



UNIVERSIDAD
**SAN IGNACIO
DE LOYOLA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial y Comercial

MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE UNIDADES EN UNA EMPRESA DE ALQUILER DE VEHÍCULOS

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero
Industrial y Comercial**

ADRIÁN PAOLO MORI PALACIOS
(0000-0002-8397-1333)

Asesor:
Mg. Tulio Elias Florián Castillo
(0000-0002-7748-2699)

Lima - Perú
2021

JURADO DE LA SUSTENTACION ORAL

.....

Presidente

.....

Jurado 1

.....

Jurado 2

Entregado el:

Aprobado por:

.....

Mori Palacios, Adrián

Graduando

.....

Mg. Florián Castillo, Tulio

Asesor de Tesis

UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA FACULTAD DE INGENIERIA**DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Adrián Paolo Mori Palacios, identificado/a con DNI N° 46537630 Bachiller del Programa Académico de la Carrera de Ingeniería Industrial y Comercial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola, presento mi tesis titulada:

MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE UNIDADES EN UNA EMPRESA DE ALQUILER DE VEHÍCULOS.

Declaro en honor a la verdad, que el trabajo de tesis es de mi autoría; que los datos, los resultados y su análisis e interpretación, constituyen mi aporte. Todas las referencias han sido debidamente consultadas y reconocidas en la investigación. En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad u ocultamiento de la información aportada. Por todas las afirmaciones, ratifico lo expresado, a través de mi firma correspondiente.

Lima, Setiembre de 2021

.....

Adrián Mori Palacios

DNI N° 46537630

Epígrafe

“No te distraigas pensando que algo puede funcionar cuando no lo está haciendo, o te vas a quedar permanentemente en una solución equivocada”.

Elon Musk, (2016)

Índice

Índice de Figuras.....	xi
Dedicatoria.....	xvii
Agradecimiento.....	xviii
Resumen.....	xix
Abstract.....	xxi
Capítulo I: Introducción.....	1
Capítulo II: Planteamiento del Problema.....	3
2.1. Situación Problemática	3
2.2. Formulación del Problema.....	11
2.2.1. Problema General.....	11
2.2.2. Problemas Específicos	11
2.3. Justificación de la Investigación	11
2.3.1. Teórica	12
2.3.2. Práctica.....	12
2.3.3. Social.....	12
2.4. Objetivos de la Investigación.....	13
2.5. Alcances.....	13
Capítulo III: Marco Teórico.....	15
3.1. Antecedentes del Problema.....	15
3.1.1. Antecedentes Internacionales.....	15
3.1.2 Antecedentes Nacionales	18
3.2. Bases Teóricas	20
3.2.1. La Confiabilidad, la Disponibilidad y la Mantenibilidad	20

3.2.2. Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC) para la Planeación del Mantenimiento Empleando Criterios de Riesgo y Confiabilidad	21
3.2.3. Importancia de la Criticidad.....	22
3.2.4. Enfoques de Mantenimiento para Diferentes Métodos de Producción.....	27
3.2.5. Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) Considerando Taxonomía de Equipos, Bases de Datos y Criticidad de Efectos	33
3.3. Marco Conceptual.....	40
3.3.1. Realibility Centered Maintenance (RCM).....	40
3.3.2 RCM y las 7 Preguntas Elementales	41
3.3.3. Metodología del RCM	44
3.3.4. Aplicación de la Lógica RCM	45
3.3.4.1. Formación del Equipo Natural de Trabajo.....	45
3.3.4.2. Selección del Sistema y Definición del Contexto Operacional.	47
3.3.4.3. Análisis del Contexto Operacional.	48
3.3.4.4. Desarrollo del Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Fallos.	50
3.3.4.4.1 Definición de Funciones y Estándares de Ejecución	52
3.3.4.4.2. Definición de Fallos Funcionales.....	53
3.3.4.4.3. Definición de Modos de Fallos.	53
3.3.4.4.4. Definición de los Efectos y Consecuencias de los Modos de Fallos.	54
3.3.4.5. Proceso de Selección de Estrategias de Mantenimiento.....	57
3.3.4.5.1. Tareas Programadas en Base a Condición.....	59
3.3.4.5.2. Tareas de Reacondicionamiento.....	59
3.3.4.5.3. Tareas de Sustitución Programada.	60

3.3.4.5.4. Tareas de Fallos Ocultos.	60
3.3.4.5.5. Rediseño.	60
3.3.4.5.6. Actividades de Mantenimiento no Programado.	61
3.3.6. Técnica de Análisis de Criticidad	61
3.3.7. Número de Prioridad de Riesgo (NPR)	66
3.3.7.1. Gravedad (G).	67
3.3.7.2. Ocurrencia (O).	67
3.3.7.3. Detectabilidad (D).	68
Capítulo IV: Hipótesis y Variables	69
4.1. Hipótesis General.....	69
4.2. Hipótesis Específicas	69
4.3. Identificación de Variable.....	70
4.3.1. Variable Independiente: Plan de Mantenimiento.....	70
4.3.2. Variable Dependiente: La Disponibilidad de Unidades Vehiculares.	70
4.4. Operacionalización de Variables	71
4.5 Matriz de Consistencia.....	73
Capítulo V: Metodología	75
5.1. Tipo y Diseño de Investigación	75
5.1.1. Paradigma	75
5.1.2. Enfoque	75
5.1.3. Método	75
5.2. Unidad de Análisis.....	76
5.3. Población de Estudio	76
5.4. Tamaño de Muestra	76

5.5. Selección de Muestra	76
5.6. Técnicas de Recolección de Datos.....	77
5.7. Análisis e Interpretación de la Información.....	77
Capítulo VI: Procedimiento y Método de Análisis.....	78
6.1. Descripción de la Empresa.	78
6.2. Principales Procesos de la Empresa.....	78
6.3. Descripción del Proceso.....	79
6.4. Área en Análisis.....	80
6.5. Diagnóstico del Problema.....	82
6.6. Aplicación de la Metodología del RCM.....	95
6.6.1. Formación del Equipo Natural de Trabajo.....	95
6.6.2. Selección del Sistema	97
6.6.3. Definición del Contexto Operacional	103
6.6.3.1. Resumen Operativo del Sistema.....	103
6.6.3.2. Descripción General del Sistema y sus Equipos.....	103
6.6.3.3. Equipos Principales del Vehículo.....	105
6.6.4 Desarrollo del Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Fallos (FMECA).....	117
6.7. Análisis Costo Beneficio	171
Capítulo VII: Resultados y Discusión	179
7.1. Resultados.....	179
7.2. Discusión de Resultados	186
Capítulo VIII: Conclusiones y Recomendaciones	192
8.1. Conclusiones.....	192
8.2. Recomendaciones	195
Referencias.....	197

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Ventajas y Desventajas de enfoques de mantenimiento</i>	28
Tabla 2 <i>Ejemplo de análisis de modos y causas de falla con OREDA para la parada inesperada de un motor eléctrico</i>	36
Tabla 3 <i>Criterio de detectabilidad (D) para evaluar los efectos de falla</i>	37
Tabla 4 <i>Criterio de severidad (S) para evaluar los efectos de falla</i>	37
Tabla 5 <i>Criterio de ocurrencia (O) para evaluar los efectos de falla</i>	38
Tabla 6 <i>Criterio de semaforización de acuerdo con el valor del NPR</i>	38
Tabla 7 <i>Indicadores relacionados a la variable independiente</i>	70
Tabla 8 <i>Indicadores relacionados a la variable dependiente</i>	71
Tabla 9 <i>Variables más importantes del sistema vehicular</i>	105
Tabla 10 <i>Resultados comparativos del indicador de disponibilidad de unidades vehiculares en los años 2019 y 2021.</i>	155
Tabla 11 <i>Resultados comparativos del indicador Costos de Indisponibilidad vehicular en los años 2019 y 2021</i>	156
Tabla 12 <i>Resultados comparativos del indicador N° de Paradas Promedio Mensual de los años 2019 y 2021</i>	166
Tabla 13 <i>Resultado comparativo del indicador Frecuencia del Tipo de Riesgo del NPR por Equipo en enero del 2019.</i>	167
Tabla 14 <i>Resultado comparativo del indicador Frecuencia del Tipo de Riesgo del NPR por Equipo en agosto del 2021.</i>	168
Tabla 15 <i>Distribución del tipo de mantenimiento en los primeros 8 meses del año 2019 y 2021</i>	175
Tabla 16 <i>Distribución de las Horas de Mano de Obra y sus Costos en los primeros 8 meses del año 2019 y 2021.</i>	176

Tabla 17 *Distribución de la Cantidad de Repuestos y sus Costos en los primeros 8 meses del año 2019 y 2021.*.....176

Tabla 18 *Resumen de los costos asociados al análisis Costo-Beneficio de los primeros 8 meses de los años 2019 y 2021.*177

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Cantidad de vehículos vendidos en Latinoamérica (2018-2019) (en miles)</i>	3
Figura 2 <i>Comportamiento de la importación de vehículos livianos en el Perú (2018-2019)</i> ..	4
Figura 3 <i>Cantidad de vehículos Livianos y Pesados vendidos mensualmente en el Perú (2016-2020)</i>	5
Figura 4 <i>Venta de vehículos livianos (2012-2020)</i>	6
Figura 5 <i>N° de empresas sancionadas, N° de sanciones y Montos en UIT impuestos por INDECOPI por mal mantenimiento automotriz en el sub sector de mantenimiento automotriz</i>	7
Figura 6 <i>Diagrama de Causa y Efecto</i>	9
Figura 7 <i>Proceso de Gestión de Mantenimiento aplicando el análisis de modos de falla, sus efectos y criticidad, AMFEC</i>	21
Figura 8 <i>Flujograma de Análisis de Criticidad</i>	25
Figura 9 <i>Conocimiento de los enfoques de mantenimiento (entrenamiento formal)</i>	30
Figura 10 <i>Conocimiento de los enfoques de mantenimiento (experiencia en implementación)</i>	30
Figura 11 <i>Conocimiento de los enfoques de mantenimiento por método de producción (capacitación formal)</i>	31
Figura 12 <i>Nivel de conocimiento del enfoque de mantenimiento por método de producción (experiencia en implementación)</i>	32
Figura 13 <i>Pasos adicionales propuestos para la Metodología de RCM</i>	33
Figura 14 <i>Taxonomía de equipos con los niveles taxonómicos</i>	34
Figura 15 <i>Procedimiento de la metodología RCM ampliada</i>	39
Figura 16 <i>Flujograma de implementación del RCM</i>	44
Figura 17 <i>Diagrama de Entrada-Proceso-Salida (EPS)</i>	49

Figura 18 <i>Flujograma del Análisis de los Modos y Efectos de Fallos (FMEA)</i>	51
Figura 19 <i>Flujograma para determinar las consecuencias de modos de fallos</i>	56
Figura 20 <i>Flujograma del árbol lógico de decisiones del RCM</i>	58
Figura 21 <i>Método de Criticidad: Criterio de Frecuencia de Paradas.</i>	63
Figura 22 <i>Método de Criticidad: Criterio de Impacto en Seguridad y Salud.</i>	63
Figura 23 <i>Método de Criticidad: Criterio de Impacto en Medio Ambiente</i>	64
Figura 24 <i>Método de Criticidad: Criterio de Impacto en Producción y/o en los Costos de Mantenimiento.</i>	64
Figura 25 <i>Representación general de la Matriz de Criticidad</i>	65
Figura 26 <i>Criterio del Análisis NPR: Gravedad</i>	67
Figura 27 <i>Criterio del Análisis NPR: Frecuencia</i>	67
Figura 28 <i>Criterio del Análisis NPR: Detectabilidad</i>	68
Figura 29 <i>Matriz de Operacionalización de la variable independiente</i>	72
Figura 30 <i>Matriz de Operacionalización de la variable dependiente</i>	73
Figura 31 <i>Matriz de Consistencia</i>	74
Figura 32 <i>Flujograma de procesos del área de mantenimiento y logística</i>	79
Figura 33 <i>Estructura organizacional del área de mantenimiento</i>	81
Figura 34 <i>Distribución mensual de la disponibilidad mecánica de camionetas Toyota Hilux (%)</i>	83
Figura 35 <i>Distribución de los costos de indisponibilidad y la disponibilidad mecánica de camionetas Toyota Hilux 2018</i>	84
Figura 36 <i>Distribución de los costos de indisponibilidad y la disponibilidad mecánica de camionetas Toyota Hilux (2019)</i>	85
Figura 37 <i>Distribución de los costos de indisponibilidad y la disponibilidad mecánica de camionetas Toyota Hilux (2020)</i>	86

Figura 38 <i>Pérdida de ingresos por indisponibilidad de unidades \$/año</i>	87
Figura 39 <i>Distribución mensual de la disponibilidad mecánica de Buses Hyundai</i>	88
Figura 40 <i>Distribución de los costos de indisponibilidad vs. La disponibilidad mecánica de los buses Hyundai County en el año 2018</i>	89
Figura 41 <i>Distribución de los costos de indisponibilidad vs la disponibilidad mecánica de los buses Hyundai en el año 2019</i>	90
Figura 42 <i>Distribución de los costos de indisponibilidad vs. la disponibilidad mecánica de buses Hyundai en el año 2020</i>	91
Figura 43 <i>Pérdida de ingresos por indisponibilidad mecánica de buses Hyundai (\$/año)</i> ...	92
Figura 44 <i>Número de paradas promedio mensual por equipo en los años 2018 y 2019 de las camionetas Toyota Hilux</i>	93
Figura 45 <i>Integrantes de un equipo de trabajo RCM</i>	95
Figura 46 <i>Equipo RCM en Renting Car</i>	96
Figura 47 <i>Taxonomía de equipos</i>	98
Figura 48 <i>Criterio de Frecuencia de Paradas</i>	99
Figura 49 <i>Criterio de Impacto en Servicio de Alquiler</i>	100
Figura 50 <i>Criterio de Impacto en Seguridad y Salud</i>	100
Figura 51 <i>Criterio de Impacto en Medio Ambiente</i>	101
Figura 52 <i>Niveles de Criticidad</i>	101
Figura 53 <i>Estimación del Factor de Riesgo</i>	102
Figura 54 <i>Representación de los Resultados en la Matriz de Criticidad</i>	103
Figura 55 <i>Dimensiones de vehículo tipo Pickup Toyota Hilux</i>	105
Figura 56 <i>Clasificación de Equipos, Sub-Equipos y Componentes mantenibles del vehículo</i>	106

Figura 57 <i>Clasificación de Equipos, Sub-Equipos y Componentes mantenibles del vehículo Toyota Hilux</i>	107
Figura 58 <i>Diagrama EPS del motor</i>	108
Figura 59 <i>Diagrama EPS de la transmisión</i>	109
Figura 60 <i>Diagrama EPS de los frenos delanteros</i>	111
Figura 61 <i>Diagrama EPS de los frenos posteriores</i>	111
Figura 62 <i>Diagrama EPS del antibloqueo de frenos</i>	113
Figura 63 <i>Diagrama EPS del equipo eléctrico</i>	114
Figura 64 <i>Diagrama EPS del equipo de dirección</i>	115
Figura 65 <i>Diagrama EPS del equipo de transmisión.</i>	116
Figura 66 <i>Escala de número de prioridad de riesgo</i>	118
Figura 67 <i>Rango del puntaje del criterio de Gravedad de riesgo</i>	118
Figura 68 <i>Rango de puntaje del criterio Ocurrencia del riesgo</i>	119
Figura 69 <i>Rango de puntaje del criterio Detectabilidad del riesgo</i>	119
Figura 70 <i>Hoja de información del RCM - Equipo de motor</i>	120
Figura 71 <i>Hoja de información del RCM - Equipo de motor</i>	121
Figura 72 <i>Hoja de información del RCM - Equipo de motor</i>	122
Figura 73 <i>Hoja de información del RCM - Equipo de transmisión</i>	123
Figura 74 <i>Hoja de información del RCM - Equipo de transmisión</i>	124
Figura 75 <i>Hoja de información del RCM - Equipo de transmisión</i>	125
Figura 76 <i>Hoja de información del RCM - Equipo de frenos</i>	126
Figura 77 <i>Hoja de información del RCM - Equipo de frenos</i>	127
Figura 78 <i>Hoja de información del RCM - Equipo eléctrico</i>	128
Figura 79 <i>Hoja de información del RCM - Equipo de dirección</i>	129
Figura 80 <i>Hoja de información del RCM - Equipo de suspensión</i>	130

Figura 81 <i>Hoja de decisión del RCM - Equipo de motor</i>	131
Figura 82 <i>Hoja de decisión del RCM - Equipo de transmisión</i>	132
Figura 83 <i>Hoja de decisión del RCM - Equipo de frenos</i>	133
Figura 84 <i>Hoja de decisión del RCM - Equipo eléctrico</i>	134
Figura 85 <i>Hoja de decisión del RCM - Equipo de dirección</i>	135
Figura 86 <i>Hoja de decisión del RCM - Equipo de suspensión</i>	136
Figura 87 <i>Suma total del NPR de los equipos del vehículo</i>	137
Figura 88 <i>Cantidad de Modos de Fallo vs el Tipo de Riesgo NPR de cada Equipo</i>	138
Figura 89 <i>Plan de mantenimiento para el equipo de motor</i>	140
Figura 90 <i>Plan de mantenimiento para el equipo de transmisión</i>	141
Figura 91 <i>Plan de mantenimiento para el equipo de freno</i>	142
Figura 92 <i>Plan de mantenimiento para el equipo eléctrico</i>	143
Figura 93. <i>Plan de mantenimiento para el equipo de dirección</i>	144
Figura 94 <i>Plan de mantenimiento para el equipo de suspensión</i>	145
Figura 95 <i>Flujograma del área de mantenimiento y de logística – Propuesta</i>	147
Figura 96 <i>Check List Vehicular - Parte 1</i>	149
Figura 97 <i>Check List Vehicular - 2</i>	150
Figura 98 <i>Hoja de Orden de Trabajo (OT)</i>	152
Figura 99 <i>Ficha técnica del indicador: Disponibilidad de Unidades Vehiculares</i>	159
Figura 100 <i>Ficha técnica del indicador: Costos de Indisponibilidad Vehicular</i>	160
Figura 101 <i>Ficha técnica del indicador: Número de Paradas Promedio Mensual por Equipo</i>	161
Figura 102 <i>Ficha técnica del indicador: Frecuencia de Criterios del Número de Prioridad de Riesgo por Equipo</i>	162
Figura 103 <i>Ficha técnica del indicador: Índice de Confiabilidad</i>	163

Figura 104 <i>Ficha técnica del indicador: Tiempo Medio entre Fallas</i>	164
Figura 105 <i>Ficha técnica del indicador: Tiempo Promedio para Reparar</i>	165
Figura 106 <i>Cronograma de Actividades de Capacitación</i>	169
Figura 107 <i>Base de datos del consumo de repuestos por el taller automotriz (2019)</i>	173
Figura 108 <i>Base de datos del consumo de repuestos por el taller automotriz (2021)</i>	174
Figura 109 <i>Distribución Mensual de la Disponibilidad Mecánica de camionetas Toyota Hilux</i> <i>Distribución Mensual de la Disponibilidad Mecánica de camionetas Toyota Hilux (%)</i>	179
Figura 110 <i>Distribución mensual del Costo de Indisponibilidad Mecánica de camionetas Toyota</i>	180
Figura 111 <i>N° de paradas promedio mensual por equipo en los años 2018-2019-2021 de las camionetas Toyota Hilux</i>	182
Figura 112 <i>Gráfico comparativo de la Cantidad de Modos de Fallos vs el Tipo de Riesgo NPR de cada Equipo vs el Cumplimiento del indicador NPR</i>	184
Figura 113 <i>Promedio Anual de la Disponibilidad Mecánica en %</i>	186
Figura 114 <i>Pérdida de ingresos por indisponibilidad mecánica de camionetas Toyota Hilux en \$/año</i>	187
Figura 115 <i>Comparación de la distribución mensual del Costo de Indisponibilidad Mecánica de camionetas Toyota Hilux de los años 2019 y 2021</i>	188
Figura 116 <i>Variación (%) del N° de paradas promedio mensual del año 2021 con respecto al año 2019</i>	189
Figura 117 <i>Variación de la Cantidad de Modos de Fallo vs el Tipo de Riesgo NPR de cada equipo, antes y después de la implementación del RCM</i>	190

Dedicatoria

*A mi familia, por apoyarme en
este proyecto.*

Agradecimiento

A mis padres y a mi hermano por su apoyo incondicional en esta etapa de formación académica.

Resumen

Esta investigación busca explicar lo importante que es para las organizaciones del rubro del alquiler de vehículos, sobre todo en el sector minero, tener un elevado índice de disponibilidad de unidades vehiculares, ya que tener índices de disponibilidad bajos, impacta negativamente en las ganancias de la empresa.

El problema principal que se encontró en la empresa, es que la flota de camionetas Toyota Hilux, no cuenta con una planificación para realizar el mantenimiento a sus unidades, lo cual genera consecuencias como la pérdida de ingresos por tener vehículos indisponibles, frecuencia de fallas elevadas en diversos equipos del vehículo, entre otros.

La propuesta fue desarrollar e implementar una estrategia de mantenimiento basado en la Metodología del RCM, por un equipo de personas del área de mantenimiento de la empresa para así, elaborar un plan de mantenimiento orientado a las condiciones ambientales que están expuestos los vehículos en los socavones mineros y aumentar la disponibilidad de las unidades vehiculares. Asimismo, esta investigación ha sido desarrollada en 8 capítulos:

Primero, tenemos la introducción de la investigación, la cual nos explica de forma general el contexto del proyecto de investigación y hacia dónde va dirigido. La segunda parte, está orientada a explicar la situación problemática de la empresa y el planteamiento metodológico del problema, que está comprendido por la formulación del problema y sus objetivos. El tercer capítulo, está comprendido por el marco teórico, en donde se describen las tesis nacionales e internacionales orientadas a nuestra propuesta de mejora y al sector. También, en este punto encontramos el estado del arte, en donde se explica la importancia de la investigación de artículos científicos que tienen como objetivo darle rigor científico a nuestro proyecto. Asimismo, en este capítulo se desarrolló las bases teóricas de la Metodología del RCM y herramientas complementarias para su desarrollo. En el cuarto capítulo, encontramos la definición de las hipótesis, la operacionalización de la variable

independiente y dependiente y el documento más importante que resume nuestra investigación: La matriz de consistencia. En el quinto capítulo, tenemos la parte metodológica de la investigación, la cual está conformada por un grupo de procedimientos racionales que nos sirven para lograr el objetivo relacionado a la investigación científica. En el capítulo 6, se desarrolló el diagnóstico del problema, presentando información relevante que demuestra la problemática de la baja disponibilidad de unidades vehiculares, se desarrolla la metodología del RCM y se propone el plan de mantenimiento. En el capítulo 7, se exponen los resultados obtenidos al aplicar la Metodología del RCM y su impacto en los indicadores propuestos en la investigación. Los resultados que se obtuvieron con respecto al indicador de Disponibilidad de Unidades Vehiculares fue que se logró un 92 % en promedio en los primeros 8 meses después de la implementación de las mejores propuestas, logrando el objetivo del indicador. Asimismo, con respecto al indicador de Costos por Indisponibilidad Vehicular, se logra una ganancia de \$ 42,624 en los primeros 8 meses desde que se implementaron las mejoras. También, en relación al indicador Número de Paradas Promedio Mensual por Equipo, se obtuvo que el equipo de transmisión, motor y frenos que son los 3 principales equipos con mayores problemas de funcionamiento mecánico han logrado reducir su número de paradas promedio mensual en los primeros 8 meses del año 2021 en un 55%, 39% y 48% respectivamente. Por último, en relación al indicador Frecuencia del Tipo de Riesgo del NPR por Equipo se logró aumentar una frecuencia del tipo de riesgo bajo en un 60%, 80% y 67 % del equipo de transmisión, motor y frenos, respectivamente.

Palabras claves: RCM, Disponibilidad de unidades vehiculares, plan de mantenimiento, flota vehicular.

Abstract

This research seeks to explain how important it is for organizations in the vehicle rental sector, especially in the mining sector, to have a high availability index of vehicle units, since having low availability indexes negatively impacts the profits of the company.

The main problem found in the company is that the fleet of Toyota Hilux trucks does not have a plan to perform maintenance on its units, which generates consequences such as loss of income due to unavailable vehicles, high frequency of failures in various equipment of the vehicle, among others. The proposal was to develop and implement a maintenance strategy based on the RCM Methodology, by a team of people from the company's maintenance area in order to develop a maintenance plan oriented to the environmental conditions that the vehicles are exposed to in the tunnels. miners and increase the availability of vehicle units. Likewise, this research has been developed in 8 chapters:

First, we have the introduction to the research, which explains in a general way the context of the research project and where it is going. The second part is aimed at explaining the problematic situation of the company and the methodological approach to the problem, which is understood by the formulation of the problem and its objectives. The third chapter is comprised of the theoretical framework, which describes the national and international theses aimed at our improvement proposal and the sector. Also, at this point we find the state of the art, which explains the importance of researching scientific articles that aim to give scientific rigor to our project. Likewise, in this chapter the theoretical bases of the RCM Methodology and complementary tools for its development were developed. In the fourth chapter, we find the definition of the hypotheses, the operationalization of the independent and dependent variable and the most important document that summarizes our research: The consistency matrix. In the fifth chapter, we have the methodological part of the research, which is made up of a group of rational procedures that help us to achieve the objective related to scientific

research. In Chapter 6, the diagnosis of the problem was developed, presenting relevant information that demonstrates the problem of the low availability of vehicle units, the RCM methodology is developed and the maintenance plan is proposed. In chapter 7, the results obtained when applying the RCM Methodology and its impact on the indicators proposed in the research are exposed. The results obtained with respect to the Vehicle Unit Availability indicator was that an average of 92% was achieved in the first 8 months after the implementation of the best proposals, achieving the objective of the indicator. Likewise, with respect to the indicator of Vehicle Unavailability Costs, a gain of \$ 42,624 was achieved in the first 8 months since the improvements were implemented. Also, in relation to the indicator Number of Average Monthly Stops by Equipment, it was obtained that the transmission, engine and brake equipment, which are the 3 main equipment with the greatest mechanical performance problems, have managed to reduce their number of average monthly stops in the first 8 months of the year 2021 by 55%, 39% and 48% respectively. Finally, in relation to the indicator Frequency of the Type of Risk of the NPR by Equipment, it was possible to increase a frequency of the type of low risk by 60%, 80% and 67% of the transmission, engine and brake equipment, respectively.

Keywords: RCM, Availability of vehicle units, maintenance plan, vehicle fleet.

Capítulo I: Introducción

Actualmente, las empresas que se dedican al servicio de alquiler de vehículos se encuentran en un entorno de alta competitividad en el mercado, en donde la satisfacción del cliente está altamente relacionada con la disponibilidad de las unidades vehiculares en las operaciones del cliente. Es por ello, que este tipo de empresas buscan la mejora continua en los temas relacionados a la planificación del mantenimiento y en los procesos de mantenimiento y logísticos.

Por lo tanto, la presente investigación busca mejorar la disponibilidad de las unidades vehiculares de la empresa Renting Car S.A.C mediante la implementación de la Metodología del RCM y también con la implementación de nuevos procesos de mantenimiento y logísticos, implementación de indicadores de gestión y mejoras laborales.

En este contexto, la investigación se divide en cuatro partes principales que se describen a continuación:

En primer lugar, en la identificación del problema se encontró una disponibilidad de unidades vehiculares baja, es por este motivo que se decide implementar la Metodología del RCM, planteando como objetivo general determinar cuál es el impacto de la mejora del plan de mantenimiento en la disponibilidad de las unidades vehiculares.

En segundo lugar, se muestra el marco teórico con definiciones relacionadas a la aplicación de la Metodología del RCM, al desarrollo de sus 7 preguntas elementales, definición del Número de Prioridad de Riesgo y la definición de la técnica de criticidad aplicada en esta investigación. Por otro lado, el estado del arte expone la importancia del FMECA en la Metodología del RCM, la importancia de los métodos de análisis de criticidad semi cuantitativos y cualitativos, se expone los enfoques de mantenimiento y sus ventajas comparativas entre diferentes metodologías como el RCM, BCM y TPM, también se describió un método de taxonomía de equipos orientado al RCM, la importancia de los

criterios NPR y un procedimiento ampliado del RCM.

En tercer lugar, se muestra el Diseño Metodológico de la Tesis en donde se plantea que la investigación tiene un diseño no experimental, es explicativa, transversal, tiene un enfoque cuantitativo, un método Bivariado, correlacional y de paradigma positivista.

En cuarto lugar, se muestra el procedimiento y método de análisis en donde se desarrolla la propuesta de implementación de la Metodología del RCM en el contexto operacional de la empresa.

Por último, la investigación muestra la discusión del análisis de los resultados obtenidos después de la implementación del RCM, las conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros.

Capítulo II: Planteamiento del Problema

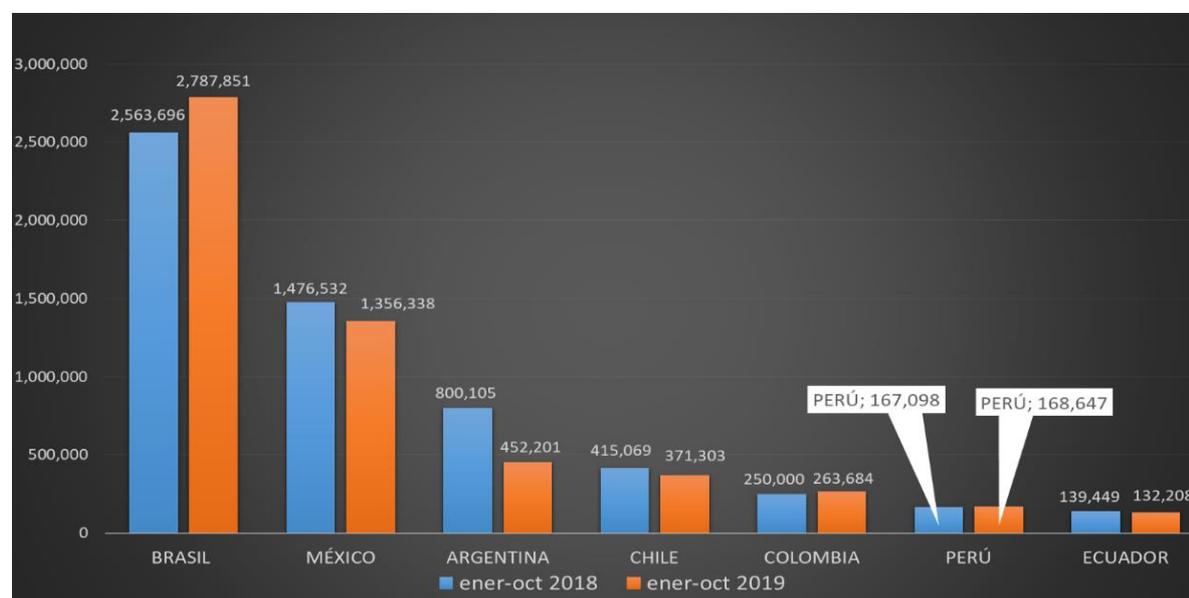
2.1. Situación Problemática

En la actualidad, según la Asociación Automotriz del Perú (AAP, 2020) el parque automotor peruano es pequeño a comparación de los demás países Latinoamericanos y esto se debe principalmente al desarrollo económico de cada país. Por lo tanto, de acuerdo al análisis e información del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF, 2019) tenemos un crecimiento promedio de 4.2 % del PBI entre el periodo del 2016 al 2020, lo que da condiciones económicas para que las personas y empresas adquieran bienes inmobiliarios, automóviles, entre otros.

A continuación, en la figura 1 se presenta la comparación de la cantidad de vehículos vendidos en los años 2018 y 2019, en los países Latinoamericanos.

Figura 1

Cantidad de vehículos vendidos en Latinoamérica (2018-2019) (en miles)



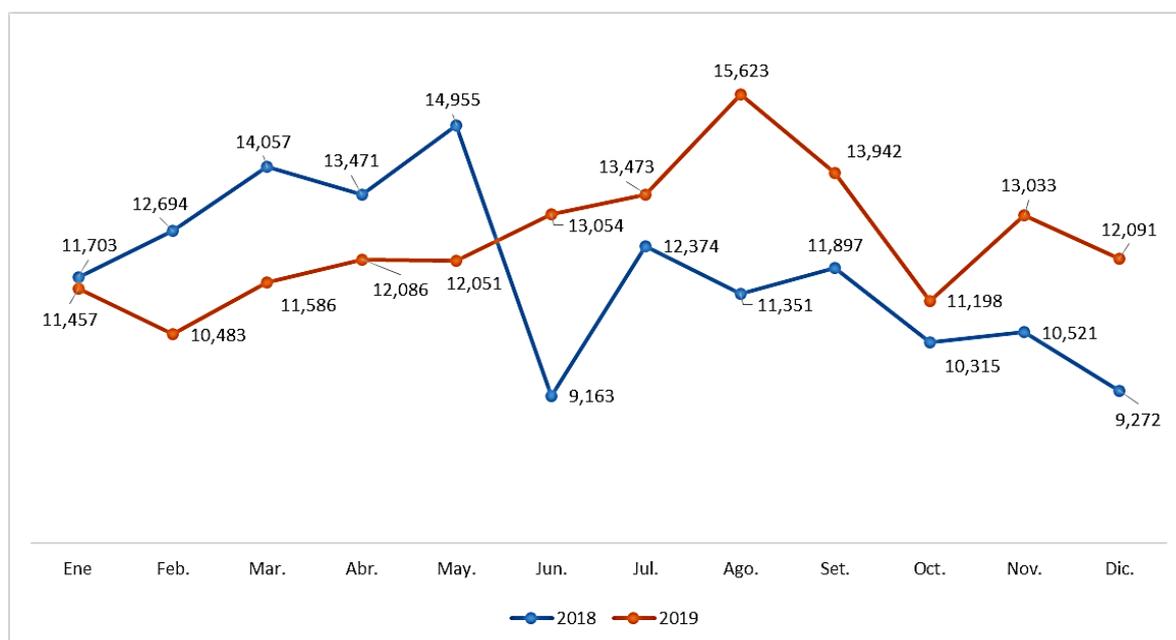
Nota. Adaptado de la Venta de Vehículos Nuevos en los Países de la Región, Asociación Automotriz Peruana, Asociación Automotriz del Perú, 2019, (<https://aap.org.pe/>).

En la figura 1 se puede observar que Brasil es el país que más vehículos vende a nivel Latinoamericano y Ecuador es el país que ha vendido menos vehículos en los años 2018-2019. Asimismo, en el Perú se ha vendido una cantidad de 167,098 vehículos en el 2018 y en el año 2019, se vendió 168,647 vehículos, lo que nos demuestra que este indicador ha mejorado con respecto al año 2018.

A continuación, se presenta la figura 2 en donde se muestra el comportamiento de las importaciones de vehículos livianos en el Perú, en los años 2018 y 2019.

Figura 2

Comportamiento de la importación de vehículos livianos en el Perú (2018-2019)



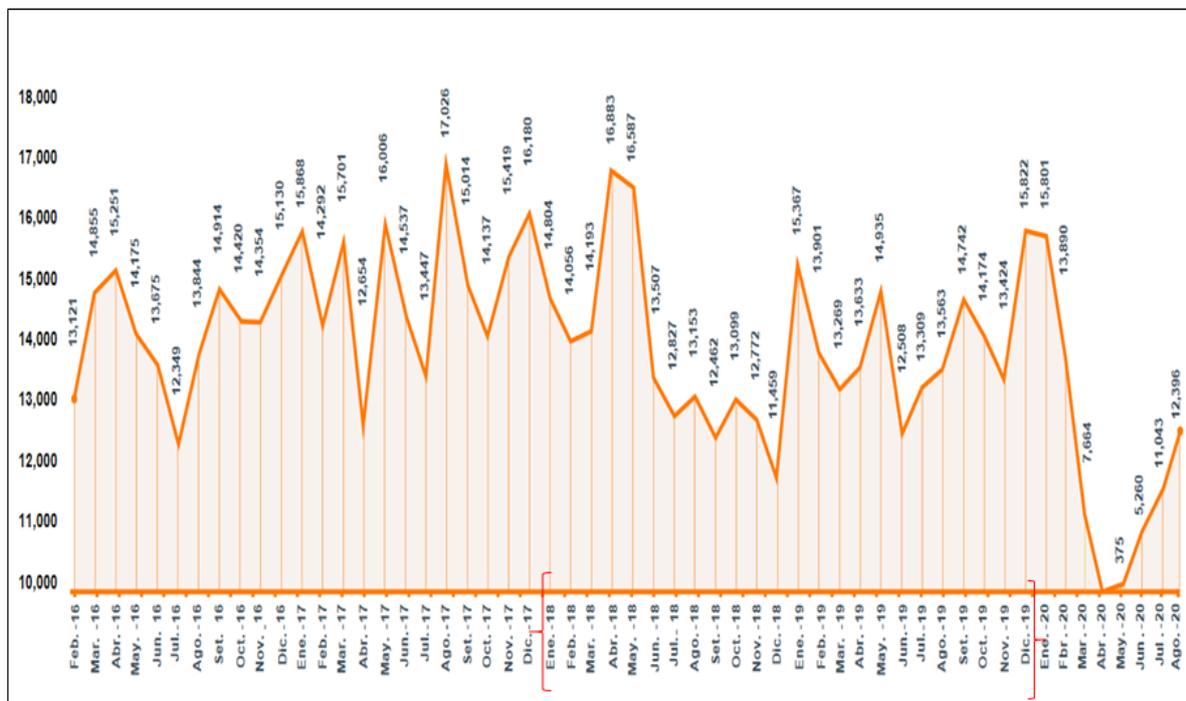
Nota. Adaptado del Informe del Sector Automotriz, Asociación Automotriz del Perú, 2019, (<https://aap.org.pe/>).

En la figura 2 se muestra el comportamiento de la importación de vehículos livianos en el Perú, en donde se observa que el mayor pico de importaciones de vehículos entre los años 2018 y 2019 ocurrió en el mes de agosto del 2019 con un total de 15,623 vehículos y las importaciones totales del año 2019 fue de 202,002 unidades con respecto a las 141,773 unidades importadas el año 2018. Asimismo, se observa un comportamiento de mayor demanda en el último semestre del año 2019.

En la siguiente figura, se presenta la cantidad de vehículos livianos y pesados vendidos mensualmente en el Perú desde el año 2016 al 2020.

Figura 3

Cantidad de vehículos Livianos y Pesados vendidos mensualmente en el Perú (2016-2020)



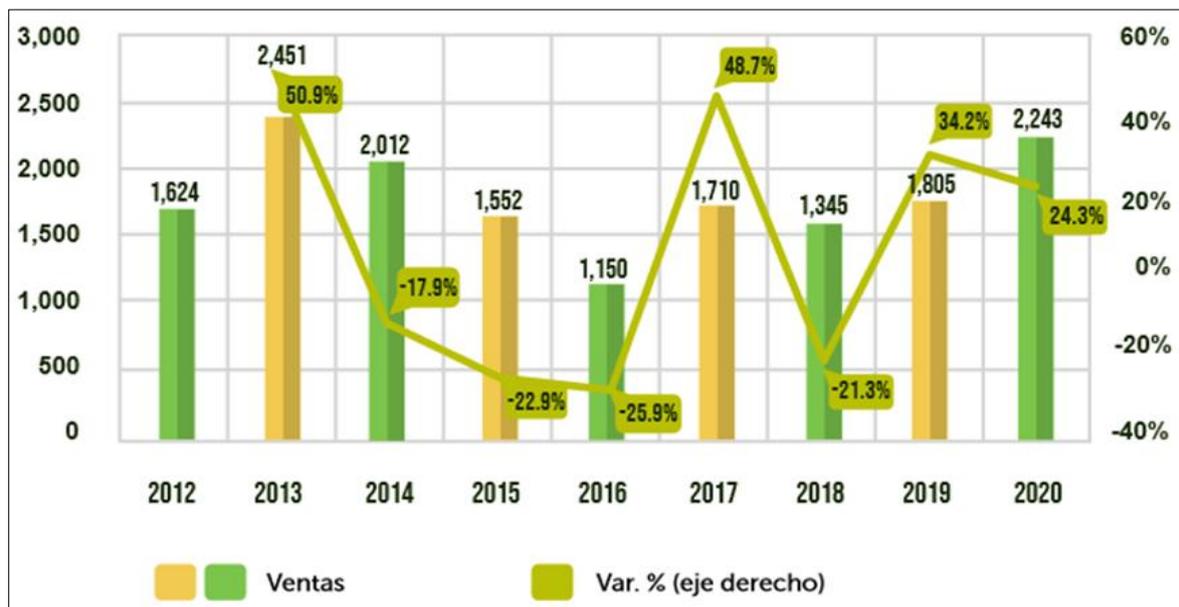
Nota. Tomado del "Informe del Sector Automotriz", Asociación Automotriz del Perú, 2020, (<https://aap.org.pe/>).

En la figura 3 Cantidad de vehículos Livianos y Pesados vendidos mensualmente en el Perú (2016-2020), se visualiza la evolución mensual de la cantidad de vehículos livianos y pesados vendidos en el periodo 2016 a agosto del 2020. La suma total anual de vehículos vendidos en el año 2018 fue de 165,802 unidades y en el 2019 un total de 168,647 unidades.

A continuación, en la figura 4 se presenta el comportamiento de la venta de vehículos livianos en el periodo 2012-2020.

Figura 4

Venta de vehículos livianos (2012-2020)



Nota. Tomado del "Informe del Sector Automotriz", Asociación Automotriz del Perú, 2020, (<https://aap.org.pe/>).

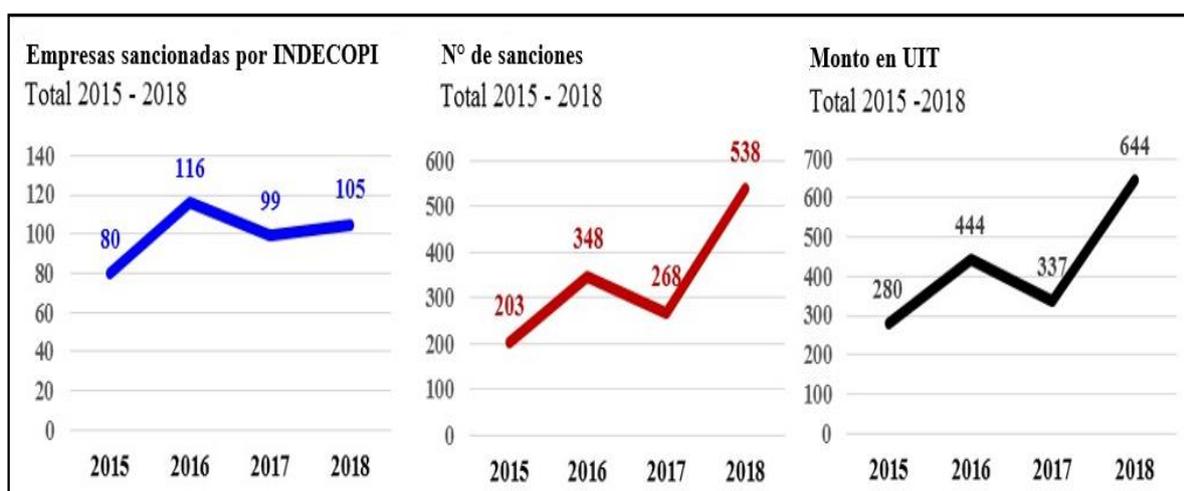
En la figura 4. Venta de vehículos livianos, se observa una evolución porcentual positiva de la venta mensual de camionetas Pick Up en los periodos 2018-2019 y 2019-2020 con un crecimiento del 34.2 % y 24.3% de las ventas, respectivamente. Asimismo, es importante mencionar que la información de ventas de cada año mostrada en la figura pertenece solo al mes de enero de cada año.

Por otro lado, según el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI, 2019) en la Figura 5. Número de empresas sancionadas, número de sanciones y montos en UIT impuestas por INDECOPI a empresas de Mantenimiento Automotriz, por brindar mal servicio de reparación al cliente, se muestra que en el año 2018 hubo 538 sanciones a empresas que brindan el servicio de mantenimiento y reparación de vehículos con un total de 644 UIT en multas. Estas sanciones

se debieron principalmente por dos causas: entrega de los vehículos fuera del tiempo de reparación programada y deficiencia en las reparaciones. En la figura 5 también se muestra las sanciones en UIT impuestas por INDECOPI en los últimos años a las empresas del subsector de mantenimiento por brindar un mal servicio de atención al cliente, a nivel nacional.

Figura 5

N° de empresas sancionadas, N° de sanciones y Montos en UIT impuestos por INDECOPI por mal mantenimiento automotriz en el sub sector de mantenimiento automotriz



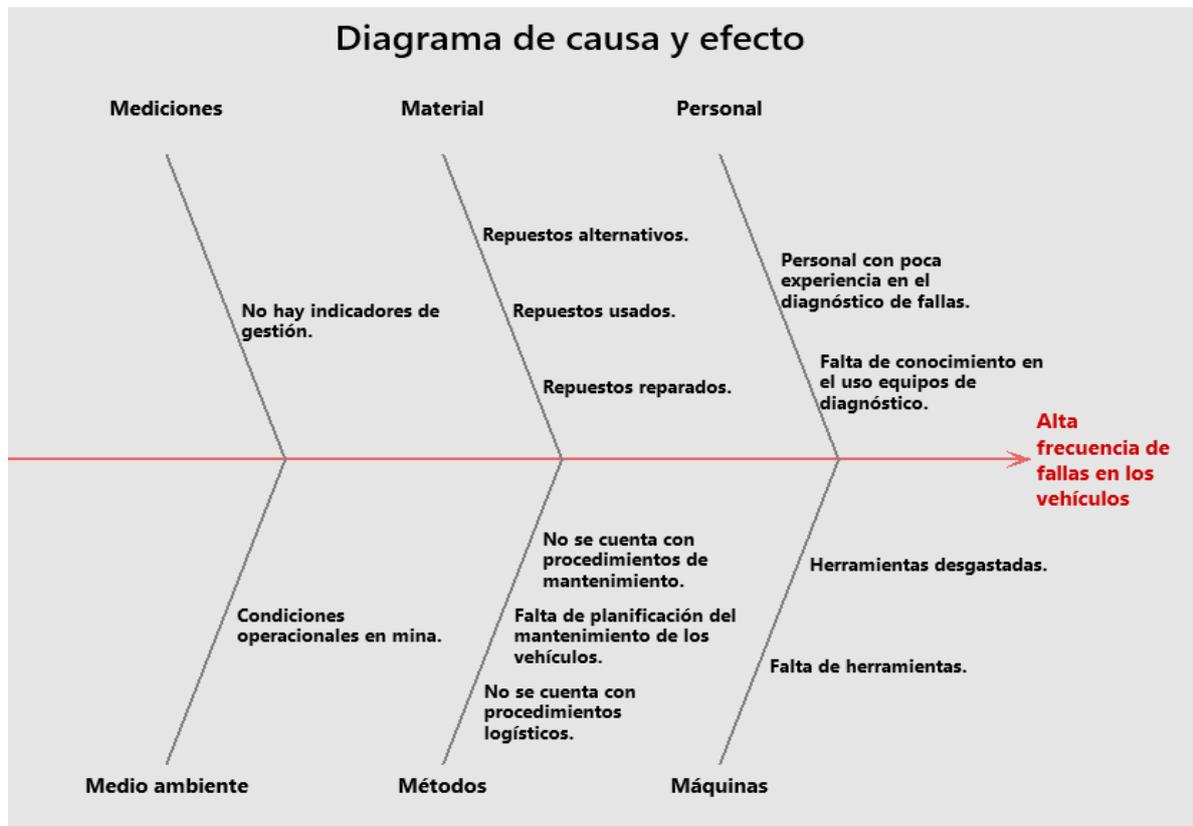
Nota. Adaptado del Informe Anual del Estado de la Protección de los Consumidores en el Perú, INDECOPI, 2018, (<https://www.indecopi.gob.pe/indecopi>).

El servicio de mantenimiento de vehículos es una fuente importante de trabajo en el país, ya que solo las marcas principales de autos tienen 352 talleres y 15,345 técnicos automotrices en sus planillas. Asimismo, se estima que hay un aproximado de 120,000 técnicos automotrices en este subsector, sin tener en cuenta a la mano de obra no calificada y las planillas administrativas, (Mariategui, 2019).

Por lo tanto, ante todo lo expuesto anteriormente se puede concluir que anualmente hay una venta importante de vehículos en el país y que se ha mantenido en crecimiento en los últimos años, gracias al desarrollo económico. Esto significa que existe una demanda creciente del servicio de mantenimiento del parque automotor, que se brinda en los talleres de

los concesionarios y en talleres multimarca. Asimismo, se mostró información de INDECOPI en donde se observa una cantidad importante de reclamos por reparaciones defectuosas y entregas fuera de tiempo de vehículos de talleres pertenecientes a concesionarios, lo cual es un indicador que nos muestra que en el sub sector de mantenimiento automotriz, existen empresas posicionadas en el mercado que presentan actualmente deficiencias en su servicio de reparación. Este tipo de deficiencias no sólo ocurren en los grandes talleres de concesionarios más representativos del mercado peruano, sino también en aquellas empresas que están en un proceso de crecimiento en el mercado.

En este contexto, la empresa de alquiler de vehículos Renting Car S.A.C. con la que se está trabajando, inicia sus operaciones en el año 2015 con el objetivo de brindar el servicio de alquiler y mantenimiento de vehículos del tipo pickup Toyota Hilux y buses Hyundai, equipados para el sector minero. La empresa cuenta con un total de 39 vehículos, los cuales se dividen en 30 unidades del tipo pickup y 9 del tipo bus; y un taller de mantenimiento, implementado con equipos y herramientas para trabajos de mantenimiento vehicular. Durante los últimos 5 años la empresa ha brindado sus servicios de alquiler y mantenimiento de sus unidades, cumpliendo las exigencias solicitadas de sus clientes en el sector minero. Sin embargo, la empresa cuenta con un factor negativo como la alta frecuencia de fallas técnicas de sus unidades en las operaciones de los clientes. Para la identificación de las causas de este problema, se utilizó el diagrama de Ishikawa, la cual nos ayudará a identificar las posibles causas en factores de medición, material, personal, medio ambiente, métodos y máquinas. A continuación, en la figura 6 se muestra dicho diagrama:

Figura 6*Diagrama de Causa y Efecto**Nota. Elaboración propia.*

En la figura 6, se muestran los problemas observados en el área de mantenimiento y clasificados según las 6 M. A continuación, se explicará el detalle de cada causa encontrada.

En el factor método encontramos la falta de planificación del mantenimiento, el cual impacta principalmente en la alta frecuencia de fallas en las unidades vehiculares, ya que no se cuenta con un control y plan de intervención preventiva de las mismas, lo cual ocasiona paradas no programadas por fallas mecánicas o eléctricas de los vehículos. Asimismo, el área de mantenimiento no cuenta con procedimientos estandarizados en las actividades de recepción, reparación y salida de unidades del taller de mantenimiento. El no tener procedimientos estandarizados en cada una de las etapas mencionadas, ocasiona un desorden en el trabajo de los técnicos mecánicos, obligándolos a tomar decisiones que no precisamente

son las más eficientes en el área de trabajo. Por último, se tiene la falta de procedimientos logísticos relacionados al abastecimiento de repuestos e insumos de acuerdo a las necesidades del taller de mantenimiento, tiene como consecuencia el incumplimiento del cronograma de fecha de reparaciones, ya que no hay disponibilidad inmediata de repuestos o insumos para las reparaciones programadas.

Por otro lado, en el factor medición encontramos que en el área de mantenimiento no existe un control de los trabajos realizados, de tiempos de trabajo, de vehículos reparados, de vehículos mal reparados, entre otras variables. Los técnicos mecánicos reparan los vehículos sin tener un historial de las reparaciones, sin un historial de los repuestos cambiados. No existen indicadores de gestión en el área los cuales puedan ayudar a cumplir los objetivos de la organización.

También, en el factor personal se ha detectado problemas de demora al momento de realizar los diagnósticos de fallas mecánicas de los vehículos y dificultad en el uso de algunos instrumentos de medición.

Asimismo, en el factor de materiales se identificaron problemas como la calidad de repuestos que se relacionan a repuestos alternativos, reparados y usados.

Por otro lado, en el factor de medio ambiente, tenemos como un problema las condiciones ambientales en las que operan las camionetas. Estas condiciones ambientales están relacionadas a la exposición continua de agentes externos en los socavones mineros, tales como el agua, salitre, entre otros.

También, el factor máquina está relacionado a la falta de herramientas o herramientas desgastadas con las cuales el personal de mantenimiento trabaja.

Por último, la empresa cumple con las órdenes de trabajo de mantenimiento de las unidades y con los requerimientos de alquiler de unidades solicitadas por el cliente, pero los factores negativos mencionados anteriormente tienen un impacto directo sobre la satisfacción

del cliente, su fidelización y sobre los ingresos económicos de la organización, ya que el servicio de alquiler de vehículos representa hoy en día, el 98% de los ingresos mensuales de la organización.

Con el presente proyecto se desea implementar un adecuado plan de mantenimiento utilizando herramientas de ingeniería para disminuir la frecuencia de fallas técnicas de las unidades y aumentar así la disponibilidad de las unidades.

2.2. Formulación del Problema.

2.2.1. Problema General

¿Cuál es el impacto de la mejora del plan de mantenimiento en la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos?

2.2.2. Problemas Específicos

Problema específico N°1 - ¿Qué procedimientos de mantenimiento se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos?

Problema específico N°2 - ¿Qué procedimientos logísticos se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos?

Problema específico N°3 - ¿Qué indicadores de gestión se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos?

Problema específico N°4 - ¿Qué mejoras laborales se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos?

2.3. Justificación de la Investigación

Según Hernández, et al. (2014), además de definir los objetivos y las preguntas de la investigación, es importante justificar el estudio de esta, a través de sus razones: el ¿para qué?

y/o ¿por qué? de la materia en estudio.

2.3.1. Teórica

La información de este trabajo de investigación es relevante porque desarrollará una propuesta de mejora aplicando herramientas de Ingeniería Industrial. Asimismo, ayudará al sector académico a conocer y entender en mayor medida el comportamiento de las variables en estudio: la planificación del mantenimiento y su relación con la disponibilidad de las unidades.

2.3.2. Práctica

El presente trabajo de investigación tiene una justificación práctica, solucionando el problema de la planificación del mantenimiento y la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos utilizando herramientas de ingeniería industrial. Asimismo, promueve a las empresas a una conducta de trabajo preventiva, predictiva y a garantizar un servicio de reparación de calidad, para así lograr disminuir paradas vehiculares no planificadas en las operaciones del cliente.

2.3.3. Social

El presente trabajo de investigación es relevante porque estudia un tema de interés local como es el subsector de mantenimiento automotriz. La propuesta de mejora generaría un impacto positivo en las operaciones del cliente, al crecimiento de la empresa y con ello la generación de más puestos de trabajo de forma directa e indirecta en las comunidades mineras.

2.4. Objetivos de la Investigación

2.4.1. Objetivo General

Determinar cuál es el impacto de la mejora del plan de mantenimiento en la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

2.4.2. Objetivos Específicos

Objetivo específico N°1 – Determinar que procedimientos de mantenimiento se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

Objetivo específico N°2 – Determinar que procedimientos logísticos se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

Objetivo específico N°3 – Determinar qué indicadores de gestión se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos

Objetivo específico N°4 – Determinar que adecuadas mejoras laborales se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

2.5. Alcances

La presente investigación abarcará únicamente la mejora de los procesos en el área de mantenimiento y logística, en una empresa de alquiler de vehículos. El análisis de la investigación presentará un estado actual y final de las herramientas de ingeniería que se apliquen como solución óptima a la problemática.

Asimismo, el proyecto está elaborado utilizando los datos de una empresa rentadora de vehículos real, pero por motivos de reserva de información, la gerencia general de esta empresa ha solicitado no hacer público la razón social y el número de RUC. Por tal motivo, se cree conveniente usar un nombre ficticio, RENTING CAR S.A.C.

Capítulo III: Marco Teórico

3.1. Antecedentes del Problema

Según Hernández et al. (2014), es muy importante conocer los antecedentes de una idea, ya que esta nos lleva a revisar estudios, trabajos e investigaciones, para así poder conocer que es lo que se ha hecho con respecto a esta idea. Asimismo, nos menciona que el conocimiento de un determinado tema de investigación nos ayuda a estructurar de una manera más formal dicho tema, también ayuda a elegir el enfoque principal desde el cual se empezará el tema a investigar y por último ayudará a no investigar temas que ya se han estudiado con anterioridad. A continuación, se presentan investigaciones de tesis de universidades nacionales e internacionales, vinculadas de acuerdo a las dos variables de investigación y con los requisitos mínimos de estructura de título, editorial, autor, país, objetivos, conclusiones y observaciones.

3.1.1. Antecedentes Internacionales

El autor Hiestroza (2015), de la Universidad de Católica Lumen Gentium, Facultad de Ingeniería Industrial, presentó la Tesis Titulada: “Diseño de programa de mantenimiento productivo total para el área de mantenimiento de la empresa transportadora de carga Tractocarga LTDA, la cual nos muestra como problema principal las constantes fallas mecánicas y eléctricas de la flota vehicular de la empresa que no cuenta con un sistema de gestión de mantenimiento. La investigación tiene como objetivo principal diseñar y proponer un modelo metodológico para la implementación de los pilares TPM (Mantenimiento Productivo Total). El autor utiliza encuestas como herramienta de diagnóstico y recolección de información, para luego analizar las variables y establecer las herramientas a utilizar. El estudio del estado actual de la empresa muestra que la empresa cumple con un 50% los pilares TPM de manera no planificada, lo que demuestra que la organización tiene oportunidades de mejora. El desarrollo e implementación de las mejoras tienen como base la

sensibilización, capacitación del personal sobre la cultura de la calidad, estandarización de procedimientos de reparación, indicadores de productividad y análisis de fallas que deben ser corregidas por planes de acción, realizar seguimiento y acciones de mejora.

Según Cayo (2015), de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ingeniería Industrial, presentó la Tesis Titulada: “Plan de mantenimiento preventivo y predictivo para la flota de vehículos de la empresa Aneta del Cantón Quevedo”. Este trabajo de investigación tiene como objetivo principal desarrollar la propuesta e implementación de un plan de mantenimiento a partir de un análisis de los trabajos realizados a la flota vehicular de la empresa, para luego poder implementar procedimientos y periodos de inspección mecánica. Asimismo, establecer un plan de asignación de trabajos teniendo en cuenta la capacidad de los instructores y las necesidades de la flota vehicular. Por último, se realizó una planificación de actividades y recursos para el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo y predictivo.

Manzano (2019), de la Universidad Internacional de Ecuador, Facultad de Ingeniería Automotriz, presentó la Tesis Titulada: “Plan de mejora en procesos de mantenimiento para flota de vehículos pesados”, investigación que se enfoca en la elaboración de un plan para mejorar los procedimientos de mantenimiento actuales de la organización, considerando los factores de rendimiento de una flota de vehículos pesados. Para lograr lo anteriormente mencionado, se realizó un levantamiento de información de los procedimientos actuales para llevar a cabo un trabajo de mantenimiento, también se hizo un análisis del área operativa de un taller automotriz en la ciudad de Guayaquil y por último la elaboración paso a paso de la propuesta de mantenimiento para la flota de vehículos pesados.

Rubio (2019), de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, Facultad de Ingeniería Mecánica, presentó la Tesis Titulada: “Plan de mantenimiento preventivo para la flota de maquinaria pesada y vehículos administrativos del municipio de Motavita”. El objetivo de

esta tesis es la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para la flota de vehículos pesados y ligeros del municipio de Motavita en Colombia, a partir del diagnóstico actual de la flota vehicular y un análisis de criticidad para cada activo. Posteriormente, en base a la información obtenida de los estudios previos, se implementó un plan de mantenimiento preventivo programado. El beneficio que aportó el proyecto fue la mejora la disponibilidad de las unidades, reducción pérdidas de tiempo en operaciones y la reducción de fallas no programadas.

Delgado (2014), de la Universidad Libre, Facultad de Ingeniería Industrial, presentó la Tesis Titulada: “Desarrollo del plan de mantenimiento para la flotilla de camiones de Gaseosas Colombianas SA Sur (Postobón) basado en la técnica de confiabilidad (CRM)”, esta investigación tiene como objetivo principal desarrollar un plan de mantenimiento para la flota de camiones basándose en la aplicación de la herramienta de confiabilidad (CRM). Para lograr el objetivo, se realizó un levantamiento de información de la situación actual de los procesos realizados en el área de mantenimiento y el diagnóstico de las fallas más comunes. Se generó las fichas técnicas para el mantenimiento de los vehículos con los manuales del fabricante, se diseñaron procesos de mantenimiento y protocolos de mantenimiento preventivo y predictivos. Por último, se ejecutó una prueba piloto en el proceso de lubricación en una unidad para demostrar la valides del plan propuesto.

Alvarez y Tello (2020), de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz, presentó la Tesis Titulada: “Propuesta de un plan de mantenimiento mediante un análisis de criticidad de fallos para vehículos de categorías L, M, N y maquinaria pesada de la prefectura del Azuay”; en este trabajo de investigación se desarrolla una propuesta de un plan de mantenimiento mediante el análisis de criticidad de sus unidades vehiculares. Se realizó un levantamiento de información de los datos de la flota vehicular, para determinar la frecuencia de fallas, intervalos de

mantenimiento y costos. Por último, en base a los registros históricos obtenidos se implementa un plan de mantenimiento preventivo.

Villacrés (2016), de la Universidad Politécnica de Chimborazo, Facultad de Postgrado, presentó la Tesis Titulada: “Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehículo Hidrocleaner Vactor M654 de la empresa Etapa EP”. El objetivo de esta tesis es el desarrollo de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM, para los equipos críticos de un vehículo de la flota de la empresa. Asimismo, como parte de la aplicación de la metodología RCM, se hizo un análisis de criticidad a los equipos, para luego definir el mejor plan de mantenimiento para los sistemas del vehículo.

3.1.2 Antecedentes Nacionales

Según Huancaya (2016), de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias en Ingeniería, presentó la Tesis Titulada: “Mejora de la disponibilidad mecánica y confiabilidad operacional de una flota de cosechadoras de caña de azúcar de 40 t/h de capacidad”, investigación que se enfoca en implementar un proyecto para mejorar la confiabilidad y disponibilidad mecánica operacional de una flota de cosechadoras, mediante un análisis de criticidad y de modo y efecto de falla (AMEF); para lograrlo se realizó la revisión de la información de las operaciones y mantenimiento de los activos de la organización, seguidamente se definieron y cuantificaron los parámetros de mantenimiento, se desarrolló un modelo para calcular la disponibilidad mecánica y disponibilidad operacional de la flota y por último de optimizó el plan de mantenimiento actual.

Durand (2018), de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería Industrial, presentó la Tesis Titulada: “Propuesta de mejora para disminuir los tiempos de paradas no programadas de los buses en una empresa de transporte público a través de la metodología RCM y un mantenimiento autónomo”; esta tesis tiene como objetivo

principal disminuir los tiempos de paradas no programadas de mantenimiento y así lograr incrementar los ingresos de la empresa. Para lograr este objetivo, se implementó la metodología RCM, análisis de criticidad y el análisis de modo y efecto de falla (AMFE). Asimismo, en base a los resultados obtenidos se propuso un plan de mantenimiento autónomo.

Montano (2013), de la Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Mecánica, presentó la Tesis Titulada: “Gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad aplicado para una flota de volquetes de 50 toneladas para acarreo de material en la mina Arasi”; esta investigación tiene como objetivo la implementación de un programa de mantenimiento basado en la metodología de la confiabilidad, para ello se realizó un levantamiento de información del personal de las áreas involucradas, de las características técnicas de los equipos, del contexto operacional, de los indicadores actuales de las áreas, entre otros. Finalmente, se aplican los pasos para la implementación de la metodología RCM y la del sistema de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad.

Li y Mescua (2016), de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería Industrial, presentó la Tesis Titulada: “Propuesta de una plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo abierto”; esta tesis tiene como objetivo el desarrollo e implementación de una estrategia basada en la metodología RCM, para mejorar el actual plan de mantenimiento que tiene la organización y disminuir el número de paradas no programadas de mantenimiento de sus unidades.

Semanez y Herrera (2019), de la Universidad Antonio Ruiz de Montoya, Facultad de Ingeniería Industrial, presentó la Tesis Titulada: “Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la flota de camiones grúa y grúas telescópicas de una empresa minera en Arequipa”, investigación que se enfoca en proponer un plan de mantenimiento

centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de la flota de camiones de la empresa. Para ello, se aplicó la metodología del RCM en donde se evaluarán las fallas funcionales, modos de falla, el efecto y consecuencia de las fallas en los equipos, generación de hojas de información y decisión del RCM, y por último se implementan cartillas de mantenimiento para cada tipo de unidad vehicular.

3.2. Bases Teóricas

3.2.1. La Confiabilidad, la Disponibilidad y la Mantenibilidad

Mesa et al. (2006) en su artículo “La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento” tiene como objetivo debatir las funciones metodológicas principales de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad como herramientas de gestión de mantenimiento que pueden ayudar a la toma de decisiones en el área de trabajo. Estas herramientas durante mucho tiempo no han tenido el fundamento técnico necesario para su desarrollo, sin embargo, la evolución que trae la globalización en la industria ha sido clave para el desarrollo de estas herramientas.

El estudio afirma que, para incrementar la producción en una planta industrial, es necesario que los tres métodos confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad estén relacionados entre sí, para poder lograr el incremento de la disponibilidad de un sistema o equipo. El estudio nos dice que, para lograr el objetivo mencionado, se debe incrementar la confiabilidad expresado por el MTBF (Mean Time Between Failures), disminuir el tiempo utilizado en la reparación expresada también por el MTBF y reducir el MTTR (Mean Time to Repair), simultáneamente. Por último, se concluye que la gestión del mantenimiento debe estar enfocada en la disponibilidad de los equipos o sistemas y que la técnica de la confiabilidad puede ayudar al área de mantenimiento a tener índices de disponibilidad elevados a un bajo costo, pero este resultado solo será logrado si se implementan cambios en el entendimiento de la gestión del mantenimiento y en la actitud de los involucrados.

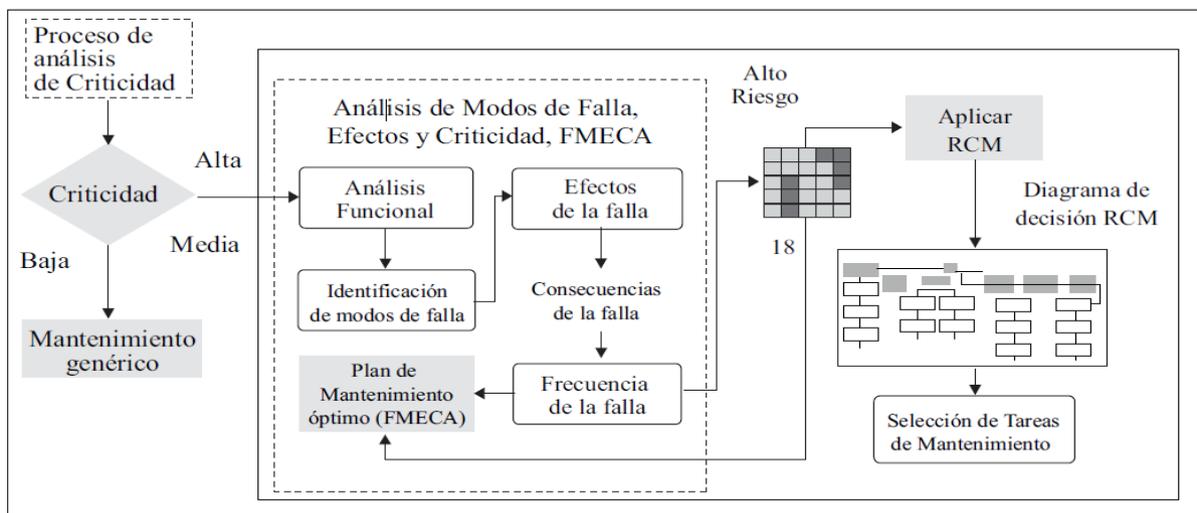
3.2.2. Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC) para la Planeación del Mantenimiento Empleando Criterios de Riesgo y Confiabilidad

Aguilar et al. (2010) en su trabajo de investigación, muestra la implementación de la metodología del AMFEC o FMECA (Análisis de modos de falla, efectos y criticidad) en la gestión del mantenimiento, puntualmente en la fase de la planeación del mantenimiento, aplicando concepto de confiabilidad, en un contexto operacional de una planta endulzadora de gas. También es importante mencionar que los autores buscan mostrar el análisis de modo de falla y por otro lado, con respecto a la metodología, se desarrolló con las Normas SAE JA-1011/1012 “Evaluation criteria for RCM processes / A guide to RCM standard”.

A continuación, en la Figura 7, se representa gráficamente la aplicación del AMFEC en el proceso de gestión de mantenimiento.

Figura 7

Proceso de Gestión de Mantenimiento aplicando el análisis de modos de falla, sus efectos y criticidad, AMFEC.



Nota. Tomado de “Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad” por Aguilar Otero, Torres Arcique, & Magaña Jiménez, 2010, Tecnología, Ciencia y Educación, 25, p.15-26.

Las conclusiones presentadas por los autores al aplicar esta herramienta en esta planta de procesamiento de gas nos dicen que generalmente es un cuello de botella en los procesos de planeación del mantenimiento, por lo que los personales participantes en la implementación de esta herramienta deben ser los que posean la mayor experiencia en la organización. Asimismo, para ejecutar el plan de mantenimiento utilizando la herramienta del FMECA o AMFEC, se debe tomar en cuenta que la planificación se desarrolla en función al modo de falla de un sistema o equipo.

3.2.3. Importancia de la Criticidad

Berger et al. (2014), en su artículo de caso de éxito “Análisis de la confiabilidad del sistema de molienda en una planta concentradora, basado en la criticidad”, nos plantea la situación actual del proceso de molienda en una planta concentradora de minerales y la aplicación de simulaciones de escenarios para hallar la confiabilidad óptima del proceso de molienda. El problema que presenta la organización es la falta de procedimientos que ayude a identificar la confiabilidad de los sistemas u equipos involucrados en el proceso de la molienda y desarrollar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad. Los objetivos de la investigación están orientados a la identificación, aplicación y análisis de resultados de confiabilidad de los procesos de molienda e implementación de indicadores de mantenimiento, que permitan el correcto monitoreo e identificación de las oportunidades de mejora en los procesos del área. La metodología aplicada para desarrollar una planificación del mantenimiento basado en la confiabilidad partió desde un análisis de criticidad aplicado a los equipos del proceso en mención, teniendo en consideración lo siguiente:

Criticidad = Frecuencia de Falla * Consecuencia

En donde:

Frecuencia de Falla: Es la cantidad de eventos o fallas registradas en un sistema o equipo.

Consecuencia = ((Impacto Operacional x Flexibilidad Operacional) + Costo de mantenimiento + Impacto en seguridad + Impacto ambiental)

En donde:

Impacto Operacional: es la capacidad cuando un equipo deja de funcionar, cuando ocurre un error.

Flexibilidad Operacional: es cuando existe la disponibilidad de un equipo para reemplazo.

Costos de mantenimiento: son los costos relacionados a la reparación del equipo o sistema.

Impacto de seguridad: es la probabilidad que ocurra un evento no deseado con daños a personas.

Impacto ambiental: es la probabilidad que ocurra un evento no deseado con daños al medio ambiente.

Existen diferentes tipos de criticidad, los cuales son: Crítico, semi crítico y no crítico. Es así, que los autores de esta investigación proponen que las ponderaciones a considerar en el análisis de criticidad deberán ser establecidas por el personal del área de trabajo.

Posteriormente, se debe realizar un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF), a los motores del sistema de molienda, ya que este es el equipo con más criticidad según el análisis realizado en la investigación. Asimismo, se debe realizar un despiece del motor, teniendo en cuenta los aspectos del valor técnico del servicio, la flexibilidad del componente en el sistema, el efecto sobre el servicio, la dependencia logística y el efecto de la falla. Teniendo en cuenta estos aspectos, el AMEF se realizará en tres componentes principales del motor de molienda: el estator, el rotor y los sistemas auxiliares. Finalmente, con los resultados obtenidos del análisis AMEF, ha sido posible implementar una herramienta para la implementación y control de un plan de mantenimiento.

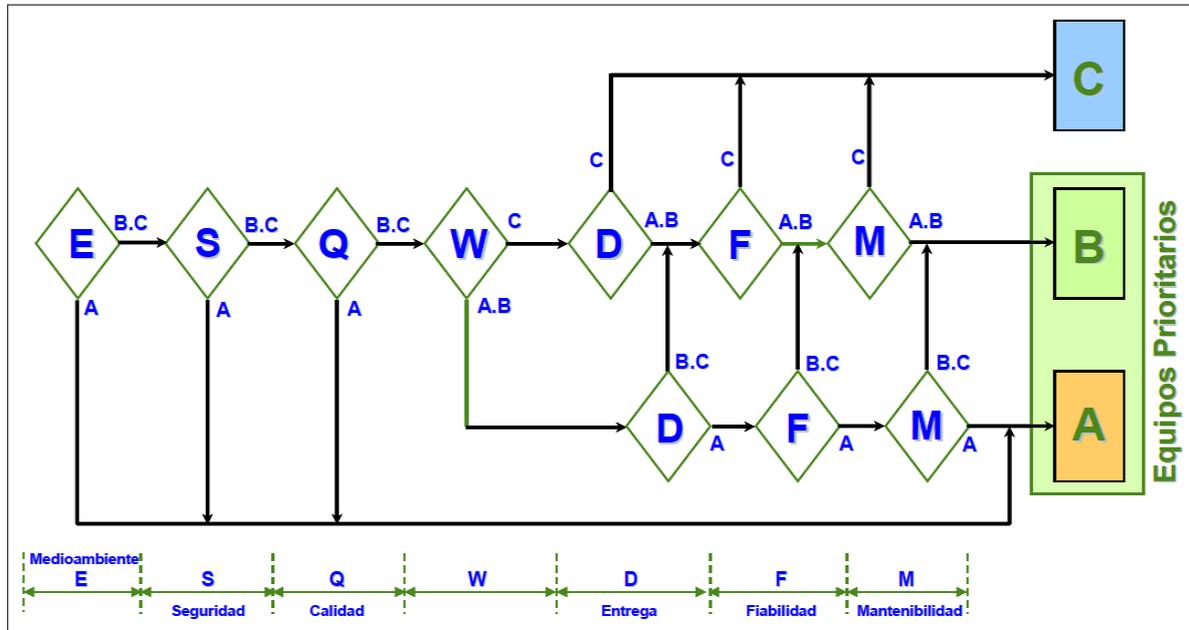
Por otro lado; es importante mencionar que, si la organización no cuenta con información suficiente para realizar un análisis de criticidad del tipo semi cuantitativo o cuantitativo, el investigador puede utilizar un tipo de análisis de criticidad cualitativo, que será descrito a continuación de acuerdo con los autores Parra y Crespo (2019), en su estudio “Métodos de Análisis de criticidad y Jerarquización de Activos”:

Este método de jerarquización de activos tiene un análisis estrictamente cualitativo. En la Figura 8, se muestra el proceso secuencial que se debe seguir al realizar este método cualitativo; el resultado final es la clasificación de los equipos en tres categorías: A, B y C, en donde el equipo que se encuentre en la categoría A tiene una mayor prioridad. Asimismo, para obtener el resultado final, se debe realizar un conjunto de preguntas de forma ordenada y secuencial al equipo de trabajo. La secuencia establece la importancia que el equipo de trabajo asigna a los atributos que se analizan al asignar las prioridades.

A continuación, en la Figura 8 se muestra el flujograma del análisis de criticidad por el método cualitativo.

Figura 8

Flujograma de Análisis de Criticidad



Nota. Tomado de "Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos" por Parra & Crespo Marquez, 2019, Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento, 3.

Cada rombo representa una pregunta que está relacionada con una letra y una categoría como: Medio Ambiente (E), Seguridad (S), Calidad (Q), Tiempo de trabajo del activo (W), Entrega (D), Fiabilidad (F) y Mantenibilidad (M).

A continuación, se detalla la utilización del diagrama:

El primer rombo está relacionado al Medio Ambiente (E), en esta categoría un equipo se considera A, si un fallo de este puede ocasionar un gran impacto ambiental en el ecosistema y en la comunidad. Un equipo con una categoría B, es cuando el impacto ambiental solo ocurre a nivel organizacional. Por último, un equipo de categoría C es cuando la consecuencia de su falla no tiene ningún impacto sobre el medio ambiente.

El segundo rombo Seguridad (S), aquí los equipos que tienen la categoría A son

aquellos que pueden ocasionar accidentes laborales que provoquen ausencia laboral. La categoría B, ocasiona daños mínimos y no ausencia laboral. Los equipos de categoría C, no pueden ocasionar accidentes laborales.

El rombo de Calidad (Q), aquí los equipos que tienen la categoría A, son aquellos que sus consecuencias tienen impactos negativos en el mercado ya que la falla del equipo produce productos defectuosos. En la categoría B, los equipos ocasionan consecuencias internas en la organización y en la categoría C, no hay ningún impacto sobre la calidad.

El rombo de Tiempo de trabajo del activo (W), aquí los equipos que tienen categoría A son aquellos que operan tres turnos, los activos de categoría B son los que operan en dos turnos y los de categoría C operan en un solo turno. Los equipos que necesitan de una gran cantidad de horas para sus reparaciones pertenecen a la categoría A.

El rombo de Entrega (D) de un equipo, es el criterio que tiene relación entre la falla del equipo con las operaciones de la organización. El equipo de categoría A, es el que produce un paro de producción en toda la empresa. En la categoría B, se produce el paro de una línea de producción y los de categoría C ocasionan un paro no significativo en las operaciones.

La fiabilidad (F) de un equipo, está relacionado con su frecuencia de fallo. La categoría A, representa a los equipos con una frecuencia de fallo menor de 5 horas, la categoría B representa a los equipos con una frecuencia de fallo de entre 5 horas y no más de 10 horas; por último, para los equipos con una frecuencia de fallas mayor a 10 horas se usará la categoría C.

La Mantenibilidad (M) de un equipo, está relacionado con el tiempo promedio justo para realizar la reparación del fallo. El equipo que tiene un tiempo promedio de reparación mayor a 90 minutos pertenece a la categoría A, entre 45 y 90 minutos pertenece a la categoría B y el que es menor a 45 minutos pertenece a la categoría C.

3.2.4. Enfoques de Mantenimiento para Diferentes Métodos de Producción

Mungani y Visser (2013), en su investigación titulada “Maintenance Approaches for Different Production Methods”, presenta una planta industrial con diferentes unidades de negocio que fabrican productos como el carbón, combustibles líquidos y productos químicos. Asimismo, estas unidades de negocio implementaron independientemente diferentes enfoques de la gestión de mantenimiento y métodos de producción en la búsqueda de cumplir sus objetivos operacionales. Luego, como resultado se obtuvo un enfoque fragmentado y la solución de gerencia fue la de implementar una estrategia en la cual todas las empresas debían estandarizar sus procesos en la gestión de mantenimiento. Es así, que las unidades de negocio más grandes implementaron la metodología RCM en sus operaciones teniendo resultados finales positivos para la organización. El conocimiento para implementar metodologías de mantenimiento en grandes organizaciones puede ser también utilizado en forma de cascada para replicar metodologías a empresas más pequeñas. Entonces, los autores de esta investigación se cuestionan si el enfoque de mantenimiento debería ser el mismo, independientemente del método de producción que emplea cada unidad de negocio. Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación es determinar la relación que existe entre los enfoques de mantenimiento y los métodos de producción; esta relación puede ser útil para desarrollar un modelo de toma de decisiones con respecto al enfoque de mantenimiento desde un punto de vista de preproducción de las organizaciones. Este tipo de modelo puede ser muy útil para los gerentes de mantenimiento, ya que este le podría proporcionar información para decidir qué tipo de enfoque de mantenimiento es el más adecuado durante la preproducción y producción de bienes y servicios.

Por otro lado, se tienen varias metodologías de mantenimiento, como el RCM, BCM y TPM, los cuales aplican los tipos de mantenimiento como el preventivo, correctivo y de mejora.

A continuación, se tiene la tabla 1 con información comparativa de las ventajas y desventajas de los enfoques de mantenimiento: Reliability Centred Maintenance (RCM), Business Centred Maintenance (BCM) y Total Productive Maintenance (TPM).

Tabla 1

Ventajas y Desventajas de enfoques de mantenimiento

RCM	BCM	TPM
Ventajas		
Trazabilidad	Exactitud	Mejora de la productividad
Ahorro de costos	Centrado en el negocio	Mejora de la calidad
Racionalización	Posibilidad de auditoría integrada	Reducción de costos
Mejora de la confiabilidad		
Desventajas		
Complejidad	Complejidad	No es un verdadero concepto de mantenimiento
Amplia necesidad de datos	Alta necesidad de datos	Carece de reglas de decisión sobre políticas de mantenimiento
Centrado en la confiabilidad		No se enfoca en problemas económicos.
No se enfoca en problemas económicos		

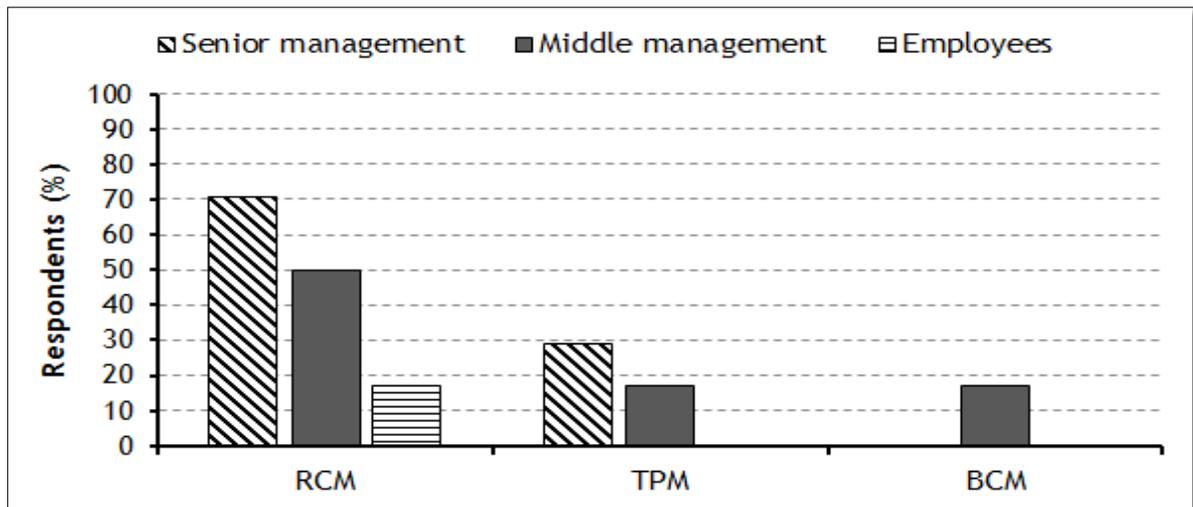
Nota. Adaptado de "Maintenance Approaches for Different Production Methods" por Mungani & Visser, 2013, South African Journal of Industrial Engineering, 24, p.1-13.

Existen algunos estudios que evalúan la idoneidad de los enfoques de mantenimiento para diferentes unidades de negocio y activos. Hay autores nombrados en la investigación como Campbell y Jardine, que han desarrollado una lista de verificación para evaluar si el método de RCM es el más adecuado en las operaciones de las organizaciones. Asimismo, el TPM es una metodología enfocada en la cultura organizacional y este es el más adecuado para la industria de ensamblaje y procesos continuos. Por otro lado, la metodología de investigación utilizada en este artículo fue la aplicación de una encuesta con 11 preguntas, en donde los participantes estaban divididos en niveles jerárquicos como Gerentes de Ingeniería, Gerentes de Mantenimiento, jefes de Mantenimiento y técnicos de 10 unidades de negocio con diferentes métodos de producción.

En la Figura 9, conocimiento de los enfoques de mantenimiento, se muestra el resultado de la encuesta, en donde la alta dirección (alta gerencia y gerencia intermedia) ha sacado el más alto puntaje de nivel de entrenamiento formal en la metodología del RCM. Por otro lado, el nivel de conocimiento en los entrenamientos formales del TPM y BCM son los más bajos en la alta dirección y en los empleados.

Figura 9

Conocimiento de los enfoques de mantenimiento (entrenamiento formal)

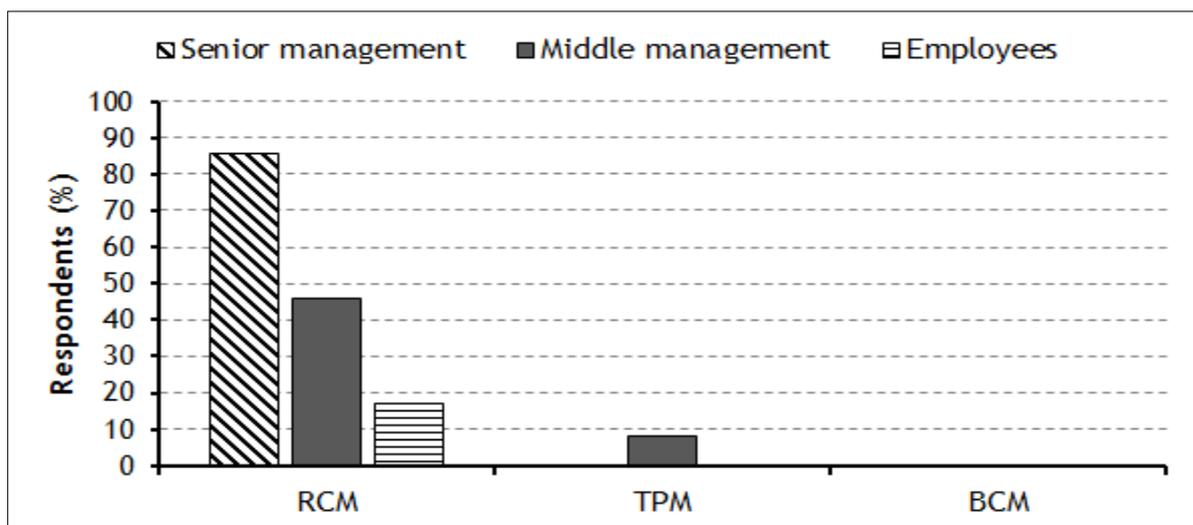


Nota. Tomado de "Maintenance Approaches for Different Production Methods" por Mungani & Visser, 2013, South African Journal of Industrial Engineering, 24, p.1-13.

A continuación en la figura 10, se representa gráficamente los resultados de la encuesta con un enfoque en la experiencia en la implementación de las tres metodologías mencionadas y en los tres niveles jerárquicos de las organizaciones.

Figura 10

Conocimiento de los enfoques de mantenimiento (experiencia en implementación)



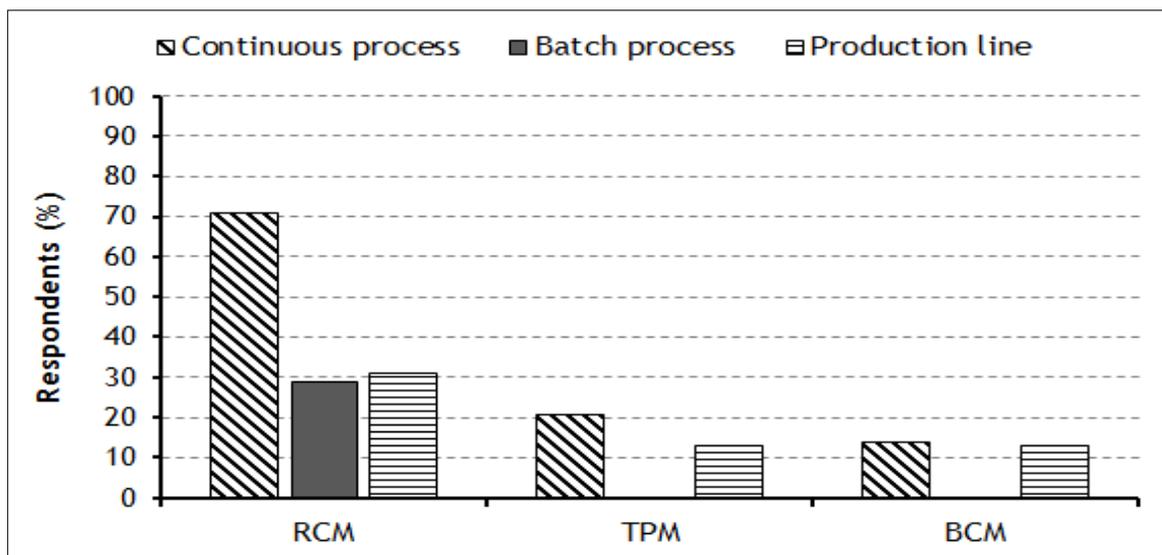
Nota. Tomado de "Maintenance Approaches for Different Production Methods" por Mungani & Visser, 2013, South African Journal of Industrial Engineering, 24, p.1-13.

En la figura se muestra claramente que el conocimiento de los enfoques de mantenimiento basado en la experiencia de implementación es la más alta en la metodología del RCM en la alta dirección. Por otro lado, los niveles de conocimiento de implementación del TPM son bajos en la gerencia intermedia de las organizaciones encuestadas.

En la figura 11 se muestran los resultados de la encuesta enfocada en la capacitación formal de las metodologías, de acuerdo al método de producción de cada organización: continua, lotes y en línea.

Figura 11

Conocimiento de los enfoques de mantenimiento por método de producción (capacitación formal)



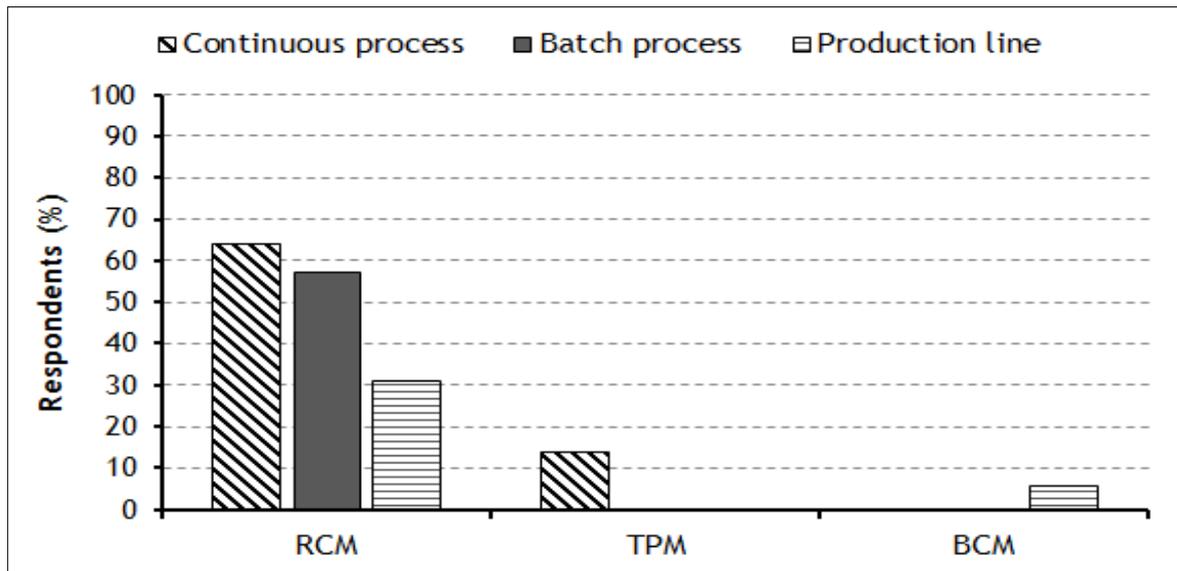
Nota. Tomado de "Maintenance Approaches for Different Production Methods" por Mungani & Visser, 2013, South African Journal of Industrial Engineering, 24, p.1-13.

Aquí observamos que el conocimiento en la capacitación formal de la metodología RCM, es alta en los métodos de producción continua, por lotes y en línea. Por otro lado, tenemos los índices más bajos en el método de producción continua y en línea asociados con las metodologías del TPM y BCM.

En la figura 12, se muestran los resultados de la encuesta enfocada en la experiencia en la implementación de las tres metodologías y su relación al método de producción que utilizan las empresas encuestadas.

Figura 12

Nivel de conocimiento del enfoque de mantenimiento por método de producción (experiencia en implementación)



Nota. Tomado de "Maintenance Approaches for Different Production Methods" por Mungani & Visser, 2013, South African Journal of Industrial Engineering, 24, p.1-13.

La figura nos muestra que el nivel de experiencia en la implementación de la metodología RCM en los tres métodos de producción es más alta que las metodologías del TPM y BCM.

Finalmente, la investigación concluye que el nivel de conocimiento de la alta dirección basado en la experiencia, formación e implementación es la más alta en la metodología de RCM y en el método de proceso continuo. Asimismo, un 72% de los encuestados de todos los niveles de gestión, opinaron que independientemente a la metodología de mantenimiento a utilizar en un sistema o un componente, este se debe realizar durante la fase de diseño de la vida útil del activo. Por último, este artículo, nos puede servir como criterio para elegir la mejor propuesta de mejora a nuestro problema.

3.2.5. Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) Considerando Taxonomía de Equipos, Bases de Datos y Criticidad de Efectos

Campos et al. (2019), en su investigación llamada “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos” nos propone un manual de implementación de la metodología RCM, pero con procesos adicionales que ayudarán a una fácil ejecución. Esta nueva metodología está respaldada por las normas SAE JA1011, SAE JA1012 para RCM y la norma ISO 14224.

La figura 13, presenta los pasos adicionales a considerar en la aplicación de la metodología RCM.

Figura 13

Pasos adicionales propuestos para la Metodología de RCM

Antes de aplicar RCM	Durante el análisis del RCM	Después del análisis
Recopilar información.	Normalizar el análisis de modos y causas de falla.	Implementar el plan de mantenimiento.
Elaborar taxonomía del equipo/sistema.	Categorizar efectos de falla.	Gestionar de las recomendaciones o acciones predeterminadas.
Documentar contexto operativo.		Medir el desempeño.

Nota. Tomado de “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos” por Campos López, Tolentino Eslava, Toledo Velázquez, & Tolentino Eslava, 2019, 23, p.51-59.

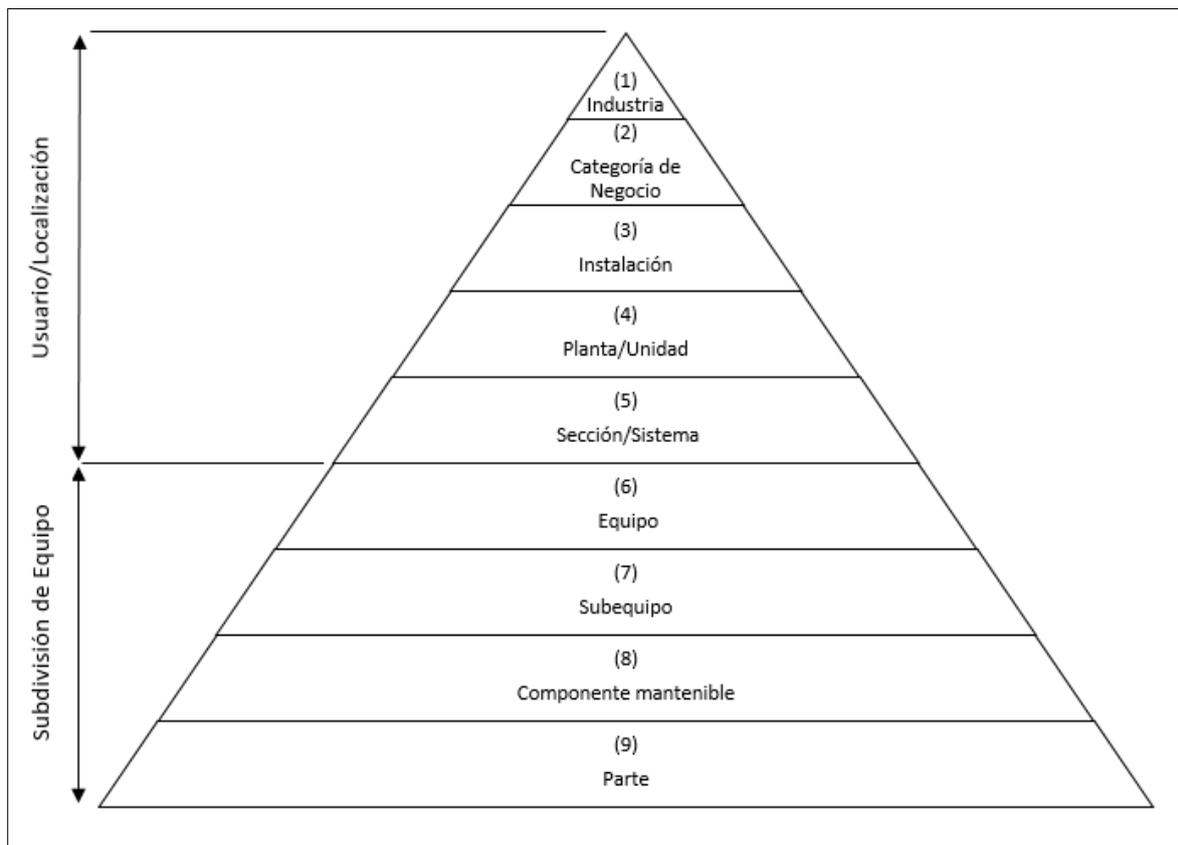
Aquí se detalla los procesos adicionales considerados en la propuesta de este artículo, agrupados en tres bloques en función a la etapa de implementación de la metodología estándar de RCM. En la fase llamada “antes de la aplicación del RCM” tenemos, la recopilación de información, que consiste en obtener datos sobre los activos de la organización, tales como, planos, diagramas, manuales técnicos, también es importante realizar entrevistas al personal de mantenimiento para recopilar sus necesidades y problemas en sus respectivas áreas de trabajo. Asimismo, se tiene la norma ISO 14224, que especifica

que la taxonomía es la clasificación de los equipos en base a características tales como, uso, ubicación, tipo, etc.

A continuación, en la figura 14, se expone de forma piramidal los niveles taxonómicos de los equipos.

Figura 14

Taxonomía de equipos con los niveles taxonómicos



Nota. Tomado de "Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos" por Campos López, Tolentino Eslava, Toledo Velázquez, & Tolentino Eslava, 2019, 23, p.51-59.

En la figura 14 tenemos la representación piramidal de la taxonomía de equipos, que tiene como objetivo representar la ubicación del equipo en la organización.

Como último paso de esta primera fase, tenemos la documentación del contexto operativo, que consiste en reunir la información referente a las condiciones de los procesos en donde los equipos o sistemas están operando, también se debe incluir entrevistas al personal de mantenimiento.

Durante la segunda fase de implementación, llamada “Durante el análisis del RCM”, la investigación propone desarrollar el paso tres de la metodología del RCM y la categorización de los efectos de falla relacionándolos con números de prioridad de riesgo (NPR). Es así que, el análisis de modos y causas de falla con base teórica en la norma ISO 14224, proporciona una lista de modos de falla la cual puede ser utilizada como punto de inicio del paso tres de la metodología RCM. Por último, se puede aplicar la herramienta de Causa- Efecto, para encontrar la causa raíz de la falla.

Asimismo, hay una base de datos llamada OREDA (Offshore Reliability Data Handbook) la cual nos muestra datos estadísticos de fallas de sistemas o equipos. Es así que, tomando en cuenta los modos y causas de falla de la norma ISO 14224, se puede utilizar la información estadística brindada por OREDA y relacionarla con los modos de falla de los equipos.

A continuación, en la tabla 2 se muestra un ejemplo de la aplicación de los nuevos pasos de la fase “durante el análisis del RCM”.

Tabla 2

Ejemplo de análisis de modos y causas de falla con OREDA para la parada inesperada de un motor eléctrico

Falla Funcional	Modo de Fallo	Causa de Falla	Porcentaje de la tasa de fallas (%)
No proporciona potencia	Paro inesperado	Cortocircuito	1.08
		Falla de alimentación eléctrica	5.02
		Falla de aislamiento a tierra	2.15
		Falla mecánica	2.15
		Paro por vibración elevada	1.08

Nota. Adaptado de “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos” por Campos López, Tolentino Eslava, Toledo Velázquez, & Tolentino Eslava, 2019, 23, p.51-59.

En la tabla 2, se muestra un ejemplo de análisis de modos y causas de falla de un motor eléctrico con la información brindada de OREDA. La falla funcional hallada, es que no presenta potencia y la parada inesperada el motor es analizado como modo de falla. Este modo de falla es el 13.26% del total analizados por OREDA, para motores eléctricos.

Luego, tenemos el paso de la categorización de efectos de falla, que consiste en incluir la categorización del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) al efecto falla, en función de tres criterios: severidad, detectabilidad y ocurrencia. Por último, el valor del NPR es el producto del valor asignado a cada uno de los tres niveles de prioridad de riesgo. Asimismo, es importante mencionar que los criterios del NPR pueden ser sujetos a adaptación según los objetivos del análisis y la disponibilidad de información de la organización.

A continuación, en las tablas 3, 4, 5 y 6, se detallan los niveles de cada criterio del NPR.

Tabla 3*Criterio de detectabilidad (D) para evaluar los efectos de falla*

Nivel	Criterio
4	No hay probabilidad de detectar causas de falla potenciales a tiempo, se puede llegar a falla funcional.
3	Baja probabilidad de detectar causas de falla potenciales y corregirlas a tiempo
2	Mediana probabilidad de detectar causas de falla potenciales y corregirlas a tiempo.
1	Causa de falla potencial fácilmente detectable y corregida durante la operación.

Nota. Adaptado de “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos” por Campos López, Tolentino Eslava, Toledo Velázquez, & Tolentino Eslava, 2019, 23, p.51-59.

Tabla 4*Criterio de severidad (S) para evaluar los efectos de falla*

Nivel	Criterio
4	Efectos críticos en la seguridad o el medio ambiente, pueden existir lesiones, muertes o efectos irreversibles en el medio ambiente.
3	Efectos importantes en la capacidad productiva, hay pérdidas económicas importantes por tiempo de paro y reparación.
2	Efecto leve en la capacidad productiva, hay pérdida económica leve por tiempo de paro o reparación.
1	No hay efectos operativos ni pérdidas importantes.

Nota. Adaptado de “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos” por Campos López, Tolentino Eslava, Toledo Velázquez, & Tolentino Eslava, 2019, 23, p.51-59.

Tabla 5*Criterio de ocurrencia (O) para evaluar los efectos de falla*

Nivel	Criterio
4	Pueden ocurrir varias fallas al año (Tasa de fallas ≥ 1 fallas/año)
3	$0.3 < \text{Tasa de fallas} < 1$ (fallas/año)
2	$0.1 < \text{Tasa de fallas} \leq 0.3$ (fallas/año)
1	Tasa de fallas ≤ 0.1 (fallas/año)

Nota. Adaptado de "Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos" por Campos López, Tolentino Eslava, Toledo Velázquez, & Tolentino Eslava, 2019, 23, p.51-59.

Tabla 6*Criterio de semaforización de acuerdo con el valor del NPR*

Nivel	Criterio
Rojo	$\text{NPR} \geq 36$
Amarillo	$7 < \text{NPR} < 36$
Verde	$\text{NPR} \leq 7$

Nota. Adaptado de "Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos" por Campos López, Tolentino Eslava, Toledo Velázquez, & Tolentino Eslava, 2019, 23, p.51-59.

Por último, al obtener los resultados del análisis descrito anteriormente se debe asignar a un equipo de trabajo para la implementación del plan de mantenimiento del sistema estudiado. En este equipo de trabajo, se deben realizar trabajos de revisión, evaluación y ejecución de los resultados obtenidos al aplicar la metodología del RCM. En la siguiente figura, se muestra a manera de resumen, los pasos añadidos a los procesos de implementación del RCM.

Figura 15

Procedimiento de la metodología RCM ampliada



Nota. Tomado de "Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos" por Campos López, Tolentino Eslava, Toledo Velázquez, & Tolentino Eslava, 2019, 23, p.51-59.

En la figura 15 podemos observar, en resumen, el desarrollo de la metodología RCM ampliada, la cual tomó como punto de partida la norma ISO 14224, aplicándola en la definición de la taxonomía del sistema, en el análisis de modos y causas de falla y con el manual de datos OREDA. La medición de los efectos de falla se evaluó bajo el criterio del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) y por último, se ejecuta la implementación del plan de mantenimiento del sistema.

3.3. Marco Conceptual

3.3.1. *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Según Car et al. (2014), en su investigación “Implementation of the RCM Methodology on the Example of City Waterworks”, el acrónimo RCM proviene de las siglas en inglés Realibility Centered Maintenance, que tiene como significado en español Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

En 1960, la Agencia Federal de Aviación realizó una investigación en Estados Unidos, con la finalidad de asegurar la efectividad de las reparaciones de aviones en intervalos de tiempos estándares, es así que, de esta investigación se obtuvieron dos conclusiones: la primera basada en las reparaciones planificadas, tuvieron poco impacto en la confiabilidad total de los componentes complejos, excepto si este tuvo una falla ocasionada por desgaste. La segunda conclusión, nos dice que hay muchos componentes a los que no se les puede aplicar un método efectivo y eficiente de mantenimiento preventivo. Estas conclusiones cambiaron el enfoque de la confiabilidad.

Es así que, el término RCM surgió de un grupo de ingenieros de la empresa United Airlines en el año 1978, quienes escribieron un informe destinado al ejército estadounidense, titulado con el mismo nombre de la metodología en cuestión, en donde se presentaba una metodología nueva de procedimientos de mantenimiento para la aviación civil. Asimismo, con el objetivo de poder resolver problemas complejos, la metodología del RCM ha optado por dividirse en fases. Se ha implementado un modelo funcional que contiene las funciones del sistema y sus respectivas fallas funcionales. Las fallas funcionales, se correlacionan con los modos de falla, con las causas y consecuencias.

Según Moubray (1997), el teórico más importante de la metodología del RCM, la define como un conjunto de procesos que tienen como objetivo, determinar qué medidas se deben realizar para asegurar que un determinado activo físico siga funcionando óptimamente

en su contexto operacional.

También, Car et al. (2014) la define como un conjunto de procesos que esencialmente son los mismos que el del FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis). La diferencia principal es que los fabricantes utilizan el FMECA, para conocer más sobre los posibles desperfectos de sus productos y el RCM es utilizado para conocer la experiencia del operador y del responsable del área de mantenimiento en la falla de los componentes o de un sistema.

Los resultados que se han logrado por la aplicación de la metodología del RCM en diferentes casos son los siguientes:

Disminución del número de horas hombre para trabajos de mantenimiento preventivo en un 87%.

Disminución de costos de bienes intermedios para trabajos de mantenimiento en un 64%.

Aumento de la disponibilidad de los equipos y sistemas hasta en un 15%.

Teniendo en consideración la experiencia de los sistemas para los que se creó la metodología del RCM y en los sectores en donde se implementó con éxito, el 60% de los modos de falla se pueden anticipar con tareas preventivas. Es así que, comprendiendo la importancia del RCM, la Sociedad Internacional de Ingenieros Automotrices (SAE) formó un comité técnico en 1999, el cual desarrolló el estándar JA1011: Criterios de Evaluación para el Proceso de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).

3.3.2 RCM y las 7 Preguntas Elementales

Antes de iniciar la implementación de la metodología RCM, se necesita elaborar un catálogo de sistemas tecnológicos y la presentación del proceso de producción. Luego de realizar estos dos pasos, se debe realizar siete preguntas y dar respuestas detalladas, para cada sistema tecnológico definido anteriormente. Las siete preguntas son:

¿Qué funciones y parámetros del activo son las más importantes en su contexto operacional actual?

En este punto, se debe realizar una descripción detallada de cuáles son las funciones más importantes del equipo para poder trabajar en su contexto operacional.

¿Qué tipo de falla del equipo puede ocurrir?

En este punto, se debe identificar todas formas de la interrupción de la ejecución programada de un equipo y esto se realiza a través de dos sub-preguntas:

¿Cómo puede fallar el equipo en la ejecución de su función?

¿Qué puede ocasionar el error de la ejecución del funcionamiento del equipo?

¿Cuáles son las causas de ocurrencia de fallas?

El objetivo de desarrollar esta pregunta es la de identificar todas las ocurrencias de fallas del sistema. Al momento de realizar esta pregunta, se debe hacer un análisis muy detallado para determinar las causas de una falla.

¿Qué sucede cuando ocurre una falla?

Cuando se logra identificar cada forma de ocurrencia de falla, se debe declarar también la consecuencia de esta. Estas consecuencias pueden ser: detención de la producción, la línea de producción sigue produciendo con merma o si existen consecuencias negativas para el medio ambiente y/o para la seguridad del operario.

¿Cuál es la importancia de cada falla?

Debemos tener en cuenta que la consecuencia de una falla que ocurre en un sistema tiene un impacto negativo en el tiempo y en lo financiero. Además, las fallas pueden ocasionar interrupción en la línea de producción, contaminación ambiental, accidentes laborales, daños en otros componentes del sistema, entre otros. El RCM, para facilitar la identificación y clasificación de las fallas, ha definido cuatro grupos de consecuencias: consecuencias ocultas, consecuencias relacionadas con la seguridad y el medio ambiente,

consecuencias en la producción y la no producción.

¿Qué se puede hacer para prevenir una falla?

Cuando se tienen fallas en elementos importantes del sistema, se deben tomar acciones para prevenir o predecir estas fallas, o reducir sus consecuencias. Esta situación nos lleva a realizar actividades proactivas y la metodología del RCM la divide en tres categorías:

Tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclicas: esta tarea consiste en reparar o refabricar un elemento del sistema antes de un límite de tiempo sin considerar la condición actual del elemento.

Tareas a condición: es cuando un componente o elemento de un sistema, se le deja funcionando a condición de que siga logrando los parámetros de funcionamiento requeridos.

¿Qué se debe hacer si no hay medidas preventivas adecuadas?

Hay situaciones en donde no es posible encontrar actividades preventivas para evitar la ocurrencia de fallas en un sistema y surge la necesidad de realizar un análisis económico. Es decir, si es desde el punto de vista económico, se debe dejar que un elemento del sistema falle y luego reemplazarlo o realizar otra actividad para que la falla del elemento tenga consecuencias mínimas en todo el sistema. Asimismo, el RCM ha definido cuatro categorías de consecuencias y de acuerdo con la categoría se pueden tomar diferentes acciones. Si se tiene una falla oculta, se debe definir las actividades para poder descubrir la falla, si es una falla con consecuencias relacionadas a la seguridad y al medio ambiente es útil hacer actividades que solo reduzcan o eliminen las consecuencias de esta, si es una falla con consecuencias en la producción se debe realizar intervenciones preventivas solamente cuando el costo de la intervención sea menor al costo que ocasione la falla del elemento. Por último, la situación es idéntica para los elementos que fallan y no tienen consecuencias en la producción.

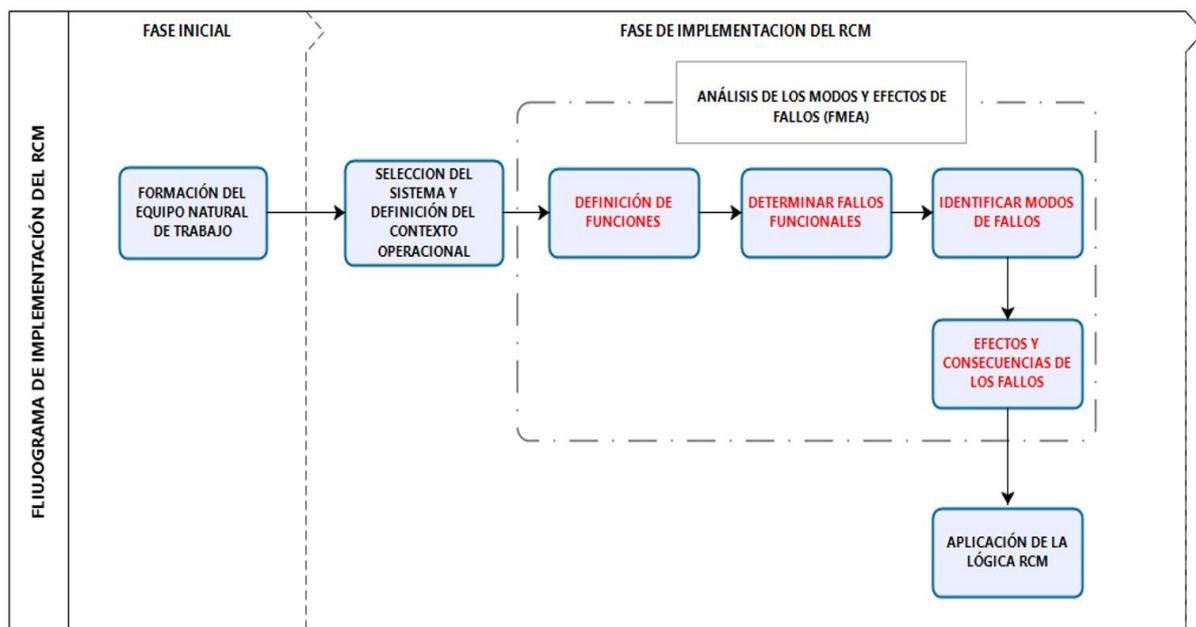
3.3.3. Metodología del RCM

Vittorangeli et al. (2020), en su artículo de investigación nos recomienda, que antes de analizar las necesidades de mantenimiento de los equipos, es esencial tener el conocimiento de cuantos, y que tipo de equipos existen, para luego tomar la decisión a cuáles se les aplicará la metodología del RCM. Es decir, se debe realizar un levantamiento de información y registrar todos los activos de la organización.

En la figura 16, se muestra el flujograma de implementación de la metodología del RCM.

Figura 16

Flujograma de implementación del RCM



Nota. Adaptado de "Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF), Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfíbio a Oruga LVT P-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3" por Parra Márquez, Crespo Márquez, Vittorangeli, 2020.

En la figura se puede observar dos bloques en el proceso de implementación de la metodología del RCM los cuales son:

Fase Inicial:

Formación del equipo natural de trabajo.

Fase de Implementación del RCM:

Selección del sistema y definición del contexto operacional.

Análisis de los modos, efectos y criticidad de fallos (FMECA: Failure Modes, Effects and Criticality Analysis).

Definición de funciones.

Determinar fallos funcionales.

Identificar modos de fallos.

Efectos y consecuencias de los fallos.

3.3.4. Aplicación de la Lógica RCM

A continuación, se describe cada una de las etapas del proceso de implementación de la Metodología del RCM.

3.3.4.1. Formación del Equipo Natural de Trabajo. Según Vittorangeli et al. (2020), para poder responder cada una de las 7 preguntas elementales de la Metodología del RCM, es esencial constituir un equipo natural de trabajo de no menos de 4 ni más de 7 personas de diversos perfiles profesionales y áreas de la empresa, que tengan la capacidad de poder responder en equipo las 7 preguntas elementales del RCM. Asimismo, hay que tener en cuenta que el personal de mantenimiento no tiene la capacidad de responder las preguntas que están relacionadas al funcionamiento óptimo y efectos de falla de los equipos, estas preguntas deben ser respondidas por el personal directo a las operaciones o producción de la organización, ya que ellos trabajan directamente con los equipos. Por este motivo, este personal de trabajo es una fuente importante de información para el análisis de la metodología.

(Moubray,1997) nos dice que el equipo de trabajo debe estar conformado por los siguientes integrantes:

Personal de operación.

Es el más capacitado en la manipulación de los sistemas de producción y que está en constante trabajo en las áreas operativas.

Personal de mantenimiento.

Es el más capacitado en la reparación de los sistemas de producción de la organización.

Ingeniero de procesos.

Es la persona que tiene la capacidad de tener la visión global de los procesos en la organización.

Programador.

Es la persona que tiene la visión sistémica de los procesos de la organización.

Especialista externo.

Es la persona que tiene la especialidad en un área específica, también se puede considerar al fabricante de los equipos.

Facilitador.

Es la persona experta en la implementación de la Metodología del RCM.

El objetivo principal de este equipo de trabajo es la de aplicar la Metodología del RCM para determinar los requerimientos de mantenimiento de un equipo o sistema que forma parte de un proceso en la organización. Asimismo, un punto clave en el éxito del proceso de implementación de esta metodología es el consenso de los participantes del equipo de trabajo. Uno de los integrantes más importantes del equipo de trabajo es el facilitador, el cual tiene como función principal guiar y aplicar el proceso de implementación de una forma ordenada y efectiva. Otras de sus funciones como facilitador son las siguientes:

Orientar al equipo en el análisis de los modos y efectos de fallos (FMECA) y en elegir las actividades de mantenimiento.

Identificar y elegir los equipos que serán analizados bajo la Metodología del RCM.

Liderar las reuniones con el objetivo de brindar fluidez y profesionalismo.

Asegurar consenso en la toma de decisiones del equipo de trabajo.

Asegurar que todo el proceso de implementación de la metodología este correctamente documentada.

Según (Moubray,1997), las aptitudes del facilitador es un factor importante que afecta directamente a la calidad de los resultados finales de la implementación de la metodología.

Las principales aptitudes con las que debe contar el facilitador son el alto nivel técnico, buena capacidad de análisis, liderazgo, credibilidad, seguridad y habilidades comunicativas para dirigir las reuniones de equipo.

3.3.4.2. Selección del Sistema y Definición del Contexto Operacional. Como primer paso para la implementación de la Metodología del RCM, se debe delimitar el sistema o equipo a estudiar, desde la parte más macro del sistema hasta los niveles más bajos del mismo. Es decir, se debe determinar el área de las instalaciones a estudiar, el equipo o sistema a analizar, determinar sus subsistemas y así sucesivamente hasta los niveles en donde el sistema se considere indivisible.

(Moubray,1997), nos dice que para definir la estructura y limitaciones del sistema al que se aplicará la Metodología del RCM, se debe responder a dos preguntas fundamentales:

¿Cuál debe ser el nivel de detalle que se necesita para hacer el análisis de los modos y efectos de fallos del sistema o equipo escogido?

¿El área escogida debería ser analizada en su totalidad y si no existe la necesidad, que debería hacerse para analizar solo una parte del sistema y cuál debería ser la prioridad de análisis de las partes del sistema?

Es de suma importancia que los miembros del equipo definan correctamente el nivel de detalle de la organización en donde se está aplicando el método del RCM.

A continuación, se describen conceptos relacionados al nivel de detalle:

Parte: es el nivel de detalle más bajo, en donde el equipo puede ser desarmado sin ser dañado. Ejemplos: engranajes, ejes de dirección, etc.

Equipo: es el nivel de detalle que está compuesto por un conjunto de partes que forman un elemento identificable y cumple una función importante en el sistema. Ejemplo: Motor, compresor, etc.

Sistema: es el nivel de detalle que está formado por un grupo de equipos que cumplen una determinada función en el proceso productivo de la organización. Ejemplo: Sistema de generación de vapor, sistema de tratamiento de agua, sistema de condensado, etc.

Planta.

Es el nivel de detalle conformado por un grupo de sistemas que operan en conjunto para producir bienes o servicios.

Complejo o Polígono Industrial.

Es el nivel de detalle que está conformado por un grupo de plantas que funcionan en conjunto para producir bienes o servicios de un solo tipo o de varios tipos. Po ejemplo: grupo de plantas de Oxígeno Medicinal.

Para poder responder la segunda pregunta planteada anteriormente, se necesita que el equipo de trabajo identifique los sistemas del área elegida y luego se empiece a jerarquizar en base a los criterios de más importancia y criticidad del entorno de trabajo en donde operan los sistemas seleccionados.

Es por ello, que posteriormente se desarrollará los conceptos de la Técnica del Análisis de Criticidad a utilizar, ya que esta no pertenece propiamente a los pasos de implementación del RCM.

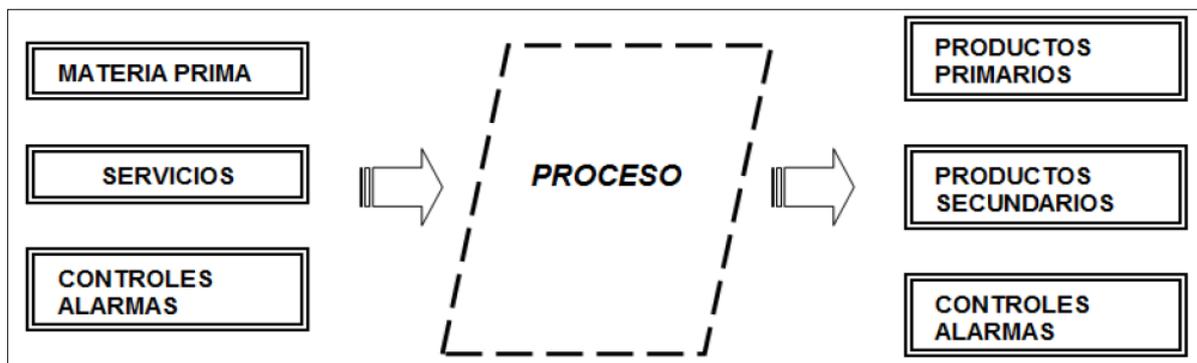
3.3.4.3. Análisis del Contexto Operacional. Obtenidos los resultados del Análisis de Criticidad, en donde se obtendrá como resultado cuáles son los equipos con mayor criticidad, la metodología del RCM, nos dice que se debe desarrollar el contexto operacional de cada

uno de los equipos. Asimismo, el desarrollo del contexto operacional debe contar con las características mostradas en el Diagrama de Entrada, Procesos y Salidas, mostrado en la siguiente figura:

En la Figura 17 podemos apreciar el diagrama en mención.

Figura 17

Diagrama de Entrada-Proceso-Salida (EPS)



Nota. Tomado de "Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos" por Parra & Crespo Marquez, 2019, Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento, 3.

La figura 17, muestra una herramienta importante para poder visualizar gráficamente el contexto operacional del sistema. Este tipo de diagrama nos permite identificar las variables de entrada y salida de los procesos.

A continuación, se explica cada variable del Diagrama EPS:

Materia Prima: es el recurso que el proceso necesita para transformarlo en un producto primario.

Servicios: son los recursos que el proceso necesita para poder lograr su transformación en un producto.

Controles: son los sistemas de control y sus consecuencias sobre los equipos o procesos dentro de una determinada área.

Productos primarios: es el principal objetivo del sistema, normalmente son descritos por la tasa de producción y los estándares de calidad.

Productos secundarios: son productos derivados de la producción de los productos primarios. Perder productos secundarios puede ocasionar la pérdida de las funciones primarias del sistema.

Controles y Alarmas: están relacionadas al funcionamiento de la protección y control del sistema.

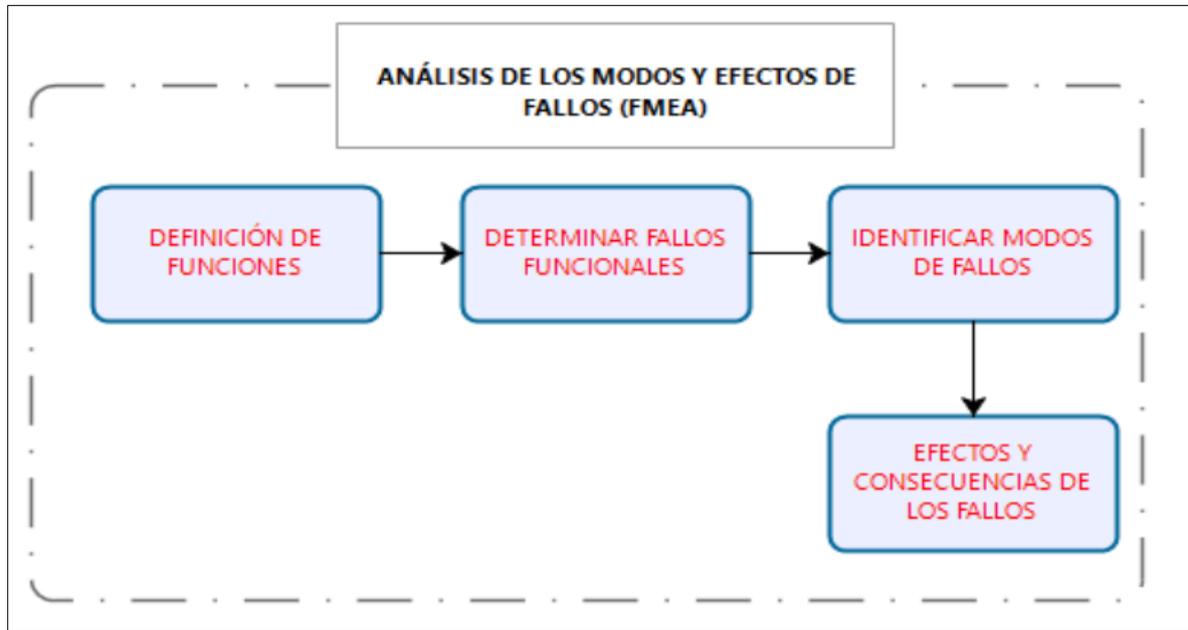
Es importante que los procesos se definan como una descripción de la función que realiza el sistema en el lugar de trabajo. Asimismo, se tiene la Norma ISO 14224, que es una importante guía para desarrollar el contexto operacional, la cual nos brinda pautas para definir el límite del sistema que se está evaluando y definir los ítems mantenibles de los subsistemas.

3.3.4.4. Desarrollo del Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Fallos. El Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Fallos (FMECA: Failures Modes, Effects and Criticality Analysis) es una herramienta que usa la metodología del RCM para responder sus primeras cinco preguntas. Esta herramienta permite identificar anticipadamente los problemas que afectan a los procesos del área en estudio. El equipo de trabajo RCM, debe realizar un análisis a los activos en sus contextos operacionales, para obtener información precisa que ayude a implementar las mejores actividades de mantenimiento que prevengan los efectos de los fallos en los equipos.

A continuación, se presenta el flujograma del proceso de implementación del FMEA.

Figura 18

Flujograma del Análisis de los Modos y Efectos de Fallos (FMEA)



Nota. Adaptado de “Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF), Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfíbio a Oruga LVT P-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3” por Parra Márquez, Crespo Márquez, Vittorangeli, 2020.

El principal objetivo de esta herramienta es hallar todas las formas o modos en que un activo pueda fallar en un determinado proceso y también identificar las consecuencias de dichas fallas en base a tres criterios del RCM: Impacto en la producción, seguridad en el trabajo y seguridad del medio ambiente. Asimismo, para que el equipo de trabajo del RCM pueda cumplir con el objetivo mencionado, debe ejecutar el FMEA en el siguiente orden:

Determinar las funciones que tienen los equipos y sus parámetros de operación.

Determinar los fallos funcionales vinculados a cada función del equipo.

Determinar los modos de fallo vinculados a cada fallo funcional.

Determinar los efectos y consecuencias vinculados a cada modo de fallo encontrado.

3.3.4.4.1 Definición de Funciones y Estándares de Ejecución. Según (Moubray, 1997) el término función se define como un conjunto de actividades que se ejecutan bajo un solo propósito y en un determinado escenario operacional. Asimismo, el RCM precisa los siguientes tipos de funciones:

Funciones primarias.

Es el conjunto de actividades que un equipo o activo debe ejecutar dentro de un proceso, normalmente este tipo de funciones están relacionadas al nombre del equipo. Por ejemplo, la función primaria de una compresora es comprimir cierto tipo de fluido.

Funciones secundarias

Es el conjunto de actividades que el equipo o activo está preparado para realizar en complemento a las funciones principales. Por ejemplo, el pintado que tienen los equipos cumple una función primaria de protección ante la corrosión y si la pintura es brillante, cumple una función secundaria de seguridad porque mejora su visibilidad en el área de trabajo.

Funciones de protección

Son aquellos equipos que cumplen la función de proteger a las personas de los efectos de los fallos y también proteger a los equipos.

Funciones de control

Son los equipos que tienen como función tomar mediciones de variables como la temperatura, presión, fluido, etc. Estas variables serán comparadas con los parámetros operacionales, con el objetivo de controlar y monitorear el correcto funcionamiento de los procesos de producción.

Funciones subsidiarias

Este tipo de funciones es ejecutado por equipos especiales en procesos específicos y que no tienen relación con el producto final.

Cuando un activo no está realizando eficientemente sus funciones, el equipo de trabajo debe definir los estándares de ejecución vinculados a cada función del equipo en su contexto operacional. Asimismo, un estándar de ejecución es definido por la metodología del RCM como un parámetro que te ayuda a cuantificar, especificar y evaluar el funcionamiento de un activo.

3.3.4.4.2. Definición de Fallos Funcionales. Según (Moubray, 1997), en la metodología del RCM los fallos funcionales, son definidos como la pérdida de una determinada función del activo de manera imprevista en su contexto operacional. Asimismo, los fallos funcionales afectan de una manera parcial cuando el equipo está operando ineficientemente o de una forma total, cuando el equipo deja de funcionar en su totalidad. También, es importante señalar que la correcta definición de un fallo funcional va a depender del contexto operacional en el cual se encuentre el activo, ya que existe la posibilidad de que el mismo tipo de activo en contextos operacionales diferentes puede tener fallos funcionales diferentes.

3.3.4.4.3. Definición de Modos de Fallos. (Moubray, 1997), nos dice que según la metodología del RCM, define a los modos de fallos como las causas físicas que originan los fallos funcionales totales o parciales. Según el RCM, el conjunto de actividades preventivas y correctivas del área de mantenimiento deben estar enfocadas en intervenir a cada uno de los modos de fallos relacionados a cada fallo funcional del activo. Asimismo, el equipo de trabajo durante el análisis y definición de modos de fallos del activo deberá consultar información en la lista de modos de fallos del fabricante, en el personal de mantenimiento o de operaciones con larga experiencia en la reparación y manipulación del activo y en el historial de reparaciones del activo.

3.3.4.4.4. Definición de los Efectos y Consecuencias de los Modos de Fallos. Según (Moubray, 1997), en esta etapa de la implementación de la metodología del RCM, el equipo de trabajo tiene como objetivo identificar lo que ocurrirá en el contexto operacional en el momento que suceda el modo de fallo. Es importante que los efectos del modo de fallo del activo, se encuentren identificados con toda la información necesaria para poder respaldar la identificación de las consecuencias de los fallos. Asimismo, para poder identificar y realizar una correcta descripción de los efectos ocasionados por cada modo de fallo, el equipo de trabajo del RCM debe responder las siguientes preguntas:

¿Cómo se demuestra que ha ocurrido un modo de fallo?

Cuando realizamos la descripción del efecto de fallo se debe detallar si el evento del modo de fallo se presenta con algún síntoma físico, que puede ser una alarma, humo, calentamiento, ruido, etc.

¿Cuáles son las consecuencias de los modos de fallo en la seguridad del operario o en el medio ambiente?

Si es que hubiese la probabilidad de que alguna persona pueda sufrir un accidente o que se viole alguna norma relacionada al medio ambiente, se debe mencionar en esta pregunta. Por otro lado, usualmente los equipos con diseños modernos pueden presentar modos de fallos relacionados a la mala operatividad, al funcionamiento excesivo de trabajo, etc.

¿Cómo podría afectar el modo de fallo a las operaciones y la producción de la organización?

La respuesta a esta pregunta debe detallar si el modo de fallo tiene consecuencias directas sobre la línea de producción o en las operaciones de la organización. En estos casos, el modo de fallo afecta a la calidad del producto final o a la calidad del servicio prestado, también a la seguridad de las personas o al medio ambiente.

Asimismo, el activo y su contexto operacional, su funcionamiento estándar requerido y las consecuencias físicas de su modo de fallo, son tres factores importantes que influyen en las consecuencias de cada modo de fallo en las operaciones, en la seguridad de las personas y en el medio ambiente. En la metodología del RCM los modos de fallos son divididos en cuatro tipos:

Modos de fallo con consecuencias no evidentes.

Este tipo de fallos no se pueden percibir en el sistema hasta que otro fallo ocurra.

Modos de fallo con consecuencias en la seguridad y el medio ambiente.

Son aquellos fallos de los activos que ocasionan problemas en la seguridad del personal y en el medio ambiente.

Modos de fallo con consecuencias en las operaciones.

Este tipo de fallo tiene consecuencias importantes sobre la calidad de la producción, la cantidad de productos, costos de producción, etc.

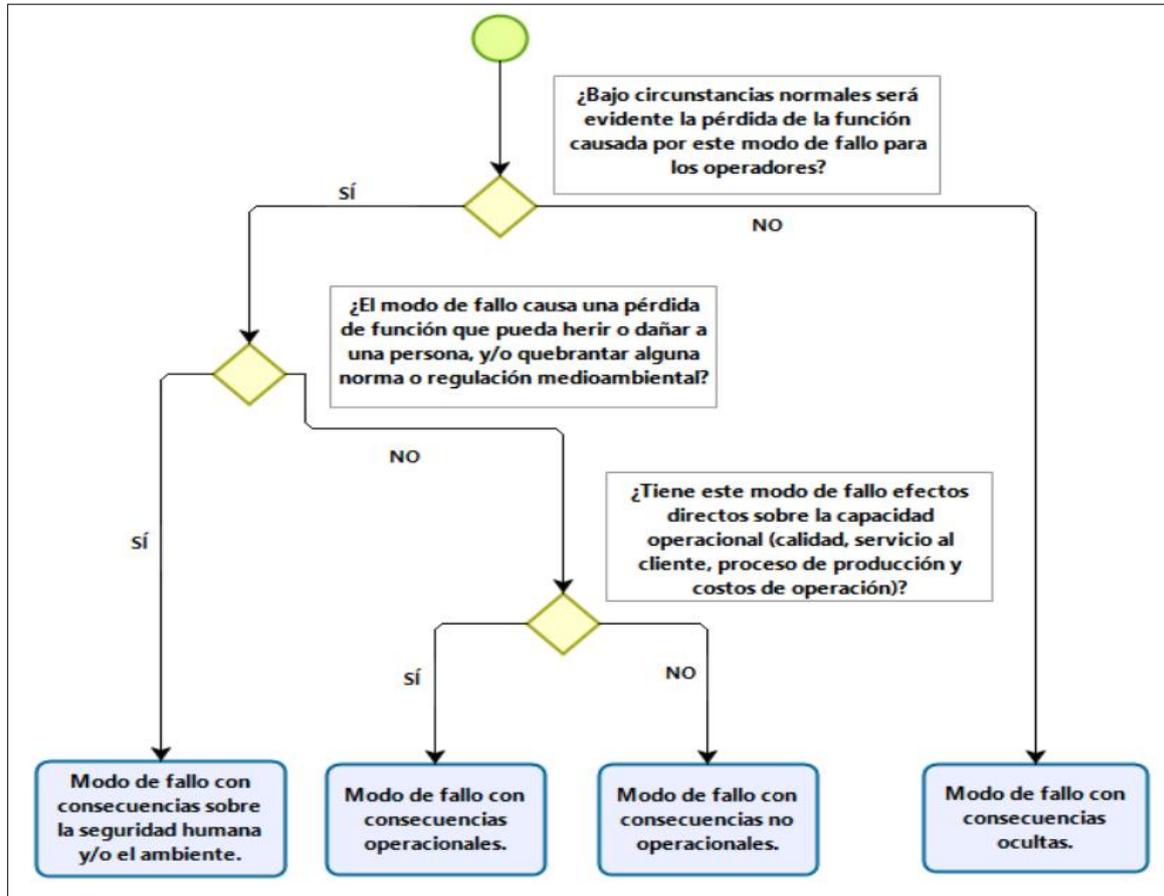
Modos de fallo con consecuencias no operacionales.

Son aquellos fallos que no tienen un impacto importante en el proceso de producción de la organización. Este tipo de fallo solo tiene un impacto económico relacionado a los costos de reparación del activo.

En el siguiente flujograma, se muestra como determinar las consecuencias de modos de fallos.

Figura 19

Flujograma para determinar las consecuencias de modos de fallos



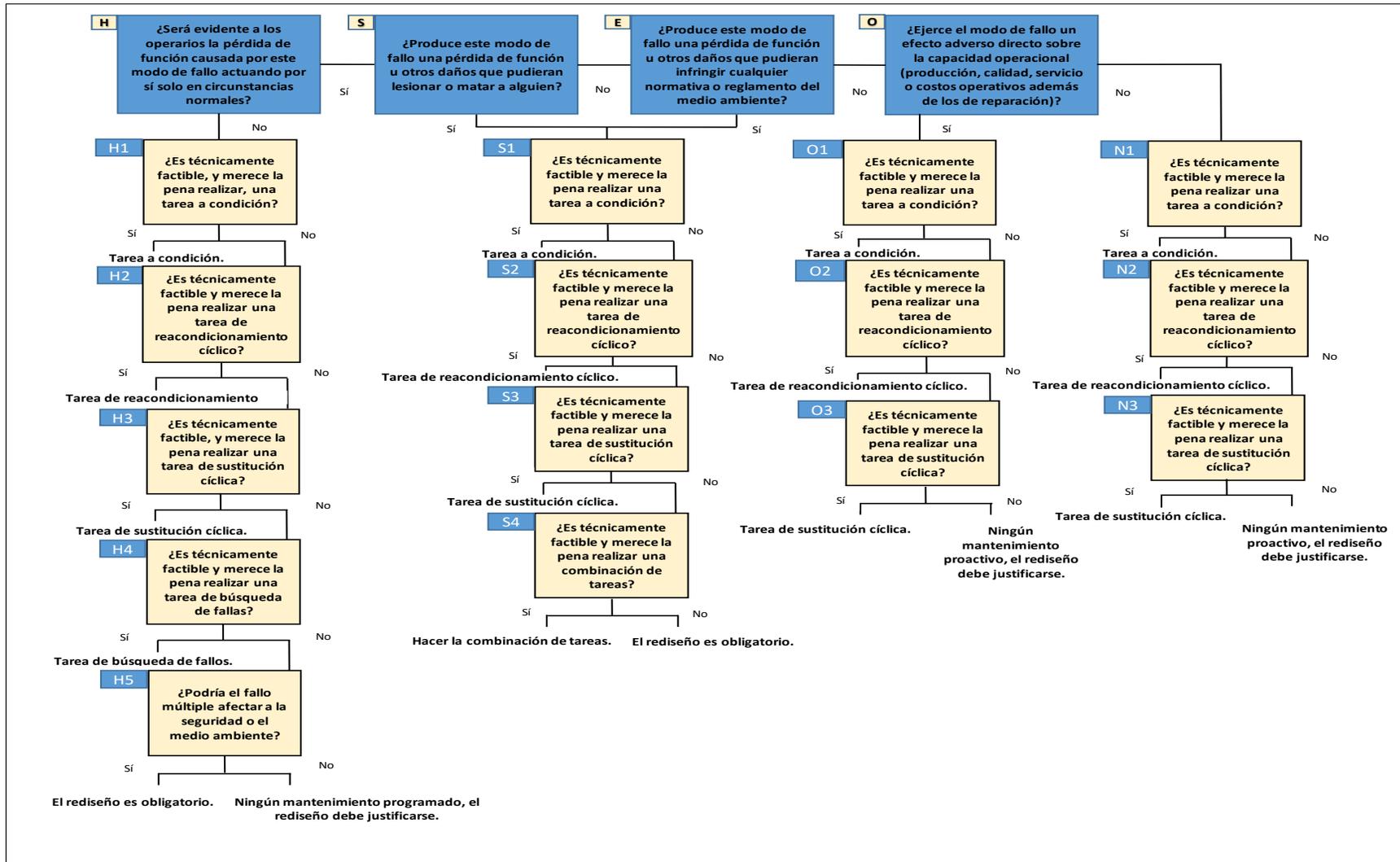
Nota. Adaptado de “Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF), Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfíbio a Oruga LVT P-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3” por Parra Márquez, Crespo Márquez, Vittorangeli, 2020.

3.3.4.5. Proceso de Selección de Estrategias de Mantenimiento. Según (Moubray, 1997) una vez hecho el desarrollo del análisis de modos, efectos y criticidad de fallos (FMECA), el equipo encargado de la implementación de la metodología del RCM deberá elegir el tipo de actividad de mantenimiento para cada activo en estudio. Esta elección, se trabajará con el árbol lógico de decisión del RCM, que permite identificar qué tipo de mantenimiento será el óptimo para mitigar los efectos de los modos de fallos encontrados en el activo. Luego, una vez identificado el tipo de mantenimiento a realizar, se deberán determinar las acciones de mantenimiento y la frecuencia de ejecución de las tareas.

A continuación, se presenta el flujograma del árbol lógico de decisión del RCM, el cual nos servirá para identificar el tipo de mantenimiento que se aplicará en el activo en cuestión.

Figura 20

Flujograma del árbol lógico de decisiones del RCM



Nota. Adaptado de Moubray J., *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*, 2, p. 204-205.

La metodología del RCM divide las actividades de mantenimiento en dos clases: las actividades preventivas o proactivas y las correctivas. Asimismo, cada clase de mantenimiento tiene sus propias tareas de mantenimiento, que serán detalladas a continuación. Las actividades de mantenimiento preventivas o proactivas tienen cuatro tipos de categorías:

3.3.4.5.1. Tareas Programadas en Base a Condición. Este tipo de tareas también son conocidas como tareas predictivas y ocurren cuando los modos de fallos no suceden en un determinado momento, sino cuando se desarrollan en un tiempo determinado. Si estos modos de fallos son detectados durante el funcionamiento normal de las operaciones, es posible que se pueda intervenir el activo con tareas preventivas para estos modos de fallos. Asimismo, el instante en el cual es posible encontrar que el fallo este sucediendo o está a punto de suceder se conoce como fallo potencial. Los ejemplos más habituales de este tipo de fallo son el agrietamiento de metales que indican fatiga, partículas o virutas de metal en el aceite del sistema de transferencia de un vehículo, que indican daño en los engranajes internos, etc.

3.3.4.5.2. Tareas de Reacondicionamiento. Este tipo de tareas periódicas son aquellas realizadas al activo para restaurarlo a sus condiciones iniciales de funcionamiento, es decir, son tareas preventivas ejecutadas en un intervalo de tiempo menor a la vida máxima operativa del activo. En este tipo de tareas, el activo se detiene para ser inspeccionado y para el cambio de piezas defectuosas. Asimismo, este tipo de tareas también es conocido como overhaul, donde su aplicación más usada se da en activos como compresores, turbinas, calderas, etc.

3.3.4.5.3. Tareas de Sustitución Programada. Este tipo de tareas consisten en reemplazar los componentes antes de que fallen, lo cual devolverá el estado inicial de funcionamiento del componente, ya que se reemplaza un componente viejo por uno nuevo.

3.3.4.5.4. Tareas de Fallos Ocultos. Este tipo de tarea se enfoca en el monitoreo periódico del funcionamiento correcto de las funciones ocultas del activo. Asimismo, es importante mencionar que los modos de fallos ocultos no son evidentes en condiciones normales de operación ya que estos no tienen una consecuencia directa sobre el funcionamiento del activo, sino que pueden provocar varios fallos en todo el contexto operacional.

Por otro lado, se tienen las actividades de mantenimiento correctivas o reactivas, las cuales están divididas en dos tipos:

3.3.4.5.5. Rediseño. El rediseño se debe aplicar cuando no se encuentra la actividad de mantenimiento preventiva adecuada que ayude a disminuir las consecuencias de los modos de fallos. Asimismo, cuando se tienen consecuencias operacionales o no operaciones del modo de fallo y no se ha podido determinar un plan de mantenimiento preventivo que resulte efectivo, la alternativa de optar por un plan de rediseño se transforma en un proceso de justificación económica.

3.3.4.5.6. Actividades de Mantenimiento no Programado. Son aquellas actividades que se ejecutan cuando no se encuentran actividades preventivas menos costosas que las consecuencias operacionales o no operacionales provocadas por los modos de fallos. Es así que, se toma la decisión de esperar que el componente falle para poder realizar el cambio de este mismo.

3.3.5. Disponibilidad

Según Penabad-Sanz et al. (2016), en su artículo de investigación, definen a la disponibilidad como la destreza de un activo que realiza su función bajo un contexto operacional en un tiempo determinado, considerando que los recursos que necesita para su óptimo funcionamiento están disponibles. Asimismo, nos menciona que el indicador de disponibilidad es el más adecuado para monitorear el trabajo del mantenimiento de vehículos de transporte, si se tiene como objetivo del mantenimiento, garantizar el correcto funcionamiento de la flota vehicular. A continuación, se presenta la fórmula del indicador:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{T - T_{IE}}{T} \times 100\%$$

Dónde: T: Tiempo disponible del equipo.

T_{IE} : Tiempo de inactividad del equipo.

3.3.6. Técnica de Análisis de Criticidad

Según Vittorangeli et al. (2020), la técnica de análisis de criticidad es una herramienta que ayuda a identificar y jerarquizar instalaciones, sistemas y equipos, por criterios de importancia, con el objetivo de poder decidir y optimizar la asignación de recursos humanos, tecnológicos y económicos. Asimismo, la técnica de análisis de criticidad más utilizado en la aplicación de la Metodología del RCM, es el proceso de jerarquización fundamentado en la

matriz de criticidad, que a su vez esta considera la evaluación del factor riesgo. También, es importante mencionar que esta técnica está conformada por un análisis de probabilidad (frecuencia) de fallas y las consecuencias (nivel de severidad) que pueden ser ocasionados por los sistemas evaluados. Es importante mencionar que existen varios tipos de técnicas de análisis de criticidad y que la elección de esta es determinada por los objetivos de la organización y para ejecutar esta técnica es necesario realizar una definición del alcance y propósito del uso de la técnica, establecer los criterios de importancia a evaluar y seleccionar el tipo de técnica a realizar.

A continuación, se presenta el método semi cuantitativo más utilizado en la aplicación de la Metodología del RCM:

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia de Fallos} \times \text{Consecuencias}$$

Donde:

Frecuencia de fallos = Número de fallos en un tiempo determinado.

Consecuencias = (Impacto de Seguridad y Salud x 0.25) + (Impacto en el Medio Ambiente x 0.25) + (Impacto de Producción y/o Costos de Mantenimiento x 0.25)

Es importante mencionar que los factores son criterios establecidos de acuerdo a los objetivos y a la disponibilidad de información con la que se cuenta en la organización. Si no se cuenta con información registrada en una base de datos, se puede realizar consultas directas al personal que labora diariamente con los sistemas o equipos de la organización. A continuación, se detallan los factores de criticidad referentes en este tipo de análisis de criticidad:

Figura 21

Método de Criticidad: Criterio de Frecuencia de Paradas

Escala 1-5	Frecuencia de Paradas	Evento
5	Frecuente	Más de 3 eventos por año.
4	Probable	Entre 1 y 3 eventos al año.
3	Posible	1 evento en 3 años.
2	Improbable	1 evento en 5 años
1	Sumamente improbable	Ningún evento en 5 años.

Nota. Tomado de “Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF), Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfíbio a Oruga LVT P-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3” por Parra Márquez, Crespo Márquez, Vittorangeli, 2020.

Figura 22

Método de Criticidad: Criterio de Impacto en Seguridad y Salud

Escala 1-5	Impacto en Seguridad y Salud
	Eventos
5	Evento catastrófico: pérdida de vidas humanas.
4	Evento que genera lesión incapacitante ó efectos a la salud de por vida.
3	Evento que genera lesión incapacitante ó efectos a la salud de forma temporal.
2	Evento que genera lesión ó efectos a la salud menores (no incapacita al trabajador).
1	No genera ningún impacto sobre la Seguridad y Salud.

Nota. Tomado de “Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF), Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfíbio a Oruga LVT P-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3” por Parra Márquez, Crespo Márquez, Vittorangeli, 2020.

Figura 23

Método de Criticidad: Criterio de Impacto en Medio Ambiente

Escala 1-5	Impacto en Medio Ambiente
	Eventos
5	Afectación catastrófica al ambiente (cierre total de las operaciones)
4	Afectación sensible al ambiente (daños ambientales recuperables a largo plazo, multas, indemnizaciones y cierre temporal)
3	Afectación moderada al ambiente (daños ambientales recuperables en corto plazo, multas e indemnizaciones)
2	Incidente ambiental controlable (no genera daños ambientales, costos directos menores).
1	No genera ningún impacto ambiental.

Nota. Tomado de “Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF), Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfibio a Oruga LVT P-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3” por Parra Márquez, Crespo Márquez, Vittorangeli, 2020.

Figura 24

Método de Criticidad: Criterio de Impacto en Producción y/o en los Costos de Mantenimiento.

Escala 1-5	Impacto en Producción y/o en los Costos de Mantenimiento
	Eventos
5	Pérdidas de producción superiores al 75%, costos de reposición mayores a \$ 75.000\$
4	Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%, costos de reposición entre \$ 50.000 y \$ 74.999
3	Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%, costos de reposición entre \$ 25.000 y \$ 49.999
2	Pérdidas de producción entre el 5% y el 24%, costos de reposición entre \$ 10.000 y \$ 24.999
1	Pérdidas de producción menor al 5%, costos de reposición menores a \$ 9.999

Nota. Tomado de “Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF), Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfibio a Oruga LVT P-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3” por Parra Márquez, Crespo Márquez, Vittorangeli, 2020.

A continuación, en la figura 25 se presentan los resultados de la aplicación de la fórmula mencionada anteriormente en una matriz de criticidad de 5x5, donde el eje vertical representa los niveles de frecuencia y el eje horizontal representa los niveles de consecuencias. Asimismo, el color blanco representa una baja criticidad, el color amarillo una criticidad media, el color verde una criticidad alta y el color rojo una criticidad muy alta.

Figura 25

Representación general de la Matriz de Criticidad

F R E C U E N C I A	5	MC	MC	AC	MAC	MAC
	4	MC	MC	AC	AC	MAC
	3	BC	MC	MC	AC	MAC
	2	BC	BC	MC	AC	MAC
	1	BC	BC	MC	AC	MAC
		1	2	3	4	5
		CONSECUENCIAS				

Nota. Tomado de “Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos” por Parra & Crespo Marquez, 2019, Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento, 3.

En donde:

BC: Baja Criticidad

MC: Media Criticidad

AC: Alta Criticidad

MAC: Muy Alta Criticidad

3.3.7. Número de Prioridad de Riesgo (NPR)

Según Bestratén et al. (2004) nos menciona en su Guía de Buenas Prácticas del Ministerio de Trabajo y de Asuntos Sociales de España, que el Número de Prioridad de Riesgo, es un índice fundamentado con el método matemático de riesgos de William Fine, el cual es adaptado para la metodología AMFE añadiendo el criterio de detectabilidad. Por lo tanto, se tiene como resultado que el NPR es el producto de la ocurrencia por la gravedad y la detectabilidad, siendo su resultado un número referente que ayude a priorizar la urgente necesidad de la intervención en un sistema o equipo. Asimismo, es importante mencionar que este índice es añadido después del análisis AMFE, con el objetivo de asegurar una priorización y un tiempo de respuesta inmediato al sistema o equipo en análisis: también se debe tener en cuenta que los criterios pueden ser diseñados de acuerdo con las necesidades del análisis y los objetivos de la organización.

A continuación, en las figuras 26, 27 y 28 se presentan cada criterio del análisis del NPR: Gravedad, ocurrencia y detectabilidad, respectivamente,

3.3.7.1. Gravedad (G). El criterio de la Gravedad (G), establece la importancia del efecto del modo de fallo.

Figura 26

Criterio del Análisis NPR: Gravedad

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observara un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable.	2 a 3
Moderada	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema.	4 a 5
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	6 a 8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10.	9 a 10

Nota. Adaptado de “Guía de Buenas Prácticas N° 679: Análisis modal de fallos y efectos AMFE.” Por Bestratén Belloví, Orriols Ramos, Mata París, 2004.

3.3.7.2. Ocurrencia (O). Es la probabilidad de que ocurra un evento y origine un modo de fallo en el sistema o equipo analizado. Asimismo, esta es una evaluación subjetiva y se recomienda si es que se tiene información, utilizar datos históricos.

Figura 27

Criterio del Análisis NPR: Ocurrencia

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy Baja	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2 a 3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4 a 5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6 a 8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9 a 10

Nota. Adaptado de “Guía de Buenas Prácticas N° 679: Análisis modal de fallos y efectos AMFE.” Por Bestratén Belloví, Orriols Ramos, Mata París, 2004.

3.3.7.3. Detectabilidad (D). El criterio consiste en la capacidad de encontrar la falla del sistema o equipo, antes de que llegue al cliente.

Figura 28

Criterio del Análisis NPR: Detectabilidad

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja	El defecto no puede detectarse.	1
Baja	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	2 a 3
Moderada	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción.	4 a 5
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	6 a 8
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	9 a 10

Nota. Adaptado de “Guía de Buenas Prácticas N°679: Análisis modal de fallos y efectos AMFE.” Por Bestratén Belloví, Orriols Ramos, Mata París, 2004.

Capítulo IV: Hipótesis y Variables

4.1. Hipótesis General

H1: La mejora del plan de mantenimiento incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

H0: La mejora del plan de mantenimiento no incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

4.2. Hipótesis Específicas

H1: La Implementación de procedimientos de mantenimiento incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

H0: La Implementación de procedimientos de mantenimiento no incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

H2: La implementación de procedimientos logísticos incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

H0: La implementación de procedimientos logísticos no incrementará la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

H3: La implementación de indicadores de gestión incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

H0: La implementación de indicadores de gestión no incrementará la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

H4: La implementación de mejoras laborales incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

H0: La implementación de mejoras laborales no incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

4.3. Identificación de Variable

4.3.1. Variable Independiente: Plan de Mantenimiento.

Se ha identificado como variable independiente el plan de mantenimiento, que según García (2003) es un documento en donde se detallan las actividades de mantenimiento programadas que se deben ejecutar a un equipo o sistema, con la finalidad de lograr los objetivos de disponibilidad deseados.

En contexto, un plan de mantenimiento para una flota vehicular de camionetas alquiladas al sector minero es importante, ya que de él depende un impacto positivo o negativo en la disponibilidad mecánica de los vehículos y consecuentemente en la rentabilidad de la empresa.

Tabla 7

Indicadores relacionados a la variable independiente

Indicador	Tipo	Escala
Número de Paradas Promedio Mensual por Equipo.	Cuantitativa	Discreta
Frecuencia del tipo de riesgo del NPR por Equipo.	Cuantitativa	Continua

Nota. Elaboración propia.

4.3.2. Variable Dependiente: La Disponibilidad de Unidades Vehiculares.

Se ha identificado como variable dependiente la disponibilidad de las unidades vehiculares, que según Penabad-Sanz et al. (2016) es el comportamiento del funcionamiento de un equipo o sistema que ejecuta una tarea en un determinado contexto operacional y durante un tiempo definido.

En contexto, la disponibilidad de las unidades vehiculares de una empresa que se dedica al alquiler de vehículos depende del desempeño del plan de mantenimiento, ya que este

documento brinda información precisa de las tareas a ejecutar con el objetivo de mantener operativas las unidades vehiculares el mayor tiempo posible.

Tabla 8

Indicadores relacionados a la variable dependiente.

Indicador	Tipo	Escala
Disponibilidad de Unidades Vehiculares.	Cuantitativa	Continua
Costos de indisponibilidad vehicular.	Cuantitativa	Continua

Nota. Elaboración propia.

4.4. Operacionalización de Variables

Según Carrasco (2005), la operacionalización de variables es una metodología que disgrega las variables relacionadas al tema de investigación, comenzando desde lo más general a los más específicos. Es decir, la operacionalización es un proceso metodológico donde el investigador extrae desde el punto de vista teórico al práctico detalles de la definición y medición de las variables en cuestión.

A continuación, en la figura 29 se presenta la matriz de operacionalización de la variable independiente.

Figura 29*Matriz de Operacionalización de la variable independiente*

Variable Independiente	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Plan de Mantenimiento	La variable Plan de Mantenimiento en la empresa Renting Car SAC, esta definida como una herramienta estratégica producto del análisis del RCM, con el objetivo de reducir las frecuencias de fallas de los vehículos, mediante la ejecución de actividades de mantenimiento con un criterio de evaluación del número de prioridad de riesgos (NPR) de cada equipo del vehículo.	Tareas de mantenimiento programadas que se realizan para reducir las fallas del sistema.	Número de Paradas Promedio Mensual por Equipo.	Cuantitativa discreta.
		Tareas de mantenimiento en base a priorización de equipos mas críticos.	Frecuencia del Tipo de Riesgo del NPR por Equipo	Cuantitativa continua.

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 30 se presenta la matriz de la operacionalización de la variable dependiente.

Figura 30

Matriz de Operacionalización de la variable dependiente

Variable Dependiente	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
La Disponibilidad de Unidades Vehiculares	La variable Disponibilidad de Unidades Vehiculares en la empresa Renting Car SAC, esta definida por el tiempo en el cual las unidades vehiculares han trabajado optimamente en su contexto operacional.	Tiempo de funcionamiento óptimo de las unidades vehiculares.	Disponibilidad de Unidades vehiculares.	Cuantitativa continua.
	Asimismo, la indisponibilidad de unidades vehiculares tienen como consecuencia directa la pérdida de ingresos por alquiler.	Pérdida de ingresos ocasionado por indisponibilidad vehicular.	Costos de Indisponibilidad Vehicular.	Cuantitativa continua.

Nota. Elaboración propia.

4.5 Matriz de Consistencia

A continuación, en la figura 31 se presenta la Matriz de Consistencia.

Figura 31

Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			METODOLOGÍA
			Variables	Indicadores	Escala	
PROBLEMA GENERAL: ¿Cuál es el impacto de la mejora del plan de mantenimiento en la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos?	OBJETIVO GENERAL: Determinar cuál es el impacto de la mejora del plan de mantenimiento en la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.	HIPÓTESIS GENERAL: H1: La mejora del plan de mantenimiento incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos. H0: La mejora del plan de mantenimiento no incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.	Variable Dependiente: La Disponibilidad de Unidades Vehiculares.	Disponibilidad de unidades vehiculares. Costos de indisponibilidad vehicular.	Continua. Continua.	Metodología: Diseño no experimental. Explicativa. Transversal. Paradigma: Positivista. Enfoque: Cuantitativo. Método: Bivariado Correlacional
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS				
Problema específico N°1- ¿Qué procedimientos de mantenimiento se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos?	Objetivo específico N°1 – Determinar que procedimientos de mantenimiento se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.	H1: La Implementación de procedimientos de mantenimiento incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos. H0: La Implementación de procedimientos de mantenimiento no incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.				
Problema específico N°2 - ¿Qué procedimientos logísticos se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos?	Objetivo específico N°2 – Determinar que procedimientos logísticos se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.	H2: La implementación de procedimientos logísticos incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos. H0: La implementación de procedimientos logísticos no incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.				
Problema específico N°3 - ¿Qué indicadores de gestión se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos?	Objetivo específico N°3 – Determinar qué indicadores de gestión se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.	H3: La implementación de indicadores de gestión incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos. H0: La implementación de indicadores de gestión no incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.	Variable Independiente: Plan de Mantenimiento.	Número de Paradas Promedio Mensual por Equipo.	Discreta	
Problema específico N°4 - ¿Qué mejoras laborales se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos?	Objetivo específico N°4 – Determinar que mejoras laborales se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.	H4: La implementación de mejoras laborales incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos. H0: La implementación de adecuadas mejoras laborales no incrementa la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.				Continua

Nota. Elaboración propia.

Capítulo V: Metodología

5.1. Tipo y Diseño de Investigación

Según Hernández et al. (2014), esta investigación tiene un diseño no experimental ya que no se manipula las variables. Se observa la situación actual del comportamiento de las variables y no se ocasiona ninguna situación que altere el comportamiento de las mismas. Asimismo, la investigación es explicativa porque estudia el efecto del “Plan de mantenimiento de las unidades vehiculares” sobre la “Disponibilidad de las Unidades Vehiculares” y es transversal porque busca analizar la interacción de las variables en un momento específico.

5.1.1. Paradigma

Según Hernández et al. (2014), la metodología del trabajo de investigación sigue un paradigma positivista, porque se busca encontrar la objetividad y las causas de la misma; a través de base de datos y cuestionarios, ente otros para poder obtener información estadística, lo cual nos lleva a un proceso deductivo aplicable al tema de investigación.

5.1.2. Enfoque

Hernández et al. (2014) afirma que, la metodología tiene un enfoque cuantitativo, ya que tiene fundamento en información numérica la cual puede ser comprobada estadísticamente. Asimismo, esta información estadística ayuda a explicar el origen y el alcance de los problemas de la investigación.

5.1.3. Método

Hernández et al. (2014) sostiene que, la metodología de la investigación es no experimental, ya que no existe un manejo directo de las variables. Es decir, que esta investigación no altera intencionalmente las variables para ver qué efectos ocasiona la variable independiente sobre la variable dependiente. Asimismo, el método es Bivariado, ya que las

variables “plan de mantenimiento” de las unidades vehiculares y la “disponibilidad” de las unidades vehiculares, establecen una relación entre ellas. Por último, el método es correlacional, porque se puede cuantificar la relación de las variables mencionadas.

5.2. Unidad de Análisis

La presente investigación tiene como unidad de análisis un vehículo del tipo pickup Toyota Hilux 1GD, el cual es alquilado para transportar equipos y personal en una unidad minera.

5.3. Población de Estudio

Según Hernández et al. (2014), la población estaría definida por todos aquellos vehículos del tipo Pickup Toyota Hilux 1GD pertenecientes a la empresa Renting Car S.A.C, los cuales son alquilados a una empresa del rubro de perforación en mina. Asimismo, la cantidad de vehículos del tipo Pickup se han mantenido en 30 unidades en los últimos tres años.

5.4. Tamaño de Muestra

El tamaño de la muestra seleccionado para esta investigación es de 30 unidades vehiculares del tipo Pick up Toyota Hilux 1GD.

5.5. Selección de Muestra

Según López y Fachelli (2015), por la naturaleza de este proyecto de investigación en donde tenemos una población finita y pequeña, es ventajoso utilizar el tipo de muestra censal; la cual nos permite que el marco de la muestra puede estar conformado por todas las unidades de la población. Asimismo, con este tipo de muestra podemos obtener datos más confiables y lograr un programa de mantenimiento completo para los 30 vehículos del tipo pickup Toyota Hilux 1GD.

5.6. Técnicas de Recolección de Datos

Según Hernández et al. (2014), la técnica de recolección de datos que mejor define a este tipo de investigación es la técnica de datos secundarios, ya que la información de las horas trabajadas de los vehículos y el número de frecuencia de fallas por equipo, han sido registrados en una base de datos por el personal del área de mantenimiento de la empresa y no por el autor de esta investigación.

5.7. Análisis e Interpretación de la Información

Una vez realizada la recopilación de datos por el autor de esta investigación, estos deben iniciar un proceso de análisis, que ayude a entender las causas por la cual se ha tomado la decisión de iniciar este trabajo de investigación. Asimismo, este análisis de información debe ayudar como base para el desarrollo de las posibles soluciones de la investigación. En ese sentido, Hernández et al. (2014) nos habla de diversas formas o métodos de análisis de información, el cual el más apropiado de acuerdo con la información que se tiene, es el análisis mediante la estadística descriptiva, en donde resalta el uso de la distribución de frecuencias para comparar la disponibilidad de las unidades vehiculares por categorías y las medidas de tendencia central, como la media, para analizar la frecuencia de fallas vehiculares.

Capítulo VI: Procedimiento y Método de Análisis

6.1. Descripción de la Empresa.

La empresa Renting Car S.A.C inicia operaciones en el año 2015, dedicándose al alquiler de camionetas Toyota Hilux 1GD para el transporte de mercancía y de personal en la industria minera. Asimismo, la empresa cuenta con un taller de reparaciones ubicado en Lima-Chorrillos, en donde se realiza el mantenimiento de las unidades vehiculares.

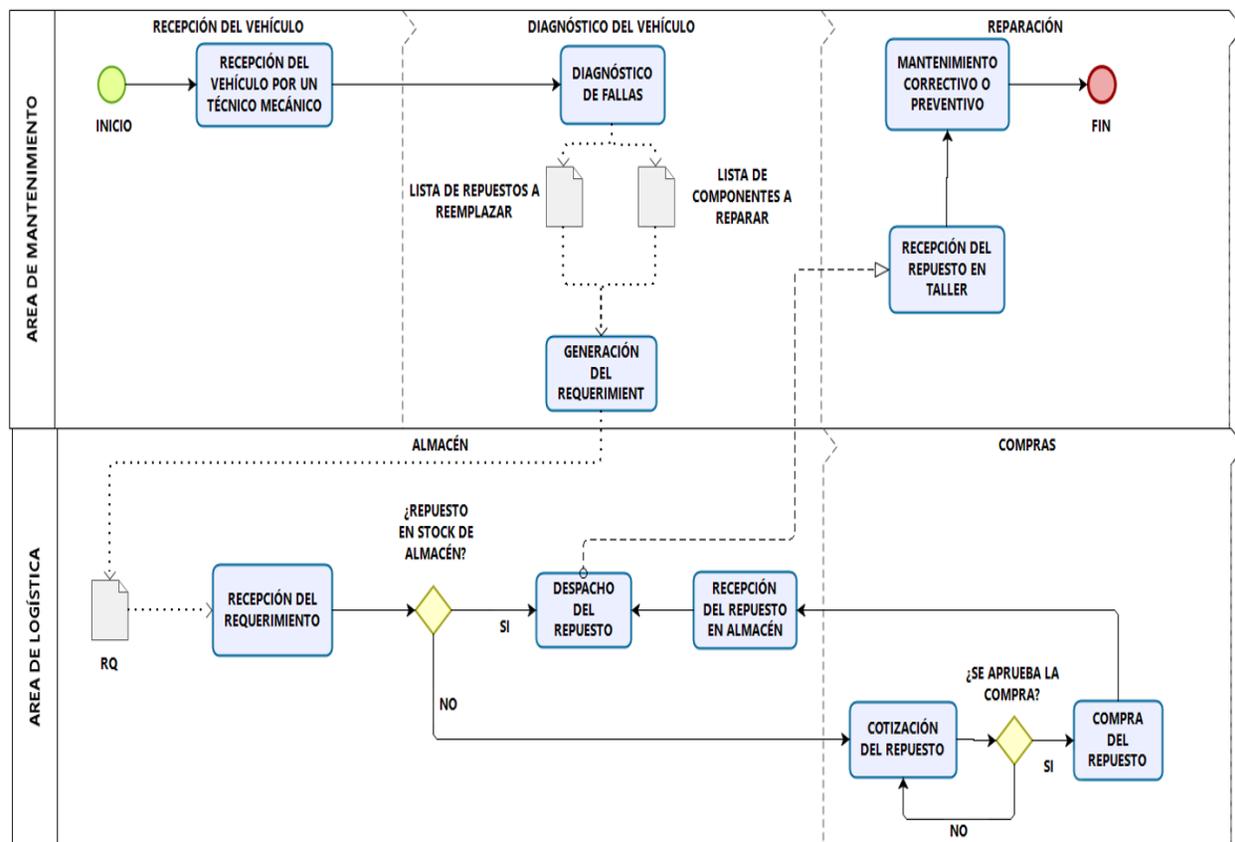
6.2. Principales Procesos de la Empresa.

La empresa Renting Car S.A.C está organizada en dos áreas: Área de mantenimiento y Área de logística.

A continuación, en la figura 32 se observan los principales procesos y su interrelación entre las áreas mencionadas.

Figura 32

Flujograma de procesos del área de mantenimiento y logística



Nota. Elaboración propia.

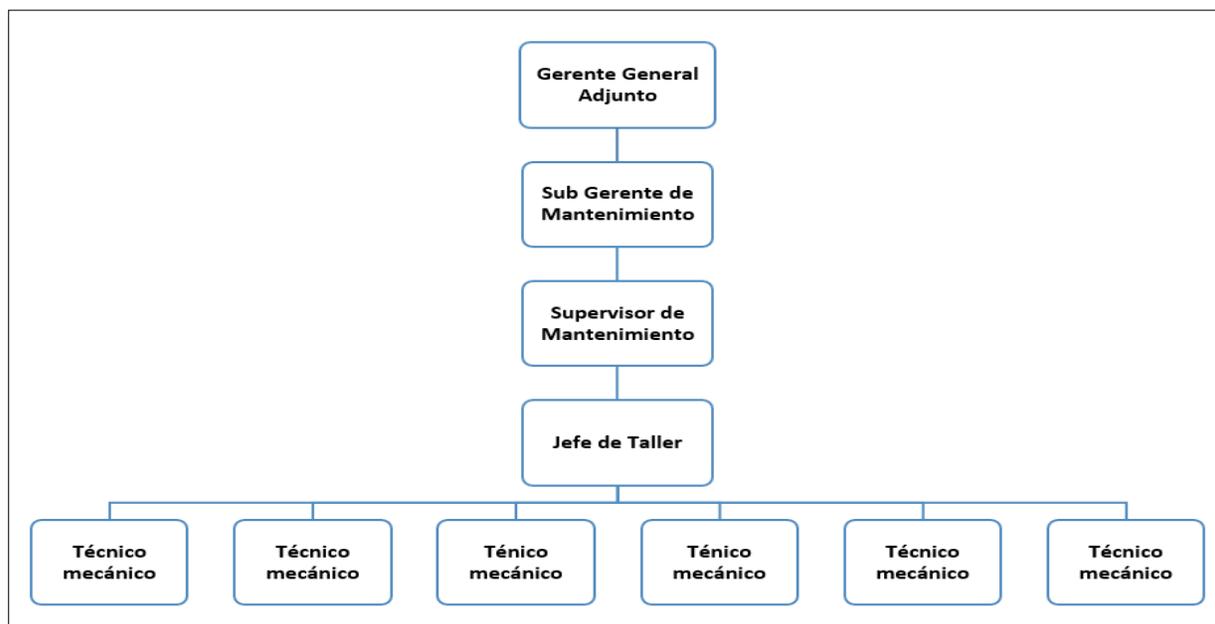
6.3. Descripción del Proceso

Actualmente, todas las unidades vehiculares alquiladas requieren periódicamente atención mecánica debido a las condiciones ambientales y operacionales de cada socavón minero en donde operan. Cuando las unidades requieren del servicio de mantenimiento, se dirigen al taller que se encuentra en el distrito de Chorrillos, Lima. La unidad llega al taller y es recepcionada por un técnico mecánico, que se encarga del ingreso del vehículo al taller. Luego, empieza la etapa del diagnóstico de fallas, en donde el sistema que está fallando es desarmado para ser evaluado y determinar cuál o cuáles son los componentes dañados. Una vez identificado cuales son estos componentes, se hace un requerimiento de repuestos al área de logística.

Asimismo, si el componente puede ser reparado, también se hace un requerimiento de servicio por su reparación en un tercero. Luego, el área de logística recibe el requerimiento y verifica la disponibilidad de los repuestos solicitados en el stock del almacén; si el repuesto no está disponible en almacén, se inicia el proceso de compra en donde se realiza la cotización y compra del repuesto. Una vez que el repuesto es comprado, es recibido en almacén y se procede al despacho del mismo hacia el taller de mantenimiento en donde un técnico mecánico iniciará el proceso de mantenimiento preventivo o correctivo.

6.4. Área en Análisis.

Este trabajo de investigación se enfocará en el análisis del servicio de mantenimiento que se brinda a las unidades vehiculares alquiladas a una empresa del sector minero especializada en la perforación en socavón. El área de mantenimiento está conformada por la siguiente estructura organizacional:

Figura 33*Estructura organizacional del área de mantenimiento**Nota. Elaboración propia.*

La organización del área está conformada por el Gerente General Adjunto quien es la persona a cargo de las negociaciones y contrataciones de la flota vehicular a los diversos contratos mineros.

El Sub-Gerente de Mantenimiento, está encargado de la coordinación, planeación y dirección de las actividades del área de mantenimiento.

El Supervisor de Mantenimiento está a cargo de la gestión de mantenimiento, programación de mantenimiento y actualmente liderando el equipo de implementación del RCM.

El jefe de Taller es el encargado de la supervisión de las reparaciones realizadas, asignación de tareas en el taller y el control de la disponibilidad de la flota vehicular en cada contrato.

Los técnicos mecánicos son los encargados de realizar las reparaciones de los vehículos

en el taller.

6.5. Diagnóstico del Problema

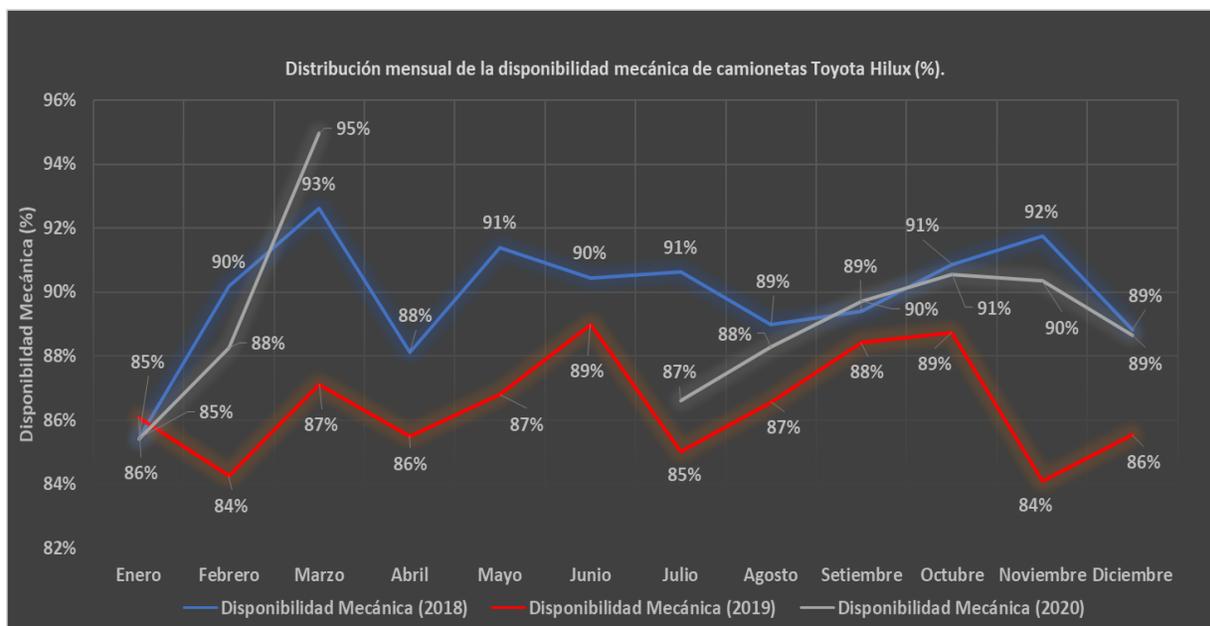
En las empresas que brindan servicios de alquiler vehicular, es importante tener una baja frecuencia de fallas mecánicas, ya que esta asegura una mayor disponibilidad mecánica efectiva durante el periodo de tiempo de alquiler del vehículo, con el objetivo de lograr la mayor rentabilidad posible en el alquiler de estos activos.

Es así que, a través de un análisis realizado en el área de mantenimiento de la empresa Renting Car S.A.C., se ha encontrado que, en los últimos tres años, que los índices de disponibilidad mecánica de los vehículos del tipo Pickup Toyota Hilux son muy bajos, a diferencia de los buses Hyundai, que han demostrado tener una mejor disponibilidad mecánica, debido a que las condiciones operacionales en las que trabajan son muy distintas a las del tipo pickup.

A continuación, se muestra la figura 34 en donde se analiza el comportamiento de la disponibilidad mecánica del vehículo tipo pickup en los últimos tres años.

Figura 34

Distribución mensual de la disponibilidad mecánica de camionetas Toyota Hilux (%)



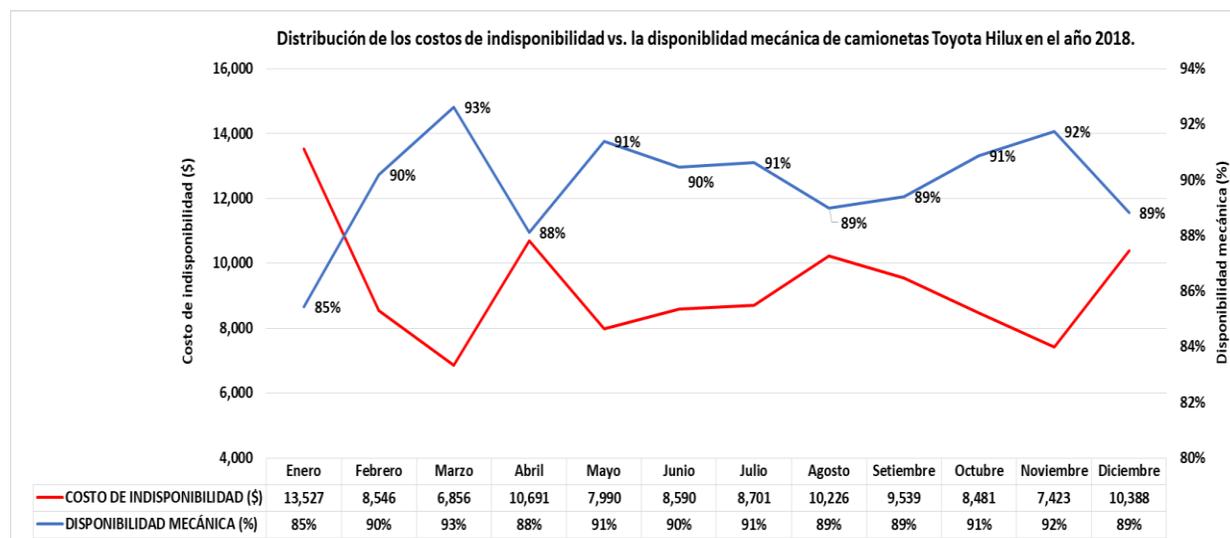
Nota. Elaboración propia.

En la figura se puede observar la distribución mensual de la disponibilidad mecánica de las 30 camionetas Toyota Hilux durante los últimos 3 años. Asimismo, se observa que en el año 2018 se registraron los dos meses con la mayor disponibilidad en los últimos 3 años, estos meses fueron marzo y noviembre con una disponibilidad del 93% y el 92% respectivamente. En el año 2019, la tendencia de la disponibilidad está por debajo de la tendencia del año 2018, esto nos dice que la disponibilidad del año 2019 en promedio fue menor que la del año 2018. Asimismo, en ese año se registró los picos más bajos de disponibilidad en los últimos 3 años, los cuales ocurrieron en los meses de febrero, julio y noviembre con un 84%, 85% y 84% respectivamente. Por último, el año 2020 muestra un aumento de la disponibilidad en los dos primeros meses y en los últimos meses de ese año, debido a que la cantidad de vehículos operativos fue variable por el estado de emergencia sanitaria y la reactivación de los sectores económicos.

A continuación, en la figura 35 se presenta la relación inversamente proporcional que existe entre los costos de indisponibilidad y la disponibilidad mecánica de camionetas Toyota Hilux en el año 2018.

Figura 35

Distribución de los costos de indisponibilidad y la disponibilidad mecánica de camionetas Toyota Hilux 2018



Nota. Elaboración propia.

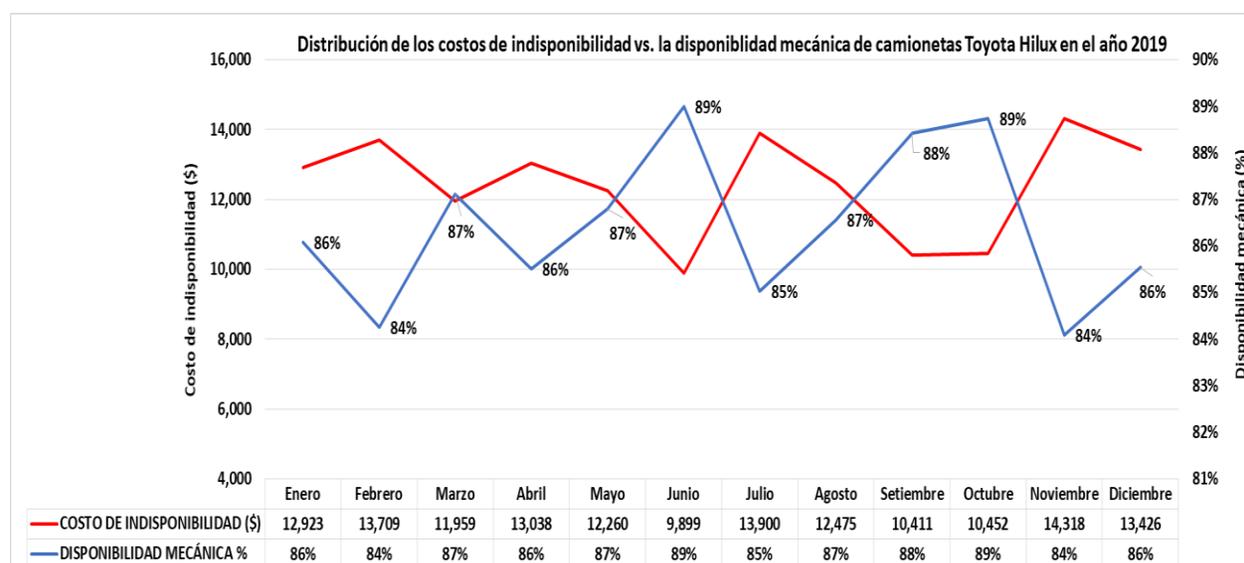
La figura 35 nos muestra la distribución de los costos de indisponibilidad generados por la baja disponibilidad mecánica de unidades vehiculares en el año 2018. Asimismo, el mes de enero es el que tiene una menor disponibilidad en todo el año y generó la mayor pérdida económica valorizada en 13,527 dólares; seguidamente tenemos un crecimiento sostenido de la disponibilidad durante los tres primeros meses del año y luego en el mes de abril disminuye significativamente a un 88% de disponibilidad, generando el segundo pico más bajo en el costo de indisponibilidad con un total de 10,691 dólares. Luego, tenemos picos de costos de

indisponibilidad significativos en el mes de agosto y diciembre con un total de 10,226 dólares y 10,388 dólares respectivamente.

En la figura 36 se presenta la relación inversamente proporcional que existe entre los costos de indisponibilidad y la disponibilidad mecánica de camionetas Toyota Hilux en el año 2019.

Figura 36

Distribución de los costos de indisponibilidad y la disponibilidad mecánica de camionetas Toyota Hilux (2019)



Nota. Elaboración propia.

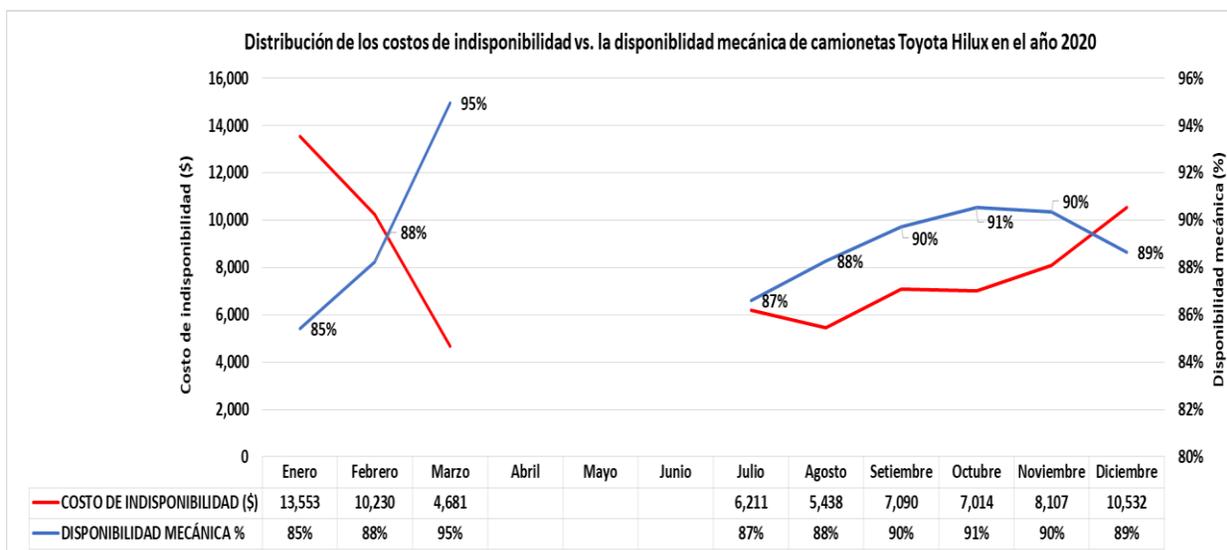
La figura 36 nos muestra que, en el año 2019, la línea de tendencia de la disponibilidad de unidades en porcentaje estuvo por encima de la línea de tendencia de los costos de indisponibilidad, solo en los meses de junio, setiembre y octubre, lo cual nos muestra que en sólo esos tres meses los costos de indisponibilidad fueron los más bajos registrados en el año 2019. Por otro lado, observamos que la línea de tendencia de los costos de indisponibilidad es superior

a la mostrada en la figura 35, lo cual nos muestra que el año 2019 tiene una mayor pérdida económica con respecto al año 2018.

A continuación, en la figura 37 se presenta la relación inversamente proporcional que existe entre los costos de indisponibilidad y la disponibilidad mecánica de camionetas Toyota Hilux en el año 2020.

Figura 37

Distribución de los costos de indisponibilidad y la disponibilidad mecánica de camionetas Toyota Hilux (2020)



Nota. Elaboración propia.

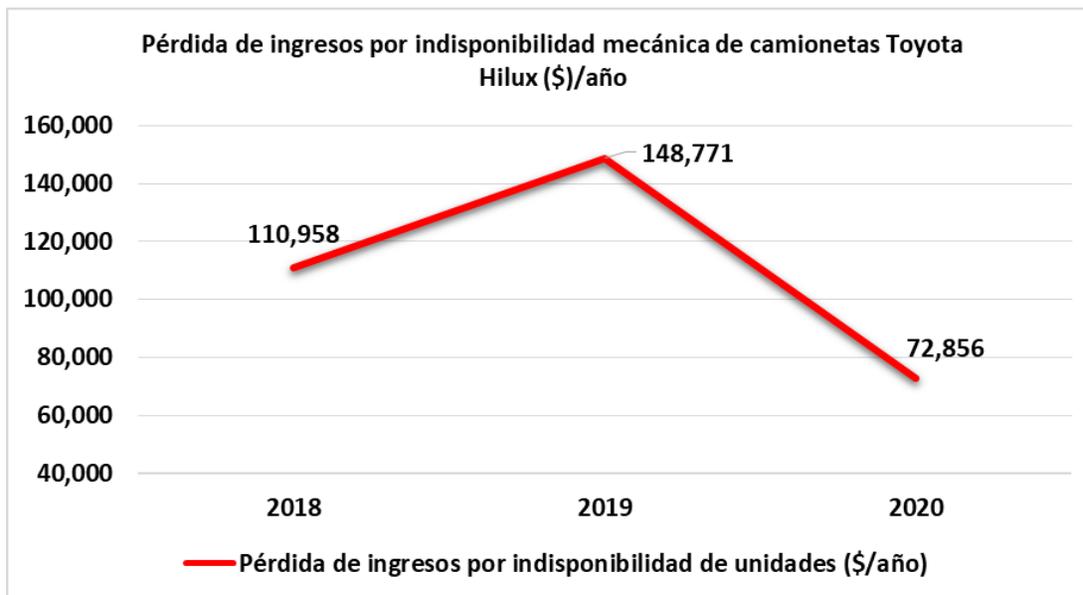
La figura 37 nos muestra claramente un aumento de la disponibilidad en el mes de marzo, pero esto es debido a que el alquiler de unidades vehiculares disminuyó en los contratos mineros a consecuencia del estado de emergencia por el COVID -19. Luego, en los meses siguientes hasta junio, no se registró los tiempos de indisponibilidad, debido a que toda la flota estuvo parada por el estado de emergencia. Asimismo, notamos un crecimiento de la disponibilidad a partir del mes de Julio, pero esto debido a la poca demanda de alquiler de unidades vehiculares

por parte de los contratistas, ya que era el inicio del plan de reactivación económica del país.

A continuación, en la figura 38 se presenta el total de ingresos perdidos en los últimos tres años por indisponibilidad de unidades vehiculares.

Figura 38

Pérdida de ingresos por indisponibilidad de unidades \$/año.



Nota. Elaboración propia.

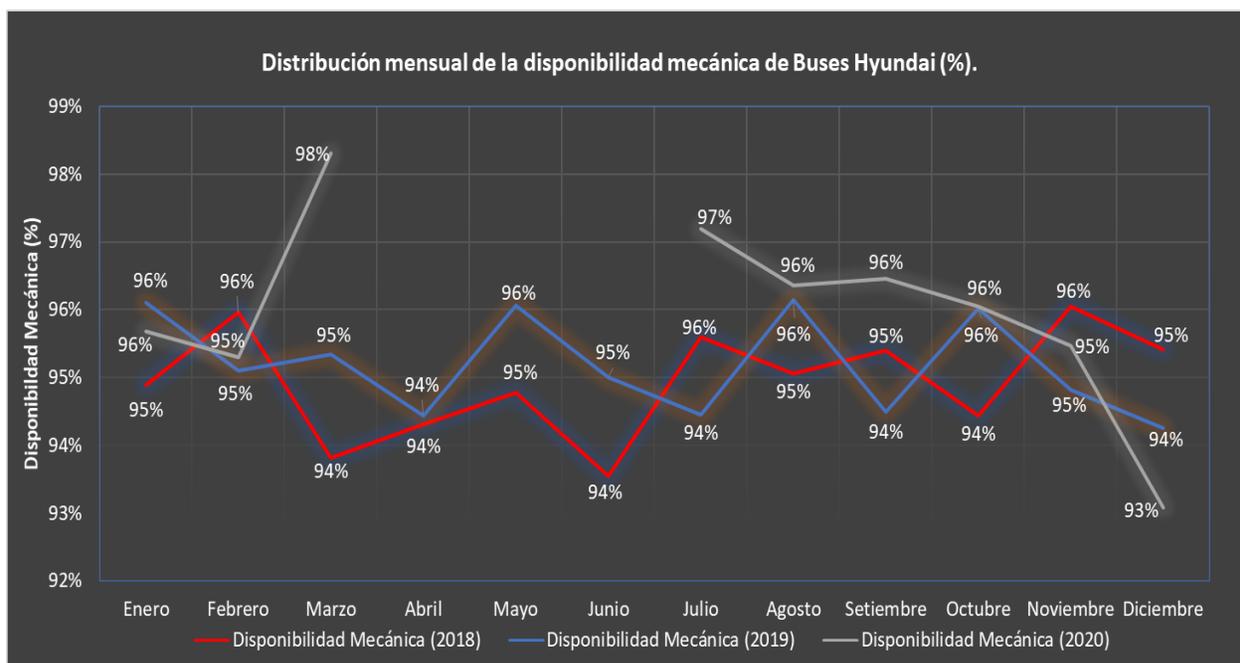
La figura 38 nos muestra la pérdida total de ingresos por año a causa de la indisponibilidad de las unidades vehiculares. Asimismo, el año en donde se obtuvo una mayor pérdida de ingresos por la indisponibilidad de unidades fue el año 2019, con un total de 148, 771 dólares y seguido del año 2018 con una pérdida total de 110,958 dólares.

Por otro lado, tenemos el análisis de la disponibilidad mecánica y costos de indisponibilidad de la flota de buses Hyundai County, que son vehículos que tienen como principal función, el traslado del personal desde el campamento minero hacia el lugar de las operaciones mineras. Asimismo, es importante señalar que la empresa cuenta con 9 de estos vehículos actualmente. A continuación, en la figura 39 se muestra la distribución mensual de la

disponibilidad mecánica de los buses Hyundai durante los últimos 3 años.

Figura 39

Distribución mensual de la disponibilidad mecánica de Buses Hyundai



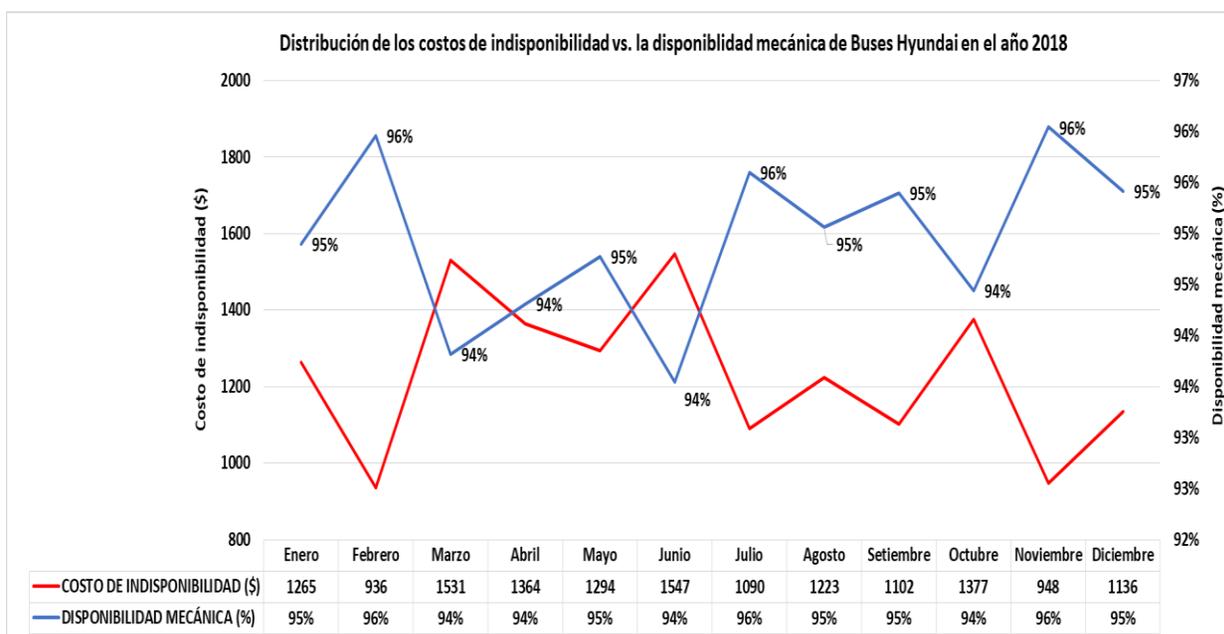
Nota. Elaboración propia.

La figura 39 nos muestra una tendencia estable de la disponibilidad de los buses Hyundai a lo largo del año 2018, 2019 y parte del 2020. En el año 2018, los picos de mejor de disponibilidad ocurrieron en los meses de febrero, julio y noviembre con un 96%. Asimismo, los mejores meses de disponibilidad del año 2019 fueron los de mayo, agosto y octubre, también con un 96%. Por último, la disponibilidad del año 2020 se observa claramente afectado por la paralización de las actividades económicas.

En la figura 40 se muestra la distribución de costos de indisponibilidad y la disponibilidad mecánica de los buses Hyundai County:

Figura 40

Distribución de los costos de indisponibilidad vs. La disponibilidad mecánica de los buses Hyundai County en el año 2018



Nota. Elaboración propia.

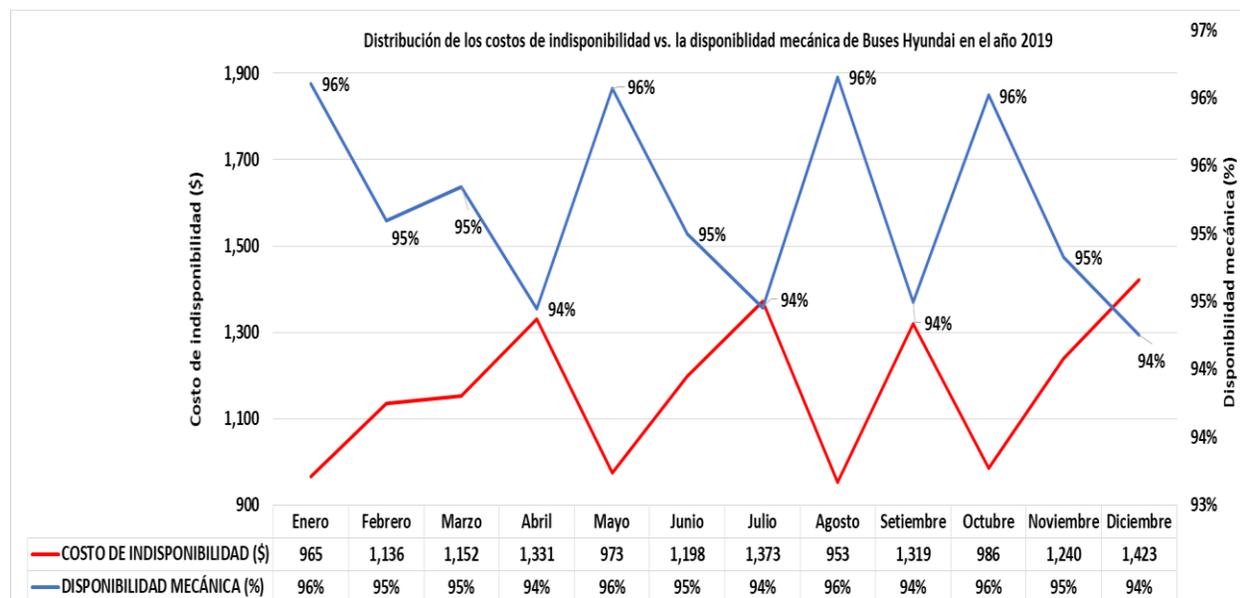
En la figura 40, se observa la distribución de los costos de indisponibilidad ocasionados por la disponibilidad mecánica de los buses Hyundai, en el año 2018. Asimismo, es importante mencionar que, a comparación de los costos de indisponibilidad de las camionetas, los costos de los buses son muy inferiores y esto es debido a la mejor disponibilidad mecánica que se tiene en esta flota vehicular de 9 unidades y en las condiciones en las que operan. También es importante indicar que los costos de indisponibilidad más elevados ocurrieron en los meses de marzo, junio y octubre con un total de 1531 dólares, 1547 dólares y 1377 dólares respectivamente.

A continuación, en la figura 41 se muestra la distribución de costos de indisponibilidad y

la disponibilidad mecánica de los buses Hyundai County del año 2019:

Figura 41

Distribución de los costos de indisponibilidad vs la disponibilidad mecánica de los buses Hyundai en el año 2019



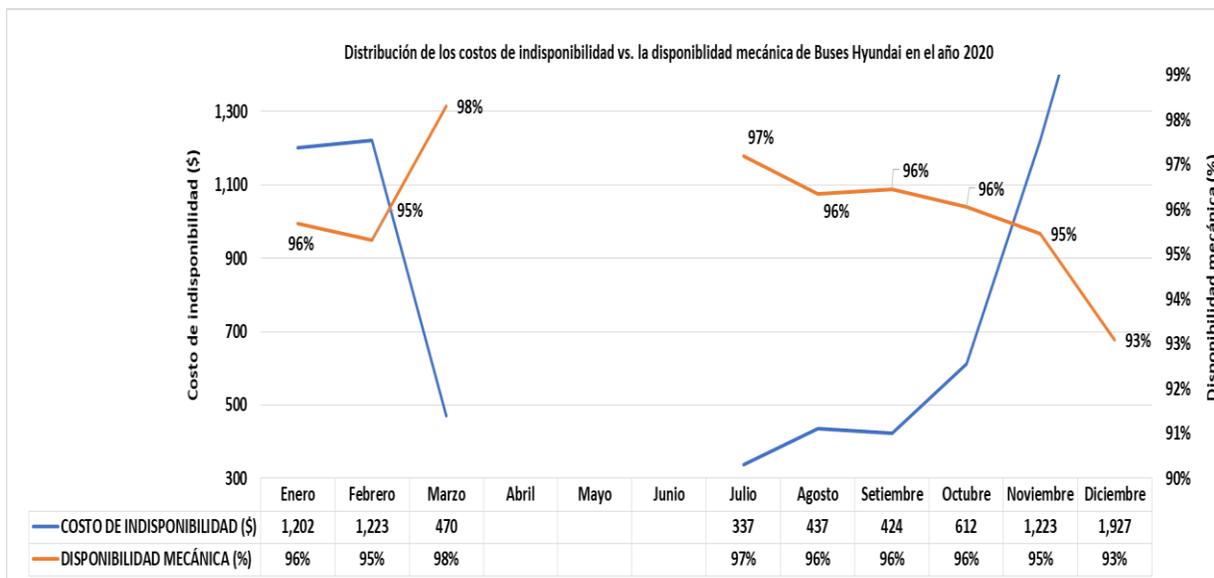
Nota. Elaboración propia

La figura 41 nos muestra que, en el año 2019, la disponibilidad de los buses Hyundai fue variable y se mantuvo entre un rango de 94 y 96% de disponibilidad mecánica, muy por el contrario, con la disponibilidad mecánica de las camionetas Toyota Hilux que se encuentran por debajo del 90% en el mismo año. Asimismo, podemos ver que los costos de indisponibilidad mecánica más altos se encuentran en los meses de abril, julio, setiembre y diciembre con un total de 1,331 dólares, 1,373 dólares, 1,319 dólares y 1,423 dólares respectivamente.

En la figura 42 se muestra distribución de los costos de indisponibilidad vs. la disponibilidad mecánica de buses Hyundai en el año 2020.

Figura 42

Distribución de los costos de indisponibilidad vs. la disponibilidad mecánica de buses Hyundai en el año 2020



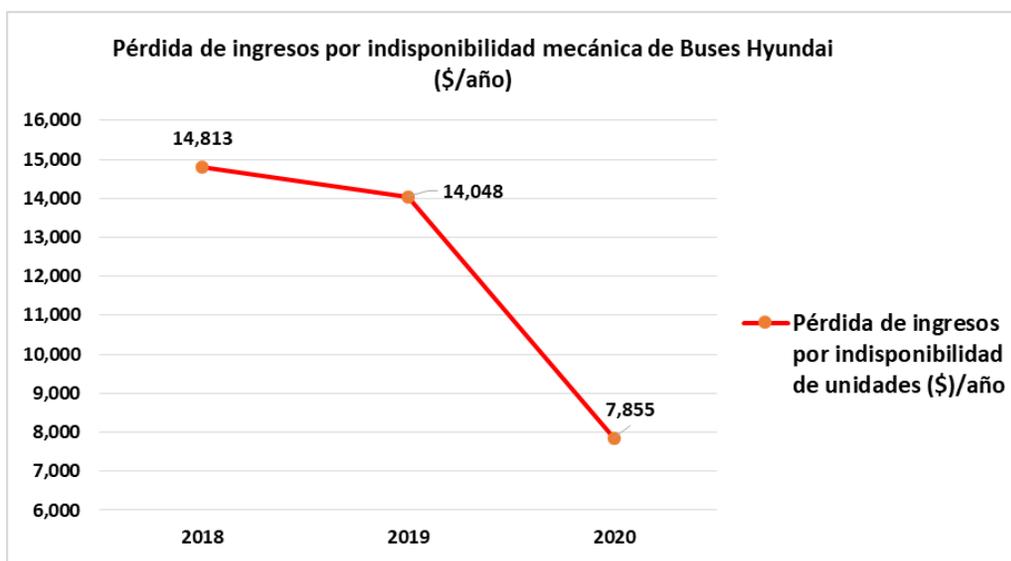
Nota. Elaboración propia.

En la figura 42 se muestra un aumento de la disponibilidad en el mes de marzo porque solo se trabajaron los primeros 15 días, debido al estado de emergencia por el COVID-19. Luego, en el mes de julio, tras la reactivación económica, la cantidad de unidades vehiculares solicitadas por el cliente fue aumentando progresivamente hasta finales del año y se puede ver una tendencia en la disminución de la disponibilidad hasta el mes de diciembre. Por otro lado, los costos de disponibilidad mecánica más altos se registraron en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre con un monto total de 1,202 dólares, 1,223 dólares, 1,223 dólares y 1,927 dólares respectivamente.

A continuación, en la figura 43 se muestra el total de ingresos perdidos en los últimos tres años por indisponibilidad de buses Hyundai.

Figura 43

Pérdida de ingresos por indisponibilidad mecánica de buses Hyundai (\$/año)



Nota. Elaboración propia.

La figura 43, nos muestra la pérdida de ingresos anuales por la indisponibilidad mecánica de los buses Hyundai en los últimos 3 años. Asimismo, el año que registra una mayor pérdida económica es el 2018 con un total de 14,813 dólares y el año que registra una menor pérdida económica es el año 2020 con un total de 7,855 dólares, debido a que las unidades no trabajaron constantemente por el estado de emergencia sanitaria.

Ante lo expuesto anteriormente, se concluye que la mayor pérdida económica por indisponibilidad mecánica ocurre en la flota de vehículos del tipo pickup Toyota Hilux con un total de 259,729 dólares en los últimos 3 años, a diferencia de la pérdida económica por indisponibilidad mecánica de los buses Hyundai que son 36,716 dólares en los últimos 3 años.

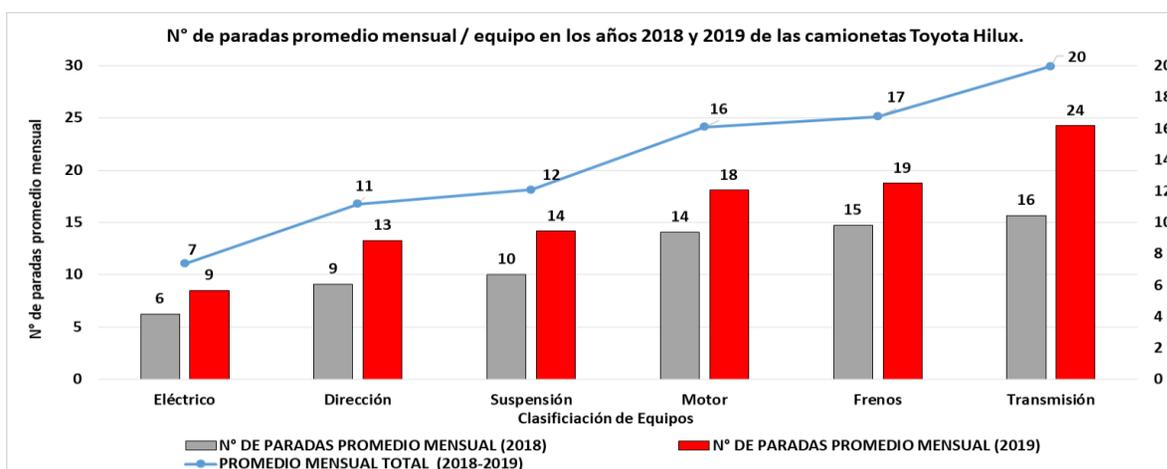
Asimismo, es importante tener en cuenta que la cantidad de vehículos que tiene la

empresa suma un total de 39, en donde 30 son del tipo pickup y 9 buses. Además, las condiciones de trabajo a las cuales están expuestos estos dos tipos de activos son muy distintos, por un lado, los vehículos del tipo pickup son los que tienen mayor exposición operacional en mina, ya que estos trabajan en los socavones y los buses trabajan solo en el transporte del personal fuera de la unidad minera.

A continuación, en la figura 44 se muestra el número de paradas promedio mensual por cada equipo del sistema en los años 2018 y 2019.

Figura 44

Número de paradas promedio mensual por equipo en los años 2018 y 2019 de las camionetas Toyota Hilux



Nota. Elaboración propia.

La figura 44, nos muestra el comportamiento promedio mensual de las paradas registradas por equipo durante los años 2018 y 2019 de las camionetas Toyota Hilux. Asimismo, se puede observar que las paradas promedio mensuales de los 6 equipos principales del vehículo se han incrementado notablemente en el año 2019.

También, es importante mencionar que la transmisión es el equipo que tiene más

reportes, con un promedio de 20 paradas mensuales durante los años 2018 y 2019. Por otro lado, tenemos el equipo de frenos que reporta un promedio mensual de 17 paradas durante los años 2018 y 2019, lo cual lo convierte en el segundo con más frecuencia de paradas mensuales. Asimismo, el equipo de motor con un promedio de 16 paradas mensuales en promedio representa al tercer equipo con más paradas. Posteriormente, el equipo de suspensión, dirección y eléctrico tienen 12, 11 y 7 paradas promedio mensual respectivamente en los años 2018 y 2019.

6.6. Aplicación de la Metodología del RCM

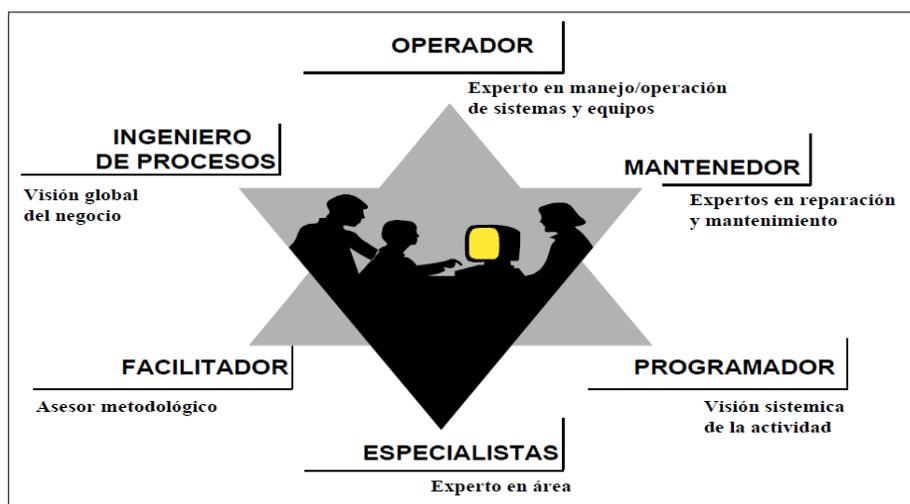
6.6.1. Formación del Equipo Natural de Trabajo

Es importante tener un equipo de trabajo multidisciplinario para poder implementar satisfactoriamente la metodología del RCM.

A continuación, se muestra la figura 45, la cual nos representa la integración ideal del equipo de trabajo.

Figura 45

Integrantes de un equipo de trabajo RCM

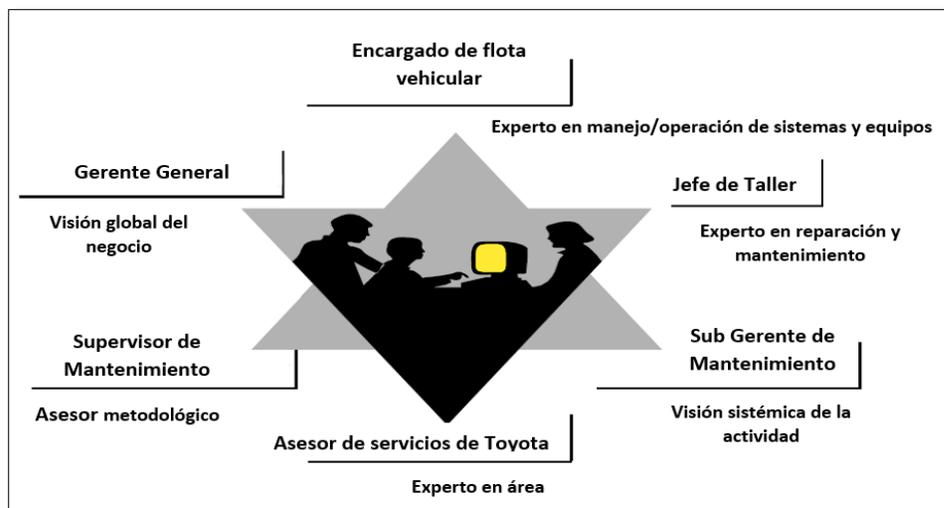


Nota. Tomado de "Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF), Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfibio a Oruga LVT P-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3" por Parra Márquez, Crespo Márquez, Vittorangeli, 2020.

Asimismo, para este proyecto de investigación, en la figura 46, se muestra el equipo de implementación de la metodología del RCM, la cual estará conformado de la siguiente de manera:

Figura 46

Equipo RCM en Renting Car.



Nota. Adaptado de "Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF), Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfíbio a Oruga LVT P-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3" por Parra Márquez, Crespo Márquez, Vittorangeli, 2020.

A continuación, se describirá la función de cada miembro del equipo de RCM:

El Gerente General de la Empresa Renting Car S.A.C, ocupa el puesto de Ingeniero de Procesos ya que es la persona que tiene la visión global del funcionamiento, interacción y mejora de las áreas de la organización; también tiene la capacidad de visualizar el futuro y potencialidades del sector económico de la empresa.

El Sub-Gerente de Mantenimiento, ocupa lo que Parra y Crespo (2019) definen como programador, el cual tiene la visión sistémica de las áreas de mantenimiento y logística en la organización. Es decir, tiene la capacidad de observar y descubrir el comportamiento del funcionamiento de los procesos de las áreas mencionadas y propone el camino para entenderlas, modificarlas y plantear soluciones.

El Supervisor de Mantenimiento, ocupa el puesto de facilitador, el cual tiene el perfil de experto en la implementación de la metodología del RCM. Es decir, esta será la persona que

guiará al equipo en cada una de las fases de implementación de la metodología.

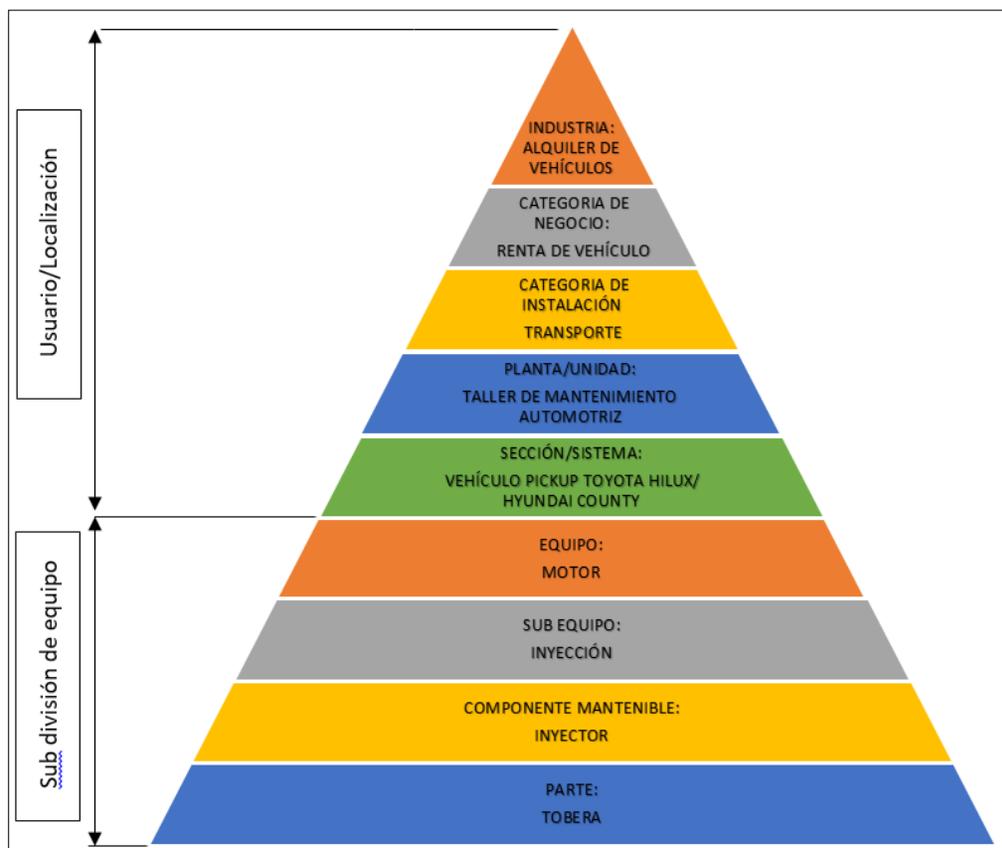
El Asesor de Servicios de Toyota, será el especialista externo, el cual tiene como función principal brindar información y asesoría técnica vehicular.

El jefe de Taller representa al personal de mantenimiento, porque es la persona que tiene más experiencia y conocimiento en la reparación de vehículos, por lo tanto, ocupa el puesto de mantenedor.

El encargado de flota vehicular ocupa el puesto de personal de operación, ya que es el conductor más experto en el manejo de los vehículos en las operaciones mineras.

6.6.2. Selección del Sistema

A continuación, en la figura 47 se muestra la taxonomía de equipos, elaborada con ayuda del equipo de trabajo definiéndose los diversos niveles de detalle que tiene la organización en relación con los vehículos que utiliza.

Figura 47*Taxonomía de equipos*

Nota. Elaboración propia.

La figura 47 representa una pirámide taxonómica, la cual está dividida en dos grupos genéricos que son la localización y la subdivisión de equipo. En el grupo de localización se tiene el tipo de industria que es el alquiler de vehículos, la categoría del negocio que es el Renting o alquiler, la planta o unidad es el taller de mantenimiento automotriz de la empresa. Por otro lado, se tiene el grupo de subdivisión de equipos en donde la sección o sistema son los dos tipos de vehículos que tiene la empresa que son del tipo pickup Toyota Hilux y el bus del tipo Hyundai County, en el nivel de equipo tenemos un motor automotriz, en el sub-equipo la inyección del motor, en el componente mantenible el inyector y en la parte o repuesto se tiene la tobera.

Asimismo, mediante una reunión con el equipo de trabajo se realizó la identificación de los sistemas actuales que componen el negocio de la empresa, una vez seleccionados se realizó un análisis de criticidad del tipo semi cuantitativo, con la finalidad de identificar qué sistema son los más críticos en su entorno operacional.

También, se presenta el desarrollo de la técnica de criticidad de los sistemas seleccionados en la taxonomía de equipos. En primer lugar, se presentan los criterios de evaluación con respecto a la Frecuencia de Paradas Vehiculares, al Impacto en el Servicio de Alquiler, Impacto en la Seguridad y Salud; y el impacto en el Medio Ambiente.

A continuación, en la figura 48 se presenta el criterio de frecuencia de paradas.

Figura 48

Criterio de Frecuencia de Paradas

Escala 1-4	Frecuencia de Paradas	Evento
4	Frecuente	Mas de 4 eventos al mes / vehículo
3	Probable	Entre 2 y 3 eventos al mes / vehículo
2	Posible	Un evento en un mes / vehículo
1	Improbable	Ningún evento en un mes / vehículo

Nota. Adaptado de “Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF), Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfíbio a Oruga LVT P-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3” por Parra Márquez, Crespo Márquez, Vittorangeli, 2020.

A continuación, en la figura 49 se presenta el criterio de impacto en servicio de alquiler.

Figura 49

Criterio de Impacto en Servicio de Alquiler

Escala 1-4	Impacto en Servicios de Alquiler	Evento
4	Frecuente	Pérdida superior a 400 Dólares al mes / vehículo
3	Probable	Pérdida entre 200 y 300 dólares al mes / vehículo
2	Posible	Pérdida de 100 dólares la mes / vehículo
1	Improbable	No hay pérdidas en producción

Nota. Adaptado de “Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF), Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfíbio a Oruga LVT P-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3” por Parra Márquez, Crespo Márquez, Vittorangeli, 2020.

A continuación, en la figura 50 se presenta el criterio de impacto en seguridad y salud.

Figura 50

Criterio de Impacto en Seguridad y Salud

Escala 1-4	Impacto en Seguridad y Salud
	Eventos
4	Evento catastrófico: pérdida de vidas humanas.
3	Evento que genera: efectos a la salud de forma temporal o efectos a la salud de por vida.
2	Evento que genera: lesión ó efectos a la salud menores (no incapacita al trabajador).
1	No genera ningún impacto en la seguridad y salud

Nota. Adaptado de “Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF), Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfíbio a Oruga LVT P-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3” por Parra Márquez, Crespo Márquez, Vittorangeli, 2020.

A continuación, en la figura 51 se presenta el criterio de impacto en medio ambiente.

Figura 51

Criterio de Impacto en Medio Ambiente

Escala 1-4	Impacto en Medio Ambiente
	Eventos
4	Afectación catastrófica al ambiente (cierre total de las operaciones)
3	Afectación sensible al ambiente (daños ambientales recuperables a largo plazo, multas, indemnizaciones y cierre temporal)
2	Afectación moderada al ambiente (daños ambientales recuperables en corto plazo, multas e indemnizaciones)
1	No genera ningún impacto ambiental

Nota. Adaptado de “Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF), Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfibio a Oruga LVT P-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3” por Parra Márquez, Crespo Márquez, Vittorangeli, 2020.

A continuación, en la figura 52 se presentan los niveles de criticidad.

Figura 52

Niveles de Criticidad

Nivel de Criticidad	
	Alto
	Medio
	Bajo

Nota. Adaptado de “Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF), Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfibio a Oruga LVT P-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3” por Parra Márquez, Crespo Márquez, Vittorangeli, 2020.

A continuación, en la figura 53 se muestra la aplicación de los criterios de criticidad y de la siguiente fórmula:

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia de Paradas} \times \text{Consecuencias}$$

Donde:

Frecuencia de Paradas = Número de paradas del vehículo en un tiempo determinado.

Consecuencias = (Impacto de Seguridad y Salud x 0.25) + (Impacto en el Medio Ambiente x 0.25) + (Impacto de Producción y/o Costos de Mantenimiento x 0.25)

Figura 53

Estimación del Factor de Riesgo

Sistema Vehicular	Frecuencia de Paradas	Impacto en Seguridad y Salud	Impacto en Medio Ambiente	Impacto en Servicio de Alquiler	Consecuencias	Riesgo
Camioneta Toyota Hilux 1GD	4	2	2	4	3	12
Bus Hyundai County	2	2	1	2	2	4

Nota. Elaboración propia.

En la figura 53, se observa el resultado al aplicar la fórmula mencionada, y se obtiene que la camioneta Toyota Hilux 1GD tiene un mayor riesgo en su contexto operacional, que el bus Hyundai County.

Asimismo, los resultados obtenidos en la figura 53, también pueden ser representados gráficamente en la matriz de criticidad en la figura 54, en donde la camioneta Toyota Hilux se ubica en la fila de frecuencia 4 y en la columna de consecuencias 3, ubicándose en un nivel de criticidad alto. Por otro lado, se tiene el bus Hyundai County ubicado en la fila de frecuencia 2 y en la columna de consecuencias número 2, ubicándose en un nivel de criticidad bajo. En conclusión, la camioneta Toyota Hilux 1GD es el sistema que tiene una mayor criticidad y se deberá priorizar en este activo la aplicación de la Metodología del RCM.

A continuación, en la figura 54 se presentan los resultados en la Matriz de Criticidad.

Figura 54

Representación de los Resultados en la Matriz de Criticidad

F R E C U E N C I A	4		Toyota Hilux 1GD		
	3				
	2	Bus Hyundai County			
	1				
		1	2	3	4
		CONSECUENCIAS			

Nota. Adaptado de “Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF), Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfíbio a Oruga LVT P-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3” por Parra Márquez, Crespo Márquez, Vittorangeli, 2020.

6.6.3. Definición del Contexto Operacional

6.6.3.1. Resumen Operativo del Sistema. Vehículo del tipo Pickup Toyota Hilux 1GD, el cual cumple las funciones de Transportar equipos, insumos, repuestos, componentes, muestras de perforación y personal operativo desde el centro minero hacia las líneas de perforación. También, cumple una función importante como medio de transporte para los supervisores operativos y de seguridad en los diferentes niveles del socavón minero.

6.6.3.2. Descripción General del Sistema y sus Equipos. El vehículo del tipo pickup Toyota Hilux 1GD, es una camioneta todo terreno 4x4 de cabina doble para 5 pasajeros, con un peso neto de 2,085 kg y con una capacidad de carga de 825 kg; las dimensiones del vehículo tienen un alto y ancho de 1.8 metros y 5.3 metros de longitud. Tiene un motor del tipo 1 GD

Turbo Diesel Intercooler, 4 cilindros y una potencia de 147.5 HP que está acoplado a una transmisión manual cuya función es proveer de 6 velocidades y una transferencia 4x4 electrónica a la unidad. Asimismo, el sistema de frenos está conformado por los frenos delanteros que están compuestos por discos ventilados que brindan una mayor disipación del calor durante la fricción con la rueda y los frenos traseros funcionan con un mecanismo de tambor y zapatas. También, tiene un sistema de frenado llamado ABS por sus siglas en inglés, que significa Antilock Braking System (Sistema de freno antibloqueo) y que tiene la función de regular la fuerza de frenado en los 4 neumáticos, liberando y ejerciendo presión sobre los discos de freno evitando que el neumático resbale en la acción de frenado del vehículo. También, tiene un equipo de dirección compuesto principalmente por un servo de dirección que regula la presión hidráulica sobre la cremallera de dirección, brindando así una mayor facilidad de control en la dirección del vehículo. También, se tiene un sistema eléctrico compuesto por un equipo de arranque que inicia un movimiento mecánico en el sistema de motor, el cual genera energía mecánica que envía al alternador para transformarla en energía eléctrica, la cual será almacenada en una batería para su distribución en los diferentes equipos del vehículo. Por último, el sistema de suspensión tiene como objetivo principal suspender y absorber los movimientos producidos por las condiciones del camino. Este sistema está dividido en la suspensión delantera, el cual está compuesto principalmente por dos amortiguadores, dos resortes, una barra estabilizadora y por un trapecio. Por otro lado, se tiene la suspensión posterior, compuesta por dos amortiguadores y por hojas de muelles.

A continuación, en la tabla 9 se muestran las variables más importantes del sistema.

Tabla 9

Variables más importantes del sistema vehicular

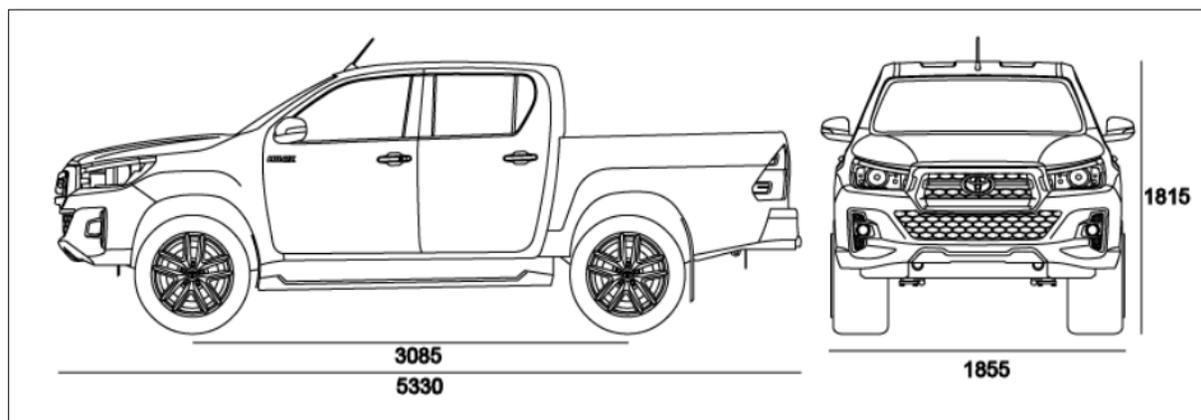
Parámetro	Valor
Velocidad máxima	170 km/h
Torque	1600 – 2000 RPM
Aceleración	0 – 100 km en 12 s

Nota. Elaboración propia.

En la figura 55, se presentan las principales dimensiones del vehículo tipo Pickup Toyota Hilux.

Figura 55

Dimensiones de vehículo tipo Pickup Toyota Hilux



Nota. Extraído del Manual Técnico Toyota Hilux.

6.6.3.3. Equipos Principales del Vehículo. A continuación, en la figura 56 se presenta la clasificación de los equipos, sub-equipos y componentes mantenibles que se analizarán en la aplicación del RCM.

Figura 56

Clasificación de Equipos, Sub-Equipos y Componentes mantenibles del vehículo Toyota Hilux.

Equipo	Sub equipo	Componente mantenible	
Motor	Refrigeración	Bomba de agua	
		Radiador	
		Ventilador	
		Termostato	
		Líquido refrigerante	
	Admisión	Filtro de aire	
		Compresor	
		Filtro de aire acondicionado	
		Turbo	
	Lubricación	Filtro de aceite	
		Bomba de aceite	
		Aceite de motor	
	Inyección	Filtro de combustible	
		Inyector	
	Distribución	Faja de Accesorios	
Faja de Distribución			
Transmisión	Embrague	Plato de embrague	
		Disco de embrague	
		Collarin de embrague	
		Diferencial	Cruceta de cardan delantero
			Crucetas de cardan posterior
	Brida de corona delantera		
	Brida de corona posterior		
	Barra de Palier		
	Juntas homocinéticas		
	Guarda polvos de Palier		
	Diferencial delantero		
	Diferencial posterior		
	Actuador diferencial delantero		
	Actuador de transferencia		
	Lubricante caja de cambio		
	Lubricante del diferencial		
	Eje delantero	Rodaje delantero	
	Eje posterior	Rodaje posterior	

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 57 se presenta la continuación de la figura anterior en donde se puede ver la clasificación de los equipos, sub-equipos y componentes mantenibles que se analizarán en la aplicación del RCM.

Figura 57

Clasificación de Equipos, Sub-Equipos y Componentes mantenibles del vehículo Toyota Hilux

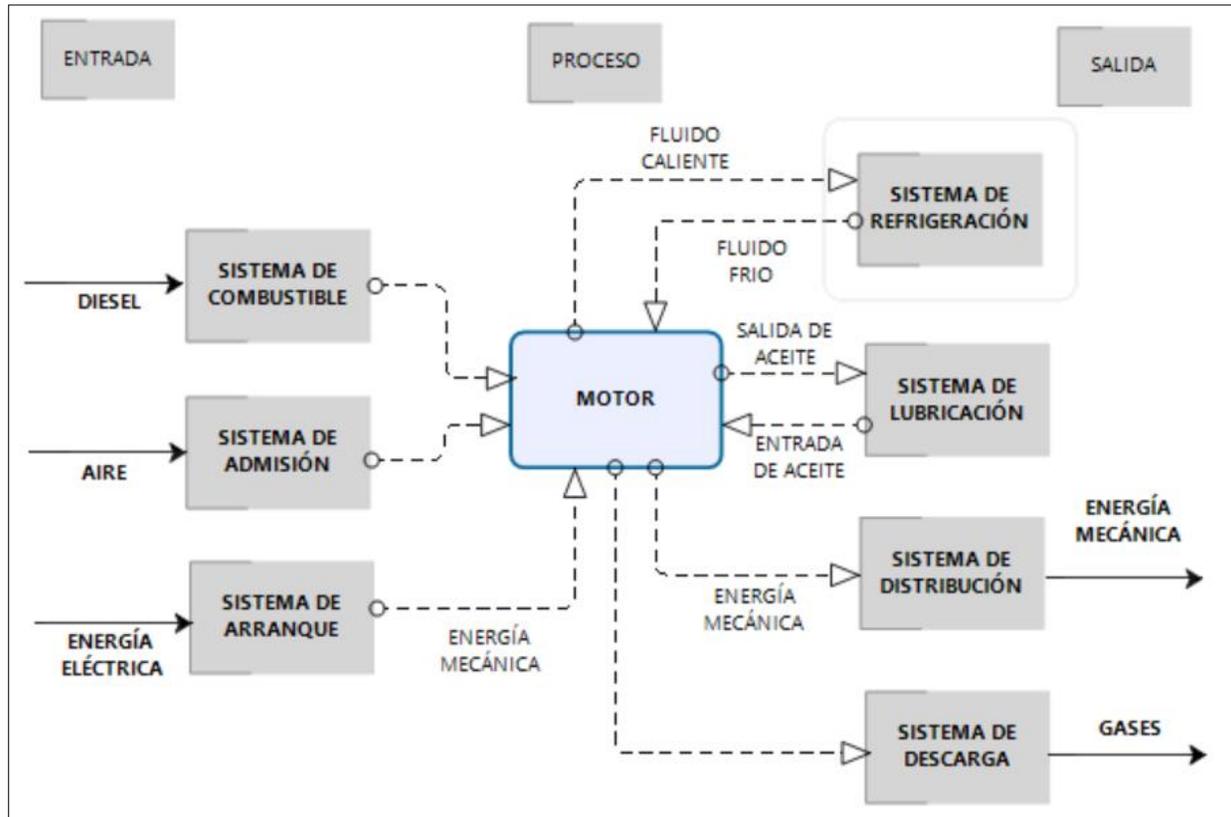
Equipo	Sub equipo	Componente mantenible
Freno	Frenos delanteros	Disco de freno
		Pastillas de freno
		Kit de caliper
		Pistones de caliper
		Bomba de freno
		Cañería de freno
	Frenos posteriores	Líquido de freno
		Bombin de freno
		Tambor de freno
	Freno de estacionamiento	Zapata de freno
Freno auxiliar	Cable freno de mano	
	Actuador	
		Cable Sensor ABS delantero/post.
Eléctrico	Transformador de energía	Alternador
	Almacenamiento de energía	Batería
		Regulador de voltaje
Encendido	Arrancador	
Dirección	Dirección delantera	Cremallera de dirección
		Terminal de dirección
		Barra de dirección
		Biela de dirección
	Maniobrabilidad	Servo de dirección
		Líquido de dirección
Suspensión	Suspensión delantera	Amortiguador delantero
		Barra estabilizadora
		Rotula de suspensión
		Bocina de trapecio
		Resorte de amortiguador
		Neumáticos delanteros
	Suspensión posterior	Amortiguador posterior
		Hojas de muelle
		Neumáticos posteriores

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presenta el diagrama EPS (Entrada-Proceso-Salida) del motor, como parte del análisis del contexto operacional.

Figura 58

Diagrama EPS del motor



Nota. Elaboración propia.

Entradas:

Ingreso de diésel desde el sistema de combustible.

Ingreso de aire desde el sistema de admisión.

Ingreso de energía mecánica por parte del sistema de arranque.

Proceso:

El aire ingresa a los cilindros del motor a través del sistema de admisión, para luego ser comprimido y así elevar su temperatura. Luego, se inyecta combustible al cilindro para que se inicie el proceso de combustión y este empuje el pistón hacia abajo, transfiriéndole energía mecánica al cigüeñal. Finalmente, el combustible quemado sale por las válvulas de escape en forma gaseosa y se reinicia el proceso nuevamente.

Salida:

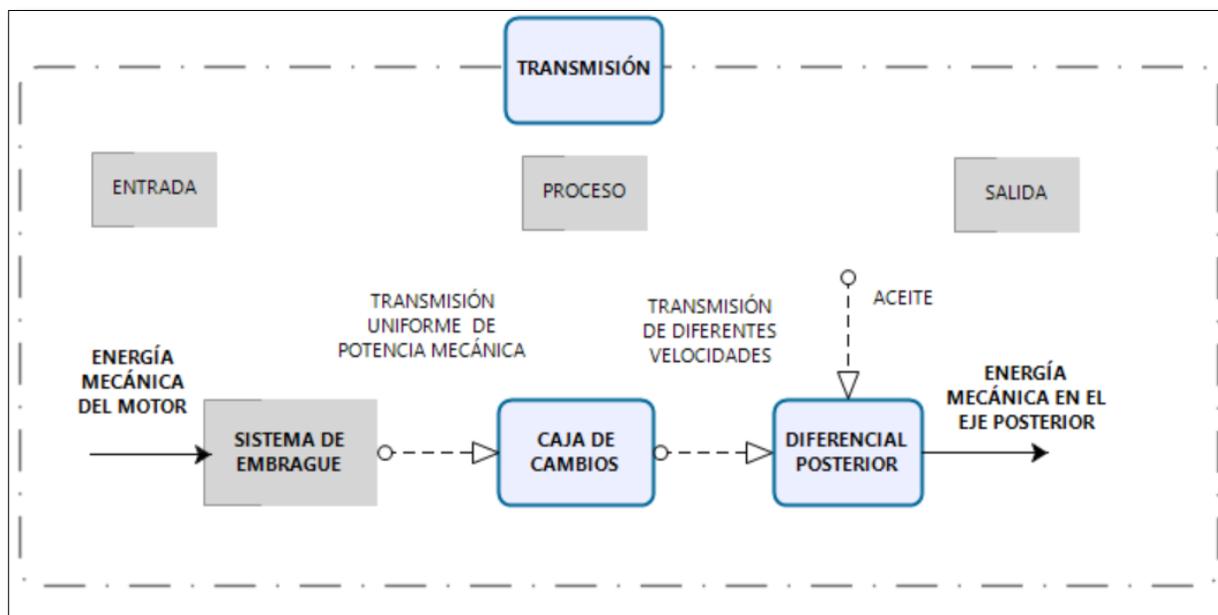
Generación de energía mecánica.

Gases de combustible quemado en el proceso de combustión interna, tales como el dióxido de carbono, monóxido de carbono y óxido de carbono.

A continuación, en la figura 59 se presenta el diagrama EPS de la transmisión:

Figura 59

Diagrama EPS de la transmisión



Nota. Elaboración propia.

Entrada:

Energía mecánica del motor.

Aceite para el diferencial.

Proceso:

La transmisión está compuesta por tres etapas, la primera ocurre cuando la energía mecánica proveniente del motor ingresa al sistema de embrague el cual por medio de platos y discos transmite esta energía a la caja de cambios a través de un eje. La segunda etapa ocurre en la caja de cambios, que a través de engranajes transforma en diferentes velocidades la única velocidad de giro que proviene del motor. Y la tercera etapa que es la velocidad transmitida por la caja de cambios la cual llega al diferencial, el cual permite que las ruedas posteriores giren a diferentes revoluciones en una curva.

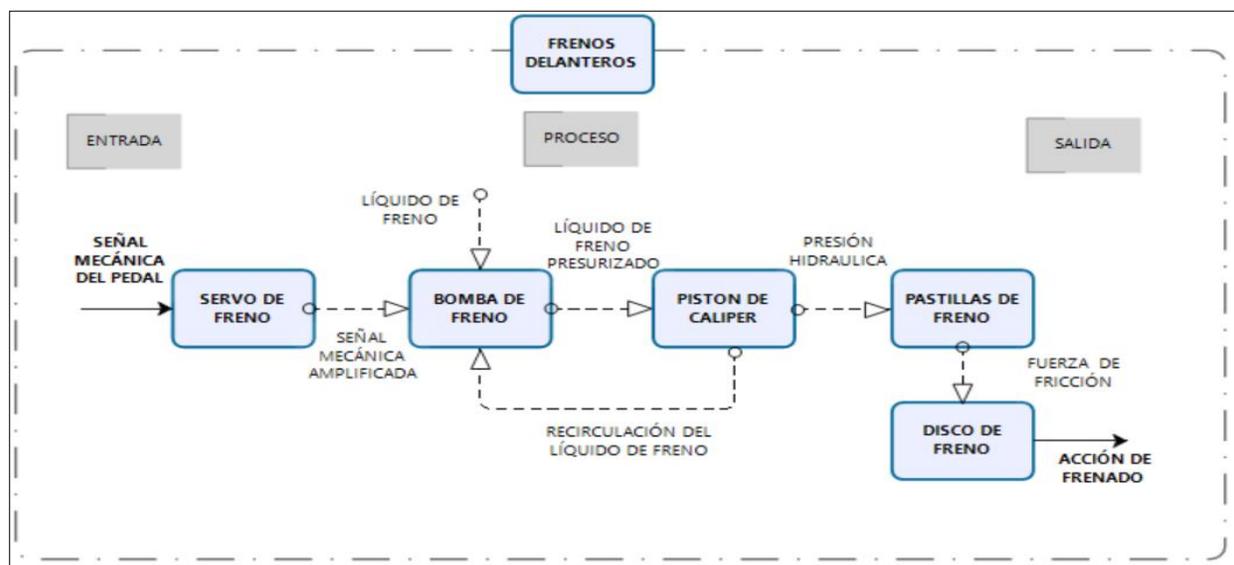
Salida:

Energía mecánica en los ejes posteriores.

A continuación, en la figura 60 y figura 61 se presenta el diagrama EPS del freno delantero y posterior, los cuales comparten el mismo funcionamiento.

Figura 60

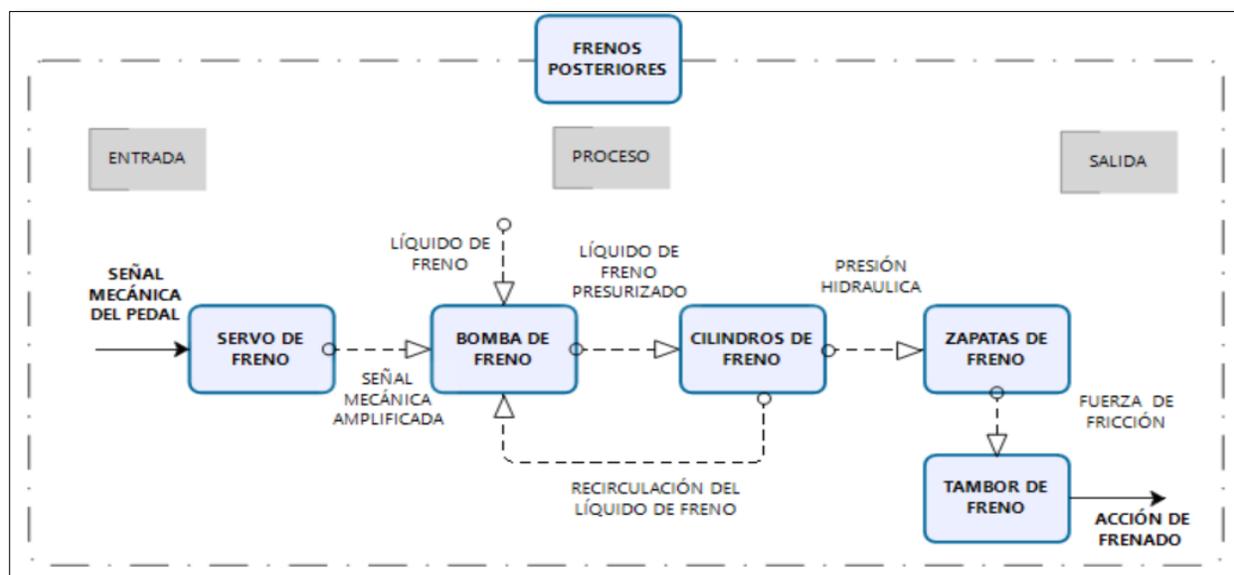
Diagrama EPS de los frenos delanteros



Nota. Elaboración propia.

Figura 61

Diagrama EPS de los frenos posteriores



Nota. Elaboración propia.

Entrada:

Señal mecánica del pedal.

Líquido de freno.

Proceso:

El proceso de frenado inicia cuando el conductor ejerce una acción mecánica sobre el pedal de freno y esta señal ingresa al servo de dirección el cual amplifica esta señal mecánica, logrando una mayor presión sobre el circuito hidráulico a través de la bomba de freno. Luego, una vez presurizado el líquido de freno, este cumple la función de ejercer presión sobre los pistones de caliper y estos sobre las pastillas de freno, para generar fricción con los discos de freno. Por otro lado, en el freno de las ruedas posteriores, el proceso de funcionamiento es el mismo y solo varía el sistema mecánico de frenado que se ejecuta con zapatas de freno que ejercen fuerza de fricción sobre los tambores de las ruedas posteriores.

Salida:

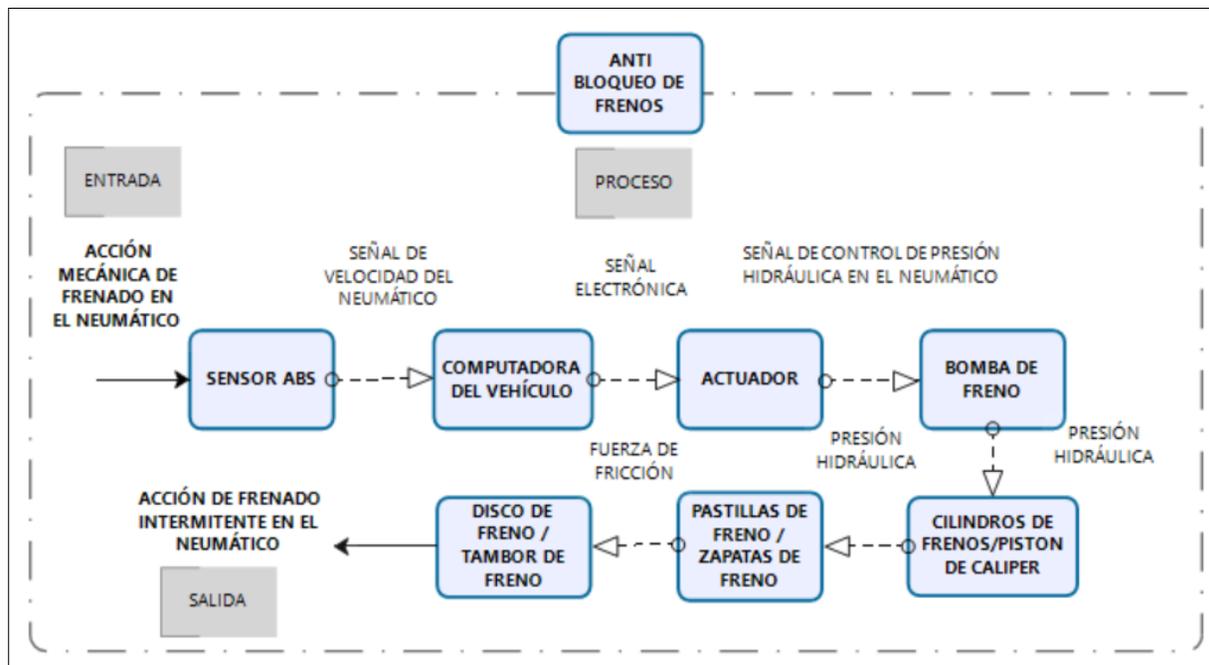
Acción de frenado en las ruedas delanteras.

Acción de frenado en las ruedas posteriores.

A continuación, en la figura 62 se presenta el diagrama EPS del antibloqueo de frenos:

Figura 62

Diagrama EPS del antibloqueo de frenos



Nota. Elaboración propia.

Entrada:

Acción mecánica de frenado.

Proceso:

La acción mecánica del frenado es monitoreada por 4 sensores de velocidad instalados en cada rueda del vehículo, los cuales envían la lectura de velocidad a la computadora principal y esta determina que neumático está frenado más que otro. Luego, una vez detectado este neumático o neumáticos, la computadora envía una señal al actuador y este a la bomba de freno para regular intermitentemente la presión del líquido de freno que actuará sobre el sistema de freno delantero o posterior, según sea el caso, con el objetivo de evitar que el neumático frene totalmente y pierda adherencia en la autopista.

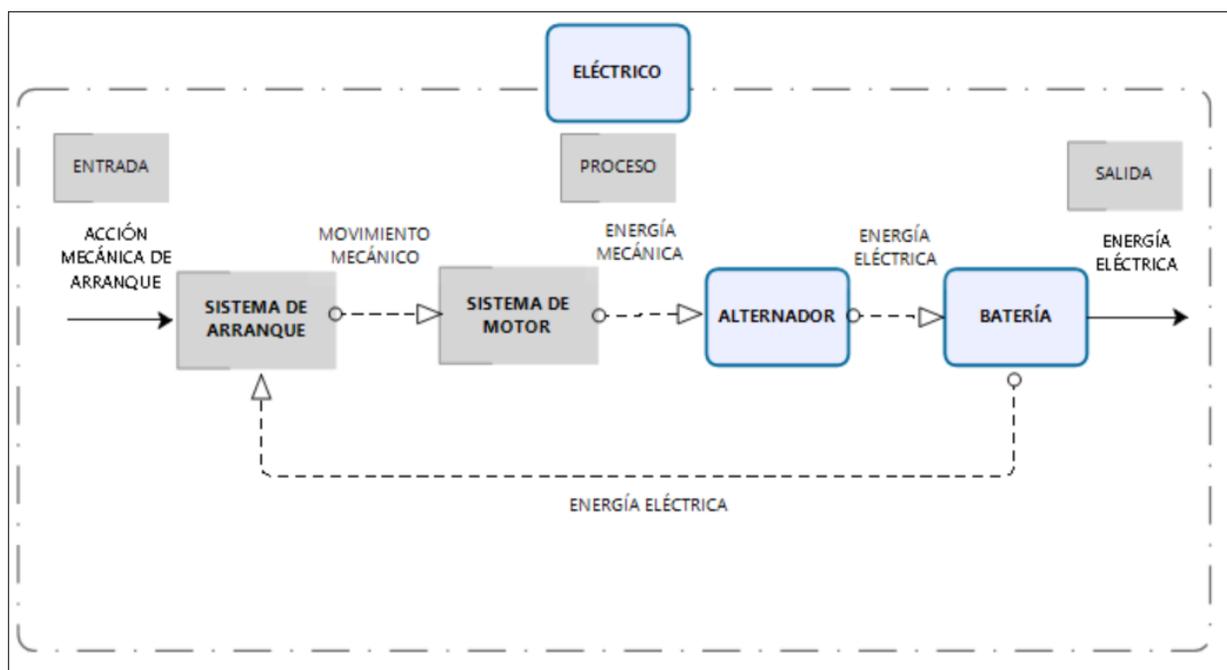
Salida:

Acción del frenado intermitente de manera individual o conjunta en los neumáticos.

A continuación, se presenta el diagrama EPS eléctrico:

Figura 63

Diagrama EPS del equipo eléctrico



Nota. Elaboración propia.

Entrada:

Energía mecánica del motor.

Proceso:

La energía mecánica del motor es dirigida al alternador, el cual transforma esta energía en energía eléctrica, enviándola a la batería para su almacenaje. Luego, una vez la batería almacena la energía eléctrica, esta es distribuida a los diferentes sistemas del vehículo tales como el sistema de arranque y el sistema de luces.

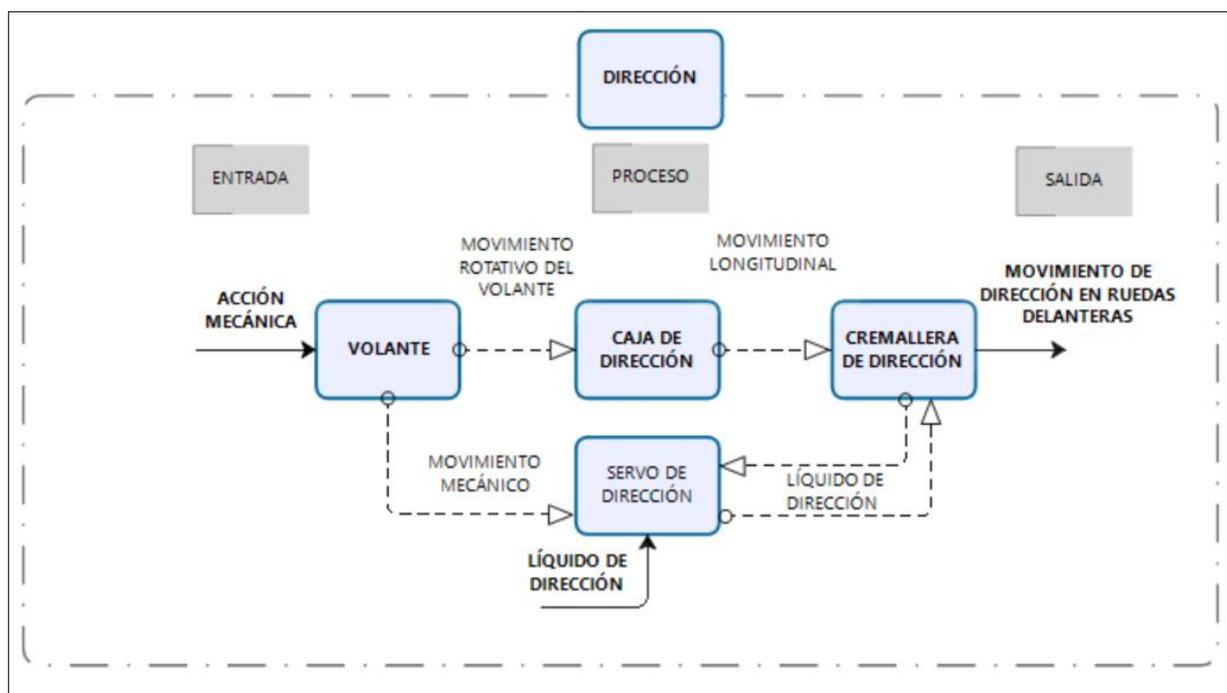
Salida:

Energía eléctrica.

A continuación, se presenta el diagrama EPS de la dirección:

Figura 64

Diagrama EPS del equipo de dirección



Nota. Elaboración propia.

Entrada:

Movimiento mecánico en el volante.

Líquido de dirección.

Proceso:

El movimiento mecánico realizado en el volante es transmitido como movimiento rotativo hacia la caja de dirección, la cual convierte este movimiento en un movimiento longitudinal, que se transmite a la cremallera de dirección y esta a los terminales de dirección, dando así dirección a los neumáticos. Al mismo tiempo, cuando se realiza el movimiento del

volante el servo de dirección bombea el líquido de dirección hacia la válvula distribuidora rotativa que conecta con la cremallera de dirección, con la finalidad de brindar una mayor suavidad de giro en el volante.

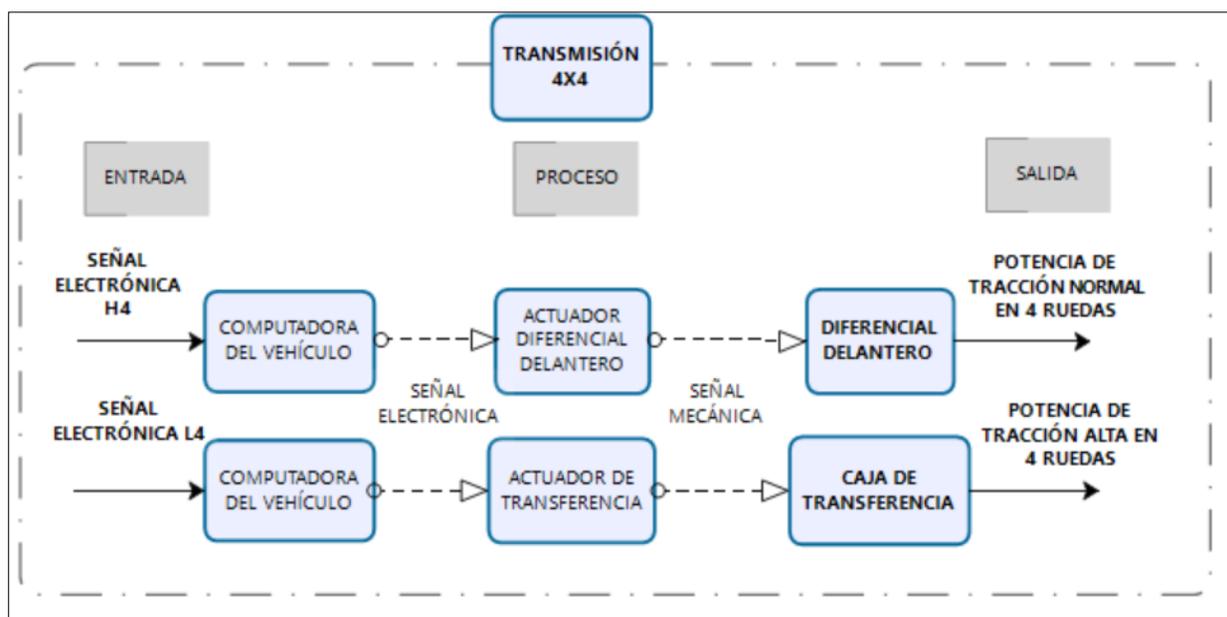
Salida:

Movimiento de dirección en las ruedas delanteras.

A continuación, se presenta el diagrama EPS de la transferencia 4x4.

Figura 65

Diagrama EPS del equipo de transmisión



Nota. Elaboración propia.

Entrada:

Señal electrónica H4.

Señal electrónica L4.

Proceso:

La señal electrónica H4 ingresa a la computadora del vehículo, la cual envía una señal electrónica al actuador diferencial delantero y este envía una señal mecánica para activar el

diferencial delantero, dando así una potencia de tracción normal en las cuatro ruedas. Por otro lado, se tiene la señal electrónica L4 que ingresa a la computadora, la cual envía la señal al actuador de transferencia y este una señal mecánica a la caja de transferencia, activando una potencia de tracción alta en las cuatro ruedas.

Salida:

Señal H4, potencia de tracción normal en los cuatro neumáticos.

Señal L4, potencia de tracción alta en los cuatro neumáticos.

6.6.4 Desarrollo del Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Fallos (FMECA).

A pesar de que en el diagnóstico del problema se identificó que el equipo de transmisión tiene una mayor cantidad de paradas por fallas mecánicas, se ha considerado oportuno el desarrollo del Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Fallos (FMECA) para todos los equipos de la camioneta Toyota Hilux, ya que se quiere lograr un plan de mantenimiento general del sistema para optimizar su tiempo de funcionamiento. Asimismo, en la matriz llamada hoja de información del RCM, se detallará la función, la falla funcional, el modo de falla y efecto de cada uno de los equipos del sistema. La hoja de información se complementará con el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) para poder determinar cuáles son los equipos con una mayor criticidad.

A continuación, se presenta la fórmula para calcular el Número de Prioridad de Riesgo (NPR):

$$\text{NPR} = \text{G} \times \text{O} \times \text{D}$$

En donde:

G: Gravedad

O: Ocurrencia

D: Detectabilidad

En la figura 66, se muestra la escala de número de prioridad de riesgo a aplicar.

Figura 66

Escala de número de prioridad de riesgo

ESCALA	RIESGO
NPR ≤ 250	BAJO
250 < NPR < 500	MEDIO
500 ≤ NPR < 750	ALTO
750 ≤ NPR < 1000	MUY ALTO

Nota. Adaptado de "Guía de Buenas Prácticas N° 679: Análisis modal de fallos y efectos AMFE." Por Bestratén Belloví, Orriols Ramos, Mata París, 2004.

En la figura 67, podemos observar el rango del puntaje del criterio de Gravedad (G) de riesgo a utilizar.

Figura 67

Rango del puntaje del criterio de Gravedad de riesgo

GRAVEDAD	
Descripción	Puntaje
Baja, fallos imperceptibles por el cliente	1 a 2
Media, existe deterioro en el rendimiento del sistema o equipo	3 a 5
Alto, el fallo afecta el rendimiento del sistema o equipo	6 a 8
Muy alto, fallo potencial muy crítico, puede inutilizar el sistema o equipo	9 a 10

Nota. Adaptado de "Guía de Buenas Prácticas N° 679: Análisis modal de fallos y efectos AMFE." Por Bestratén Belloví, Orriols Ramos, Mata París, 2004.

Asimismo, en la figura 68 podemos ver el rango del puntaje del criterio Ocurrencia (O) del riesgo.

Figura 68

Rango de puntaje del criterio Ocurrencia del riesgo

OCURRENCIA	
Descripción	Puntaje
Baja, ningún fallo o fallos aislados	1 a 2
Mediana, el fallo aparece ocasionalmente	3 a 5
Alto, el fallo se ha presentado frecuentemente anteriormente	6 a 8
Muy alto, es seguro que el fallo ocurre frecuentemente	9 a 10

Nota. Adaptado de “Guía de Buenas Prácticas N° 679: Análisis modal de fallos y efectos AMFE.” Por Bestratén Belloví, Orriols Ramos, Mata París, 2004.

En la figura 69 podemos visualizar el rango del puntaje del criterio Detectabilidad (D) del riesgo.

Figura 69

Rango de puntaje del criterio Detectabilidad del riesgo

DIFICULTAD DE DETECTABILIDAD	
Descripción	Puntaje
Baja, indetectable o difícil de detectar por el cliente.	1 a 2
Moderada, el defecto es posiblemente detectable por el cliente	3 a 5
Alto, el defecto es fácilmente detectable por el cliente	6 a 8
Muy alto el defecto es obvio. Resulta improbable que no sea detectado por el cliente	9 a 10

Nota. Adaptado de “Guía de Buenas Prácticas N° 679: Análisis modal de fallos y efectos AMFE.” Por Bestratén Belloví, Orriols Ramos, Mata París, 2004.

A continuación, en la figura 70 se presenta la hoja de información del RCM del equipo motor.

Figura 70

Hoja de información del RCM - Equipo de motor

SUB EQUIPO	COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	G	O	D	NPR			
REFRIGERACIÓN	BOMBA DE AGUA	1	Circulación del líquido refrigerante en todo el circuito de refrigeración del motor.	1	Pérdida de capacidad de generación de caudal suficiente para la circulación del líquido refrigerante.	1	Pérdida de líquido refrigerante por las juntas.	Evidente / No evidente: Si Impacta SHA: NO Efecto Operacional (Síntomas): El equipo de motor pierde capacidad de enfriamiento, se activa indicador de luz de temperatura del motor en el tablero. Acción correctiva: Cambio de bomba de agua.	9	6	5	270
						2	Falta de líquido de refrigerante.	Evidente / No evidente: Si Impacta SHA: NO Efecto Operacional (Síntomas): El equipo de motor pierde capacidad de enfriamiento, se activa indicador de luz en el tablero. Acción correctiva: Verificar el nivel de refrigerante. Si hay pérdida evidente, completar refrigerante.	8	6	7	336
	RADIADOR	2	Enfriamiento del líquido refrigerante que retorna del motor.	1	No disipa la alta temperatura del líquido refrigerante.	1	Agrietamiento de las celdas por exceso de barro.	Evidente / No evidente: Si. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Sobrecalentamiento del motor y activación del indicador de luz en el tablero. Acción correctiva: Desarmar el sistema, reemplazar el radiador y abastecer de líquido de refrigerante al sistema.	8	7	5	280
						2	Agrietamiento por impacto de material.	Evidente / No evidente: Si. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Sobrecalentamiento del motor. Acción correctiva: Desarmar el sistema, reemplazar el radiador y llenar de líquido de refrigerante.	8	5	7	280
	VENTILADOR	3	Introducir aire desde el exterior al interior para enfriar el radiador.	1	Generación insuficiente de flujo de aire.	1	Agrietamiento o rotura del alabes del ventilador.	Evidente / No evidente: Si. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): El radiador no enfría el líquido refrigerante y genera sobrecalentamiento del motor que se muestra en el indicador de luz en el tablero. Acción correctiva: Desarmar el sistema, reemplazar el ventilador.	8	6	6	288
	TERMOSTATO	4	Regulación de la temperatura del motor.	1	No regula la temperatura correctamente.	1	Atascamiento del termostato en el modo abierto o cerrado del control de temperatura.	Evidente / No evidente: Si. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Sobrecalentamiento o sobreenfriamiento del motor, y activación del indicador de luz en el tablero. Acción correctiva: Desarmar el sistema, reemplazar el termostato.	9	3	5	135
	LÍQUIDO REFRIGERANTE	5	Absorber las altas temperaturas generadas por el motor.	1	No enfría correctamente el sistema del motor.	1	Falta de líquido de refrigerante en el sistema.	Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: NO. Efecto operacional (síntomas): Recalentamiento del motor. Acción correctiva: Completar la cantidad de líquido refrigerante necesaria.	8	6	6	288
						2	Vida útil del líquido refrigerante al límite.	Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: NO. Efecto operacional (síntomas): Recalentamiento del motor. Acción correctiva: Cambio total del líquido refrigerante.	8	3	5	120

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 71 se presenta la hoja de información del RCM del motor:

Figura 71

Hoja de información del RCM - Equipo de motor

ADMISIÓN	FILTRO DE AIRE	6	Filtrar las impurezas del aire que llega a los cilindros del motor.	1	Obstrucción del ingreso del aire al motor.	1	Acumulación de suciedad en el filtro.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Pérdida progresiva de potencia del motor. Acción correctiva: Cambio del filtro de aire.	8	4	4	128
	COMPRESOR	7	Comprime el gas refrigerante del aire acondicionado a través del sistema.	1	El compresor no expulsa el aire acondicionado a la temperatura adecuada.	1	Falla de componentes internos del compresor.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): El flujo del aire acondicionado es bajo y poco frío. Acción correctiva: Reemplazo del compresor.	8	6	8	384
	FILTRO DE AIRE ACONDICIONADO	8	Filtrar las impurezas del aire que ingresan a la cabina del vehículo.	1	Obstrucción del ingreso del aire a la cabina.	1	Acumulación de suciedad en el filtro.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Pérdida del flujo de aire dentro de la cabina. Acción correctiva: Reemplazo del filtro de aire acondicionado.	8	4	5	160
	TURBO	9	Elevar el nivel de combustión, comprimiendo gases que se dirigen al motor.	1	Pérdida de capacidad de comprimir el aire.	1	Desgaste interno de rodamientos de la turbina.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Pérdida de potencia del vehículo. Acción correctiva: Mantenimiento interno del turbo.	9	3	7	189
LUBRICACIÓN	FILTRO DE ACEITE	10	Proteger de impurezas el sistema de lubricación.	1	Obstrucción del filtro de aceite	1	Acumulación de suciedad en el filtro.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Sobrecalentamiento del motor. Acción correctiva: Reemplazo del filtro de aceite.	9	4	4	144
	BOMBA DE ACEITE	11	Distribuye el aceite a la presión adecuada en todo el sistema del motor.	1	Disminuye la presión de distribución del aceite.	1	Fuga de aceite por falla interna de la bomba de aceite.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Sobrecalentamiento del motor, indicador de luz del caudal de aceite en el tablero se enciende. Acción correctiva: Cambio de bomba de aceite.	10	5	5	250
	ACEITE DE MOTOR	12	Lubrica los componentes internos del motor.		Vibración excesiva del motor al encender y al acelerar.	1	Nivel de aceite insuficiente.	Evidente / No evidente: SI. Afecta SHA: NO. Efecto operacional (síntomas): Traqueteo del motor, sobrecalentamiento. Acción correctiva: Completar la cantidad necesaria de aceite.	8	5	7	280
2						Vida útil del aceite para motor al límite.	Evidente / No evidente: SI. Afecta SHA: NO. Efecto operacional (síntomas): Sobrecalentamiento y traqueteo del motor. Acción correctiva: Cambio del aceite de motor.	9	6	5	270	

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 72 se presenta la hoja de información del RCM del motor:

Figura 72

Hoja de información del RCM - Equipo de motor

INYECCIÓN	FILTRO DE COMBUSTIBLE	13	Filtrar las impurezas que tiene el combustible, evitando que lleguen al sistema de combustión.	1	Dificulta el paso del combustible.	1	Acumulación de residuos en el filtro.	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO. Efecto operacional (síntomas): Dificultad en el arranque del vehículo. Acción correctiva: Cambio del filtro de combustible.	8	4	4	128
	INYECTOR	14	Pulverizar e inyectar combustible a la cámara de combustión.	1	No inyecta la cantidad adecuada de combustible a la cámara de combustión.	1	Desgaste de componentes por mala calidad de combustible.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Altas emisiones de humo negro y aumento de consumo de combustible. Acción correctiva: Reparación del inyector o cambio del inyector.	9	7	8	504
DISTRIBUCIÓN	FAJA DE ACCESORIOS	15	Conecta la polea del motor con el compresor, la bomba de dirección, la bomba de agua y el alternador.	1	Rotura de la faja, no transmite movimiento en las poleas.	1	Fricción de la faja en los cojinetes de deslizamiento.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): La faja de accesorios se rompe y deja de transmitir energía mecánica en los componentes mencionados en la función, se detectan fallas en la generación de energía eléctrica, en la generación del aire acondicionado, en la presión de aceite en el sistema del motor y el giro del volante se endurece porque la bomba de dirección deja de funcionar. Acción correctiva: Reemplazo de la faja de accesorios.	9	4	6	216
	FAJA DE DISTRIBUCIÓN	16	Transmite el movimiento del cigüeñal al árbol de levas, para abrir las válvulas de admisión y escape de gases.	1	Desgaste de la faja, no transmite correctamente el movimiento mecánico.	1	Fricción de la faja en los cojinetes de deslizamiento.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Traqueteo en el motor. Acción correctiva: Reemplazo de la faja de distribución.	10	2	4	80

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en las figuras 73 y 74 se presentan las hojas de información del RCM del equipo de transmisión:

Figura 73

Hoja de información del RCM - Equipo de transmisión

EMBRAGUE	PLATO DE EMBRAGUE	17	Interrumpir y reestablecer el movimiento del motor hacia la caja de cambios, ejerciendo presión sobre el volante.	1	Acoplamiento deficiente.	1	Desgaste por uso.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Dificultad en realizar los cambios. Acción correctiva: Reemplazo del plato de embrague.	6	7	6	252
	DISCO DE EMBRAGUE	18	Soportar la fricción contra el volante.	1	El disco no detiene el giro contra el volante adecuadamente.	1	Desgaste por fricción del disco.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Dificultad en realizar los cambios. Acción correctiva: Reemplazo del disco de embrague.	6	7	6	252
	COLLARIN DE EMBRAGUE	19	Transmite el movimiento del pedal de embrague, para separar o juntar el disco contra el volante.	1	No transmite presión correctamente sobre el disco de embrague.	1	Desgaste por uso.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Dificultad en realizar los cambios. Acción correctiva: Reemplazo del collarín de embrague.	6	7	6	252
DIFERENCIAL	CRUCETA DE CARDAN DELANTERO	20	Transmisión de movimiento rotacional y angular.	1	Holgura entre la cruceta y el cardán.	1	Desgaste del componente.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Vibración del vehículo al acelerar. Acción correctiva: Reemplazo de la cruceta.	6	7	6	252
	CRUCETA DE CARDAN POSTERIOR	21	Transmisión de movimiento rotacional y angular.	1	Holgura entre la cruceta y el cardán.	1	Desgaste del componente.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Vibración del vehículo al acelerar. Acción correctiva: Reemplazo de la cruceta.	6	7	6	252
	BRIDA DE CORONA DELANTERA	22	Transmite movimiento de rotación desde el cardán hacia el diferencial delantero.	1	Pérdida de ajuste entre cardán y el diferencial.	1	Desgaste interno del componente.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Vibración del vehículo al acelerar. Acción correctiva: Reemplazo de la brida de corona.	8	4	5	160
						2	Fuga de aceite por desgaste del retén.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Vibración del vehículo al acelerar. Acción correctiva: Reemplazo del retén y reposición del nivel de aceite perdido.	9	2	5	90
	BRIDA DE CORONA POSTERIOR	23	Transmite movimiento de rotación desde el cardán hacia el diferencial posterior.	1	Pérdida de ajuste entre cardán y el diferencial	1	Desgaste interno del componente.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Vibración al acelerar, pérdida de aceite. Acción correctiva: Reemplazo de la brida de corona.	9	7	5	315
						2	Fuga de aceite por desgaste del retén.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Vibración al acelerar. Acción correctiva: Reemplazo del retén y reposición del nivel de aceite perdido.	9	7	6	378

Nota. Elaboración propia.

Figura 74

Hoja de información del RCM - Equipo de transmisión.

DIFERENCIAL	BARRA DE PALIER	24	Transmisión de giro de neumáticos.	1	Pérdida de transmisión de giro	1	Barra doblada por golpe.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Vibraciones al aumentar la velocidad del vehículo. Acción correctiva: Reemplazo de la barra de palier.	9	5	6	270
						2	Holgura del palier	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Sonidos al frenar y acelerar. Acción correctiva: Reemplazo de la barra de palier.	8	7	5	280
	JUNTAS HOMOCINÉTICAS	25	Transmitir movimiento de giro desde la caja de transferencia hacia las ruedas delanteras.	1	Juego axial excesivo.	1	Desgaste del tripoide interno.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Ruido y vibraciones al girar el volante. Acción correctiva: Cambio de las juntas homocinéticas. (Considerar cambio de la copa de palier y punta de palier)	9	8	5	360
	GUARDA POLVOS DEL PALIER	26	Cubrir y proteger las juntas homocinéticas.	1	Agrietamiento del cubre polvo	1	Movimiento de giro direccional del palier o factores externos.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Fuga de grasa del palier y desgaste prematuro de la junta homocinética. Acción correctiva: Inspección de las juntas homocinéticas y cambio del guarda polvos.	9	8	6	432
	DIFERENCIAL DELANTERO	27	Transmite la rotación del motor hacia las ruedas y regula la velocidad de giro de las ruedas en las curvas.	1	Fatiga de rodamientos internos.	1	Fuga de aceite por el tapón de drenaje.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Presencia de sonido en el diferencial cuando se activa la función 4x4. Acción correctiva: Inspección de ajuste del tapón de drenaje y cambio si es necesario. Inspección de rodamientos internos y evaluar cambio. Reabastecimiento de aceite para el diferencial.	9	5	6	270
	DIFERENCIAL POSTERIOR	28	Transmite la rotación del motor hacia las ruedas y regula la velocidad de giro de las ruedas en las curvas.	1	Fatiga de rodamientos internos.	1	Fuga de aceite por el tapón de drenaje.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Presencia de sonido / Inhabilitación del funcionamiento del vehículo. Acción correctiva: Inspección de ajuste del tapón de drenaje y cambio si es necesario. Inspección de rodamientos internos y evaluar cambio. Reabastecimiento de aceite para el diferencial.	9	5	6	270
	ACTUADOR DIFERENCIAL DELANTERO	29	Acoplar los ejes delanteros con la transferencia 4x4 en función H4	1	No acopla la transferencia en función H4 de la 4x4	1	Motor interno del actuador no funciona por presencia de agua.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Función H4 de la 4x4 no engrocha en el diferencial delantero, indicador de luz en el tablero activo. Acción correctiva: Cambio del actuador y revisión de conexiones eléctricas.	9	8	9	648
						2	Uso incorrecto de la función H4.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Función H4 de la 4x4 inhabilitada, atascamiento de motor interno del actuador, luz de indicador en el tablero activada. Acción correctiva: Cambio del actuador, revisión de conexiones eléctricas, reemplazo de algún componente interno del actuador.	9	6	7	378

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 75 se presenta la hoja de información del RCM del equipo de transmisión:

Figura 75

Hoja de información del RCM - Equipo de transmisión

DIFERENCIAL	ACTUADOR DE TRANSFERENCIA	30	Acoplar los dos ejes con la transferencia 4x4 en función L4	1	No acopla la transferencia en función L4 de la 4x4	1	Motor interno del actuador no funciona por presencia de agua.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Función L4 de la 4x4 inhabilitada, luz de indicador en el tablero activada. Acción correctiva: Cambio del actuador, revisión de conexiones eléctricas.	9	8	9	648
						2	Uso incorrecto de la función L4.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Función L4 de la 4x4 inhabilitada. Acción correctiva: Cambio del actuador, revisión de conexiones eléctricas, reemplazo de algún componente interno del actuador.	9	6	8	432
	LUBRICANTE DE CAJA DE CAMBIO	31	Lubrica los engranajes y elementos internos de la caja de cambios.	1	Dificultad en conectar los cambios.	1	Nivel insuficiente de aceite.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Traqueteo en la caja de cambios al momento de ejecutar un cambio de velocidad. Acción correctiva: Cambio o llenado del aceite faltante.	8	5	6	240
						2	Vida útil del aceite fuera del límite.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Traqueteo en la caja de cambios al momento de realizar un cambio de velocidad, excesivo sonido de la caja. Acción correctiva: Cambio total del aceite.	8	5	6	240
	LUBRICANTE DE DIFERENCIAL	32	Lubrica los engranajes, reduciendo su fricción y desgaste.	1	Atascamiento de los rodamientos internos del diferencial.	1	Nivel insuficiente de aceite.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Acción correctiva: Reposición del aceite faltante.	8	6	6	288
						2	Vida útil del aceite fuera del límite.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Acción correctiva: Cambio total del aceite.	8	6	6	288
EJE DELANTERO	RODAJE DELANTERO	33	Transmitir giro a las ruedas	1	Holgura de rodamientos	1	Desgaste por condiciones extremas.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Falla del ABS y se anula el funcionamiento de la 4x4. Acción correctiva: Reemplazo del rodamiento.	7	6	7	294
EJE POSTERIOR	RODAJE POSTERIOR	34	Transmitir giro a las ruedas	1	Holgura de rodamientos	1	Desgaste por condiciones extremas.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Falla del ABS y se anula el funcionamiento de la 4x4. Acción correctiva: Reemplazo del rodamiento.	7	6	7	294

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 76 se presenta la hoja de información del RCM del equipo de

frenos:

Figura 76

Hoja de información del RCM - Equipo de frenos

FRENOS DELANTEROS	DISCO DE FRENO	35	Disco en donde la pastilla de freno ejerce presión para detener el giro de la rueda.	1	Pérdida de capacidad de frenado.	1	Desgaste de la superficie del disco de freno.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): No frena adecuadamente el vehículo y se produce un sonido al momento de frenar. Acción correctiva: Reemplazo del disco de freno.	8	5	5	200
	PASTILLAS DE FRENO	36	Generar fricción sobre el disco de freno, para detener el giro de la rueda.	1	Pérdida de capacidad de frenado.	1	Desgaste de material cerámico de la pastilla de freno.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): No frena adecuadamente el vehículo y se produce un sonido de fricción entre el disco de freno y la pastilla. Acción correctiva: Cambio de pastillas de freno.	8	5	5	200
	KIT DE CALIPER	37	Proteger del polvo al pistón de caliper / brindar sello en los pistones.	1	Pérdida de líquido de freno por lo sellos del pistón.	1	Agrietamiento del guardapolvo.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): No frena adecuadamente el vehículo, humedecimiento del guardapolvo por el líquido de freno. Acción correctiva: Cambio del guardapolvo y verificación del nivel de líquido de freno.	8	6	6	288
						2	Desgaste de los sellos del pistón.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): No frena adecuadamente el vehículo, humedecimiento exterior del pistón por líquido de freno. Acción correctiva: Cambio de sellos y verificación del nivel de líquido de freno.	8	5	7	280
	PISTONES DE CALIPER	38	Realizar presión de las pastillas de freno contra el disco de freno.	1	No realiza la suficiente presión sobre las pastillas de freno.	1	Pérdida de líquido de freno.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): No frena adecuadamente el vehículo, humedecimiento exterior del pistón. Acción correctiva: Cambio de pistones y verificación del nivel de líquido de freno.	8	6	6	288
	BOMBA DE FRENO	39	Presuriza el líquido de freno por todo el sistema de freno.	1	No presuriza adecuadamente el líquido de freno en el circuito hidráulico.	1	Pérdida de líquido de freno por las juntas o anillos de la bomba de freno.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): No frena adecuadamente el vehículo, humedecimiento exterior de la bomba de freno. Acción correctiva: Reemplazo de la bomba de freno y verificación del nivel de líquido de freno.	8	4	8	256
	CAÑERÍA DE FRENO	40	Transportar el líquido de freno en todo el sistema de freno.	1	Agrietamiento de la cañería.	1	Condiciones extremas.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): No frena adecuadamente el vehículo y pérdida de líquido de freno. Acción correctiva: Reemplazo o fabricación de la cañería de freno y llenado del líquido de freno.	8	4	5	160
	LÍQUIDO DE FRENO	41	Mueve los diversos componentes del sistema de frenos del vehículo.	1	No mueve correctamente los componentes que accionan el frenado del vehículo.	1	Nivel insuficiente de líquido de freno.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Dificultad de frenado, endurecimiento del pedal de freno. Acción correctiva: Llenar la cantidad faltante de líquido de freno.	8	4	6	192
2						Vida útil del líquido de freno fuera del límite.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Dificultad de frenado, endurecimiento del pedal de freno. Acción correctiva: Cambio total del líquido de freno.	8	5	6	240	

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 77 se presenta la hoja de información del RCM del equipo de

frenos:

Figura 77

Hoja de información del RCM - Equipo de frenos

FRENOS POSTERIORES	BOMBIN DE FRENO	42	Ejercen presión sobre los pistones de freno y estos sobre la zapata de freno.	1	No ejerce presión suficiente sobre las zapatas de freno.	1	Fuga de líquido de freno.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Deficiencia en la presión realizada sobre la zapata de freno y no hay un correcto frenado en los ejes posteriores. Acción correctiva: Reemplazo del bombin de freno.	8	6	7	336
	TAMBOR DE FRENO	43	Soporta la fricción generada por la zapata de freno, en la acción del frenado.	1	El tambor no cumple su función de frenado adecuadamente.	1	Desgaste excesivo del tambor por fricción de zapatas de freno en mal estado.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Sonidos al momento de frenar, el vehículo no frena adecuadamente, desgaste de la superficie del tambor de freno. Acción correctiva: Rectificar el tambor o cambio.	7	5	5	175
	ZAPATA DE FRENO	44	Generar fricción sobre el tambor de freno para detener el giro de la rueda en la acción del frenado.	1	Desgaste del material cerámico que genera la fricción sobre el tambor de freno.	1	Fricción de las zapatas de freno sobre el tambor.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Sonidos al momento de frenar, desgaste de las zapatas de freno. Acción correctiva: Reemplazo de zapatas.	7	5	5	175
	CABLE DE FRENO DE MANO	45	Inmovilizar las ruedas del vehículo de forma permanente.	1	Falla mecánica interna del cable de freno de mano.	1	Corrosión interna por condiciones extremas.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Deficiencia en el frenado de los neumáticos. Acción correctiva: Cambio del cable de freno.	7	5	6	210
FRENO AUXILIAR	ACTUADOR	46	Envía una señal de control de presión hidráulica del líquido de freno al neumático frenado.	1	No envía la señal de control hidráulico del líquido de freno.	1	Daño interno por humedad.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Indicador de luz ABS activada en el tablero. No funciona el sistema de antibloqueo de freno del neumático delantero o posterior. Acción correctiva: Reemplazo del actuador.	9	8	8	576
	CABLE SENSOR ABS DELANTERO / POSTERIOR	47	Medir la velocidad de giro de cada una de las ruedas.	1	No mide correctamente la velocidad de giro de una de las ruedas.	1	Falla del sensor por condiciones extremas.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Indicador de luz en el tablero, se bloquea el sistema 4x4. Acción correctiva: Cambio del sensor ABS.	9	8	7	504

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 78 se presenta la hoja de información del RCM del equipo eléctrico:

Figura 78

Hoja de información del RCM - Equipo eléctrico

TRANSFORMADOR DE ENERGÍA	ALTERNADOR	48	Transformar la energía mecánica del cigueñal en energía eléctrica.	1	No genera energía eléctrica.	1	El sistema regulador no genera carga.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Indicador de batería descargada está activado en el tablero. Acción correctiva: Mantenimiento interno o reemplazo del alternador.	9	6	6	324
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	BATERÍA	49	Almacena energía eléctrica, para distribuirlo en todo el sistema eléctrico del vehículo.	1	No almacena la suficiente energía eléctrica.	1	Batería en el límite de vida útil.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Indicador de batería descargada esta activado en el tablero, no enciende el vehículo. Acción correctiva: Reemplazo de la batería.	8	5	5	200
	REGULADOR DE VOLTAJE	50	Regular el voltaje de la energía producida por el alternador.	1	No hay un constante fluido de energía eléctrica en el sistema.	1	Exposición a la humedad de sus sus circuitos electrónicos.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Descarga de batería, no enciende el vehículo. Acción correctiva: Reemplazo del regulador de voltaje.	8	3	4	96
ENCENDIDO	ARRANCADOR	51	Brinda movimiento mecánico al motor para iniciar el arranque.	1	Falla eléctrica en el motor de arranque.	1	Exposición a condiciones extremas.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): No se puede iniciar el arranque del motor. Acción correctiva: Reemplazo del arrancador.	9	3	8	216
						2	Bornes de batería mal conectados.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): No se puede iniciar el arranque del motor. Acción correctiva: Inspección de bornes de batería y del voltaje de la batería.	8	6	5	240

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 79 se presenta la hoja de información del RCM del equipo de dirección:

Figura 79

Hoja de información del RCM - Equipo de dirección

DIRECCIÓN DELANTERA	CREMALLERA DE DIRECCIÓN	52	Transforma el movimiento circular del volante en movimiento lineal para mover los neumáticos delanteros.	1	Dificultad de giro del volante de dirección.	1	Fuga de aceite de dirección de la cremallera.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Dificultad que el volante retorne a su posición natural, dureza en el giro del volante. Acción correctiva: Reemplazo de la cremallera.	9	7	5	315
	TERMINAL DE DIRECCIÓN	53	Guiar el movimiento de los neumáticos delanteros.	1	Pérdida de la capacidad de guiar los neumáticos a la dirección deseada.	1	Desgaste del componente por condiciones extremas.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Dificultad de guiar los neumáticos a la dirección deseada, pérdida del control de la dirección. Acción correctiva: Reemplazo del terminal de dirección.	9	7	5	315
	BARRA DE DIRECCIÓN	54	Une el volante con la caja de dirección.	1	Holgura en sus sujetadores.	1	Desgaste por fricción en sus sujetadores.	Evidente / No evidente: NO. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Desajuste entre el volante y caja de dirección. Acción correctiva: Reemplazo de sujetadores o cambio de barra por desgaste.	8	4	4	128
	BIELETA DE DIRECCIÓN	55	Une la cremallera con el terminal de dirección.	1	Holgura en la unión con el terminal de dirección.	1	Desgaste por fricción.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Manejo impreciso del vehículo. Acción correctiva: Reemplazo de Bieletas de dirección.	9	7	5	315
MANIOBRABILIDAD	SERVO DE DIRECCIÓN	56	Reduce la fuerza de giro que realizará el conductor sobre el volante.	1	Giro del volante trabado.	1	Fuga de líquido de dirección.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Dificultad en girar el volante. Acción correctiva: Reemplazo del servo de dirección.	8	5	4	160
	LÍQUIDO DE DIRECCIÓN	57	Genera la energía hidráulica con la que funciona el servo de dirección.	1	El sistema hidráulico de la dirección no funciona correctamente.	1	Falta de líquido de dirección.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Rigidez del volante. Acción correctiva: Llenado del líquido de dirección.	7	5	4	140
						2	Vida útil del líquido de dirección fuera del límite.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Rigidez del volante. Acción correctiva: Cambio del líquido de dirección.	8	3	5	120

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 80 se presenta la hoja de información del RCM del equipo de suspensión:

Figura 80

Hoja de información del RCM - Equipo de suspensión

SUSPENSIÓN DELANTERA	AMORTIGUADOR DELANTERO	58	Reducción de las vibraciones del resorte.	1	No amortigua adecuadamente la carrocería.	1	Pérdida de aceite.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Desplazamiento del chasis al momento de frenar o al paso de curvas, fuga de aceite del amortiguador. Acción correctiva: Reemplazo del amortiguador.	7	6	5	210
	BARRA ESTABILIZADORA	59	Reduce la compresión de la suspensión en la rueda interna y ayuda a una menor inclinación del vehículo.	1	Desgaste de la barra en sus jebes de soporte.	1	Movimiento inestable de la suspensión.	Evidente / No evidente: NO. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas):Balanceo excesivo del vehículo. Acción correctiva: Revisión de la barra y los jebes de soporte. Cambio de barra si tiene desgaste en la posición de los jebes de soporte, cambio de jebes de soporte por desgaste o agrietamiento.	7	6	4	168
	RÓTULA DE SUSPENSIÓN	60	Permite el movimiento del proceso de la suspensión sobre los 2 ejes del vehículo	1	Presenta juego axial en la rótula.	1	Desgaste interno de la rótula por condiciones extremas.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas):Se pierde control de dirección de la rueda y de la suspensión. Acción correctiva: Reemplazo de la rótula.	7	6	5	210
	BOCINA DE TRAPECIO	61	Absorbe el movimiento vertical del vehículo.	1	Deformación de bocinas.	1	Desgaste por condiciones extremas.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Deficiencia en la amortiguación del vehículo. Acción correctiva: Cambio de bocinas en el trapecio de suspensión.	6	6	6	216
	RESORTE DE AMORTIGUADOR.	62	Amortigua los defectos de las irregularidades del camino.	1	No amortigua adecuadamente la carrocería.	1	Deformación del resorte.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Deficiencia en la amortiguación del vehículo, deformación del resorte. Acción correctiva: Reemplazo del resorte.	7	6	5	210
	NEUMÁTICOS DELANTEROS	63	Soportar el peso del vehículo, soportar los impactos de la suspensión y generar tracción.	1	Pérdida de tracción.	1	Desgaste por uso y condiciones extremas.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Dificultad en subir pendientes, pérdida de tracción. Acción correctiva: Reemplazo de neumáticos.	8	5	6	240
SUSPENSIÓN POSTERIOR	AMORTIGUADOR POSTERIOR	64	Reducción de las vibraciones.	1	No amortigua adecuadamente la carrocería.	1	Pérdida de aceite.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Desplazamiento del chasis al momento de frenar o al paso de curvas, fuga de aceite del amortiguador. Acción correctiva: Reemplazo del amortiguador.	7	7	5	245
	HOJAS DE MUELLE	65	Contener los impactos que reciben los neumáticos en el eje posterior del vehículo.	1	Fractura parcial o total de las hojas de muelle.	1	Deformación elástica de las hojas de muelle.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Fractura de la hoja de muelle, deformación plástica de la hoja de muelle. Acción correctiva: Reemplazo de la hoja de muelle fracturada.	7	6	5	210
	NEUMÁTICOS POSTERIORES	66	Soportar el peso del vehículo, soportar los impactos de la suspensión y generar tracción.	1	Pérdida de tracción.	1	Desgaste por uso y condiciones extremas.	Evidente / No evidente: SI. Impacta SHA: NO. Efecto Operacional (Síntomas): Dificultad en subir pendientes, pérdida de tracción. Acción correctiva: Reemplazo de neumáticos.	7	5	7	245

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 81 se presenta la elaboración de las hojas de decisiones y el plan de mantenimiento del equipo del motor, basado en el RCM:

Figura 81

Hoja de decisión del RCM - Equipo de motor

Hoja de decisión del RCM			Equipo: Motor														
Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acción por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico del RCM	Tareas propuestas	Frecuencia	Responsable	
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4					
							S1	S2	S3	O1	O2	O3					N1
A																	
1	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección de las juntas de la bomba de agua.	Mensual	Mecánico
		2	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección visual del nivel de líquido de refrigerante.	Diaria, antes de inicio de operaciones.	Conductor
2	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Lavado e inspección visual del estado de las celdas del radiador.	Semanal	Mecánico
		2	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento proactivo.	Cambio total del radiador.	Cuando ocurra	Mecánico
3	1	1	S	N	N	N	S							Tarea a condición	Inspección del alabes del ventilador.	Mensual	Mecánico
4	1	1	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento proactivo.	Cambio total del termostato.	Cuando ocurra	Mecánico
5	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección del nivel de líquido refrigerante.	Diario	Mecánico
		2	S	N	N	S	N	N	S					Tarea de sustitución cíclica	Cambio del refrigerante.	Cada 20000 km	Mecánico
6	1	1	S	N	N	S	N	N	S					Tarea de sustitución cíclica	Cambio del filtro de aire.	Cada 4000 km	Mecánico
7	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Verificar el estado del compresor.	Cada 20000 km	Mecánico
8	1	1	S	N	N	S	N	N	S					Tarea de sustitución cíclica	Cambio del filtro de aire acondicionando.	Cada 4000 km	Mecánico
9	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección de rodamientos internos del turbo.	Cada 40000 km	Mecánico
10	1	1	S	N	N	S	N	N	S					Tarea de sustitución cíclica	Cambio del filtro de aceite.	Cada 4000 km	Mecánico
11	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección visual de las juntas de la bomba de aceite, al momento del cambio de aceite.	Cada 4000 km	Mecánico
12	1	1	S	N	N	S	N	N	S					Tarea de sustitución cíclica	Cambio de filtro de combustible.	Cada 4000 km.	Mecánico
13	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección del nivel de aceite.	Diario	Mecánico
		2	S	N	N	S	N	N	S					Tarea de sustitución cíclica	Cambio de aceite de motor.	Cada 4000 km	Mecánico
14	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección de parámetros del inyector mediante un scanner.	Cada 20000 km	Mecánico
15	1	1	S	N	N	S	N	N	S					Sustitución cíclica	Cambio de la faja de accesorios.	Cada 40000 km	Mecánico
16	1	1	S	N	N	S	N	N	S					Sustitución cíclica	Cambio de la faja de distribución.	Cada 170000 km	Mecánico

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 82 se presenta la elaboración de las hojas de decisiones y el plan de mantenimiento del equipo de transmisión, basado en el RCM.

Figura 82

Hoja de decisión del RCM - Equipo de transmisión

Hoja de decisión del RCM			Equipo: Transmisión													
Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acción por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico del RCM	Tareas propuestas	Frecuencia	Responsable
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
B																
17	1	1	S	N	N	S	S	N	S				Sustitución cíclica	Cambio del plato de embrague.	Cada 20000 km	Mecánico
18	1	1	S	N	N	S	S	N	S				Sustitución cíclica	Cambio del disco de embrague.	Cada 20000 km	Mecánico
19	1	1	S	N	N	S	S	N	S				Sustitución cíclica	Cambio del collarín de embrague.	Cada 20000 km	Mecánico
20	1	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección de vibración entre la cruceta y el cardán delantero.	Cada 5000 km	Mecánico
21	1	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección de vibración entre la cruceta y el cardán posterior.	Cada 5000 km	Mecánico
22	1	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección interna del componente.	Cada 5000 km	Mecánico
		2	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección interna del retén.	Cada 5000 km	Mecánico
23	1	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección interna del componente.	Cada 5000 km	Mecánico
		2	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección interna del retén.	Cada 5000 km	Mecánico
24	1	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección del estado de la barra.	Cada 5000 km	Mecánico
		2	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Búsqueda de holgura en el palier.	Cada 5000 km	Mecánico
25	1	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección de las juntas homocinéticas.	Cada 5000 km	Mecánico
26	1	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Búsqueda de grietas en el guardapolvos.	Cada 5000 km	Mecánico
27	1	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección del retén y tapón de drenaje.	Cada 20000 km	Mecánico
28	1	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección del retén y tapón de drenaje.	Cada 20000 km	Mecánico
29	1	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento proactivo.	Cambio total del actuador.	Cuando ocurra.	Mecánico
		2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento proactivo.	Cambio total del actuador.	Cuando ocurra.	Mecánico
30	1	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento proactivo.	Cambio total del actuador.	Cuando ocurra.	Mecánico
		2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento proactivo.	Cambio total del actuador.	Cuando ocurra.	Mecánico
31	1	1	1	S	N	N	S						Tarea a condición	Inspección del nivel de aceite.	Cada 5000 km	Mecánico
		2	S	N	N	S	N	N	S				Sustitución cíclica	Cambio de aceite.	Cada 20000 km	Mecánico
32	1	1	1	S	N	N	S						Tarea a condición	Inspección del nivel de aceite.	Cada 5000 km	Mecánico
		2	S	N	N	S	N	N	S				Sustitución cíclica	Cambio de aceite.	Cada 20000 km	Mecánico
33	1	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección de rodajes.	Cada 5000 km	Mecánico
34	1	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección de rodajes.	Cada 5000 km	Mecánico

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 83 se presenta la elaboración de las hojas de decisiones y el plan de mantenimiento del equipo de frenos, basado en el RCM.

Figura 83

Hoja de decisión del RCM - Equipo de frenos

Hoja de decisión del RCM			Equipo: Freno														
Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acción por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico del RCM	Tareas propuestas	Frecuencia	Responsable	
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4					
							S1	S2	S3	O1	O2	O3					N1
C																	
35	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Limpieza y mantenimiento del disco de freno.	Cada 5000 km	Mecánico.
36	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección de las pastillas de freno.	Cada 5000 km	Mecánico.
37	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección y búsqueda de grietas en el guardapolvos del caliper.	Cada 10000 km	Mecánico.
		2	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección de sellos del pistón de caliper.	Cada 10000 km	Mecánico.
38	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección y búsqueda de pérdida de líquido de freno en los pistones.	Cada 10000 km	Mecánico.
39	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección y búsqueda de humedecimiento de las juntas por el líquido de freno.	Cada 10000 km	Mecánico.
40	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección visual del estado de las cañerías y búsqueda de agrietamiento.	Cada 10000 km	Mecánico.
41	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección del nivel de refrigerante.	Diario	Mecánico.
		2	S	S			N	N	S					Sustitución cíclica	Cambio total del líquido de freno.	Cada 15000 km	Mecánico.
42	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección visual en busca de fuga de líquido de freno.	Cada 10000 km	Mecánico.
43	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Limpieza y mantenimiento del tambor de freno.	Cada 5000 km	Mecánico.
44	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección del nivel de desgaste de las zapatas de freno.	Cada 5000 km	Mecánico.
45	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección del cable de freno, en búsqueda de corrosión.	Cada 10000 km	Mecánico.
46	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección del actuador en búsqueda de humedad interna en el componente.	Cada 30000 km	Mecánico.
47	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección de la resistencia (Ω) del sensor.	Cada 5000 km	Mecánico.

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 84 se presenta la elaboración de las hojas de decisiones y el plan de mantenimiento del equipo eléctrico, basado en el RCM.

Figura 84

Hoja de decisión del RCM - Equipo eléctrico

Hoja de decisión del RCM			Equipo: Eléctrico														
Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acción por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico del RCM	Tareas propuestas	Frecuencia	Responsable	
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4					
							S1	S2	S3								
							O1	O2	O3								
							N1	N2	N3								
D																	
48	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Medición del voltaje generado por el alternador.	Cada 20000 km	Mecánico.
49	1	1	S	N	N	S	N	N	S					Tarea de sustitución cíclica.	Cambio de batería.	Cada 30000 km	Mecánico.
50	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección del regulador de voltaje.	Cada 20000 km	Mecánico.
51	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Limpieza y mantenimiento.	Cada 20000 km	Mecánico.
		2	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección de los cables que van conectados a la batería.	Cada 5000 km	Mecánico.

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 85 se presenta la elaboración de las hojas de decisiones y el plan de mantenimiento del equipo de dirección, basado en el RCM.

Figura 85

Hoja de decisión del RCM - Equipo de dirección

Hoja de decisión del RCM			Equipo: Dirección														
Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acción por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico del RCM	Tareas propuestas	Frecuencia	Responsable	
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4					
							S1	S2	S3								
							O1	O2	O3								
							N1	N2	N3								
E																	
52	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección del guardapolvo y búsqueda de fuga del líquido de dirección.	Cada 5000 km	Mecánico.
53	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección del guardapolvo y ajuste del terminal de dirección.	Cada 5000 km	Mecánico.
54	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección del desgaste en los sujetadores de la barra.	Cada 5000 km	Mecánico.
55	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección del desgaste generado por el movimiento del volante.	Cada 5000 km	Mecánico.
56	1	1	S	N	N	S								Tarea a condición.	Inspección del desgaste interno del servo de dirección.	Cada 5000 km	Mecánico.
57	1	1	S	S			S							Tarea a condición.	Inspección del nivel del líquido de dirección.	Diario	Conductor.
		2	S	S			N	N	S					Sustitución cíclica.	Cambio del líquido de dirección.	Cada 20000 km	Mecánico.

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 86 se presenta la elaboración de las hojas de decisiones y el plan de mantenimiento del equipo de suspensión, basado en el RCM.

Figura 86

Hoja de decisión del RCM - Equipo de suspensión

Hoja de decisión del RCM			Equipo: Suspensión														
Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acción por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico del RCM	Tareas propuestas	Frecuencia	Responsable	
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4					
							S1	S2	S3								
							O1	O2	O3								
							N1	N2	N3								
F																	
58	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Búsqueda de signos de pérdida de aceite en el amortiguador delantero.	Cada 5000 km	Mecánico.
59	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección de desgaste de los sujetadores de la barra.	Cada 5000 km	Mecánico.
60	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección del desgaste interno de las rótulas.	Cada 5000 km	Mecánico.
61	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Búsqueda de agrietamiento en las bocinas del trapecio de suspensión.	Cada 5000 km	Mecánico.
62	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección de vencimiento y agrietamiento por óxido.	Cada 5000 km	Mecánico.
63	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección visual del grado de desgaste del neumático.	Cada 5000 km	Mecánico.
64	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Búsqueda de signos de pérdida de aceite en el amortiguador posterior.	Cada 5000 km	Mecánico.
65	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Búsqueda de fisuras en las hojas de muelle.	Cada 5000 km	Mecánico.
66	1	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección visual del grado de desgaste del neumático.	Cada 5000 km	Mecánico.

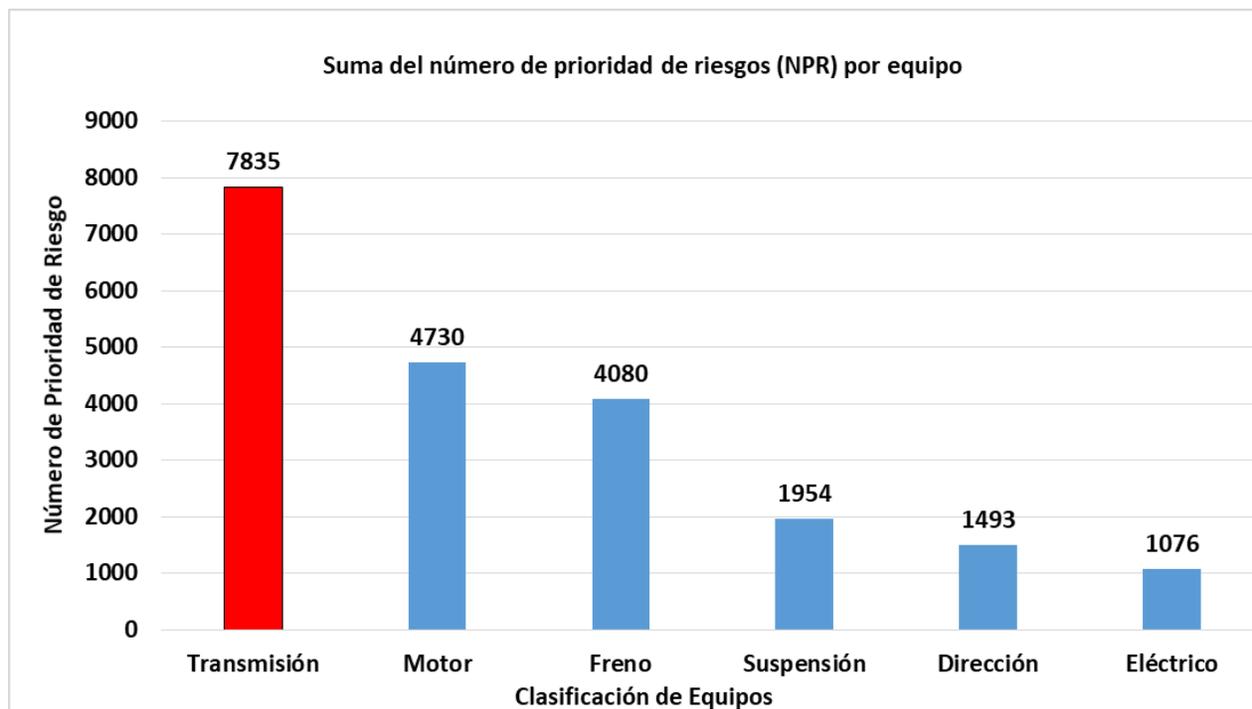
Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presenta el resumen del resultado del FMECA.

En la figura 87, se muestra la suma total del número de prioridad de riesgos (NPR) de los modos de fallo de todos los equipos de la camioneta Toyota Hilux.

Figura 87

Suma total del NPR de los equipos del vehículo



Nota. Elaboración propia.

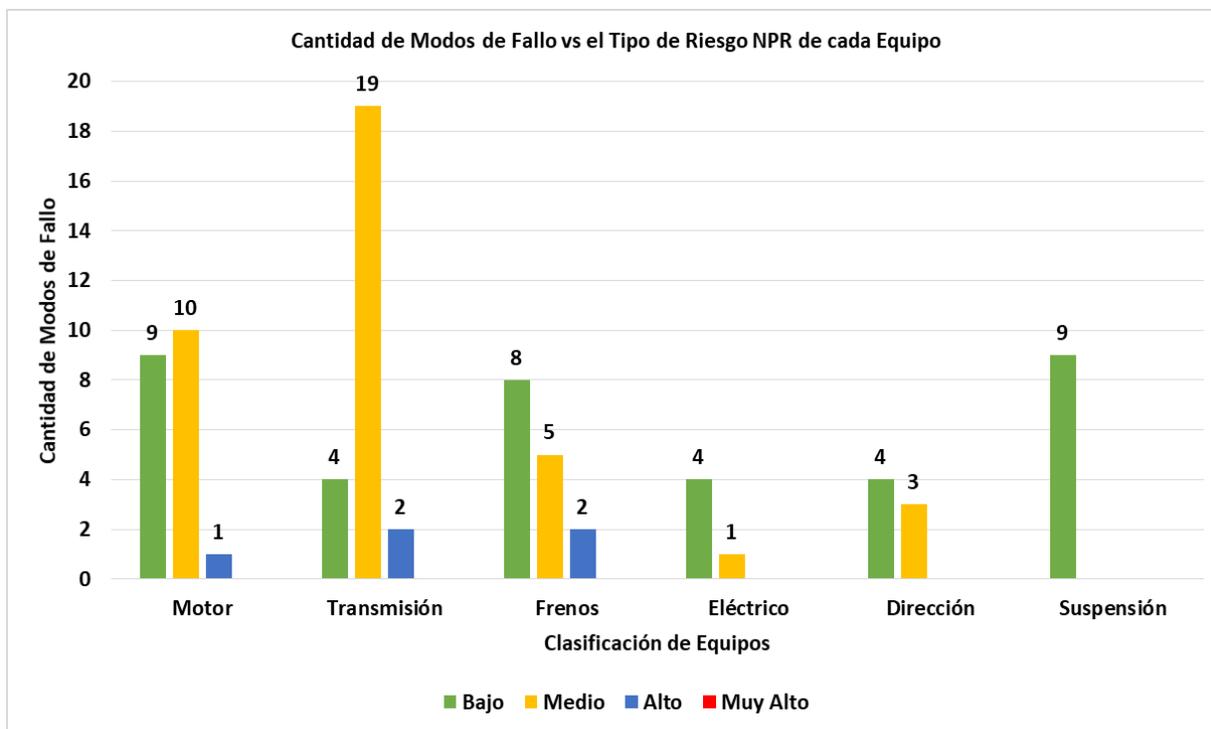
La figura 87, nos muestra que el equipo de transmisión es el que tiene una mayor prioridad de riesgo, es decir es el equipo que tiene componentes más críticos que afectan más a la operatividad del vehículo, a la ocurrencia de fallas y a su detectabilidad de fallas en las operaciones.

Por otro lado, tenemos al equipo de frenos y de motor que presentan un nivel intermedio de prioridad de riesgo, pero con una suma total importante.

Asimismo, la figura 88 nos muestra la cantidad de sub-equipos vs prioridad de riesgos de cada equipo del vehículo.

Figura 88

Cantidad de Modos de Fallo vs el Tipo de Riesgo NPR de cada Equipo



Nota. Elaboración propia.

La figura 88 nos muestra que el equipo de transmisión es el que representa una mayor distribución de los tipos de riesgos NPR, con un total de 4 modos de fallo en un nivel de riesgo bajo, 19 modos de fallo en un nivel de riesgo medio y 2 modos de fallo con un nivel de riesgo alto.

También, se tiene el equipo de motor con una distribución de 9 modos de fallo con un tipo de riesgo bajo, 10 modos de fallo con un riesgo del tipo medio y 1 modo de fallo con el tipo de riesgo alto.

Por último, se observa que el equipo de frenos representa el tercer equipo con una mayor incidencia en la distribución de los tipos de riesgo NPR, el cual tiene 8 modos de fallo con un riesgo bajo, 6 modos de fallo con un riesgo medio y 2 modos de fallo con un riesgo alto.

Es importante mencionar que, este análisis confirma la correcta decisión de haber desarrollado el análisis del RCM en todos los equipos del vehículo y no sólo en el equipo con mayor frecuencia de paradas o con la mayor prioridad de riesgo. Asimismo, el análisis de prioridad de riesgo se debe realizar nuevamente después de ejecutar el plan de mantenimiento, para así poder conocer cuáles son las nuevas prioridades a medida que la planificación se va ejecutando.

A continuación, en la figura 89 se muestra el plan de mantenimiento para el equipo de motor; en la figura 90 se muestra el plan de mantenimiento para el equipo de Transmisión; en la figura 91 se muestra el plan de mantenimiento para el equipo de freno y en la figura 92 se muestra el plan de mantenimiento para el equipo eléctrico.

Figura 89

Plan de mantenimiento para el equipo de motor

✓	Sustitución cíclica	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO VEHICULAR																				
✓	Inspección periódica		PLACA																			
✓	Limpieza y Mantenimiento		MARCA			TOYOTA																
✓	Cambio o reparación del componente cuando falle																					
DESCRIPCIÓN		Acción de mantto. a ejecutar	Diario	Semanal	Mensual	Cambio o reparación en función de la inspección	1,000	5,000	9,000	13,000	17,000	20,000	21,000	25,000	29,000	33,000	37,000	40,000	41,000	45,000	170,000	
A	MOTOR																					
BOMBA DE AGUA		Inspección de las juntas.			✓	✓																
RADIADOR		Lavado del radiador.		✓		✓																
VENTILADOR		Inspección del alabes			✓	✓																
TERMOSTATO						✓																
LÍQUIDO DE REFRIGERANTE		Inspección del nivel.	✓									✓						✓				
FILTRO DE AIRE		Reemplazo del filtro.					✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓			
COMPRESOR		Inspección del flujo de aire.				✓						✓						✓				
FILTRO DE AIRE ACONDICIONADO		Reemplazo del filtro.					✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓			
TURBO		Inspección de rodamientos.				✓												✓				
FILTRO DE ACEITE		Reemplazo del filtro.					✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓			
BOMBA DE ACEITE		Inspección de las juntas.				✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓					
FILTRO DE COMBUSTIBLE		Reemplazo del filtro.					✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓			
ACEITE DE MOTOR		Inspección del nivel.	✓				✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓			
INYECTOR		Verificación de parámetros de funcionamiento.				✓						✓						✓				
FAJA DE ACCESORIOS		Cambio de la faja.																✓				
FAJA DE DISTRIBUCIÓN		Cambio de la faja.																				✓

Nota. Elaboración propia.

Figura 90

Plan de mantenimiento para el equipo de transmisión

		PROGRAMA DE MANTENIMIENTO VEHICULAR																		
✓	Sustitución cíclica			PLACA							MODELO		HILUX		CONTRATO MINERO					
✓	Inpección periódica			MARCA			TOYOTA				COLOR		BLANCO							
✓	Limpieza y Mantenimiento			Diario	Semanal	Mensual	Cambio o reparación en función de la inspección	1,000	5,000	10,000	15,000	20,000	25,000	30,000	35,000	40,000	45,000	50,000	55,000	60,000
✓	Cambio o reparación del componente cuando falle																			
DESCRIPCION		Acción de mantto. a ejecutar																		
B	TRANSMISIÓN																			
	PLATO DE EMBRAGUE					✓						✓			✓					✓
	DISCO DE EMBRAGUE					✓						✓			✓					✓
	COLLARIN DE EMBRAGUE					✓						✓			✓					✓
	CRUCETA DE CARDÁN DELANTERO	Búsqueda de holgura entre la cruceta y el cardán.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	CRUCETA DE CARDÁN POSTERIOR	Búsqueda de holgura entre la cruceta y el cardán.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	BRIDA DE CORONA DELANTERA	Inspección de la brida y del retén. Búsqueda de humedecimiento de aceite				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	BRIDA DE CORONA POSTERIOR	Inspección de la brida y del retén. Búsqueda de humedecimiento de aceite				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	BARRA DE PALIER	Inspección del estado de la barra y si prueba de holgura.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	JUNTAS HOMOCINÉTICAS	Inspección de desgaste de las juntas. Inspección de presencia de agua.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	GUARDA POLVOS DE PALIER	Búsqueda de agrietamiento.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	DIFERENCIAL DELANTERO	Inspección del retén y tapón de drenaje.				✓					✓				✓					✓
	DIFERENCIAL POSTERIOR	Inspección del retén y tapón de drenaje.				✓					✓				✓					✓
	ACTUADOR DIFERENCIAL DELANTERO	Ningún mantenimiento proactivo				✓														
	ACTUADOR DE TRANSFERENCIA	Ningún mantenimiento proactivo				✓														
	LUBRICANTE DE CAJA DE CAMBIO	Inspección del nivel aceite y/o cambio						✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓	✓
	LUBRICANTE DE DIFERENCIAL	Inspección del nivel aceite y/o cambio						✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓	✓
	RODAJES DELANTEROS	Inspección de rodamientos.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Inspección de rodamientos.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Nota. Elaboración propia.

Figura 91

Plan de mantenimiento para el equipo de freno

<div style="background-color: red; color: white; padding: 2px;">✓</div> Sustitución cíclica		PROGRAMA DE MANTENIMIENTO VEHICULAR																		
MARCA			TOYOTA			COLOR		BLANCO												
DESCRIPCION		Acción de mantto. a ejecutar	Diario	Semanal	Mensual	Cambio o reparación en función de la inspección	1,000	5,000	10,000	15,000	20,000	25,000	30,000	35,000	40,000	45,000	50,000	55,000	60,000	
C	FRENO																			
	DISCO DE FRENO	Limpieza y mantenimiento del disco.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	PASTILLAS DE FRENO	Inspección del desgaste de las pastillas de freno.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	KIT DE CALIPER	Inspección y búsqueda de grietas en el guardapolvos del caliper. Inspección de los sellos.				✓			✓		✓		✓		✓		✓		✓	
	PISTONES DE CALIPER	Inspección y búsqueda de pérdida de líquido de freno en los pistones.				✓			✓		✓		✓		✓		✓		✓	
	BOMBA DE FRENO	Inspección y búsqueda de humedecimiento de las juntas por el líquido de freno.				✓			✓		✓		✓		✓		✓		✓	
	CAÑERÍA DE FRENO	Inspección visual del estado de las cañerías y búsqueda de agrietamiento.				✓			✓		✓		✓		✓		✓		✓	
	LÍQUIDO DE FRENO	Inspección del nivel de refrigerante a diario.	✓						✓				✓		✓				✓	
	BOMBIN DE FRENO	Inspección visual en busca de fuga de líquido de freno.				✓			✓		✓		✓		✓		✓		✓	
	TAMBOR DE FRENO	Limpieza y mantenimiento del tambor de freno.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	ZAPATA DE FRENO	Inspección del nivel de desgaste de las zapatas de freno.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	CABLE FRENO DE MANO	Inspección del cable de freno, en búsqueda de corrosión.				✓			✓		✓		✓		✓		✓		✓	
	ACTUADOR	Inspección del actuador en búsqueda de humedad interna en el componente.				✓							✓						✓	
	CABLE SENSOR ABS DELANTERO / POST.	Inspección de la resistencia (Ω) del sensor.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Nota. Elaboración propia.

Figura 92

Plan de mantenimiento para el equipo eléctrico

✓		Sustitución cíclica		PROGRAMA DE MANTENIMIENTO VEHICULAR																
✓		Inspección periódica																		
✓		Limpieza y Mantenimiento		PLACA			MODELO										HILUX		CONTRATO MINERO	
✓		Cambio o reparación del componente cuando falle		MARCA			TOYOTA										COLOR		BLANCO	
DESCRIPCION		Acción de mantto. a ejecutar		Diario	Semanal	Mensual	Cambio o reparación en función de la inspección	1,000	5,000	10,000	15,000	20,000	25,000	30,000	35,000	40,000	45,000	50,000	55,000	60,000
D	ELÉCTRICO																			
	ALTERNADOR	Inspección de la generación de carga del alternador.				✓						✓				✓				✓
	BATERÍA	Cambio de batería.				✓								✓						✓
	REGULADOR DE VOLTAJE	Inspección del regulador de voltaje.				✓						✓				✓				✓
	ARRANCADOR	Inspección de los cables que van conectados a la batería.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 93 se muestra el plan de mantenimiento para el equipo de dirección.

Figura 93.

Plan de mantenimiento para el equipo de dirección.

✓		Sustitución cíclica		PROGRAMA DE MANTENIMIENTO VEHICULAR																
✓		Inspección periódica																		
✓		Limpieza y Mantenimiento		PLACA							MODELO			HILUX		CONTRATO MINERO				
✓		Cambio o reparación del componente cuando falle		MARCA			TOYOTA				COLOR			BLANCO						
DESCRIPCION		Acción de mantto. a ejecutar		Diario	Semanal	Mensual	Cambio o reparación en función de la inspección	1,000	5,000	10,000	15,000	20,000	25,000	30,000	35,000	40,000	45,000	50,000	55,000	60,000
E	DIRECCIÓN																			
	CREMALLERA DE DIRECCIÓN	Inspección del guardapolvo y de fuga de líquido de dirección.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	TERMINAL DE DIRECCIÓN	Inspección del guardapolvo y ajuste del terminal de dirección.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	BARRA DE DIRECCIÓN	Inspección del desgaste en los sujetadores de la barra.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	BIELA DE DIRECCIÓN	Inspección del desgaste generado por el movimiento del volante.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SERVO DE DIRECCIÓN	Inspección del desgaste interno del servo de dirección.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	LÍQUIDO DE DIRECCIÓN	Inspección del nivel del líquido de dirección.	✓									✓				✓				✓

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la figura 94 se muestra el plan de mantenimiento para el equipo de suspensión.

Figura 94

Plan de mantenimiento para el equipo de suspensión

✓		Sustitución cíclica		PROGRAMA DE MANTENIMIENTO VEHICULAR																
✓		Inspección periódica		PLACA				MODELO				HILUX		CONTRATO MINERO						
✓		Limpieza y Mantenimiento		MARCA		TOYOTA		COLOR			BLANCO									
✓		Cambio o reparación del componente cuando falle																		
DESCRIPCION		Acción de mantto. a ejecutar		Diario	Semanal	Mensual	Cambio o reparación en función de la inspección	1,000	5,000	10,000	15,000	20,000	25,000	30,000	35,000	40,000	45,000	50,000	55,000	60,000
F	SUSPENSIÓN																			
	AMORTIGUDOR DELANTERO	Búsqueda de signos de pérdida de aceite en el amortiguador delantero.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	BARRA ESTABILIZADORA	Inspección de desgaste de los sujetadores de la barra.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ROTULA DE SUSPENSIÓN	Inspección del desgaste interno de las rótulas.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	BOCINA DE TRAPECIO	Búsqueda de deformación y agrietamiento en las bocinas.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	RESORTE DE AMORTIGUADOR	Inspección de vencimiento y agrietamiento por óxido.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	NEUMÁTICOS DELANTEROS	Inspección visual del grado de desgaste del neumático.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	AMORTIGUDOR POSTERIOR	Búsqueda de signos de pérdida de aceite en el amortiguador posterior.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	HOJAS DE MUELLE	Búsqueda de fisuras en las hojas de muelle.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	NEUMÁTICOS POSTERIORES	Inspección visual del grado de desgaste del neumático.				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Nota. Elaboración propia.

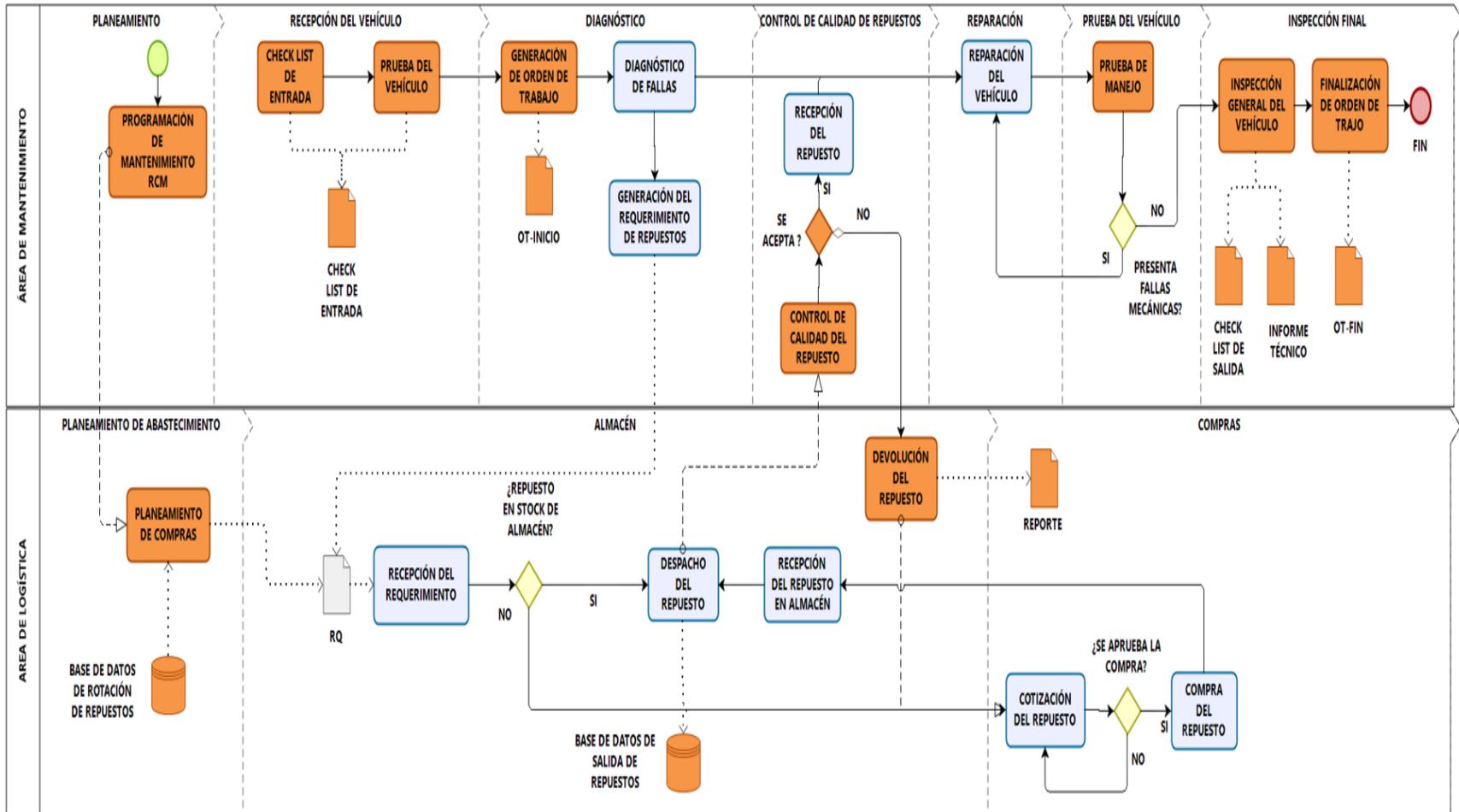
Desarrollo de los Objetivos Específicos N° 1 y N° 2: Determinar que procedimientos de mantenimiento se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos y determinar que procedimientos logísticos se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

A continuación, en relación con el desarrollo de los dos primeros objetivos de la investigación, se presenta la propuesta de los nuevos procedimientos del área de mantenimiento y también los procedimientos logísticos de abastecimiento.

Por ello, en la figura 95 se presenta el flujograma con los procedimientos adecuados para el área de mantenimiento y logística. Asimismo, los procesos implementados se encuentran de color naranja en el flujograma que se presenta a continuación.

Figura 95

Flujograma del área de mantenimiento y de logística – Propuesta



Nota. Elaboración propia.

En la figura 95 se muestra la interacción entre las dos áreas más importantes en la organización:

En primer lugar, producto de la metodología del RCM, tenemos el proceso de la programación de mantenimiento RCM para los 30 vehículos Toyota Hilux, en donde se planifica, controla y se hace seguimiento de las tareas de mantenimiento que requieren dichas unidades vehiculares. Estas tareas de mantenimiento están estrechamente relacionadas al planeamiento de compras, proceso vinculado al área de logística, ya que de esta área depende la cantidad y calidad del abastecimiento de repuestos para atender las reparaciones mecánicas de los vehículos. Asimismo, la actividad de planeamiento de compras tiene como soporte la implementación de una base de datos de rotación de repuestos, que junto al programa de mantenimiento implementado ayudará a planificar y a reabastecer oportunamente los repuestos, insumos, etc. Por último, la ejecución de este proceso se inicia con el envío de un requerimiento al área de almacén, en donde se iniciará el proceso de compra, que comprende la cotización y posteriormente la adquisición de los bienes requeridos.

En segundo lugar, el proceso de mantenimiento de un vehículo se inicia cuando el conductor entrega el vehículo en el taller y este es recepcionado por un técnico mecánico, el cual procede con rellenar el Check List de entrada, el cual es un documento que verifica las condiciones de entrega del vehículo por el cliente.

A continuación, en las figuras 96 y 97 se muestra el formato del Check List Vehicular implementado.

Figura 96

Check List Vehicular - Parte 1

Cliente		Centro de Costo		Kilometraje Salida		Kilometraje Ingreso		Total Recorrido	
Fecha de Salida		Fecha de Ingreso		Camioneta		Camioneta Rural		Camión	
N° Placa		Año		Marca		Color		Modelo	

1. Documentos		Bueno		Malo		No Tiene		OBSERVACIONES	COMBUSTIBLE SALIDA	COMBUSTIBLE INGRESO	N° UNIDAD
		S	E	S	E	S	E				
Tarjeta de Propiedad											
SOAT											
Revisión Técnica											
Manual de Usuario (Propiedad)											

2. Accesorios		Bueno		Malo		No Tiene	
Ubicación		S	E	S	E	S	E
LUCES	Bajas						
	Altas						
	Nebliñeros						
	Faros Nebliñeros						
	Faros Piratas						
	Circulina						
	Cabina						
	Freno						
	Estacionamiento						
	Retroceso						
NEUMATICOS	Delanteros						
	Posterior						
BOCINAS	Claxon						
	Alar. de Retroceso						
ESPEJOS	Retrovisor						
	Laterales						
CINTURONES	Delanteros (2)						
	Posteriores (3)						
LUNAS	Delantera						
	Posterior						
JAUJA ANTIVUELCO	Interior						
	Exterior						
	Parachoque Del.						
	Parachoque Post.						
FRENO	Estribos Laterales						
	Normal						
	Parking						
	Motor						

* QUIÑADO ○ ABOLLADO 〰️ RAYADO

IZQUIERDO DERECHO TRASERA DELANTERA

4. Equipamiento Complementario		Bueno		Malo		No Tiene		OBSERVACIONES
		S	E	S	E	S	E	
ACCESORIOS ADICIONALES	Equipo Sonido							
	Mascara de Equipo de Sonido							
	Antena de Equipo de Sonido							
	Vasos de Rueda							
	Escarpines							
	Seguro de Tuerca Floja							
	Emblemas Logos							
	Medidor de Aire							
	Funda de Circulina							

Nota. Elaborado en el area de mantenimiento de Renting Car S.A.C

Figura 97

Check List Vehicular - Parte 2

3. Otros	S	E	S	E	S	E	6. Equipos de Seguridad y Emergencia	S	E	S	E	S	E
Limpia Parabrisas							Cable de Remolque						
Doble Tracción							Cable de Batería						
Tapa de Combustible							Extintor (.....kg.)						
Tablero de control Electrico							Botiquín (.....)						
5. Herramientas	S	E	S	E	S	E	Cono de Seguridad (.....)						
Llave de Rueda							Linterna						
Palanca de Rueda							Tacos o Cuñas (.....)						
Seguro de Rueda							Picota						
Gata							Lampa						
Alicate							Triangulo de Seguridad						
Desarmador Plano / Estrella							Porta Extintor						
Llave Boca o Mixto 08 - 10							Porta Tacos						
Llave Boca o Mixto 12 - 14							Porta Llanta de Repuesto						
OBSERVACIONES													
Prueba de Manejo													
Responsable													
Comentario													
Recepción de Salida							Recepción de Ingreso						
Nombre y Apellido							Nombre y Apellido						
	Firma							Firma					
Entregado Por							Entregado Por:						
Recepcionado Por							Recepcionado Por:						

Nota. Elaborado en el area de mantenimiento de Renting Car S.A.C

En las figuras 96 y 97, se puede observar el contenido del Check List Vehicular, el cual provee de información del estado físico del vehículo, estado de luces, estado de herramientas, estado del equipo de seguridad, estado de neumáticos, estado de lunas, estado de frenos, entre otros. Asimismo, este documento requiere de información complementaria, tal como las observaciones del conductor y las observaciones de prueba de manejo del vehículo que será realizada por el jefe del Taller.

Luego, una vez realizada la recepción del vehículo y la prueba de manejo, la unidad vehicular se dirige a un centro de lavado, en donde se realiza la limpieza del chasis. Una vez que el chasis está limpio, la unidad vehicular se dirige al taller e inicia el proceso de diagnóstico el cual empieza con la generación de la Orden de Trabajo (OT), que comprende el registro de la actividad de mantenimiento a realizar, el cliente, la hora de ingreso y salida, fecha inicial y final

del día en que se termina de realizar el trabajo de mantenimiento a la unidad vehicular.

Asimismo, este documento ayudará a generar nuevos tipos de control como el número de trabajos terminados, duración de las reparaciones, tipos de trabajos realizados, número de trabajos pendientes, que pueden ser subdivididos en trabajos pendientes por falta de repuestos, pendientes de parada de un equipo, entre otros.

A continuación, en la figura 98 se presenta el formato de Orden de Trabajo (OT) implementado.

Figura 98*Hoja de Orden de Trabajo (OT)*

RENTING CAR S.A.C.		Página : 1	
		Fecha : 09/08/2021	
		Hora : 12:16:27	
Orden de Trabajo			
Nro. : MCI-010			
Actividad a Realizar	: MANTENIMIENTO PREVENTIVO - AUW-844		
Unidad Vehicular	: TOYOTA HILUX		
Cliente	: ROCK DRILL		
Cantidad	: 1.00		
Fecha Inicial	: 09/08/2021	Fecha Final:	11/08/2021
Observación	: LUGAR: TALLER LIMA EQUIPO: AUW-844 PROYECTO: SAN CRISTOBAL KM INGRESO: 60210 KM KM SALIDA: 60213 KM		
Tareas programadas	: Cambio de la cremallera de dirección. Inspección de rótulas de dirección. Inspección del servo de dirección. Mantenimiento de frenos.		
_____ Jefe de Taller		_____ Mecánico Responsable	
_____ Sub Gerente de Mantenimiento			

Nota. Elaborado en el area de mantenimiento de Renting Car S.A.C

Una vez generada la Orden de Trabajo (OT), se realiza el diagnóstico de las fallas del vehículo, luego se procede a generar un requerimiento de repuestos, el cual es enviado al área de almacén e inicia el proceso de despacho del repuesto si es que se encuentra en stock; sino es así, el área de logística inicia el proceso de cotización, compra y despacho del repuesto al área de

mantenimiento. Una vez el repuesto es despachado al área de mantenimiento, es sometido a un control de calidad, el cual evalúa la procedencia del repuesto si son repuestos nuevos y evalúa el estado de funcionamiento o desgaste si son repuestos usados. Asimismo, si el repuesto es rechazado por el área de mantenimiento, este es devuelto al almacén, generándose un reporte y reinicio del proceso de compra.

Por otro lado, si el repuesto es aceptado, se inicia el proceso de reparación de la unidad vehicular. Luego, una vez terminada las reparaciones, el vehículo es evaluado en una prueba de manejo, y si presenta algún tipo de falla, reingresa al taller de mantenimiento y así hasta levantar la observación de falla. Por último, el vehículo ya reparado, pasa por una inspección final en donde se genera el Check List de salida, el informe técnico y se registra la finalización de la Orden de Trabajo (OT).

Una vez terminada la descripción de los nuevos procesos implementados, es importante mencionar que la implementación de la metodología del RCM nos permite elaborar un plan de mantenimiento para planificar las reparaciones y los tiempos de intervención con el objetivo de mejorar la disponibilidad mecánica de los vehículos, pero también es importante de forma complementaria al plan de mantenimiento, tener los procedimientos adecuados de reparación y de logística, con objetivos orientados al control y planificación de las reparaciones mecánicas y del abastecimiento de los repuestos, para que así junto al plan de mantenimiento puedan contribuir a mejorar la disponibilidad mecánica de las unidades vehiculares.

El proceso de programación del mantenimiento RCM, es el proceso clave implementando ya que es el que tiene la tarea de proyectar las tareas próximas de mantenimiento, buscando siempre mejorar la disponibilidad de los vehículos mediante una intervención mecánica oportuna sin afectar las operaciones del cliente. Asimismo, este proceso va de la mano con el proceso

Logístico de Planeamiento de Compras, el cuál con el soporte del indicador implementado de Índice de Rotación de Inventarios, puede proyectar la adquisición de repuestos en el tiempo oportuno para las reparaciones, sin afectar los tiempos de reparación programados y en consecuencia mejorando la disponibilidad de las unidades vehiculares.

Por otro lado, tenemos los procesos implementados de control, como el Check List de entrada y salida, que sirven para recolectar ordenadamente información del estado vehicular y verificar el cumplimiento de las actividades a realizar en el vehículo que ingresa al taller por reparaciones, logrando que el técnico mecánico trabaje con orden y con una lista de acciones a realizar. Teniendo este tipo de controles, se mejora el proceso de reparación y en consecuencia mejoramos la disponibilidad mecánica de los vehículos.

También, se tienen implementados los procesos de prueba vehicular el cual, al momento de realizarlo antes de las reparaciones, contribuye con un mejor diagnóstico de fallas y en consecuencia se tiene una mejor reparación del vehículo. Asimismo, se tiene también la prueba vehicular al terminar las reparaciones, la cual verifica que las fallas detectadas en el diagnóstico hayan sido reparadas satisfactoriamente, con el objetivo de mejorar la disponibilidad de los vehículos reparados.

Asimismo, el proceso de generación de Ordenes de Trabajo (OT), ayudan a mejorar la disponibilidad de las unidades mediante la generación de un documento en donde se detalla por escrito las instrucciones a realizar en una determinada tarea de mantenimiento a una unidad vehicular. Con este documento se formaliza las actividades de mantenimiento que el técnico mecánico va a realizar en la unidad vehicular.

Por último, el control de calidad de repuestos que se realiza en el área de mantenimiento es muy importante porque se compran repuestos alternos, que no siempre tienen un rendimiento

de funcionamiento adecuado en las condiciones ambientales de mina, por ello es importante la implementación de este proceso el cual ayuda a rechazar repuestos de mala calidad que provocarían averías, afectando a la disponibilidad de las unidades vehiculares.

A continuación, en la tabla 10 se presentan los resultados del indicador de disponibilidad de unidades vehiculares relacionado al objetivo N°1

Tabla 10

Resultados comparativos del indicador de disponibilidad de unidades vehiculares en los años 2019 y 2021.

Mes	2019	2021	% de mejora
Enero	86%	89%	3%
Febrero	84%	91%	6%
Marzo	87%	92%	5%
Abril	86%	92%	7%
Mayo	87%	94%	7%
Junio	89%	92%	3%
Julio	85%	94%	9%
Agosto	87%	93%	7%
Setiembre	88%		
Octubre	89%		
Noviembre	84%		
Diciembre	86%		
Promedio Anual	86%	92%	6%

Nota. Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 10, los resultados son positivos desde que se implementaron las propuestas de mejora, como es el caso de los nuevos procesos de

mantenimiento y procesos logísticos descritos anteriormente. Asimismo, la tabla nos muestra que el indicador en el año 2021 ha mejorado un 6% en promedio con respecto al año más crítico que fue el año 2019. Por último, es importante considerar que en el promedio del año 2021 solo está incluyendo los primeros 8 meses, ya que es el tiempo desde que se implementaron las mejoras propuestas.

A continuación, en la tabla 11 se presenta los resultados del indicador de costos de indisponibilidad vehicular relacionado al objetivo N°2.

Tabla 11

Resultados comparativos del indicador Costos de Indisponibilidad vehicular en los años 2019 y 2021.

Mes	2019	2021	% de mejora
Enero	\$ 12,923	\$ 9,776	24%
Febrero	\$ 13,709	\$ 8,162	40%
Marzo	\$ 11,959	\$ 7,754	35%
Abril	\$ 13,038	\$ 7,014	46%
Mayo	\$ 12,260	\$ 5,970	51%
Junio	\$ 9,899	\$ 7,076	29%
Julio	\$ 13,900	\$ 5,479	61%
Agosto	\$ 12,475	\$ 6,240	50%
Setiembre	\$ 10,411		
Octubre	\$ 10,452		
Noviembre	\$ 14,318		
Diciembre	\$ 13,426		
Promedio Anual	\$ 12,398	\$ 7,184	42%

Nota. Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 11, los costos anuales han disminuido notablemente un 42% en los primeros 8 meses del año 2021 con respecto al año 2019.

Asimismo, las mejoras en los procesos del área de mantenimiento y logística están enfocados y relacionados estrechamente con el correcto funcionamiento del plan de mantenimiento que se ha implementado, ya que de por sí solo un plan de mantenimiento no puede generar el impacto que estamos teniendo en los resultados, sino que necesita una serie de pasos ordenados y enfocados en la intervención mecánica y de abastecimiento de repuestos en los procesos de reparación automotriz.

Por último, la relación de los indicadores de Disponibilidad de Unidades Vehiculares y sus Costos de Indisponibilidad, están relacionados con los objetivos desarrollados anteriormente ya que estos buscan complementar y mejorar la ejecución de las tareas de mantenimiento propuestas a través de la metodología del RCM, mejorando los tiempos de atención mecánica en el taller automotriz y la atención mecánica en campo, logrando así una contribución integral a la disponibilidad de las unidades vehiculares.

Desarrollo del Objetivo N°3: Determinar qué indicadores de gestión se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos

A continuación, en relación con el desarrollo del tercer objetivo de la investigación, se propondrá que indicadores de gestión se deben implementar para mejorar la disponibilidad de las unidades vehiculares.

En primer lugar, la implementación de la metodología del RCM, nos trae como resultado la implementación de un plan de mantenimiento, pero para monitorear y mejorar los resultados de la propuesta, se deben definir parámetros de medición que nos ayuden a analizar sus resultados en un tiempo determinado. Es por ello, los indicadores que se proponen para medir los

resultados de esta investigación y que han sido presentados en el capítulo de Análisis e Interpretación de la Información se mencionan a continuación: La Disponibilidad de Unidades Vehiculares, el Costo de Indisponibilidad Vehicular, el Número de Paradas Promedio Mensual por Equipo y la Frecuencia de Criterios del Número de Prioridad de Riesgo por Equipo analizado al momento de implementar la metodología del RCM.

Asimismo, según el Departamento Nacional de Planeación de Colombia (DNPC, 2018), en su informe llamado Guía para la Construcción y Análisis de Indicadores, nos menciona que un indicador debe estar compuesto por parámetros que deben estar agrupados en un documento llamado ficha técnica o también llamado hoja de vida del indicador.

A continuación, en la figura 99 se presentará la ficha técnica de la Disponibilidad de Unidades Vehiculares, en donde se definirán sus características básicas.

Figura 99

Ficha técnica del indicador: Disponibilidad de Unidades Vehiculares

FICHA DEL INDICADOR	
Nombre del indicador	Disponibilidad de Unidades Vehiculares.
Descripción general	Es un indicador que tiene una escala cuantitativa continua que mide la disponibilidad de las unidades vehiculares en función al tiempo de su trabajo óptimo en su contexto operacional. Asimismo, es importante conocer el tiempo de funcionamiento óptimo de las unidades en un tiempo determinado, para así poder controlar y buscar soluciones que incrementen la disponibilidad de las unidades vehiculares.
Fuente de información	Reportes de tareo vehicular.
Periodicidad	Mensual
Objetivo	El indicador mide el tiempo de funcionamiento óptimo de la flota vehicular en un tiempo determinado.
Fórmula del cálculo	Disponibilidad de unidades vehiculares = $\frac{T - T_{iv}}{T} \times 100\%$ Donde: T: Tiempo disponible del vehículo. T_{iv} : Tiempo de indisponibilidad vehicular.
Unidad de medida	Porcentaje (%)
Meta	90%-95% / mes

Nota. Elaboración Propia.

La figura 99, nos muestra el indicador de gestión llamado Disponibilidad de Unidades Vehiculares, el cual es muy importante para la investigación, porque nos ha permitido medir la disponibilidad de las unidades vehiculares, antes y después de la implementación de la Metodología del RCM. Asimismo, la importancia de este indicador en la mejora de la disponibilidad vehicular radica en que se convierte en una herramienta indispensable para medir los cambios y progresos que está haciendo la metodología implementada.

A continuación, en la figura 100 se presentará la ficha técnica del indicador Costo de Indisponibilidad Vehicular, en donde se definirán sus características básicas.

Figura 100*Ficha técnica del indicador: Costos de Indisponibilidad Vehicular*

FICHA DEL INDICADOR	
Nombre del indicador	Costos de Indisponibilidad Vehicular.
Descripción general	Es un indicador que tiene una escala cuantitativa continua que mide el costo de la indisponibilidad de las unidades vehiculares en dólares. Asimismo, es importante cuantificar las pérdidas económicas por la indisponibilidad de unidades vehiculares, porque nos permite tomar decisiones que ayuden a mitigar estos costos.
Fuente de información	Reportes de tareo vehicular.
Periodicidad	Mensual
Objetivo	El indicador busca cuantificar la Indisponibilidad de las Unidades Vehiculares en dólares.
Fórmula del cálculo	Costo de Indisponibilidad Vehicular = $((H_p - H_t) \times C/h)$ Donde: H_p : Horas programadas de trabajo H_t : Horas trabajadas C/h : Costo de alquiler del vehículo por hora
Unidad de medida	Dólares (\$)
Meta	\$ 4500 - \$ 8500 / mes

Nota. Elaboración Propia.

La figura 100, nos muestra el indicador de gestión llamado Costos de Indisponibilidad Vehicular el cual es importante para la mejora de la disponibilidad vehicular porque permite cuantificar cuánto dinero se pierde por tener unidades vehiculares no disponibles en las operaciones del cliente. Asimismo, el conocer este indicador, nos permite monitorear desde el punto de vista económico los cambios y progresos de la metodología implementada.

A continuación, en la figura 101 se presentará la ficha técnica del indicador Número de Paradas Promedio Mensual por Equipo, en donde se definirán sus características básicas.

Figura 101

Ficha técnica del indicador: Número de Paradas Promedio Mensual por Equipo

FICHA DEL INDICADOR	
Nombre del indicador	Número de Paradas Promedio Mensual por Equipo
Descripción general	Es un indicador cuantitativo que mide el número de fallas por sistema de las unidades vehiculares en un tiempo determinado. Asimismo, este indicador es importante porque permite conocer que equipos tienen una menor ó mayor cantidad de fallas en el contexto operacional y así poder tomar decisiones para mitigarlas.
Fuente de información	Reportes de fallas.
Periodicidad	Mensual
Objetivo	El indicador mide el número de paradas promedio mensuales por equipo, con el objetivo de poder determinar que equipos son los que presentan una mayor y menor incidencia de paradas mensualmente.
Fórmula del cálculo	$\text{N}^\circ \text{ de Paradas Promedio Mensual por Equipo} = \frac{C_p}{12}$ Donde: C_p : Suma de la cantidad de paradas mensuales por equipo
Unidad de medida	Paradas Promedio Mensuales por equipo
Meta	Menor a 10 Paradas Promedio por equipo al mes

Nota. Elaboración Propia.

La figura 101, nos muestra el indicador de gestión llamado Número de Paradas Promedio Mensual por Equipo, el cual es importante para la mejora de la disponibilidad vehicular porque nos permite conocer cuál es el comportamiento de las fallas de los equipos pertenecientes al sistema vehicular y de acuerdo con este índice, poder tomar decisiones en el programa de actividades de mantenimiento que impactarán directamente en la disponibilidad de los vehículos.

A continuación, en la figura 102 se presentará la ficha técnica del indicador Frecuencia de Criterios del Número de Prioridad de Riesgo por Equipo, en donde se definirán sus características básicas.

Figura 102

Ficha técnica del indicador: Frecuencia de Criterios del Número de Prioridad de Riesgo por Equipo

FICHA DEL INDICADOR											
Nombre del indicador	Frecuencia del Tipo de Riesgo del NPR por Equipo										
Descripción general	Es un indicador cuantitativo con una escala discreta que mide la frecuencia del tipo de riesgo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) por equipo. Asimismo, este indicador nos permitirá definir que equipos son los que deben tener una prioridad de atención de mantenimiento de acuerdo al riesgo que presenten según los criterios de la herramienta.										
Fuente de información	Hoja de información del RCM										
Periodicidad	Semestral										
Objetivo	El indicador busca identificar que equipos son los que presenta una mayor frecuencia de criterios del Número de Prioridad de Riesgo (NPR)										
Fórmula del cálculo	<p>Número de Prioridad de Riesgo = $GxOxD$</p> <p>Donde:</p> <p>G: Gravedad (1-10)</p> <p>O: Ocurrencia (1-10)</p> <p>D: Detectabilidad (1-10)</p> <p>Criterios:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESCALA</th> <th>RIESGO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$NPR \leq 250$</td> <td>BAJO</td> </tr> <tr> <td>$250 < NPR < 500$</td> <td>MEDIO</td> </tr> <tr> <td>$500 \leq NPR < 750$</td> <td>ALTO</td> </tr> <tr> <td>$750 \leq NPR < 1000$</td> <td>MUY ALTO</td> </tr> </tbody> </table>	ESCALA	RIESGO	$NPR \leq 250$	BAJO	$250 < NPR < 500$	MEDIO	$500 \leq NPR < 750$	ALTO	$750 \leq NPR < 1000$	MUY ALTO
ESCALA	RIESGO										
$NPR \leq 250$	BAJO										
$250 < NPR < 500$	MEDIO										
$500 \leq NPR < 750$	ALTO										
$750 \leq NPR < 1000$	MUY ALTO										
Unidad de medida	%										
Meta	Frecuencia del Tipo de Riesgo Bajo mayor o igual al 60 % por equipo										

Nota. Elaboración Propia.

En la figura 102, nos muestra el indicador de gestión llamado Frecuencia de Criterios del Número de Prioridad de Riesgo por Equipo, el cual es importante para mejorar la disponibilidad vehicular, debido a que, está orientado en medir la cantidad del tipo de riesgos que posee un equipo del sistema vehicular, permitiendo así asignar más recursos a los equipos que presentan riesgos más elevados. Es así que, el indicador ayudará a priorizar las reparaciones de los equipos con mayor riesgo, haciendo que la disponibilidad de unidades vehiculares mejore.

Asimismo, cuando exista un mejor control de datos se procederá a implementar el índice

de confiabilidad, el cual se muestra a continuación en la figura 103.

Figura 103

Ficha técnica del indicador: Índice de Confiabilidad

FICHA DEL INDICADOR	
Nombre del indicador	Índice de Confiabilidad
Descripción general	Es un indicador cuantitativo que mide la probabilidad de que un vehículo lleve a cabo su funcionamiento óptimo en su contexto operacional en un determinado periodo de tiempo.
Fuente de información	Este indicador está desarrollado en base a la información brindada por los siguientes indicadores: MTBF (Mean Time Between Failures): Tiempo Medio Entre Fallas y MTTR (Mean Time To Repair): Tiempo Medio para Reparación.
Periodicidad	Mensual.
Objetivo	El indicador busca estimar la confiabilidad de los vehículos para establecer un control del sistema de mantenimiento y de servicios en cuanto a la operación eficiente de los vehículos, al mismo tiempo se espera lograr el uso efectivo y asignación de vehículos al momento de rentar los vehículos.
Fórmula del cálculo	$\text{Índice de Confiabilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$ <p>Donde: MTBF: Tiempo Medio entre Fallas. MTTR: Tiempo Medio para Reparaciones.</p>
Unidad de medida	Porcentaje (%)
Meta	90%

Nota. Elaboración Propia.

También, tal como se menciona en la ficha técnica anterior se debe desarrollar los dos siguientes indicadores, para poder hallar el Índice de Confiabilidad de las unidades vehiculares. Por ello, a continuación, en la figura 104 se muestra la ficha técnica del indicador Tiempo Medio entre Fallas (MTBF).

Figura 104

Ficha técnica del indicador: Tiempo Medio entre Fallas

FICHA DEL INDICADOR	
Nombre del indicador	Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)
Descripción general	Es un indicador que nos permite conocer la frecuencia con la que suceden las averías de las unidades vehiculares.
Fuente de información	Reportes de fallas.
Periodicidad	Mensual.
Objetivo	El indicador busca medir el intervalo de tiempo más probable entre el inicio de la operación del vehículo hasta la aparición de un fallo del mismo. Es decir, es el tiempo promedio que pasa hasta que sucede una falla de la unidad vehicular.
Fórmula del cálculo	$MTBF = \left[\frac{h_t}{p} \right] \times 100$ <p>Donde:</p> <p>h_t: Horas trabajadas durante el periodo de evaluación.</p> <p>p: Número de paros durante el período de evaluación.</p>
Unidad de medida	Porcentaje (%)
Meta	90%

Nota. Elaboración Propia.

A continuación, en la figura 105 se muestra la ficha del indicador Tiempo Promedio para Reparar (MTTR), como parte del desarrollo del indicador del Índice de Confiabilidad.

Figura 105

Ficha técnica del indicador: Tiempo Promedio para Reparar

FICHA DEL INDICADOR	
Nombre del indicador	Tiempo Promedio para Reparar (MTTR)
Descripción general	Es un indicador cuantitativo que mide la efectividad de restituir la unidad vehicular a condiciones óptimas de funcionamiento desde que la unidad se reporta como fuera de servicio por un fallo.
Fuente de información	Reportes de fallas.
Periodicidad	Mensual.
Objetivo	El indicador busca medir el tiempo promedio que demora la reparación de una unidad vehicular, desde que se reporta el fallo.
Fórmula del cálculo	$MTTR = \left[\frac{h_p}{p} \right] \times 100$ <p>Donde:</p> <p>h_p: Horas de paro durante el periodo de evaluación. p: Número de paros durante el periodo de evaluación.</p>
Unidad de medida	Porcentaje (%)
Meta	90%

Nota. Elaboración Propia.

A continuación, en la tabla 12, se muestran los resultados comparativos del indicador propuesto en esta investigación.

Tabla 12

Resultados comparativos del indicador N° de Paradas Promedio Mensual de los años 2019 y 2021

Equipo	N° de Paradas	N° de Paradas	Variación %
	Promedio Mensual (2019)	Promedio Mensual (2021)	
Dirección	13	7	33%
Eléctrico	9	4	24%
Frenos	19	10	48%
Motor	18	11	39%
Suspensión	14	9	31%
Transmisión	24	14	55%
Promedio	16	9	38%

Nota. Elaboración Propia.

En la tabla 12, se muestra una comparación de los resultados del N° de Paradas Promedio Mensual de las unidades vehiculares en los años 2019 y 2021. Asimismo, se muestra que el promedio del número de paradas mensuales en el año 2019 fue de 16, mientras que, con las mejoras implementadas en el año 2021, se logró disminuir estas paradas en un 38%, con un resultado de 9 paradas en promedio mensual durante los primeros 8 meses del 2021.

A continuación, en la tabla 13 se muestran los resultados comparativos del indicador Frecuencia del Tipo de Riesgo del NPR por Equipo en el mes de enero del 2021, el cual es medido semestralmente de acuerdo con la ficha técnica del indicador propuesto.

Tabla 13

Resultado comparativo del indicador Frecuencia del Tipo de Riesgo del NPR por Equipo en enero del 2019.

NPR	Motor	Transmisión	Frenos	Eléctrico	Dirección	Suspensión	Promedio
Bajo	9	4	8	4	4	9	6
Medio	10	19	5	1	3		8
Alto	1	2	2				2
Cumplimiento del indicador (%)	45%	16%	53%	80%	57%	100%	59%

Nota. Elaboración Propia.

En la tabla 13, tenemos los resultados del Indicador Frecuencia del Tipo de Riesgo del NPR por Equipo en enero del 2019, en donde se observa que, en promedio, el 59% de todos los tipos de NPR distribuidos en los equipos del vehículo, pertenecen al tipo de NPR bajo.

A continuación, en la tabla 14 se muestran los resultados comparativos del indicador Frecuencia del Tipo de Riesgo del NPR por Equipo en el mes de agosto del 2021.

Tabla 14

Resultado comparativo del indicador Frecuencia del Tipo de Riesgo del NPR por Equipo en agosto del 2021.

NPR	Motor	Transmisión	Frenos	Eléctrico	Dirección	Suspensión	Promedio
Bajo	16	15	12	4	6	9	10
Medio	4	10	3	1	1		4
Alto							
Cumplimiento del indicador (%)	80%	60%	80%	80%	86%	100%	81%

Nota. Elaboración Propia.

En la tabla 14, tenemos los resultados del Indicador de Frecuencia del Tipo de Riesgo del NPR por Equipo en agosto del 2021, en donde se observa que, en promedio, el 81% de todos los tipos de NPR distribuidos en los equipos del vehículo, pertenecen al tipo de NPR bajo.

Asimismo, después de 8 meses, se observa que el Número de Prioridad de Riesgo del tipo bajo ha aumentado en un 22% y han disminuido los riesgos del tipo medio y alto en los demás equipos vehiculares.

Por lo tanto, los indicadores desarrollados en esta investigación que son la Disponibilidad de Unidades Vehiculares, el Costo de Indisponibilidad Vehicular, el Número de Paradas Promedio Mensual por Equipo, la Frecuencia del Tipo de Riesgo NPR por Equipo y las propuestas a futuro de otros indicadores como el Índice de Confiabilidad basado en el MTTR y el MTBF, son parte de las actividades desarrolladas del Objetivo N°3 del presente trabajo de investigación. Asimismo, la propuesta en este objetivo contribuye con el aumento de la disponibilidad mecánica de los vehículos porque ayuda a monitorear la situación actual y la toma de decisiones operativas que impactan en las horas disponibles de los vehículos, en los costos

generados por no tener operativa las unidades, en las fallas por equipo y en la frecuencia del tipo de riesgo, según el número de prioridad de riesgo de cada equipo del vehículo.

Desarrollo del Objetivo Específico N°4: Determinar que mejoras laborales se deben implementar para incrementar la disponibilidad de las unidades en una empresa de alquiler de vehículos.

En relación con el desarrollo de este objetivo, es importante mencionar que los problemas de mejoras laborales en el personal de mantenimiento tendrán un enfoque relacionado en la mejora de la disponibilidad de las unidades vehiculares de la empresa. Es así que, como anteriormente se mencionó en el Diagrama de Ishikawa de la figura 6, el factor del personal está relacionado con la falta de conocimiento en el uso de equipos de diagnóstico y con la falta de experiencia en el diagnóstico de fallas mecánicas, que ocasionan diagnósticos erróneos que impactan directamente en la disponibilidad de las unidades vehiculares.

Es por ello, que a continuación en la figura 106 se propone un cronograma de actividades de capacitaciones para el personal de mantenimiento.

Figura 106

Cronograma de Actividades de Capacitación

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN									
ACTIVIDAD	AREA	RESPONSABLE	COMIENZO	FIN	DURACIÓN (Horas)	PLANEADO / EJECUTADO	VALOR	PERSONAS CAPACITADAS O POR CAPACITAR	TOTAL DE PERSONAS
USO DEL ANALIZADOR DE GASES	MANTENIMIENTO	SUB GERENTE DE MANTENIMIENTO	Ene-2021	Ene-2021	6	Ejecutado	S/ 850	7	7
TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO CON EL SCANNER AUTOMOTRIZ	MANTENIMIENTO	SUB GERENTE DE MANTENIMIENTO	Mar-2021	Mar-2021	10	Ejecutado	S/ 1,200	7	7
GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	MANTENIMIENTO	SUB GERENTE DE MANTENIMIENTO	Abr-2021	Abr-2021	24	Ejecutado	S/ 1,000	2	2
SOLDADURA DE ESTRUCTURAS	MANTENIMIENTO	SUB GERENTE DE MANTENIMIENTO	Nov-2021	Nov-2021	24	Planeado	S/ 1,600	2	7
INSPECCIÓN EN SOLDADURA	MANTENIMIENTO	SUB GERENTE DE MANTENIMIENTO	Dic-2021	Dic-2021	24	Planeado	S/ 500	2	7

Nota. Elaboración Propia.

En la figura 106, observamos un cronograma de actividades de capacitación para el personal de mantenimiento, elaborado para cumplir las necesidades del personal de mantenimiento. Asimismo, el contenido del programa va enfocado en reforzar el conocimiento en técnicas de diagnóstico mediante el uso de instrumentos como el analizador de gases de escape, el cual tiene como función la medición de gases tales como el Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), y Óxidos de Nitrógeno (NO_x). Este instrumento tiene como objetivo, determinar la cantidad de gases contaminantes que emite el vehículo. Esta capacitación, brinda al personal de mantenimiento habilidades de diagnóstico para determinar fallas en el equipo del motor, mediante el análisis de los gases producto de la combustión.

Asimismo, el curso de Técnicas de Diagnóstico con el Scanner Automotriz está orientado en el diagnóstico por medio de este instrumento, el cual sirve para localizar problemas mediante códigos de fallas presentes o memorizados por los módulos de control del vehículo. Esta capacitación, permite a los técnicos diagnosticar fallas de una forma más rápida y efectiva, contribuyendo a la mejora de la disponibilidad de los vehículos.

También, el curso de Gestión de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad está dirigido para el jefe del Taller y el Supervisor de Mantenimiento, ya que ellos son los encargados y más involucrados con el mantenimiento de la flota vehicular. Este curso tiene como objetivo brindar habilidades y conocimiento de la Gestión del Mantenimiento con un enfoque en la Confiabilidad, curso que complementa y refuerza la implementación de la Metodología del RCM en el área de mantenimiento por parte de los principales líderes del área.

Por último, los dos últimos cursos de soldadura están como capacitaciones planificadas para el mes de noviembre y están orientados en especializar a dos técnicos mecánicos en la

soldadura de estructuras e inspección de calidad de soldadura, con el fin de ya no tercerizar trabajos de soldadura relacionados al chasis del vehículo.

Por lo tanto, lo que se busca con este cronograma de capacitaciones que tiene una inversión inicial de S/. 5,050, es mejorar la habilidad y/o competencias de los trabajadores lo cual redundaran en los procesos de diagnóstico y la calidad de reparaciones en los vehículos, logrando así un impacto integral en el aumento de la disponibilidad mecánica y con ello la reducción de costos de indisponibilidad y disminución de fallas mecánicas.

6.7. Análisis Costo Beneficio

El análisis Costo-Beneficio es una metodología que tiene por objetivo evaluar los costos y beneficios de un determinado proyecto y para ello los costos deben estar representados monetariamente. Es así que se realizará el análisis del costo beneficio de la implementación del plan de mantenimiento en una empresa que se dedica al alquilar unidades vehiculares al sector minero.

A continuación, se hará la descripción de las variables involucradas en este análisis. Asimismo, hay que tener en cuenta que el análisis comparativo que se ha hecho en esta investigación está realizado en los primeros 8 meses del año 2019 y 2021.

En primer lugar, ya que la empresa no contaba con un plan de mantenimiento definido en el año 2019, todas sus intervenciones mecánicas realizadas a sus unidades vehiculares eran en su mayoría del tipo correctivo y en una menor cantidad eran del tipo planificadas. Por lo tanto, una variable a considerar en este análisis es la cantidad de mantenimientos correctivos y mantenimientos planificados realizados antes y después de la implementación del programa de mantenimiento.

En segundo lugar, tenemos la variable del costo de mano de obra de los técnicos mecánicos, la cual es producto de las horas totales en mantenimientos correctivos por el costo/hora de la mano de obra de cada uno de los técnicos mecánicos. Asimismo, el costo total de esta variable ha sido brindada por el área de costos, ya que existen normas de confidencialidad de información con respecto a los sueldos de los empleados.

En tercer lugar, la cantidad de repuestos utilizados en los años 2019 y 2021 es la suma total de la frecuencia de los más de 1000 ítems registrados como repuestos de mantenimiento en el almacén. Asimismo, se tiene la variable de costos de repuestos, el cual representa el costo de todas las piezas mecánicas y eléctricas cambiadas en las unidades vehiculares durante los periodos mencionados

Por último, tenemos los costos de indisponibilidad vehicular, que son los costos generados por no tener unidades operativas en sus contratos mineros respectivos. Asimismo, este costo ha sido calculado con anterioridad en el presente informe de investigación.

A continuación, en la figura 107 se muestra parte de la base de datos del consumo de repuestos de almacén del año 2019. Asimismo, no se puede mostrar la totalidad de su contenido porque la base de datos supera el consumo de más de 6000 repuestos.

Figura 107

Base de datos del consumo de repuestos por el taller automotriz (2019)

FECHA	DESCRIPCION	TIP DC	CANT	PRECIO UN	TOTAL	FAM	DESC. CEC	VEHICULO
9/02/2019	CREMALLERA DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GD	RM	1	720.34	720.34	RPM	AXD-825	CAMIONETA
20/02/2019	NEUMATICO LT265/70 R17 10PR 121/118Q CROSSWI	RM	4	321.07	1284.27	RPM	AWR-821	CAMIONETA
20/02/2019	NEUMATICO LT265/70 R17 10PR 121/118Q CROSSWI	RM	4	321.07	1284.27	RPM	AXF-723	CAMIONETA
5/03/2019	NEUMATICO LT265/70 R17 10PR 121/118Q CROSSWI	RM	4	321.07	1284.27	RPM	AUX-735	CAMIONETA
8/03/2019	NEUMATICO LT265/70 R17 10PR MT 121/118Q - ONY	RM	4	308.65	1234.61	RPM	AXE-710	CAMIONETA
9/04/2019	COMPRESOR DE AIRE ACONDICIONADO "ALTERNO" - RM		1	850.00	850.00	RPM	AUV-921	CAMIONETA
10/04/2019	BOCAMAZA COMPLETO "ALTERNO" - MITSUBISHI	RM	2	1000.00	2000.00	RPM	AUX-748	CAMIONETA
10/04/2019	ACTUADOR DE TRANSFERENCIA "ORIGINAL-A2" - TOY	RM	1	1300.00	1300.00	RPM	AUW-888	CAMIONETA
11/04/2019	RETEN DE VALVULA "MD184303" - MITSUBISHI	RM	16	27.50	440.00	RPM	AUX-748	CAMIONETA
3/05/2019	SERVO DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GD	RM	1	600.00	600.00	RPM	AWR-894	CAMIONETA
3/05/2019	CREMALLERA DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYO1	RM	1	1100.00	1100.00	RPM	AWR-892	CAMIONETA
3/05/2019	CALIPER DE FRENO "ORIGINAL-A2-R" - TOYOTA 1GD	RM	1	450.00	450.00	RPM	AWR-918	CAMIONETA
6/05/2019	COMPRESOR DE AIRE ACONDICIONADO "ALTERNO" - RM		1	850.00	850.00	RPM	AXD-825	CAMIONETA
8/05/2019	CREMALLERA DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYO1	RM	1	1000.00	1000.00	RPM	AVO-938	CAMIONETA
10/05/2019	ACTUADOR DE TRANSFERENCIA "ORIGINAL-A2" - TOY	RM	1	1300.00	1300.00	RPM	AVO-938	CAMIONETA
17/05/2019	BOCAMAZA COMPLETO "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GI	RM	2	300.00	600.00	RPM	AWR-918	CAMIONETA
22/05/2019	COPA DE PALIER "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GD	RM	2	200.00	400.00	RPM	AUX-735	CAMIONETA
27/05/2019	CREMALLERA DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYO1	RM	1	1000.00	1000.00	RPM	AUV-921	CAMIONETA
30/05/2019	CREMALLERA DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYO1	RM	1	1000.00	1000.00	RPM	AWR-783	CAMIONETA
31/05/2019	CALIPER DE FRENO "ORIGINAL-A2-L" - TOYOTA 1GD	RM	1	450.00	450.00	RPM	AVP-764	CAMIONETA
31/05/2019	CALIPER DE FRENO "ORIGINAL-A2-R" - TOYOTA 1GD	RM	1	450.00	450.00	RPM	AVP-764	CAMIONETA
1/06/2019	CREMALLERA DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYO1	RM	1	1000.00	1000.00	RPM	AWR-821	CAMIONETA
1/06/2019	CREMALLERA DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYO1	RM	1	1000.00	1000.00	RPM	AWR-918	CAMIONETA
1/06/2019	CALIPER DE FRENO "ORIGINAL-A2-L" - TOYOTA 1GD	RM	1	450.00	450.00	RPM	AVO-938	CAMIONETA
1/06/2019	CALIPER DE FRENO "ORIGINAL-A2-R" - TOYOTA 1GD	RM	1	450.00	450.00	RPM	AVO-938	CAMIONETA
1/06/2019	PALIER COMPLETO "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GD	RM	1	550.00	550.00	RPM	AVO-938	CAMIONETA
1/06/2019	CAJA DE CAMBIO COMPLETO "ORIGINAL-A2" - TOYO1	RM	1	1600.00	1600.00	RPM	AUW-888	CAMIONETA
4/06/2019	SEMI EJE POSTERIOR COMPLETO "ORIGINAL-A2" - TO	RM	2	600.00	1200.00	RPM	AWR-892	CAMIONETA
4/06/2019	ACTUADOR ADD DE CORONA DELANTERA "ORIGINAL	RM	1	700.00	700.00	RPM	AWR-892	CAMIONETA
4/06/2019	BOCAMAZA COMPLETO "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GI	RM	2	300.00	600.00	RPM	AWR-892	CAMIONETA
4/06/2019	COPA DE PALIER "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GD	RM	2	200.00	400.00	RPM	AWR-892	CAMIONETA
5/06/2019	CREMALLERA DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYO1	RM	1	1000.00	1000.00	RPM	AWR-892	CAMIONETA
5/06/2019	MACPHERSON COMPLETO "ORIGINAL-A2" - TOYOTA	RM	2	300.00	600.00	RPM	AWR-892	CAMIONETA
12/06/2019	COPA DE PALIER "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GD	RM	2	200.00	400.00	RPM	AWR-845	CAMIONETA
12/06/2019	CREMALLERA DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYO1	RM	1	1000.00	1000.00	RPM	AWR-918	CAMIONETA
15/06/2019	FUNDA DE PALIER DELANTERO "ORIGINAL-A2" - MITS	RM	1	650.00	650.00	RPM	AUX-748	CAMIONETA
15/06/2019	CARDAN COMPLETO 4 X 4 "ORIGINAL-A2" - MITSUBIS	RM	1	400.00	400.00	RPM	AUX-748	CAMIONETA
15/06/2019	PALIER COMPLETO "ORIGINAL-A2-L" - MITSUBISHI L2	RM	1	400.00	400.00	RPM	AUX-748	CAMIONETA
15/06/2019	PALIER COMPLETO "ORIGINAL-A2-R" - MITSUBISHI L2	RM	1	400.00	400.00	RPM	AUX-748	CAMIONETA
25/06/2019	ACTUADOR ADD DE CORONA DELANTERA "ORIGINAL	RM	1	700.00	700.00	RPM	AUV-921	CAMIONETA
27/06/2019	CREMALLERA DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYO1	RM	1	1000.00	1000.00	RPM	AWR-821	CAMIONETA
28/06/2019	COPA DE PALIER "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GD	RM	2	200.00	400.00	RPM	AWR-821	CAMIONETA
28/06/2019	ACTUADOR DE TRANSFERENCIA "ORIGINAL-A2" - TOY	RM	1	1300.00	1300.00	RPM	AWR-821	CAMIONETA
28/06/2019	ACTUADOR DE TRANSFERENCIA "ORIGINAL-A2" - TOY	RM	1	1300.00	1300.00	RPM	AWR-845	CAMIONETA
6/07/2019	ALTERNADOR "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GD	RM	1	850.00	850.00	RPM	AWR-821	CAMIONETA
8/07/2019	SERVO DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GD	RM	1	550.00	550.00	RPM	AWR-892	CAMIONETA
9/07/2019	ACTUADOR DE TRANSFERENCIA "ORIGINAL-A2" - TOY	RM	1	1300.00	1300.00	RPM	AWR-821	CAMIONETA
9/07/2019	CARDAN DELANTERO "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GD	RM	1	450.00	450.00	RPM	AWR-821	CAMIONETA
9/07/2019	ACTUADOR ADD DE CORONA DELANTERA "ORIGINAL	RM	1	700.00	700.00	RPM	AWR-821	CAMIONETA
9/07/2019	FUNDA DE PALIER DELANTERO "ORIGINAL-A2" - MITS	RM	1	650.00	650.00	RPM	ASZ-750	CAMIONETA
11/07/2019	CREMALLERA DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYO1	RM	1	1000.00	1000.00	RPM	AXF-723	CAMIONETA
16/07/2019	ACTUADOR ADD DE CORONA DELANTERA "ORIGINAL	RM	1	700.00	700.00	RPM	AXE-935	CAMIONETA
17/07/2019	TURBO DE MOTOR "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GD	RM	1	2600.00	2600.00	RPM	AXF-723	CAMIONETA
19/07/2019	CREMALLERA DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYO1	RM	1	1000.00	1000.00	RPM	AUX-735	CAMIONETA
19/07/2019	CREMALLERA DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYO1	RM	1	1000.00	1000.00	RPM	AUW-888	CAMIONETA
20/07/2019	MACPHERSON COMPLETO "ORIGINAL-A2" - TOYOTA	RM	2	300.00	600.00	RPM	AXE-935	CAMIONETA
23/07/2019	CORONA DELANTERA "ORIGINAL - A2" - TOYOTA 1GD	RM	1	1850.00	1850.00	RPM	AUX-735	CAMIONETA
24/07/2019	SEMI EJE POSTERIOR COMPLETO "ORIGINAL-A2" - TO	RM	2	600.00	1200.00	RPM	AWR-918	CAMIONETA
30/07/2019	MACPHERSON COMPLETO "ORIGINAL-A2" - TOYOTA	RM	2	300.00	600.00	RPM	AXE-935	CAMIONETA
2/08/2019	CREMALLERA DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYO1	RM	1	1000.00	1000.00	RPM	AVP-764	CAMIONETA
5/08/2019	ACTUADOR ADD DE CORONA DELANTERA "ORIGINAL	RM	1	700.00	700.00	RPM	AXF-723	CAMIONETA
7/08/2019	SERVO DE DIRECCION "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GD	RM	1	550.00	550.00	RPM	AXD-837	CAMIONETA
12/08/2019	ACTUADOR ADD DE CORONA DELANTERA "ORIGINAL	RM	1	700.00	700.00	RPM	AXD-825	CAMIONETA
13/08/2019	RIEL DE INYECTORES "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GD	RM	1	600.00	600.00	RPM	AXF-723	CAMIONETA
13/08/2019	BOMBA DE INYECCION "ORIGINAL-A2" - TOYOTA 1GE	RM	1	1400.00	1400.00	RPM	AXF-723	CAMIONETA

Nota. Información brindada por la empresa.

En la figura 107, podemos observar parte del registro del consumo de repuestos que utiliza el taller automotriz en sus reparaciones mecánicas.

A continuación, en la figura 108 se muestra parte de la base de datos de los 8 primeros meses del consumo de repuestos en el año 2021.

Figura 108

Base de datos del consumo de repuestos por el taller automotriz (2021)

FECHA	DESCRIPCION	TIP DC	CANT	PRECIO UN	TOTAL	FAM	DESC. CEC	VEHICULO
2/01/2021	LUBRICANTE AMALIE 75W90 FULL SYNTHETIC (BOT 1	RM	4	27.895425	111.5817	LUB	AUX-735	CAMIONETA
2/01/2021	LUBRICANTE MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	RM	0.5	169.781635	84.890818	LUB	AUX-735	CAMIONETA
2/01/2021	LIMPIA FRENOS "3318" - LIQUI MOLY	RM	1	12.957122	12.957122	IN	AUX-735	CAMIONETA
2/01/2021	ARANDELA DE BRIDA DE CORONA "9020111013" - TO	RM	5	2.548681	12.743405	RPM	AUX-735	CAMIONETA
2/01/2021	ARANDELA P/ TAPON DE DRENAJE DELANTERO "9043	RM	1	4.131341	4.131341	RPM	AUX-735	CAMIONETA
2/01/2021	TAPON DE DRENAJE DELANTERO "9034124014" - TOY	RM	1	28.66	28.66	RPM	AUX-735	CAMIONETA
3/01/2021	FILTRO DE AIRE "SAKURA-A33740" - TOYOTA 1GD	RM	1	41.959157	41.959157	RPM	AWR-783	CAMIONETA
3/01/2021	FILTRO DE AIRE ACONDICIONADO "SAKURA-CA1114"	RM	1	16.525436	16.525436	RPM	AWR-783	CAMIONETA
3/01/2021	CLAXON TIPO CARACOL 12V - BOSCH	RM	1	37.711864	37.711864	RPM	AWR-783	CAMIONETA
3/01/2021	LUBRICANTE SHELL SPIRAX-S2 ATF D2 (BOT 1LT)	RM	1	14.776179	14.776179	LUB	AWR-783	CAMIONETA
3/01/2021	AFLOJATODO "1612" - LIQUI MOLY	RM	1	13.924739	13.924739	IN	AWR-783	CAMIONETA
3/01/2021	LIMPIA FRENOS "3318" - LIQUI MOLY	RM	1	12.957122	12.957122	IN	AWR-783	CAMIONETA
3/01/2021	ARANDELA P/ TAPON DE DRENAJE DELANTERO "9043	RM	1	4.131341	4.131341	RPM	AWR-783	CAMIONETA
3/01/2021	TAPON DE DRENAJE DELANTERO "9034124014" - TOY	RM	1	28.66	28.66	RPM	AWR-783	CAMIONETA
3/01/2021	LUBRICANTE AMALIE 75W90 FULL SYNTHETIC (BOT 1	RM	2	27.895425	55.79085	LUB	AWR-783	CAMIONETA
3/01/2021	KIT REGULADOR DE FRENO "L" - TOYOTA 1GD	RM	1	63.559322	63.559322	RPM	AWR-892	CAMIONETA
3/01/2021	CONJ. INTERRUPTOR RETROVISOR "848720K020" TO	RM	1	416.177966	416.177966	RPM	AWR-892	CAMIONETA
3/01/2021	MINI FUSIBLE IMPORTADO - 20AMP	RM	1	0.734068	0.734068	RPM	AWR-892	CAMIONETA
3/01/2021	MINI FUSIBLE IMPORTADO - 15AMP	RM	2	0.734068	1.468136	RPM	AWR-892	CAMIONETA
3/01/2021	MINI FUSIBLE IMPORTADO - 10AMP	RM	2	0.734068	1.468136	RPM	AWR-892	CAMIONETA
3/01/2021	FILTRO DE AIRE "SAKURA-A33740" - TOYOTA 1GD	RM	1	41.959157	41.959157	RPM	AWR-845	CAMIONETA
3/01/2021	FILTRO DE AIRE ACONDICIONADO "SAKURA-CA1114"	RM	1	16.525436	16.525436	RPM	AWR-845	CAMIONETA
3/01/2020	PALANCA DE RUEDA TOYOTA	RM	1	16.101912	16.101912	HEG	AWR-845	CAMIONETA
3/01/2021	TACO DE PVC NARANJADO	RM	2	33.898319	67.796638	RPM	AWR-845	CAMIONETA
3/01/2021	MEDIDOR DE AIRE	RM	2	7.164869	14.329738	HEG	AWR-845	CAMIONETA
3/01/2021	CONO DE SEGURIDAD GRANDE 70CM+ CINTA REFLEC	RM	2	22.379542	44.759084	EPP	AWR-845	CAMIONETA
3/01/2021	CONO DE SEGURIDAD GRANDE 70CM+ CINTA REFLEC	RM	2	22.379542	44.759084	EPP	AUX-735	CAMIONETA
3/01/2021	LINTERNA	RM	1	12.711837	12.711837	HEG	AUX-735	CAMIONETA
3/01/2021	ALICATE MECANICO "84-098" N8" - STANLEY	RM	1	12.146897	12.146897	HEG	AUX-735	CAMIONETA
3/01/2021	MEDIDOR DE AIRE	RM	1	7.164869	7.164869	HEG	AUX-735	CAMIONETA
3/01/2021	JUEGO DE TRABATUERCAS X (4PZ) 6 X 21MM	RM	1	31.922782	31.922782	RPM	AUX-735	CAMIONETA
3/01/2021	FARO LED NEBLINERO RECTANGULAR X 12 LEDS - "I/	RM	2	35.590595	71.18119	RPM	AWR-845	CAMIONETA
3/01/2021	FARO LED NEBLINERO RECTANGULAR X 12 LEDS - "I/	RM	2	35.590595	71.18119	RPM	AUX-735	CAMIONETA
3/01/2021	FARO LED NEBLINERO RECTANGULAR X 12 LEDS - "I/	RM	2	35.590595	71.18119	RPM	AWR-894	CAMIONETA
3/01/2021	KIT REGULADOR DE FRENO "R" - TOYOTA 1GD	RM	1	63.771203	63.771203	RPM	AWR-892	CAMIONETA
3/01/2021	JUEGO DE TRABATUERCAS X (4PZ) 6 X 21MM	RM	1	31.922782	31.922782	RPM	AWR-892	CAMIONETA
3/01/2021	CONO DE SEGURIDAD GRANDE 70CM+ CINTA REFLEC	RM	2	22.379542	44.759084	EPP	AWR-892	CAMIONETA
3/01/2021	LINTERNA	RM	1	12.711837	12.711837	HEG	AWR-892	CAMIONETA
4/01/2021	SILICONA GRIS MEGA GREY - VERSACHEM	RM	1	8.474568	8.474568	IN	AVO-938	CAMIONETA
4/01/2021	JUEGO DE LLAVES MIXTA X 4 PZAS (8-10-12-14)	RM	1	12.106541	12.106541	HEG	AVO-938	CAMIONETA
4/01/2021	JUEGO DE TRABATUERCAS X (4PZ) 6 X 21MM	RM	1	31.922782	31.922782	RPM	AVO-938	CAMIONETA
4/01/2021	JUEGO DE TRABATUERCAS X (4PZ) 6 X 21MM	RM	1	31.922782	31.922782	RPM	AWR-821	CAMIONETA
4/01/2021	CONO DE SEGURIDAD GRANDE 70CM+ CINTA REFLEC	RM	2	22.379542	44.759084	EPP	AWR-821	CAMIONETA
4/01/2021	TACO DE PVC NARANJADO	RM	2	33.898319	67.796638	RPM	AWR-821	CAMIONETA
4/01/2021	EXTINTOR 4KG	RM	1	63.559305	63.559305	EPP	AWR-821	CAMIONETA
4/01/2021	EMPAQUE DE TAPON DE CARTER "9043012031" - TOY	RM	1	3.117207	3.117207	RPM	AXD-837	CAMIONETA
4/01/2021	FILTRO DE AIRE "SAKURA-A33740" - TOYOTA 1GD	RM	1	41.959157	41.959157	RPM	AXD-837	CAMIONETA
4/01/2021	FILTRO DE AIRE ACONDICIONADO "SAKURA-CA1114"	RM	1	16.525436	16.525436	RPM	AXD-837	CAMIONETA
4/01/2021	FILTRO DE ACEITE "90915YZZD2" - TOYOTA 1GD	RM	1	21.529612	21.529612	RPM	AXD-837	CAMIONETA

Nota. Información brindada por la empresa.

En la figura 108, podemos observar parte del registro del consumo de repuestos que utiliza el taller automotriz en sus reparaciones mecánicas.

A continuación, en la tabla 15, se presenta la relación entre los números de mantenimiento planificados y correctivos, en los primeros 8 meses de los años 2019 y 2021 para poder compararlos.

Tabla 15

Distribución del tipo de mantenimiento en los primeros 8 meses del año 2019 y 2021.

Año	N° de mantenimientos planificados	N° de mantenimientos correctivos	Total de mantenimientos
2019	241	2,298	2,539
2021	474	167	641
Beneficio			1898

Nota. Información brindada por la empresa.

La tabla 15, nos muestra la distribución de la cantidad de los tipos de mantenimiento realizados en los años 2019 y 2021, en donde se observa que en los primeros 8 meses del año 2019 se han realizado 241 mantenimientos del tipo planificado y 2,298 mantenimientos del tipo correctivo. Por otro lado, se tiene que en los primeros 8 meses del año 2021 se han realizado 474 mantenimientos del tipo planificado y 167 mantenimientos del tipo correctivo. Asimismo, se tiene un total de 2,539 mantenimientos en el año 2019 y un total de 641 mantenimientos en el año 2021. Por lo tanto, se ha obtenido una disminución total de 1,898 mantenimientos en los primeros 8 meses del año 2021.

A continuación, la tabla 16, presenta la relación entre las Horas de Mano de Obra y sus Costos, de los primeros 8 meses de los años 2019 y 2021 para poder compararlos.

Tabla 16

Distribución de las Horas de Mano de Obra y sus Costos en los primeros 8 meses del año 2019 y 2021.

Año	Horas de Mano de Obra	Costos de Mano de Obra (\$)
2019	9,216	23,251.35
2021	2,156	5,462.84
Beneficio	7,060	17,788.51

Nota. Información brindada por la empresa.

La tabla 16, nos muestra que en los primeros 8 meses del año 2019 las Horas de Mano de Obra fueron de 9,216 con un Costo de 23, 251.35 dólares. Por otro lado, en el año 2021, las Horas de Mano de Obra de los primeros 8 meses son de 2,156 con un Costo asociado de 5,462.84 dólares. Por lo tanto, con respecto a las Horas de Mano de Obra se ha logrado una disminución de 7,060 horas lográndose reducir los costos en 17,788.51 dólares.

A continuación, en la tabla 17 se presenta la relación que existe entre la Cantidad de Repuestos despachados al área de mantenimiento y sus Costos, en los primeros 8 meses de los años 2019 y 2021.

Tabla 17

Distribución de la Cantidad de Repuestos y sus Costos en los primeros 8 meses del año 2019 y 2021.

Año	Cantidad de Repuestos (Piezas)	Costo de Repuestos (\$)
2019	6,123	93,661.35
2021	3,360	44,581.35
Beneficio	2,763	49,080.00

Nota. Información brindada por la empresa.

La tabla 17, nos muestra que en los primeros 8 meses del año 2019, la cantidad de repuestos despachados al área de mantenimiento ha sido de 6,123 piezas con un costo asociado de 93,661.35 dólares. Por otro lado, en el año 2021, la cantidad de piezas despachadas ha sido de 3,360 con un costo equivalente a 44,581.35 dólares. Por la tanto, se ha logrado disminuir la cantidad de repuestos en 2,763 piezas en los primeros 8 meses del año 2021 y también se ha logrado disminuir los costos de repuestos en 49,080.00 dólares.

A continuación, en la tabla 18 se muestra un cuadro resumen con los principales costos asociados al análisis del Costo-Beneficio, durante los primeros 8 meses de los años 2019 y 2021.

Tabla 18

Resumen de los costos asociados al análisis Costo-Beneficio de los primeros 8 meses de los años 2019 y 2021.

Costo	2019	2021	Ahorro
Costo de			
Indisponibilidad	100,164.00	57,470.00	42,694.00
Vehicular (\$)			
Costo de Mano de			
Obra (\$)	23,251.35	5,462.84	17,788.51
Costo de Repuestos (\$)	93,661.35	44,581.35	49,080.00
Total (\$)	217,076.70	107,514.19	109,562.51

Nota. Información brindada por la empresa.

En la tabla 18, se muestra un cuadro resumen de los costos relacionados al análisis Costo-Beneficio de la propuesta realizada en el trabajo de investigación. En primer lugar, el Costo de

Indisponibilidad Vehicular ha disminuido en 42,694.00 dólares, ya que la disponibilidad de las unidades vehiculares ha aumentado en un promedio de 6% con respecto al año 2019. En segundo lugar, el Costo de Mano de Obra ha disminuido en 17,788.51 dólares, porque se ha logrado reducir 7,060 horas de Mano de Obra. En tercer lugar, el Costo de Repuestos ha disminuido en 49,080 dólares porque se ha reducido la cantidad de repuestos consumidos por el taller en 2,763 piezas.

Por lo tanto, el beneficio total que se ha obtenido al implementar el plan de mantenimiento bajo la metodología del RCM y las actividades planteadas en los objetivos específicos, han logrado de forma integral un beneficio de \$ 109,562.51 en el año 2021.

Capítulo VII: Resultados y Discusión

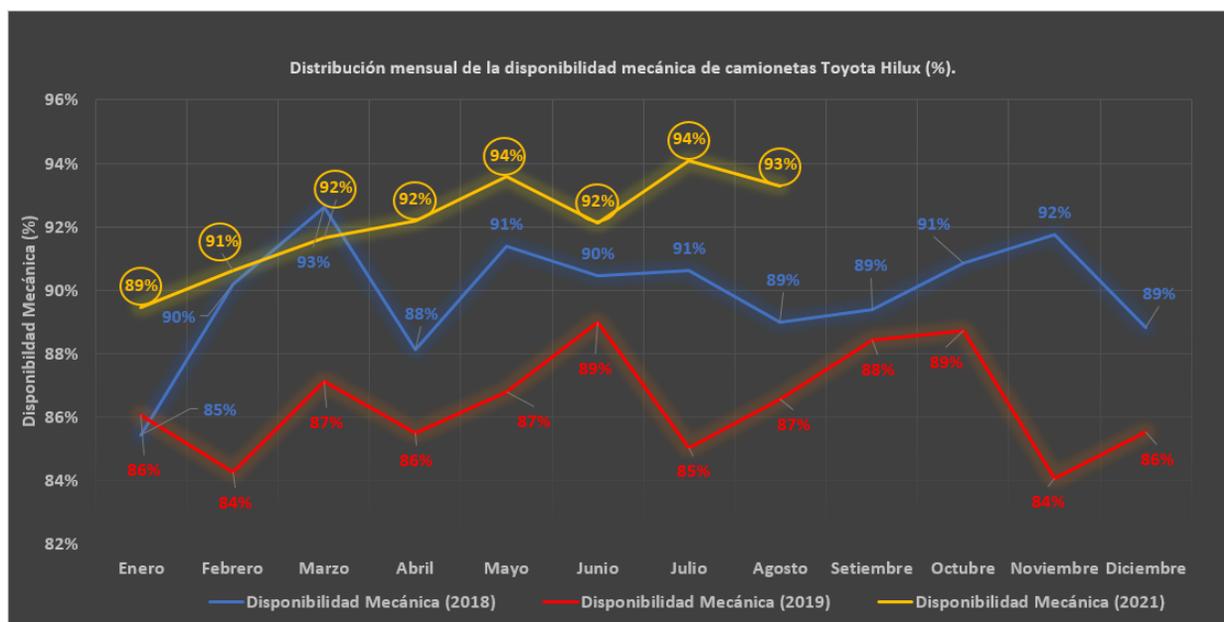
7.1. Resultados

Después de la implementación de la Metodología del RCM, se realizó el levantamiento de información en donde se obtuvieron los siguientes resultados que se mostrarán en las siguientes páginas. Asimismo, es importante tener en cuenta que las implementaciones de las propuestas ya mencionadas en los capítulos anteriores se implementaron desde enero del año 2021 hasta la actualidad, por lo cual se presentan los resultados desde la fecha mencionada.

A continuación, en la figura 109, se presenta una gráfica comparativa de la distribución mensual de la disponibilidad mecánica de las camionetas Toyota Hilux.

Figura 109

Distribución Mensual de la Disponibilidad Mecánica de camionetas Toyota Hilux (%)



Nota. Elaboración Propia.

La figura 109, muestra el análisis del indicador de Disponibilidad de Unidades Vehiculares, antes y después de la implementación de las propuestas de mejora presentadas en esta investigación.

Como se puede observar en la gráfica, el año con la peor tendencia en la disponibilidad vehicular ocurrió en el 2019 (representado de color rojo), y el año que representó una tendencia irregular fue el 2018 (representado de color azul).

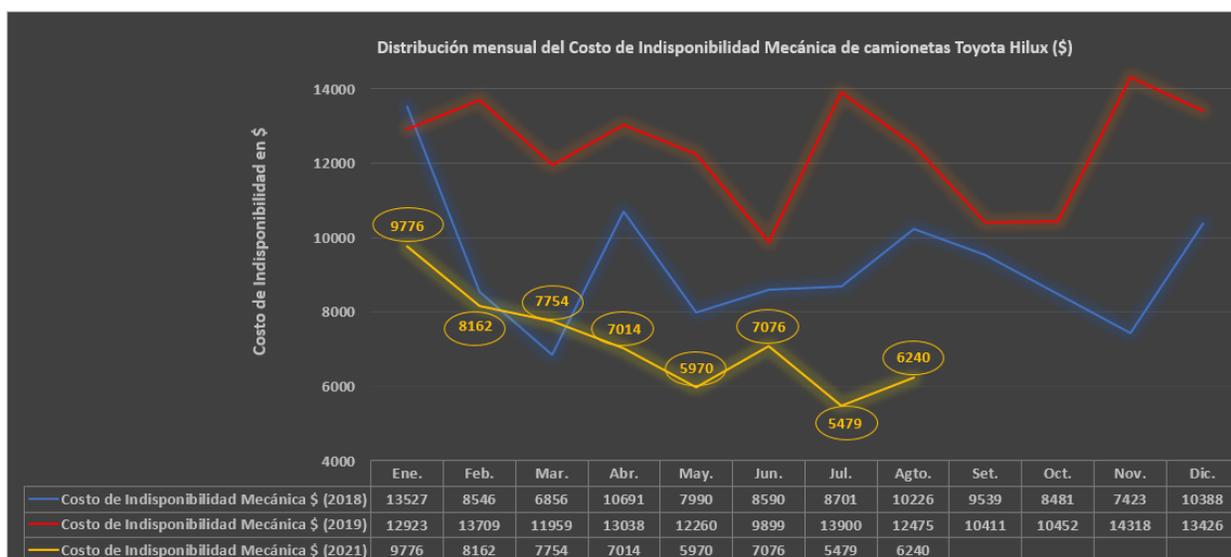
Asimismo, se puede observar que la tendencia de la línea de disponibilidad de unidades vehiculares desde enero del 2021 hasta agosto del mismo año (color amarillo), se encuentra por encima de los anteriores años, debido a que la disponibilidad en el primer semestre del año 2021 ha mejorado significativamente con respecto a los anteriores años.

También, tenemos dos picos máximos de disponibilidad vehicular los cuales son el mes de mayo y julio del 2021 con un 94% respectivamente, por otro lado, se tienen los picos más bajos en los dos primeros meses del año 2021, con un 89% y 91% respectivamente.

A continuación, en la figura 110 se muestra la distribución mensual de los costos (\$) de indisponibilidad mecánica de los vehículos Toyota Hilux.

Figura 110

Distribución mensual del Costo de Indisponibilidad Mecánica de camionetas Toyota Hilux (\$)



Nota. Elaboración Propia.

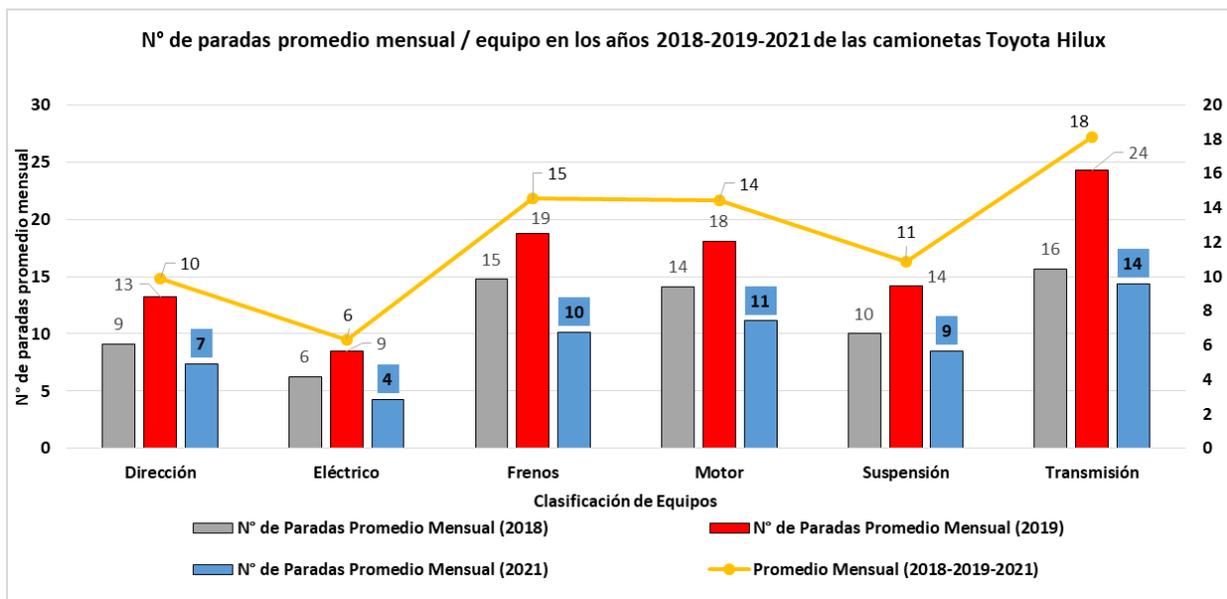
La figura 110, representa el comportamiento de los costos generados por la indisponibilidad mecánica de los vehículos desde los años 2018 a la fecha, en otras palabras, lo que la empresa pierde al tener los vehículos parados porque nos dejan de pagar por el alquiler de estos.

Después de implementar las mejoras propuestas, la disponibilidad vehicular empezó a mejorar progresivamente, tal como se mostró en la figura 109. En consecuencia, los costos de indisponibilidad han disminuido, ya que se ha logrado tener una mayor disponibilidad de camionetas en las operaciones del cliente. Asimismo, es importante mencionar que la línea de tendencia de los costos por indisponibilidad ha sido variable y decreciente en los últimos 8 meses, en donde se obtuvo los picos más bajos de los últimos años con reportes de \$ 5,970 y \$ 5,479 en los meses de mayo y julio respectivamente.

A continuación, en la figura 111 se presenta el N° de paradas promedio mensual por equipo en los 2018, 2019 y 2020 de las camionetas Toyota Hilux.

Figura 111

N° de paradas promedio mensual por equipo en los años 2018-2019-2021 de las camionetas Toyota Hilux



Nota. Elaboración Propia.

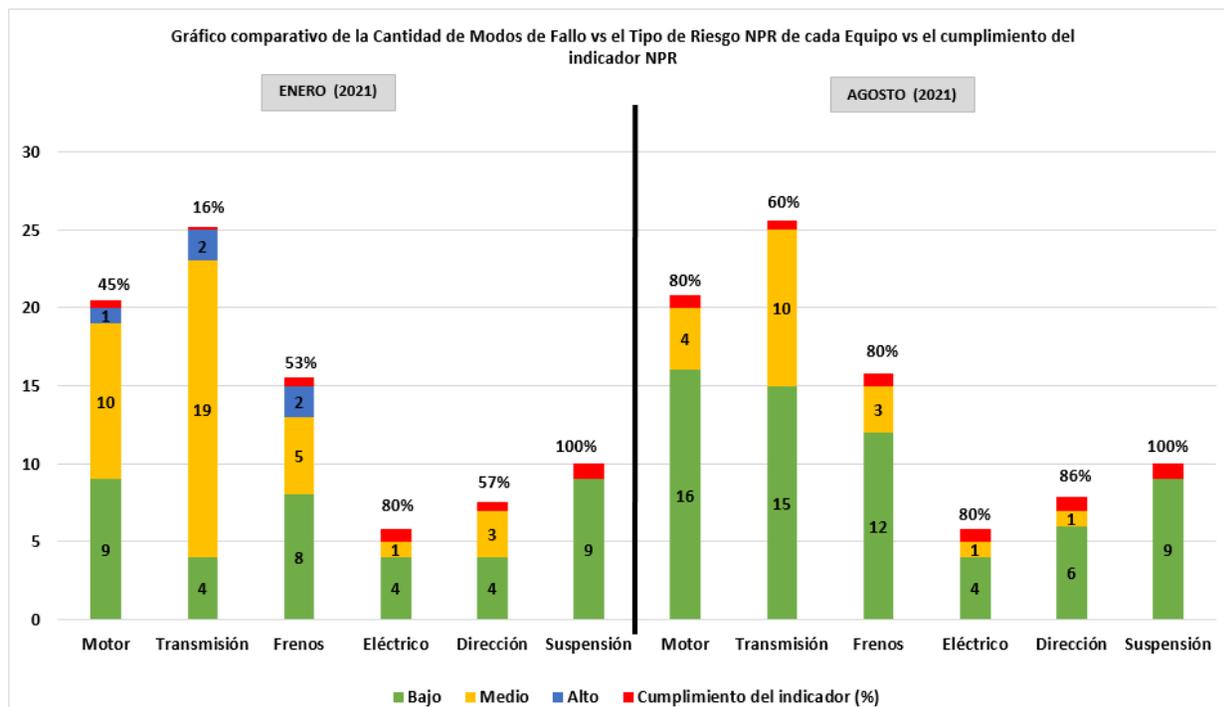
En la figura 111 se añade la columna del N° de paradas promedio mensual del año 2021 (barras de color azul), la cual comprende información de los 8 primeros meses después de la implementación de las mejoras propuestas. Asimismo, se tienen 3 equipos con una mayor cantidad promedio mensual de fallas en el año 2019 (barras de color rojo) con respecto al año 2018, los cuales están comprendidos por la transmisión, motor y freno. Es importante mencionar que la información de fallas del año 2020, que no se muestran en la figura es debido a que, no se han considerado por tener una data insuficiente y con información atípica por motivo del estado de emergencia. Es por ello, que la comparación principal de los resultados obtenidos en el año 2021, se harán con los resultados del año 2019.

De esta manera, después de implementar las herramientas propuestas, se ha obtenido una reducción importante del N° de paradas en todos los equipos del vehículo, pero principalmente en los equipos que tenían una mayor cantidad de fallas registradas en el año 2019. Asimismo, el equipo de transmisión, que presentaba un N° de fallas promedio mensual de 24 en el año 2019, ahora en los primeros 8 meses del año 2021 ha presentado un promedio mensual de 14 fallas, el equipo de motor presentaba un promedio mensual de 18 fallas en el año 2019 y ahora en el año 2021 presenta un promedio mensual de 11 fallas, por último el equipo de frenos presentaba un promedio mensual de 19 fallas en el año 2019 y en los primeros 8 meses del año 2021 presenta un promedio mensual de 10 fallas. También, es importante mencionar que, en el equipo de dirección, eléctrico y de suspensión se han obtenido resultados significativos con respecto al año 2019.

A continuación, en la figura 112 se muestra la comparación de la cantidad de modos de fallo vs el tipo de riesgo NPR vs el cumplimiento del indicador NPR.

Figura 112

Gráfico comparativo de la Cantidad de Modos de Fallos vs el Tipo de Riesgo NPR de cada Equipo vs el Cumplimiento del indicador NPR



Nota. Elaboración Propia.

En la figura 112, se observa la comparación del antes (enero 2021) y después (agosto 2021) de la cantidad de modos de fallos distribuidos de acuerdo con su tipo de riesgo NPR en cada equipo del vehículo y el cumplimiento del indicador NPR.

También, se interpreta que el equipo con una mayor frecuencia de tipos de riesgo NPR antes de la implementación de las mejoras propuestas, es el de Transmisión que tiene una distribución de 4, 19 y 2 modos de fallos que se encuentran distribuidos en los tipos de riesgo bajo, medio y alto, respectivamente. En donde, después de las mejoras implementadas los 2 modos de fallo referentes al nivel alto de riesgo pasaron a un nivel de riesgo medio y 11 modos de fallo relacionados a un tipo de riesgo medio pasaron a un nivel bajo, obteniendo así el equipo

un cumplimiento del 60% del tipo de riesgo bajo.

Asimismo, se observa que el siguiente equipo con una mayor frecuencia de tipos de riesgo antes de la implementación de las mejoras propuestas, es el equipo de Motor que tiene una distribución de 9, 10 y 1 de modos de fallos que se encuentran distribuidos en los tipos de riesgo bajo, medio y alto respectivamente. En donde, después de las mejoras implementadas el único modo de fallo referente a un nivel alto de riesgo pasó a un nivel de riesgo medio y 7 modos de fallo relacionados a un nivel medio pasaron a un nivel bajo, obteniendo así el equipo un cumplimiento del 80% del tipo de riesgo bajo.

También, se observa que el siguiente equipo con una mayor frecuencia de tipos de riesgo antes de la implementación de las mejoras propuestas, es el de Frenos que tiene una distribución de 8, 5 y 2 modos de fallos que están distribuidos en los tipos de riesgo bajo, medio y alto, respectivamente. En donde, después de las mejoras implementadas, los 2 modos de fallo relacionados a un nivel alto de riesgo pasaron a un nivel de riesgo medio y 4 modos de fallo relacionados a un nivel medio pasaron a un nivel bajo, obteniendo así el equipo un cumplimiento del 80% del tipo de riesgo bajo.

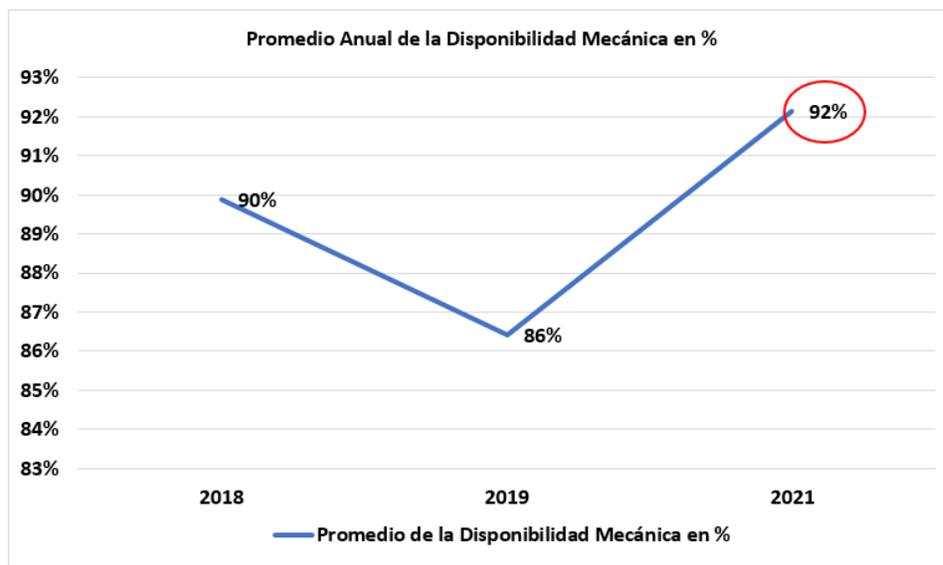
Por último, el equipo de dirección tiene una distribución del tipo de 4 y 3 modos de fallos que se encuentran distribuidos en los tipos de riesgo bajo y medio, respectivamente. En donde, después de las mejoras implementadas, 2 modos de fallo que presentaban un nivel de riesgo medio pasaron a un nivel bajo, logrando un cumplimiento del 86 %. Asimismo, el equipo eléctrico y el de suspensión se han mantenido con la misma cantidad de frecuencia de tipos de riesgo antes y después de la implementación de las mejoras.

7.2. Discusión de Resultados

A continuación, en la figura 113 se muestra la figura del promedio anual de la disponibilidad mecánica vehicular, desde el año 2018 al 2021.

Figura 113

Promedio Anual de la Disponibilidad Mecánica en %



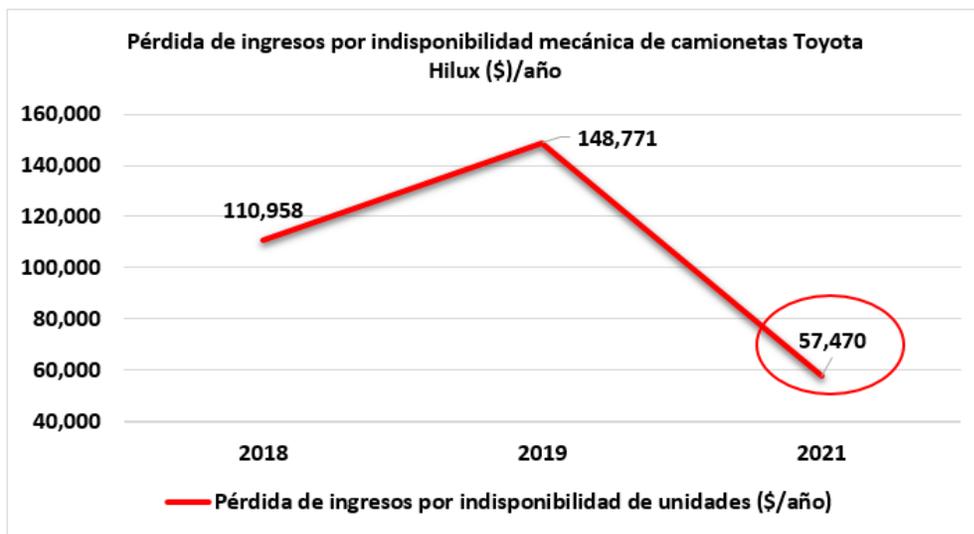
Nota. Elaboración Propia.

La gráfica 113, nos muestra el resumen promedio anual del comportamiento del indicador de Disponibilidad de Unidades Vehiculares, en donde se observa que desde que se implementaron las mejoras propuestas (2021), el indicador aumento en un 6% en promedio con respecto al año más crítico que fue el 2019 y creció un 2% en promedio con respecto al año 2018. Asimismo, es importante tener en cuenta que en el promedio del año 2021 solo está incluyendo los primeros 8 meses, ya que es el tiempo desde que se implementaron las mejoras. Por último, se está logrando el cumplimiento de la meta del indicador ya que el resultado promedio de la disponibilidad de unidades vehiculares del 92% y los resultados mensuales de disponibilidad de unidades vehiculares del año 2021 presentados anteriormente, se encuentran en el rango de 90% - 95% / mes.

A continuación, en la figura 114 se muestra el resumen del costo total de indisponibilidad vehicular anualmente.

Figura 114

Pérdida de ingresos por indisponibilidad mecánica de camionetas Toyota Hilux en \$/año



Nota. Elaboración Propia.

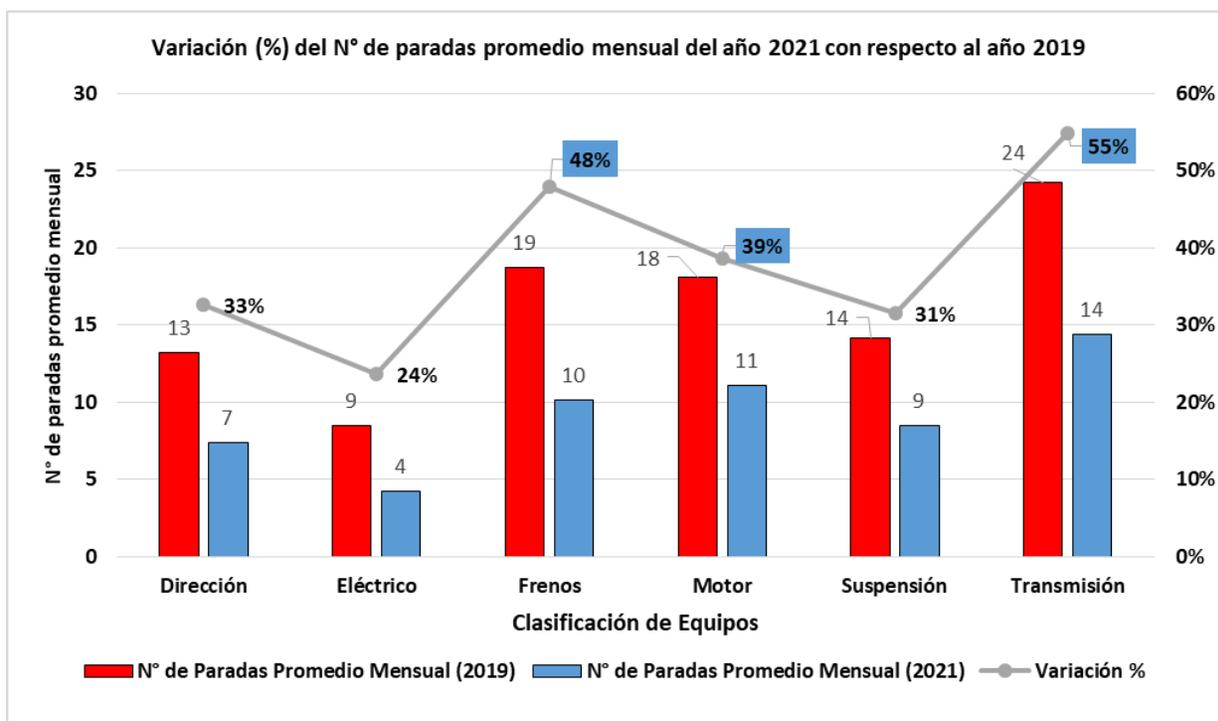
En la figura 114, se tiene un resumen del costo total anual generado por la indisponibilidad mecánica vehicular, en donde se muestra una disminución significativa de los costos en los primeros 8 meses del año 2021 con respecto a los costos anuales de los años 2019 y 2018.

que es de \$ 4500 a \$ 8500 por mes.

A continuación, en la figura 116 se presenta un resumen comparativo de los resultados del número de paradas promedio mensual del año 2019 y 2021.

Figura 116

Variación (%) del N° de paradas promedio mensual del año 2021 con respecto al año 2019



Nota. Elaboración Propia.

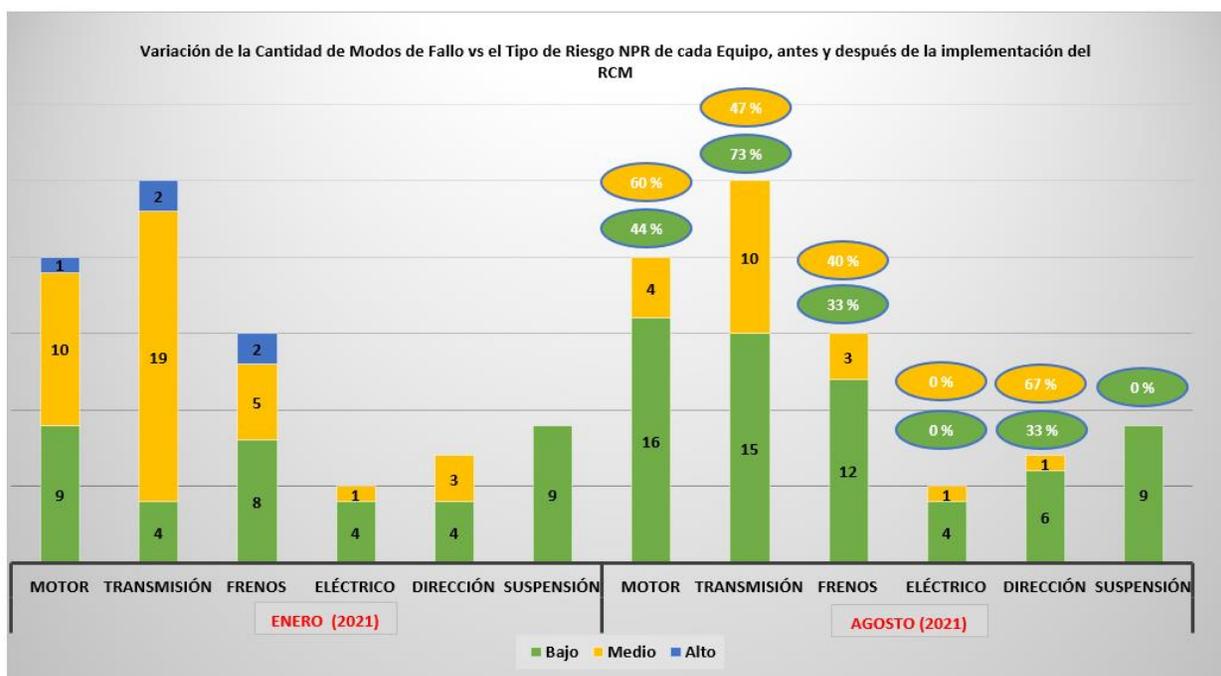
En la figura 116 se compara específicamente la variación de los resultados del 2019 y 2021. Es así que, se observa que los equipos con mayor número de paradas promedio mensuales en el año 2019 fueron el de transmisión, motor y frenos. Por otro lado, el número de paradas mensuales de estos 3 equipos en lo que va el año 2021, han mejorado significativamente, mostrando los siguientes resultados: el equipo de transmisión ha disminuido sus paradas promedio mensual en un 55% con respecto al año 2019, el equipo de motor ha disminuido sus paradas promedio mensual en un 39% y el equipo de frenos ha disminuido sus paradas promedio

mensual en un 48%. Por otro lado, los demás equipos como el de dirección, eléctrico y suspensión han logrado disminuir sus paradas promedio mensual en 33%, 24% y 31% respectivamente.

A continuación, en la figura 117 se presenta un gráfico comparativo de la variación de la cantidad de modos de fallo vs el tipo de riesgo NPR de los equipos, antes y después de las mejoras implementadas.

Figura 117

Variación de la Cantidad de Modos de Fallo vs el Tipo de Riesgo NPR de cada equipo, antes y después de la implementación del RCM



Nota. Elaboración Propia.

La figura 117 nos muestra cómo ha variado porcentualmente la cantidad de modos de fallos por equipo, antes y después de implementar las mejoras propuestas en la investigación. El equipo de transmisión presenta un aumento del 73% del tipo de riesgo bajo y un decrecimiento del 47% del tipo de riesgo medio. También, se tiene al equipo de motor, el cual tiene un aumento del 44% del tipo de riesgo bajo y un decrecimiento del 60% del tipo de riesgo medio. Asimismo, el equipo de freno tiene un crecimiento del 33% con respecto al tipo de riesgo bajo y un decrecimiento del 40% del tipo de riesgo medio. Por último, se demuestra que la variación de la frecuencia de los tipos de riesgos antes y después de las mejoras implementadas, tienen un impacto positivo sobre el indicador.

Capítulo VIII: Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Conclusiones

En primer lugar, al analizar los resultados obtenidos con respecto al indicador de Disponibilidad de Unidades Vehiculares, se concluye que en los primeros 8 meses de implementación de las mejoras propuestas, con respecto a la disponibilidad de unidades vehiculares, se ha obtenido como resultado un incremento promedio del 6% con respecto al año 2019, incrementándose este indicador del 86% al 92%.

Es importante mencionar, que la disponibilidad ganada en las unidades vehiculares, no solo se debe a la implementación de la metodología del RCM, sino también a las propuestas señaladas en los objetivos específicos, que complementan la solución de la problemática principal desde el punto de vista de procesos de control y planificación en el área de mantenimiento y logística. Por último, se logra el cumplimiento de la meta del indicador, manteniéndose en los últimos meses en el rango del 90% - 95%.

En segundo lugar, con respecto a los resultados del indicador Costos de Indisponibilidad Vehicular, se concluye que las implementaciones de las mejoras han tenido un efecto positivo sobre la disponibilidad de unidades vehiculares y en consecuencia, en la disminución del indicador Costos por Indisponibilidad Vehicular, el cual nos muestra como resultado una ganancia de \$ 42, 624 en los primeros 8 meses desde que se implementaron las mejoras y con tendencia a seguir mejorando. Asimismo, se ha logrado llegar a la meta del indicador propuesto ya que, los resultados obtenidos mensualmente en el año 2021 son de \$ 9,776, \$ 8,162, \$ 7,754, \$ 7,014, \$ 5970, \$ 7076, \$ 5479 y \$ 6,240 los cuales se encuentran en el rango de la meta del indicador Costos de Indisponibilidad Vehicular que es de \$ 4,500 a \$ 8,500 por mes.

Por esta razón, se concluye que las hipótesis de los objetivos 1 y 2 son verdaderas, ya que

la implementación de procedimientos de mantenimiento y procedimientos logísticos han logrado incrementar la disponibilidad de las unidades vehiculares y reducir los costos de indisponibilidad vehicular, ya que los procesos implementados han logrado mejorar los tiempos de reparación, la calidad de las reparaciones y la planificación del abastecimiento de repuestos por el área de logística.

En tercer lugar, el objetivo de determinar que indicadores de gestión se deben implementar para mejorar la disponibilidad de los vehículos, se concluye que la investigación propone los 4 indicadores desarrollados que aportan de forma integral a la mejora de la disponibilidad de las unidades vehiculares ya que, con ellos se logra monitorear la situación actual y la toma de decisiones operativas que impactan en las horas disponibles de los vehículos, en los costos que genera no tener operativa las unidades, en las fallas por equipo, y en la frecuencia del tipo de riesgo. Asimismo, se propone 3 indicadores a mediano plazo, como la Confiabilidad, el MTTR y el MTBF, cuando se logre un mejor control de la información operacional.

Con respecto a los resultados que se han mostrado del indicador Número de Paradas Promedio Mensual por Equipo, se concluye que el equipo de transmisión, motor y frenos, que son los 3 principales equipos con mayores problemas de funcionamiento mecánico, han logrado reducir su número de paradas promedio mensual en los primeros 8 meses del año 2021 en un 55%, 39% y 48% respectivamente.

Por último, los resultados expuestos en relación con el indicador Frecuencia del Tipo de Riesgo del NPR por Equipo, son bastante positivas con respecto a los 3 equipos (Transmisión, Motor y Frenos) que presentaron una mayor frecuencia de tipo de riesgo, obteniendo así un incremento del 73% del tipo de riesgo bajo en el equipo de transmisión, en el equipo de motor se

obtuvo un incremento del 44% del tipo de riesgo bajo y en el equipo de frenos se obtuvo una mejora del 33% en el tipo de riesgo bajo. Asimismo, todos los equipos del vehículo tuvieron una frecuencia del tipo de riesgo bajo mayor o igual al 60%, lo cual indica el cumplimiento del indicador propuesto.

Por consiguiente, se concluye que la hipótesis del objetivo 3 es verdadera, ya que la implementación de indicadores de gestión ha logrado incrementar la disponibilidad de las unidades vehiculares en la empresa.

En cuarto lugar, se concluye que la capacitación es una herramienta muy importante que nos ha ayudado a mejorar el rendimiento de los técnicos mecánicos en los temas de uso de herramientas de diagnóstico, las cuales ayudan a realizar reparaciones más eficientes en los diferentes equipos del vehículo y así evitar reprocesos y malas reparaciones, generando una mayor disponibilidad mecánica. Asimismo, se trabajó en capacitaciones de procesos de soldadura, lo cual ayudó al área a ahorrar tiempos de reparación, ya que se ha dejado de tercerizar estos servicios de soldadura. Por último, hay que tener en cuenta que la capacitación es una inversión que se recupera a través de los años, la cual, junto a las demás actividades implementadas, está contribuyendo de forma integral en la mejora de la disponibilidad de las unidades vehiculares, porque a través de un mejor diagnóstico, se está logrando disminuir los tiempos de reparación y la frecuencia de fallas de las unidades vehiculares.

En quinto lugar, se concluye que el análisis costo-beneficio elaborado en base a las variables de Costos de Indisponibilidad de las Unidades Vehiculares, Costos de Mano de Obra y Costos de Repuestos Utilizados, se ha obtenido un beneficio de \$ 42,694.00, \$ 17,788.51 y \$ 49,080.00 respectivamente. Asimismo, se ha logrado disminuir un total de 1898 mantenimientos en los primeros 8 meses del 2021. También, las horas de mano de obra en tareas

de mantenimiento han disminuido en 7,060 horas y la cantidad de repuestos despachados al taller automotriz han disminuido en 2,763 piezas. Por último, el beneficio total que se ha obtenido implementando el plan de mantenimiento en base a la metodología del RCM y a las actividades propuestas en los objetivos específicos, han logrado generar un beneficio aproximado de 109,562.51 dólares en los primeros 8 meses del año 2021.

Por lo tanto, ante todo lo expuesto anteriormente se concluye que la hipótesis general es verdadera, ya que la mejora del plan de mantenimiento realizado en la empresa ha incrementado la disponibilidad de las unidades vehiculares.

8.2. Recomendaciones

El plan de mantenimiento obtenido mediante la metodología del RCM, es la base principal para poder ejecutar o desarrollar las actividades de mantenimiento, pero estas actividades están sujetas a cambios o adaptaciones, de acuerdo con las necesidades del área de mantenimiento. Es decir, si en la búsqueda de la mejora continua, encontramos nuevas partes mantenibles, equipos o sub-equipos que pueden ser incluidas en la metodología del RCM, siguiendo los pasos descritos en esta investigación.

Se recomienda además continuar con la medición y recopilación de la información de los resultados de acuerdo con la periodicidad establecida en las fichas técnicas de los indicadores propuestos. Después de una nueva validación al finalizar el año 2021, en términos de sus resultados de Disponibilidad de Unidades Vehiculares, Costos de Indisponibilidad Vehicular, Número de Paradas Promedio Mensual por Equipo y Frecuencia del Tipo de Riesgo del NPR por Equipo, se recomienda desarrollar e implementar la metodología del RCM en el sistema del Bus Hyundai County, en base a la técnica de criticidad desarrollada anteriormente.

Cuando exista un mejor control de la información, se debe implementar el indicador Índice de Confiabilidad como complemento del indicador de Disponibilidad de Unidades Vehiculares. Dicho indicador, se encuentra en las fichas técnicas de los indicadores de gestión propuestos anteriormente, así como sus indicadores complementarios MTTR y MTBF.

Referencias

- Aguilar Otero, J., Torres Arcique, R., & Magaña Jiménez, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 25, 15-26. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/49598317>
- Alvarez Armijos, H., & Tello Ordoñez, J. (2020). *Propuesta de un plan de mantenimiento mediante un análisis de criticidad de fallos para vehículos de categorías L, M, N y maquinaria pesada de la prefectura del Azuay (Tesis de Pregrado)*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca.
- Anticona Flores, A. (2018). *Six Sigma en la Calidad del Servicio de Mantenimiento de Camiones Iveco, Empresa Motored S.A (Tesis Posgrado)*. Universidad Nacional del Callao, Lima.
- Aslalema Lara, A. (2018). *Control de Calidad y Aplicación de la Metodología Six Sigma en un Taller de la ciudad de Ibarra (Tesis de Pregrado)*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Asociación Automotriz del Perú. (2020). *Informe del Sector Automotor 2020*. Obtenido de Asociación Automotriz del Perú: <https://aap.org.pe/>
- Berger Vidal, E., Núñez Ramírez, L., & Yarín Achachagua, A. (2014). Análisis de la confiabilidad del sistema de molienda en una planta concentradora, basado en la criticidad. *Industrial Data*, 17, 56-64. doi:<https://doi.org/10.15381/idata.v17i1.12033>
- Bestratén Belloví, M., Orriols Ramos, R., & Mata París, C. (2004). *Guía de Buena Practica: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE*. Madrid: Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales.
- Campos López, O., Tolentino Eslava, G., & Toledo Velázquez, M. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) considerado taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23, 51-59. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61458265006>
- Caparachín Flores, F., & Santa Cruz Tineo, E. (2019). *Propuesta para mejorar la eficiencia en el servicio de reparación de averías de vehículos ligeros del sector automotriz, utilizando herramientas Lean Manufacturing (Tesis de Pregrado)*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.

- Car, Z., Grković, V., Šikulec, L., & Petrovic, Z. (2014). Implementation of the RCM Methodology on the Example of City Waterworks. *VIII International Conference Heavy Machinery-HM 2014*, (págs. 69-78). Zlatibor.
- Carrasco Díaz, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.
- Carrasco Quispe, N. (2018). *Implementación de un nuevo plan de mantenimiento preventivo para la flota de camiones mineros - Mina Shougang. (Tesis Pregrado)*. Universidad Nacional del Callao, Lima.
- Castro Perez, E. (2019). *Análisis de confiabilidad como herramienta para mejorar la gestión de mantenimiento preventivo de los equipos de embarcaciones con una capacidad de bodega de máximo 100 toneladas de la pesquera Exalmar S.A.A (Tesis Posgrado)*. Universidad Nacional del Callao, Lima.
- Cayo Osorio, N. (2015). *Plan de mantenimiento preventivo y predictivo para la flota de vehículos de la empresa Aneta de Cantón Quevedo. (Tesis Pregrado)*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.
- Chimbo Naranjo, C. L. (2017). *Mejoramiento de calidad en el proceso Toyota Customer Service Workshop Management mediante Kaizen en el área de mecánica automotriz del taller de Importadora Tomebamba S.A Quito (Tesis de Postgrado)*. Universidad de las Américas , Quito.
- Cruz Huayhua, M. A., & León Sánchez, J. A. (2018). *Análisis y Propuesta de Mejora para la Reducción de los Fallos del Proceso de Mantenimiento Preventivo Aplicando la Metodología Six Sigma - Caso Maquinarias S.A. (Tesis de Pregrado)*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Delgado Ramirez, L. (2014). *Desarrollo del plan de mantenimiento para la flotilla de camiones de Gaseosas Colombianas SA (Postobón) basado en la técnica de confiabilidad (CRM) (Tesis de Pregrado)*. Universidad Libre, Bogota.
- Departamento Nacional de Planeación de Colombia . (2018). *Guía para la Construcción y Análisis de Indicadores*. Bogotá.
- Durand Delgado, D. (2018). *Propuesta de mejora para disminuir los tiempos de paradas no programadas de los buses en una empresa de transporte público a través de la metodología RCM y un mantenimiento auntonomo. (Tesis Pregrado)*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.

- Garay Chafloque, J. (2018). *Implementación de un plan de mantenimiento total para mejorar la operatividad de flota de volquetes en municipalidad distrital de Pimentel. (Tesis Pregrado)*. Universidad César Vallejo, Lima.
- García Garrido, S. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. Madrid, España: Diaz de Santos.
- Guardia Villanueva, G. (2017). *Programa de herramientas de mejora aplicado a un taller mecánico de autos de lujo. (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.
- Hinestroza Balanta, L. (2015). *Diseño de Programa de Mantenimiento Productivo Total para el Área de Mantenimiento de la empresa Transportadora de Carga Tractocarga LTDA (Tesis de Pregrado)*. Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, Santiago de Cali.
- Huancaya Mena, C. (2016). *Mejora de la disponibilidad mecánica y confiabilidad operacional de una flota cocechadoras de caña de azúcar de 40 t/h de capacidad (Tesis Pregrado)*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (2019). *Informe Anual del Estado de la Protección de los Consumidores en el Perú*. Obtenido de Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual: <https://www.gob.pe/indecopi>
- Li Gálvez, C., & Mescua Rivera, R. (2016). *Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo abierto. (Tesis Pregrado)*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Li Galvez, C., & Mescua Rivera, R. (2016). *Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo abierto. (Tesis Pregrado)*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- López Roldán, P., & Fachelli, S. (2015). *Metodología de la Investigación Social Cuantitativa*. (U. A. Barcelona, Ed.) Barcelona, España.
- Manzano Vera, M. (2019). *Plan de mejora de procesos de mantenimiento para flota de vehículos pesados. (Tesis Pregrado)*. Universidad Internacional de Ecuador, Guayaquil.

- Mariategui, L. (29 de Mayo de 2019). *El sector Automotriz: retos y tendencias*. Obtenido de RPP Noticias: <https://rpp.pe/columnistas/leandromariategui/el-sector-automotriz-retos-y-tendencias-noticia-1198591>
- Mesa Grajales, D., Ortiz Sánchez, Y., & Pinzón, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia Et Technica*, XII, 155-160. doi:<https://doi.org/10.22517/23447214.6513>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2019). *Informe de Actualización de Proyecciones Macroeconómicas*. Obtenido de Ministerio de Economía y Finanzas: https://www.mef.gob.pe/contenidos/pol_econ/marco_macro/IAPM_2019_2022.pdf
- Montano Vargas, E. (2013). *Gestión del mantenimiento basado en la confiabilidad aplicado para una flota de volquetes de 50 toneladas para acarreo de material en la mina Arasi. (Tesis Pregrado)*. Universidad Nacional del Callao, Callao.
- Moubray, J. (1997). *Realibility - centred Maintenance*. Leicestershire, United Kingdom: Aladon Ltd.
- Mungani, D., & Visser, J. (2013). Maintenance approaches for different production methods. *South African Journal of Industrial Engineering*, 24, 1-13. doi:DOI: 10.7166/24-3-700
- Navárez Olvera, L. (2016). *Aplicación del Sistema 5'S de Calidad para el Mejoramiento de las Áreas de Riesgo del Taller Técnico Automotriz del Centro Técnico Munipal de Guayaquil CTM (Tesis Pregrado)*. Universidad de Guayaquil , Guayaquil.
- Parra, C., & Crespo Marquez, A. (2019). *Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos*. Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento. doi:10.13140/RG.2.2.21197.87524
- Penabad-Sanz, L., Iznaga Benitez, A., Rodríguez Ramos, P., & Cazañas Marisy, C. (2016). Disposición y Disponibilidad como indicadores para el transporte. *Revista de Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(4), 64-73. doi:<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.16118.19522>
- Perez Ortiz, H. (2016). *El impacto de Lean Six Sigma en organizaciones latinoamericanas y sus factores críticos de éxito (Tesis Postgrado)*. Universidad Antropológica de Guadalajara, Guadalajara.

- Rosales Velásquez, R. (2017). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos del área Lavadero Salinas de la empresa Delishell S.A.C. (Tesis Pregrado)*. Universidad San Pedro, Chimbote.
- Rubio Pacheco, W. (2019). *Plan de mantenimiento preventivo para la flota de maquinaria pesada y vehículos administrativos del municipio de Motavita. (Tesis de Pregrado)*. Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, Tunja.
- Sampieri, R. H., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.
- Semanez Olivares, S., & Herrera Machaca, A. (2019). *Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la flota de camiones grúa y grúas telescópicas de una empresa minera en Arequipa. (Tesis Pregrado)*. Universidad Antonio Ruiz Montoya, Lima.
- Villacrés Parra, S. (2016). *Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehículo hidrocleaner Vector M654 de la empresa Etapa EP (Tesis de Postgrado)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Villanueva Arrieta, D. (2018). *Propuesta de Mejora para una Empresa del Sector Automotriz basado en el Modelo EFQM en la Gestión de Calidad (Tesis Pregrado)*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Vittorangeli, A., Parra Márquez, C., & Crespo Márquez, A. (2020). *Aplicación práctica de la técnica: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF) Reliability Centered Maintenance (RCM). Caso de Estudio / Sector Militar: Vehículo Anfíbio a Oruga LVTP-7. Sub-sistema: Transmisión FMC HS-400-3*. Asociación para el desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento. doi:10.13140/RG.2.2.27559.37288