

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO
CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA
INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LA
FLOTA VEHICULAR EN UNA EMPRESA DE
TRANSPORTE DE MATERIALES PELIGROSOS”**

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Nestor Wilson Zamora Mendoza

Asesor:

Mg. Ing. Ricardo Fernando Ortega Mestanza

<https://orcid.org/0000-0003-4712-4767>

Cajamarca- Perú

JURADO CALIFICADOR

Jurado 1	Ana Rosa Mendoza Azañero	45512232
Presidente(a)	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Elmer Aguilar Briones	18856045
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Katherine del Pilar Arana Arana	46288832
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA VEHICULAR EN UNA EMPRESA DE TRANSPORTE DE MATERIALES PELIGROSOS

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	16%	5%	12%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	12%
2	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	2%
3	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	2%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

DEDICATORIA

Va dedicado a mi abuela e hijos, por ser el gran motor de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mis
mentores, y a todos aquellos que
hicieron posible la realización de
este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO CALIFICADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE ECUACIONES	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del problema	19
1.2.1. Problema general.....	19
1.3. Objetivos de investigación	19
1.3.1. Objetivo general.....	19
1.3.2. Objetivos específicos.....	19
1.4. Hipótesis de investigación.....	20
1.4.1. Hipótesis general	20
1.4.2. Hipótesis específicas	20
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	21
2.1. Tipo de investigación	21
2.2. Población y muestra	21

2.3. Técnicas e instrumentos de investigación	21
2.4. Procedimiento de recolección de datos	22
2.7. Aspectos éticos	25
CAPÍTULO III. RESULTADOS	27
3.1. Resultado n° 1: Situación actual de la disponibilidad de flota	27
3.2. Resultado n° 2. Diseño dela propuesta de mejora	38
3.3. Resultado n° 3: Mejora en indicadores de disponibilidad de flota	62
3.4. Resultado n° 4: Evaluación del impacto económico	72
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	77
REFERENCIAS	82
ANEXOS	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Matriz de operacionalización de variables	26
Tabla 2	Impacto de causas sobre el problema central	31
Tabla 3	Análisis de cinco porqués	33
Tabla 4	Indicadores iniciales de disponibilidad (previo).....	35
Tabla 5	Resumen de indicadores iniciales.....	38
Tabla 6	Frecuencia de fallas durante los 6 primeros meses, según tipo	39
Tabla 7	Escalas para el análisis del nivel de prioridad de riesgo	40
Tabla 8	Análisis del número de prioridad de riesgo	40
Tabla 9	Análisis AMEF.....	42
Tabla 10	Hoja de decisión RCM	47
Tabla 11	Programación de supervisiones	61
Tabla 12	Indicadores iniciales de disponibilidad (global).....	63
Tabla 13	Estadísticas de muestras emparejadas de la hipótesis general.....	67
Tabla 14	Prueba T de Student de la hipótesis general.....	68
Tabla 15	Estadísticas de muestras emparejadas de la hipótesis general.....	69
Tabla 16	Prueba T de Student de la hipótesis específica 1	69
Tabla 17	Estadísticas de muestras emparejadas de la hipótesis general.....	70
Tabla 18	Prueba T de Student de la hipótesis específica 2.....	71
Tabla 19	Costos para la implementación de la metodología RCM	72
Tabla 20	Flujo de caja proyectado a cinco años	74
Tabla 21	Flujo de caja de la implementación de la metodología RCM	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de operaciones del proceso inicial.....	27
Figura 2 Diagrama de Ishikawa.....	29
Figura 3 Diagrama de Pareto	32
Figura 4 Análisis del tiempo medio entre fallas (previo)	35
Figura 5 Análisis del tiempo medio para reparaciones (previo).....	36
Figura 6 Análisis de la disponibilidad previa	37
Figura 7 Frecuencia de fallas según tipo	39
Figura 8 Programación mensual de capacitaciones	44
Figura 9 Programación mensual de capacitaciones	45
Figura 10 Formato para reporte de mantenimiento preventivo	48
Figura 11 Formato para programación de mantenimiento preventivo	49
Figura 12 Formato para parte de trabajo de mantenimiento correctivo	50
Figura 13 Lineamientos para trabajo estandarizado RCM	51
Figura 14 Procedimiento de trabajo estandarizado para mantenimiento.....	53
Figura 15 DOP para mantenimiento de sistema de motores	54
Figura 16 DOP para mantenimiento de sistema hidráulico	56
Figura 17 DOP para mantenimiento de sistema eléctrico	57
Figura 18 Formato de supervisión de gestión de mantenimiento.....	59
Figura 19 Formato de supervisión de gestión de mantenimiento.....	60
Figura 20 Análisis del tiempo medio entre fallas (global)	64
Figura 21 Análisis del tiempo medio para reparaciones (global).....	65
Figura 22 Análisis de la disponibilidad previa	66
Figura 23 Análisis de flujos de caja proyectado a cinco años	75

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Cálculo de la confiabilidad de las tareas de mantenimiento (TM)	97
Ecuación 2 Cálculo de la confiabilidad del proceso (CP)	98
Ecuación 3 Cálculo del nivel de prioridad de riesgo (NPR)	98
Ecuación 4 Cálculo de la disponibilidad	99
Ecuación 5 Cálculo de tiempo medio entre fallas (MTBF).....	102
Ecuación 6 Cálculo de tiempo medio para reparaciones (MTTR)	102

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general aplicar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para incrementar la disponibilidad operativa de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos. Para ello, la metodología empleada fue de enfoque cuantitativo, de diseño pre-experimental, de nivel explicativo y corte longitudinal. La investigación tuvo como muestra a 11 vehículos pertenecientes a la flota vehicular actual. Las técnicas de recolección de datos fue la observación y el análisis de datos secundarios. Además se propusieron el uso de herramientas como Ishikawa, Pareto, 5W, DOP, AMEF y hojas RCM. Debido a ello, se logró una mejora significativa de la disponibilidad operativa de 93.5% a 98.3% en el total de vehículos analizados. La aplicación de las herramientas de la metodología de solución Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad logró un Valor Actual Neto de S/ 14,449.03 soles, y un beneficio-costo de 2.12, así se demuestra que la aplicación también fue factible para el área y viable económicamente.

Palabras clave: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, disponibilidad, flota vehicular, transporte de materiales peligrosos.

ABSTRACT

The general objective of this research was to apply Reliability-Centered Maintenance to increase the operational availability of the vehicle fleet in a hazardous materials transport company. For this, the methodology used a quantitative approach, pre-experimental design, explanatory level and longitudinal cut. The investigation had as a sample 11 vehicles belonging to the current vehicle fleet. The data collection techniques were observation and analysis of secondary data. In addition, the use of tools such as Ishikawa, Pareto, 5W, DOP, AMEF and RCM sheets were proposed. As a result, a significant improvement in operational availability from 93.5% to 98.3% was achieved in the total number of vehicles analyzed. The application of the Reliability Centered Maintenance solution methodology tools achieved a Net Present Value of S/ 14,449.03 soles, and a benefit-cost of 2.12, thus demonstrating that the application was also feasible for the area and economically viable.

Keywords: Reliability Centered Maintenance, availability, vehicle fleet, transportation of hazardous materials.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La problemática internacional evidencia las experiencias de la gestión del mantenimiento en vehículos de carga pesada, tal es el caso de Tao et al. (2022) en Suecia; el mantenimiento causa un costo monetario, así como una pérdida de disponibilidad; por el contrario, el aumento del rendimiento del mantenimiento conduce a una alta disponibilidad, lo que aumenta las ganancias a corto plazo. Además, el desarrollo de nuevas tecnologías también trae desafíos, especialmente cuando el camión está en una misión de transporte de carga y las fallas ocurren abruptamente; en esta situación, el mantenimiento debe planificarse y es necesario contar con una metodología de respaldo para el mantenimiento.

En la misma línea, para Mohammed et al. (2022) es necesario evaluar el nivel de confiabilidad general del sistema de descarga de camiones y los modos de falla de los componentes del sistema de descarga en Arabia Saudita. Además, se evalúa la confiabilidad del sistema de descarga de camiones durante la vida útil del sistema, se investiga el efecto del mantenimiento preventivo en la confiabilidad del sistema de descarga de camiones. A partir de ello, se establece una estrategia de basada en la confiabilidad y se identifica los principales contribuyentes a la confiabilidad del sistema para fines de mejora del diseño.

Asimismo, para Alla et al. (2020) las empresas tienen como objetivo mejorar la eficiencia de los camiones de acarreo como una parte clave de sus esfuerzos para reducir costos y mejorar la competitividad de sus operaciones en Canadá. Se debe recordar que el costo total de operación de cada camión corresponde a cientos de dólares, por lo que es esencial que se encuentre disponibles cuando sea necesario y en las mejores condiciones. La naturaleza multidisciplinaria de las actividades de mantenimiento requiere la combinación correcta puede determinar la evaluación del riesgo, el costo y el impacto en el medio ambiente y la salud y la seguridad.

A nivel nacional, según los datos de INEI (2023) se menciona que el sector transporte es de gran importancia para la economía del país, dado que genera trabajo y aporta al

desarrollo; en este sentido, se presenta su evolución del PBI (ver anexo 1). El análisis evidencia el crecimiento del sector de transportes a lo largo de los últimos años, dado que se observa una tendencia al alza de forma sostenida que solo presenta una ligera disminución en el año 2020 debido a los efectos y restricciones de la pandemia; a pesar de ello, para el periodo siguiente el sector logró una rápida recuperación.

De forma complementaria, según los datos del MTC (2022) se observa la variación del aporte al PBI nacional para mayor detalle (ver anexo 2). En el periodo 2021 se evidencia un importante incremento, lo cual se debe al crecimiento del sector, la importancia del transporte de mercancías y el dinamismo que enfrenta la era de la globalización. Es necesario asegurar el adecuado funcionamiento de los vehículos de carga pesada para continuar con el crecimiento del sector. En los últimos años se ha reflejado la importancia de la gestión del mantenimiento en empresas del sector mediante sistemas innovadores y de constante evaluación, dado que las empresas perfeccionan sus servicios con operaciones de calidad.

En la misma línea, para Guerrero et al. (2021) que la gestión del mantenimiento debe ser un aliado estratégico, dado que la flota de vehículos de transporte es necesaria para todo tipo de operaciones y muchas veces la alta disponibilidad ha sido un elemento diferenciador. Las disciplinas de ingeniería brindan un respaldo para orientar los servicios a la calidad y cumplir con las expectativas. Es necesario un sistema articulado de gestión de mantenimiento para contar con una mezcla de actividades preventivas, correctivas y productivas para conservar los equipos en el mejor estado de conservación.

Por otro lado, a nivel local, se han evidenciado deficiencias en el área de mantenimiento, sobre todo, respecto a la metodología para llevar a cabo la gestión con problemas relacionados a una falta de calidad en el estado de los equipos y la falta de estandarización. Por otro lado, sobre la medición del mantenimiento, existe una falta en el seguimiento de los indicadores, al estar desactualizados, calculados incorrectamente y no registrado; esto se debe a la falta de formación y conocimiento en el seguimiento de información. A modo global, las deficiencias se orientan hacia el bajo nivel de disponibilidad operativa y es necesario resolver los aspectos más relevantes para lograr un impacto significativo.

Respecto a los antecedentes de investigación, a nivel internacional, de acuerdo con Sugiharjo y Surya (2022) en “*Analysis of Model Fd30t-17 Forklift Brakes on Availability in Waste Processing Companies*”, la finalidad fue el desarrollo de un sistema de gestión de mantenimiento en base al RCM para incrementar la disponibilidad operativa de un camión montacarga. La metodología RCM brinda lineamientos para el análisis de las fallas de equipos, identificación de problemas estructurales y planificación de trabajos según el criterio de las necesidades en operaciones, dado que es crucial para lograr una condición estable de disponibilidad para que el equipo esté siempre listo para su uso. Los resultados evidencian que la disponibilidad de montacargas en promedio aumentó de 92.07% a 97.11%; por lo tanto, se concluye que la metodología RCM aumenta la disponibilidad.

En Silva et al. (2021) “*RCM 3 Methodology Application to Armored Military Vehicle Cooling System*”, la finalidad fue aplicar la metodología RCM en vehículos de carga pesada empleados en la industria militar. El plan de mantenimiento obtenido con RCM se muestra más adecuado y capaz de reducir el riesgo asociado a los modos de fallo del sistema, dado que se utilizaron métodos como la distribución de Weibull aplicada a la confiabilidad y Right Censored Data. Los resultados muestran que el MTBF se incrementó a 1827.43 horas, lo cual determina que el vehículo se encuentra disponible en gran medida para las actividades.

Para Jafarpisheh et al. (2021) en “*A hybrid reliability-centered maintenance approach for mining transportation machines: a real case in Esfahan*”, el propósito fue proponer un enfoque de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para máquinas de transporte que son uno de los equipos más críticos en la industria. Se utilizó el método de organización de clasificación de preferencias para el enriquecimiento de las evaluaciones y métodos de toma de decisiones de criterios múltiples además del análisis de modos de falla, efectos y criticidad. El análisis del modelo determinó que el criterio de detectabilidad obtiene un peso ponderado de 83.6%, seguido por la severidad del fallo con 12.2% y, por último, la frecuencia de averías alcanza el 4.07%. Además, se registra el intervalo entre reparaciones y reemplazos secuenciales de las partes, y el tiempo promedio para determinar el MTBF de cada parte, así como acciones para la pieza en forma regular y planificada antes de su falla.

Setiawan et al. (2019) en “*Maintenance system design on air jet loom (AJL) machine using reliability centered maintenance (RCM) method*”, el objetivo principal fue identificar los componentes críticos de una maquina y plantear un sistema de mantenimiento diseñado para reducir el tiempo de inactividad. El estudio comenzó con la identificación de componentes de la máquina, utilizando un diagrama de espina de pescado y continuó con el diagrama de Pareto, en tanto que, para cada componente crítico, se recopilaron datos de tiempo entre fallas. A partir de ello, se planteó un cambio en la gestión de actividades de manutención y se logró una reducción del tiempo medio para reparaciones hasta 59.85 minutos, en tanto que el tiempo medio entre fallas fue de 108.92 horas lo cual representa una disponibilidad cerca del 99%; por otro lado, se observaron beneficios en la extensión de la vida útil del 21% del equipo y un incremento de la producción en 13%.

Cucu y Dumitru en “*Periodic control optimization according to availability for vehicles*”, tuvieron la finalidad de desarrollar un modelo para el mantenimiento en base al RCM, junto con otras herramientas para vehículos que incremente la disponibilidad. El control técnico periódico es el seguimiento del estado del vehículo y el pronóstico de su estado futuro. Se proponen los modelos matemáticos para el cálculo de indicadores de mantenimiento para una distribución arbitraria de tiempo hasta la falla; la ventaja del mantenimiento predictivo se destaca en comparación con el mantenimiento correctivo. El sistema propuesto logra un cambio en los indicadores de la operatividad tiempo disponible de 160 horas al mes y un tiempo de trabajos de mantenimiento de 6 horas en promedio.

En los antecedentes a nivel nacional, de acuerdo con Tafur (2022) en “*Mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad operativa en vehículos ligeros de la empresa Wigo Motors, 2022*”, se buscó determinar el impacto en la disponibilidad operativa de vehículos ligeros luego de la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad. Esta mejora se evidenció a través de un aumento en el rendimiento de los índices de tiempo medio entre fallas y del tiempo medio para reparaciones. Los resultados económicos mostraron la viabilidad con un Valor Actual Neto de S/ 25,103 soles, una Tasa Interna de Retorno de 36.35%. A partir de ello, se concluye que la aplicación de la metodología RCM colabora en el incremento de la disponibilidad operativa. El aporte de la

investigación se basa en conocer de qué manera es posible implementar la metodología RCM para el incremento de la disponibilidad, orientado en vehículos.

En Julca (2022) *“Implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad de la flota de camiones de la empresa CILSA”*, la finalidad fue analizar la incidencia de la aplicación del RCM en la disponibilidad de los camiones que poseía la empresa CILSA. El primer paso fue la identificación de las fallas a través del diagrama de Pareto, el análisis modal de causas y efectos. La disponibilidad tuvo un aumento de 3.61%. La evaluación económica también obtuvo resultados positivos, brindando un VAN de S/ 23,397 soles y un TIR de 37%. Se concluye que la metodología RCM mejora la disponibilidad operativa de una flota de vehículos. Esta investigación colabora en el análisis de la metodología RCM y su impacto en indicadores claves para la gestión de disponibilidad en vehículos.

Para Abad (2022) *“Aplicación de la metodología RCM para incrementar la disponibilidad operativa de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021”*, se tuvo como objetivo diagnosticar el impacto de la aplicación de la metodología RCM en la disponibilidad de los equipos de una minera, concretamente de camiones volquetes. A través del uso de las herramientas propias del RCM como el análisis de criticidad y luego el AMEF se obtuvieron los resultados. Estos indicaron una mejora en la disponibilidad, MTBF y MTTR. La disponibilidad aumentó de un 76.34% a un 92.98%, el MTBF de 13.66 a 37.96 horas y el MTTR disminuyó de 4.2 a 2.3 horas. Asimismo, la evaluación económica arrojó que el VAN fue de S/ 70,513 soles y el TIR de 52.37% indicando que la implementación del RCM en la empresa era viable. La investigación representa un aporte imperante dado que se muestra cómo la metodología RCM mejora la disponibilidad operativa de vehículos a partir de la aplicación de buenas prácticas de mantenimiento.

En Nuñez y Puchoc (2021) *“Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad operativa de la empresa Distribuidora Bajopontina S. A. Lima, 2021”*, el objetivo principal fue determinar en qué medida impactó la aplicación de la metodología RCM en la disponibilidad operativa. Se identificaron las principales causas de los fallos en estos a través del análisis moda de causas y efectos e

implementar la mejora en el mantenimiento. Los resultados mostraron una mejora de la disponibilidad de 77.8% a 94.4%, el MTBF de 290 a 604 horas y el MTTR reduciéndose de 72.51 a 39.27 horas; en la evaluación económica, se obtuvo un VAN de S/ 8,751 soles, un TIR de 41.48% y una relación beneficio costo de 1.92, demostrando la viabilidad en la aplicación esta metodología. Por lo tanto, se concluye que la implementación de la metodología RCM mejora la disponibilidad operativa de vehículos de carga pesada.

De acuerdo con Narváez y Palza (2020) en *“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”*, la finalidad de su investigación fue el aumento en los indicadores de disponibilidad en los vehículos de una empresa minera luego de la aplicación del RCM. Primero se identificaron los fallos asociados a los equipos mediante el AMEF y luego, la metodología en sí. Los resultados obtenidos mostraron una mejoría en los indicadores, en donde la disponibilidad aumentó de 84.5% a 87.1%, el MTBF de 37.08 a 40.4 horas y el MTTR disminuyó de 4.01 a 2.85 horas. En cuanto a la evaluación económica, se obtuvo que el VAN fue de USD\$ 1,063,785 dólares, el TIR de 95.5%, un período de recuperación de 3 meses indicando su viabilidad.

El análisis global de la realidad problemática evidencia la importancia de la gestión del mantenimiento en todo el mundo y en nuestro país; en este sentido, se han revisado experiencias positivas de la aplicación de la metodología RCM para el incremento de la disponibilidad, lo cual muchas veces se ve acompañado de un beneficio económico o la mejora del desempeño en las operaciones. En este sentido, se debe resolver problemas respecto a la gestión del mantenimiento con la identificación de las fallas y su origen, el diseño de alternativas para mejorar las condiciones de vehículos, analizar indicadores claves de gestión (MTBF, MTTR y disponibilidad), así como determinar el beneficio económico global. La gestión del mantenimiento se ha convertido en un aspecto transcendental para las empresas industriales en la conservación de sus activos, por lo que se tomarán dichos lineamientos para el mantenimiento e incremento de la disponibilidad de una flota de vehículos de materiales peligrosos.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿En qué medida la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad incrementa la disponibilidad de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos?

1.3. Objetivos de investigación

1.3.1. Objetivo general

Aplicar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para incrementar la disponibilidad operativa de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar la situación actual del sistema de mantenimiento en el incremento de la disponibilidad de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

Diseñar la propuesta de mejora del mantenimiento centrado en la confiabilidad para el incremento de la flota.

Determinar en qué medida los indicadores de la propuesta de mejora incrementa la disponibilidad de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

Evaluar cuál es el impacto económico de la propuesta de mejora en la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

1.4. Hipótesis de investigación

1.4.1. Hipótesis general

La aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad incrementa la disponibilidad operativa de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

1.4.2. Hipótesis específicas

La aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad incrementa el tiempo medio entre fallas de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

La aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad reduce el tiempo medio para reparaciones de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

Se genera un impacto económico positivo de la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según el propósito esta investigación es de tipo aplicada puesto que pretende dar solución a un problema de la realidad, en este caso abordar la solución de un problema empresarial. Asimismo, de acuerdo con el enfoque de investigación se define como cuantitativa, porque se recolectan datos para probar hipótesis de investigación con base numérica y análisis estadístico. Según la experimentación el presente estudio corresponde a un diseño pre-experimental con pre-test y post-test con un solo grupo experimental (ver anexos 3 y 6).

2.2. Población y muestra

Con relación a la población, la cual es el grupo de elementos, individuos o cosas que poseen características en común y son de interés para el investigador. En el presente estudio la población está conformada por 11 vehículos que corresponden a la flota vehicular que posee la empresa de transporte de materiales peligrosos.

Asimismo, con relación a la muestra se considera el muestreo censal, es decir, se considera a todas las unidades de la población para el análisis a profundidad, dado que la población es pequeña y finita. En este sentido, la muestra estuvo constituida por los 11 vehículos que conforman la flota de la empresa de transporte de materiales peligrosos, en el periodo enero a diciembre del 2022. Cabe señalar que, en la presente investigación el muestreo no fue aplicado, puesto que se utilizó al total de la población en estudio.

2.3. Técnicas e instrumentos de investigación

Con respecto a las técnicas, cabe precisar que se emplea la técnica de análisis de datos secundarios y la observación, que son actividades necesarias de efectuar para obtener los indicadores de las variables en estudio, en especial, sobre la disponibilidad operativa de la flota vehicular. De igual manera, en correspondencia a las técnicas utilizadas se emplea

como instrumentos las bases de datos relacionadas a la flota vehicular de la compañía y también las fichas de observación para la recolección de datos en campo, respectivamente. A continuación, se detallan las técnicas empleadas

- **Observación directa:** Esta técnica corresponde a la acción de observación por parte del investigador para la recolección de datos bajo una mirada crítica y analítica, sin perder de consideración que la información será empleada con fines académicos. En este sentido, se procede a tomar nota de los datos de los tiempos de operaciones, tiempo de reparaciones y número de fallas en los vehículos para el cálculo de la disponibilidad.
- **Análisis de datos:** La técnica del análisis de datos es empleada a fin de contar con información oficial de reportes de mantenimiento, tiempos históricos sobre operaciones, reparaciones y fallas, así como toda información que pueda ser proporcionada por la empresa de forma relevante para la investigación.

Por otro lado, los instrumentos de recolección de datos son los elementos materiales en donde se recolecta la información de las variables de interés, en tanto que pueden asumir formas de fichas organizadas de forma sistemática para el éxito del proceso. Los instrumentos empleados en la presente investigación fueron las fichas de observación del tiempo medio entre fallas, la ficha de observación del tiempo medio para reparaciones y la ficha de observación de la disponibilidad (Ver anexo 7).

2.4. Procedimiento de recolección de datos

En este apartado se describe con detalle cómo se recolectan los datos, que inicialmente fueron tomados de las bases de datos históricas de la empresa, y ante la ausencia de información relevante o necesaria como el estudio de la disponibilidad operativa de la flota de vehículos se optó por recolectar los datos de fuente primaria, a través de fichas de observación.

Sobre la base del diagnóstico y análisis de la problemática, se emplearon diversas herramientas y técnicas de la ingeniería industrial, tales como: Diagrama Ishikawa; para identificar las causas específicas que originan el problema, el diagrama de Pareto para representar gráficamente la priorización o prelación de las causas más importantes, asimismo el uso de diagramas de operaciones y diagramas de flujo para representar el proceso de mantenimiento analizado en cuestión, y en el momento oportuno analizar los datos mediante un software estadístico y el uso de software de ofimática para la presentación y visualización de los hallazgos principales.

Cabe mencionar que, con respecto a la recolección de los datos se solicitó la autorización correspondiente a la gerencia general y gerencia de mantenimiento de la empresa, para luego proceder en fechas establecidas a la recolección siendo el periodo analizado desde enero a diciembre del 2022. Posteriormente, los datos fueron procesados en una hoja de cálculo Excel para luego ser trasladados al software estadístico SPSS, en el cual se lleva a cabo el análisis estadístico descriptivo e inferencial y luego, presentar los hallazgos más importantes para la investigación en cuestión.

El detalle de las herramientas para el procesamiento y análisis de datos se comenta a continuación.

- Estadística descriptiva: La estadística permite conocer la situación de las variables mediante indicadores como la media, moda, mediana, desviación, mínimo, máximo, rango, entre otros.
- Diagrama de Ishikawa: El diagrama de causa – efecto es útil para organizar las deficiencias del área de mantenimiento orientadas hacia la baja disponibilidad de equipos mediante los enfoques de método, medición, mano de obra, medio ambiente, maquinaria y materiales.
- Matriz de priorización de problemas: Este instrumento permite el análisis de los problemas principales a través de la sistematización y la priorización de los elementos más relevantes que pueden influir en la disponibilidad.

- Diagrama de Pareto: Este análisis refiere que pocas causas representan gran parte del problema; a partir de ello, es posible plantear acciones de mejora asertivas para la mejora significativa de la disponibilidad.
- Análisis de los 5 porqués: La herramienta contempla el análisis sucesivo de la pregunta por qué para evaluar las implicancias de cada causa que origina el problema a fin de encontrar una solución al final del análisis.
- Diagrama de operaciones: Herramienta de la ingeniería que muestra la secuencia de pasos para desarrollar una actividad, es útil para analizar el proceso operativo con el objetivo de plantear acciones de mejora.
- Diagramas de flujo: Representación gráfica que describe un proceso o sistema que es ampliamente usado dentro de la rama de ingeniería, dado que refleja de forma didáctica las operaciones.
- Software SPSS para el análisis de datos: El programa permite el tratamiento de datos estadísticos con una interfase amigable para el traspaso de datos y la realización de pruebas de análisis descriptivo e inferencial.
- Software de ofimática: Los programas de ofimática colaboran en la redacción del documento final de tesis y permite organizar la información recolectada para la presentación de un informe según las exigencias.

Para realizar el análisis de los datos obtenidos en el presente estudio, se empleó el programa estadístico SPSS v.26. En primera instancia, para realizar el análisis estadístico descriptivo de las variables de estudio, tales como: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) y la disponibilidad operativa de la flota vehicular, luego se calculará el valor de la media (M), mediana (Me) y desviación estándar (DE), además se identificarán los puntajes mínimos y máximos de cada variable.

Para realizar el análisis estadístico inferencial de los resultados, tomando en consideración que se trabajó con un solo grupo experimental, se aplicará el coeficiente Shapiro-Wilks, estadístico de normalidad, de tal forma que se reconozca la normalidad de la distribución de los datos analizadas. Si la distribución de los datos no sigue la curva normal, se aplicarán estadísticos no paramétricos como el coeficiente U de Mann-Whitney para la comparación en dos muestras independientes, pero si los datos siguen una distribución normal, entre otros supuestos, se aplicará la T de Student para muestras relacionadas. Y de ser el caso, para el análisis de las dos muestras relacionadas con distribución no paramétrica se aplicará el coeficiente T-Wilcoxon.

2.7. Aspectos éticos

En el desarrollo de esta investigación se tiene en consideración el respeto a la propiedad intelectual de los autores citados según Normas APA Séptima Edición, quienes constituyen fuente principal para la elaboración del estudio. De igual manera, se respeta la autoría de toda fuente de información pública y privada mencionada en el documento y se cumple con las disposiciones proporcionadas por el Consejo Universitario de la Universidad Privada del Norte. Cabe precisar que la información aquí presentada es fiable y veraz, la cual ha sido proporcionada por la compañía a través de personal responsable y encargados del área con fines estrictamente académicos, de tal manera que se logra certificar la confiabilidad de los datos brindados para obtener resultados válidos y precisos.

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM es una metodología para el mantenimiento de equipos o máquinas que garantice la disponibilidad de estas, la cual permite conocer el objetivo, razones, modos de falla, consecuencias, y su prevención oportuna (Acuña, 2022)	El mantenimiento centrado en la confiabilidad es medido mediante tres dimensiones, tales son: las tareas de mantenimiento y la confiabilidad del proceso y el nivel de prioridad de riesgo	Tareas de mantenimiento	$= \frac{\text{Tareas de mantenimiento ejecutadas}}{\text{Tareas de mantenimiento programadas}} * 100\%$	Tareas de mantenimiento ejecutadas
			Confiabilidad del proceso	$= \frac{\text{Supervisiones del proceso realizadas}}{\text{Supervisiones del proceso programadas}} * 100\%$	Tareas de mantenimiento programadas
					Supervisión realizada
			Nivel de prioridad de riesgo	$= \text{Severidad} * \text{Ocurrencia} * \text{Detección}$	Supervisión programada
					Severidad
					Ocurrencia
Detección					
Disponibilidad de flota vehicular	La disponibilidad se define como la probabilidad de que un equipo en un momento dado pueda operar con éxito donde se observa que la disponibilidad depende del tiempo medio total entre fallos y el tiempo medio para reparaciones (Fernández de la Calle, 2020)	La disponibilidad operativa de la flota vehicular es medida a través de sus dimensiones, tales como: Tiempo medio entre fallos y tiempo medio para reparaciones	Tiempo medio entre fallos	$= \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Nº de fallos}}$	Tiempo total de funcionamiento
			Tiempo medio para reparaciones	$= \frac{\text{Tiempo total de inactividad}}{\text{Nº de fallos}}$	Número total de fallos
					Tiempo Total de inactividad o parada
					Número total de fallos

CAPÍTULO III. RESULTADOS

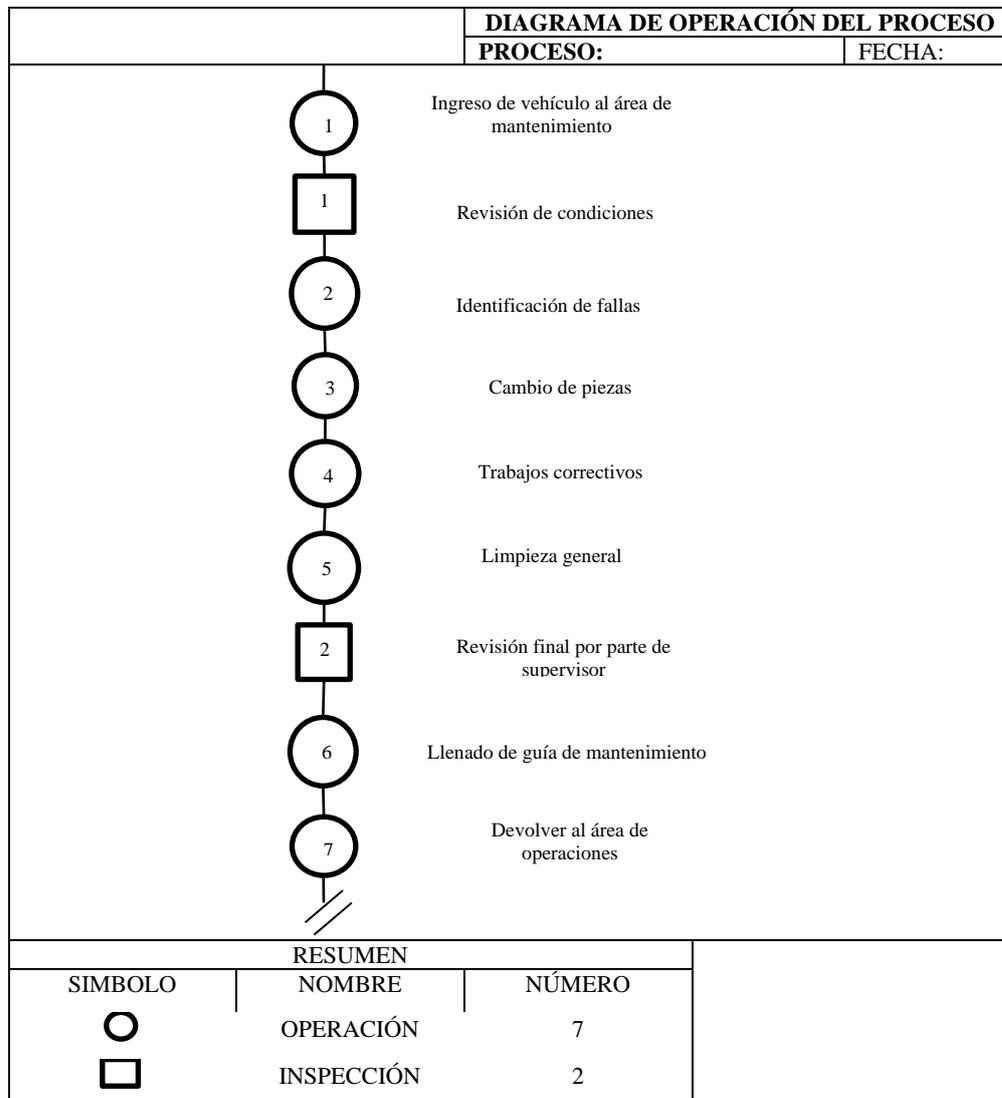
3.1. Resultado n° 1: Situación actual de la disponibilidad de flota

Determinar la situación actual de la gestión de mantenimiento en el incremento de la disponibilidad de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

El análisis de la situación inicial es un factor clave para el éxito de propuestas asertivas en la gestión del mantenimiento; por lo tanto, se presenta un diagrama de operaciones del proceso que detalla la gestión previa.

Figura 1

Diagrama de operaciones del proceso inicial



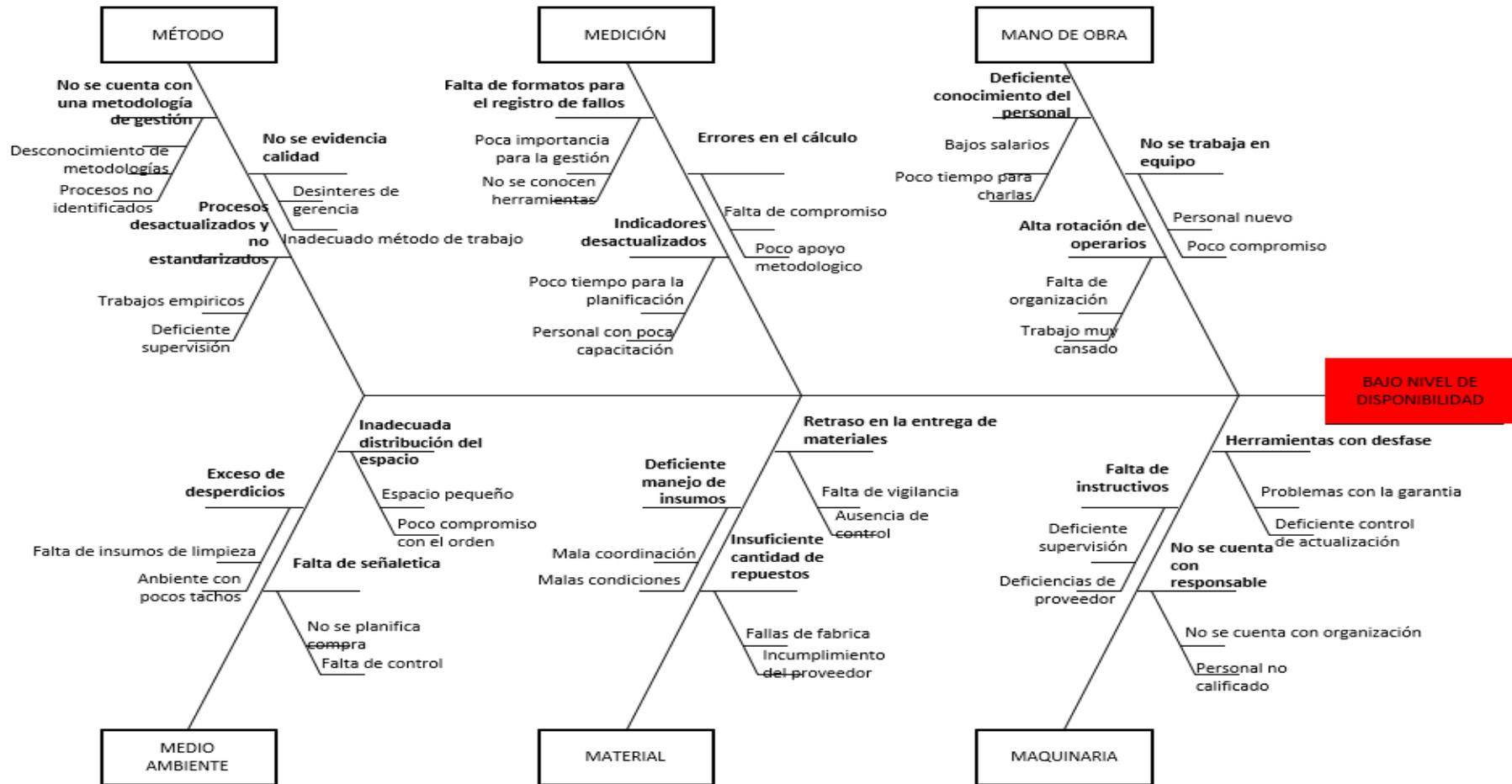
Nota. Elaboración propia

El análisis anterior menciona que las operaciones de mantenimiento de manera inicial se conforman por 9 actividades, siendo 7 operaciones y 2 revisiones; el proceso inicia con el ingreso del vehículo al área de mantenimiento, se procede con la revisión de condiciones, la identificación de fallas, el cambio de piezas, los trabajos correctivos, la limpieza general, la revisión final por parte del supervisor, el llenado de guías de mantenimiento y la devolución del equipo a las operaciones.

Es importante para el análisis de la realidad problemática local; por lo tanto, a continuación, se realizará el diagrama de Ishikawa para poder conocer las causas a partir del problema central, que es el bajo nivel de disponibilidad del equipo. En el diagrama, las causas se encuentran clasificadas según seis grupos distintos. Cada uno de estos contiene sus propias causas que inciden en la formulación del problema central. Posteriormente, el análisis se centrará en las causas que más peso tengan en esta última. Ahora se observará el diagrama en la siguiente figura:

Figura 2

Diagrama de Ishikawa



Nota. Elaboración propia

Los seis campos que muestra Ishikawa son el de método, medición, mano de obra, medio ambiente, material y maquinaria. Cada uno de estos contiene diversas causas que inciden en la generación del problema central que sufre la empresa, que es un bajo nivel de disponibilidad en equipos. En el método, las causas que se encontraron fueron la ausencia de una metodología para llevar a cabo el mantenimiento, relacionado también a una falta de calidad en el estado de los equipos y la falta de estandarización. Sobre la medición del mantenimiento, existe una falta en el seguimiento correcto de los indicadores, al estar desactualizados, calculados incorrectamente y no registrados. Esto se debe a la falta de formación y conocimiento en el seguimiento de información.

En la mano de obra, existe un deficiente trato al personal reflejado en la falta de una cultura de trabajo unificado y cooperativo, alta rotación laboral e insatisfacción producto de bajos salarios. Esto genera un ambiente poco productivo y, por consiguiente, con manejo deficiente en los equipos. En el medio ambiente, el ambiente físico de trabajo carece de una adecuada gestión debido a una señalética poco clara, excedencia en la generación de residuos y una incorrecta distribución del espacio que se dispone. Esto disminuye la productividad laboral al no utilizar adecuadamente las instalaciones para realizar de manera rápida los procesos. Sobre los materiales, la causa es el poco conocimiento en la manipulación de estos, falta de repuestos necesarios y retraso en la entrega de los materiales a la empresa. La falta de piezas necesarias impide el desarrollo normal de las actividades, tanto de producción como de mantenimiento lo cual impacta en la disponibilidad de los equipos.

En cuanto a la maquinaria, existen causas con respecto al conocimiento en la manipulación de estas, es decir, a su funcionamiento, producto de la falta de instructivos, carencia de personal calificado y de tecnología desfasada. El desconocimiento en el uso y desfase de los equipos genera un bajo nivel de manipulación de los mismos por lo que aumenta el tiempo de paro de estos y, por consiguiente, el tiempo de producción total. En la tabla siguiente se presentan las causas identificadas mediante el diagrama de Ishikawa. A estas se les asigna unos puntos en base al peso que tienen sobre la generación del problema central. De este modo, se puede observar que las cuatro primeras causas explican, en su mayoría, el problema del bajo nivel de disponibilidad.

Tabla 2

Impacto de causas sobre el problema central

N.º	Descripción de Partida	E1	E2	E3	E4	Punt.	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
1	No se cuenta con una metodología de gestión	9	10	10	9	38	19.0%	19%
2	Procesos desactualizados y no estandarizados	9	9	9	9	36	18.0%	37%
3	Falta de formatos para el registro de fallos	8	9	9	8	34	17.0%	54%
4	Indicadores desactualizados	8	8	7	8	31	15.5%	70%
5	Falta de instructivos	4	2	3	4	13	6.5%	76%
6	Insuficiente cantidad de repuestos	2	3	2	3	10	5.0%	81%
7	No se trabaja en equipo	3	2	2	2	9	4.5%	86%
8	Deficiente manejo de insumos	2	1	2	2	7	3.5%	89%
9	Inadecuada distribución del espacio	1	1	2	1	5	2.5%	92%
10	Retraso en la entrega de materiales	2	1	1	0	4	2.0%	94%
11	Exceso de desperdicios	1	1	0	1	3	1.5%	95%
12	Deficiente conocimiento del personal	1	0	1	1	3	1.5%	97%
13	No se cuenta con responsable de maquinarias	0	1	0	1	2	1.0%	98%
14	Errores en el cálculo de medición	0	1	0	0	1	0.5%	98%
15	No se evidencia calidad	1	0	0	0	1	0.5%	99%
16	Alta rotación de operarios	1	0	0	0	1	0.5%	99%
17	Falta de señalética	0	0	1	0	1	0.5%	100%
18	Herramientas con desfase	1	0	0	0	1	0.5%	100%
Total						200	100%	

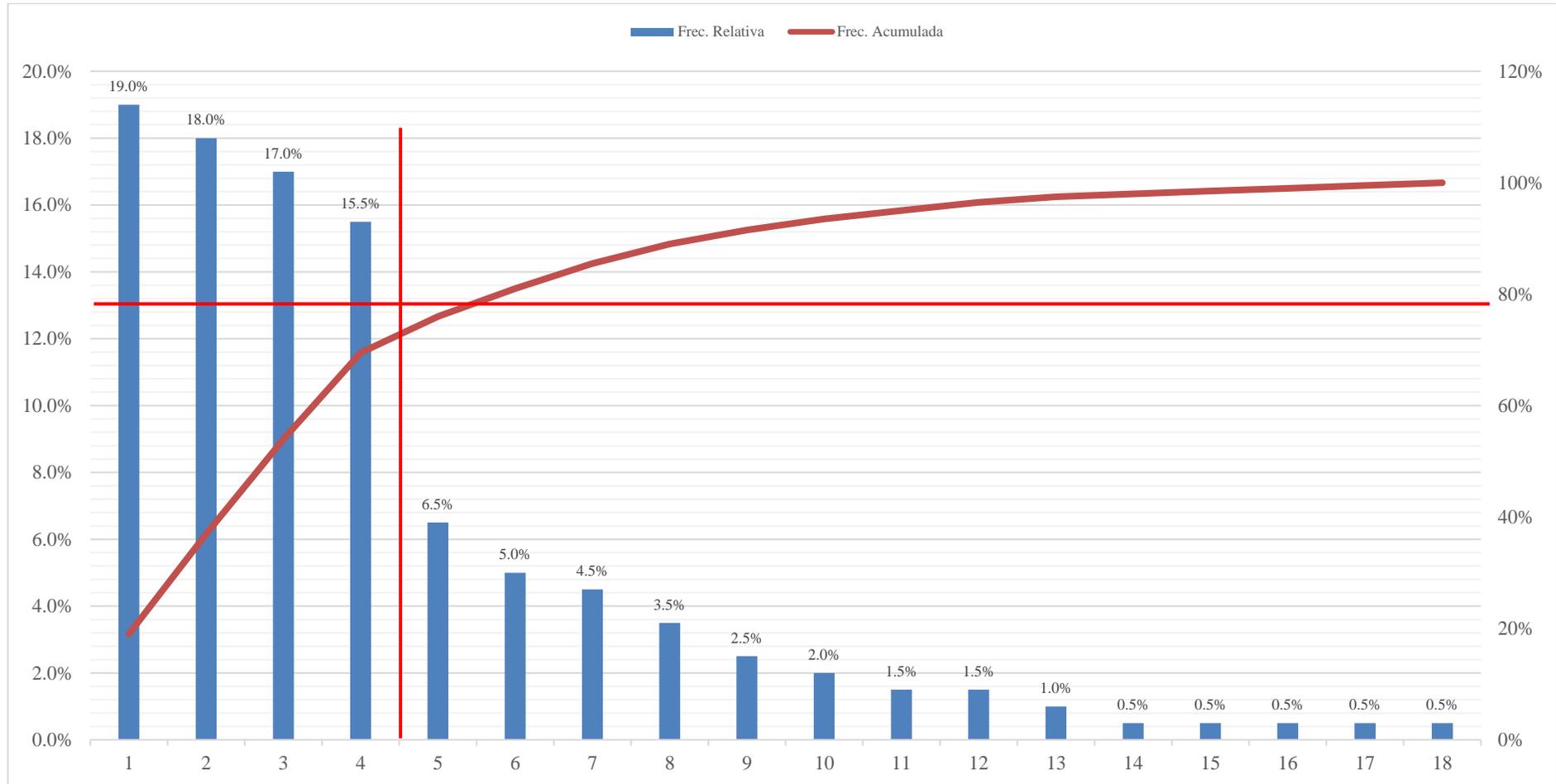
Nota. Elaboración propia

Dichas causas específicas son: la falta de una metodología para la gestión tuvo una puntuación de 38 y una frecuencia de 19% a nivel global, la falta de sistematización de procesos tuvo 36 puntos y un peso de 18%, los formatos desactualizados tuvieron una puntuación de 34 e incidió en 17% al problema, y la falta de correctos indicadores para la gestión tuvo una puntuación de 31 e incidió en 15.5%. Estas cuatro causas explican alrededor del 70% del porqué de la baja disponibilidad. Asimismo, el resto de las causas también aportan en cierta medida, sin embargo, su incidencia es inferior al de los cuatro primeros por lo que el subsiguiente análisis se enfocará en estos.

En la figura siguiente se observa gráficamente también el análisis de Pareto comentado. Esta se llama el diagrama de Pareto, y explica cómo el 20% de las causas explica el 80% del problema, cumpliendo la ley de Pareto del 80-20. Se puede observar que las cuatro primeras causas tienen la mayor incidencia en el problema, mientras que el resto tienen menor participación en ella. Esta situación evidenció la necesidad de la implementación de una mejora en la metodología, la cual se irá desarrollando.

Figura 3

Diagrama de Pareto



Nota. Elaboración propia

Tabla 3
Análisis de cinco porqués

Problema	Por qué 1	Por qué 2	Por qué 3	Por qué 4	Por qué 5	Resultado del análisis
Bajo nivel de disponibilidad	No se cuenta con una metodología de gestión	Desconocimiento de metodologías	Poco conocimiento del tema	Falta de personal técnico		Desarrollo de una metodología de gestión
		Procesos no identificados	Deficiente organización del trabajo	No se cuenta con un cronograma de ejecución	Falta de organización del personal de supervisión	Programación de trabajos de mantenimiento
	Procesos desactualizados y no estandarizados	Trabajos empíricos	Falta de instructivos	No se han estandarizado los procesos	Deficiente gestión de operaciones	Estandarización de procesos de mantenimiento
		Deficiente supervisión	No se cuenta con programa de registro	Personal sobrecargado con trabajo	Falta de planificación en el trabajo	Sistema de auditorías internas
	Falta de formatos para el registro de fallos	Poca importancia para la gestión	Poco interés por la gestión del mantenimiento	No se conocen los beneficios de la adecuada gestión	No se realizan reuniones de información de desempeño	Programación de reuniones para supervisión y gestión
		No se conocen herramientas	Falta de conocimiento	No se cuenta con procedimientos		Diseño de formatos y registros de mantenimiento
	Indicadores desactualizados de gestión de mantenimiento	Poco tiempo para la planificación	Personal con mucha carga de trabajo	No se planifican trabajos	No se cuenta con indicadores para controlar procesos internos	Actualizar indicadores de desempeño
		Personal con poca capacitación	Falta de atención y control	No se cuenta con personal capacitado	Falta de capacitaciones	Realizar capacitaciones

Nota. Elaboración propia

En la tabla anterior se puede observar el porqué de cada una de las causas principales para el bajo nivel de disponibilidad, así como una propuesta de solución coherente. La falta de una metodología para la gestión se debe al desconocimiento y nula capacitación en estos temas y personal especializado, por lo cual es necesario desarrollar capacitaciones en metodologías para gestión; la falta de procesos sin identificar se debe a una organización clara en la estructura de trabajo por lo que la implementación de la mejora ayudará a esclarecer una programación de actividades por trabajador para el mantenimiento.

La existencia de procesos desactualizados y no sistematizados se debe tanto a una falta de instructivos que supervisen la estandarización de estos y de una deficiente supervisión en estos procesos lo que lleva a una sobrecarga laboral en algunos trabajadores; por ello la mejora incide en la claridad para la estandarización de los procesos y de la aplicación de auditorías internas para la correcta supervisión. En relación con la falta de formatos para el registro se debe al desconocimiento en herramientas para su aplicación y la poca importancia dada por la empresa a la gestión, siendo por ello importante que se implemente una programación de jornadas de supervisiones que brinde importancia a la gestión del mantenimiento y un taller de elaboración de formatos y registros estándar para conocimiento de los empleados.

Por último, la existencia de indicadores desactualizados se debió a la falta de un tiempo prudente para la planificación que impide la elaboración de indicadores adecuados y de la falta de capacitación de personal en la elaboración de indicadores para mantenimiento, por lo cual la implementación de una metodología clara de mantenimiento provee de una serie de capacitaciones para conocimiento del equipo, así como una actualización necesaria en los indicadores de desempeño.

Asimismo, el detalle de la situación inicial se expresa a través de los indicadores cuantitativos de la disponibilidad operativa y sus dimensiones (MTBF y MTTR) durante 6 meses previos a la implementación de buenas prácticas orientadas en la metodología RCM. La síntesis de los datos se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 4

Indicadores iniciales de disponibilidad (previo)

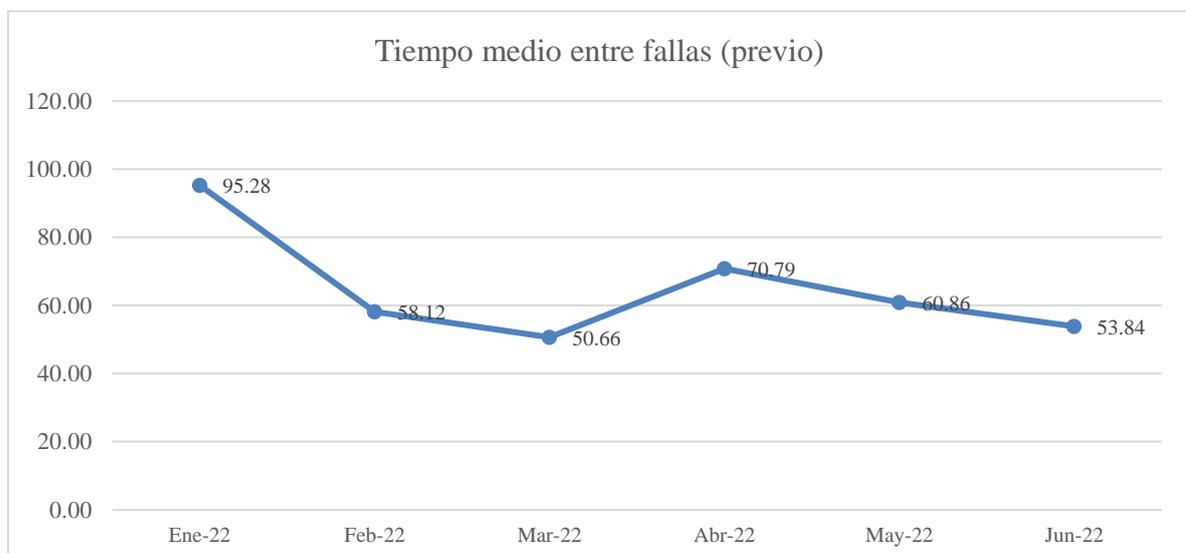
Periodo	Tiempo medio entre fallas			Tiempo medio para reparaciones			Disponibilidad
	Tiempo de funcionamiento	N° fallos	MTBF	Tiempo de inactividad	N° fallos	MTTR	
Ene-22	2620.2	28	95.28	107.8	28	3.92	96.0%
Feb-22	2301.6	40	58.12	162.4	40	4.10	93.4%
Mar-22	2507.7	50	50.66	220.3	50	4.45	91.9%
Abr-22	2491.8	35	70.79	148.2	35	4.21	94.4%
May-22	2544.1	42	60.86	183.9	42	4.40	93.3%
Jun-22	2428.0	45	53.84	212.0	45	4.70	92.0%

Nota. Elaboración propia

El análisis previo de la disponibilidad operativa refiere un comportamiento deficiente durante los primeros meses, lo cual se origina a un alto número de fallas en los vehículos de evaluación, la gravedad de la situación evidencia un incremento de 28 a 45 averías durante 6 meses. Por otro lado, la problemática refleja que el tiempo de inactividad se ha incrementado de 107.8 a 212 horas entre los meses 1 y 6, respectivamente. A partir de los datos anteriores se obtiene una disponibilidad a la baja y el análisis de cada indicador se presenta a continuación.

Figura 4

Análisis del tiempo medio entre fallas (previo)

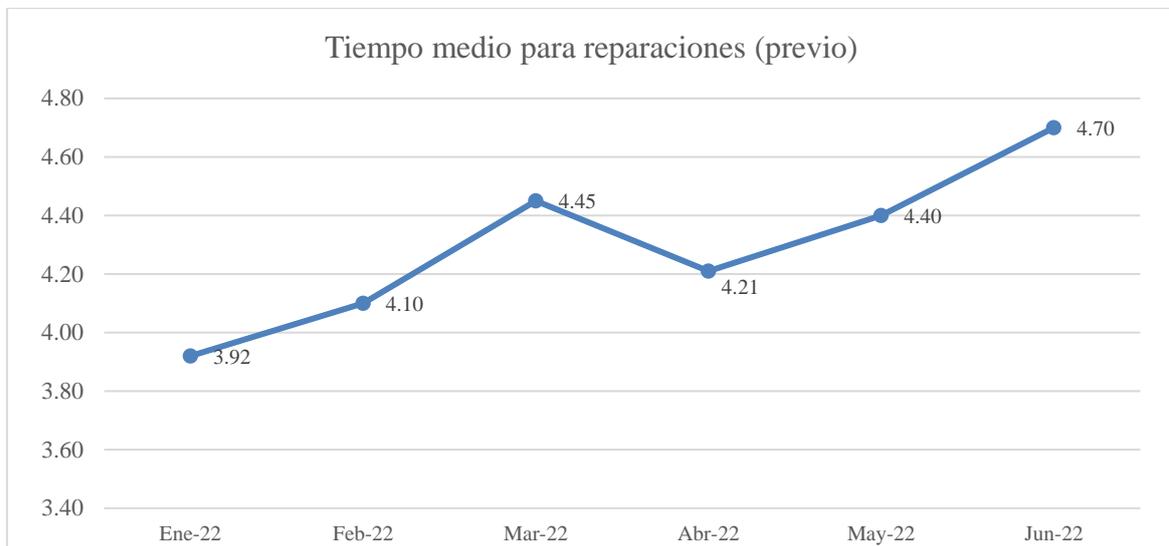


Nota. Elaboración propia

El tiempo medio entre fallas se origina como la relación entre la duración del funcionamiento de los vehículos y el número de fallas durante el mes. En este sentido, el MTBF en el primer mes fue de 95.28 horas y este valor se redujo de forma sustancial al segundo mes a 58.12 horas, durante los meses siguientes evidenció un comportamiento irregular con altas y bajas y en el sexto mes logró un valor de 53.84 horas. El valor decreciente es un aspecto preocupante, dado que los equipos se encuentran operando durante menos tiempo y ello afecta las actividades de la empresa. Asimismo, se presenta una gráfica con la evolución del tiempo medio para reparaciones a continuación.

Figura 5

Análisis del tiempo medio para reparaciones (previo)

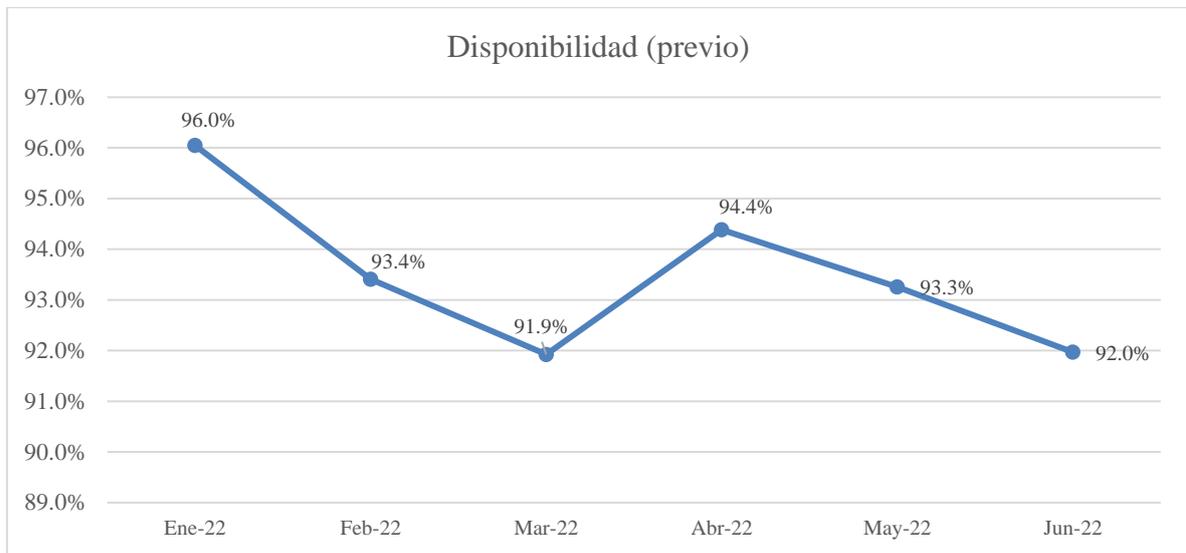


Nota. Elaboración propia

La tabla anterior refleja la evolución del tiempo medio para reparaciones en el escenario previo a la implementación de la metodología RCM y este indicador relaciona la duración de los trabajos correctivos sobre la cantidad de fallas ocurridas durante dicho periodo. Los resultados evidencian que en el primer el valor fue de 3.92 horas y logra un aumento sostenido durante los periodos siguientes hasta lograr su punto máximo en el sexto mes con 4.70 horas, lo cual se debe a que no se han solucionado los problemas de fondo en el funcionamiento y la situación de los vehículos se agrava cada vez más. En síntesis, a partir de los 2 indicadores anteriores es posible calcular la disponibilidad y su evolución se presenta en la siguiente figura.

Figura 6

Análisis de la disponibilidad previa



Nota. Elaboración propia

El análisis anterior respecto a la disponibilidad operativa de vehículos durante los meses previos y su valor tiende a la baja de forma constante, lo cual evidencia un deficiente desempeño y una inadecuada gestión de los activos. En el primer mes la disponibilidad alcanzó un valor de 96%, pero esta cifra se redujo de manera sostenida para el segundo mes con el 93.45 y luego a 91.9% para el tercer mes; si bien es cierto se experimentó una ligera recuperación para el cuarto mes con 94.4%, luego para el quinto mes se observa una caída hasta el 93.3% y el valor final determina una disponibilidad de vehículos de solo 92%. La disminución constante es una problemática grave para la empresa dado que no se cuenta con los equipos necesarios para las operaciones y además tampoco se evidencia la gestión o conservación de dichos activos, por lo que es necesario plantear acciones de mejora en el corto plazo orientadas hacia el incremento de la disponibilidad.

A modo de síntesis, se presenta la siguiente tabla con el resumen de los indicadores de interés con sus valores promedios en el escenario previo a la implementación de la metodología RCM.

Tabla 5*Resumen de indicadores iniciales*

Indicador	Valor
Tiempo medio entre fallas	64.94 horas
Tiempo medio para reparaciones	4.3 horas
Disponibilidad	93.5%

Nota. Elaboración propia

El resumen de los indicadores previos a la implementación de la metodología RCM indica un valor promedio del tiempo medio entre fallas (MTBF) con 64.94 horas, luego el tiempo medio para las reparaciones (MTTR) fue de 4.3 horas; a partir de ello se determinó una disponibilidad promedio del escenario previo de 93.5%, lo cual no refleja un desempeño eficiente orientado hacia la alta calidad; por lo tanto, se requieren de estrategias de gestión del mantenimiento orientados en la metodología RCM para la mejora de dichos indicadores en el mediano plazo.

3.2. Resultado n° 2. Diseño dela propuesta de mejora

Resultado 2: Diseñar la propuesta de mejora del mantenimiento centrado en la confiabilidad para el incremento de la flota.

El primer paso para el diseño de una propuesta de gestión de mantenimiento se centra en el diagnóstico de la criticidad a través de la herramienta AMEF; a partir de este punto es posible conocer los tipos de fallas más influyentes y críticos para plantear acciones de cambio en el corto y mediano plazo.

- **Paso 1: Análisis modal de fallas y efectos**

La siguiente sección muestra el análisis AMEF para la flota vehicular de la empresa. Esta herramienta permite conocer la urgencia de los fallos presentados durante el período, de modo que se pueda conocer la frecuencia de aparición y así, los fallos que pueden afectar potencialmente al equipo en cuestión. Se comienza por presentar la frecuencia de fallas en el período inicial para cada tipo de falla. Luego se realiza una clasificación según el Nivel de Prioridad de Riesgo (NPR) para cada tipo de falla. Finalmente se presentan los resultados

y cambios a partir de la implementación de la mejora en cada falla, mostrando cómo cambió el NPR en cada uno de estos, pudiendo conocer el impacto de este cambio en la flota vehicular.

Tabla 6

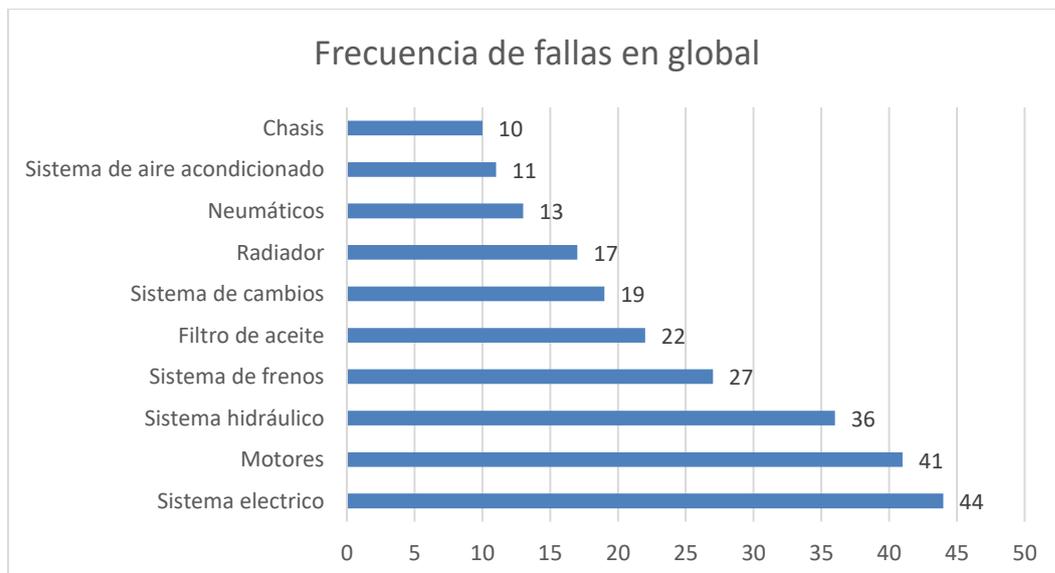
Frecuencia de fallas durante los 6 primeros meses, según tipo

N°	Tipo de falla	Ene-22	Feb-22	Mar-22	Abr-22	May-22	Jun-22	Total
1	Sistema eléctrico	6	8	9	6	8	7	44
2	Motores	5	8	10	5	7	6	41
3	Sistema hidráulico	4	6	7	7	5	7	36
4	Sistema de frenos	3	5	5	4	4	6	27
5	Filtro de aceite	3	4	4	3	4	4	22
6	Sistema de cambios	2	3	3	3	4	4	19
7	Radiador	2	2	4	2	3	4	17
8	Neumáticos	1	2	3	2	3	2	13
9	Sistema de aire acondicionado	1	1	3	1	2	3	11
10	Chasis	1	1	2	2	2	2	10
	Total	28	40	50	35	42	45	240

Nota. Elaboración propia

Figura 7

Frecuencia de fallas según tipo



Nota. Elaboración propia

En la tabla anterior se observa la frecuencia de fallas en el período inicial de 6 meses. De la misma manera la figura anterior muestra la evolución gráfica de la frecuencia total en

el mismo período. Según esta, la falla más recurrente en el período se presentó en el sistema eléctrico de los vehículos con un total de 44, seguido de la presencia de 41 fallas en sus motores. Los componentes que le siguen son el sistema hidráulico y el sistema de frenos con 36 y 27 fallas, respectivamente. Asimismo, los meses en los que más fallas se presentaron fue en el mes de marzo, seguido del mes de junio, de mayo, febrero, abril y enero, con 45, 42, 40, 35 y 28 fallas presentadas, respectivamente.

Tabla 7

Escalas para el análisis del nivel de prioridad de riesgo

Escala	Urgencia
1--12	Bajo
12--80	Medio - bajo
80--294	Medio
294--567	Alto
567-1000	Inmediato

Nota. Elaboración propia

En la tabla anterior se observan las escalas de riesgos según la urgencia, a partir de los factores de ocurrencia, severidad y nivel de detección. Se asigna un valor a cada factor para multiplicarlos, obteniendo el Nivel de Prioridad de Riesgo (NPR). Según la tabla se divide en 5 niveles. Si el NPR se encuentra entre 567 y 1000 se clasifica como un nivel de urgencia inmediato, si se sitúa entre 294 y 567 tiene una urgencia alta. Si por el contrario se ubica entre 80 y 294 presencia un nivel de urgencia promedio, si se encuentra entre 12 y 80 entonces la urgencia es medio bajo. Finalmente, si la escala se encuentra entre 1 y 12 entonces la urgencia no resulta problemática.

Tabla 8

Análisis del número de prioridad de riesgo

Nº	Tipo de falla	O	S	D	NPR
1	Sistema eléctrico	7	8	7	392
2	Motores	7	7	7	343
3	Sistema hidráulico	7	6	8	336
4	Sistema de frenos	6	6	6	216

5	Filtro de aceite	5	5	7	175
6	Sistema de cambios	5	4	7	140
7	Radiador	4	4	6	96
8	Neumáticos	3	4	5	60
9	Sistema de aire acondicionado	2	3	6	36
10	Chasis	2	2	4	16

Nota. Elaboración propia

En la tabla anterior se muestran los valores para cada factor del NPR en cada tipo de falla. Como el NPR máximo es 392, entonces el NPR solo alcanza un nivel de urgencia alto mas no inmediato. Los equipos de NPR alto son el sistema eléctrico, los motores y el sistema hidráulico, entre los cuales tuvieron un mismo valor para la ocurrencia. Los equipos con NPR promedio fueron el sistema de frenos, el filtro de aceite, el sistema de cambios y el radiador cuyo máximo valor se encontró en el nivel de detección indicando su dificultad para la identificación de los fallos. Los neumáticos, el sistema de aire acondicionado y el chasis solo tuvieron un NPR de nivel medio alto, teniendo su mayor valor en el nivel de detección y el menor en la frecuencia de ocurrencia.

Tabla 9
Análisis AMEF

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLAS (AMEF)												Código:		
Operario	NESTOR ZAMORA			Vehículos			Preparado por:			NESTOR ZAMORA				
Lugar	Taller mecánico						Revisado por:			NESTOR ZAMORA				
Descripción	Efecto potencial del fallo	Severidad	Causa potencial de fallo	Ocurrencia	Verificación actual	Detección	NPR	Acción recomendada	Responsable	Resultado de las acciones				
										Frecuencia de trabajo	Gravedad	Ocurrencia	Detección	NPR
Sistema eléctrico	Detención del equipo	8	Falta de mantenimiento preventivo y trabajo especializado	7	Solo mantenimiento correctivo	7	392	Trabajo preventivo y cambio de piezas	NESTOR ZAMORA	Semanal	5	5	4	100
Motores	Detención del equipo	7	Falta de mantenimiento preventivo y trabajo especializado	7	Solo mantenimiento correctivo	7	343	Trabajo preventivo y cambio de piezas	NESTOR ZAMORA	Semanal	6	4	4	96
Sistema hidráulico	Detención del equipo	6	Falta de mantenimiento preventivo y trabajo especializado	7	Solo mantenimiento correctivo	8	336	Trabajo preventivo y cambio de piezas	NESTOR ZAMORA	Semanal	5	4	3	60
Sistema de frenos	Accidente de tránsito	6	Errónea identificación de problemas	6	Solo mantenimiento correctivo	6	216	Trabajo preventivo orientado y especializado	NESTOR ZAMORA	Semanal	3	4	2	24
Filtro de aceite	Desgaste excesivo y pérdida de conservación	5	Errónea identificación de problemas	5	Solo mantenimiento correctivo	7	175	Trabajo preventivo orientado y especializado	NESTOR ZAMORA	Quincenal	3	2	4	24
Sistema de cambios	Desgaste excesivo y pérdida de conservación	4	Errónea identificación de problemas	5	Solo mantenimiento correctivo	7	140	Trabajo preventivo orientado y especializado	NESTOR ZAMORA	Quincenal	3	3	2	18
Radiador	Errores de operación	4	Elementos de mala calidad	4	Solo mantenimiento correctivo	6	96	Trabajo preventivo orientado y especializado	NESTOR ZAMORA	Quincenal	3	2	2	12
Neumáticos	Errores de operación	4	Elementos de mala calidad	3	Solo mantenimiento correctivo	5	60	Trabajo preventivo orientado y especializado	NESTOR ZAMORA	Mensual	2	3	2	12
Sistema de aire acondicionado	Desgaste excesivo y pérdida de conservación	3	Elementos de mala calidad	2	Solo mantenimiento correctivo	6	36	Trabajo preventivo orientado y especializado	NESTOR ZAMORA	Mensual	3	2	2	12
Chasis	Errores de operación	2	Elementos de mala calidad	2	Solo mantenimiento correctivo	4	16	Trabajo preventivo orientado y especializado	NESTOR ZAMORA	Mensual	2	2	2	8

Nota. Elaboración propia

Al implementar el cambio en la metodología de mantenimiento mediante el RCM los niveles de NPR para cada tipo de fallo tuvo una mejoría notable pasando a un nivel medio en el caso de los que tenían un NPR alto, a un nivel medio bajo en el caso de los que tenían un NPR medio y a un nivel bajo para los de nivel medio bajo. Así, en el período inicial el nivel máximo de NPR fue de 391 para el sistema eléctrico, que pasó a 100 en el período posterior. Del mismo modo el nivel mínimo pasó de 16 en el período anterior a 8 en el período posterior para el caso del chasis. Los casos con urgencia más grave se debieron a una falta en la planificación del mantenimiento preventivo por lo que su arreglo pasó por contar con una metodología clara. Los de nivel medio se debió a una identificación incorrecta para los fallos, por lo que el RCM ayudó a mejorar esta situación mediante un trabajo más especializado. Finalmente, los fallos con NPR medio bajo tuvieron su origen en el uso de piezas y elementos de calidad baja, por lo que una mejor logística mediante el mantenimiento preventivo ayudó a solventar esta dificultad.

- **Paso 2: Capacitación de personal**

En esta sección se desarrolla el segundo paso para la implementación, que es el de la capacitación de personal. Al estar en constante cambio el entorno laboral es necesario que los trabajadores adquieran nuevos conocimientos a través de un aprendizaje que abarque los aspectos técnicos, teóricos y prácticos de su rubro, impactando en forma positiva a su productividad dentro de la empresa. Además del conocimiento que reciben, las capacitaciones ayudan a utilizar los recursos disponibles de la mejor manera mejorando el rendimiento y la productividad, y generando seguridad en los clientes que reciben los bienes finales respectivos. A continuación, se observarán los medios y herramientas con las cuales se llevó a cabo esta sección.

Figura 8

Programación mensual de capacitaciones

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
			1	2	3
			Inducción General		Procedimiento de mantenimiento de vehículos
			Inducción		Cap. Especifica
5	6	7	8	9	10
Confiabilidad de equipos Charla 20 min				Metodología RCM Charla 20 min	
12	13	14	15	16	17
	Análisis FMEA Charla 20 min		Análisis de costos de mantenimiento y reparación Charla 20 min		Dudas y consultas sobre los avances Reunión Semanal
19	20	21	22	23	24
	Gestión de activos Charla 20 min			Procedimiento de mantenimiento en general Charla 20 min	
26	27	28	29	30	31
		Tipología de fallas Charla 20 min		Repaso mensual Charla 20 min	Evaluación de aprendizaje Cap. Especifica

Nota. Elaboración propia

Un primer elemento importante es la programación para el desarrollo de las capacitaciones. En la figura previa se observa una programación mensual que detalla las fechas correspondientes en las que se brindará sesiones de aprendizaje a los trabajadores sobre diversos tópicos de mantenimiento, así como de introducción al RCM. Se puede observar que estas sesiones se dan como mínimo dos veces por semana y en cada fecha se toca un tema distinto, empezando por la inducción inicial, el mantenimiento, la confiabilidad, el RCM y sus distintas herramientas. Esta programación finaliza con un repaso mensual de lo aprendido en el mes, seguido de una sesión en donde se realiza una evaluación de esta.

Figura 9

Programación mensual de capacitaciones

Área: Mantenimiento de vehículos		Evaluado por:	
Fecha:	__/__/2023		
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		

Nota. Elaboración propia

Como se mencionó el otro punto importante de las capacitaciones es la evaluación a los trabajadores de lo aprendido en las sesiones. Así, en la figura previa se tiene un formato de evaluación que se compone de 20 preguntas las cuales cubren distintas preguntas relacionadas a los tópicos vistos en las sesiones correspondientes. De esta manera se realiza un seguimiento de la capacitación para determinar si esta ha tenido un impacto en los trabajadores o no, identificando oportunidades de mejora. La evaluación es un cuestionario compuesto de preguntas que requieren una contestación entre dos alternativas, además de figurar el área donde pertenecen los trabajadores, la fecha en que se llevó a cabo y el responsable de realizarla.

- **Paso 3: Hoja de decisión RCM**

La siguiente sección desarrolla las acciones que se tomarán para realizar el mantenimiento. Este proceso se realiza a través de una hoja de ruta o decisión en donde se registrará todas las tareas que se están asumiendo en base a ciertos criterios como el de que sea factible de hacer, que sea costo efectivo, que tenga en cuenta la urgencia o no del fallo presente. Naturalmente, las consecuencias que generan la aparición de los fallos en los equipos también deben tenerse presente, por lo que la hoja de decisión debe ser elaborada en base a este aspecto en donde se ordena según la gravedad de las consecuencias en el contexto medioambiental, económico, laboral, entre otros.

Se presentan las herramientas utilizadas para la elaboración de la hoja de decisión del RCM. El formato es de gran utilidad para determinar labores propuestas a fin de generar un cambio positivo en las operaciones y en la disponibilidad; por lo tanto, se toma en cuenta el origen de las causas, en donde se identifican fallas ocultas, fallas de seguridad o ambiente, fallas operacionales y no operacionales (relacionados a otros motivos ajenos a las actividades). De forma complementaria, se observa la importancia de establecer un plazo de trabajo a fin de realizar un mantenimiento de forma periódica a carga de un responsable especialista en el tema. El detalle de los aspectos anteriores según las condiciones de cada vehículo se menciona a continuación.

Tabla 10

Hoja de decisión RCM

Hoja de decisiones RCM								Área: Mantenimiento de equipos								
								Equipos: Vehículo de transporte de materiales peligrosos								
Equipo	Referencias de información			Evaluación de Consecuencias				Acción a falta de						Tarea Propuesta	Intervalo Inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
	FB	FM	FA	H	S	N	O	O1	O2	O3	H1	H2	H3			
Vehículo 1		X		X			X	Piezas de mala calidad			Inadecuada identificación de falla			Cambio de piezas	1S	Néstor Zamora
Vehículo 2			X	X			X	Falta de mantenimiento preventivo			No se detalló origen de falla			Mantenimiento general	5D	Néstor Zamora
Vehículo 3			X	X				Operario desconoce funcionamiento adecuado			Falla recurrente no solucionada			Corrección del sistema	1S	Néstor Zamora
Vehículo 4		X		X				Mala instalación de piezas en el cambio			Falla recurrente no solucionada			Reparación de piezas	4D	Néstor Zamora
Vehículo 5		X					X	Falta de mantenimiento preventivo			Inadecuada identificación de falla			Mantenimiento preventivo	3D	Néstor Zamora
Vehículo 6		X				X		Fallas operacionales de trabajo			No se detalló origen de falla			Mantenimiento general	5D	Néstor Zamora
Vehículo 7			X	X				Falta de mantenimiento preventivo			Se requiere análisis a detalle de falla			Corrección del sistema	1S	Néstor Zamora
Vehículo 8	X						X	Problemas de insumos			Se requiere análisis a detalle de falla			Mantenimiento preventivo	4D	Néstor Zamora
Vehículo 9		X					X	Piezas de mala calidad			Falla recurrente no solucionada			Reparación de piezas	D	Néstor Zamora
Vehículo 10	X						X	Operario desconoce funcionamiento adecuado			Inadecuada identificación de falla			Mantenimiento general	1S	Néstor Zamora
Vehículo 11			X				X	Operario desconoce funcionamiento adecuado			Inadecuada identificación de falla			Reparación de piezas	3D	Néstor Zamora

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

Nota. Elaboración propia

Figura 10

Formato para reporte de mantenimiento preventivo

MANTENIMIENTO PREVENTIVO REPORTE			
			FECHA
			Dia Mes
DATOS DEL CLIENTE		FOLIO	
NOMBRE			
DIRECCION			
TELEFONO	e-mail		
MANTENIMIENTO PREVENTIVO -I			
ACTIVIDAD		TRABAJO REALIZADO	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11	OTROS		
MANTENIMIENTO PREVENTIVO -II			
ACTIVIDAD		TRABAJO REALIZADO	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
COSTO FINAL			
REALIZA MANTENIMIENTO		RECIBE DE CONFORMIDAD	
NOMBRE Y FIRMA		FIRMA DEL CLIENTE	

Nota. Elaboración propia

En la figura previa se presenta el formato de reporte para el mantenimiento preventivo. Su presentación es importante puesto que en esta se colocan las actividades que se llevaron a cabo para el mantenimiento, así como el trabajo específico que se hizo para ello. Además de los detalles administrativos como la fecha de realización y los datos personales, también debe colocarse el costo total de las actividades, así como el responsable de llevarlo a cabo. La elaboración de este formato es importante puesto que permite realizar el seguimiento tanto a las labores llevadas a cabo como a su costo, de manera que puedan administrarse los recursos y asignarlos según la disponibilidad.

Figura 11

Formato para programación de mantenimiento preventivo

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO											No. FMT -038 -2023	
ELEMENTO:										Fecha:	Realizó:	
ÁREA: MANTENIMIENTO											Sí	No
ITEM	VEHÍCULO	FREC.	RESP.	L	M	Mi	J	V	S			
1	TO-D10T2-001	Semanal	Nestor z	Mantenimiento de motor		Cambio cadenas por desgaste		Desgaste prematuro de bujía			X	
2	TO-D10T2-002	Semanal	Nestor z		Mantenimiento de sistema eléctrico		Fallas en soldadura		Cambio de pernos		X	
3	TO-D10T2-003	Semanal	Nestor z	Mantenimiento de sistema eléctrico		Mantenimiento de sistema hidráulico		Cambio cadenas por desgaste			X	
4	TO-D10T2-004	Semanal	Nestor z	Mantenimiento de sistema hidráulico			Zapatillas dañadas	Cambio de eslabones LH	Desgaste prematuro de bujía		X	
5	TO-D10T2-005	Semanal	Nestor z		Revisión de neumáticos	Mantenimiento de motor		Mantenimiento de sistema hidráulico			X	
6	TO-D10T2-006	Semanal	Nestor z			Revisión de neumáticos	Mantenimiento de motor		Mantenimiento de sistema hidráulico		X	
7	TO-D10T2-007	Semanal	Nestor z	Mantenimiento de motor		Cambio cadenas por desgaste		Desgaste prematuro de bujía			X	
8	TO-D10T2-008	Semanal	Nestor z		Mantenimiento de sistema eléctrico		Fallas en soldadura		Cambio de pernos		X	
9	TO-D10T2-009	Semanal	Nestor z	Mantenimiento de sistema eléctrico		Mantenimiento de sistema hidráulico		Cambio cadenas por desgaste			X	
10	TO-D10T2-010	Semanal	Nestor z	Mantenimiento de sistema hidráulico			Zapatillas dañadas	Cambio de eslabones LH	Desgaste prematuro de bujía		X	
11	TO-D10T2-011	Semanal	Nestor z	Revisión de neumáticos	Mantenimiento de motor		Mantenimiento de sistema hidráulico				X	
NOVEDADES ENCONTRADAS:		ESTADO TAREA					FRECUENCIA TAREA					
		PROGRAMADO 0										
		CUMPLIDO X										

Nota. Elaboración propia

En la figura previa se tiene el formato para la programación de actividades destinadas al mantenimiento preventivo. Como se observa, el plan para el mantenimiento se da con una frecuencia semanal, en la cual cada día de la semana tiene asignado una actividad distinta como puede ser el cambio de motor, revisión de los neumáticos, mantenimiento de los sistemas eléctricos, cambio de las cadenas, revisión del sistema hidráulico, entre otros, así como el seguimiento sobre si se realizaron estas tareas o no. La elaboración de la programación resulta indispensable puesto que permite conocer qué deben hacer los trabajadores anticipándose a la aparición de los fallos, a partir de los análisis previos de fallas y ocurrencias.

Figura 12

Formato para parte de trabajo de mantenimiento correctivo

Parte de Trabajo de Mantenimiento N°:		<u>Expediente:</u>
<u>Cliente:</u>		<u>Fecha parte:</u>
<u>Dirección del Centro:</u>		<u>Hora comienzo:</u>
<u>Contacto:</u>		<u>Hora final:</u>
<u>Observaciones</u>		
<u>Datos adicionales dirección:</u>		
<u>Motivo visita al Centro Asistencial:</u>		
<input type="checkbox"/> Mantenimiento Preventivo <input type="checkbox"/> Mantenimiento Correctivo <input type="checkbox"/> llamada Urgente <input type="checkbox"/> Otros (...)		
<input type="checkbox"/> Mantenimiento Correctivo <input type="checkbox"/> Mantenimiento Técnico Le <input type="checkbox"/> llamada No Urgente		
Trabajos Realizados y Material Utilizado:		
<u>Cantidad:</u>	<u>Material Empleado:</u>	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
<u>Trabajos Realizados en el Centro:</u>		
.....		
.....		
<u>Observaciones:</u>		
.....		
.....		
<u>Firma y Sello del Oficial y Empresa:</u>		<u>Firma y Sello:</u>
.....	

Nota. Elaboración propia

El siguiente formato se muestra en la figura anterior. Este es un formato para el registro de trabajos de mantenimiento correctivo. En este se registran inicialmente los datos administrativos como la fecha de parte, el número de expediente, datos personales del cliente y observaciones que pueda haber. Posteriormente se colocan los detalles sobre los trabajos que se hicieron en el proceso del mantenimiento correctivo, tales como los recursos empleados en ello y su cantidad respectiva. Finalmente, se colocan algunas observaciones adicionales que puedan ser significativas y la firma de los responsables del mantenimiento. De la misma manera que el formato anterior es importante mantener registrado las actividades desempeñadas durante los procesos de mantenimiento, de forma que se conozca cuáles funcionaron de forma más eficiente.

Figura 13

Lineamientos para trabajo estandarizado RCM

Nº	Características	Sí	No
Lineamientos Generales de Trabajo Estandarizado			
1	El trabajador sólo se desarrolla en los procesos para las que ha sido entrenado o dentro de sus competencias		
2	Los procesos son revisados verificando que cada paso esté bien desarrollada		
3	Previo a poner en funcionamiento a la máquina se verifica que la mercadería de manufactura esté bien ubicada.		
4	Se verifica el correcto funcionamiento del proceso		
5	Se previene la acción de no conformidades de algún otro trabajador cuando se encuentra en operaciones		
6	Uso de recursos necesarios y adecuados		
Lineamientos para conservar la calidad			
9	Se realiza limpieza tanto interna como externa con ayuda de sistema de limpieza		
10	Se realizaron las capacitaciones pertinentes al personal acerca de los dispositivos protectores, acerca de la máquina su adecuado uso y su capacidad mínima y máxima.		
11	Se cuenta con los lineamientos para el adecuado proceso		
12	Se respeta la secuencia de actividades para la reducción de tiempos		
13	Se evalúan los costos al momento de hacer los pedidos		
14	Se cuenta con el stock adecuado para el nivel de servicio		
	Observaciones:		

Nota. Elaboración propia

En la figura anterior se presenta un formato para la estandarización de los procesos RCM. Como se puede observar se trata de un cuestionario dicotómico en el que se debe responder afirmativa o negativamente. Este se divide en dos secciones, siendo el primero el de los lineamientos generales para el trabajo estandarizado y el segundo los lineamientos para la conservación de buenas prácticas, en donde cada una contiene una serie de preguntas distintas relacionadas a su temática. Es importante la manifestación de este formato puesto que permite que, una vez identificadas las actividades que permiten la implementación del RCM se aplican a los demás equipos estandarizando el proceso. Una vez hecho esto se debe asegurar una continuidad en la aplicación de estos en un tiempo posterior, por lo que se necesita de lineamientos que permitan conservar la calidad alcanzada con el mantenimiento.

- **Paso 4: Estandarización de procesos de mantenimiento**

El siguiente paso trata acerca de establecer un estándar para las actividades destinadas a mantenimiento, es decir, implantar una dinámica de trabajo en la que se efectúen las labores de manera consistente y repetitiva. Estas acciones que se llevan a cabo deben ejecutarse siempre como se ha planteado para conseguir los resultados esperados. Esta dinámica no debe de ser completamente perfecta pero sí necesaria de establecer ciertos parámetros. Para cumplir con ello es necesario disponer de algunos formatos y registros que permitan lograr esta estandarización, las cuales se presentarán en esta sección.

Figura 14

Procedimiento de trabajo estandarizado para mantenimiento

Fecha: ___/___/2023		
PROCEDIMIENTO DE TRABAJO ESTANDARIZADO PARA MANTENIMIENTO		
NOMBRE DE LA GESTIÓN		
Introducción a la metodología del trabajo estandarizado de acuerdo al enfoque RCM		
OBJETIVOS DE LA PROCEDIMIENTO		
OBJETIVOS GENERALES		
Objetivo General 1:	Se desea establecer una secuencia lógica para la realización de trabajos de la manera más eficiente, cometiendo el menor margen de error posible y sin generar perdidas a la empresa	
OBJETIVOS ESPECÍFICOS		
OE1	Establecer una secuencia lógica de acciones	
OE2	Contar con un buen índice de repetitividad de acciones	
OE3	Generar labores eficientes y seguras	
CONTENIDO TEMÁTICO		
Audiencia	Tema	Contenido
Personal técnico	Metodología de trabajo estandarizado RCM	* Definición y beneficios del trabajo estandarizado
		* Determinación de componentes
		* Descripción de procedimientos operativos estandar
		* Determinación de secuencia lógica
		* Uso de herramientas
		* Explicar los procesos
		* Formatos y registros
* Auditorías y controles		
La Administración		

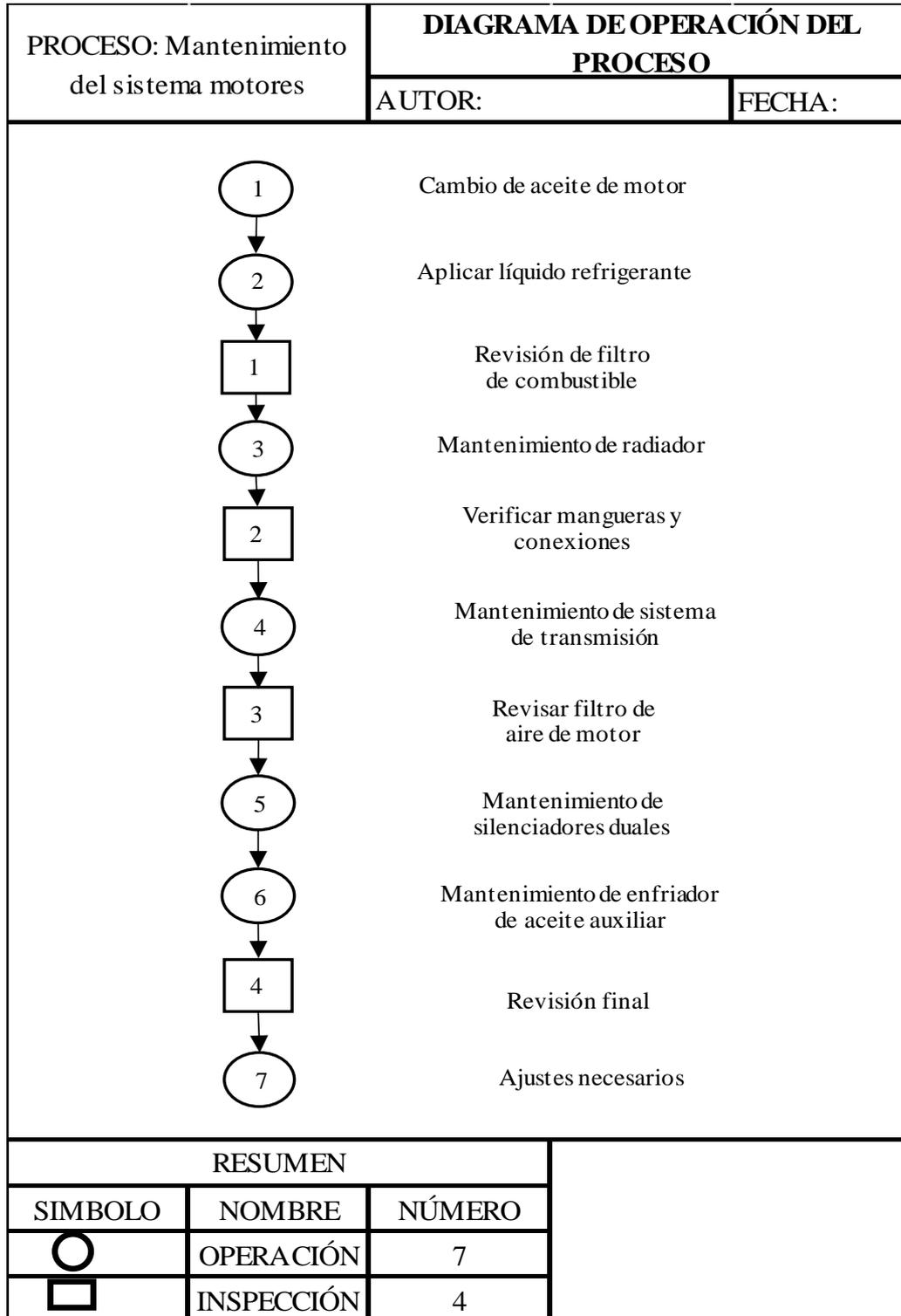
Nota. Elaboración propia

Un primer formato de estandarización se presenta en la figura anterior. Esta se encuentra destinada a la estandarización de los procedimientos de trabajo a través del llenado de una ficha que contiene una serie de secciones que permitan lograr estas actividades siguiendo la línea de la metodología RCM, que es la que se intenta implementar. Las secciones que la conforman son el objetivo general que se pretende alcanzar, los objetivos específicos derivados de esta y el contenido con el que se logrará tal fin. El objetivo general se establece previo análisis de la situación de la empresa y atendiendo a la necesidad encontrada, de manera similar se hace para los objetivos específicos, atendiendo necesidades

específicas derivadas de la genera. El contenido temático debe contener el personal encargado, el asunto a tratar que es la estandarización y los pasos por seguir para alcanzarla.

Figura 15

DOP para mantenimiento de sistema de motores



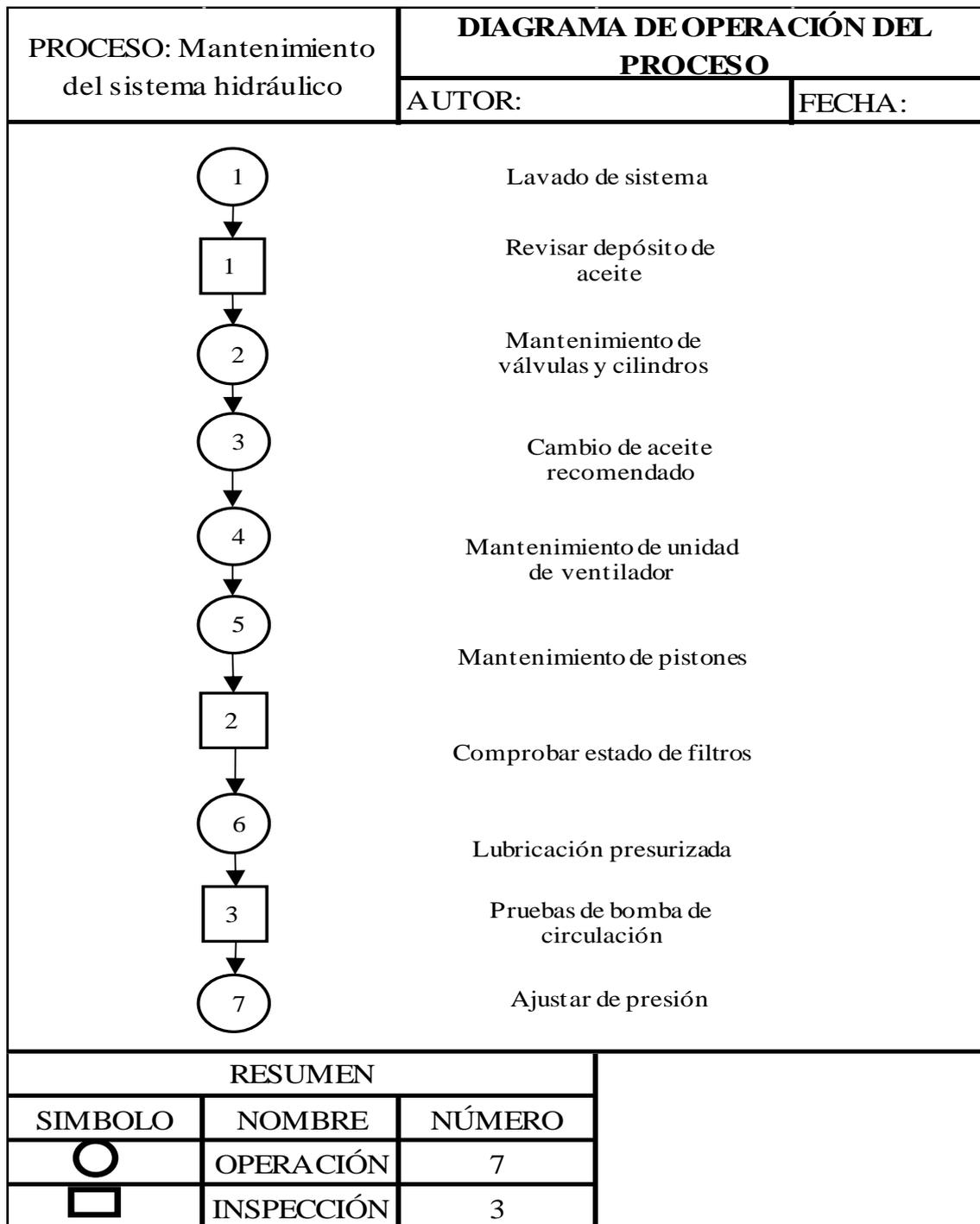
Nota. Elaboración propia

El siguiente formato de estandarización se observa en la figura previa. Este es el formato de diagrama de operaciones para el mantenimiento de los motores. Este tiene como objetivo mostrar el flujograma con los pasos a seguir de manera estandarizada para el mantenimiento de los sistemas de motor y se compone de una serie de 11 pasos bien definidos. Como se observa, el primer paso es el cambio de aceite para luego aplicar el líquido refrigerante, dar mantenimiento al radiador, verificar una serie de conexiones y mantenimiento a los demás equipos que conforman el motor hasta llegar a su revisión final. De esta forma, se establece una manera estándar de realizar esta actividad para las siguientes ocasiones en que se necesite dar mantenimiento a los motores de los vehículos.

De manera análoga, en la siguiente figura se muestra también un formato de registro del diagrama de procesos para el mantenimiento de los sistemas hidráulicos de la flota vehicular. La finalidad de esta es establecer el flujograma para los sistemas hidráulicos con una serie de pasos definidos que deben llevar a cabo los trabajadores. Así, se empieza por el lavado del sistema, revisar el depósito, dar mantenimiento a las diversas piezas que conforman la maquinaria, realizar pruebas en la bomba y terminando con el ajuste de la presión. Similar al formato anterior, establecer el flujograma de trabajo para esta permite estandarizar el proceso de forma que en futuras ocasiones se tenga una guía de trabajo clara, concisa y conocida que minimice la ocurrencia de fallas.

Figura 16

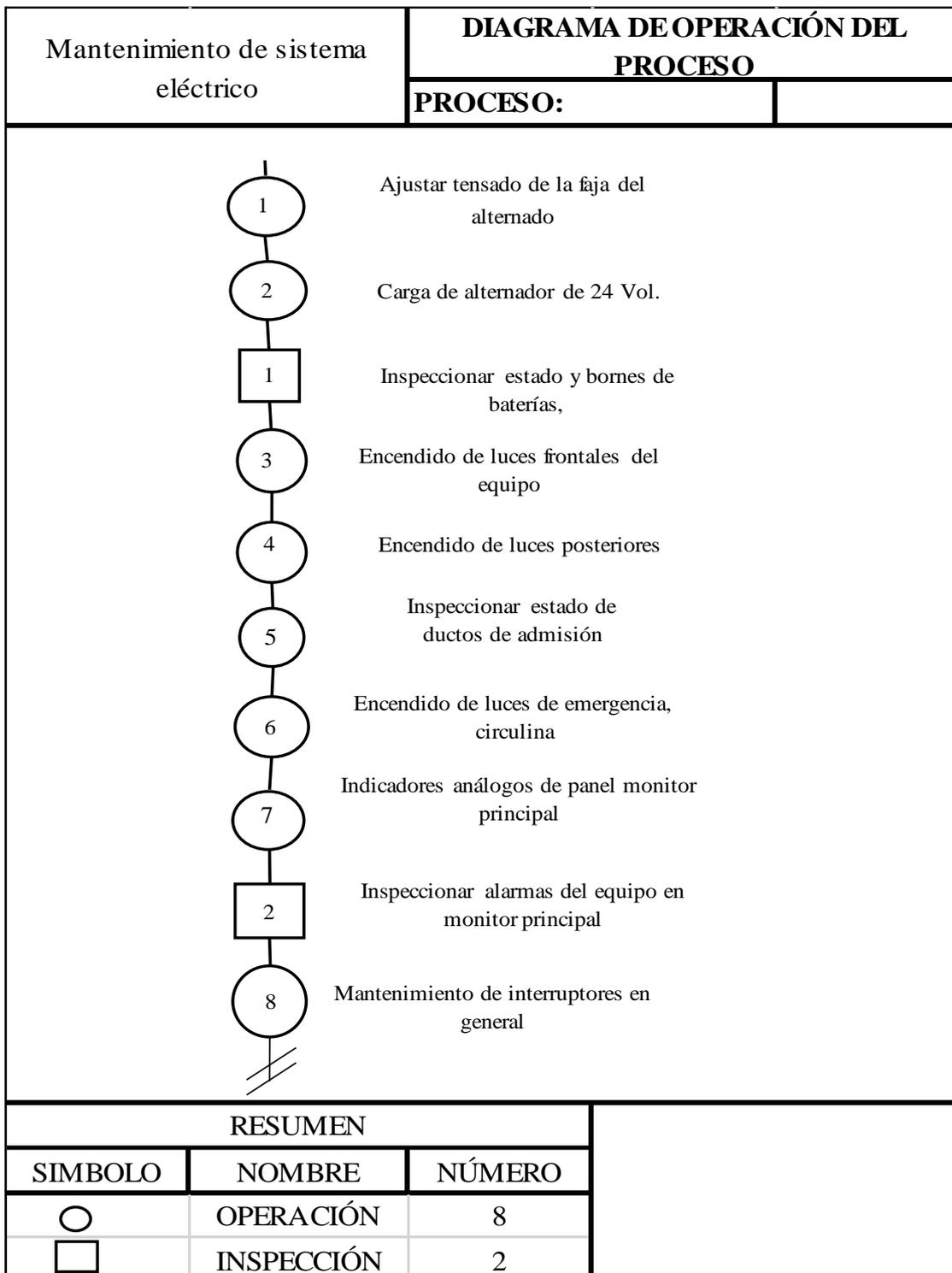
DOP para mantenimiento de sistema hidráulico



Nota. Elaboración propia

Figura 17

DOP para mantenimiento de sistema eléctrico



Nota. Elaboración propia

Otro formato de registro más se presenta en la figura anterior. Esta presenta el diagrama de procesos para el mantenimiento del sistema eléctrico, de manera análoga a los anteriores pero enfocado en otro componente de los vehículos de la flota. En este caso, también se presenta un flujograma compuesto de 10 pasos para el mantenimiento de la parte eléctrica, empezando por el ajuste del tensado de la faja, inspeccionar el estado de la batería, encendido e inspección de las diversas piezas que componen el equipo eléctrico y acabando con el mantenimiento de los interruptores de esta. Esto permitió estandarizar una vez más el proceso de trabajo para el mantenimiento dando pautas claras y concisas para minimizar la ocurrencia de fallas en futuras operaciones de mantenimientos.

- **Paso 5: Supervisión de buenas prácticas de mantenimiento**

El último paso en la implementación es la supervisión para las buenas prácticas en el mantenimiento a través de la supervisión. De esta manera se crea un contexto laboral de manera continua, fluida e ininterrumpida que favorezca a los trabajadores. Esto se logra a través del seguimiento continuo con la monitorización y del establecimiento de una periodicidad para cada actividad orientada al mantenimiento. El seguimiento continuo permite encontrar oportunidades de mejora dentro de los flujos de trabajo mientras que los cronogramas permiten asignar fechas de cierre para cada tarea. A continuación, se presentan los formatos correspondientes para ello.

Figura 18

Formato de supervisión de gestión de mantenimiento

FORMATO DE SUPERVISIÓN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO			
Código: ANSV-TIC-FO-02		VERSIÓN: 001	Fecha: 2021-03-16
Nombre			
1. DATOS DEL EQUIPO			
Marca	Proveedor	Modelo	
2. CONFIGURACION			
3. MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS			
Mantenimiento			
Fecha Realización	Realizó	Aceptación Empresa	
Observaciones		Firma	
		Nombre:	
Mantenimiento			
Fecha Realización	Realizó	Aceptación Empresa	
Observaciones		Firma	
		Nombre:	
Mantenimiento			
Fecha Realización	Realizó	Aceptación Empresa	
Observaciones		Firma	
		Nombre:	
4. Ubicación Actual			
Usuario Responsable	Ubicación dentro de la Empresa	Fecha	Firma Responsable
		DD / MM / AAAA	
		DD / MM / AAAA	
		DD / MM / AAAA	
5. RECOMENDACIONES Y/O OBSERVACIONES			

Nota. Elaboración propia

En la figura anterior se presenta el formato de supervisión para la gestión del mantenimiento. Esta es una de las actividades orientada a mantener las buenas prácticas. Se compone de distintas secciones entre las que se encuentran algunas administrativas y otra relacionada directamente al mantenimiento preventivo. Las primeras se encargan de clarificar los datos básicos sobre el responsable, el equipo, sus características, entre otras, mientras que la segunda sección busca registrar todas las tareas de mantenimiento que se realizó al equipo con su correspondiente fecha de aplicación y la actividad concreta. Finalmente se colocan algunas observaciones particulares que pueda haber surgido durante el mantenimiento a esta, colocando siempre al responsable del registro.

Figura 19

Formato de supervisión de gestión de mantenimiento

Área:	Mantenimiento	Auditado por:					
Fecha:	/ / 2023						
FORMATO DE AUDITORIA RCM							
Coloque un aspa de acuerdo con lo observado, donde 1 corresponde a la valoración más baja y 5 a la mejor puntuación							
		Puntaje	1	2	3	4	5
N°	Items						
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 luego 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	Trabajadores entienden los conceptos de RCM						
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					

Nota. Elaboración propia

Otro formato de registro para las buenas prácticas se muestra en la figura anterior. En esta se da seguimiento a la auditoría RCM. Luego de la implementación de la metodología RCM se debe dar una evaluación que permita asegurar que todas sus prácticas se están llevando de manera adecuada, asegurando que no existan riesgos innecesarios que amenacen a los trabajadores. Orientado a ello se tiene este formato de auditoría, compuesto de una serie de 20 preguntas con opción de puntuación para calificar. Estas preguntas están dirigidas a conocer si todos los principios del RCM se están aplicando adecuadamente en el ambiente laboral, así como en las tareas dirigidas al mantenimiento de los equipos, y de acuerdo a su grado de cumplimiento se evalúa en una escala de 1 a 5.

Asimismo, en la tabla anterior se evidencia la programación de supervisiones a fin de contar con un conocimiento claro de las fechas o periodos para el control de las actividades de mantenimiento, lo cual se detalla a continuación. Otra actividad para el seguimiento y mantenimiento de buenas prácticas es el cronograma de supervisiones. Esta se puede observar en la figura anterior. La parte importante en el seguimiento es la supervisión constante, y para ello se elabora con anticipación una programación para las supervisiones que se realizarán en el período. Las tareas como la gestión del mantenimiento RCM, la disponibilidad operativa de los equipos, limpieza al área, estandarización de los procesos, cumplimiento del mantenimiento y la gestión de la calidad se ordenan y priorizan según una evaluación previa, y en base a la cual se asigna la periodicidad de la supervisión, la cual puede ser semanal, quincenal o mensual. En el cronograma figura tanto la periodicidad como la fecha exacta en la cual se llevará a cabo además del responsable de ello.

3.3. Resultado n° 3: Mejora en indicadores de disponibilidad de flota

Resultado 3: Determinar en qué medida los indicadores de la propuesta de mejora incrementa la disponibilidad de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

A continuación, se realiza un análisis de los indicadores de productividad global para la flota vehicular. Se evalúan la disponibilidad de equipos, así como los factores que inciden en esta que son el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio para reparaciones (MTTR). Esta evaluación consiste en calcular los valores y observar la tendencia que tuvo tanto para el período inicial que es previo a la implementación del RCM y luego al período posterior a la mejora. De esta forma se tiene una mejor vista del impacto de la metodología dentro de la empresa.

Tabla 12

Indicadores iniciales de disponibilidad (global)

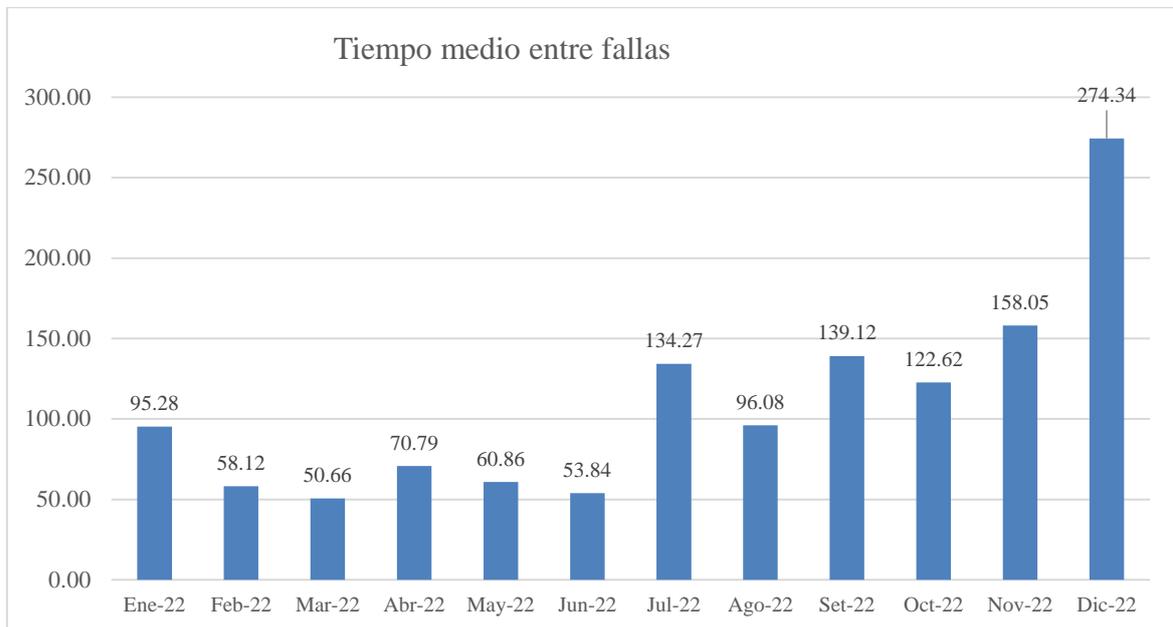
Escenario	Periodo	Tiempo medio entre fallas			Tiempo medio para reparaciones			Disponibilidad
		Tiempo de funcionamiento	Nº fallos	MTBF	Tiempo de inactividad	Nº fallos	MTTR	
Previo	Ene-22	2620.2	28	95.28	107.8	28	3.92	96.0%
	Feb-22	2301.6	40	58.12	162.4	40	4.10	93.4%
	Mar-22	2507.7	50	50.66	220.3	50	4.45	91.9%
	Abr-22	2491.8	35	70.79	148.2	35	4.21	94.4%
	May-22	2544.1	42	60.86	183.9	42	4.40	93.3%
	Jun-22	2428.0	45	53.84	212.0	45	4.70	92.0%
	Jul-22	2658.5	20	134.27	69.5	20	3.51	97.5%
Posterior	Ago-22	2642.2	28	96.08	85.8	28	3.12	96.9%
	Set-22	2601.5	19	139.12	38.5	19	2.06	98.5%
	Oct-22	2697.6	22	122.62	30.4	22	1.38	98.9%
	Nov-22	2607.8	17	158.05	32.2	17	1.95	98.8%
	Dic-22	2715.9	10	274.34	12.1	10	1.22	99.6%

Nota. Elaboración propia

En la tabla anterior se observan los indicadores para la disponibilidad, tanto en el período previo a la implementación de la mejora como posterior a ella. Se tiene el tiempo medio entre fallas (MTBF) que depende del tiempo de funcionamiento y de la cantidad de fallos ocurridos, y al tiempo medio para reparaciones (MTTR) que depende del tiempo de inactividad y a la cantidad de fallos también. A partir de ello se tiene el valor de la disponibilidad también. Comparando el rendimiento de estos indicadores, se puede observar una mejora en estos, cambiando la tendencia decreciente por una creciente en el caso del MTBF y de la disponibilidad, y lo contrario para el caso del MTTR. A continuación, se observa gráficamente la evolución de todos estos para ambos períodos.

Figura 20

Análisis del tiempo medio entre fallas (global)

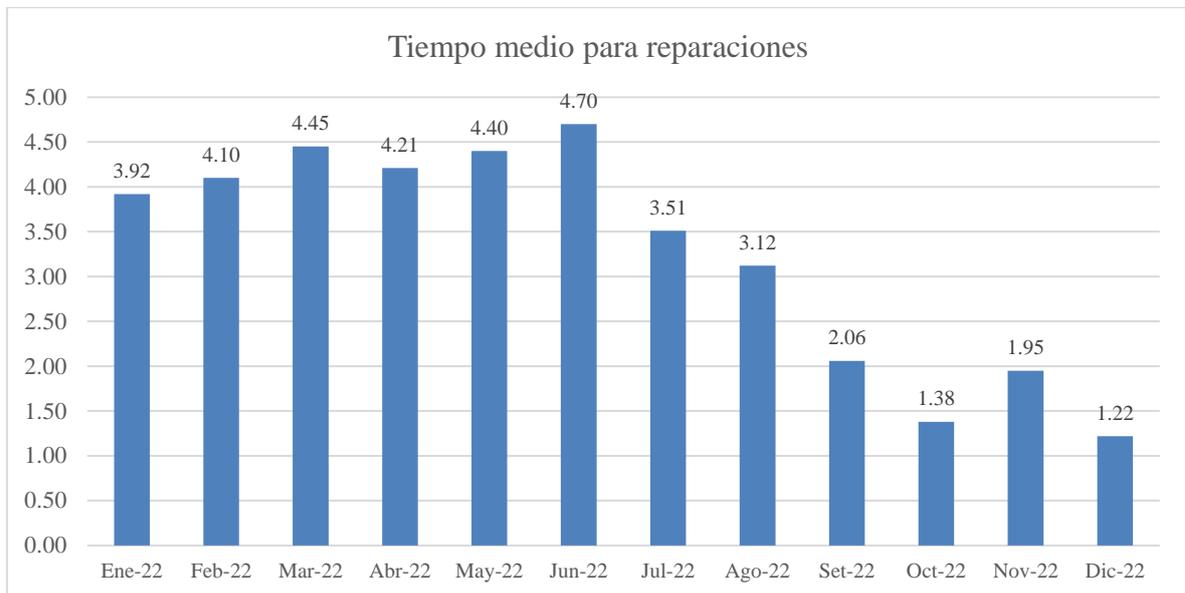


Nota. Elaboración propia

La primera figura muestra el comportamiento del tiempo medio entre fallas (MTBF) para los períodos previo y posterior. Se observa que, inicialmente tuvo una tendencia decreciente pasando de 95.28 horas en enero a 53.84 horas en junio, para que luego de la implementación del RCM empezar a crecer significativamente pasando de 134.27 horas en julio a 274.34 horas en diciembre. Pese a ello, en el período posterior hubo algunos meses en que cayó como en agosto y octubre, aunque de manera general tuvo un aumento importante. Este cambio indica un mayor tiempo entre la aparición de fallos para una máquina, por lo que se encontrará más tiempo operativo antes de que empiece a presentar problemas y precise de mantenimiento.

Figura 21

Análisis del tiempo medio para reparaciones (global)

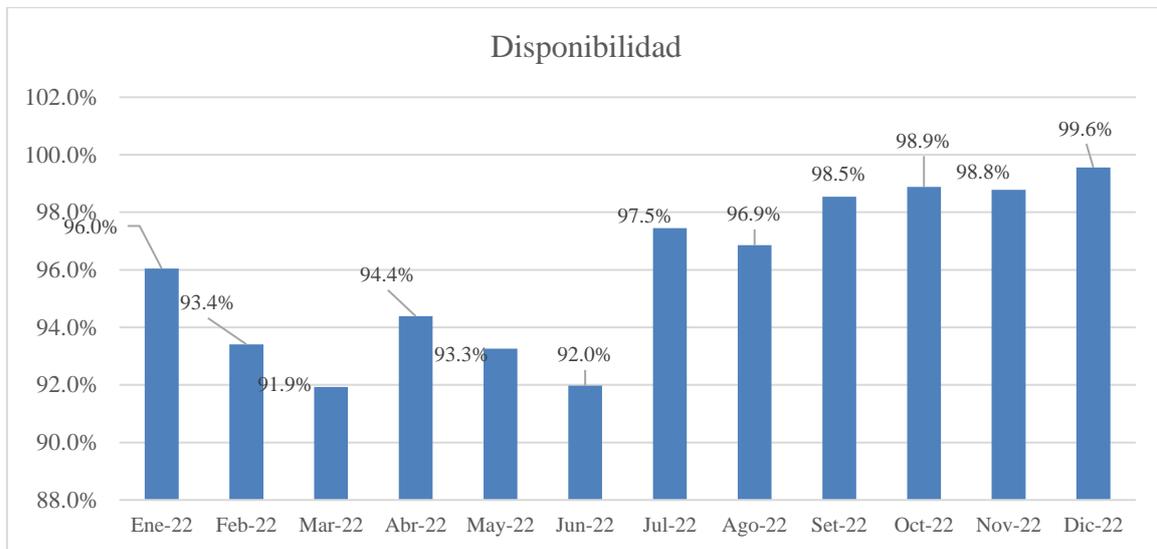


Nota. Elaboración propia

En la figura anterior se observa al tiempo medio para reparaciones (MTTR). Inicialmente, se observó que pasó de 3.92 en enero a 4.70 en junio. Posterior a la mejora empezó a disminuir gradualmente, pasando de 3.51 en julio a 1.22 en diciembre, lo que denota una reducción significativa del tiempo destinado a las reparaciones de los fallos de la flota vehicular. La disminución gradual del tiempo destinado al mantenimiento indica una mejora para los resultados de la empresa, puesto que el tiempo en que las máquinas se encuentren inoperativas será menor en comparación a la situación anterior.

Figura 22

Análisis de la disponibilidad previa



Nota. Elaboración propia

En cuanto a la disponibilidad, se puede observar en la figura anterior su evolución en los dos períodos. En el período previo pasó de 96% en enero a 92% en junio, denotando claramente una menor disponibilidad en la flota vehicular al no contar con una buena metodología de mantenimiento. Al vislumbrar claramente el problema se optó por una solución que cambió la tendencia, pasando de 97.5% en julio a 99.6% en diciembre, con lo que la mejora en el mantenimiento gracias al RCM impactó positivamente en los resultados productivos de la empresa.

Análisis estadístico inferencial

- Hipótesis General

Ho: La aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad no incrementa la disponibilidad operativa de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

Ha: La aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad incrementa la disponibilidad operativa de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

Tabla 13

Estadísticas de muestras emparejadas de la hipótesis general

	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Disponibilidad pre	,93500	6	,015598	,006368
Disponibilidad post	,98346	6	,010009	,004086

Nota. Elaboración propia con SPSS v.26

Regla de decisión

Ho: μ disponibilidad previa \geq μ disponibilidad posterior

Ha: μ disponibilidad previa $<$ μ disponibilidad posterior

En la tabla anterior se puede observar las estadísticas descriptivas para la variable de la disponibilidad en ambos períodos, tanto antes como después de la implementación. La media de la disponibilidad pre fue de 0.93500 mientras que la de la disponibilidad post fue de 0.98346. Se puede ver que la media aumentó luego de la mejora, lo que indica que el nivel promedio de la disponibilidad de la flota vehicular mejoró gracias a una mejor gestión en el mantenimiento y adecuar las prácticas preventivas en ésta. Asimismo, los valores de la desviación también disminuyeron lo que indica una mejora en la estimación de los estadísticos.

Tabla 14

Prueba T de Student de la hipótesis general

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
disponibilidad pre - disponibilidad post	-,048456	,022375	,009134	-,071937	-,024975	-5,305	5	,003

Nota. Elaboración propia con SPSS v.26

Regla de decisión

Si p-valor (significancia) ≤ 0.05 , se rechaza H_0

Si p-valor (significancia) > 0.05 , no se rechaza H_0

Partiendo de las hipótesis formuladas la hipótesis nula señala que la disponibilidad previa fue mayor a la posterior, mientras que la alternativa señala que la disponibilidad posterior es mayor a la previa. Así, se utilizó el estadístico del p-valor calculado en la tabla anterior para determinar el cumplimiento de las hipótesis. La regla de decisión señala que si el p-valor es menor a 0.05 no se rechaza la hipótesis nula mientras que, si es mayor a 0.05, se rechaza la nula y se acepta la alternativa. Por último, se tiene que el p-valor observado es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula.

- Hipótesis específica 1

H_0 : La aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad no incrementa el tiempo medio entre fallas de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

H_a : La aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad incrementa el tiempo medio entre fallas de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

Tabla 15

Estadísticas de muestras emparejadas de la hipótesis general

	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
MTBF pre	64,92500	6	16,401365	6,695829
MTBF post	154,08000	6	62,366975	25,461211

Nota. Elaboración propia con SPSS v.26

Regla de decisión

Ho: μ MTBF previa \geq μ MTBF posterior

Ha: μ MTBF previa $<$ μ MTBF posterior

En la tabla anterior se observan los estadísticos para la siguiente variable. En este caso, se tiene a la media y desviaciones del tiempo medio entre fallas (MTBF). Se puede observar que el MTBF previo a la implementación fue de 64.92 mientras que el MTBF luego de la implementación fue de 154.08. Estos resultados indicaron una mejora en el indicador puesto que el aumento de la media señala que el tiempo promedio entre la aparición de una falla y otra es mayor, aumentando el tiempo operativo de la flota vehicular y disminuyendo los costes asociados a su mantenimiento.

Tabla 16

Prueba T de Student de la hipótesis específica 1

	Media	Diferencias emparejadas				t	gl	Sig. (bilateral)
		Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
MTBF pre - MTBF post	-89,155000	69,061080	28,194068	-161,630159	-16,679841	-3,162	5	,025

Nota. Elaboración propia con SPSS v.26

Regla de decisión

Si p-valor (significancia) \leq 0.05, se rechaza Ho

Si p-valor (significancia) $>$ 0.05, no se rechaza Ho

En la tabla anterior se observan los resultados de la prueba T-Student para el MTBF. También se calculan los resultados con base en las hipótesis planteadas mediante esta variable. La hipótesis nula señala que el promedio del MTBF previo a la implementación fue mayor a la posterior, mientras que la alternativa señala que el MTBF promedio posterior es mayor a la previa. Del mismo modo, se sigue la regla de decisión con el p-valor en donde si este es menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula. Por último, se tiene que el p-valor observado es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula.

- Hipótesis específica 2

Ho: La aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad no reduce el tiempo medio para reparaciones de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

Ha: La aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad reduce el tiempo medio para reparaciones de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

Tabla 17

Estadísticas de muestras emparejadas de la hipótesis general

	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
MTTR pre	4,29667	6	,277465	,113274
MTTR post	2,20667	6	,924893	,377586

Nota. Elaboración propia con SPSS v.26

Regla de decisión

Ho: μ MTTR previa \leq μ MTTR posterior

Ha: μ MTTR previa $>$ μ MTTR posterior

En la tabla anterior se muestran los estadísticos calculados para la siguiente variable, que fue el del tiempo medio para reparaciones (MTTR). Para esta se calcularon la media y desviaciones, de manera similar a los casos anteriores. Para el valor de las medias se puede observar una disminución, puesto que el valor del MTTR antes de la implementación fue de

4.29 mientras que luego de la mejora fue de 2.20. Esto también indica una mejora en los resultados puesto que un menor tiempo promedio para reparaciones implica que el tiempo en que la producción se encuentra parada ha disminuido al consumir menos el mantenimiento.

Tabla 18

Prueba T de Student de la hipótesis específica 2

	Diferencias emparejadas						t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia					
				Inferior	Superior				
MTTR pre - MTTR post	2,090000	1,162222	,474475	,870323	3,309677	4,405	5	,007	

Nota. Elaboración propia con SPSS v.26

Regla de decisión

Si p-valor (significancia) ≤ 0.05 , se rechaza H_0

Si p-valor (significancia) > 0.05 , no se rechaza H_0

De manera análoga, se tiene a la tabla anterior que muestra los resultados inferenciales para la variable del MTTR. También se parte de las hipótesis formuladas en base a sus valores promedio, en donde la hipótesis nula plantea que el promedio del MTTR previo es mayor al MTTR posterior a la mejora, mientras que la alternativa señala que el promedio posterior del MTTR es mayor al previo. Nuevamente se sigue la regla de decisión de rechazar la hipótesis nula si el p-valor es menor a 0.05, y por tano no rechazar la hipótesis alterna. Finalmente, se tiene que el p-valor observado es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula.

3.4. Resultado n° 4: Evaluación del impacto económico

Resultado 4: Evaluar cuál es el impacto económico de la propuesta de mejora en la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.

Otro aspecto importante fue determinar el impacto económico de los cambios en búsqueda de elevar la disponibilidad, dado que se debe velar por los recursos y presupuesto de la empresa; a partir de ello, se detallan los costos para la implementación del RCM.

Tabla 19

Costos para la implementación de la metodología RCM

Etapas	Elemento	Cantidad	Precio unitario	Costo	Observación
Gestión del área	Limpieza general	1	S/ 150.0	S/ 150.0	Conservar buenas prácticas
	Grasa	50	S/ 15.0	S/ 750.0	Implementación
	Trapos	100	S/ 1.5	S/ 150.0	Implementación
	Herramienta 1	2	S/ 125.0	S/ 250.0	Implementación
	Herramienta 2	2	S/ 160.0	S/ 320.0	Implementación
	Herramienta 3	2	S/ 150.0	S/ 300.0	Implementación
	Anaqueles	2	S/ 130.0	S/ 260.0	Implementación
	Hoja de decisión RCM	30	S/ 2.5	S/ 75.0	Implementación
	Formatos de mantenimiento	180	S/ 1.5	S/ 270.0	Implementación
	Procedimientos	4	S/ 60.0	S/ 240.0	Implementación
Gestión de mantenimiento	Insumo 1	30	S/ 7.5	S/ 225.0	Implementación
	Insumo 2	30	S/ 10.3	S/ 307.5	Implementación
	Insumo 3	30	S/ 4.5	S/ 135.0	Implementación
	Insumo 4	30	S/ 3.9	S/ 117.0	Implementación
	Insumo 5	30	S/ 8.0	S/ 240.0	Implementación
Capacitación	Costo de charlas	1	S/ 250.0	S/ 250.0	Conservar buenas prácticas
	Instructivos	10	S/ 30.0	S/ 300.0	Implementación
	Materiales de consulta	10	S/ 8.0	S/ 80.0	Implementación
Supervisiones	Auditoría externa	1	S/ 350.0	S/ 350.0	Conservar buenas prácticas
	Formatos de supervisión	162	S/ 1.5	S/ 243.0	Implementación
	Cronograma	1	S/ 50.0	S/ 50.0	Implementación

Nota. Elaboración propia.

En la tabla anterior se encuentran listados todos los costos en que se incurrió para la implementación respectiva. Esta lista considera tanto elementos necesarios para ello como servicios destinados a mantener las buenas prácticas, como capacitaciones, auditorías, supervisiones, entre otras. En la última columna se ha detallado una observación para conocer si el desembolso de dicho elemento corresponde a la conservación de buenas prácticas (varios gastos para mantener los cambios positivos) en la implementación mediante un único desembolso como inversión inicial, ello permitirá realizar el flujo de caja con mucho más orden y determinar el detalle para cada división en los gastos.

Asimismo, como parte de la determinación de la viabilidad económica se presenta el flujo de caja económico proyectado a 5 años en donde se tomó una proyección del número de fallas; a partir de la disminución del 239 a 114 fallos en el primer año se obtuvo una tasa de reducción de 52.07% y este valor fue replicado en los siguientes periodos para determinar el menor número de averías proyectado en cada año, el cual debe seguir disminuyendo debido a la aplicación de la metodología y la conservación de buenas prácticas.

De esta manera, no solo es posible precisar que la mejora es factible operacionalmente sino también desde un punto de vista económico, lo cual es importante dado el presupuesto limitado que pueda tener el área y la priorización de gastos que tenga la gerencia general de la compañía.

Tabla 20

Flujo de caja proyectado a cinco años

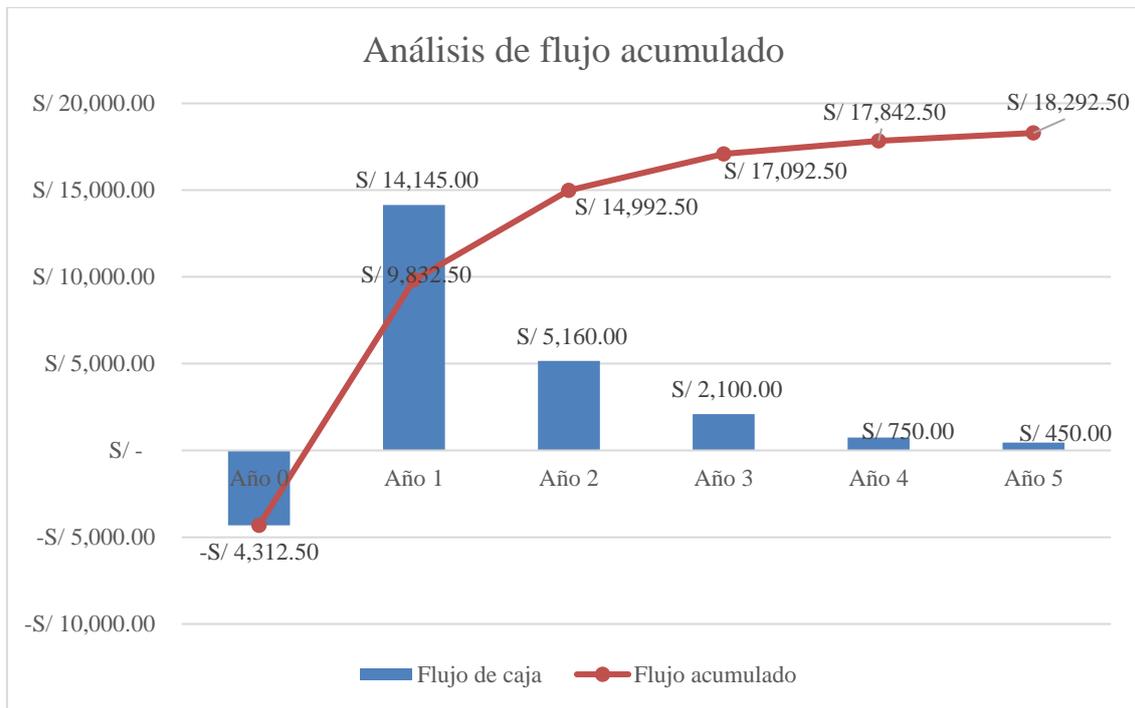
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos						
Fallas antes		239	114	60	31	16
Fallas después		114	60	31	16	8
Reducción de fallas		124	54	29	15	8
Costo de falla		S/ 150.00				
Ahorro		S/ 18,645.00	S/ 8,160.00	S/ 4,350.00	S/ 2,250.00	S/ 1,200.00
Costos						
Implementación	-S/ 4,312.50					
Conservar buenas prácticas		-S/ 4,500.00	-S/ 3,000.00	-S/ 2,250.00	-S/ 1,500.00	-S/ 750.00
Total	-S/ 4,312.50	-S/ 4,500.00	-S/ 3,000.00	-S/ 2,250.00	-S/ 1,500.00	-S/ 750.00
Flujo de caja	-S/ 4,312.50	S/ 14,145.00	S/ 5,160.00	S/ 2,100.00	S/ 750.00	S/ 450.00
Flujo acumulado	-S/ 4,312.50	S/ 9,832.50	S/ 14,992.50	S/ 17,092.50	S/ 17,842.50	S/ 18,292.50

Nota. Elaboración propia

En la tabla anterior se observan los ingresos y costos en que se incurrieron para la implementación del RCM en los primeros seis meses. A partir de estos parámetros se obtuvo el flujo de caja mensual y el acumulado, es decir, el total hasta esa fecha. Dentro de los ingresos se considera el ahorro generado por la mejora en cuanto a la identificación de los fallos y su mantenimiento preventivo, por lo que la reducción de fallas se multiplica por el costo de la misma para obtener el ahorro, siendo este valor en el primer mes de S/ 18,645 soles. En los costos, la implementación tuvo una inversión inicial de la implementación de S/ 4,312.50 soles, mientras que la conservación de la metodología y demás actividades destinadas a su prolongación generaron egresos de S/ 4,500 soles en el primer año, lo cual corresponde a 6 veces los costos de la limpieza, charlas y auditorias que señala la programación de costos; en los periodos siguientes solo fue necesario realizar un menor número de veces estos aspectos, lo cual explica la variación en cada año, es decir, solo se realizaron 4 limpiezas, charlas y auditorias en el segundo año con un valor de S/ 3,000 soles, valor que disminuye en cada periodo de forma progresiva, dado que se ha asimilado la necesidad de conservar las buenas prácticas. A partir de dicha información, el flujo de caja del primer año fue de S/ 14,145 soles, lo cual permite cubrir la inversión inicial y obtener ganancias, en tanto que a nivel acumulado se estima un flujo global en los cinco años de S/ 18,292.5 soles. El análisis gráfico de la evolución del flujo de caja y el acumulado se presenta en la siguiente figura.

Figura 23

Análisis de flujos de caja proyectado a cinco años



Nota. Elaboración propia

En la figura anterior se observa la evolución gráfica del flujo de caja como del flujo acumulado. El año 0 se refiere al costo incurrido por la inversión inicial para la implementación, que fue de S/ 4,312.50 soles. Durante los siguientes años el flujo de caja se siguió manteniendo positivo y con un nivel muy alto en el primer año debido al gran impacto de la aplicación de la metodología, en tanto que se logra una ganancia de S/ 14,145 soles y un flujo acumulado de S/ 9,832.50 soles; luego, para el segundo año el valor del flujo de caja se redujo a S/ 5,160 soles debido a que la reducción de fallas fue menor en comparación con el primer año, ello en base a que cada vez se presentan menos averías en los equipos y esta situación se repite en los periodos siguientes; a esta característica de la evolución se le conoce como rendimientos marginales decrecientes, pero aún así se mantienen los ingresos positivos por la aplicación de la metodología RCM hasta el quinto año.

Por otro lado, se detallan los indicadores financieros de la aplicación en base al flujo de caja proyectado a cinco años, tal como indica la tabla a continuación.

Tabla 21*Flujo de caja de la implementación de la metodología RCM*

Indicador	Valor
COK	8.30%
VAN	S/ 14,449.03 soles
TIR	264.9%
B-C	2.12 veces
Periodo de recupero	0.30 años

Nota. Elaboración propia

En la tabla anterior se pueden observar los indicadores económicos que afianzan la rentabilidad de la aplicación en la empresa. En primer lugar, fue necesario determinar la tasa del costo de oportunidad del capital (COK), este valor se mantuvo en reserva por la gerencia, por lo que fue necesario recurrir a la tasa de interés pasiva de la SBS, dado que esa sería la rentabilidad de los inversionistas al mantener su dinero en las cuentas bancarias de la empresa y para comprender a mayor detalle de este valor es preciso revisar el anexo 4. A partir de dicha comparación se calculó un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 14,449.03 soles, siendo positivo e indicando que la mejora es rentable; del mismo modo, el valor de la tasa interna de retorno (TIR) fue de 264.9%, mayor al COK de 8.30%, indicando también una medida de rentabilidad; asimismo, la relación beneficio costo indica que los beneficios son 2.12 veces el valor de los costos y, finalmente, se menciona el período de recuperación que, tal como se vio en el análisis de flujo de caja, la inversión inicial se recupera en 0.30 años. Todos estos indicadores apoyan la decisión de la empresa de implementar el RCM para los procesos de mantenimiento en la empresa.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

La presente investigación posterior a la realización del diagnóstico inicial de la disponibilidad de la flota vehicular, el cual en el periodo 2022 evidenció que la empresa no contaba con una metodología de gestión o trabajo en el área de almacén, los procesos estaban desactualizados y no estandarizados, la falta de formatos para el registro de fallos e indicadores desactualizados para la gestión de mantenimiento. Siendo el principal problema en la empresa de transporte de materiales peligrosos, el bajo nivel de disponibilidad operativa de la flota que según la evaluación inicial era de 93.5%, con un tiempo promedio de reparaciones de 4,29 días y un tiempo promedio entre fallas de 64.92 días, lo cual refleja la necesidad imperiosa de actuar inmediatamente para revertir tal situación problemática. En ese contexto, gracias a la experiencia académica y profesional adquirida por el autor de esta investigación y con el empleo de una metodología pertinente para el abordaje y resolución del problema de baja disponibilidad, como es el caso del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) fue posible mejorar tal situación.

Tal es así que, los hallazgos reportados por Abad (2022), son similares con relación a la descripción de la gestión basada en esta metodología MCC, donde se pudo observar que se logró mejorar la disponibilidad, MTBF y MTTR. La disponibilidad aumentó de un 76.34% a un 92.98%, el MTBF de 13.66 a 37.96 horas y el MTTR disminuyó de 4.2 a 2.3 horas. Y tal como lo evidencia, Julca (2022), que guiado de esta metodología de MCC, se pudo observar que la disponibilidad mejoró al aumentar de 3.61%, respecto a su valor inicial.

Asimismo, autores como Narváez y Palza (2022) enfatizaron la importancia de la gestión del mantenimiento en todo el mundo y en nuestro país; en este sentido, se han revisado experiencias positivas de la aplicación de la metodología RCM para el incremento de la disponibilidad, lo cual muchas veces se ve acompañado de un beneficio económico o la mejora del desempeño en las operaciones, y así como lo señala Abad (2022) y Tafur (2022), como de la incorporación de buenas prácticas de mantenimiento dentro del área de trabajo.

Específicamente, con base a los resultados del estudio, gracias a la aplicación de la metodología de solución, se obtuvo mejores indicadores de mantenimiento, es decir, fue posible incrementar la disponibilidad operativa de los vehículos de 93.5% a 98.3%, debido a la aplicación de dicha metodología de solución, asimismo, con relación al tiempo promedio de reparaciones (MTTR) disminuyó de 4,29 a 2,20 días y el tiempo medio entre fallas (MTBF) aumentó de 64.92 días a 154 días entre fallas. Esto evidenció que las mejoras realizadas si fueron favorables, asimismo mediante las pruebas estadísticas se determinó que dichas diferencias son significativas.

Estos hallazgos mencionados anteriormente son de gran importancia ya que también existen otras compañías e investigaciones que se enfocaron en mejorar la disponibilidad de sus vehículos y equipos en general. Esto gracias a la importancia que tiene este tópico para empresas industriales y en especial aquellas dedicadas al servicio de transporte de carga, materiales peligrosos y sectores conexos, cuyo eje central es el incremento de la disponibilidad operativa. Así como lo sostienen Sugiharjo y Surya (2022), Silva et al. (2021), Narvaéz y Palza (2022) o similar al estudio de Julca (2022) dada la aplicación del RCM para vehículos de transporte de carga, dichas investigaciones lograron resultados favorables, que concuerdan con los hallazgos de Abad (2022) y Nuñez y Puchoc (2021), quienes obtuvieron también mejoras en cada uno de los indicadores críticos relacionados a la disponibilidad operativa de vehículos de carga pesada.

No obstante, no es suficiente con una sola aplicación anual o mensual en la empresa analizada, sino más bien debe existir un enfoque de mejora continua; que mediante una supervisión y monitoreo constantes se evite opacar los logros conseguidos y a su vez se garantiza la productividad de cada una de las áreas, específicamente al ser una empresa que presta servicios de transporte de mercancías peligrosas, el eje central está en la disponibilidad operativa de los vehículos, siendo necesario actualizar el plan de acción.

Con estas acciones de mejora se pudo obtener un flujo de caja positivo, del cual se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) un valor de S/ 14,449.03 soles, una tasa interna de retorno (TIR) de 264.9% y una relación de beneficio-costos de (B/C) de 2.12 con un periodo

de recupero de la inversión inicial de 0.3 años, demostrando la viabilidad económica. Por lo tanto, las herramientas y técnicas de la metodología de solución del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad son un aporte esencial dentro de la empresa y que maneja una flota vehicular importante para la prestación de servicios a otras compañías, esta mejora, se convierte en una ventaja competitiva de la compañía, aumentando la disponibilidad operativa de los vehículos, se permite conseguir nuevos clientes corporativos, prestigio corporativo generando con ello un aumento en las ganancias y rentabilidad del negocio.

Las limitaciones para la ejecución de este trabajo de investigación fueron realmente mínimas puesto que se contó con todo el apoyo de la gerencia general y el área de mantenimiento, gracias a ello se obtuvo información valiosa para el desarrollo del estudio, por otro lado, un factor limitante fueron las restricciones debido a permisos, descansos médicos o eventualidades del personal del área, por lo que en ciertas oportunidades se tuvo que contactar vía telefónica o correo institucional para proseguir y no interrumpir la investigación.

Los hallazgos de la investigación implican que la compañía puede mejorar notablemente en cuanto al manejo eficiente de la flota vehicular de transporte de materiales peligrosos, permitiendo cumplir con las tareas y actividades designadas por el área de mantenimiento, asimismo se busca implementar acciones de mejora que promuevan grandes cambios, a bajos costos y en tiempos razonables, como ha sido el caso de esta mejora aplicada, para que el personal de la empresa adquiriera nuevos conocimientos, mejore sus aptitudes y actitudes hacia el trabajo y se genere así una cultura de mejora continua manteniendo un área de mantenimiento sólida, comprometida y productiva, con el objetivo de garantizar la disponibilidad y mantenibilidad de los equipos para beneficio de las áreas usuarias, la empresa y sus clientes.

4.2. Conclusiones

Se concluye que la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para incrementar la disponibilidad de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos, permitió incrementar la disponibilidad de la flota vehicular. Puesto que, disponibilidad operativa de 93.5% a 98.3%, asimismo el análisis estadístico permitió comprobar satisfactoriamente las hipótesis alternas planteadas.

Con relación al diagnóstico de la situación actual de la empresa, se concluye que el bajo nivel de disponibilidad de la flota vehicular se debe a que no se cuenta con una metodología de gestión, procesos desactualizados y no estandarizados, Falta de formatos para el registro de fallos, indicadores desactualizados y falta de instructivos. Lo que originan deficiencias en la gestión del mantenimiento de los vehículos, esperando que a través de la metodología de solución se logre mejorar esta situación, el cual representa una oportunidad de mejora para el área y la empresa.

Para resolver el problema general identificado fue necesario diseñar una propuesta de mejora basada en el mantenimiento centrado en la confiabilidad, por ser la metodología de solución más idónea para el incremento de la disponibilidad de la flota vehicular, lo que implicó el diseño y uso de herramientas tales como Ishikawa, Pareto, AMEF, diagramas DOP, 5W, hojas de decisión RCM, capacitaciones dirigidas y supervisiones periódicas del mantenimiento lo que permitió incrementar la disponibilidad de la flota vehicular.

La aplicación de las diversas herramientas como permitió mejorar los indicadores de disponibilidad operativa incrementándose de 93.5% a 98.3%, el tiempo medio entre fallas aumentó también de 64.92 días a 154 días entre fallas, con relación al tiempo promedio de reparaciones disminuyó de 4,29 a 2,20 días. Esto evidenció que las mejoras realizadas si fueron favorables, asimismo mediante las pruebas estadísticas se determinó que dichas diferencias son significativas.

Por último, se evaluó la viabilidad económica de la mejora aplicada, obteniendo como Valor Actual Neto (VAN) un valor de S/ 14,449.03 soles, una tasa interna de retorno

(TIR) de 264.9% y una relación de beneficio-costo (B/C) de 2.12, lo que significa que por cada sol invertido se obtiene un 1.12 soles de ganancia, lo que determina que la metodología de solución viable y rentable.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda a la gerencia general de la empresa debe liderar el cambio hacia una cultura de confiabilidad en toda la organización. Esto implica promover la importancia del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) y alentar la participación y colaboración de todos los departamentos involucrados en la gestión de la flota vehicular.

Asimismo, se recomienda al gerente del área de mantenimiento, establecer indicadores clave de desempeño (KPI): La gerencia general debe definir y monitorear los KPI relacionados con la disponibilidad de la flota vehicular. Algunos ejemplos de KPI pueden ser el tiempo promedio entre fallas (MTBF), el tiempo promedio de reparación (MTTR) y el porcentaje de cumplimiento del programa de mantenimiento. Estos indicadores proporcionarán una visión clara del desempeño del MCC y permitirán tomar medidas correctivas y preventivas oportunas.

Consecuentemente, se recomienda al jefe del área de operaciones implementar un programa de inspección y monitoreo regular de los vehículos de la flota. Esto incluye la realización de inspecciones visuales, análisis de lubricantes, pruebas no destructivas y cualquier otra técnica relevante para detectar posibles fallas o desgastes. Estas actividades permitirán identificar problemas en etapas tempranas y realizar el mantenimiento adecuado de manera oportuna.

Se recomienda al personal operativo y técnico especializado aplicar técnicas de mantenimiento predictivo: El uso de técnicas de mantenimiento predictivo, como el análisis de vibraciones, termografía y análisis de aceite, ayudará al área de mantenimiento a identificar posibles problemas en los vehículos antes de que ocurran fallas graves. Estas técnicas permiten realizar intervenciones de mantenimiento planificadas y evitar paradas no programadas que afecten la disponibilidad de la flota.

REFERENCIAS

- Abad Belen, R. (2022). *Aplicación de la metodología RCM para incrementar la disponibilidad operativa de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021 (Tesis de Licenciatura)*. Lima, Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/31562>
- Acuña Acuña, J. (2022). *Ingeniería de confiabilidad*. Cartago, Costa Rica: Editorial Teconologica de Costa Rica.
- Afefy, I., Mohib, A., El-kamash, A., & Mahmoud, M. (2019). A new framework of reliability centered maintenance. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering 13 (3)*, 175 - 190. doi:<http://jjmie.hu.edu.jo/vol-13-3/88-19-01.pdf>
- Alla, H., Hall, R., & Apel, D. (2020). Performance evaluation of near real-time condition monitoring in haul trucks. *International Journal of Mining Science and Technology 30 (6)*, 909-915. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.05.024>
- Arcenegui Rodrigo, F. (2022). *Mantenimiento correctivo de instalaciones frigoríficas. IMAR0108*. Málaga, España: IC Editorial.
- Baena Paz, G. (2016). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México: Grupo Editorial Patria.
- Bag, S., Kau, L., Wessels, A., & Pretorius, J.-H. (2019). Predictive maintenance strategy to increase the availability of positive displacement pumps: a case study based in Ekurhuleni base metals in South Africa. *International Journal of Services and Operations Management 32 (4)*, 468-506. doi:<https://doi.org/10.1504/IJSOM.2019.099478>
- Caballero González, C., & Clavero García, J. (2016). *UF1466 - Sistemas de almacenamiento*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo.
- Cárcel, F. (2014). *La gestión del conocimiento en la ingeniería de mantenimiento industrial*. Valencia, España: OmniaScience.
- Casas, L., & Barona, J. (2019). *El funcionamiento de las edificaciones: Administración y mantenimiento*. Cali, Colombia: Programa Editorial de la Universidad del Valle.

- Cucu, S., & Dumitru, B. (2019). Periodic control optimization according to availability for vehicles. *ICMS - COMEC Vol 1*, 298-302. Obtenido de <http://hdl.handle.net/123456789/2481>
- Escaño González, J., & Nuevo García, A. (2021). *Sistemas eléctricos y electrónicos*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo S.A.
- Fernandes, M., Canito, A., Bolón, V., Conceição, L., Praça, I., & Marreiros, G. (2019). Data analysis and feature selection for predictive maintenance: A case-study in the metallurgic industry. *International Journal of Information Management Vol 46*, 252-262. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.10.006>
- Fernández de la Calle, I. (2020). *Seguridad funcional en instalaciones de proceso: Sistemas instrumentados de seguridad y analisis SIL*. Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos.
- García Vaca, I. (2016). *Anatomía de sistemas: Su análisis y su apoyo*. Madrid, España: Diaz Santos.
- Guerrero Medina, C., Álvarez Luján, B., Arévalo Daza, J., & Calla Delgado, V. (2021). Propuesta técnica de mejora en la planificación del mantenimiento preventivo de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO en la mina Bayóvar. *INGnosis 1 (1)*, 22–40. doi:<https://doi.org/10.18050/ingnosis.v1i1.1905>
- Guerrero Pérez, R. (2018). *Mantenimiento preventivo de sistemas domóticos e inmóticos*. Málaga, España: IC Editorial.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: Mc Graw Hill.
- INEI. (2023). *Índice Temático. Transporte, almacenamiento, correo y mensajería*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Estadística e Informática. Obtenido de <https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/prueba-11103/>
- Jafarpisheh, R., Karbasian, M., & Asadpour, M. (2021). A hybrid reliability-centered maintenance approach for mining transportation machines: a real case in Esfahan. *International Journal of Quality & Reliability Management 38 (7)*, 1550-1575. doi:<https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2020-0309>

- Jakkula, B., Raj, G., & Murthy, C. (2020). Maintenance management of load haul dumper using reliability analysis. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 26 (2), 290-310. doi:<https://doi.org/10.1108/JQME-10-2018-0083>
- Jiménez Padilla, B. (2022). *Montaje y reparación de los sistemas mecánicos. FMEE0208*. Málaga, España: IC Editorial.
- Julca Ortega, E. (2022). *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad de la flota de camiones de la empresa CILSA (Tesis de Licenciatura)*. Lima, Perú: Universidad Tecnológica del Perú. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/6627>
- Juran, J., Gryna, F., & Bingham, R. (2021). *Manual de control de la calidad*. Barcelona, España: Editorial Reverté S.A. .
- Medialdea, J., & Corrales, B. (2017). *Operaciones auxiliares de mantenimiento de instalaciones maquinaria, equipos y herramientas de floristería*. Málaga, España: Editorial ELEARNING S.L. .
- Mena, R., Viveros, P., Zio, E., & Campos, S. (2021). An optimization framework for opportunistic planning of preventive maintenance activities. *Reliability Engineering and System Safety* Vol 215, 107801. doi:<https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107801>
- Misari, A., Leite, J., Piasson, D., & Sanches Mantovani, J. (2020). Reliability-Centered Maintenance Task Planning for Overhead Electric Power Distribution Networks. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems* 31 (5), 1278-1287. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s40313-020-00606-8>
- Mohammed, A., Ghaithan, A., Al-Saleh, M., & Al-Ofi, K. (2020). Reliability-Based Preventive Maintenance Strategy of Truck Unloading Systems. *Applied Sciences* 10 (19), 6957. doi:<https://doi.org/10.3390/app10196957>
- Moreno Vega, A. (2022). *Reparaciones básicas, supervisión y organización de un taller*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo S.A.
- MTC. (2022). *PBI Nacional y VAB Transporte, almacenamiento, correo y mensajería 2007-2021*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344781-estadistica-indicadores-economicos-sectoriales-transportes>

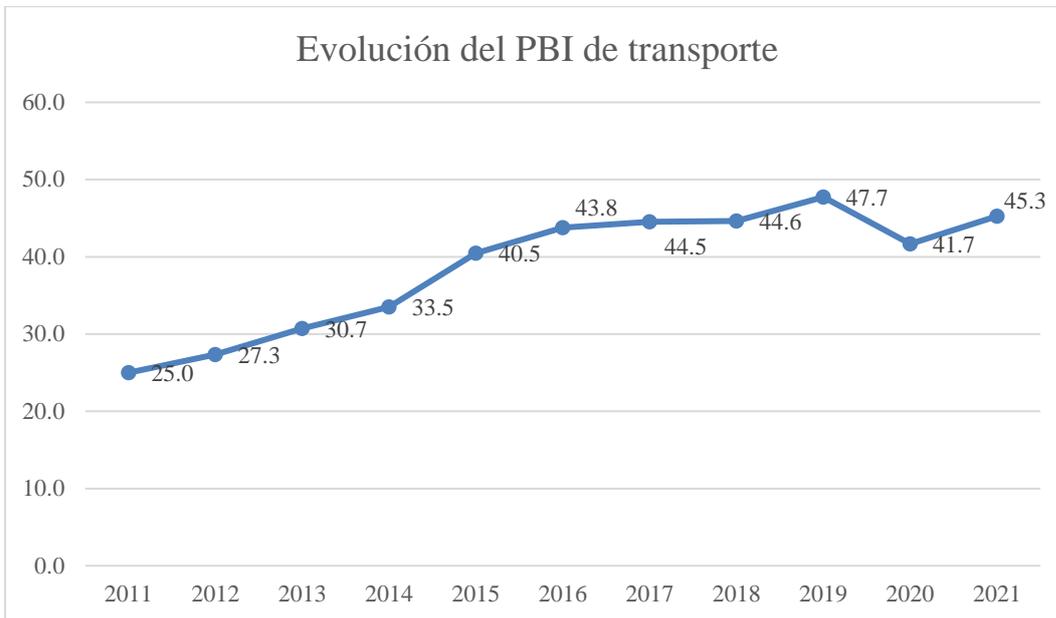
- Narváez, J., & Palza, A. (2020). *Aplicación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de una empresa minera de La Libertad (Tesis de Licenciatura)*. Trujillo, Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/48192>
- Novoa Conde, X. (2021). *Instalaciones eléctricas hospitalarias. El diseño, la reforma y el mantenimiento para alcanzar una alta seguridad de funcionamiento*. Madrid, España: Dinamotecnia.
- Núñez Molle, D., & Puchoc Tejada, J. (2021). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad operativa de la empresa Distribuidora Bajopontina S. A. Lima, 2021 (Tesis de Licenciatura)*. Lima, Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/76374>
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Jesús, P., & Romero, E. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de tesis*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Príncipe Cotillo, G. (2018). *La investigación científica. Teoría y metodología*. Lima, Perú: Fondo Editorial de la Universidad Jaime Bausate y Meza. Obtenido de <http://bitly.ws/vDJs>
- Rivas, M. (2017). *Mantenimiento de sistemas de refrigeración y lubricación de los motores térmicos*. Málaga, España: Editorial Elearning .
- Rykov, V., & Kochueva, O. (2023). Preventive Maintenance of k-out-of-n System with Dependent Failures. *Mathematics 11* (2), 422.
doi:<https://doi.org/10.3390/math11020422>
- Setiawan, D., Jusolihun, N., & Cahyo, W. (2019). Maintenance system design on air jet loom (AJL) machine using reliability centered maintenance (RCM) method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 673* (1), 012102.
doi:10.1088/1757-899X/673/1/012102
- Silva, F., Chambel, É., Infante, V., & Andrade Ferreira, L. (2021). RCM 3 Methodology Application to Armored Military Vehicle Cooling System. *U.Porto Journal of Engineering 7* (4), 46-60. doi:https://doi.org/10.24840/2183-6493_007.004_0004

- Socconini, L. (2021). *Lean Six Sigma Yellow Belt. Certification Manual*. Madrid, España: Marge Books.
- 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. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rces/v39n3/0257-4314-rces-39-03-e19.pdf>.
- Suárez Maldonado, J. (2021). *Operaciones auxiliares de mantenimiento de sistemas microinformáticos. IFCT0108*. Málaga, España: IC Editorial.
- Sugiharjo, A., & Surya, A. (2022). Analysis of Model Fd30t-17 Forklift Brakes on Availability in Waste Processing Companies. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin* 3 (1), 27-40. Obtenido de <https://doi.org/10.37373/jttm.v3i1.126>
- Tafur Joaquin, L. (2022). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad operativa en vehículos ligeros de la empresa Wigo Motors, 2022 (Tesis de Licenciatura)*. Lima, Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/31569>
- Tao, X., Mårtensson, J., Warnquist, H., & Pernestål, A. (2022). Short-term maintenance planning of autonomous trucks for minimizing economic risk. *Reliability Engineering & System Safety* Vol 220, 108251. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108251>
- Trashorras Montecelos, J. (2022). *Mantenimiento de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo S.A.
- Valderrama, S. (2019). *Pasos para Elaborar Proyectos de investigación Científica*. Lima: Editorial San Marcos.
- Valdivia Miranda, C. (2020). *Sistemas informáticos y redes locales*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo S.A.
- Wei, S., Nourelfath, M., & Nahas, N. (2023). Analysis of a production line subject to degradation and preventive maintenance. *Reliability Engineering & System Safety* Vol 230, 108906. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108906>

ANEXOS

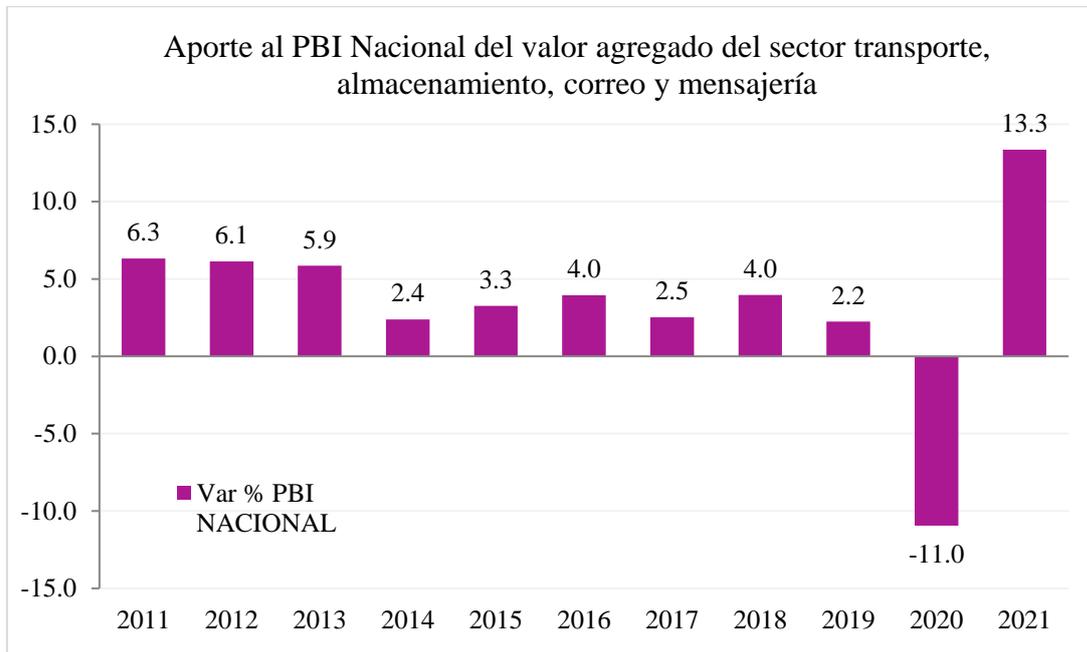
Anexo 1 Evolución del PBI de transporte	88
Anexo 2 Aporte al PBI Nacional del valor agregado	89
Anexo 3 Matriz de Consistencia.....	90
Anexo 4 Tasa de interés pasiva para el cálculo del COK.....	91
Anexo 5 Bases teóricas de variables MCC y Disponibilidad.....	92
Anexo 6 Matriz de Operacionalización	103
Anexo 7 Instrumentos de recolección de datos	104

Anexo 1 Evolución del PBI de transporte



Nota. Adaptado de INEI (2023)

Anexo 2 Aporte al PBI Nacional del valor agregado



Nota. Adaptado de MTC (2022)

Anexo 3 Matriz de Consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Metodología
¿En qué medida la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad incrementa la disponibilidad de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos?	Aplicar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para incrementar la disponibilidad operativa de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.	La aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad incrementa la disponibilidad operativa de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.	Enfoque: Cuantitativo Tipo de investigación: Aplicada
<p>Específicos</p> <p>¿En qué medida la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad incrementa el tiempo medio entre fallas de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos?</p> <p>¿En qué medida la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad reduce el tiempo medio para reparaciones de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos?</p> <p>¿Cuál es el impacto económico de la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos?</p>	<p>Específicos</p> <p>Determinar en qué medida la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad incrementa el tiempo medio entre fallas de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.</p> <p>Determinar en qué medida la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad reduce el tiempo medio para reparaciones de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.</p> <p>Evaluar cuál es el impacto económico de la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.</p>	<p>Específicos</p> <p>La aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad incrementa el tiempo medio entre fallas de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.</p> <p>La aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad reduce el tiempo medio para reparaciones de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.</p> <p>Se genera un impacto económico positivo de la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad de la flota vehicular en una empresa de transporte de materiales peligrosos.</p>	<p>Nivel de investigación: Explicativa</p> <p>Corte temporal: Longitudinal</p> <p>Diseño de investigación: Pre-experimental</p> <p>Técnica: Análisis de datos secundarios</p> <p>Instrumento: Base de datos de la flota vehicular</p> <p>Análisis de datos: Estadística descriptiva e inferencial</p>

Anexo 4 Tasa de interés pasiva para el cálculo del COK

Ingrese fecha: (dd/mm/aaaa)

Tasas Pasivas Anuales de las Operaciones en Moneda Nacional Realizadas en los Últimos 30 Días Útiles Por Tipo de Depósito al 09/05/2023

Moneda Nacional

Tasa Anual (%)	Depósitos de Ahorro	Depósitos a Plazo					Depósitos a Plazo	Depósitos CTS
		Hasta 30 días	31-90 días	91-180 días	181-360 días	Más de 360 días		
BBVA	0.56	7.35	7.24	5.54	7.23	6.88	7.28	1.49
Comercio	1.39	4.48	0.28	2.19	5.50	7.20	3.39	5.50
Crédito	0.03	7.37	7.76	7.98	8.17	7.92	7.39	3.43
Pichincha	4.31	8.49	8.24	8.68	8.47	8.65	8.48	5.17
BIF	3.13	8.05	7.80	7.78	7.99	8.08	8.04	4.55
Scotiabank	1.18	7.50	8.04	7.50	7.95	6.88	7.52	0.78
Citibank	0.01	4.03	4.02	-	-	-	4.03	-
Interbank	0.48	7.76	8.18	8.28	8.20	7.92	7.84	2.50
Mibanco	0.43	8.30	7.63	7.86	8.07	6.37	8.19	5.48
GNB	4.09	8.27	8.14	8.29	8.41	8.49	8.30	-
Falabella	2.74	7.79	8.42	8.23	6.57	8.04	7.78	5.14
Santander	-	7.71	8.06	7.95	8.04	7.66	7.75	-
Ripley	0.21	-	-	6.62	8.50	8.72	8.18	6.50
Alfin	0.41	1.00	1.73	2.00	5.46	8.47	6.95	-
ICBC	-	6.50	-	-	-	-	6.50	-
Bank of China	-	-	-	-	-	-	-	-
BCI	-	7.64	7.70	-	7.45	-	7.64	-
Promedio	0.31	7.60	7.81	7.77	7.78	7.35	7.81	3.08

Tasa Anual (%)	Depósitos a Plazo para Personas Naturales					Depósitos a Plazo para Personas Jurídicas				
	Hasta 30 días	31-90 días	91-180 días	181-360 días	Más de 360 días	Hasta 30 días	31-90 días	91-180 días	181-360 días	Más de 360 días
BBVA	2.19	3.24	5.09	6.11	6.46	7.36	7.64	7.41	7.51	7.79
Comercio	-	0.73	7.13	6.75	7.20	4.48	0.28	1.34	0.25	-
Crédito	4.99	5.48	7.23	7.66	7.86	7.37	7.92	8.56	8.48	8.27
Pichincha	0.16	2.10	3.79	8.37	8.30	8.49	8.25	8.70	8.69	8.72
BIF	0.85	5.32	7.82	8.26	8.20	8.05	7.84	7.76	7.58	8.02
Scotiabank	1.42	5.73	7.51	7.71	7.42	7.50	8.24	7.47	8.14	3.16
Citibank	-	-	-	-	-	4.03	4.02	-	-	-
Interbank	-	5.72	8.00	7.55	7.92	7.76	8.29	8.45	8.20	7.80
Mibanco	2.16	2.92	3.92	8.04	4.49	8.33	8.14	8.69	8.17	8.11
GNB	-	-	-	8.19	7.64	8.27	8.14	8.29	8.45	8.51
Falabella	0.11	0.80	0.96	4.34	8.03	7.79	8.53	8.48	8.35	8.10
Santander	-	-	-	-	-	7.71	8.06	7.95	8.04	7.66
Ripley	-	-	6.62	8.50	8.72	-	-	-	-	-
Alfin	1.00	1.73	2.00	5.44	8.46	-	-	-	6.08	9.21
ICBC	-	-	-	-	-	6.50	-	-	-	-
Bank of China	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BCI	-	-	-	-	-	7.64	7.70	-	7.45	-
Promedio	3.08	4.87	7.08	7.53	7.16	7.80	7.99	8.30	7.94	7.93

Bases teóricas

Variable independiente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Según Acuña (2022), el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM es una metodología para el mantenimiento de equipos o máquinas que garantice la disponibilidad de estas. Este fin del RCM se consigue a través de la aplicación de un cuestionario de 7 preguntas que permite conocer el objetivo, razones, modos de falla, consecuencias, entre otras del equipo y otorga una claridad sobre el porqué del uso de esta metodología. Es necesario también dotar al RCM de una serie de tareas, métodos, herramientas que trabajen en conjunto con esta para lograr la disponibilidad máxima de los equipos. También destaca que el análisis del RCM parte de un punto cero, es decir, no es modificado por algún otro examen realizado con anterioridad, de modo que se pueda identificar correctamente los modos de falla que puedan afectar al funcionamiento.

Escaño y Nuevo (2021) describen la importancia de contar con planes de mantenimiento, de modo que se prevea los posibles fallos que puedan surgir, así como diseñar métodos para afrontarlos. Este fin conlleva a la existencia de tres tipos de mantenimiento, a las cuales pueden recurrir las empresas según el caso que se observe: mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo. El mantenimiento correctivo busca corregir los fallos de los equipos e instalaciones al momento que surgen; el preventivo busca evitar la aparición de los fallos actuando antes de que ocurra, y estando atentos a las señales; el predictivo es una técnica más sofisticada consistente en la elaboración de modelos de predicción teniendo como inputs las variables de planta.

Naturalmente, según Jakkula et al. (2020) también inciden en la importancia de estimar valoraciones en las acciones tomadas para el mantenimiento. Los puntos por tomar en cuenta son el tiempo destinado al mantenimiento, la cualificación del operario que realizó la labor, tiempo de desplazamiento de los recursos necesarios, etc. En este último punto, al considerarse los materiales o recursos también se valoran a través de la elaboración de un

presupuesto. Así, en este va incluido todos los puntos mencionados, cantidad, totales, costos, de manera detallada para así conocer la valoración total del mantenimiento.

Siguiendo a Jiménez (2022), este desarrolla el mantenimiento en el caso de los sistemas mecánicos. Así, señala la importancia de contar con operaciones de mantenimiento dentro de una empresa para asegurar la máxima disponibilidad de los equipos. Realiza una diferencia sobre los bienes de equipo, que son los destinados a al acto de la producción, con los instrumentos destinados a la fabricación.

Otro punto por señalar en Rivas (2017) es la existencia de distintos tipos de mantenimiento: el preventivo, correctivo y predictivo. Es esencial conocer estos pues así se asegura la maximización del tiempo de producción, reducción de costes y maximización de beneficios. Una parada en producción por motivos de mantenimiento debe realizarse de manera programada para minimizar su tiempo al máximo. Para ello es necesario contar a priori con el personal necesario, material, equipos a mantener, métodos de producción y el entorno de trabajo adecuado.

Trashorras (2022) realiza una segmentación de los tipos de mantenimiento existentes en el marco de reparaciones de instalaciones. Señala los tres tipos de mantenimiento principales. El primero es el preventivo, que se basa en la planificación y la programación de acciones a realizar periódicamente para elevar el nivel de fiabilidad de los equipos a mantener. El mantenimiento predictivo consiste en elaborar un diagnóstico del estado de la máquina para conocer si se producirá un fallo en esta más adelante y repararlo antes de que se produzca.

En Wei et al. (2023) se enfoca en el mantenimiento preventivo para la maquinaria industrial en el sector agrícola, destacando que es necesario elaborar un plan de revisión que permita una revisión sistemática. Esta revisión permite unas comprobaciones periódicas para mantener un estado de conservación aceptable y se encarga de mantener una funcionalidad óptima y continua al solucionar los fallos antes de que se presenten.

Asimismo, Rykov y Kochueva (2023) desarrolla más el tipo de mantenimiento preventivo. Destacan la importancia de este en relación con el tipo correctivo, al tener la capacidad de disminuir la aparición de fallos en equipos. La disminución de estos permite una disminución en los costos destinados al mantenimiento, así como el tiempo de paro al fallar. Definen el mantenimiento preventivo como un tipo de mantenimiento proactivo destinado a solventar los fallos antes de que aparezcan identificando posibles deterioros en las máquinas. Su aplicación requiere del uso de rutas de mantenimiento preventivo que asigna una tarea a cada trabajador definiendo sus roles a cumplir.

En Mena et al. (2021) se desarrolla la metodología de aplicación para el mantenimiento preventivo. Se busca mantener el equipo en un estado óptimo de conservación. Para ello requiere de una serie de herramientas, así como de medidas de seguridad. Los pasos por seguir son la desconexión de los equipos eléctricos, retiro de carcasa, desconexión de los componentes propensos a fallar, realizar la reparación y recambio de componentes, reconexión, limpieza del entorno y reconexión del equipo.

Para Misari et al. (2020) el mantenimiento preventivo se da antes de la aparición del fallo o avería. Esta actuación es posible por la revisión constante de los equipos para identificar posibles fallos que puedan darse, ya sea por el desgaste o mal funcionamiento de ciertos componentes. Es un tipo de mantenimiento planificado, siendo la empresa la encargada de establecer un cronograma de revisiones preventivas. Asimismo, esta planificación debe realizarse evitando perjudicar a los clientes al parar la producción e incumplir plazos de entrega.

Según Baq et al. (2019) el mantenimiento predictivo hace uso de técnicas aplicadas en forma interválica o periódica para conocer ciertos aspectos del equipo. Con base en estas características, la experiencia dicta que, a partir de cierto rango de uso la máquina empezará a fallar por lo que se toman medidas antes de llegar a ese nivel de umbral. De manera similar al anterior, la aplicación de este mantenimiento debe realizarse evitando afectar al ritmo de producción normal y, por consiguiente, a los plazos de entrega con los clientes.

Suárez (2021) desarrolla la evaluación para el mantenimiento correctivo en sistemas microinformáticos. Señala que este mantenimiento se da en el momento en que empieza a fallar el equipo, aunque previamente se debe realizar un diagnóstico que constate si es viable el funcionamiento a pesar de la presencia del fallo. Se deben considerar varios puntos, siendo la gravedad del fallo y la importancia del equipo que se discute los que se deben considerar para la decisión a tomar. Estas decisiones pasan por reparaciones momentáneas o permanente, según sea el caso y la disponibilidad de recursos y tiempo. También es de destacar que, si se realiza un buen mantenimiento preventivo y predictivo se minimiza la ocurrencia de fallos inesperados, con lo que se evita la pérdida de tiempo y aumento de costos en el mantenimiento correctivo.

Para Medialdea y Corrales (2017) el último tipo de mantenimiento es el correctivo, que consiste en la suma de acciones que se llevan a cabo una vez la máquina ha sufrido el fallo y se encuentra inoperable. Es de destacar que los dos primeros se encuentran dentro de lo que son los mantenimientos programados al tratar de anticiparse a la aparición del fallo mientras que el último es un mantenimiento no programado al ocurrir debido al desconocimiento del estado de la máquina.

Fernandes et al. (2019) desarrollan la forma de llevarse a cabo las metodologías de predicción para la mantenibilidad, las cuales requieren de seguir una serie de pasos. En primer lugar, se debe revisar información histórica sobre casos similares y recabar los datos de estos. Luego, se descomponen las tareas del mantenimiento de manera que se pueda abarcar profundamente al producto y, posteriormente, asignar tiempos por cada tarea. Finalmente, se aplica un método consistente en establecer una ecuación que relaciona el tiempo dedicado al mantenimiento con las características del producto, variables sobre el personal de mantenimiento y variables sobre el ambiente. Para este último paso es necesario conocer el ciclo típico en un proceso de mantenimiento. inicialmente cuando ocurre el fallo se debe notificar al personal correspondiente, el cual preparará los materiales necesarios, comenzarán la reparación, identificarán el fallo, aislarán la pieza responsable de ello, se reemplaza, y se vuelve a montar la máquina.

Otro punto que Guerrero (2018) señala es la necesidad del buen diseño de una mantenibilidad para el correcto diseño del producto. No contar con lo primero trae consecuencias negativas como un aumento de costos por mantenimiento en el futuro o innecesarias fases de reemplazo de maquinaria. Para ello señalan ciertas características que deben cumplir: priorizar siempre la fiabilidad, construcción modular en la fase de diseño, considerar el desecho de una máquina en caso su coste de reparación sea elevado, entre otras. Son diversas las variables que hay que considerar por lo que siempre es necesario un buen diagnóstico para no cometer errores más adelante.

Siguiendo a Moreno (2022) se destaca la importancia del proceso de mantenimiento y reparación en talleres para vehículos, en la que señala la necesidad de contar con materiales y materia prima dentro de estos. La instalación en donde se desarrolla la actividad fue construida con materiales que deben ser de buena calidad para evitar posibles accidentes futuros. El equipamiento para la instalación también es importante, pues es la fuente con la que trabajará el personal por lo que se debe contar con las herramientas necesarias, así como capacitación para su correcta manipulación.

Dentro del contexto de mantenimiento, Afefy et al. (2019) señala la existencia de cinco niveles de aplicación del mantenimiento correctivo. Estos niveles se separan según división temporal, siendo el primer nivel la observación diaria y hecha por el usuario que maneje el sistema. El segundo nivel estriba en la observación semanal, consistente en la ejecución de pruebas para verificar el buen funcionamiento. El tercer nivel pasa por una inspección menor de pruebas de rendimiento y funcionamiento de los dispositivos. El cuarto nivel se trata de una inspección general en la que previamente se realiza la desconexión del sistema para la limpieza y optimización de los dispositivos. El quinto nivel es una inspección de control de calidad hecha a largo plazo y que busca identificar si existen posibles errores al instalar o agregar algún nuevo equipo o programa. Es de apuntar también que, hasta el cuarto nivel, las acciones asignadas al nivel anterior se van acumulando.

De acuerdo con Arcenegui (2022), realiza una clasificación sobre los tipos de mantenimiento. En primer lugar, comienza por el mantenimiento correctivo el cual se realiza

luego de haberse presentado la avería o el fallo. La aparición de este tiene muchas implicancias dentro de la empresa puesto que genera un cese en la producción lo que disminuye los posibles beneficios económicos. Asimismo, asumir estos fallos aumentarán los costos destinados al mantenimiento puesto que la reparación resultará mayor que si no se hubiese presentado. Es un tipo de mantenimiento no programado pues la aparición del fallo se da de manera sorpresiva por lo que se suman costes de personal al no haber sido planificado.

Dimensiones:

- Dimensión 1: Tareas de mantenimiento

Según Cárcel (2014) las tareas de mantenimiento son aquellas labores que se planifican dentro del sistema de operaciones para conservar los equipos en óptimo estado de funcionamiento, en tanto que estas tareas tienen una incidencia directa en el desempeño y garantiza que la inversión en este rubro sea beneficiosa para la empresa. En este sentido, es necesario identificar los aspectos más sensibles en el funcionamiento de los equipos a fin de plantear labores que permitan incrementar la disponibilidad y adecuado desempeño para reducir las amenazas y peligros (p.132). Para conocer el nivel de cumplimiento se presenta la siguiente expresión matemática.

Ecuación 1 Cálculo de la confiabilidad de las tareas de mantenimiento (TM)

$$TM = \frac{\textit{Tareas de mantenimiento ejecutadas}}{\textit{Tareas de mantenimiento programadas}} * 100\%$$

- Dimensión 2: Confiabilidad del proceso

Según Casas y Barona (2019) la confiabilidad es un elemento importante dentro del sistema de mantenimiento, en tanto que permite verificar que el proceso se cumple de forma adecuada y según los parámetros establecidos en la planificación. En otras palabras, la confiabilidad de un proceso es clave puesto que determina lo que debe de hacerse para que

un activo, maquinaria o elemento físico continúe con el adecuado desempeño de sus funciones; por lo tanto, las supervisiones son un aspecto clave para la metodología (p.187).

Para calcular el nivel de confiabilidad del proceso se menciona siguiente fórmula:

Ecuación 2 Cálculo de la confiabilidad del proceso (CP)

$$CP = \frac{\textit{Supervisiones del proceso realizadas}}{\textit{Supervisiones del proceso programadas}} * 100\%$$

- Dimensión 3: Nivel de prioridad de riesgo

De acuerdo con Socconini (2021) el análisis del nivel de prioridad de riesgo dentro del estudio modal de fallas y efectos permite indicar la capacidad del sistema en términos de riesgo y probabilidad de fallo, en tanto que a partir del análisis de la frecuencia, gravedad y dificultad de detección es posible estimar el impacto negativo de las fallas dentro del sistema de operaciones. El cálculo es posible a través de la a partir de una escala de valoración del nivel de severidad, ocurrencia y detección; es posible estimar el riesgo posible a través de la siguiente ecuación (p.239)

Ecuación 3 Cálculo del nivel de prioridad de riesgo (NPR)

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

De forma complementaria, en Suárez y Nieto (2020) se presenta una clasificación del NPR según el nivel de riesgo y la prioridad de los trabajos a desarrollar; para ello se presenta la tabla a continuación.

Clasificación del número de prioridad de riesgo

Puntuación NPR	Nivel de riesgo	Decisión	Prioridad
1-27	Riesgo bajo	Riesgo aceptado (RA)	No es necesario aplicar acciones para reducir el riesgo
28-75	Riesgo medio	Riesgo rechazado (RR)	Recomendable aplicar acciones en el mediano plazo
76-125	Riesgo alto	Riesgo rechazado (RR)	Es necesario desarrollar acciones en el corto plazo

Fuente: Suárez y Nieto (2020)

Se comenta que el nivel de riesgo bajo corresponde a puntuaciones de 1 a 27, en tanto que no es necesario aplicar acciones para reducir el riesgo porque es aceptable aun. Luego el riesgo medio abarca los puntajes de 28 a 75, los cuales requieren aplicar acciones en el mediano plazo y finalmente, el riesgo algo es de 76 a 125 y es un nivel rechazado por lo que se deben aplicar acciones en el menor tiempo posible.

Variable dependiente: Disponibilidad

Fernández de la Calle (2020) define a la disponibilidad como la probabilidad de que un equipo en un momento dado pueda operar con éxito donde se observa que la disponibilidad depende del MTBF y del MTTR. Asimismo, traza una serie de definiciones relacionadas al mantenimiento, empezando por los parámetros de tiempo, en específico, el MTBF (tiempo medio total entre fallos) que depende del MTTR (tiempo medio para reparaciones) y del MTTF (tiempo medio entre fallos seguros). El cálculo de la disponibilidad y su formalización matemática es como sigue:

Ecuación 4 Cálculo de la disponibilidad

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF}$$

Dónde:

MTBF: Tiempo medio entre fallas

MTTR: Tiempo medio para reparaciones

Caballero y Clavero (2016) continúan con ciertas definiciones para el contexto del mantenimiento en un equipo, estableciendo la alta disponibilidad como una característica que busca asegurar la disponibilidad operativa del equipo en un cierto período, a través de la ejecución de la supresión de puntos de fallo únicos, confiabilidad en el proceso de datos y la identificación de los fallos que aparezcan, de esta forma se asegurará esta alta disponibilidad. Siguiendo a García (2016) señala que la disponibilidad operativa se refiere a la capacidad de un equipo para que mantenga su funcionalidad, aún si no se encuentre operativa, evitando la ocurrencia de fallos.

Siguiendo a Novoa (2022), este define la fiabilidad dentro del contexto del mantenimiento y disponibilidad. señala que la fiabilidad es la capacidad de cumplir con el objetivo establecido en el plazo determinado con anterioridad. El seguimiento de la fiabilidad en una máquina se vale de ciertos parámetros los cuales son el tiempo medio entre fallos (MTBF) y el tiempo medio para reparaciones (MTTR). Es necesario conocer ambos y entender la importancia en el análisis de la operatividad de las máquinas. El MTBF es el tiempo existente entre que se presenta un fallo y otro, y el MTTR es el tiempo que se tarda en la reparación de un equipo. Considerando la fiabilidad de toda la instalación, se debe considerar con mayor relevancia al MTTR en relación con el MTB. Esto se debe a que, al presentarse un fallo inevitablemente se tendrá que parar la producción por lo que es necesario minimizarlo incrementando así la disponibilidad global.

Dado la importancia del mantenimiento, Juran et. al. (2021) definen las etapas para un buen programa de mantenibilidad, las cuales son la planificación, aplicación, medición y evaluación. La planificación es la primera fase que se encarga de describir las acciones a tomar, definir las exigencias y capacidades técnicas con las que se cuenta y recabar datos necesarios sobre mantenimiento previo. Es necesario también contar con un objetivo para el cual se está realizando el mantenimiento, repartido a través de todas las partes del producto al que se lo está aplicando. En la medición se debe contar con ciertos indicadores que permitan realizar un seguimiento sobre la efectividad del tratamiento, siendo estos el tiempo medio de mantenimiento, de reparación, de paro, coste de mantenimiento por unidad de tiempo y disponibilidad. El último paso es la evaluación que consiste en un análisis de las

exigencias realizadas durante las fases anteriores e identificar oportunidades de mejora a partir de ella.

Para Casas y Barona (2019) la selección del taller más adecuado se lleva a cabo según las reparaciones de maquinaria, es necesario que cumplan ciertos parámetros que se describe. Debe contar con un equipo profesional y preparado para ofrecer garantía de un trabajo exitoso, debe contar con la documentación y los permisos en regla, entregar el presupuesto en caso sea solicitado a los clientes. También es importante considerar el tiempo de reparación que tardará y el que más complica la elaboración del presupuesto. Para ello se deben de considerar tanto la carga de trabajo presente como la duración estimada que tardará la reparación. Asimismo, se deben considerar otras variables más como el tipo de reparación y los costos de las piezas de repuesto necesarias.

Valdivia (2020) desarrolla el mantenimiento en el contexto de un sistema; en esa línea, considerando los tres tipos de mantenimiento, señala que cada una posee tareas que deben cumplirse para un estado óptimo de los sistemas. Dentro del mantenimiento predictivo se aplican herramientas de diagnóstico para conocer el estado de los sistemas y se aplica en forma continua de modo que se puedan tomar medidas al conocer el momento aproximado en que el equipo falle. El mantenimiento preventivo se realiza de manera más reiterada pues permite reducir el riesgo de falla y, generalmente, las empresas elaboran planes preventivos propios de acuerdo con sus necesidades. El mantenimiento correctivo tiene como función reemplazar los componentes que ya hayan fallado y se realizan de acuerdo con el diagnóstico del mantenimiento preventivo.

- **Dimensión 1: Tiempo medio entre fallas**

Continuando con Fernández (2020) quien definió algunos términos concernientes al mantenimiento, como el tiempo medio entre fallos, el tiempo medio entre reparaciones y el tiempo máximo permitido para reparación; enfocando en el MTBF señala que es el tiempo

que transcurre entre que ocurre una falla y otra. También aporta la formalización para el cálculo:

Ecuación 5 Cálculo de tiempo medio entre fallas (MTBF)

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total de funcionamiento}}{\textit{N}^\circ \textit{ de fallos}}$$

- **Dimensión 2: Tiempo medio para reparaciones**

Una siguiente definición que da Fernández (2020) es el tiempo medio para reparaciones (MTTR) el cual se refiere al tiempo que toma la reparación o remiendo de una máquina una vez esta haya fallado, de modo que se calcula como se muestra en la ecuación:

Ecuación 6 Cálculo de tiempo medio para reparaciones (MTTR)

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total de inactividad}}{\textit{N}^\circ \textit{ de fallos}}$$

Anexo 6 Matriz de Operacionalización

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM es una metodología para el mantenimiento de equipos o máquinas que garantice la disponibilidad de estas, la cual permite conocer el objetivo, razones, modos de falla, consecuencias, y su prevención oportuna (Acuña, 2022)	El mantenimiento centrado en la confiabilidad es medido mediante tres dimensiones, tales son: las tareas de mantenimiento y la confiabilidad del proceso y el nivel de prioridad de riesgo	Tareas de mantenimiento	$= \frac{\text{Tareas de mantenimiento ejecutadas}}{\text{Tareas de mantenimiento programadas}} * 100\%$	Tareas de mantenimiento ejecutadas
			Confiabilidad del proceso	$= \frac{\text{Supervisiones del proceso realizadas}}{\text{Supervisiones del proceso programadas}} * 100\%$	Tareas de mantenimiento programadas
					Supervisión realizada
			Nivel de prioridad de riesgo	$= \text{Severidad} * \text{Ocurrencia} * \text{Detección}$	Supervisión programada
					Severidad
					Ocurrencia
Detección					
Disponibilidad de flota vehicular	La disponibilidad se define como la probabilidad de que un equipo en un momento dado pueda operar con éxito donde se observa que la disponibilidad depende del tiempo medio total entre fallos y el tiempo medio para reparaciones (Fernández de la Calle, 2020)	La disponibilidad operativa de la flota vehicular es medida a través de sus dimensiones, tales como: Tiempo medio entre fallas y tiempo medio para reparaciones	Tiempo medio entre fallas	$= \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Nº de fallos}}$	Tiempo total de funcionamiento
			Tiempo medio para reparaciones	$= \frac{\text{Tiempo total de inactividad}}{\text{Nº de fallos}}$	Número total de fallas
					Tiempo Total de inactividad o parada
					Número total de fallas

Anexo 7 Instrumentos de recolección de datos

Ficha de recolección del MTBF				
Área		Hoja		
Encargado:		Termino		
		Final		
		Tiempo transcurrido		
		Operario		
Comentarios		Ficha numero		
		Observado por		
		Fecha		
Fecha	Horas de operación	Número de fallas	MTBF	OBS
Dia 1				
Dia 2				
Dia 3				
Dia 4				
Dia 5				
Dia 6				
Dia 7				
Dia 8				
Dia 9				
Dia 10				
Dia 11				
Dia 12				
Dia 13				
Dia 14				
Dia 15				
Dia 16				
Dia 17				
Dia 18				
Dia 19				
Dia 20				
Dia 21				
Dia 22				
Dia 23				
Dia 24				
Dia 25				
Dia 26				
Dia 27				
Dia 28				
Dia 29				
Dia 30				

Ficha de recolección del MTTR				
Área		Hoja		
Encargado:		Termino		
		Final		
		Tiempo transcurrido		
		Operario		
Comentarios		Ficha numero		
		Observado por		
		Fecha		
Fecha	Horas de reparaciones	Número de fallas	MTTR	OBS
Dia 1				
Dia 2				
Dia 3				
Dia 4				
Dia 5				
Dia 6				
Dia 7				
Dia 8				
Dia 9				
Dia 10				
Dia 11				
Dia 12				
Dia 13				
Dia 14				
Dia 15				
Dia 16				
Dia 17				
Dia 18				
Dia 19				
Dia 20				
Dia 21				
Dia 22				
Dia 23				
Dia 24				
Dia 25				
Dia 26				
Dia 27				
Dia 28				
Dia 29				
Dia 30				

Ficha de recolección de DISPONIBILIDAD				
Área		Hoja		
Encargado:		Termino		
		Final		
		Tiempo transcurrido		
		Operario		
Comentarios		Ficha numero		
		Observado por		
		Fecha		
Fecha	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD	OBS
Dia 1				
Dia 2				
Dia 3				
Dia 4				
Dia 5				
Dia 6				
Dia 7				
Dia 8				
Dia 9				
Dia 10				
Dia 11				
Dia 12				
Dia 13				
Dia 14				
Dia 15				
Dia 16				
Dia 17				
Dia 18				
Dia 19				
Dia 20				
Dia 21				
Dia 22				
Dia 23				
Dia 24				
Dia 25				
Dia 26				
Dia 27				
Dia 28				
Dia 29				
Dia 30				