del mantenimiento	10	10	10	9	10	10	59	21.1%	21%
2	Ausencia de una programación para mediciones	9	10	10	9	10	9	57	20.4%	42%
3	Falta de indicadores de disponibilidad	8	9	8	10	9	10	54	19.4%	61%
4	No se cuenta con procedimientos estandarizados	8	10	9	8	9	8	52	18.6%	80%
5	Bajo nivel de capacitación del personal	2	3	3	3	4	2	17	6.1%	86%
6	Inadecuada distribución del espacio de trabajo	2	2	1	1	1	2	9	3.2%	89%
7	Falta de formatos para la gestión del mantenimiento	1	1	1	1	1	1	6	2.2%	91%
8	No se cuenta con datos históricos de fallas y tiempo de mantenimiento	1	0	1	1	1	1	5	1.8%	93%
9	Retrasos en la entrega de repuesto e insumos	1	1	0	1	1	0	4	1.4%	94%
10	No se cuenta con un sistema de supervisión	0	1	0	0	1	1	3	1.1%	95%
11	Poco uso de tecnología	1	1	0	0	0	1	3	1.1%	96%
12	Insumos de mala calidad	1	0	1	1	0	0	3	1.1%	97%
13	Herramientas antiguas para el mantenimiento	1	0	0	0	1	1	3	1.1%	99%
14	Falta de limpieza en la sección de mantenimiento	0	0	0	0	1	1	2	0.7%	99%
15	Pérdidas de materiales por mal control	0	0	0	0	0	1	1	0.4%	100%
16	Desorden en el área	0	0	0	0	0	1	1	0.4%	100%
17	Deficiente nivel de compromiso	0	0	0	0	0	0	0	0.0%	100%
18	Equipos al aire libre	0	0	0	0	0	0	0	0.0%	100%
	TOTAL							279	100%	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2, se menciona en orden de importancia las causas que influyen sobre el problema central, siendo la más importante la ausencia de una metodología para la gestión del mantenimiento con 59 puntos y el 21.1% de frecuencia relativa, a continuación se ubica la ausencia de una programación para mediciones con 57 puntos y el 20.4% de frecuencia, seguido por la falta de indicadores de disponibilidad con 54 puntos y el 19.4%, en tanto que no contar con procedimientos estandarizados alcanza 52 puntos y 18.6% de frecuencia. A partir de este punto, las causas alcanzan valores de menor impacto como el bajo nivel de capacitación del personal (17 puntos), la inadecuada distribución del espacio de trabajo (9

puntos) y la falta de formatos para la gestión del mantenimiento (6 puntos). Para graficar el escenario descrito anteriormente, se empleará un diagrama con la frecuencia relativa a modo de barras y la frecuencia acumulada en una línea a fin de observar el intercepto entre ambos y pasar al análisis de Pareto.

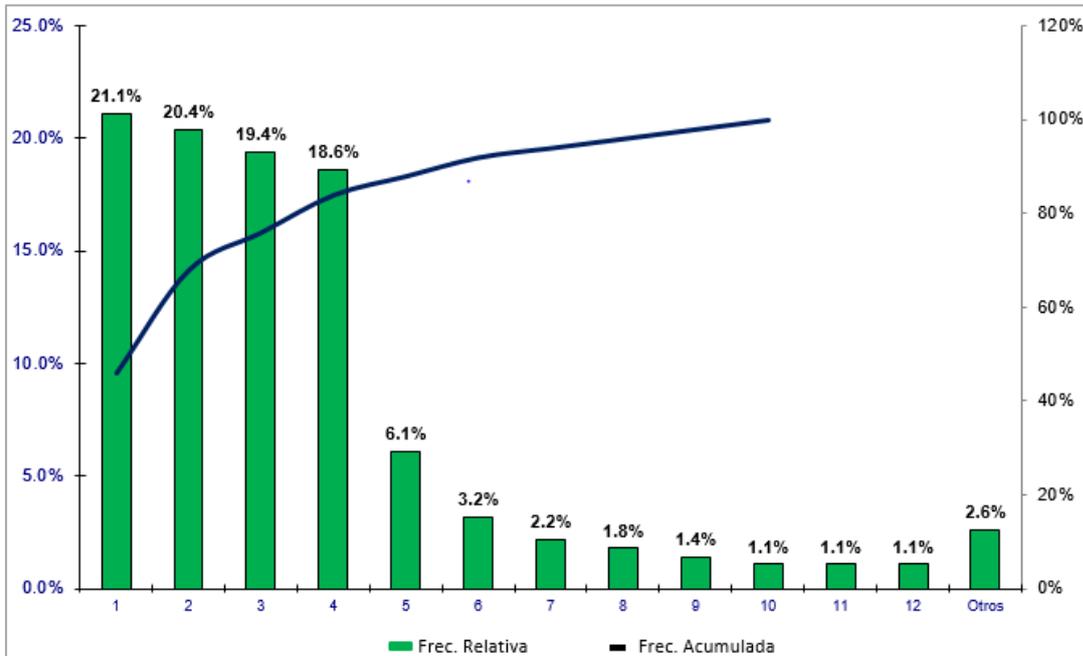


Figura 5 Diagrama de Pareto

Fuente: Elaboración propia

En la figura 5, se observa que se cumple el principio de Pareto en donde se sostiene que el 20% de las causas explican el 80% de la problemática, en tanto que existen 4 factores que explican de forma mayoritaria el bajo nivel de disponibilidad; por lo tanto, la alternativa de mejora y planteamiento de cambios deben concentrarse en resolver los problemas relacionados a la ausencia de una metodología para la gestión del mantenimiento, ausencia de una programación para mediciones, falta de indicadores de disponibilidad y no contar con procedimientos estandarizados; todo ello puede determinar un cambio significativo en la disponibilidad operativa de los camiones.

1.6. Justificación de la investigación

1.6.1. Justificación teórica

A nivel teórico, permitir realizar una innovación científica para lo cual es necesario hacer un balance o estado de la cuestión del problema un modelo teórico. En la presente investigación se realiza la revisión de los elementos teóricos sobre el mantenimiento centrado en la confiabilidad y la disponibilidad operativa de los equipos, ello permite tener un respaldo para las acciones a tomar.

1.6.2. Justificación práctica

La justificación de carácter práctico contribuye a la solución de problemas concretos; a partir de ello, en el trabajo se muestra el mecanismo de solución al problema de la baja disponibilidad de equipos mediante el uso de herramientas claves de la metodología RCM, lo cual es beneficioso para las operaciones.

1.6.3. Justificación económica

Respecto al tema económico, en la investigación se han desarrollado los lineamientos para la mejora de la disponibilidad, lo cual impacta en los resultados económicos de la empresa dado que los costos de reparación se reducen, se compra menor cantidad de repuestos y se obtiene un flujo económico – financiero más rentable en las operaciones.

1.7. Formulación del problema

1.7.1. Problema general

¿En qué medida la aplicación de la metodología RCM incrementa la disponibilidad operativa de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021?

1.7.2. Problemas específicos

¿En qué medida la aplicación de la metodología RCM mejora el tiempo medio entre fallas de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021?

¿En qué medida la aplicación de la metodología RCM mejora el tiempo medio para reparaciones de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021?

¿En qué medida la aplicación de la metodología RCM mejora las actividades correctivas de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021?

1.8. Objetivos

1.8.1. Objetivo general

Determinar en qué medida la aplicación de la metodología RCM incrementa la disponibilidad operativa de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

1.8.2. Objetivos específicos

Determinar en qué medida la aplicación de la metodología RCM mejora el tiempo medio entre fallas de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

Determinar en qué medida la aplicación de la metodología RCM mejora el tiempo medio para reparaciones de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

Determinar en qué medida la aplicación de la metodología RCM mejora las actividades correctivas de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

1.9. Hipótesis

1.9.1. Hipótesis general

La aplicación de la metodología RCM incrementa la disponibilidad operativa de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

1.9.2. Hipótesis específicas

La aplicación de la metodología RCM mejora el tiempo medio entre fallas de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

La aplicación de la metodología RCM mejora el tiempo medio para reparaciones de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

La aplicación de la metodología RCM mejora las actividades correctivas de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

De acuerdo con Valderrama (2019) las variables se clasifican según la relación que se establece entre las mismas y para ello se presentan las siguientes clasificaciones

- Variable independiente (V.I.). Es aquella cuyo funcionamiento existencial es relativamente autónomo, pues no depende de otra; en cambio, de ella dependen otras variables.
- Variable dependiente (V.D.). Es la que, en su existencia y desenvolvimiento, depende de la variable independiente. Su modo de leer y su variabilidad están condicionados por otros hechos de la realidad.
- Variable interviniente (Vi). Se trata de objetos o personas que constituyen el nexo entre la variable independiente y dependiente, y que, a través de ellos, se logran cambios en la variable dependiente. Es necesario indicar que, en algunos títulos de la investigación, no está escrita dicha variable, pero se encuentra presente implícitamente

En el presente capítulo, se describen los conceptos relacionados a cada término más utilizado en el desarrollo de esta metodología, RCM - mantenimiento centrado en la confiabilidad, y la variable dependiente (disponibilidad Operativa), tal como se presenta a continuación.

2.1. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

Para Casas y Barona (2019) el RCM posee su origen en una empresa aeronáutica, donde los especialistas diseñaron un proceso útil para determinar las necesidades óptimas de mantenimiento, utilizando las políticas empresariales que se basen en una gestión efectiva de los riesgos de falla del equipamiento y maquinaria; para ello, se identifican las funciones de la maquinaria, se analizan las causas y efectos, y se establecen las estrategias que se adapten a la realidad de la empresa, ello considerando los factores económicos y técnicos. A su vez, dentro de los conceptos de RCM se encuentra el de función vital, el cual es considerado como un proceso capaz de determinar los pasos a cumplir para garantizar que un elemento continúe operando en el proceso productivo dado un contexto operacional específico. A su vez, dentro de las estrategias se considera al mantenimiento como una

operación capaz de mejorar las capacidades de la empresa; por ello, se consideran estrategias de mantenimiento a la identificación, evaluación y programación.

En Gonzalez y Fuentes (2019) se define al RCM como una herramienta de mejora que se basa en el análisis minucioso de las fallas y averías, incluyendo sus causas y consecuencias, tanto en el aspecto operacional como en el económico; a su vez, dicha herramienta permite incrementar la productividad del área de mantenimiento, puesto que organiza y planifica las labores; asimismo, para lograr los óptimos resultados el área de mantenimiento recibe la cooperación de las áreas técnicas y administrativas. En específico, para realizar el mantenimiento se deben definir los parámetros a mejorar, ya sean costos, disponibilidad, calidad, etc.; luego, se analizan los métodos a los que hubiera que recurrir para lograr las metas establecidas; posterior a ello se investigan los modos de fallo más probables y se definen los mecanismos para minimizar las consecuencias de cada fallo.

En García (2016) se sostiene que el RCM consiste en definir las tareas de mantenimiento necesarias para responder a las fallas presentadas o por presentarse; dicha metodología se orienta a realizar el mantenimiento preventivo como actividad principal, para ello se establecen la frecuencia, programación y codificación de las acciones. Cuando se trabaja con equipos y maquinarias complejas el objetivo es elaborar un plan de mantenimiento considerando la información que requiere el RCM, dado el caso donde la información sea limitada, se puede recurrir a los fabricantes de dichos elementos. Las labores relacionadas a inspecciones, control o verificación se realizan en base a aproximaciones estadísticas logradas por la experiencia de los especialistas que participan del proceso. Entonces, el desarrollo del RCM arroja como resultado las tareas de mantenimiento preventivo que conforman el Plan general de mantenimiento; dicho plan puede variar en función de las reparaciones que se consideren necesarias en el transcurso del proceso.

En Campos et al. (2019) se define al RCM como una metodología útil para la elaboración de planes de mantenimiento que incluyan estrategias preventivas, correctivas o de análisis; dicho de otra forma, es una técnica que permite organizar las actividades de mantenimiento que poseen el objetivo principal de mantener o incrementar la confiabilidad de los equipos. A su vez, se trata de un proceso capaz de definir las acciones a realizar para que un activo realice sus actividades programadas en un contexto productivo específico; también es

utilizado como instrumento referencial para analizar los riesgos de los equipos, clasificar los elementos por importancia, identificar oportunidades de mejora en los equipos, entre otros. Durante el proceso RCM se definen los modos de falla, las causas primarias, la causa raíz y sus consecuencias.

De manera similar, Andrade y Herrera (2021) señala que el RCM surgió como un modelo de mantenimiento al interior de la industria aeronáutica; posteriormente, su éxito permitió que se expanda a la industria nuclear, química, ferroviaria, entre otras. Entre los beneficios del RCM se encuentra su adaptabilidad a las tecnologías de mantenimiento actuales, lo que permite mejores resultados respecto a productividad y riesgos; a su vez, el RCM se enfoca, principalmente en el análisis de las funciones y el análisis de los activos. Dicha metodología consiste en el análisis de los modos de falla y sus efectos, con lo cual se establecen acciones específicas para cada modo de falla y, consecuentemente, garantizar la continuidad del sistema; por tanto, el RCM será aplicable si considera las funciones del activo, los modos de fallo, los efectos, consecuencias, acciones fijas y acciones probables.

Por su parte, Ramirez, Viscaino y Mera (2018) resalta la importancia del RCM como mecanismo de mantenimiento eficaz para salvar vidas; ello considerando que su planteamiento surgió como respuesta a la gran cantidad de accidentes en la industria aeronáutica a finales de los años 50, donde el índice de accidentes equivaldría, en la actualidad, a 2 accidentes diarios, los mismos que estarían causados por falla en la maquinaria. Es así que se empiezan a adoptar políticas sobre el cuidado de los equipos, realizando revisiones periódicas con la finalidad de detectar algún desgaste entre sus elementos; sin embargo, las empresas visualizaron que la reparación se realizaba demasiado tarde y que esta demoraba mucho tiempo, por lo que el flujo operativo se veía afectado. Ello provocó que las empresas conformen grupos de especialistas que se ocuparían de la labor de analizar el mantenimiento, teniendo entre sus objetivos prevenir los gastos excesivos generados por las reparaciones y pérdidas por paro.

Adicionalmente, para García (2016) un programa posee un presupuesto específico designado por la organización; en él se definen estándares, prioridades, acciones y políticas que consideren a los proyectos y actividades que se realizarán dentro del programa establecido.

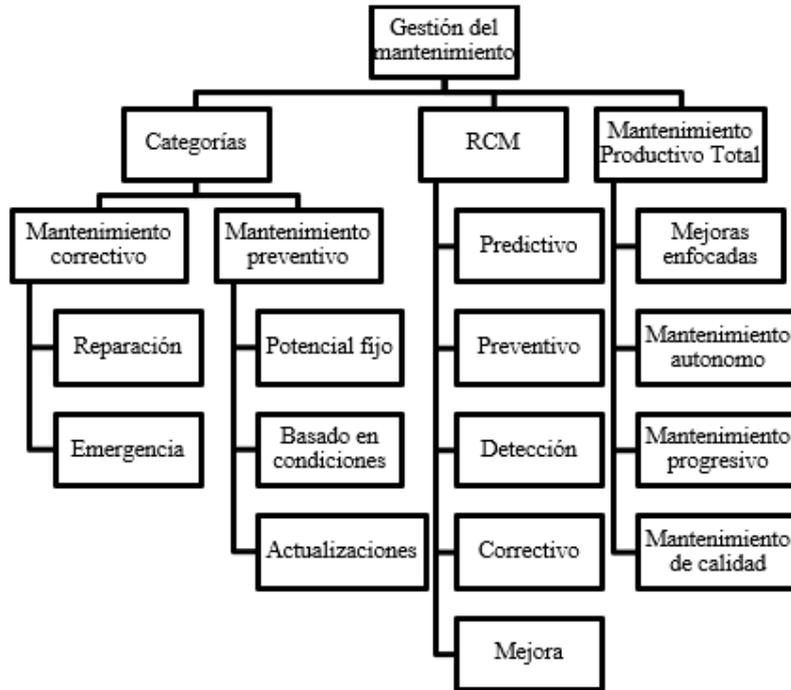


Figura 6 Lineamientos de gestión del mantenimiento de equipos

Fuente: García (2016)

En la figura 6, se explica la gestión de mantenimiento considerando sus categorías y las técnicas utilizadas. En primer lugar, existen dos categorías dentro del mantenimiento; estas son, mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo; el primero, se refiere a la reparación y a las acciones de emergencia que se realizan en el momento de ocurrencia de un fallo o avería de un equipo; mientras que, el mantenimiento preventivo se realiza identificando un potencial fijo, considerando las condiciones y actualizaciones del elemento. A su vez, la metodología RCM se compone por una etapa predictiva, preventiva, de corrección y de mejora; mientras que, el mantenimiento productivo total se inicia con las mejoras enfocadas, le sigue el mantenimiento autónomo, luego el progresivo y, finalmente, el mantenimiento de calidad.

Luego, en Emovon, Norman y Murphy (2016) se definen las metas y objetivos del RCM, dado que, si ello no se especifica, la administración y el personal responsable se encontrará con dudas y retrasos en el proceso, generando un costo económico excesivo. Entre los principales beneficios de la aplicación del RCM se tiene que se reducen los costos del mantenimiento realizado periódicamente, se reemplaza el mantenimiento preventivo por mantenimiento predictivo, se minimizan los paros de las operaciones, se reconocen los

requerimientos de los usuarios, se definen los estándares de calidad internacionales, se mejora la comunicación entre las áreas de mantenimiento y producción, se incrementa la disponibilidad de productos terminados, se mejora el sistema de información contable, se reducen los tiempos de reparación, se incrementa el tiempo entre paros, se reducen los riesgos vinculados a las tareas de rutina, entre otros.

De acuerdo con García (2016) respecto a las fases del RCM, los autores afirman que su implementación se desarrolla de la siguiente manera:

- Se definen los objetivos de la organización y se conforman los grupos responsables del proceso.
- Se elabora un programa de acciones incluyendo la selección de sistemas y equipos.
- Establecer las metas del RCM entorno a los objetivos de la organización.
- Realizar el análisis de los fallos, determinando los modos de fallo y sus posibles causas y efectos.
- Elegir las acciones de mantenimiento con mayor eficacia y rentabilidad.
- Revisar el programa de acciones establecido y ejecutar las acciones programadas
- Optimizar el proceso y verificar si se lograron las metas establecidas.

Asimismo, el proceso de revisión basado en RCM se realiza considerando las prioridades que establece la empresa, las cuales pueden ser sistemas, equipos o áreas; asimismo, la revisión será llevada a cabo por el personal humano, por lo que el cumplimiento de resultados depende de todo el personal que participa del proceso productivo. Una vez que se determinan las prioridades, se definen los objetivos, los mismos que pueden relacionarse a costos, servicio, tiempo, calidad, etc.; es decir, se analizan los modos de fallo, así como sus causas y consecuencias. Con la finalidad de sintetizar la información recolectada es recomendable utilizar una matriz de decisión, donde se reúnen las posibilidades de acción ante cada modo de fallo.

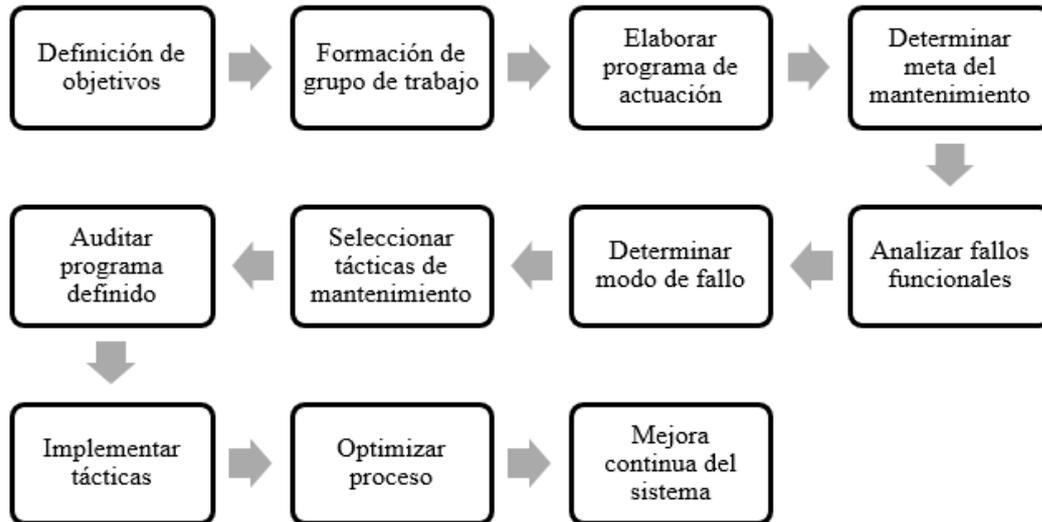


Figura 7 Etapas para la implementación del RCM

Fuente: García (2016)

En la figura 7, se presentan las etapas necesarias para la implementación del RCM; tal y como se observa, se inicia con la definición de los objetivos; posteriormente, se conforman los grupos de trabajo y se elaboran los programas de actuación; luego, se determinan las metas del mantenimiento; una vez definido ello, se procede a analizar los fallos funcionales y sus respectivos modos de fallo; seguidamente, se eligen las tácticas de mantenimiento y se revisa el programa definido con el objetivo de descartar errores. Con ello, se implementan las tácticas y se optimiza el proceso, con lo cual se logra la mejora continua del sistema.

Entorno a los programas de mantenimiento en Fernández (2020) se manifiesta que el conjunto de programas se conoce como plan, mientras que cada programa está compuesto por un conjunto de proyectos. El principal elemento diferenciador entre los 3 es el horizonte de tiempo; es así que el proyecto se centra en conseguir objetivos inmediatos mediante la clasificación y ordenamiento de recursos para las metas predefinidas; a su vez, el programa implica mayor alcance y diversidad, pues está constituido por una variedad de proyectos. Por tanto, se define al programa de mantenimiento como un sistema ordenado capaz de ejecutar, con una frecuencia dada, el mantenimiento a la infraestructura y a sus elementos; si bien se trata de un proceso complejo es posible garantizar un mantenimiento efectivo si se analizan y determinan las posibles fallas del equipamiento y maquinaria, con lo cual se garantiza el cumplimiento de los objetivos del mantenimiento, así como del proceso productivo en general.

Según Gonzales (2015) la identificación consiste en reconocer las capacidades de la infraestructura de y verificar si estas se encuentran acorde a las necesidades; los principales elementos a identificar son la estructura, los espacios, el equipamiento, los elementos públicos y elementos privados. Luego, la evaluación posee como objetivo determinar las condiciones de la infraestructura; a su vez, para elegir una estrategia de mantenimiento eficiente, se necesitará conocer el historial de la infraestructura, así como las características de los elementos que la componen; en caso no se posea la información suficiente, lo más adecuado será recurrir a un especialista en mantenimiento de infraestructuras, tanto por seguridad como por economía, pues el especialista realiza la evaluación en aproximadamente un día, representando un costo relativamente bajo. Por su parte, la programación consiste en definir el cronograma de acciones, incluyendo lo relacionado al mantenimiento predictivo, preventivo y a las reparaciones en general; asimismo, en la programación se considera mejorar la puesta en práctica del mantenimiento, definiendo el alcance del trabajo, así como las formas en las que se ejecutará el trabajo y los recursos.

Además, Rivas (2017) agrega que la realidad permitió que se considere la durabilidad de los equipos, por lo que se inició el registro de las horas de funcionamiento, la cantidad de errores, entre otros estadísticos que permitieron la prevención del fallo; sin embargo, el uso estricto de este método causó costos excesivos en las empresas, dado que se diversificó el personal de mantenimiento y los elementos eran sustituidos al cumplir el tiempo estipulado, aun cuando estos se encontraban dentro de su vida útil. A su vez, los principales tipos de mantenimiento son el mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo. El primero, se realiza luego de que el fallo ocurre, lo que genera retrasos y, posiblemente, otros fallos; por su parte, el mantenimiento preventivo se realiza antes de que ocurra el fallo y consiste en revisar el estado de los elementos; asimismo, el mantenimiento predictivo se realiza antes de que ocurra el fallo y se ejecuta siguiendo la programación de mantenimiento previamente elaborada.

Adicionalmente, en Iglesias (2015) se comenta sobre el mantenimiento condicionado, el cual consiste en la revisión permanente del sistema y sus componentes a través de la medición de diversas variables; asimismo, este tipo de mantenimiento obtiene la información de manera inmediata y directa mediante equipos de seguimiento y medición; su principal desventaja es

el aspecto económico, pues para controlar los parámetros se necesita instalar sistemas tecnológicos adecuados. También, se resalta que el estado de una maquina o elemento no puede ser explicado completamente por los parámetros o alguna combinación de estos; es decir, la lectura de los indicadores no determina con certeza la presencia de un fallo inminente en la maquinaria; a su vez, dado que no se pueden evaluar la totalidad de parámetros de un elemento, estos deben limitarse según el contexto específico. Las ventajas y desventajas del mantenimiento condicionado se resumen a continuación:

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Detecta los defectos que estan por presentarse • Considera la evolución de las fallas • Planifica el momento en el que se realizará el mantenimiento • Disminuye el tiempo de reparación • Elimina las posibles causas de los fallos • Brinda criterios para la elección de mejores condiciones de operacion • Incrementa la seguridad respecto al funcionamiento de los equipos 	<ul style="list-style-type: none"> • Ocurrencia de fallo entre mediciones periodicas consecutivas • Ocurrencia de fallo como consecuencia de la no detección en el sistema de control • Ocurrencia de fallo como resultado de un diagnostico incorrecto

Figura 8 Ventajas y desventajas del RCM

Fuente: Rivas (2017)

Para Jiménez (2018) el mantenimiento se define como el conjunto de medidas que se ejecutan para modificar las características de operación de un equipo, ello con la finalidad de lograr un mayor nivel de confiabilidad. La primera etapa consiste en la adquisición del equipo a ser modificado; la segunda, consiste en la modificación gradual de los equipos en función de las fallas más frecuentes; por último, en la tercera etapa el equipo se encuentra culminando su vida útil, de manera que se lleva a cabo el proceso de reconstrucción del mismo, a fin de utilizarlo un mayor tiempo. Dicho mantenimiento es de importancia en el caso de producciones a gran escala, pues de no llevarse a cabo se pueden terminar de producir los bienes con fallos de fabricación, lo que a su vez genera un costo muy alto por la reparación o desecho de los mismos.

Asimismo, en García (2016) se menciona sobre el mantenimiento se señala que tanto la maquinaria como los elementos que participan dentro del proceso productivo tienden a sufrir cambios negativos tales como perforación, rotura, desgaste, corrosión, deformación, etc.; estas variaciones son inevitables y pueden afectar negativamente las operaciones, las cuales son conocidas como fallas. Para evitar las fallas y garantizar que un sistema mantenga el nivel de operatividad deseada, se realizarán una serie de labores conocidas como tareas de mantenimiento; a su vez, al conjunto de actividades de mantenimiento realizadas para garantizar la operatividad de un elemento a lo largo de su vida útil se le denomina proceso de mantenimiento, mientras que el principal instrumento de gestión es denominado plan de mantenimiento.

En Rivas (2017) se afirma que los costos en los que se incurre por poseer un elemento se pueden desagregar en costos de compra, costo operativo, costos de mantenimiento y costo de retiro; por tanto, para lograr una mayor rentabilidad es necesario reducir los costos de mantenimiento, lo que a su vez se logra diseñando y planificando las labores de mantenimiento a un nivel óptimo y factible económicamente. Existen sistemas que se adquieren con su propio plan de mantenimiento y con las herramientas de control específicas; sin embargo, la gran mayoría de elementos adquiridos no incluyen sus planes de mantenimiento o se encuentran obsoletos, por lo que deberá elaborarse el plan específico y herramientas específicas; al tratarse de elementos creados de manera artificial, se necesitan de acciones externas para su abastecimiento, reparación y configuración, en ocasiones, dichas acciones son propuestas por el fabricante; sin embargo, a pesar del cumplimiento estricto de dichas labores, la ocurrencia del fallo resulta inevitable en algún momento específico; cuando ello sucede se deberán plantear otras tareas orientadas a garantizar la operatividad del sistema, cuidando que el elemento con falla recupere su funcionalidad. A la acción de recuperar la operatividad del elemento con falla se le conoce como mantenimiento correctivo y al conjunto de acciones encargadas de mantener la operatividad del sistema se le denomina mantenimiento preventivo.

Campos et al. (2019) el modo de falla es definido como la forma en la que se manifiesta la ocurrencia de la falla; es decir, se trata de la forma o evento que se observa y que expone la falla. Para identificar las causas de las fallas, es recomendable utilizar una lista de los modos de falla y analizarlos mediante un diagrama de causa-efecto. A modo de ejemplo, un equipo

puede presentar paros repentinos, lo cual es considerado como modo de falla; a su vez, mediante el análisis correcto, se determinan las posibles causas de la falla, los mismos que pueden ser por error de algún elemento, flujo eléctrico inestable, cortocircuito, etc. Dadas las consecuencias de falla determinados por el análisis RCM se establece un nivel de prioridad de riesgo (NPR) para las mismas; dicho indicador está determinado por tres variables fundamentales: la severidad, la detectabilidad y la ocurrencia.

El primero, indica el nivel de peligro que ocasiona la falla estudiada, ya sea en el sentido operacional, económico o de salud; asimismo, la detectabilidad indica la facilidad para observar la falla; a su vez, la ocurrencia muestra el nivel de frecuencia con el que se presenta la falla. Una vez elaborados los resultados del análisis RCM, se realiza la asignación de responsabilidad y la creación de grupos de grupos de trabajo que permitan la correcta implementación del plan de mantenimiento. Entre las principales labores a realizar se encuentran la revisión, desarrollo y evaluación de los ítems planteados por el RCM; asimismo, la efectividad del RCM es medida a través de la medición de desempeño.

En el mismo sentido Arteaga y Gorozabel (2021) definen al mantenimiento como una serie de responsabilidades complejas orientadas a garantizar la satisfacción de los clientes; para ello, se utilizan estrategias, políticas y tecnología capaces de lograr que un elemento cumpla con la operatividad requerida en el momento que se necesite. Asimismo, es fundamental que las empresas incorporen un conjunto de estrategias de mantenimiento, pues con ello se mejora la disponibilidad de los equipos y se minimiza la ocurrencia de fallos. Es así que el RCM aparece como una herramienta capaz de lograr que los activos participantes del proceso productivo cumplan con las operaciones establecidas; a su vez, la correcta implementación del RCM garantiza un incremento en la confiabilidad de los equipos mediante la reducción de la probabilidad de ocurrencia de fallo.

Además, para la construcción de un listado de los modos de falla se utiliza el Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), el cual, además, permite identificar las funciones del activo y el componente específico que presenta la falla, así como sus impactos y posibles causas; sin embargo, la construcción de este listado resulta tedioso ya que requiere detalles específicos sobre la fabricación de los equipos, por lo que se recomienda analizar solo los equipos que se encuentren en situación crítica a moderada.

Para Andrade y Herrera (2021) una vez realizada la evaluación RCM se obtiene un listado de las necesidades de mantenimiento para alcanzar una mayor efectividad, confiabilidad y rendimiento de la maquinaria. Entre otras ventajas, se tiene que el mantenimiento centrado en confiabilidad orienta a las organizaciones a llevar a cabo labores de mantenimiento preventivo y predictivo en función de las fallas que se presentan en los diversos equipos y elementos; asimismo, la metodología permite identificar a los equipos cuyas fallas no afectan significativamente las operaciones, por lo que serán intervenidas cuando su fallo y sus consecuencias resulten significativos. También, el RCM es definido como una metodología capaz de determinar las actividades de mantenimiento con una periodicidad asociada a la relevancia del equipo dentro del proceso productivo.

Además, en Andrade y Herrera (2021) se comenta que el AMEF es considerado una herramienta del RCM, pues sirve para identificar los modos de falla de un elemento, equipo o sistema en general, así como para definir la frecuencia y el impacto de las fallas. Con ello, se puede determinar las actividades de mantenimiento prioritarias, concentrando los esfuerzos en los fallos de mayor impacto y frecuencia. El AMEF se realiza siguiendo las siguientes etapas:



Figura 9 Implementación para el sistema AMEF

Fuente: Andrade y Herrera (2021)

La metodología RCM se desarrolla siguiente varias fases; en primer lugar, se definen los objetivos del RCM, así como sus indicadores y escala de valor; luego, se codifican los elementos y se analizan cada una de sus funciones de manera detallada; seguidamente, se definen los fallos, modos de fallo, causas y consecuencias; finalmente, se elaboran las medidas de prevención y se agrupan en un plan de mantenimiento, el mismo que será ejecutado y posteriormente evaluado a fin de resolver errores. Adicionalmente, el mantenimiento puede realizarse, principalmente, bajo dos enfoques: el correctivo y el

preventivo; el mantenimiento correctivo se orienta a realizar la acción de reparación una vez que el fallo se ha producido, para lo cual el personal técnico procede a identificar la causa del fallo y a reparar; mientras que, el mantenimiento preventivo es evitar que el fallo se produzca, lo que se logra sustituyendo los elementos de las maquinarias, ello sin considerar el estado de los elementos, pues la sustitución continua permite reducir los imprevistos y paros innecesarios.

Además, según Gupta y Srí (2016) el Análisis de modos, efectos y fallas, conocido como AMEF representa una herramienta útil para identificar y aplacar los riesgos potenciales; es decir, permita prevenir problemas operacionales. La elaboración del AMEF se inicia con la identificación de los modos de falla dentro del diseño y producción de un determinado bien; luego, se evalúa la severidad, nivel de ocurrencia y detección; seguidamente, con los valores hallados se calcula el nivel de riesgo y se elaboran un conjunto de medidas orientadas a resolver los riesgos más significativos. En primer lugar, se forman los equipos de trabajo considerando la experiencia de los trabajadores al lidiar los equipos; luego, se determinan los objetivos considerando los lineamientos y los resultados esperados; seguidamente, se identifican los modos de fallo, los fallos y sus efectos; también, se realiza el diseño de los sistemas de control y sus indicadores; a su vez, se determinan los valores NRP, se plantean las acciones de mejora considerando los puntos críticos identificados y, finalmente, se realiza la revisión del proceso con el objetivo de finiquitar detalles y mejorar el sistema. Asimismo, en Socconini (2019) se mencionan los beneficios de la metodología AMEF

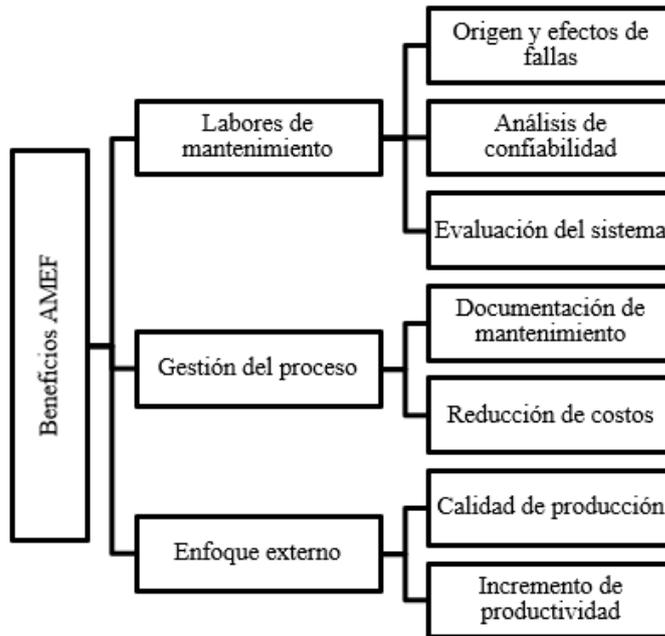


Figura 10 Beneficios de la implementación de la metodología AMEF

Fuente: Socconini (2019)

En la figura 10, se visualizan los beneficios de la herramienta AMEF, la misma que se desarrolla a partir de labores de mantenimiento, gestión del proceso y enfoque externo. A su vez, las labores de mantenimiento se concentran en la detección de las fallas y sus efectos, en el análisis de confiabilidad y la evaluación del sistema; por su parte, la gestión del proceso consiste en la documentación del mantenimiento teniendo como objetivo la reducción de costos; por último, el enfoque externo se basa en la calidad de producción y el incremento de la productividad.

A su vez, Socconini (2019) sostienen que el sistema 5S se encarga de mantener organizado las principales áreas de trabajo (dentro de las cuales puede mencionarse al área de mantenimiento) ello con el objetivo de obtener un producto o servicio de calidad; para ello, los procesos productivos deberán estar exentos de accidentes, defectos, demoras o desechos. La primera etapa corresponde a Seiri o Seleccionar, y consiste en retirar todo lo que no es útil del lugar de trabajo; la segunda es la etapa Seiton u Organizar y se trata de identificar los elementos y organizarlos correctamente; además, la etapa de Seiso o Limpiar consiste en mantener el área de trabajo en un estado limpio y ordenado; luego, la etapa de Seiketsu o Estandarizar corresponde a la definición de parámetros para brindarle fluidez al proceso

productivo; por último, la etapa Shitsuke o Seguimiento sirve para realizar labores de supervisión y control durante las actividades.

2.1.1 Dimensiones del RCM, son 3.

1. Tareas de mantenimiento

De acuerdo con Linares (2018) las tareas de mantenimiento son un aspecto clave en para evaluar los equipos y predecir las futuras fallas que puedan aparecer; por lo tanto, es importante contar con una programación adecuada que evidencie un sistema automatizado de trabajo. Por otro lado, se necesita orientar los trabajos de especialistas para aprovechar las habilidades de cada uno en el área respectiva, todo ello con el objetivo de alargar la vida útil de los equipos y mostrar un adecuado nivel de confiabilidad. Asimismo, se recomienda que las tareas de mantenimiento cuenten con una programación secuencial con frecuencias desde intervalos en días o semanas.

Ecuación 1 Formula de tareas de mantenimiento

$$TM = \frac{\textit{Tareas cumplidas de mantenimiento}}{\textit{Total de tareas programadas de mantenimiento}} * 100\%$$

2. Confiabilidad del proceso

Según Parra y Crespo (2012) la confiabilidad del proceso es el grado de certeza de que las operaciones se encuentran alineadas a los objetivos y acciones seguras, en tanto que refleja una adecuada gestión del mantenimiento para solucionar en el menor tiempo posible los ratos por fallas en equipos. El análisis de la confiabilidad muchas veces toma en cuenta aspectos dentro del sistema operativo como la mantenibilidad, las consecuencias de fallas en el equipo y la producción, la disponibilidad, entre otros a fin de reflejar un buen nivel desempeño. Para dicho fin, en la metodología RCM se han desarrollado formatos y hojas de decisión para inspeccionar los trabajos, analizar si se cumplen las especificaciones y plantear alternativas de cambio si fuera el caso.

Ecuación 2 Formula de la confiabilidad del proceso

$$CP = \frac{\text{Inspecciones realizadas con hojas de decisión RCM}}{\text{Total de inspecciones planificadas}} * 100\%$$

3. Análisis modal de fallas y efectos (AMEF)

Para Gupta y Sri (2016) el análisis modal de fallas y efectos (AMEF) es una técnica que permite la gestión de los riesgos en la operatividad de los equipos mediante la identificación de los factores más críticos que deben ser solucionados dentro del proceso de mantenimiento; en este sentido, se toma en cuenta 3 conceptos claves como la severidad, nivel de ocurrencia y dificultad de detección. La combinación de ambos mediante una multiplicación da como resultado el indicador del nivel de prioridad de riesgo, en tanto que mientras más alto sea el valor, mayor será la prioridad por atender en dicho aspecto. Para calcular el nivel de prioridad de riesgo se presenta la siguiente expresión.

Ecuación 3 Formula del NPR

$$NPR = \text{Severidad} * \text{Ocurrencia} * \text{Detección}$$

Adicionalmente, en Suárez y Nieto (2021) se menciona que dentro del análisis AMEF existen criterios para evaluar la criticidad del número de prioridad de riesgo, los cuales se han clasificado según la siguiente tabla.

Tabla 3

Niveles para la evaluación de riesgos

NPR	Nivel de riesgo	Decisión	Prioridad de acciones
1-27	Bajo	Aceptado (RA)	Aplicar acciones para reducir el riesgo
28-75	Medio	Rechazado (RR)	Aplicar acciones en el mediano plazo
76-125	Alto	Rechazado (RR)	Desarrollar acciones en el corto plazo

Fuente: Suárez y Nieto (2021)

2.2. Disponibilidad operativa de vehículos

De acuerdo con García (2016) la disponibilidad operativa es la capacidad de que un equipo o sistema funcione en adecuadas condiciones y sin interrupciones a fin de no afectar de forma negativa el proceso de producción, en otras palabras, refiere el grado de confiabilidad que se posee para determinar que el sistema se encuentra operando. En este sentido, el análisis permite evaluar de distintas maneras las magnitudes sobre la disponibilidad, pero el sistema más conocido se basa en la combinación de los conceptos del tiempo medio entre fallas y tiempo medio para reparaciones, en tanto que la suma de ambos es el tiempo global de las operaciones. Para su cálculo se muestra la siguiente ecuación.

Ecuación 4 Formula de la disponibilidad operativa

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF} * 100\%$$

En Menendez (2016) la gestión de la disponibilidad consiste en la elaboración de estrategias y acciones que permitan la continuidad del negocio; a su vez, la gestión debe realizarse con la colaboración de las tecnologías. Con el fin de brindarle al cliente un producto que cubra con sus expectativas, el proceso debe realizarse de forma ininterrumpida y cumpliendo los requerimientos de calidad y disponibilidad; para que una empresa sea considerada competitiva debe mantener un nivel de disponibilidad entre el 95% y 98% anualmente. Entre las principales actividades de la gestión de disponibilidad se encuentra la definición de la disponibilidad requerida por los clientes, lograr el nivel de disponibilidad planteado, monitorear la disponibilidad mediante los sistemas tecnológicos incorporados, entre otras; asimismo, los indicadores que se utilizan en la gestión de disponibilidad son la disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad y el potencial del servicio. También se describen sus beneficios, tales como la reducción de costos, cumplimiento de los niveles de disponibilidad pre establecidos, incremento de la calidad y disminución de riesgos; por último, al realizar la gestión se obtiene la identificación de las actividades más importantes de la organización, se definen los protocolos de mantenimiento y se mide el impacto de los fallos en los tiempos.

La gestión de disponibilidad comprende las siguientes actividades: definir los criterios de disponibilidad, los mismos que deben adaptarse a la estrategia y posibilidad financiera de la organización; se elabora el plan de disponibilidad donde se considera la situación actual del proceso operativo, las herramientas de control, las técnicas a utilizar, el listado de las mejores y los resultados esperados; a su vez, se realiza el mantenimiento de los elementos en operación y su reparación en caso de fallos; también, se elaboran diagnósticos frecuentes sobre el estado de los sistemas; se evalúa la capacidad del servicio de los proveedores; se controla la disponibilidad mediante herramientas informáticas y elaboran informes con los detalles recopilados; asimismo, se analiza el impacto de las políticas implementadas y se solicita colaboración de especialistas externos en caso sea necesario.

Por otro lado, Ramirez (2017) define los parámetros de ajuste para mejorar el mantenimiento, los mismos que permiten medir, de manera sencilla, las funciones del equipo. En primer lugar, el parámetro confiabilidad determina la probabilidad de que un elemento funcione durante un determinado periodo de tiempo, ello se mide a través del tiempo promedio entre fallos; a su vez, el parámetro de mantenibilidad esta referida a las propiedades que determinan el nivel de eficacia de un elemento cuando este es reparado; dicho de otra manera, la mantenibilidad es la capacidad de reparar un equipo o maquinaria dentro de un determinado periodo de tiempo utilizando los procedimientos establecidos para ello. Por tanto, el mantenimiento depende de la mantenibilidad, pues para lograr la mantenibilidad de un equipo hay que realizar cambios en su diseño, mientras que el mantenimiento corresponde a las actividades que se realizan para evitar algún fallo, luego de que se ha logrado un nivel de mantenibilidad mínimo en el equipo.

Otro parámetro es la disponibilidad del mantenimiento, el cual determina el tiempo de funcionamiento de un equipo o sistema dentro del sistema productivo; dicha medida brinda una visión clara sobre la capacidad de respuesta del mantenimiento y se calcula considerando las horas promedio trabajadas, la cantidad de días de la semana trabajados y la probabilidad de disponibilidad de los trabajadores. Seguidamente, el parámetro de efectividad es usado para comparar la utilidad entre equipos, para su cálculo se utilizan las horas de operación y las horas de mantenimiento; también, se encuentra el parámetro de fallos, los cuales suelen producirse de manera inesperada y deben ser corregidos de manera independiente. Por

último, el parámetro costos refleja el nivel de efectividad de un tipo de mantenimiento; ya que, de tratarse de un mantenimiento correctivo los costos serán bajos en el corto plazo, pero se incrementarán en el largo plazo debido a la compra inesperada de repuestos y las pérdidas por paro que ello implica.

Adicionalmente, para Cárcel (2016) los procedimientos de gestión son importantes porque permiten organizar las acciones necesarias para el mantenimiento de los elementos considerando los objetivos establecidos y los recursos disponibles; a su vez, la aplicación del mantenimiento correctivo o preventivo se realiza en función de las características del proceso productivo. El procedimiento de gestión inicia con el registro de la falla en la orden de trabajo y traslada la decisión a los responsables para que movilicen los materiales que servirán para el mantenimiento; dichos materiales son previamente evaluados con el objetivo de verificar su calidad. La organización se provee de materiales realizando la gestión de materiales, donde se establecen los plazos, las cantidades y los estándares de calidad; asimismo, se realiza la gestión de residuos considerando los tipos de residuos, la normativa, los envases segregadores, el transporte interno y externo de los residuos.

Según Vallencillos (2017) los indicadores de gestión resultan de gran importancia para la gestión del mantenimiento, ya que medir el logro de los objetivos cuantitativamente permite tomar decisiones basadas en la realidad; a su vez, los principales indicadores son: la disponibilidad, el tiempo medio entre fallos, tiempo promedio de reparación, índice de cumplimiento de órdenes de trabajo, índice de cumplimiento del plan y las fracciones de costo por mantenimiento preventivo y correctivo. A saber, la disponibilidad mide la proporción en la cual los equipos, sistemas o maquinarias se encuentran operativos; el tiempo promedio de reparación explica la frecuencia con la que aparecen las fallas y se mide como la proporción entre el total de horas operativas y el tiempo total de fallo; de manera similar, el tiempo promedio entre fallos representa la efectividad de la gestión de mantenimiento para resolver los fallos de los elementos, pues mide el tiempo que se registra entre el fallo y la resolución del problema. También, el índice de cumplimiento de las ordenes de trabajo sirve para controlar el nivel de respuesta ante las ordenes de trabajo emitidas; otro indicador es el índice de cumplimiento del plan, el mismo que se basa en el cronograma de implementación del plan de mantenimiento para determinar su nivel de cumplimiento, para su medición se utilizan los reportes de mantenimiento emitidos; por

último, las fracciones de costo por mantenimiento preventivo y correctivo muestran la proporción del gasto utilizado en ambos tipos de mantenimiento.

Adicionalmente, Escaño, Caballero y Nuevo (2019) sostienen que luego de haber diseñado los sistemas informáticos responsables del control de parámetros, es necesario determinar todos los modos posibles del flujo operativo, considerando las paradas inesperadas, el tiempo de reparación, los defectos en el sistema, entre otros. Asimismo, se señala que los fallos en el sistema informático pueden ocurrir debido a las mismas causas, mientras que los fallos en los elementos tangibles pueden producirse de manera aleatoria; por tanto, se considera necesario incorporar un mecanismo de reinicio automático cuando los sistemas presenten retrasos. También, se definen tres situaciones para el sistema productivo: en funciones, en paro o con defectos; para el primer caso, se refiere a la actividad ininterrumpida de la producción; el segundo, cuando la producción está detenida; y el tercero, cuando algún elemento derivado de la producción no presenta los estándares establecidos.

Se comenta sobre la importancia del mantenimiento de todos los elementos pertenecientes a las instalaciones de la organización; por tanto, la limpieza representa un indicador del nivel de mantenimiento que se realiza, por lo que resulta importante complementar dichas labores con un sistema informático que responda a los objetivos del mantenimiento; mientras que, el aprovechamiento del tiempo resulta vital al momento de realizar el mantenimiento, pues la demora en la resolución de problemas implica un incremento de costos, tanto por las remuneraciones al personal como por las ventas que no se llegan a concretar; asimismo, cuando el mantenimiento no cumple con los requerimientos esperados, se provocan pérdidas por reprocesos.

Complementariamente, García (2016) sostiene que la confiabilidad representa una característica propia de un flujo operativo y de sus elementos y se evalúa en un determinado periodo de tiempo; la confiabilidad se puede manifestar a través de la capacidad de un elemento para cumplir las funciones para la cual fue diseñada, así como en la resistencia del equipo ante un fallo y en la capacidad de cumplir con las tareas establecidas en un determinado periodo de tiempo. Dicho de otra manera, la confiabilidad representa la probabilidad de que un elemento productivo opere bajo ciertas condiciones establecidas durante un tiempo definido. Matemáticamente, la disponibilidad es medida como una

proporción entre el tiempo promedio entre fallas sobre la suma del tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparaciones; es decir, depende de la mantenibilidad y la confiabilidad. Ante una mejora de la mantenibilidad, el tiempo medio de reparaciones disminuye y mejora la disponibilidad; asimismo, ante un incremento de la confiabilidad, el tiempo medio entre fallas también aumenta, y consecutivamente incrementa la confiabilidad.

Luego, Caballero y Clavero (2016) un sistema de alta disponibilidad es aquel que opera de manera continua durante las 24 horas del día y los 7 días de la semana; asimismo, para su correcto desenvolvimiento se debe ubicar los fallos y eliminarlos y garantizar la confiabilidad en el procesamiento de datos, pues con ello se logrará detectar y eliminarlos antes de que provoquen una falla global.

Finalmente, Solorzano y Espinosa (2021) concibe a la disponibilidad como un indicador de relevancia que mide el impacto de las políticas adoptadas entorno a la gestión de mantenimiento; para ello, se compara el rendimiento de los equipos antes y después de implementar las políticas. A nivel mundial, las actividades de mantenimiento se realizan con la ayuda de herramientas tecnológicas que permiten un trabajo más fluido y preciso; mientras que, para el mantenimiento de las maquinarias de mayor volumen se utiliza la gestión de ingeniería del mantenimiento, la cual se refiere a la solución de los problemas técnicos que presente el equipo, a la puesta en práctica de un manejo correcto y a la recolección exhaustiva de datos propios del equipo y del flujo operativo. Asimismo, se necesita de una comunicación fluida entre las áreas que participen de las operaciones, pues ello facilita su entendimiento e incrementa el nivel de respuesta ante inconvenientes; también, se realiza el AMEF y, a partir de sus resultados, se conforman los grupos de trabajo responsables de resolver las fallas identificadas.

2.2.1 Dimensiones de la disponibilidad operativa: son 2.

1. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

De acuerdo con Escaño, Caballero y Nuevo (2019) este indicador hace referencia al tiempo en promedio en el cual se puede observar una falla o avería dentro del sistema operativo, en tanto que se toma como base los tiempos registrados. El indicador es clave dado que refiere

el nivel de desempeño y continuidad del sistema, dado que es importante mantener una producción u operación constante para elevar la competitividad; su cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 5 Formula del tiempo medio entre fallas (MTBF)

$$MTBF = \frac{\textit{Horas total de operaciones}}{\textit{Cantidad de fallas}}$$

2. Tiempo medio para reparaciones (MTTR)

Según Fernández (2020) el indicador señala el tiempo en promedio que es necesario para las reparaciones de equipos en caso de averías o fallas y para ello se toma el total de las horas en la que los equipos se han mantenido en trabajos de reparaciones sobre el total de los fallos ocurridos. Adicionalmente, el valor encontrado permite conocer la eficiencia en las labores puesto que el área de mantenimiento debe entregar en el menor tiempo posible los equipos que son necesarios para las operaciones; para su cálculo se presenta la siguiente formula.

Ecuación 6 Formula del tiempo medio para reparaciones (MTTR)

$$MTTR = \frac{\textit{Horas para reparación de equipos}}{\textit{Cantidad de fallas}}$$

2.3. Definición de términos básicos

1. **Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM):** Es una metodología utilizada para determinar que se debe hacer para que de manera segura todo activo continúe realizando las funciones por las que fue adquirida en su contexto operacional (Moubray, 2004)
2. **Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF):** Es considerado una herramienta del RCM, pues sirve para identificar los modos de falla de un elemento, equipo o sistema en general, así como para definir la frecuencia y el impacto de las fallas (Andrade y Herrera, 2021).
3. **Disponibilidad Operativa:** Facultad que un Activo funcione satisfactoriamente en un tiempo establecido (ISO 14224, 2016)
4. **Tareas de mantenimiento:** las Tareas proactivas deben anticiparse a las fallas, la finalidad de esta tarea es evitar el activo falle, esto se define como intervención "predictiva" y "preventiva"
5. **Confiabilidad:** Probabilidad en los sistemas o equipos de que no ocurran fallas en las labores operativas y se continúe con un funcionamiento adecuado (Zegarra, 2016, p.33).
6. **MTBF:** Este indicador hace referencia al tiempo en promedio, en el cual se puede observar una falla o avería dentro del sistema operativo, en tanto que se toma como base los tiempos registrados (Escaño, Caballero y Nuevo, 2019).
1. **MTTR:** Tiempo en promedio que se toma para la reparación de un equipo o máquina debido a la presencia de averías y fallas (Caballero y Clavero, 2016, p.163).
2. **Avería:** Inconveniente operativo o falla que logra detener los equipos y los indisponer para el proceso productivo, en otras palabras, lo incapacita para continuar sus labores (Zegarra, 2016, p.32).
3. **Daño:** Cambio negativo en el equipo que puede ser ocasionado de forma directa o indirecta, como por ejemplo el deterioro por el tiempo o la consecución de sus actividades (Sánchez, 2015, p.512).

4. **Desperdicio:** Elementos que generar retrasos o problemas en la producción o funciones, en tanto que disminuye la productividad y para eliminarlas se requiere de soluciones a fin de no generar costos excesivos (Socconini, 2019, p.23).
5. **Escala:** Refiere a la relación entre dimensiones respecto a un parámetro de comparación real (Iglesias, 2015, p.307).
6. **Esquema:** Representación gráfica que simplifica la representación de los procesos a desarrollar dentro de una actividad, mediante su comprensión se desarrollan las actividades de operación (Iglesias, 2015, p.307).
7. **Herramientas:** Bienes o elementos que junto con el accionar del hombre facilitan el trabajo y solucionan problemas en la realidad de operaciones (Iglesias, 2015, p.307).
8. **Máquina:** Conjunto de mecanismos o sistemas de funcionamiento para desarrollar labores de producción con la transformación de una fuerza externa (Sánchez, 2015, p.512).
9. **Mantenimiento:** Labores y operaciones para mejorar las condiciones internas y externas de los equipos para lograr un adecuado funcionamiento en el proceso productivo (Jiménez, 2018, p.74).
10. **Mantenimiento preventivo:** Proceso destinado a extender la vida útil de los equipos mediante el aseguramiento de la funcionalidad en sus partes o componentes (Medialdea y Corrales, 2017, p.240).
11. **Manual:** Texto escrito donde se mencionan las características y condiciones operativas sobre un equipo o sistema para el adecuado funcionamiento (Janoudi, 2015, p.387).
12. **Productividad:** Indicador que relaciona el alcance de los objetivos y el uso de los recursos dentro de un sistema productivo en un escenario de competitividad (Socconini, 2019, p.27).
13. **Protocolo:** Conjunto de reglas y normas que guían un proceso operativo a fin de alcanzar un funcionamiento óptimo, adecuado y eficiente (Medialdea y Corrales, 2017, p.240).

14. **Reparación:** Actividad que soluciona los problemas ocasionados por una falla o avería que detuvo el funcionamiento, para ello muchas veces se requiere del cambio de piezas o mejoras de estas (Sánchez, 2015, p.513).

15. **Riesgo:** Hace referencia a la probabilidad de ocurrencia de una falla mientras el equipo se encuentra realizando sus labores operativas y como consecuencia de ello se detenga la producción (Sánchez, 2015, p.513).

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

En el presente capítulo, se describe la experiencia profesional desarrollada en M&R Industria EIRL, en el área de mantenimiento.

La implementación de la metodología RCM, se realizó con la finalidad de mejorar la disponibilidad, así mismo se determinó la inversión y el ahorro que se obtiene con la implementación de dicha metodología.

3.1. Ingreso a la empresa

El ingreso a la empresa se dio en el año 2019, asumiendo el cargo de Planner de mantenimiento. Con el transcurso del tiempo se fue ascendiendo en el año 2020, se asume el cargo de jefe de mantenimiento, las funciones, que se desempeñan son las siguientes:

1. Responsable del control del presupuesto asignado al área de mantenimiento a fin de optimizar los gastos.
2. Responsable de la administración de equipos.
3. Gestionar las relaciones con los contratistas y proveedores de servicios.
4. Supervisar los gastos y controlar el presupuesto para el mantenimiento
5. Ejecución y cumplimiento de los trabajos de mantenimiento de equipos, dentro del desarrollo de los programas de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.
6. Control y seguimiento de indicadores en el área de mantenimiento.

Para la elaboración del proyecto, se coordinó con el Gerente General de la empresa, así como, también con el Gerente de proyectos, quienes proporcionaron información relevante y actualizada. Así mismo, se elaboró un plan de control de seguimiento con las personas encargadas del área de mantenimiento.

3.2. Identificación del problema

Con relación a la identificación del problema, se tiene al respecto la variable dependiente, dada por la disponibilidad, la cual se describe como la cantidad de tiempo que la planta de cualquier empresa tiene disponible para poder producir o el tiempo que tiene una compañía para poder brindar un servicio a los clientes.

1. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

El tiempo medio entre fallas es un indicador de la variable disponibilidad y representa el tiempo que transcurre entre dos averías que suceden en un mismo equipo. A partir de eso, el MTBF o tiempo medio entre fallas permite conocer la fiabilidad del funcionamiento.

Tabla 4

Análisis inicial MTBF periodo Inicial (Enero – Junio 2021)

Tiempo medio entre fallas				
	Horas de operación	Nº fallas	Cálculo del MTBF	MTBF
Enero	1764	137	1764/137	12.88
Febrero	1750	144	1750/144	12.15
Marzo	1800	108	1800/108	16.67
Abril	1771	120	1771/120	14.76
Mayo	1776	130	1776/130	13.66
Junio	1692	143	1692/143	11.83

Fuente: Elaboración propia

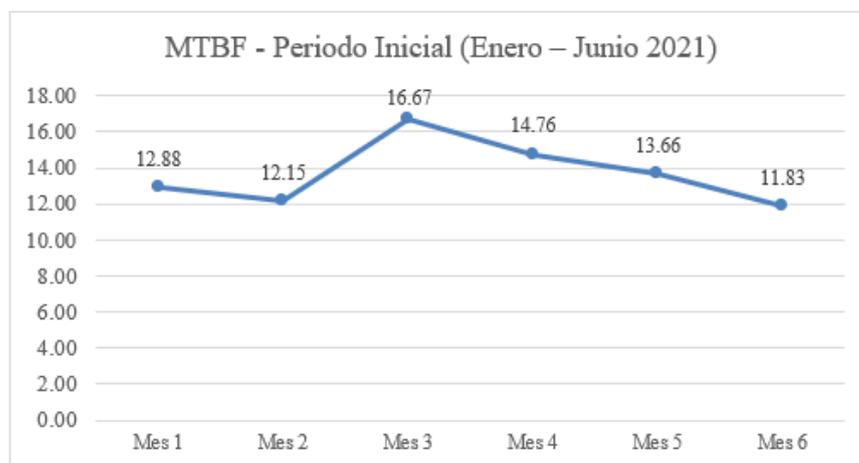


Figura 11 Análisis del tiempo medio entre fallas - Periodo inicial

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4 y figura 11, se observa los resultados del análisis del tiempo medio entre fallas (MTBF) donde se halló que este indicador en el periodo inicial tuvo una tendencia a disminuir: en el Mes 1 se observó 12.88 horas, al Mes 2 descendió a 12.15 horas y al Mes 3 subió a 16.67 horas que viene a ser el puntaje más alto dentro de estos seis meses, luego de esto su puntuación fue descendiendo progresivamente hasta acabar en 11.83 horas al Mes 6. De esto se desprende que el funcionamiento de los equipos no resulta tan fiable como se espera que sea para el beneficio de la compañía, datos del año 2021.

2. Tiempo medio para reparaciones (MTTR)

El Tiempo medio para reparaciones o MTTR (según sus siglas en inglés *Mean Time to Repair*) es el transcurso de tiempo que se necesita para poder reparar una falla o avería de algún equipo, en otras palabras, es el lapso para devolver las condiciones normales de funcionamiento al equipo.

Tabla 5

Análisis inicial MTTR periodo inicial (Enero – Junio 2021)

Tiempo medio para reparaciones				
	Horas de mantenimiento	Nº fallas	Cálculo del MTTR	MTTR
Enero	540	137	540/137	3.94
Febrero	554	144	554/144	3.85
Marzo	504	108	504/108	4.67
Abril	533	120	533/120	4.44
Mayo	528	130	523/130	4.06
Junio	612	143	612/143	4.28

Fuente: Elaboración propia

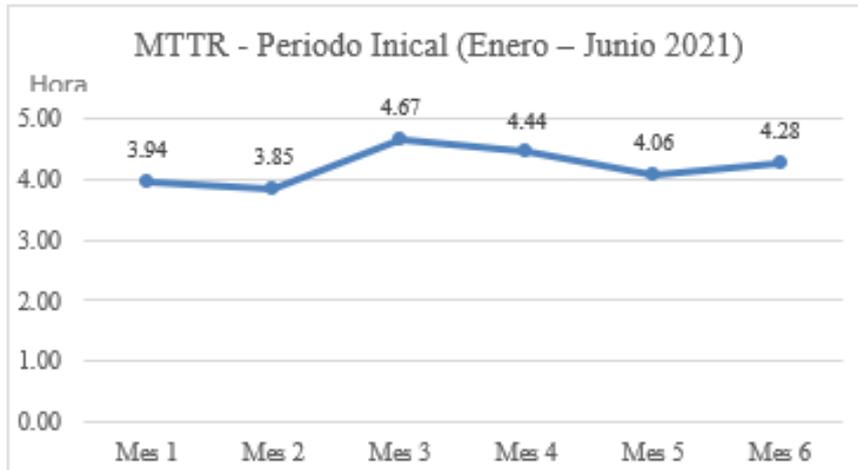


Figura 12 Análisis del tiempo medio para reparaciones – Periodo inicial

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5 y figura 12, el análisis del tiempo medio para reparaciones se observó que en el Mes 1 se obtuvieron puntuaciones que no llegaron a ser óptimas ya que al Mes 1 se observó 3.94 horas, al siguiente mes descendió en 3.85 horas y luego aumentó a 4.67 horas donde alcanzó su puntuación más alta dentro de los primeros seis meses, posterior a ello descendió progresivamente hasta llegar a 4.28 al último. A partir de esto se puede decir que el MTTR obtuvo un comportamiento con tendencia a subir lo que significa que los tiempos de reparación fueron muy altos que se traduce en mayores costos para la empresa. Por último, se presenta la combinación de ambos indicadores mediante la disponibilidad operativa en el periodo inicial, datos del año 2021.

Tabla6

Análisis de la disponibilidad Periodo inicial (enero a junio 2021)

Mes	Tiempo medio entre fallas MTBF	Tiempo medio para reparaciones MTTR	Cálculo de Disponibilidad	Disponibilidad
Enero	12.88	3.94	$(12.88) / (12.88 + 3.94)$	76.60%
Febrero	12.15	3.85	$(12.15) / (12.15 + 3.85)$	76.00%
Marzo	16.67	4.67	$(16.67) / (16.67 + 4.67)$	78.10%
Abril	14.76	4.44	$(14.76) / (14.76 + 4.44)$	76.90%
Mayo	13.66	4.06	$(13.66) / (13.66 + 4.06)$	77.10%
Junio	11.83	4.28	$(11.83) / (11.83 + 4.28)$	73.40%

Fuente: Elaboración propia

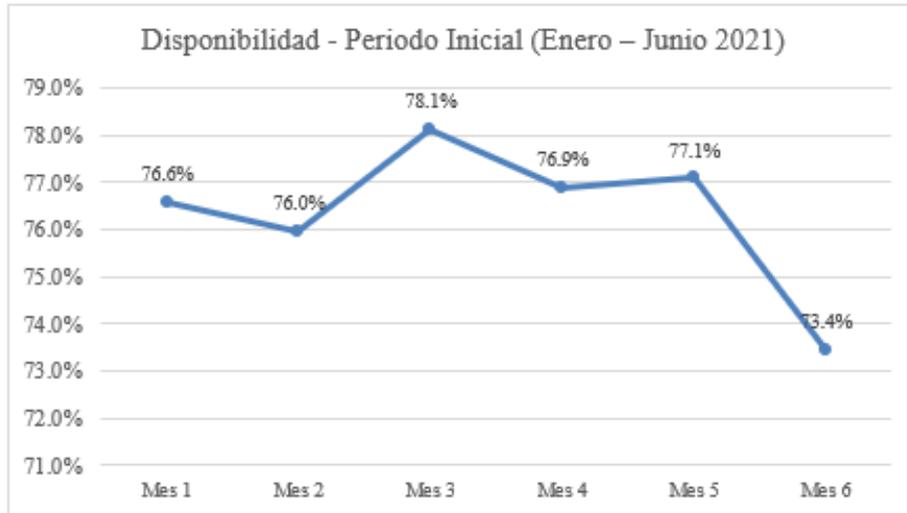


Figura 13 Análisis de la disponibilidad - Periodo inicial

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 y figura 13, el análisis a la disponibilidad se halló el menor porcentaje de disponible en el Mes 6 con un 73.4%, lo que significa que en ese mes hubo un menor tiempo para la puesta en marcha de la producción; por otro lado, el porcentaje más alto se halló al Mes 3 con un 78.1% que nos indica que en ese mes fue cuanto más tiempo se tuvo dedicado a la producción. En ese sentido, se puede decir que la gestión de disponibilidad en este periodo inicial a la evaluación tuvo un comportamiento irregular con resultados poco favorables que se traducen en un desempeño que no se termina por desarrollar de la manera más eficiente.

3.3. Planificación y Desarrollo de la metodología RCM

Como objetivo general se determinó, en qué medida la aplicación de la metodología RCM incrementa la disponibilidad operativa de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021. Específicamente, se logró determinar cuál es el contexto inicial la disponibilidad operativa de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021. Asimismo, determinaron las fallas críticas en los camiones-volquetes de una empresa minera, 2021. Consecuentemente, determinar cuáles son las actividades correctivas para incrementar la disponibilidad operativa de los camiones-volquetes de una empresa minera, 2021. Por último, se logró determinar cuáles son las actividades preventivas para incrementar la disponibilidad operativa de los camiones-volquetes de una empresa minera, 2021

3.3.1. Planificación de la metodología RCM

Para lograr cambios efectivos dentro del sistema de trabajo fue necesario efectuar una planificación de la implementación del RCM, a fin de organizar las actividades y cumplir con las expectativas de éxito, se planifico 5 fases:

Fase 1: Gestión de Área: Se plantea la fase de gestión del área de mantenimiento donde se observó actividades tales como la Limpieza general que se llevó a cabo durante todo el mes M1 y prosiguió de manera continua cada segunda semana de los meses que restaban; el Orden, a partir de la segunda semana del M2 después de la semana en que se realizó la Limpieza; la Clasificación de herramientas y repuestos, todo el mes M2 y las dos primeras semanas del mes M3 y por último, la Gestión Visual, posterior a la clasificación con un duración de seis semanas.

Fase 2: Análisis del RCM: En la fase de Análisis RCM incluyó el diagrama de operaciones del proceso que se realizó desde la S2 hasta la S6; el Diagrama de análisis del proceso, desde la S6 hasta la S13; los Procedimiento de trabajo, desde la S11 hasta la S17 y; la Hoja de decisión RCM, desde la S16 a la S20.

Fase 3: Análisis Modal de Falla y Efecto (AMEF): En la fase FMEA la Recolección de datos se llevó a cabo desde el mes M1 hasta la tercera semana de M2; el Análisis de fallas, todo el mes M2, el Análisis de severidad, desde la S6 hasta la S12, el Análisis de ocurrencia desde la S10 hasta la S18 y; el Análisis de dificultad de detección, desde la S18 hasta la última semana del mes M6.

Fase 4: Capacitación: en la fase de Capacitación se realizaron diferentes charlas las cuales fueron llevadas cada cinco días.

Fase 5: Supervisión: En la fase de supervisión, las actividades como los Formatos de supervisión se dieron los dos primeros meses hasta la primera semana del mes M3; los sistemas de control, se llevaron a cabo desde la S8 hasta la S16; el Sistema de control, desde la S8 hasta la S16 y; las actividades de Mejora continua, las últimas tres semanas del mes M6. A modo de resumen se presenta la siguiente tabla con la información descrita.

Tabla 7

Diagrama de Gantt de implementación

Fases	Actividades	Encargado	M1				M2				M3				M4				M5				M6				Observaciones							
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24								
Gestión del área	Limpieza general	Ricardo Abad	█	█	█	█	█					█					█					█				█								
	Orden	Ricardo Abad						█					█						█								█							
	Clasificación de herramientas y repuestos	Ricardo Abad					█	█	█	█	█	█																						
	Gestión visual	Ricardo Abad											█	█	█	█	█	█	█	█	█	█												
Análisis RCM	Diagrama de operaciones del proceso	Ricardo Abad		█	█	█	█	█																										
	Diagrama de análisis del proceso	Ricardo Abad					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█																		
	Procedimientos de trabajo	Ricardo Abad											█	█	█	█	█	█	█	█	█	█												
	Hoja de decisión RCM	Ricardo Abad																█	█	█	█	█	█	█	█	█								
FMEA	Recolección de datos	Ricardo Abad	█	█	█	█	█	█	█	█																								
	Análisis de fallas	Ricardo Abad					█	█	█	█																								
	Análisis de severidad	Ricardo Abad					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█																		
	Análisis de ocurrencia	Ricardo Abad									█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										
	Análisis de dificultad de detección	Ricardo Abad													█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		
Capacitación	Charla taller 1	Ricardo Abad	█								█									█														
	Charla taller 2	Ricardo Abad		█								█									█							█						
	Charla taller 3	Ricardo Abad			█								█									█							█					
	Charla taller 4	Ricardo Abad				█								█									█							█				
	Charla taller 5	Ricardo Abad					█								█									█							█			
	Charla taller 6	Ricardo Abad						█								█															█			
Supervisión	Formatos de supervisión	Ricardo Abad	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█																				
	Sistema de control	Ricardo Abad									█	█	█	█	█	█	█	█	█															
	Programación de auditorias	Ricardo Abad															█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█						
	Mejora continua	Ricardo Abad																									█	█	█	█				

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Escenario de la implementación de la metodología RCM

Fase 1: Gestión del área

En esta fase se llevó a cabo la identificación de elementos y se elaboró el cronograma de limpieza; también, se analiza el proceso de ingreso de repuesto, accesorios y se verifican los cambios entorno al orden y limpieza del área.

Fecha: _____

ELEMENTOS ENCONTRADOS					
N°	Descripción del artículo	Lugar donde se encontró	Necesario	Innecesario	Decisión
1	Cintas adhesivas	Oficina	X		Reubicarlo
2	Lijas usadas	Taller		X	Desecharlo
3	Retazos de cintas	Almacén		X	Desecharlo
4	Bujías usadas	Taller		X	Venderlo
5	Recipiente de aceite vacío	Taller		X	Venderlo
6	Cajas de repuestos vacías	Taller, almacén		X	Venderlo
7	Latas de grasa usadas	Taller	X		Sacarlo del área
8	Recipientes con aceite	Taller		X	Desecharlo
9	Artículos de limpieza	Taller, almacén	X		Reubicarlo
10	Uniformes viejos	Taller, Vestuarios		X	Desecharlo
11	Autopartes deterioradas	Taller		X	Venderlo
12	Mobiliario en desuso	Taller, almacén		X	Venderlo
13	Elementos ajenos al giro	Taller, almacén		X	Reubicarlo
14	Pósteres publicitarios	Taller, oficina		X	Desecharlo
15	Maquinaria en desuso	Taller		X	Venderlo

Elaborado por: _____

Firma _____

Figura 14 Elementos encontrados en la limpieza general

Fuente: Elaboración propia

En la figura 14, se describe la ubicación, el nivel de necesidad y el uso futuro que se le dará a cada elemento encontrado en el área; a saber, las cintas adhesivas se ubicaron en la oficina y se determinó que son necesarias, por lo que determinó que sea reubicado; a su vez, se ubicaron cajas de repuestos vacías en el taller y almacén, los cuales resultan innecesarias para el área, por lo que se decidió que sean puestas en venta. Este formato es elaborado por el responsable del área.

Fecha: _____

PROGRAMA DE LIMPIEZA

Nº	Zona	Descripción de las tareas de limpieza	Nombre del Área	Responsable	Frecuencia
1	1, 2, 3, 4	Limpiar pisos	Taller/almacén	ver cronograma	Diario
2	1, 2, 3, 4	Limpiar pasadizos	Taller/almacén	ver cronograma	Diario
3	2	Limpiar baños	Taller	ver cronograma	Diario
4	1	Limpiar el frontis	Taller/almacén	ver cronograma	Diario
5	3,4	Limpiar estaciones de trabajo	Taller	ver cronograma	Semanal
6	2,3	Limpiar laboratorio y paneles, herramientas	Taller	ver cronograma	Semanal
7	1, 2, 3, 4	Limpiar paredes	Taller/almacén	ver cronograma	Semanal
8	2	Limpiar vestuarios	Taller	ver cronograma	Semanal
9	2,3,4	Limpiar mesas de trabajo	Taller	ver cronograma	Quincenal

Elaborado por: _____

Firma _____

Figura 15 Programa de limpieza

Fuente: Elaboración propia

Además, figura 15, se elaboró el programa de limpieza con la descripción de las tareas a realizar, las áreas a intervenir, la frecuencia y el personal responsable. Tal es el caso de la limpieza de pisos, pasadizos y fachada, las mismas que se aplican al área de taller y almacén de manera diaria; a su vez, la limpieza de las estaciones de trabajo, laboratorio y herramientas del taller se realizan de manera semanal; mientras que, la limpieza de las mesas de trabajo se realiza quincenalmente.

Tabla 8

Formato de control de orden en el área

Area:	Taller mecánico	Auditado por:	RICARDO
Fecha:	__/__/2021		
Formato de Auditoria de orden en el área			
Seiri (Seleccionar)	Seleccionar lo necesario	Si	No
	Accesorios y herramientas en el área		
	Manual obsoleto en exceso ha sido reparado o eliminado		
	Etiquetas rojas en el área son correctamente utilizadas		
	No se encuentran artículos innecesarios en el área de trabajo		
Seiton (Organizar)	Organizar el área	Si	No
	Equipos e insumos bien ubicados		
	Ubicaciones claramente identificadas		
	El material defectuoso está bien etiquetado		
	Comunicación visual establecida		
Seiso (Limpiar)	Limpiar y resolver	Si	No
	Pisos y superficie de trabajo limpia		
	Desperdicios y basura reciclable en su lugar		
	Ambiente de trabajo bueno		
	Pocos problemas, puntuales y fácil de resolver		
Seiketsu (Estandarizar)	Identificar y resolver riesgos	Si	No
	Hojas con datos de seguridad de los materiales		
	Extintores y elementos de seguridad funcionando		
	Entrenamiento en labores RCP		
	Pocas condiciones de inseguridad fácil del resolver		
Shitsuke (Seguimiento)	Quien realiza las actividades	Si	No
	El trabajo estándar esta publicado		
	Procedimientos para la limpieza y seguridad publicados		
	Correcto control de documentación		
	Reuniones semanales		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8, se realiza el diagrama de análisis del proceso para el ingreso de mercadería, el cual considera componentes correspondientes a las 5S. En la lista se verifica si el proceso se encuentra en óptimas condiciones; en primer lugar, se verifica si no se encuentran artículos innecesarios en el área, se comprueba si el manual obsoleto sigue en uso, se verifica el estado de las herramientas del área y se comprueba si la señalización se usa correctamente. El segundo componente verifica si la organización del área se lleva a cabo óptimamente y el tercer componente es responsable de corroborar que el área se mantenga limpia. Luego, se verifica si el trabajo estandarizado y los procedimientos de limpieza están publicados; además del cumplimiento del control de documentación y la realización de reuniones semanales. Por último, se comprueba que se cumplan los procedimientos establecidos y que todas las actividades cumplan con el objetivo predeterminado.



Figura 16 Comparación entre el orden y limpieza en el área

Fuente: Elaboración propia

En la figura 16, se evidencia que las labores de orden y limpieza tuvieron un impacto positivo en el área; a partir de ello, se puede mencionar que el desempeño ha sido adecuado y se lograron los lineamientos para el control de la zona de trabajo

Fase 2: Análisis RCM

Se ejecutó la fase 2, dedicada al análisis RCM, donde se presenta el reporte de fallas, la hoja de decisión y otros formatos de análisis requeridos para llevar a cabo las labores de mantenimiento de manera óptima y el detalle se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 9

Implementación del análisis RCM

<p>1. Formato: Reporte de fallas</p> <p>El formato para el reporte de fallas; es donde se consignan los datos del deportante, el lugar de ocurrencia, la fecha en la que se produce el fallo y sus características; también, se incluye la información del personal de supervisión, indicando la condición subestándar, la causa básica, la causa inmediata y las acciones a implementar.</p>	<p>Ver anexo 2</p>
<p>2. Formato: Procedimiento de trabajo estandarizado para el personal operativo</p> <p>El procedimiento de trabajo estandarizado para el personal operativo, donde se detalla el objetivo principal, la meta, el alcance, el material a consultar, la responsabilidad, los recursos y la descripción del procedimiento. El objetivo se orienta a determinar una metodología para el desarrollo de las actividades en el programa de mejora establecido; mientras que, las fuentes de información a utilizar son el material brindado por los proveedores, el flujograma de trabajo estandarizado, la evaluación de desempeño y los formatos de capacitación; a su vez, los principales temas a tratar son la definición de trabajo estandarizado y los componentes de los equipos, el uso de herramientas implementadas, los procedimientos a realizar, los beneficios de estandarizar y las auditorias.</p>	<p>Ver anexo 3</p>
<p>3. Formato: Diagrama de flujo del procedimiento de mantenimiento</p> <p>Se realiza el diagrama del flujo del procedimiento de mantenimiento, el cual inicia con la recepción del volquete para su mantenimiento; seguidamente, el volquete ingresa al taller para realizar el análisis de fallas; una vez se determinan las fallas, se inician los trabajos de mantenimiento que incluye reparación, lubricación y otros ajustes. Paralelo a las actividades de mantenimiento, se realiza el llenado de los formatos respectivos. Finalmente, se realiza el control de calidad de los volquetes para verificar su funcionamiento óptimo y se permite la salida del vehículo.</p>	<p>Ver anexo 4</p>

<p>4. Formato: Orden de trabajo de mantenimiento (OT)</p> <p>Se presenta el formato de la orden trabajo de mantenimiento, la cual incluye número de OT, código de equipo, descripción de equipo, ubicación del trabajo, centro de costo, consideraciones de seguridad, mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo, prioridad del trabajo alta, media y baja, actividades de mantenimiento, inspecciones y verificaciones, cantidad de repuesto e insumos a cambiar, backlog, tiempo de intervención y responsabilidades. La orden de trabajo registra el nivel de cumplimiento de cada una de las actividades.</p>	<p>Ver anexo 5</p>
<p>5. Formato: Programa de mantenimiento preventivo para 12 meses</p> <p>Se realiza el programa de mantenimiento preventivo a lo largo del año 2021; donde se considera las tareas de mantenimiento semanal, tales como el mantenimiento de la transmisión, el sistema eléctrico, la suspensión y los frenos para todas las maquinarias que lo requieran; a su vez, se registran las tareas de mantenimiento mensual, tales como el mantenimiento del motor, la estructura, el sistema hidráulico, la dirección, la cabina, entre otros. Al final, se consignan las observaciones que se hayan presentado en el mantenimiento de cada maquinaria.</p>	<p>Ver anexo 6</p>
<p>6. Evidencia de mantenimiento de volquetes</p> <p>Se ilustra el trabajo de mantenimiento realizado a los volquetes; tal y como se observa, los trabajadores cumplen con los estándares de seguridad y cuentan con las herramientas adecuadas para la acción ejecutada</p>	<p>Ver anexo 7</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Hoja de decisión RCM

Hoja de decisiones RCM										Área: Mantenimiento preventivo de equipos						
										Equipo: Camión volquete						
Equipo	Referencias de información			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
								S1	S2	S3						
	FB	FM	FA	H	S	O	N	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
								N1	N2	N3						
CV-20		X		X										Mantt. Transmisión	1S	Ricardo Abad
CV-21			X	X		X								Mantt. Sist. Eléctrico	5D	Ricardo Abad
CV-22			X	X										Mantt. Transmisión	1S	Ricardo Abad
CV-23		X		X		X								Cambio de suspensión	4D	Ricardo Abad
CV-25			X	X										Mantt. Sist. Eléctrico	3D	Ricardo Abad
CV-26		X		X		X								Mantt. Transmisión	5D	Ricardo Abad
CV-27			X	X										Mantt. Suspensión	1S	Ricardo Abad
CV-28		X		X		X								Mantt. Transmisión	4D	Ricardo Abad
CV-29			X	X		X								Cambio de suspensión	1S	Ricardo Abad
CV-30			X	X		X								Mantt. Sist. Eléctrico	1S	Ricardo Abad
CV-31		X		X										Mantt. Transmisión	3D	Ricardo Abad
CV-32			X	X		X								Mantt. Transmisión	1S	Ricardo Abad

Dónde: FB: Frecuencia baja; FM: Frecuencia media; FA: Frecuencia alta; H: Fallas ocultas; S: Fallas de seguridad y ambiente; O: Fallas operacionales; N: Fallas no operaciones

Fuente: Elaboración propia

Además, se presenta la hoja de decisión RCM, donde se detallan los tipos de falla y su frecuencia para cada uno de los equipos volquetes; asimismo, se registra la tarea propuesta para cada equipo y el intervalo de aplicación. Tal es el caso del equipo CV-22, que presenta una alta frecuencia de fallos, los cuales son considerados fallos ocultos por no ser observables; para este tipo de problema se propone realizar el mantenimiento a la transmisión en un intervalo de una semana. También, para el equipo CV-30 se registra una frecuencia alta de aparición de fallos, los cuales son considerados fallos ocultos y fallos operacionales, para lo que se propone implementar el mantenimiento del sistema eléctrico en un intervalo de una semana. Todas las tareas son realizadas por el personal responsable.

Fase 3: Análisis de Modo y Efecto de Fallos (AMEF)

En tercer lugar, se realizó el análisis modal de las fallas y efectos; particularmente, se desarrolla el análisis de Pareto de fallas, el análisis de prioridad de riesgo y el método AMEF. Los resultados de este análisis permiten determinar las propuestas de acciones de mantenimiento.

Tabla 11

Análisis de Pareto de fallas

Fallas	Horas de falla	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
Transmisión	1,020.3	31.2%	31%
Sistema eléctrico	816.4	25.0%	56%
Suspensión	772.2	23.6%	80%
Frenos	176.1	5.4%	85%
Motor	135.2	4.1%	89%
Estructura	111.5	3.4%	93%
Dirección	94.3	2.9%	96%
Sistema Hidráulico	65.5	2.0%	98%
Cabina	56.4	1.7%	99%
Otros	23.1	0.7%	100%
Total	3,271.0		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11, se expone la frecuencia de fallas el análisis de Pareto de fallas, donde se registran las fallas de transmisión con un total de 1020.3 horas de falla, representando un

porcentaje de 31.2% respecto al total de horas de falla; a su vez, el sistema eléctrico ocupó el segundo lugar con un total de horas de fallas de 816.4, representando el 25% del total; a su vez, la suspensión registró un total de 772.2 horas de mantenimiento, siendo 23.6% del total. Estas tres fallas representaron el 80% del total de horas de falla; es decir, representan el 80% del problema de los volquetes.

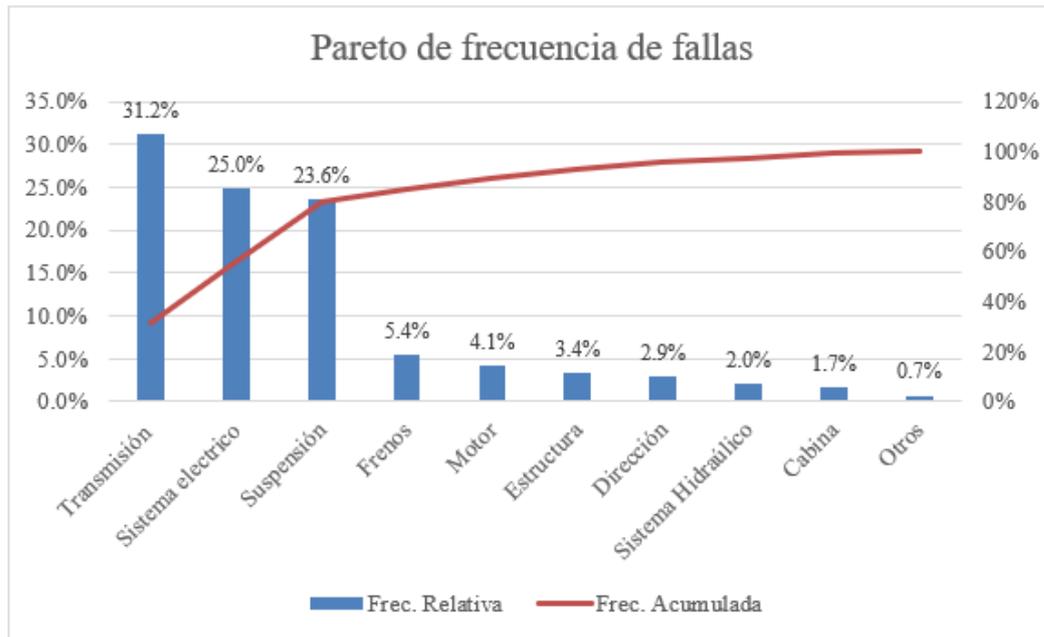


Figura 17 Análisis de Pareto de fallas

Fuente: Elaboración propia

A su vez, en la figura 17, se expone el análisis de Pareto de fallas, donde se tiene que el conjunto de fallas en la transmisión, sistema eléctrico y suspensión representan el 80% del total de fallas; en otras palabras, las fallas en la transmisión, sistema eléctrico y la suspensión representan el 80% del problema. Asimismo, las fallas en los frenos, motor, estructura, dirección, sistema hidráulico, cabina y otros, representan, en conjunto, el 20% del problema.

Tabla 12

Análisis del nivel de prioridad de riesgo en 6 meses (periodo inicial)

Nivel de prioridad de riesgo						
	Mes	Severidad	Ocurrencia	Detección	Calculo NPR	NPR
Periodo Inicial	Mes 1	6.5	8.9	7.3	$(6.5*8.9*7.3)$	422.3
	Mes 2	5.4	7.9	6.2	$(5.4*7.9*6.2)$	264.5
	Mes 3	6.1	6.9	7.9	$(6.1*6.9*7.9)$	332.5
	Mes 4	6.9	8.9	7.2	$(6.9*8.9*7.2)$	442.2
	Mes 5	8.1	8.1	7.8	$(8.1*8.1*7.8)$	511.8
	Mes 6	7.9	8.4	8.1	$(7.9*8.4*8.1)$	537.5

Dónde: NPR: Numero de Prioridad de Riesgo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12, luego, se realizó el análisis del nivel de prioridad de riesgo durante la etapa previa, el cual se obtiene mediante una operación matemática entre el índice de severidad, ocurrencia y detección. Así, en el mes 1 el índice de severidad se calculó en 6.5; mientras que, el índice de ocurrencia y detección fueron de 8.9 y 7.3, respectivamente; en consecuencia, el NPR adoptó un valor de 422.3. El NPR mínimo se registró en el mes 2, con un valor de 264.5, y el valor máximo se registró en el mes 6, con un valor de 537.5.

Tabla 13

Análisis del nivel de prioridad de según tipo de falla

	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
Transmisión	9	10	10	900	19.3%	19%
Sistema eléctrico	9	10	9	810	17.4%	37%
Suspensión	7	10	9	630	13.5%	50%
Frenos	7	10	8	560	12.0%	62%
Motor	8	9	8	576	12.4%	75%
Estructura	6	8	7	336	7.2%	82%
Dirección	5	8	6	240	5.2%	87%
Sistema Hidráulico	6	8	6	288	6.2%	93%
Cabina	4	8	6	192	4.1%	97%
Otros	4	8	4	128	2.7%	100%

Fuente: Elaboración propia

También en la tabla 13, se realiza el análisis del nivel de prioridad de riesgo según el tipo de falla; así, se detallan los índices de severidad, ocurrencia y detección para la transmisión, el

sistema eléctrico, la suspensión, los frenos, el motor, la estructura, la dirección, el sistema hidráulico, la cabina, entre otros. Así, el NPR de la transmisión se calcula en 9000, representando el 19.3% del total; asimismo, el sistema eléctrico obtiene un NPR de 810, representando el 17.4% del total; también, el NPR de la suspensión arroja un valor de 630, siendo el 13.5% del total; mientras que, el NPR más bajo lo obtiene la cabina, con un valor de 192.

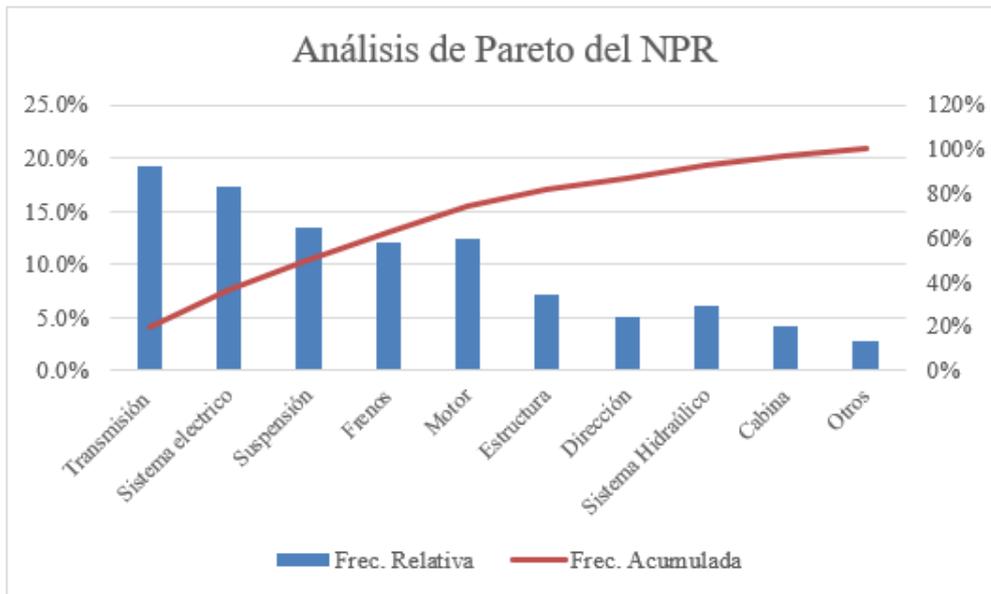


Figura 18 Análisis de Pareto de fallas

Fuente: Elaboración propia

Luego en la figura 18, se realiza el análisis de Pareto del NPR, donde se evidencia que, el valor conjunto de la transmisión, el sistema eléctrico, la suspensión, los frenos y el motor, representan el 80% del valor total. Por tanto, resolver el NPR de estos factores es fundamental para mejorar el funcionamiento de los volquetes.

Tabla 14

Ficha de análisis AMEF

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E)											Código:				
Cliente:											Fecha:				
Denominación producto:											Preparado por:				
Taller:											Revisado por:				
Referencia/s:											Resultado de las acciones				
Descripción de la fase	Efecto/s potencial/es del fallo	Severidad	Causa(s) potencial(es) del fallo(s)	Ocurrencia	Verificación(es) y/o control(es) actual(es)	Detección	NPR	Acción(es) recomendada(s)	Persona(s) responsable(s)	Frecuencia de trabajo	Gravedad	Ocurrencia	Detección	NPR	
Transmisión	Detención del equipo, sin funciones básicas	9	Desgaste de piezas, mal mantenimiento	10	Mantenimiento correctivo en caso de fallas	10	900	Cambio de todo el sistema de transmisión	Ricardo	Semanal	3	4	4	48	
Sistema eléctrico	Cambio de batería	9	Uso excesivo de batería	10	Mantenimiento correctivo en caso de fallas	9	810	Mantenimiento y cambio de componentes	Ricardo	Semanal	3	3	4	36	
Suspensión	Daño de carrocería y mercadería	7	Desgaste de piezas, mal mantenimiento	10	Mantenimiento correctivo en caso de fallas	9	630	Reparación de suspensión y engrase	Ricardo	Semanal	2	3	4	24	
Frenos	Detención del equipo, sin funciones básicas	7	Falta de mantenimiento	10	Mantenimiento correctivo en caso de fallas	8	560	Mantenimiento de sistema de frenos	Ricardo	Semanal	2	3	3	18	
Motor	Detención del equipo, sin funciones básicas	8	Desgaste de piezas, mal mantenimiento	9	Mantenimiento preventivo mensual y según kilometraje	8	576	Aplicación de refrigerante y mantt bujías	Ricardo	Semanal	2	4	2	16	
Estructura	Daño de carrocería y mercadería	6	Golpes y daños	8	Mantenimiento preventivo mensual y según kilometraje	7	336	Reparación de secciones con daño	Ricardo	Quincenal	2	2	4	16	
Dirección	Errores en manejo	5	Desgaste de piezas, mal mantenimiento	8	Mantenimiento preventivo mensual y según kilometraje	6	240	Ajuste de dirección y mantenimiento	Ricardo	Quincenal	2	2	3	12	
Sistema Hidráulico	Desgaste excesivo de componentes	6	Falta de mantenimiento	8	Mantenimiento preventivo mensual y según kilometraje	6	288	Revisión y cambio de componentes	Ricardo	Quincenal	2	2	2	8	
Cabina	Daño de carrocería y mercadería	4	Golpes y daños	8	No presenta	6	192	Mantenimiento preventivo	Ricardo	Mensual	2	1	2	4	
Otros	Según daño	4	Según daño	8	Mantenimiento correctivo en caso de fallas	4	128	Mantenimiento preventivo	Ricardo	Mensual	2	2	1	4	

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el análisis modal de efectos y fallos, donde se determinan los efectos potenciales de cada fallo, sus causas, las acciones recomendadas, el personal responsable y la frecuencia de trabajo. Así, se determina que el fallo en la transmisión provoca la detención del equipo, lo cual es causado por el desgaste de piezas y el mal mantenimiento; ante ello se recomienda realizar el cambio de todo el sistema de transmisión con una frecuencia de trabajo semanal. También, se tiene que cuando se produce un fallo en el sistema eléctrico se provoca un cambio de batería, lo que es causado por su uso excesivo; en este caso se propone realizar mantenimiento y cambiar los componentes de manera semanal. De forma similar, la carrocería y accesorios sufren daños cuando se presentan fallos en la suspensión, ello es causado por el desgaste de las piezas y por el mantenimiento deficiente; en vista de ello, se propone realizar las reparaciones de las piezas de la suspensión y engrasarlas debidamente.

Fase 4: Capacitación

Por otro lado, se realizaron los formatos de capacitación, donde se consideran las actividades a realizar, así como la programación y las evaluaciones respectivas.

HOJA DE CAPACITACIÓN RCM		
NOMBRE DE LA CAPACITACIÓN		
Introducción a la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad		
OBJETIVOS GENERALES		
Objetivo General	Desarrollar un mantenimiento de calidad, ágil al menor costo y empleando la mínima cantidad de materiales, equipos, espacio, trabajo y tiempo.	
OBJETIVOS ESPECÍFICOS		
Objetivo Específico 1:	Personal preparado para entender la necesidad de un cambio en la forma de trabajo.	
Objetivo Específico 2:	Personal capaz de determinar los principios de confiabilidad	
Objetivo Específico 3:	Conocer las implicancias para el incremento de la disponibilidad	
CONTENIDO TEMÁTICO		
Audiencia	Tema	Contenido
Personal operativo y de mantenimiento.	Metodología RCM	* Factores críticos de éxito
		* Determinación de agentes de cambio
		* Administración de equipos de trabajo
		* Mejora continua de equipos de trabajo
		* Uso de herramientas para la implementación
		* Explicar la Hoja de ruta establecida
		* Beneficios de la aplicación del modelo
* Retroalimentación y mejora continua		
La Administración		

Figura 19 Hoja de capacitación RCM

Fuente: Elaboración propia

En la hoja de capacitación RCM se especifica el objetivo general y los objetivos específicos de la capacitación. Asimismo, en el formato se detallan los temas a desarrollar teniendo como objeto de audiencia al personal trabajador; entre los temas a desarrollar se encuentran: factores críticos de éxito, determinación de agentes de cambio, administración de equipos de trabajo, mejora continua de equipos de trabajo, uso de herramientas para la implementación, explicar la hoja de ruta, beneficios de la aplicación del RCM, retroalimentación y mejora continua.

Tabla 15

Programa mensual de capacitaciones

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
			1	2	3
			Inducción General		Procedimiento Operacional
			Capacitación Inducción		Capacitación Específica
5	6	7	8	9	10
Gestión del mantenimiento		Análisis de fallas en volquetes		Análisis de efectos en volquetes	
Capacitación 50 min		Capacitación 50 min		Capacitación 50 min	
12	13	14	15	16	17
	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad		Trabajo en equipo		Dudas y consultas sobre los avances
	Capacitación 50 min		Capacitación 50 min		Reunión Semanal
19	20	21	22	23	24
	Factores que incrementan la disponibilidad			Análisis de fallas en volquetes	
	Capacitación 50 min			Capacitación 50 min	
26	27	28	29	30	31
Análisis de fallas en volquetes		Importancia de la gestión del mantenimiento		Repaso mensual	Evaluación de aprendizaje
Capacitación 50 min		Capacitación 50 min		Capacitación 50 min	Cap. Específica

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15, se presenta la programación de las actividades de mantenimiento a realizar; las charlas se llevan a cabo de manera interdiaria con el objetivo de no saturar a los trabajadores y que estos puedan dedicarse al cumplimiento de sus labores cotidianas. Asimismo, las jornadas de capacitación tienen una duración máxima de 20 minutos y cada fin de semana se lleva a cabo una reunión o evaluación para corroborar que los trabajadores hayan recibido los conocimientos.

Tabla 16

Resumen de capacitaciones

Capacitaciones - Temas	
1. Tema 1: Inducción General - Activos	Descripción: <ul style="list-style-type: none"> ● Dirigido: Personal Area Mantenimiento ● Elaborado por : Ricardo Abad ● Tiempo : 50min ● Modalidad: Presencial ● Evidencias : Ver anexo 8, Tema 1
2. Tema 2: Procedimiento Operacional - Equipos	Descripción: <ul style="list-style-type: none"> ● Dirigido: Personal Area Mantenimiento ● Elaborado por : Ricardo Abad ● Tiempo : 50min ● Modalidad: Presencial ● Evidencias : Ver anexo 8, Tema 2
3. Tema 3: Gestión del Mantenimiento - Equipos	Descripción: <ul style="list-style-type: none"> ● Dirigido: Personal Area Mantenimiento ● Elaborado por : Ricardo Abad ● Tiempo : 50min ● Modalidad: Presencial ● Evidencias : Ver anexo 8, Tema 3
4. Tema 4: Análisis de fallas en volquetes	Descripción: <ul style="list-style-type: none"> ● Dirigido: Personal Area Mantenimiento ● Elaborado por : Ricardo Abad ● Tiempo : 50min ● Modalidad: Presencial ● Evidencias : Ver anexo 8, Tema 4
5. Tema 5: Análisis de efectos en volquetes	Descripción: <ul style="list-style-type: none"> ● Dirigido: Personal Area Mantenimiento ● Elaborado por : Ricardo Abad ● Tiempo : 50min ● Modalidad: Presencial ● Evidencias : Ver anexo 8, Tema 5
6. Tema 6: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad - RCM	Descripción: <ul style="list-style-type: none"> ● Dirigido: Personal Area Mantenimiento ● Elaborado por : Ricardo Abad ● Tiempo : 50min ● Modalidad: Presencial ● Evidencias : Ver anexo 8, Tema 6
7. Tema 7: Trabajo en Equipo	Descripción: <ul style="list-style-type: none"> ● Dirigido: Personal Area Mantenimiento ● Elaborado por : Ricardo Abad ● Tiempo : 50min ● Modalidad: Presencial ● Evidencias : Ver anexo 8, Tema 7

<p>8. Tema 8: Factores que Incrementan la Disponibilidad</p>	<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dirigido: Personal Area Mantenimiento • Elaborado por : Ricardo Abad • Tiempo : 50min • Modalidad: Presencial • Evidencias : Ver anexo 8, Tema 8
<p>9. Tema 9: Importancia de la Gestión del Mantenimiento</p>	<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dirigido: Personal Area Mantenimiento • Elaborado por : Ricardo Abad • Tiempo : 50min • Modalidad: Presencial • Evidencias : Ver anexo 8, Tema 9
<p>10. Sesión de capacitación al personal técnico de mantenimiento</p>	<p>Ver Anexo 9</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18, se presentan algunas evidencias de la capacitación, dado que se ha desarrollado en base a la experiencia profesional y el conocimiento sobre cómo desarrollar la metodología RCM con el apoyo de los trabajadores

Tabla 17

Evidencia de capacitación

Evidencia	Imagen
<p>Diapositiva de enseñanza</p>	
<p>Imagen del equipo reunido para la capacitación</p>	

Fuente: Elaboración propia

Se ha desarrollado un formato de evaluación a fin de conocer la importancia y el impacto de los conocimientos en las operaciones, desde la perspectiva de los trabajadores se presentaron las siguientes preguntas.

Tabla 18

Evaluación de capacitación

Área:		Evaluado por: Ricardo Abad	
Fecha: _/ _/2021			
Evaluación de capacitación			
Nº	Pregunta	Si	No
1	Ha entendido el mensaje		
2	Se ha utilizado las mejores palabras posibles		
3	Puede decir algunas cosas sobre la capacitación		
4	El sistema empleado ayuda a diferenciar procesos		
5	El sistema ayuda a establecer diferencias		
6	Ha considerado participar durante la charla		
7	Cree usted que el plan tendrá éxito en la empresa		
8	El tema ha sido el más adecuado para su área		
9	Tiene grandes dudas luego de la capacitación		
10	Es posible identificar beneficios por la implementación		
11	Identifica cambios para mejorar en su área		
12	Se actualizan de manera oportuna los datos de procesos		
13	El ritmo y frecuencia de acciones es el correcto		
14	Las responsabilidades son señaladas de manera clara		
15	El proceso de flujo de procesos es importante		
16	Una persona nueva podría adaptarse a las secuencias		
17	Una persona nueva podría llenar las formas correctamente		
18	El personal tiene conocimiento del plan actual		
19	Los recursos están disponibles para su uso		
20	Los participantes saben que pueden aportar nuevas ideas		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18, se muestra el formato que es utilizado para la evaluación de los trabajadores, el cual se compone de 20 preguntas asociadas a los conocimientos brindados en la capacitación. Las preguntas tienen como objetivo verificar que el trabajador haya interiorizado el mensaje y se encuentre en condiciones de ejercer sus labores de mantenimiento de la manera más óptima posible, siguiendo los lineamientos del RCM.

Fase 5: Supervisión

Finalmente, se lleva a cabo la fase de supervisión, donde se comprueba el cumplimiento de la metodología RCM, se elaboran los formatos de auditoría y se establece el cronograma de auditoría.

Tabla 19

Implementación de la supervisión

Formatos de Auditoria	
<p>1. Formato: Análisis de la metodología RCM total</p> <p>Se presentan los puntos principales a inspeccionar; en específico, se verifica si el cable de conexión y la carcasa protectora se encuentran en buenas condiciones; también, se corrobora si el botón de encendido y apagado funciona correctamente y si se cuenta con guía visual para realizar el trabajo de mantenimiento; a su vez, se verifica que la placa del tablero y el arnés se encuentre en buen estado, además del estado de limpieza del equipo.</p>	Ver anexo 10
<p>2. Formato: Auditoria</p> <p>Se muestra el formato de auditoria para la metodología RCM, donde se especifican 20 ítems que serán calificados en la escala del 1 al 5, según su nivel de cumplimiento. El formato se orienta a verificar si se cuenta con los equipos e insumos necesarios, si existen riesgos en materia de seguridad y si el espacio de trabajo se encuentra limpio y ordenado; a su vez, se verifica que el cumplimiento del reglamento, la supervisión, la comunicación, entre otros.</p>	Ver anexo 11
<p>3. Formato: Registro de auditorías</p> <p>Se presenta el formato de registro de auditorías, donde se especifican los datos de la empresa y el nombre del personal auditor; asimismo, se indican las fechas en las que se realiza la auditoria, así como los procesos auditados y los nombres de los responsables de dichos procesos. También, se registra el número de conformidades obtenidos, su descripción y las causas que la generan; a su vez, se proponen las medidas correctivas, sus responsables y las fechas de ejecución.</p>	Ver anexo 12
<p>4. Formato: Cronograma de auditorías</p> <p>Se elabora el cronograma de auditorías, donde se determinan tres tipos de auditoria; a saber, la auditoría interna en disponibilidad de volquetes, auditoría interna en MCC y auditoria en mejora continua. La auditoría interna en</p>	

<p>disponibilidad de volquetes se propone como objetivo evaluar el desarrollo de los procesos para cada MTBF y MTTR, y sus actividades se realizan la primera semana del mes 1, la última semana del mes 2 y del mes 3, la penúltima semana del mes 4, 5 y 6, y así sucesivamente, hasta la última semana del mes 12. A su vez, la auditoría interna en MCC evalúa la seguridad de los pasos a seguir para el proceso del RCM, por lo que las tareas de mantenimiento se auditarán cada 2 meses; la confiabilidad, el análisis de gravedad y el análisis de frecuencia, cada mes; y el análisis de detección, el control de calidad y el cumplimiento del proceso, cada 5 semanas. Por último, la auditoría en mejora continua se llevará a cabo 2 o 3 veces al mes, según corresponda.</p>	<p>Ver anexo 13</p>
<p>5. Auditoría en el taller</p> <p>Se muestra al personal responsable realizando las labores de capacitación en el taller, utilizando los formatos y siguiendo el cronograma establecido por la metodología RCM.</p>	<p>Ver anexo 14</p>

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Escenario posterior de la implementación de la metodología RCM

Luego de la evaluación del periodo inicial se procede a planificar e implementar la Metodología de RCM en la empresa con el propósito de generar cambios, debido a este propósito se procede a mostrar y evaluar los indicadores obtenidos en este periodo final evaluación que tuvo una duración de seis meses.

La variable disponibilidad se refiere al tiempo disponible que tiene una empresa para poder en marcha el funcionamiento de todos sus procesos, en otras palabras, es la capacidad operativa que tiene cualquier organización.

1. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Sobre el tiempo medio entre fallas o MTBF se dice que mientras más elevado sea las puntuaciones que arroja, existe mayor fiabilidad en el funcionamiento de las máquinas que posee la empresa.

Tabla 20

Análisis del tiempo medio entre fallas total (Enero – diciembre 2021)

Tiempo medio entre fallas				
	Mes	Horas de operación	Nº fallas	MTBF <u>Tiempo de Operación:</u> Nº de fallas
Periodo Inicial	Mes 1	1764	137	12.88
	Mes 2	1750	144	12.15
	Mes 3	1800	108	16.67
	Mes 4	1771	120	14.76
	Mes 5	1776	130	13.66
	Mes 6	1692	143	11.83
			Promedio	13.7 horas
Periodo Final	Mes 7	2031	106	19.16
	Mes 8	2089	94	22.22
	Mes 9	2121	76	27.91
	Mes 10	2160	57	37.89
	Mes 11	2205	42	52.50
	Mes 12	2247	33	68.09
			Promedio	38 horas

Fuente: Elaboración propia

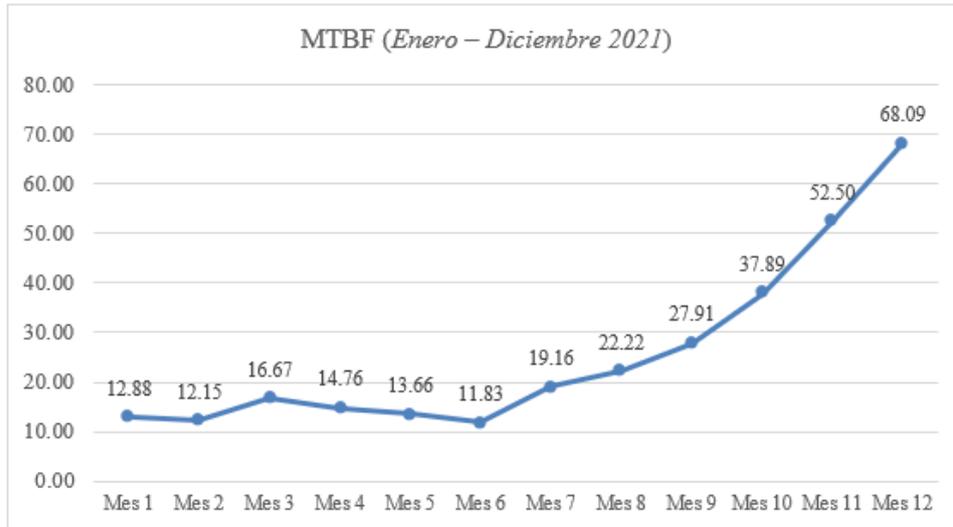


Figura 20 Análisis del tiempo medio entre fallas total (Enero – diciembre 2021)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20 y figura 20, el análisis del tiempo medio entre fallas (MTBF) se halló que en el periodo final tuvo un comportamiento con tendencia a la subida, donde en el Mes 7 se halló una puntuación de 19.16 horas, al siguiente mes de 22.22 horas y así sucesivamente un crecimiento progresivo hasta alcanzar su puntuación más alta al último mes con 68.09 horas. A partir de esto se desprende que el funcionamiento de los equipos de la empresa resulta fiable, es decir, no se presentan demasiados fallas o averías que paralizan la producción. Por lo tanto; el promedio del periodo inicial del mes enero a junio del 2021 es de 13.66 horas, y el promedio del periodo final del mes julio a diciembre del 2021 es de 37.96 horas, observando un crecimiento de 24.3 horas.

2. Tiempo medio para reparaciones (MTTR)

El MTTR es un indicador de la disponibilidad de una empresa que mide la eficacia de la reparación de cualquier falla o avería detectada, es decir, el tiempo de reparación; por ende, si el resultado de este indicador es bajo se entiende que los problemas se solucionan en menor tiempo, es decir, se atienden de manera rápida y oportuna.

Tabla 21

Análisis del tiempo medio para reparaciones total (Enero – diciembre 2021)

	Mes	Horas de Mantto.	Nº fallas	MTTR <u>Tiempo de Reparación</u> Nº de fallas
Periodo Inicial	Mes 1	540	137	3.94
	Mes 2	554	144	3.85
	Mes 3	504	108	4.67
	Mes 4	533	120	4.44
	Mes 5	528	130	4.06
	Mes 6	612	143	4.28
			Promedio	4.2 horas
Periodo Final	Mes 7	273	106	2.58
	Mes 8	215	94	2.29
	Mes 9	183	76	2.41
	Mes 10	144	57	2.53
	Mes 11	99	42	2.36
	Mes 12	57	33	1.73
			Promedio	2.3 horas

Fuente: Elaboración propia

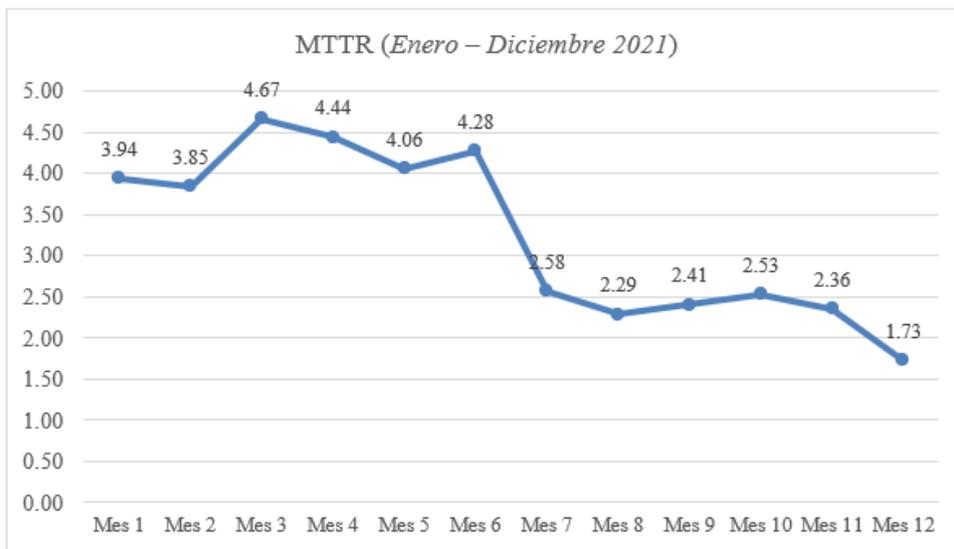


Figura 21 Análisis del tiempo medio para reparaciones total

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 21 y figura 21, el análisis que se le realizó al tiempo medio para reparaciones (MTTR), se halló que obtuvo mejores resultados en el periodos final, es decir,

luego de la implementación se observa los cambios ya que al Mes 7 obtuvo 2.58 horas y finalizó al Mes 12 con una puntuación de 1.73 horas, lo cual se refleja en el gráfico como una línea con tendencia a disminuir a lo largo de los últimos seis meses y que se traduce en menores lapsos dedicados a la reparación de equipos, Por lo tanto; el promedio del periodo inicial del mes enero a junio del 2021 es de 4.21 horas, y el promedio del periodo final mes julio a diciembre del 2021 es de 2.32 horas, observando un disminución de 1.89 horas; por tal motivo, menores costos dirigidos a la reparación de equipos.

Tabla 22

Análisis de la disponibilidad total (Enero – Diciembre 2021)

Variable dependiente: Disponibilidad								
Mes	Tiempo medio entre fallas			Tiempo medio para reparaciones			Disponibilidad $\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$	
	Horas de operación	Nº fallas	MTBF	Horas de Mantto.	Nº fallas	MTTR		
Mes 1	1764	137	12.88	540	137	3.94	76.6%	
Mes 2	1750	144	12.15	554	144	3.85	76.0%	
Periodos Inicial	Mes 3	1800	108	16.67	504	108	4.67	78.1%
	Mes 4	1771	120	14.76	533	120	4.44	76.9%
	Mes 5	1776	130	13.66	528	130	4.06	77.1%
	Mes 6	1692	143	11.83	612	143	4.28	73.4%
Promedio							76.4%	
Mes 7	2031	106	19.16	273	106	2.58	88.2%	
Mes 8	2089	94	22.22	215	94	2.29	90.7%	
Periodo final	Mes 9	2121	76	27.91	183	76	2.41	92.1%
	Mes 10	2160	57	37.89	144	57	2.53	93.8%
	Mes 11	2205	42	52.50	99	42	2.36	95.7%
	Mes 12	2247	33	68.09	57	33	1.73	97.5%
Promedio							93%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22, El análisis a la disponibilidad mostró resultados favorables a partir de la implementación que corresponde al periodo final donde se observó que en el Mes 7 este factor un aumento al 88.2%, luego al Mes 8 un 90.7% y sucesivamente, hubo un aumento progresivo que finalizó en el porcentaje más alto con un 97.5%. en el último mes de la evaluación En ese sentido, se puede evidencia que la disponibilidad tuvo un comportamiento con tendencia a aumenta lo que se traduce en mayor tiempo dedicado a las operaciones. A partir de esto se puede decir que las medidas implementadas tuvieron un efecto positivo en el desempeño de la empresa.

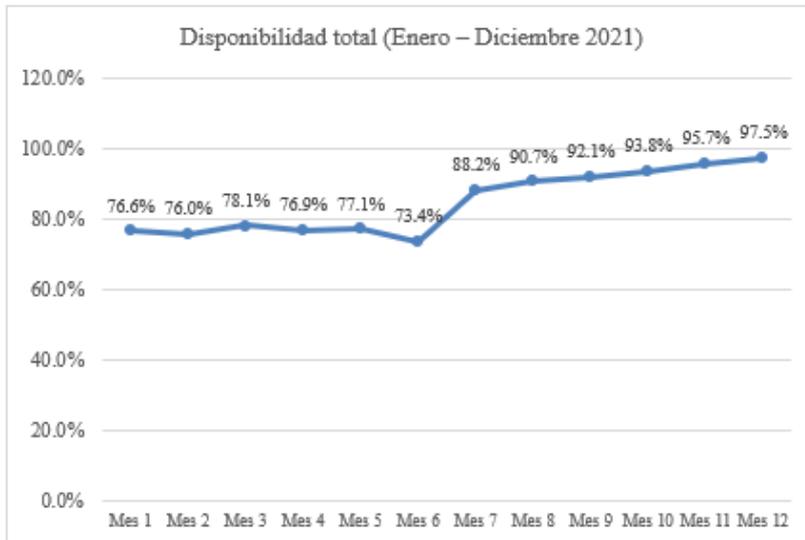


Figura 22 Análisis de la disponibilidad total (Enero – Diciembre 2021)

Fuente: Elaboración propia

La figura 22, expresa una tendencia creciente de la disponibilidad a partir de la implementación del RCM, que se dio en el periodo final mes julio a diciembre; ello permite verificar un mejor cumplimiento de las acciones de mantenimiento para la mayor disponibilidad que alcanza su punto más alto en diciembre al ser de 97.5% para el caso de los camiones – volquetes en la empresa minera.

3.4. Análisis económico

Se realiza el análisis económico de la implementación de la metodología RCM, el cual es de utilidad para definir si la aplicación de dicha metodología es factible en términos económicos; para ello, se presentan los costos de la implementación y se realiza el flujo de caja correspondiente a los 6 meses donde se desarrolla el RCM.

Tabla 23

Costos de implementación

Fase	Actividad	Cantidad	Precio unitario S/.	Costo S/.
Gestión del área	Limpieza general	1	300	300
	Desinfectantes	24	12	288
	Trapos	100	0.5	50
	Escoba	2	8	16
	Alcohol	24	15	360
	Cajas de embalaje	80	7	560
	Anaqueles	145	10	1450
Análisis RCM	Hoja de decisión RCM	27	2.5	67.5
	Formatos de mantenimiento	108	1.5	162
	Procedimientos	3	60	180
	Herramienta 1	5	1850	9250
	Herramienta 2	5	950	4750
	Herramienta 3	5	1450	7250
	Herramienta 4	5	650	3250
FMEA	Herramienta 5	5	850	4250
	Asesoría de expertos	120	6	720
	Fichas de evaluación	50	2.5	125
Capacitación	Cronograma	27	1.5	40.5
	Costo de charlas	1	650	650
	Instructivos	10	25	250
Controles	Materiales de consulta	75	5	375
	Auditoría externa	1	850	850
	Formatos de supervisión	162	1.5	243
	Cronograma	1	50	50
	Asesoría de gestión de calidad	4	150	600
Total				S/. 36,087

Fuente: Elaboración propia

Los costos de implementación de gestión de área incluyen elementos como desinfectantes, trapos, escobas, anaqueles, entre otros, siendo que el anaquel representa el costo más alto, con S/1,450 soles; a su vez, los costos del análisis RCM se representan en la hoja de decisión RCM, los formatos de mantenimiento, los procedimientos y otras herramientas. También, se incurrieron en costos por asesorías, fichas de evaluación, cronogramas, instructivos, materiales de consulta, formatos de supervisión, entre otros. En consecuencia, el costo total ascendió a un monto de S/. 36,087 soles.

Tabla 24

Flujo de caja de implementación

	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Ingresos							
Fallas iniciales		137	144	108	120	130	143
Costo inicial		S/ 465	S/ 465	S/ 465	S/ 465	S/ 465	S/ 465
Costos de reparación inicial		S/ 63,705	S/ 66,960	S/ 50,220	S/ 55,800	S/ 60,450	S/ 66,495
Fallas finales		106	94	76	57	42	33
Costos finales		S/ 465	S/ 465	S/ 465	S/ 465	S/ 465	S/ 465
Costos de reparación final		S/ 49,290	S/ 43,710	S/ 35,340	S/ 26,505	S/ 19,530	S/ 15,345
Ahorro		S/ 14,415	S/ 23,250	S/ 14,880	S/ 29,295	S/ 40,920	S/ 51,150
Costos							
Implementación	-S/ 36,087						
Mantenimiento		-S/ 1,800	-S/ 1,800	-S/ 1,800	-S/ 1,800	-S/ 1,800	-S/ 1,800
Costos totales	-S/ 36,087	-S/ 1,800	-S/ 1,800	-S/ 1,800	-S/ 1,800	-S/ 1,800	-S/ 1,800
Flujo de caja	-S/ 36,087	S/ 12,615	S/ 21,450	S/ 14,882	S/ 29,295	S/ 40,923	S/ 49,350
Flujo acumulado	-S/ 36,087	-S/ 23,472	-S/ 2,022	S/ 12,860	S/ 42,155	S/ 83,078	S/ 132,428

Fuente: Elaboración propia

El flujo de caja de la implementación RCM considera como inversión inicial de S/ 36,087, tal como se detalla en la tabla 27, y una inversión mensual en mantenimiento de S/ 1,800 soles durante 6 meses. En vista de la implementación del RCM, en el primer mes se generó un ahorro de S/14,415 soles; en el segundo, S/23,250 soles; en el tercero, S/14,880 soles; en el cuarto, S/29,295 soles; en el quinto, S/40,920 soles; y en el sexto, S/51,150 soles. Por lo tanto, el flujo de caja acumulado al último mes de implementación asciende a un valor positivo de S/132,428, según la tabla 28. Para el análisis financiero es necesario el cálculo del COK (costo de oportunidad del capital) a través de la siguiente fórmula.

Ecuación 7 Cálculo del costo de oportunidad del capital (COK)

$$COK = Rf + B (Rm - Rf) + Rp$$

Dónde:

Rf: Tasa libre de riesgo (5.210%)

Fuente: OSITRAN (2020)

Rm: Tasa de rentabilidad promedio de las empresas del sector (13.56%, empresas del sector minero)

Fuente: Bolsa de Valores de Lima (2022)

B: Mide la sensibilidad de los rendimientos de la acción con respecto a los rendimientos del mercado (1.04)

Fuente: Stern School of Business (2022)

Rp: Riesgo país (1.47%)

Fuente: JP Morgan Inversiones (2022)

$$COK = 5.12\% + 1.04 (13.56\% - 5.12\%) + 1.47\%$$

$$COK = 5.12\% + 1.04 (8.35\%) + 1.47\%$$

$$COK = 5.12\% + 8.68\% + 1.47\%$$

$$COK = 15.36\%$$

El valor del COK reemplazando en la fórmula corresponde a 15.36%. A partir de este factor, se obtienen los siguientes indicadores financieros como el valor actual neto, tasa interna de

retorno, beneficio sobre costo y periodo de recuperación. En primer lugar, el valor actual neto se presenta en la siguiente formula.

Ecuación 8 Cálculo del valor actual neto (VAN)

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+k)^t} - I_o$$

Dónde:

Ft: Valor del flujo del periodo

t: periodo

k: tasa de descuento

n: periodo final de evaluación

Io: Inversión inicial

Desarrollando la formula se tiene:

$$VAN = \frac{FT1}{(1+k)} + \frac{FT2}{(1+k)^2} + \frac{FT3}{(1+k)^3} + \frac{FT4}{(1+k)^4} + \frac{FT5}{(1+k)^5} + \frac{FT6}{(1+k)^6} - I_o$$

Reemplazando valores:

$$VAN = \frac{12615}{(1+15.36\%)} + \frac{21450}{(1+15.36\%)^2} + \frac{14882}{(1+15.36\%)^3} + \frac{29295}{(1+15.36\%)^4} + \frac{40923}{(1+15.36\%)^5} + \frac{49350}{(1+15.36\%)^6} - 36087$$

$$VAN = \frac{12615}{(1.1536)} + \frac{21450}{1.331} + \frac{14882}{1.535} + \frac{29295}{1.771} + \frac{40923}{2.043} + \frac{49350}{2.357} - 36087$$

$$VAN = S/ 50,413.14$$

Los cálculos expresan un valor actual neto (VAN) de S/ 50,413.14 soles según los datos del flujo de caja. De forma similar, se ha procedido para el cálculo de la tasa interna de retorno a través de la siguiente formula.

Ecuación 9 Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR)

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{(1+k)^t}{Ft} - I_o = 0$$

Dónde:

Ft: Valor del flujo del periodo

t: periodo

k: tasa de descuento

n: periodo final de evaluación

Io: Inversión inicial

Desarrollando la formula se tiene:

$$TIR = \frac{(1+k)}{FT1} + \frac{(1+k)^2}{FT2} + \frac{(1+k)^3}{FT3} + \frac{(1+k)^4}{FT4} + \frac{(1+k)^5}{FT5} + \frac{(1+k)^6}{FT6} - I_o = 0$$

Reemplazando valores:

$$TIR = \frac{(1+15.36\%)}{12615} + \frac{(1+15.36\%)^2}{21450} + \frac{(1+15.36\%)^3}{14882} + \frac{(1+15.36\%)^4}{29295} + \frac{(1+15.36\%)^5}{40923} + \frac{(1+15.36\%)^6}{49350} - 36087 = 0$$

$$TIR = \frac{1.1536}{12615} + \frac{1.331}{21450} + \frac{1.535}{14882} + \frac{1.771}{29295} + \frac{2.043}{40923} + \frac{2.357}{49350} - 36087 = 0$$

$$TIR = 52.37\%$$

Los cálculos expresan una tasa interna de retorno (TIR) de S/ 50,413.14 soles según los datos del flujo de caja. De forma complementaria, la información de indicadores económicos y financieros se presenta a modo de resumen en la tabla 26.

Tabla 25

Indicadores financieros de implementación

Indicadores	Valor
Costo de oportunidad del capital	15.36%
Valor actual neto	S/ 50,413.14
Tasa interna de retorno	52.37%
Beneficio sobre costo	3.71
Periodo de recuperación	2.136

Fuente: Elaboración propia

A su vez, se exponen los indicadores financieros de la implementación de la metodología RCM; en primer lugar, el COK se calculó en 15.36 %; a partir de ello se obtuvo un VAN de S/ 50,413.14 soles, lo que representa el valor actualizado de los ingresos, y al ser un valor positivo, significa que la inversión resulta rentable. Además, el TIR se calculó en 52.37%, lo que se traduce como una alta rentabilidad de la implementación RCM; asimismo, la relación beneficio-costos se calculó en 3.71, siendo que por cada S/ 1 sol invertido se obtienen S/ 3.71 soles de beneficio. Por último, se determinó que la inversión se recuperaría en un periodo de 2.136 meses, por lo que la inversión resulta rentable en todos los aspectos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Análisis descriptivo entre el periodo inicial y periodo final

4.1.1. Descripción de la metodología Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

La implementación de cambios dentro de la experiencia profesional ha sido en base a la aplicación de los lineamientos de la metodología RCM, en tanto que se desarrollaron las siguientes fases:

- **Fase 1:** La gestión del orden en el área ha permitido una mejor disposición de los elementos en el taller mecánico; a partir de ello el tiempo de mantenimiento se reduce y se realiza un trabajo eficiente por la mejor disposición de los recursos para el incremento de la disponibilidad a través de sus dimensiones como el MTBF y MTTR
- **Fase 2:** El análisis RCM se realiza mediante la formación de grupo de trabajo en base a los especialistas en el tema y los más experimentados en el mantenimiento de camiones – volquetes, dado que conocen los tipos de fallas y las exigencias del cliente. Asimismo, se desarrollaron formatos y fichas para trabajos estandarizados en búsqueda de la calidad. Por otro lado, se elaboró un programa de actuación para un sistema de mantenimiento preventivo que además permita identificar las posibles fallas o inconvenientes para mejorar las condiciones operativas de los motores.
- **Fase 3:** Determinar modo de fallo a través del análisis AMEF donde se estableció que el sistema alcanza un nivel de riesgo alto de fallas al alcanzar valores de NPR de 900 puntos para la transmisión, 810 para el sistema eléctrico, 630 en la suspensión, 576 para el motor y 560 para los frenos; a partir de dichos datos se deben plantear acciones de mejora. A partir de ello, se seleccionaron tácticas de mantenimiento a través del programa preventivo a los camiones de la empresa con la hoja de decisión RCM con una revisión sistemática de forma semanal para aquellos en estado crítico y de forma semanal para los de condiciones regular; adicionalmente, se empleó la ficha AMEF. Por otro lado, se analizaron los fallos funcionales donde se determinó

que los problemas más frecuentes se relacionaron a la transmisión, sistema eléctrico y suspensión de los camiones.

- **Fase 4:** La capacitación de operarios es importante para lograr un mejor mantenimiento a través del conocimiento sobre la metodología RCM y los principales modos de fallas; asimismo, se trataron temas como el trabajo en equipo, la importancia de la gestión del mantenimiento y otros lineamientos que incrementan el nivel de desempeño a fin mejorar la disponibilidad de los camiones.
- **Fase 5:** La supervisión consiste en auditar el programa definido mediante un cronograma de auditorías donde se evalúan aspectos como la disponibilidad de camiones según las disposiciones de la empresa, el proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad (tareas, proceso, gravedad y frecuencia de fallas y dificultad de detección) así como la calidad de la gestión.

Por otro lado, se resumen las cifras obtenidas durante el periodo inicial y el periodo final a la implementación de la metodología RCM; además, se realiza el análisis comparativo de los valores de la variable independiente (mantenimiento centrado en la confiabilidad) y la variable dependiente (disponibilidad operativa) y sus dimensiones. El mantenimiento centrado en la confiabilidad fue implementado a partir del mes 6 del estudio, siguiendo los lineamientos establecidos por la teoría. A continuación, se muestra el análisis comparativo del periodo inicial y periodos final de la implementación RCM, expresados a través de sus dimensiones:

Tabla 26

Análisis comparativo del periodo inicial al periodo final

Indicador	Periodo inicial	Periodo final	Diferencia
Tareas de mantenimiento	83.1%	95.3%	12.2%
Confiabilidad del proceso	58.0%	92.4%	34.4%
Nivel de Prioridad de Riesgo	416.71	72.00	-344.72

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 26, se muestra el nivel de cumplimiento de las tareas de mantenimiento en el periodo inicial fue de 83.1%; siendo que, luego de la implementación RCM, se alcanzó un

valor de 95.3%. Análogamente, la confiabilidad del proceso en el periodo inicial adoptó un valor de 58%, el cual ascendió a 92.4% durante el periodo final; a su vez, el NPR promedio calculado en el periodo inicial de 416.71, el mismo que se redujo hasta 72 durante los últimos meses de implementación. Por tanto, se tiene que las tareas de mantenimiento mejoraron en un 12.2%, la confiabilidad del proceso aumentó en un 34.4% y el NPR se redujo en 344.72 puntos.

4.1.2. Descripción de la disponibilidad operativa

Se realiza el análisis comparativo de la variable disponibilidad operativa, la cual se desagrega en sus dimensiones de tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio para reparaciones (MTTR). A continuación, se representan gráficamente los valores promedio de la disponibilidad y sus dimensiones pertenecientes al periodo inicial y periodo final a la implementación de cambios en la siguiente tabla.

Tabla 27

Análisis comparativo en promedio de periodo inicial - final para la disponibilidad

Indicador	Periodo inicial	Periodo final	Variación
Tiempo medio entre fallas (MTBF)	13.7 horas	38 horas	24.3 horas
Tiempo medio para reparaciones (MTTR)	4.2 horas	2.3 horas	1.9 horas
Disponibilidad	76.34%	92.98%	16.64%

Fuente: Elaboración propia

Se menciona que el tiempo medio entre fallas del periodo inicial y periodo final de la implementación RCM. De manera que, luego de la implementación, el MTBF pasó de 13.7 horas a 38 horas mostrando un incremento de 24.3 horas, para el tiempo medio para reparaciones (MTTR), correspondientes al periodo inicial y periodo final a la implementación RCM se pasó de 4.2 horas a 2.3 horas disminuyendo 1.9 horas, Por último, en el análisis comparativo de los valores de la disponibilidad, dentro del periodo inicial se obtuvo un valor de 76.34% y en el periodo final dicho valor ascendió a 92.98%, mostrando una mejora de 16.64% a partir de la implementación RCM.

4.2. Comprobación de resultados con análisis inferencial

4.2.1. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

1. Normalidad

En primer término, se debe conocer la distribución de los datos a fin de determinar si provienen de una distribución normal o no; a partir de ello, se aplicará la contrastación de hipótesis adecuada.

Ho: Los datos del tiempo medio entre fallas provienen de una distribución paramétrica

Ha: Los datos del tiempo medio entre fallas no provienen de una distribución paramétrica

Tabla 28

Prueba de normalidad para el tiempo medio entre fallas

Pruebas de normalidad				
	Periodo	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
MTBF	Inicial	,928	6	,562
	Final	,916	6	,476

Fuente: Elaboración propia con SPSS v.25

Decisión:

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$, los datos no provienen de una distribución paramétrica

Si $p\text{-valor} > 0.05$, los datos provienen de una distribución paramétrica

En la tabla 28, se observa que la distribución de los datos del tiempo medio entre fallas obtiene un p-valor (sig) de 0.562 en el periodo inicial y 0.476 en el periodo final, es decir, se logra una significancia mayor a 0.05; por lo tanto, se demuestra que los datos provienen de una distribución paramétrica o normal.

2. Contrastación

Ho: La aplicación de la metodología RCM no incrementa el tiempo medio entre fallas de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

Ha: La aplicación de la metodología RCM incrementa el tiempo medio entre fallas de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

Regla:

Ho: Tiempo medio entre fallas (P.I) \geq Tiempo medio entre fallas (P.F.)

Ha: Tiempo medio entre fallas (P.I) $<$ Tiempo medio entre fallas (P.F.)

Tabla 29

Estadísticos de muestras emparejadas para el MTBF

	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
MTBF – Periodo Inicial	13,65790	6	1,815150	,741032
MTBF - Periodo Final	37,96289	6	19,086113	7,791873

Fuente: Elaboración propia con SPSS v.25

En la tabla 29, se observa el análisis del tiempo medio entre fallas respecto a la media, en tanto que el valor del periodo inicial (13.67 horas) fue inferior en comparación con el periodo final (37.96 horas). De forma complementaria se realiza la prueba T de Student.

Tabla 30

Estadísticos de la prueba T de Student para el MTBF

	Prueba de muestras emparejadas						t	gl	Sig. (bilateral)
	Diferencias emparejadas								
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza					
			Inferior	Superior					
MTBF P. Inicial - MTBF P. final	-24,304	19,655	8,024	-44,931	-3,678	-3,029	5	,029	

Fuente: Elaboración propia con SPSS v.25

Decisión:

Si $p\text{-valor} > 0.05$, se acepta la hipótesis nula

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$, se rechaza la hipótesis nula y se toma la hipótesis alterna

En la tabla 30 se verifica que la significancia de la prueba T de Student aplicado al tiempo medio entre fallas alcanza un valor de $0.029 < 0.05$; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se toma la hipótesis alterna, es decir, la aplicación de la metodología RCM incrementa el tiempo medio entre fallas de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

4.2.2. Tiempo medio para reparaciones (MTTR)

1. Prueba de normalidad

En el análisis estadístico inferencial se debe conocer la distribución de los datos a fin de determinar si provienen de una distribución normal o no; a partir de ello, se aplicará la contrastación de hipótesis adecuada.

Ho: Los datos del tiempo medio para reparaciones provienen de una distribución paramétrica

Ha: Los datos del tiempo medio para reparaciones no provienen de una distribución paramétrica

Tabla 31

Prueba de normalidad para el tiempo medio para reparaciones

Pruebas de normalidad				
	Periodo	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
MTTR	Inicial	,957	6	,793
	Final	,811	6	,074

Fuente: Elaboración propia con SPSS v.25

Decisión:

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$, los datos no provienen de una distribución normal

Si $p\text{-valor} > 0.05$, los datos provienen de una distribución normal

En la tabla 31, se observa que la distribución de los datos del tiempo medio para reparaciones alcanza un p-valor (sig) de 0.5793 en el periodo inicial y 0.074 en el periodo final, es decir, se logra una significancia mayor a 0.05; por lo tanto, se demuestra que los datos provienen de una distribución paramétrica o normal.

2. Contrastación

Ho: La aplicación de la metodología RCM no disminuye el tiempo medio para reparaciones de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

Ha: La aplicación de la metodología RCM disminuye el tiempo medio para reparaciones de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

Decisión:

Ho: Tiempo medio para reparaciones (P.I) \leq Tiempo medio para reparaciones (P.F)

Ha: Tiempo medio para reparaciones (P.I) $>$ Tiempo medio para reparaciones (P.F)

Tabla 32

Estadísticos de muestras emparejadas para el MTTR

Estadísticas de muestras emparejadas				
	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
MTTR - P. Inicial	4,20640	6	,313905	,128151
MTTR – P. Final	2,31356	6	,306296	,125045

Fuente: Elaboración propia con SPSS v.25

En la tabla 32, se observa el análisis del tiempo medio para reparaciones respecto a la media, en tanto que el valor del periodo inicial (4.20 horas) fue superior en comparación con el periodo final (2.31 horas). De forma complementaria se realiza la prueba T de Student.

Tabla 33

Estadísticos de la prueba T de Student para el MTTR

	Prueba de muestras emparejadas							
	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error p promedio	95% de intervalo de confianza				
			Inferior	Superior				
MTTR.P. inicial - MTTR.P. final	1,892	0,445	0,1819	1,425	2,360	10,403	5	,000

Fuente: Elaboración propia con SPSS v.25

Decisión:

Si $p\text{-valor} > 0.05$, se acepta la hipótesis nula

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$, se rechaza la hipótesis nula y se toma la hipótesis alterna

En la tabla 33 se verifica que la significancia de la prueba T de Student aplicado al tiempo medio para reparaciones alcanza un valor de $0.000 < 0.05$; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se toma la hipótesis alterna, es decir, la aplicación de la metodología RCM disminuye el tiempo medio para reparaciones de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

4.2.3. Disponibilidad

1. Prueba de normalidad

Por último, respecto a la disponibilidad se debe conocer la distribución de los datos a fin de determinar si provienen de una distribución normal o no; a partir de ello, se aplicará la contrastación de hipótesis adecuada.

Ho: Los datos la disponibilidad provienen de una distribución paramétrica

Ha: Los datos la disponibilidad no provienen de una distribución paramétrica

Tabla 34

Prueba de normalidad para la disponibilidad

Pruebas de normalidad				
	Periodo	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Disponibilidad	Inicio	,892	6	,329
	Final	,990	6	,990

Fuente: Elaboración propia con SPSS v.25

Decisión:

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$, los datos no provienen de una distribución paramétrica

Si $p\text{-valor} > 0.05$, los datos provienen de una distribución paramétrica

En la tabla 34, se observa que la distribución de los datos de la disponibilidad alcanza un p-valor (sig) de 0.329 en el periodo inicial y 0.990 en el periodo final, es decir, se logra una significancia mayor a 0.05; por lo tanto, se demuestra que los datos provienen de una distribución paramétrica o normal.

2. Contrastación

Ho: La aplicación de la metodología RCM no incrementa la disponibilidad operativa de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

Ha: La aplicación de la metodología RCM incrementa la disponibilidad operativa de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

Decisión:

Ho: Disponibilidad (P.I) \geq Disponibilidad (P.F)

Ha: Disponibilidad (P.I) $<$ Disponibilidad (P.F)

Tabla 35

Estadísticos de muestras emparejadas para el MTTR

Estadísticas de muestras emparejadas					
	Periodo	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Disponibilidad	Inicial	,76338	6	,015898	,006491
	Final	,92976	6	,034114	,013927

Fuente: Elaboración propia con SPSS v.25

En la tabla 35, se observa el análisis del tiempo medio para reparaciones respecto a la media, en tanto que el valor del periodo inicial (0.76338) fue inferior en comparación con el periodo final (0.92976). De forma complementaria se realiza la prueba T de Student.

Tabla 36

Estadísticos de la prueba T de Student para el MTTR

	Prueba de muestras emparejadas							
	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
			Inferior	Superior				
Disponibilidad Inicial - Disponibilidad Final	-,16637	,043 822	,017890	-,212366	-,120389	-9,300	5	,000

Fuente: Elaboración propia con SPSS v.25

Decisión:

Si $p\text{-valor} > 0.05$, se acepta la hipótesis nula

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$, se rechaza la hipótesis nula y se toma la hipótesis alterna

En la tabla 36 se verifica que la significancia de la prueba T de Student aplicado a la disponibilidad alcanza un valor de $0.000 < 0.05$; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se toma la hipótesis alterna, es decir, la aplicación de la metodología RCM incrementa la disponibilidad operativa de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se concluye que la aplicación de la metodología RCM mejora el tiempo medio entre fallas de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021, dado que se pasa de un promedio de 13.7 a 38 horas entre el periodo inicial y final; además, mediante el análisis estadístico inferencial se obtuvo una significancia (p-valor) del cambio de la disponibilidad de $0.029 < 0.05$, lo cual valida la hipótesis del investigador.

Se concluye que la aplicación de la metodología RCM mejora el tiempo medio para reparaciones de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021, debido a que se pasa de un promedio de 4.2 a 2.3 horas entre el periodo inicial y final; además, mediante el análisis estadístico inferencial se obtuvo una significancia (p-valor) del cambio de la disponibilidad de $0.000 < 0.05$, lo cual valida la hipótesis del investigador.

Se concluye que la aplicación de la metodología RCM mejora las actividades correctivas de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021; en este sentido, se determinaron las actividades correctivas necesarias para incrementar la disponibilidad operativa de los camiones – volquetes de la empresa minera, dicho análisis se sustenta en las fichas de análisis AMEF con actividades como el cambio del sistema de transmisión, el mantenimiento y cambio de partes del sistema eléctrico, la reparación de suspensión y embrague, la aplicación de refrigerantes y mantenimiento de bujías para el motor.

Finalmente, se concluye que la aplicación de la metodología RCM incrementa la disponibilidad operativa de camiones-volquetes de una empresa minera, la cual fue de 92.98% en el promedio del periodo final, en comparación con el 76.34% del escenario inicial; además, mediante el análisis estadístico inferencial se obtuvo una significancia (p-valor) del cambio de la disponibilidad de $0.000 < 0.05$, lo cual valida la hipótesis del investigador.

5.2.Recomendaciones

Se recomienda a los operarios de mantenimiento continuar con el sistema de controles y supervisiones a modo de evaluar de forma constante la disponibilidad de camiones mediante los indicadores del tiempo medio entre fallas y tiempo medio para reparaciones, en tanto que se requiere el apoyo del personal experto para este punto.

Se recomienda a la administración de la empresa revisar la política de salud y seguridad en el trabajo dentro de las acciones correctivas, dado que en la atención de emergencias el personal de trabajo muchas veces no emplea los EPP necesarios para su cuidado.

Se recomienda a la gerencia de operaciones realizar un estudio de tiempos y movimientos para mejorar las operaciones de las actividades del mantenimiento preventivo; conociendo el tiempo estándar y los suplementos adecuados se logrará plantear una secuencia estandarizada para un mayor tiempo del camión en las operaciones lo que beneficia la disponibilidad.

Por último, se recomienda al jefe del área de mantenimiento implementar la metodología RCM en otros equipos de la empresa minera que evidencien problemas en la disponibilidad o alto número de fallos, dado que se ha demostrado su efectividad como herramienta para la gestión.

REFERENCIAS

- Alrifaey, M., Sai, T., As'arry, A., Elianddy, E., & Kit, C. (2020). Optimization and Selection of Maintenance Policies in an Electrical Gas Turbine Generator Based on the Hybrid Reliability-Centered Maintenance (RCM) Model. *Processes Vol 8 N° 6*, 1-26; <https://doi.org/10.3390/pr8060670>.
- Andrade, C., & Herrera, M. (2021). Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. *INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. doi:<https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0021>
- Arteaga, L., & Gorozabel, F. (2021). Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad a maquinarias críticas de la Plaza Calderón. *Universidad y Ciencia*, 202-216. <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/1784/pdf>
- Caballero, C., & Clavero, J. (2016). *UF1466 - Sistemas de almacenamiento*: Ediciones Paraninfo.
- Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., & Tolentino, R. (2018). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Revista Científica del Instituto Politécnico Nacional Vol 23 N° 1*, 2-16. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/html/index.html>.
- Cárcel, F. (2016). Características del sistema TPM y RCM en la ingeniería de mantenimiento. *3C Tecnología Vol 5 N° 3*, 68-75.
- Casas, L., & Barona, J. (2019). *El funcionamiento de laes edificaciones*. Editorial UNIVALLE.
- Choudhary, D., Tripathi, M., & Shankar, R. (2019). Reliability, availability and maintainability analysis of a cement plant: a case study. *International Journal of Quality & Reliability Management 36 (3)*, 298-313. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-10-2017-0215>.

- Diestra, J., Esquiviel, L., & Guevara, R. (2017). Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para optimizar la disponibilidad operacional de la maquina con mayor criticidad. *Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación Vol 4 N° 1*, 1-10.
- Emovon, I., Norman, R., & Murphy, A. (2016). Elements of a maintenance system and tools for implementation within framework of Realiability Centred Maintenance - Review. *Journal of Mechanical Engineering and Technology Vol 8 N° 2*, 1-34.
- Escaño, J., Caballero, J., & Nuevo, A. (2019). *Integración de sistemas de automatización industrial*: Ediciones Paraninfo S.A.
- Fernández, I. (2020). *Seguridad funcional en instalaciones de proceso: Sistemas instrumentados de seguridad y analisis SIL*: Ediciones Diaz de Santos.
- Gajah, M., Pratama, A., & Nasution, H. (2021). Enhancing Maintenance Management System Using Reliability Centered Maintenance (RCM) Case Study Curing Tire Section in Leading Tire Manufacturer. *Strategic and Program Management 3 (3)*, 50-55. <https://proceedings.sgu.ac.id/cmei/index.php/cmei/article/view/83>.
- Garcia, I. (2016). *Anatomía de sistemas: Su análisis y su apoyo*. Diaz de Santos.
- González, F. (2015). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. Fundación CONFEMETAL.
- Gonzalez, F., & Fuentes, J. (2019). *Sistemas ferroviarios: planificación, ingeniería y explotación*: Editorial UNED.
- Gupta, P., & Sri, A. (2014). *Seis Sigma sin Estadística: Enfoque en la búsqueda de las mejoras inmediatas*. Accelper Consulting.
- Hanmantrao, S. (2018). Application of reliability centred maintenance with availability assessment: a case study. *Int. J. Management Concepts and Philosophy 11 (4)*, 456-464. <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJMCP.2018.096062>.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill.

- Iglesias, J. (2015). *Mantenimiento correctivo de electrodomésticos de gama industrial - UF2244*.: Editorial ELEARNING. S.L. .
- Janoudi, F. (2015). *Reparación de equipos mecánicos y eléctricos de plantas de tratamiento de agua y plantas depuradoras* Editorial ELEARNING S.L.
- Jiménez, F. (2018). *Mantenimiento preventivo de sistemas de automatización industrial. ELEM0311*. IC Editorial.
- Karajagikar, J., & Sonawane, B. (2021). Reliability-Centered Maintenance (RCM) Approach for a Process Industry: Case Study. *Optimization Methods in Engineering* , 429-442. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4550-4_26.
- Khasanah, R., Sodikin, I., Penirewod, A., Rachmad, B., & Pratama, N. (2021). The Reliability-Centered Maintenance (RCM) effect on plant availability and downtime loss in the process industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Vol 1072*, 1-9. doi:10.1088/1757-899X/1072/1/012054.
- Linares, V. (2018). *Diagnosis de averías y mantenimiento correctivo de sistemas de automatización industrial*: IC Editorial.
- Martínez, L. (2021). *Incremento de la disponibilidad de flota en la empresa EUROLIFT S.A. mediante la metodología RCM*.: Universidad Privada del Norte.
- Medialdea, J., & Corrales, B. (2017). *Operaciones auxiliares de mantenimiento de instalaciones maquinaria, equipos y herramientas de floristería*. Editorial ELEARNING S.L. .
- Menendez, S. (2016). *Gestión de redes telemáticas*.: Editorial Elearning S.L.
- Narváez, J., & Palza, A. (2020). *Aplicación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de una empresa minera de La Libertad*. Universidad César Vallejo.
- Ñaupas, H., Valdivia , M., Palacios, J., & Romero, E. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de tesis*. Ediciones de la U.

- Ordinola, L. (2020). *Aplicación del mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad para incrementar la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, 2019*: Universidad Privada del Norte.
- Parra, C., & Crespo, A. (2012). *Ingeniería del Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos*.: Editorial Ingeman.
- Ramirez, M., Viscaino, P., & Mera, A. (2018). Evaluación de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad. *Polo del conocimiento*, 148-156.
https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/635/pdf#google_vignette
- Ramirez, R. (2017). *Gestión de proyectos de instalaciones de telecomunicaciones*: Ediciones Paraninfo.
- Rivas, M. (2017). *Mantenimiento de sistemas de refrigeración y lubricación de los motores térmicos*. Editorial Elearning .
- Salazar, F. (2018). *Implementación del RCM para mejorar la disponibilidad operativa de la bomba GEHO TZPM 400 en unidad operativa Selene*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Sánchez, M. (2015). *Manejo y mantenimiento de equipos de aplicación de fitosanitarios*. Málaga. ELEARNING S.L.
- Socconini, L. (2019). *Lean Manufacturing: paso a paso*. Marge Books.
- Solorzano, E., & Espinosa, L. (2021). Modelo logístico de gestión de mantenimiento como estrategia de mejora a la disponibilidad. Caso de estudio: unidad de mantenimiento del GADMEC. *INGENIAR*, 30-48.
doi:<https://doi.org/10.46296/ig.v4i8edespsep.0028>
- Suárez, Y., & Nieto, O. (2020). Metodología para gestionar riesgos en la autoevaluación de las maestrías del Instituto de Farmacia y Alimentos de la Universidad de La Habana. *Rev. Cubana Edu. Superior* 39 (3), 1-12.
<http://scielo.sld.cu/pdf/rces/v39n3/0257-4314-rces-39-03-e19.pdf>.

- Thawkar, A., Tambe, P., & Deshpande, V. (2018). A reliability centred maintenance approach for assessing the impact of maintenance for availability improvement of carding machine. *Int. J. Process Management and Benchmarking* 8 (3), 318-339. <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJPMB.2018.092891>.
- Torres, J., & Varillas, T. (2019). *RCM para incrementar la disponibilidad del sistema de monitoreo y recaudo en buses interurbanos en la empresa SCITEC. Comas, 2019.* Universidad César Vallejo.
- Uribe, S. (2020). Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la máquina remalladora de una empresa textil. *Ingeniería Industrial N° 038*, 15-31; DOI: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n038.4812>.
- Valderrama, S. (2019). *Pasos para Elaborar Proyectos de investigación Científica.* Editorial San Marcos.
- Vallencillos , M. (2017). *UF1216 - Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto.*: Editorial ELEARNING S.L.
- Yang, Y., Yin, X., Jie, Z., Wang, G., He, Y., Wu, Y., & Li, J. (2020). Applying Reliability Centered Maintenance (RCM) to Sampling Subsystem in Continuous Emission Monitoring System. *IEEE Access Vol 8*, 55054-55062. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9035404>.
- Ypanaqué , S., Chucuya , R., & Esquivel, L. (2017). Mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad y confiabilidad de una grúa de 50 toneladas. *INGnosis Vol 3 N° 2*, 309-322.
- Zegarra, M. (2016). Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. *Ciencia y Desarrollo Vol 19 N° 1*, 25-37; : <http://dx.doi.org/10.21503/CienciayDesarrollo.2016.v19i1.02>.

ANEXOS

Anexo 1 Cálculo del COK

Para trabajar los flujos de caja, se necesita calcular primero el costo de oportunidad de los accionistas, para ello se recurrirá al método CAPM que es una de las herramientas de mayor uso para conocer el costo del capital. Para aplicarlo es necesario conocer algunos elementos tales como:

Rf : Tasa libre de riesgo

Rf 5.210%

Fuente <https://www.ositran.gob.pe/anterior/wp-content/uploads/2021/09/informe-wacc-servicios-aeroportuarios.pdf>

Rm : Tasa de rentabilidad promedio de las empresas del sector

Rm 13.56%

Fuente: <https://www.bvl.com.pe/emisores/detalle?companyCode=64400>

Empresa: COMPAÑÍA MINERA SANTA LUISA S.A.

B: Beta Mide la sensibilidad de los rendimientos de la acción con respecto a los rendimientos del mercado. Se toma el valor de B desapalancado

B 1.04

Fuente: <http://www.stern.nyu.edu/~adamodar/pc/datasets/betas.xls>

Empresas mineras

Rp: Riesgo país

Rp 1.47%

Fuente: <https://gestion.pe/economia/riesgo-pais-de-peru-sube-1-punto-basico-y-cierra-en-147-puntos-porcentuales-noticia/>

$$\text{COK} = R_f + B \cdot (R_m - R_f) + R_p$$

$$\text{COK} = 5.21\% + 1.04 \cdot (13.56\% - 5.21\%) + 1.47\%$$

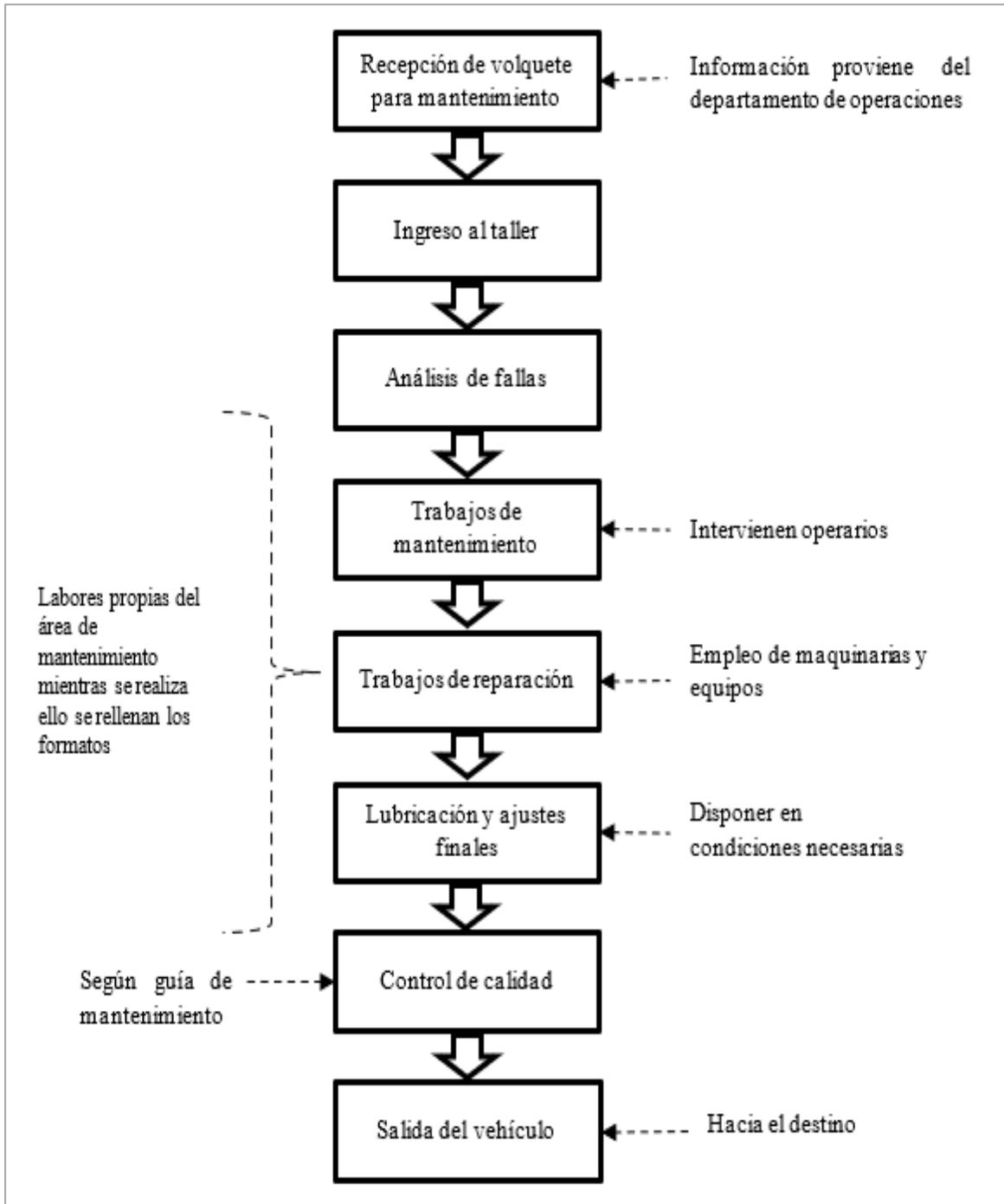
$$\text{COK} = 15.36\%$$

Anexo 3 Procedimiento de trabajo estandarizado para labores de mantenimiento

PR- 01	Procedimiento de trabajo estandarizado para el	Pag. 01
Version 01	personal operativo	/ /2021
<p>I. Obejtivo La finalidad del presente documento es determinar una metodología para el desarrollo de las actividades en el programa de mejora establecido. Para lograr un trabajo estandarizado se debe cumplir con la secuencia de las actividades en el tiempo determinado. Cuando este cumplimiento sea el adecuado se logran resultados mas eficientes, con un minimo margen de error y sin accidentes, lo cual mejorará la experiencia del cliente y los trabajadores de la empresa</p> <p>II. Meta Tener el total de los trabajadores capacitados para las actividades de mejora, para lo cual deben desarrollar sus habilidades estrategicas</p> <p>III. Alcance Este plan debe ser aplicado a todo el personal, tanto al área administrativa, técnica y operacional</p> <p>IV. Material a consultar *Material proporcionado por proveedores *Flujograma de trabajo estandarizado *Evaluaciones de desempeño *Formatos de capacitación</p> <p>V. Responsabilidad *En los equipos de trabajo formados, el encargado debe velar por el cumplimiento de los planes de accion *El jefe del área debe velar por la capacitación en habilidades estrategicas</p> <p>VI. Recursos *Recurso humano de trabajadores y personal técnico *Recursos materiales como pizarras, plumones, lapices, hojas, entre otros.</p> <p>VII. Descripción del procedimiento o Temario Definición de trabajo estandarizado Determinación de los componentes Descripción de procedimientos estandarizados Determinación lógica de actividades Uso de herramientas para la implementacion Explicar los procesos a seguir Beneficios de la estandarización Auditorias y controles</p>		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4 Diagrama de flujo del procedimiento de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

Anexo 7 Mantenimiento de volquetes implementación RCM



Fuente: Elaboración propia

Anexo 8 Capacitación de la metodología RCM al personal técnico de mantenimiento

Tema 1



Fuente: Elaboración propia

Tema 2



Fuente: Elaboración propia

Tema 3



Fuente: Elaboración propia

Tema 4



Fuente: Elaboración propia

Tema 5



Fuente: Elaboración propia

Tema 6



Fuente: Elaboración propia

Tema 7



Fuente: Elaboración propia

Tema 8



Fuente: Elaboración propia

Tema 9



Fuente: Elaboración propia

Anexo 9 Sesión de capacitación al personal técnico de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

Anexo 10 Formato: Análisis de la metodología RCM

Puntos de Inspección	Sí	No	NA	Observaciones
El cable de conexión de electricidad está en buenas condiciones.				
Se encuentra en buen estado la carcasa de protección.				
El botón de encendido y apagado funciona correctamente.				
Cuenta con guía visual para realizar el trabajo de mantenimiento.				
La placa del tablero está en buenas condiciones.				
El arnés de conexión se encuentra en buen estado.				
Estado de limpieza del equipo (libre de polvo, aceite y grasa).				
Estado de engranaje de equipo y/o Maquinaria.				
<p>Restricciones de Uso:</p> <p>_____</p> <p>Operación de Equipo</p> <p>_____</p> <p>Responsable de Taller</p>				

Fuente: Elaboración propia

Anexo 11 Formato de auditoria

Área:		Auditado por:				
Fecha:	__/__/2021	Ricardo				
FORMATO DE AUDITORIA						
Coloque un aspa de acuerdo con lo observado	Puntaje	1	2	3	4	5
1	Equipos e insumos necesarios					
2	Inventario necesario					
3	Riesgos para la seguridad					
4	Los lugares correctos para los insumos están definidos					
5	Los materiales se encuentran en su lugar					
6	Los productos se guardan posteriormente de su utilización					
7	Equipo e insumos se encuentran limpios					
8	Otros problemas de limpieza					
9	La información necesaria es visible					
10	Todas las normas son conocidas por el personal					
11	Se aplica el reglamento en caso de problemas					
12	Existen listas de verificación					
13	Se asignan los documentos al área requerida					
14	Mantener y supervisar el área					
15	Cuantos trabajadores entienden los conceptos de MCC					
16	Se comunica oportunamente los cambios					
17	Se siguen las normas					
18	Se emplea la metodología RCM					
19	Se busca optimizar los recursos					
20	Se busca optimizar el tiempo					
	Puntuación					

Fuente: Elaboración propia

Anexo 12 Formato de registro de auditorías

		REGISTRO DE AUDITORÍAS			Código: SST-F07	
					Versión: 00	
					Fecha: 08/2021	
N° REGISTRO						
DATOS DEL EMPLEADOR:						
1. RAZÓN SOCIAL O DENOMINACIÓN SOCIAL		2. RUC	3. DOMICILIO (Dirección, distrito, departamento, provincia)		4. ACTIVIDAD ECONOMICA	5. N° TRABAJADORES EN EL CENTRO LABORAL
6. NOMBRE(S) DEL (DE LOS) AUDITOR(ES)				7. N° DNI		
INSERTAR TANTOS RENGLONES COMO SEAN NECESARIOS						
8. FECHAS DE AUDITORÍA		9. PROCESOS AUDITADOS		10. NOMBRE DE LOS RESPONSABLES DE LOS PROCESOS AUDITADOS		
INSERTAR TANTOS RENGLONES COMO SEAN NECESARIOS.						
11. NÚMERO DE NO CONFORMIDADES		12. INFORMACIÓN A ADJUNTAR				
MODELO DE ENCABEZADOS PARA EL PLAN DE ACCIÓN PARA EL CIERRE DE NO CONFORMIDADES						
13. DESCRIPCIÓN DE LA NO CONFORMIDAD				14. CAUSAS DE LA NO CONFORMIDAD		
15. DESCRIPCIÓN DE MEDIDAS CORRECTIVAS			16. NOMBRE DEL RESPONSABLE	17. FECHA DE EJECUCIÓN		18. Completar en la fecha de ejecución propuesta, el ESTADO de la implementación de la medida correctiva (realizada, pendiente, en ejecución)
19. RESPONSABLE DEL REGISTRO						
NOMBRE:						
CARGO:						
FECHA:						
FIRMA:						

Fuente: Elaboración propia

Anexo 13 Cronograma de auditorías

PROGRAMA DE AUDITORIAS																			
N°	Tipo de auditoria	Objetivos	Principio	Meses												Observaciones			
				Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12				
1	Auditoria interna en disponibilidad de volquetes	Se evaluará el desarrollo de los procesos para cada el MTBF y MTTR	Servicio de calidad con la menora cantidad de interrupciones														4		
2	Auditoria interna en MCC	Se evaluará la seguridad de los pasos a seguir para el proceso la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad	Tareas del mantenimiento																
			Confiabilidad del proceso																
			Análisis de gravedad																
			Análisis de frecuencia																
			Análisis de detección																
			Control de calidad																
			Cumplimiento del proceso de mantenimiento																
3	Auditoria en Mejora continua	Evaluar el cumplimiento de las propuestas	Base en los lineamientos para la calidad del proceso																

Criterios de auditoria:
 1.- Las áreas y actores de proceso a auditar están sujetas a lo previsto en los procedimientos documentados de cada proceso
 2.- Los días de realización de las auditorias internas, se confirmarán a través del plan de auditoria.

1 2 3 4 → **Semanas del mes**

Auditoria programada
Auditoria no programada

Fecha: 2021

Fuente: Elaboración propia

Anexo 14 Auditoria en el taller



Fuente: Elaboración propia