

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**Mejora de plan de mantenimiento preventivo en camiones
recolectores-compactadores de residuos sólidos urbanos
mediante RCM**

Trabajo de Titulación para optar al título de
Ingeniero en MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL.

Alumno:

Sr. Paolo Arancibia Guerra

Profesor Guía:

Mg. Ing. Félix Pizarro Martínez



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Mejora de plan de mantenimiento preventivo en camiones recolectores-compactadores de residuos sólidos urbanos mediante RCM

Nombre del candidato(a): Paolo Alejandro Esteban Arancibia Guerra

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial Vespertino

Campus: Viña del Mar Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, FELIX PIZARRO MARTINEZ, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por (marcar una opción):

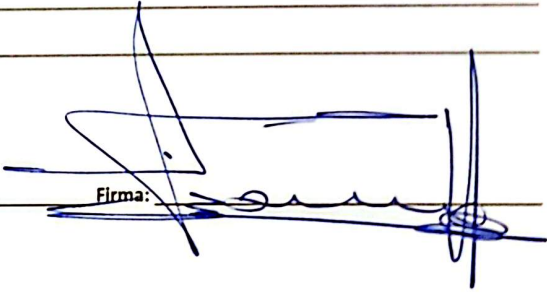
☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 20/08/2026

Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 20/08/2026

Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, Maritza, quien con su amor, paciencia y esfuerzo siempre buscó dar lo mejor de sí para nosotros. Gracias por esperarme todos los días después de clases para conversar un ratito antes de dormir, preguntar cómo me había ido y recordarme que descansara, motivándome a diario a cumplir esta meta.

A mi hermanita, Camila, por ser mi refugio en los momentos de mayor cansancio y por celebrar cada pequeño logro a mi lado; siempre pendiente de en qué podía ayudarme o guiarme en esta etapa universitaria. Siempre has sido un ejemplo a seguir para mí. Ambas fueron mi motor y mi constante apoyo a lo largo de este camino. Gracias por creer en mí, incluso cuando yo mismo dudaba. Este título es tan suyo como mío.

Agradezco también a mi padre, Jaime, quien siempre me expresó su preocupación y apoyo a su manera, motivándome a ser alguien mejor en la vida, a no conformarme, a aprender todo lo que pueda y a disfrutar de esta vida de fierros.

Finalmente, agradezco a las personas que conocí en este camino: a los profesores por las enseñanzas y el conocimiento entregado, compañeros de clase que se volvieron familia compartiendo día a día, y muy especialmente a mi profesor guía, por aceptar acompañarme en este proceso.

RESUMEN

KEYWORDS: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - Mantenimiento preventivo – Disponibilidad – Análisis de falla.

La gestión eficiente del mantenimiento en flotas de camiones recolectores de residuos sólidos urbanos es un factor clave para asegurar la continuidad operacional del servicio y reducir costos asociados a fallas imprevistas. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una propuesta de mejora del plan de mantenimiento preventivo aplicado a una flota de camiones recolectores-compactadores mediante la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Centered Maintenance, RCM).

La investigación se desarrolló a partir del análisis histórico de fallas registradas en la flota, identificando los sistemas más críticos y evaluando indicadores de mantenimiento tales como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y la disponibilidad operativa. Posteriormente, se aplicó la metodología RCM para identificar funciones del sistema, fallas funcionales, modos de falla y sus respectivas consecuencias, permitiendo establecer estrategias de mantenimiento más adecuadas para los componentes críticos del camión recolector.

Como resultado del estudio se propone un plan de mantenimiento preventivo optimizado que incorpora tareas de mantenimiento basadas en la confiabilidad del sistema, priorizando aquellos elementos cuya falla genera mayor impacto en la operación del servicio de recolección de residuos. La propuesta permite mejorar la disponibilidad de los vehículos, optimizar los tiempos de intervención y contribuir a una gestión más eficiente del mantenimiento de la flota.

Finalmente, se concluye que la aplicación de metodologías basadas en confiabilidad, como el RCM, constituye una herramienta efectiva para mejorar la planificación del mantenimiento en flotas de vehículos de servicio urbano, permitiendo reducir fallas operacionales y mejorar la continuidad del servicio.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	10
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
CAPÍTULO 1: CONTEXTO Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	12
1. CONTEXTO OPERACIONAL	13
1.1. IMPORTANCIA DEL SERVICIO DE ASEO EN LA GESTIÓN MUNICIPAL	13
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA FLOTA Y MANTENIMIENTO	14
1.3 VARIABLES DE ESTUDIO.....	19
1.4 DIAGNOSTICO ACTUAL DE VARIABLES.....	21
1.5 SELECCIÓN DEL ACTIVO CRÍTICO	23
1.6 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS SISTEMAS.....	34
CAPÍTULO 2: DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CON RCM.	38
2 MARCO TEÓRICO RCM:.....	39
2.1 CONTEXTO OPERACIONAL SEGÚN NORMA SAE JA1011/1012.....	39
2.2 DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES	42
2.3 IDENTIFICACIÓN DE FALLAS, EFECTOS Y CONSECUENCIAS.....	44
2.4 EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE FALLA	45
2.5 ACCIONES DE MANTENIMIENTO.....	50
2.6 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO.....	53
CAPITULO 3: VALIDACIÓN TÉCNICA Y PROYECCIÓN DE RCM.....	60
3. VALIDACIÓN TÉCNICA.	61
3.1 ANÁLISIS DE REDUCCIÓN DE MODOS DE FALLA CRÍTICO	61
3.2 PROYECCIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD Y MANTENIBILIDAD.	67
3.3 ANÁLISIS DE CARGA DE TRABAJO HH Y FACTIBILIDAD.	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFIA.....	75
ANEXOS	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Grafico de producción de residuos, Valparaíso.	14
Figura 2: Vista aérea Maestranza Municipal.....	17
Figura 3: Pauta de mantenimiento preventivo actual.	18
Figura 4: Camión crítico VW Constellation 17280.....	26
Figura 5: Sistema eléctrico camión	28
Figura 6: Sistema neumático de un camión.....	29
Figura 7: Sistema de refrigeración de motor.	30
Figura 8: Sistema de frenos de tambor en camiones	31
Figura 9: Sistema de transmisión de un camión.	32
Figura 10: Sistema de suspensión delantero MB Atego 2019.....	33
Figura 11: Sistema compactador McNeilus.....	33
Figura 12: Sistema PTO MB Atego 2019	34
Figura 13: Recorrido ruta servicio de aseo Montedónico.....	40
Figura 14: Matriz 3x3 riesgo cualitativo	47
Figura 15: Diagrama de decisión.....	51
Figura 16: Pauta Mantenimiento MT-01.....	55
Figura 17: Pauta Mantenimiento MT-02.....	56
Figura 18: Pauta Mantenimiento MT-03.....	57
Figura 19: Pauta Mantenimiento MT-04.....	58
Figura 20: Pauta Mantenimiento MT-05.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Desglose flota municipal.	15
Tabla 2: Desglose flota departamento de Aseo.	19
Tabla 3: Frecuencia de falla equipos críticos.	23
Tabla 4: Criterios y ponderación de matriz de criticidad cuantitativa del activo crítico.	24
Tabla 5: Matriz de criticidad activo crítico.	25
Tabla 6: Análisis activo crítico.	25
Tabla 7: Fallas Semestre 2025.	27
Tabla 8: Criterios y ponderación de matriz de criticidad de los sistemas.	35
Tabla 9: Matriz de criticidad sistema crítico.	36
Tabla 10: Análisis de criticidad sistema crítico.	36
Tabla 11: Fallas funcionales y modos de falla de Sistema Eléctrico.	45
Tabla 12: Efectos y consecuencias sistema eléctrico.	49
Tabla 13: Modos de falla críticos riesgo cualitativo.	49
Tabla 14: Modos de falla críticos riesgo cuantitativo.	50
Tabla 15: Hoja de decisión Sistema Eléctrico.	52
Tabla 16: Acciones de Mantenimiento sistema eléctrico.	53

A. SIMBOLOS

cm	:	centímetro
cm ³	:	centímetro cúbico
m	:	metro
m ³	:	metro cuadrado
ha	:	hectárea
kg	:	kilogramo
kg/hora	:	kilogramos por hora
t	:	tonelada
kW	:	kilowatt
A	:	amper
V	:	volt
°C	:	grado Celsius
km	:	kilómetros
km ²	:	kilómetros cuadrados
hp	:	caballo de fuerza
Nm	:	newton-metro
Hr	:	hora
Bar	:	Bar

B. SIGLAS

RCM	:	Reliability Centered Maintenance
MCC	:	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
MTBF	:	Tiempo Medio entre Fallas
MTTR	:	Tiempo Medio de Reparación
FMECA	:	Análisis del modo, efecto y criticidad de la falla.
CTR	:	Consecuencia Total por Riesgo
ONU	:	Organización de las Naciones Unidas
PTO	:	Power Take-Off
SAE	:	Society of Automotive Engineers
SHA	:	Seguridad, higiene y ambiente.

INTRODUCCIÓN

En el contexto de los servicios urbanos, la recolección de residuos sólidos constituye una actividad esencial para el funcionamiento de las ciudades y el bienestar de la población. Este servicio depende en gran medida de la disponibilidad y confiabilidad de las flotas de camiones recolectores, los cuales operan bajo condiciones de alta exigencia, caracterizadas por ciclos frecuentes de arranque y detención, exposición a ambientes agresivos y cargas variables. Estas condiciones aceleran el desgaste de los componentes y aumentan la probabilidad de fallas en los sistemas críticos de los vehículos. En Chile, según la Estrategia Nacional de Residuos Sólidos (MMA, 2016), las fallas en flotas de recolección representan hasta el 30% de las interrupciones en servicios urbanos, especialmente en comunas costeras como Valparaíso, lo que genera impactos ambientales, económicos y sociales significativos, como retrasos en la recolección y aumento de costos operativos.

En la gestión de este tipo de flotas, el mantenimiento cumple un rol fundamental para asegurar la continuidad operacional del servicio. Sin embargo, en muchos casos los planes de mantenimiento preventivo se diseñan de forma generalizada, basándose en intervalos fijos de intervención y sin considerar la criticidad de los sistemas ni el comportamiento real de fallas de los equipos. Esta situación genera intervenciones poco efectivas, incrementando la ocurrencia de fallas inesperadas, los tiempos de inactividad y los costos operacionales.

Como consecuencia, se observa una disminución en la disponibilidad de la flota, un aumento en los tiempos de reparación y una menor eficiencia en la prestación del servicio de recolección de residuos. En este contexto, surge la necesidad de evaluar el plan de mantenimiento existente e incorporar enfoques que permitan optimizar la gestión del mantenimiento en función de la confiabilidad de los equipos.

Una de las metodologías más utilizadas para este propósito es el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Centered Maintenance, RCM), el cual permite definir estrategias de mantenimiento basadas en las funciones de los sistemas, sus modos de falla y las consecuencias asociadas. Su aplicación facilita la identificación de componentes críticos y la definición de tareas de mantenimiento más efectivas. (Moubray, 1997)

En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una propuesta de mejora del plan de mantenimiento preventivo para una flota de camiones recolectores-compactadores de residuos sólidos urbanos, mediante la aplicación de la metodología RCM, con el fin de aumentar la disponibilidad de los vehículos, reducir la ocurrencia de fallas y optimizar la gestión del mantenimiento.

OBJETIVO GENERAL

Optimizar el plan de mantenimiento preventivo de la flota de camiones recolectores de residuos mediante la aplicación de la metodología RCM, con el fin de incrementar la disponibilidad y confiabilidad operacional de los equipos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado actual del plan de mantenimiento preventivo, identificando sus principales deficiencias en la gestión de fallas y en la disponibilidad de la flota.
- Aplicar la metodología RCM para determinar las funciones, modos de falla y consecuencias de las fallas críticas que afectan el desempeño de los camiones,
- Evaluar técnicamente las mejoras propuestas determinando si es viable aplicarlas en la empresa.

CAPÍTULO 1: CONTEXTO Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD.

1. CONTEXTO OPERACIONAL

La gestión municipal se desarrolla en un entorno complejo que abarca múltiples áreas de servicio orientadas al bienestar de la comunidad. Entre ellas destacan el aseo y ornato, la mantención de infraestructura, la gestión ambiental, el apoyo logístico y la administración de recursos, todas interconectadas para garantizar la continuidad de las funciones públicas. Este contexto operacional exige una coordinación eficiente de departamentos y unidades, así como el uso adecuado de recursos materiales y humanos, con el fin de asegurar seguridad, eficiencia y sostenibilidad en la prestación de servicios. La descripción de este marco permite establecer una base técnica para el análisis de procesos, la identificación de sistemas críticos y la aplicación de metodologías de mejora, como el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), que fortalecen la capacidad de respuesta y optimizan la gestión municipal en su conjunto.

1.1. IMPORTANCIA DEL SERVICIO DE ASEO EN LA GESTIÓN MUNICIPAL

El servicio de aseo urbano constituye uno de los pilares fundamentales en la gestión municipal, contribuyendo directamente a la salud pública, la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida de los habitantes. En el contexto del país, la recolección eficiente de residuos sólidos es esencial para mitigar impactos ambientales, como la contaminación de suelos y aguas, y para promover una economía circular alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, particularmente el ODS 11 sobre ciudades y comunidades sostenibles. En comunas densamente pobladas y con alta actividad turística como Valparaíso, este servicio no solo garantiza la higiene urbana, sino que también soporta el desarrollo económico al preservar la imagen de la ciudad como puerto clave y destino patrimonial.

Para contextualizar este escenario, es relevante destacar que la comuna de Valparaíso es la segunda mayor productora de residuos sólidos en la región, con 133.471 toneladas de residuos sólidos domiciliarios y asimilables (RSDyA) generadas anualmente, lo que representa el 15,97% de la producción regional de residuos, solo por detrás de Viña del Mar (156.684 toneladas anuales) (SUBDERE, 2022). Este volumen significativo exige una operación continua y eficiente, donde cualquier interrupción puede derivar en acumulaciones de basura y sanciones ambientales, afectando directamente el presupuesto municipal y la percepción ciudadana del servicio público.

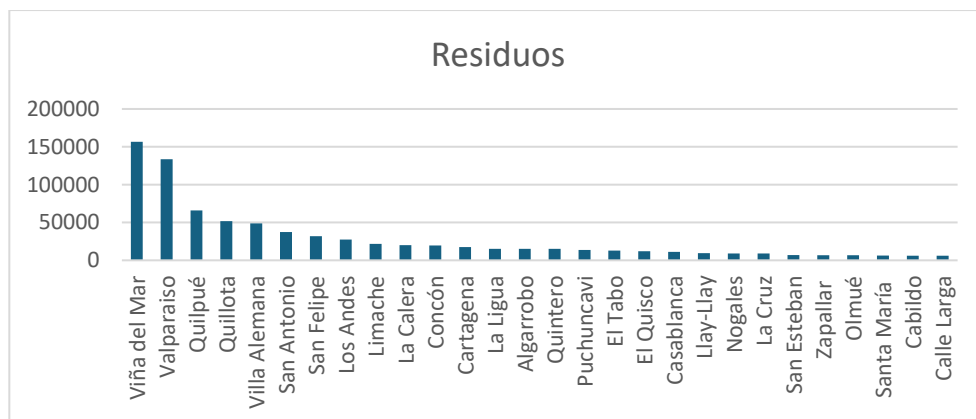


Figura 1: Grafico de producción de residuos, Valparaíso.

Fuente: SUBDERE, 2022.

La importancia de este servicio se acentúa en Valparaíso debido a sus condiciones geográficas únicas: topografía irregular con cerros empinados, exposición constante a la corrosión marina y picos estacionales de residuos durante el verano turístico. Estas características demandan una flota de vehículos robusta y bien mantenida, con una disponibilidad operativa que supere el 85% para evitar impactos en la recolección puerta a puerta y en puntos críticos como el puerto. No obstante, los planes de mantenimiento preventivo genéricos, basados únicamente en las recomendaciones de los fabricantes, han demostrado limitaciones en entornos reales, generando sobre-mantenimiento en componentes menores y subestimación de fallas críticas, lo que incrementa los costos correctivos y reduce la confiabilidad general del sistema.

En este marco, el Departamento de Aseo de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso busca cumplir con la labor de mantener la higiene y el orden en los diversos puntos de la ciudad. Para ello, cuenta con una variedad de servicios, como el retiro de residuos domiciliarios, lavado de calles, operativos de limpieza de microbasurales y otras actividades distribuidas en la comuna. El desarrollo de estas operaciones se basa en la utilización de activos clave, incluyendo camiones recolectores de residuos sólidos urbanos, vehículos menores (como pickups), hidro lavadoras y personal humano especializado.

1.2.DESCRIPCIÓN DE LA FLOTA Y MANTENIMIENTO

La descripción de una flota vehicular constituye un elemento esencial para comprender su estructura operativa y las exigencias de mantenimiento que demanda. Una flota puede estar integrada por distintos tipos de unidades, tales como camionetas, vehículos ligeros, camiones pesados, camiones livianos y maquinaria especializada, cada uno con características técnicas y funciones específicas que contribuyen al cumplimiento de los

objetivos organizacionales. Estos activos se componen de sistemas principales —como el sistema de propulsión, rodado, frenos, transmisión, hidráulico y eléctrico— que interactúan de manera coordinada para garantizar movilidad, seguridad y eficiencia en la operación. La correcta identificación y análisis de dichos sistemas permite establecer criterios de desempeño, reconocer fallas funcionales y aplicar metodologías de gestión de mantenimiento

1.2.1 FLOTA MUNICIPAL

La flota de equipos pertenecientes a la Ilustre Municipalidad de Valparaíso se compone de un conjunto de equipos móviles (vehículos mayores, vehículos menores, maquinaria), los cuales se encuentran repartidos en diversos departamentos de dentro del área operativa, estos se encuentran a disposición a las diferentes necesidades por parte del municipio.

Dentro de los equipos es posible encontrar vehículos mayores tales como camiones recolectores, tolvas, aljibes, ampliroll, multipropósito, pluma, planos y buses, así como vehículos menores considerando camionetas, automóviles, camiones ligeros, también se presenta un área de maquinaria con minicargadores, retroexcavadoras, motoniveladora, rodillo compactador y excavadora. Considerando una cantidad de 120 equipos actualmente registrados.

Tabla 1: Desglose flota municipal.

Tipo de Vehículo	Marca	Año	Cantidad
Camiones pesados	Volkswagen	2007-2018-2019-2020-2022	30
	Mercedes Benz	1994-2006-2029-2018-2019	26
	Freightliner	2015	4
	International	1991	1
Camiones ligeros	Volkswagen	2019	6
	Hyundai	2016-2010	3
	JAC	2025	1
Buses	Mercedes Benz	2008-2012	2
	Higer	2015	1
Vehículo ligeros	Nissan	2007-2019-2020	19
	Hyundai	2009	2
	Kia	2019	7
	Ford	2019	6
	Mitsubishi	2019	2
	Volkswagen	2018	3
Maquinaria	Caterpillar	2012-	3
	Bobcat	2019	4

Fuente: elaboración propia

Estos equipos son distribuidos en base a las necesidades, características y labores realizados por cada departamento que solicita el uso de vehículos.

1.2.2 SERVICIO DE MANTENIMIENTO.

El mantenimiento de la presente flota es realizado de una manera compartida, entre un contrato externo para la sección de vehículos menores con la empresa Comercial Neumaval Ltda. Y la sección Maestranza Municipal, correspondiente al Departamento de Gestión de Flota de la municipalidad, la cual se encarga de las tareas de mantención y planificación de vehículos mayores y maquinaria, Maestranza implementa dos tipos de mantenimiento tanto para vehículos como maquinaria:

- Mantenimiento preventivo:

Se realiza de forma programada para evitar fallas y garantizar que los vehículos estén en óptimas condiciones operativas. Este tipo de mantenimiento se lleva a cabo periódicamente según el tipo de vehículo, de manera semanal o mensual.

- Mantenimiento correctivo:

Se aplica cuando un vehículo sufre una falla inesperada. Este tipo de mantenimiento implica la reparación del equipo una vez que el problema ha ocurrido, por lo que su objetivo principal es restablecer la funcionalidad del vehículo.

Las actividades realizadas por Maestranza son realizadas en las dependencias de la Maestranza Municipal, ubicada al interior del Cuartel Cárcel del Departamento de Aseo, en la calle Osman Pérez Freire #7181.



Figura 2: Vista aérea Maestranza Municipal

Fuente: Google Maps, 2025

Actualmente, la planificación y pautas de mantenimiento preventivo son generados por una oficina técnica en base a información del fabricante y aplicadas a través de una única pauta mantención para los vehículos mayores, la cual puede ser aplicada de manera semanal o mensual según la categoría de vehículo señalada.



PAUTA DE PREVENTIVA

TECNICO: _____
TIPO: _____

FECHA: _____
 N° DE OT: _____
 KM: _____
 HOROMETRO: _____

ITEMS MANT PREVENTIVO MAESTRANZA MUNICIPAL	OK	R	M
VERIFICAR ARRANQUE DE MOTOR			
INSPECCIONAR BORNES DE BATERIA			
VERIFICAR SISTEMA DE CARGA DE BATERIA			
VERIFICAR FUGAS DE ACEITE MOTOR			
VERIFICAR RADIADOR (SUCIEDAD Y FUGAS)			
VERIFICAR FUGAS DE REFRIGERANTE			
VERIFICAR NIVEL REFRIGERANTE (RELLENAR)			
VERIFICAR FUGAS DE COMBUSTIBLE			
VERIF. MANGUERAS (ROCES Y ABRAZADERAS SUELTAS)			
VERIFICAR NEUMATICOS			
TORQUEAR RUEDAS			
VERIFICAR JUEGO DE MASAS			
VERIFICAR JUEGO DE PIBOTES			
VERIFICAR BUJES DE BARRA ESTABILIZADORA			
VERIFICAR BUJES D EBIETA			
VERIFICAR BUJES DE PAQUETES DE RESORTE			
VERIFICAR ESPESOR DE BALATAS DELANTERAS			
VERIFICAR SUJECION DE PAQUETES DE RESORTES			
VERIFICAR MANGUERAS DE INTERCOOLER			
VERIFICAR FUGAS POR CAJA D ECAMBIO			
VERIFICAR JUEGO EN CRUZETAS DE CARDAN			
VERIFICAR ROSES DE TECALANES			
VERIFICAR FUGAS POR VALVULAS DE AIRE			
VERIFICAR BALATAS TRASERAS			
VERIFICAR ESPESOR DE BALATAS TRASERAS			
REGULAR FRENO TRASERO			
VERIFICAR RETENES DE MASA DELANTERO Y TRASERO			
VERIFICAR ACTIVACION DE TOMA DE FUERZA			
VERIFICAR ACTIVACION DE EQUIPO ESPECIAL			
VERIFICAR ESTADO DE FLEXIBLES Y MANGUERAS			
VERIFICAR LUCES DE POSICION			
VERIFICAR LUCES BAJAS (REPARAR)			
VERIFICAR LUCES ALTAS (REPARAR)			
VERIFICAR LUCES DIRECCIONALES (REPARAR)			
VERIFICAR LUCES DE ESTACIONAMIENTO (REPARAR)			
VERIFICAR LUZ DE REVERSA (REPARAR)			
VERIFICAR FUNCIONAMIENTO BOCINA (REPARAR)			
VERIFICAR ARNES DE CABLES (EVITAR ROCES)			
VERIFICAR EQUIPO ESPECIAL TURBINA			

ITEMS MANT PREVENTIVO MAESTRANZA MUNICIPAL	OK	R	M
VERIFICAR FUNCIONAMIENTO MOTOBOMBA			
VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE TOLVA			
VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE PLUMA			
REALIZAR ENGRASE EQUIPO ESPECIAL			
REALIZAR ENGRASE DE CAMION			
VERIFICAR ESTADO DE PARABRIZAS			
VERIFICAR ESTADO DE PARACHOQUE DELANTERO			
VERIFICAR ESTADO PARACHOQUE TRASERO			
VERIFICAR ESTADO DE TAPARRRROS			

OBSERVACIONES CARROCERIA:

OBSERVACIONES DE CAMION:

OBSERVACIONES EQUIPO ESPECIAL:

FIRMA TECNICO ENCARGADO

FIRMA SUPERVISOR DE TALLER

Figura 3: Pauta de mantenimiento preventivo actual.

Fuente: Maestranza Municipal, 2025. Documento interno

Esta pauta es la última actualizada que se encuentra vigente en Maestranza, donde se buscó desglosar un poco más el único mantenimiento preventivo, de manera previa a esta, solamente existía un procedimiento de revisión de aspectos principales; estado de luces, revisión y regulación de frenos, chequeo de niveles y engrase del equipo.

1.2.3 DEPARTAMENTO CRÍTICO: ASEO

El presente estudio se centra en la flota de vehículos del Departamento de Aseo de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso que se compone de un conjunto de activos diseñados para soportar las operaciones diarias de recolección, transporte y limpieza de residuos sólidos en una comuna de aproximadamente 420 km², caracterizada por su geografía compleja y densidad poblacional variable. Cabe destacar, que solamente esta sección abarca un 65% de

las ordenes de trabajo ingresadas en Maestranza, frente al resto de los departamentos presenta una gran demanda para el equipo de mantención. A la fecha de hoy, la flota incluye alrededor de 39 unidades principales, distribuidas en categorías funcionales que cubren desde la recolección primaria hasta el mantenimiento de vía pública. Esta composición refleja la necesidad de versatilidad en un entorno urbano-portuario, donde los vehículos deben operar en condiciones adversas como pendientes pronunciadas, caminos estrechos sin pavimentación y exposición a la salinidad marina.

Estos vehículos operan en un régimen intensivo, con un turno diario de 8 horas, cubriendo rutas de hasta 150 km por unidad, con la posibilidad de extenderse según las necesidades del servicio, donde en muchas ocasiones la baja disponibilidad genera que unidades requieran realizar dos turnos seguidos, exponiendo así al equipo a posibles fallas y generando desgaste prematuro de este.

Tabla 2: Desglose flota departamento de Aseo.

DEPARTAMENTO	CAMIONETAS	CAMIONES	PLANOS	TOTAL
ASEO	4	32	3	39

(Fuente: Elaboración propia)

El principal enfoque del análisis será en el área de vehículos pesados, donde son estos quienes presentan una deficiencia en su mantenimiento y son de carácter crítico para el municipio, no presentan un equipo de reemplazo, su ritmo de trabajo es diario y una falla significa un sector de Valparaíso sin retiro de residuos, los cuales se mantendrán en las aceras u hogares hasta que realice la ruta un camión de reemplazo en su segundo turno o a la vuelta de actividad del camión inoperativo. Cabe destacar, que, a la fecha de hoy, de los 32 camiones recolectores pertenecientes a la flota, tan solo 23 se encuentran en funcionamiento y disponibles para el servicio, es decir, un 71,87% de la flota, 9 equipos presentan fallas de alta gravedad o se encuentran a la espera de repuestos de mayor criticidad que no les permiten operar en condiciones normales.

1.3 VARIABLES DE ESTUDIO

Para evaluar el desempeño de la flota del Departamento de Aseo de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso, se analizan variables clave de confiabilidad y mantenimiento: el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) los cuales son ampliamente utilizados en la ingeniería de mantenimiento para evaluar la confiabilidad

y mantenibilidad de los sistemas (Ebeling, 2010), además añadir la confiabilidad (R) y la disponibilidad (A). Estas métricas, fundamentales en la ingeniería de mantenimiento, permiten identificar ineficiencias operativas y cuantificar el impacto de las fallas en el servicio.

1.3.1 Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)

El MTBF representa el tiempo promedio entre fallas consecutivas, calculado como:

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total disponible} - \textit{Tiempo de inactividad}}{\textit{Numero de paradas}}$$

Con este indicador, es posible analizar qué tan confiable es un sistema, antes que la falla ocurra, lo que permite interpretar si un equipo falla con frecuencia (MTBF bajo) o es más confiable manteniéndose más tiempo sin fallar.

1.3.2 Tiempo Medio de Reparación (MTTR)

El MTTR representa el tiempo medio entre fallas, es decir, cuánto tarda en promedio, un equipo en volver a operar después de una falla, calculándose como:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de reparación}}{\textit{Número de fallas}}$$

La manera de interpretar este indicador consiste en analizar qué tan rápido, fácil y eficiente es reparar un sistema, siendo capaz de analizar la calidad del equipo técnico, identificar cuellos de botella en el proceso de reparación, validar mejoras, entre otras.

1.3.3 Confiabilidad (R):

La confiabilidad se entiende como la probabilidad de que un sistema, componente o equipo cumpla con la función para la que fue diseñado, bajo condiciones operacionales establecidas, durante un período de tiempo determinado. Expresándose de la siguiente manera:

$$R(t) = e^{-\lambda * t} * 100$$

$$e = \textit{Número de Euler}$$

$$\lambda = \textit{Tasa de Fracaso} \quad \lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$t = \textit{Tiempo}$$

Con este indicador es posible prevenir fallos y reducir costos en el área de mantención, mejorar la eficiencia operativa o para definir alguna toma de decisión.

1.3.4 Disponibilidad (A)

La disponibilidad se entiende como la capacidad de un elemento de estar en condiciones de ejecutar una cierta función en un instante dado, o durante un intervalo de tiempo determinado. Considerando tanto los periodos de operación exitosa como los tiempos de inactividad debido a fallos o mantenimiento programado. La disponibilidad se expresa de la siguiente manera:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

Este indicador mide la eficiencia general del activo, sirve como guía para la selección de tareas de mantenimiento, evaluar decisiones estratégicas, reducción de desperdicios o reemplazos prematuros contribuyendo en la sostenibilidad de los activos.

1.4 DIAGNOSTICO ACTUAL DE VARIABLES

A continuación, se analizarán los actuales indicadores para realizar un diagnóstico principal de la situación de la flota:

Se considera la sumatoria de los tiempos requeridos por la flota, es decir, la sumatoria de los 32 equipos analizados para los tiempos total disponible, tiempo de inactividad y la cantidad de paradas por mantención correctiva.

1.4.1 MTBF de la flota:

$$MTBF = \frac{\sum(\textit{Tiempo total disponible} - \textit{Tiempo de inactividad})}{\sum \textit{Numero de paradas}}$$

$$MTBF = \frac{(39936 \text{ [Hr]} - 12609.46 \text{ [Hr]})}{969 \text{ [Fallas]}} = 15.19 \text{ [Hr]}$$

Los camiones presentan fallas con bastante frecuencia. Esto indica que, en promedio, cada vehículo opera apenas unas 15 horas antes de sufrir una avería correctiva.

1.4.2 MTTR de la flota:

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tiempo total de reparación}}{\sum (\text{Número de fallas})}$$

$$MTTR = \frac{12609.46 \text{ [Hr]}}{969 \text{ [Fallas]}} = 13.01 \text{ [Hr]}$$

El tiempo de reparación es casi tan largo como el tiempo de operación entre fallas. Esto genera un ciclo poco eficiente: mucho tiempo detenido en comparación con el tiempo útil.

1.4.3 Confiabilidad

$$R(t) = e^{-\lambda * t} * 100$$

e = Número de Euler

$$\lambda = \left[\frac{1}{15.19} \right] = 0.06583 \quad \lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$t = \text{Tiempo} = 8 \text{ [Hr]} \text{ por turno}$$

$$R(t) = e^{-0.06583 * 8 \text{ [hr]}} * 100 = 59.06\%$$

La probabilidad de que un camión complete un turno de 8 horas sin fallar es apenas superior al 50%. Esto implica un riesgo operativo significativo en la planificación de rutas.

1.4.4 Disponibilidad

$$A = \frac{15.19}{15.19 + 13.01} * 100 = 53.85\%$$

Los vehículos están disponibles para operar poco más de la mitad del tiempo. Esto afecta directamente la productividad de la flota y la capacidad de cumplir con la demanda.

1.4.5 Análisis de variables

La flota muestra baja confiabilidad y disponibilidad, con un equilibrio desfavorable entre operación y reparación. En términos prácticos, los camiones pasan casi tanto tiempos detenidos por fallas como en operación, lo que limita seriamente la eficiencia y la capacidad de respuesta.

Esto sugiere que se requiere una estrategia de mantenimiento más robusta (mayor énfasis en mantenimiento preventivo y predictivo), junto con una evaluación de renovación

de unidades o mejoras en la logística de reparación, para elevar tanto el MTBF como la disponibilidad.

1.5 SELECCIÓN DEL ACTIVO CRÍTICO

En el proceso de determinación del activo crítico , se tomará en cuenta 5 unidades que tengan la mayor cantidad de detenciones no programadas, de las cuales una (la más crítica) será tomada en cuenta para la generación de la propuesta de mejora al plan de mantenimiento preventivo actual, este filtro es seleccionado en base a la consideración que la flota presentada posee similares características y operación, lo que conlleva que genere fallas similares debido a su labores, de esta forma, considerando activos que presenten mayores fallas es posible analizar un marco más amplio de modos de falla y generar en base a eso acciones de mantenimiento adecuadas.

Tabla 3: Frecuencia de falla equipos críticos.

PATENTE	MODELO	AÑO	FRECUENCIA DE FALLA
KBTP31	Mercedes Benz Atego 1729	2018	56
LYTL67	Volkswagen Constellation 17280	2020	58
LYTL68	Volkswagen Constellation 17280	2020	45
LYTL69	Volkswagen Constellation 17280	2020	87
HBGP73	Freightliner M2 106	2015	73

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el equipo a estudiar, se realizará una matriz de criticidad cuantitativa, considerando los siguientes criterios:

Tabla 4: Criterios y ponderación de matriz de criticidad cuantitativa del activo crítico.

Símbolo	Criterio	Desglose	Escala	Significado
P	Probabilidad de falla	Frecuencia de averías en el ultimo año (número de paradas no programadas en base a historial de falla del equipo)	1	Poca probabilidad
			2	Baja probabilidad
			3	Media probabilidad
			5	Alta probabilidad
A	Antigüedad del activo	Años de antigüedad en funcionamiento. Puede señalar el desgaste acumulado y la creciente tendencia a una posible falla.	1	Baja antigüedad
			3	Media antigüedad
			5	Alta antigüedad
MP	Nivel de Mantenimiento Preventivo	Evalua la regularidad y efectividad de las inspecciones y mantenimiento preventivos realizados, enfocandose en si el camión cumple con las rutinas programadas.	1	Alta Asistencia (sin faltas)
			3	Media asistencia (1-2 faltas)
			5	Baja Asistencia (>3 faltas)
S	Riesgo de Seguridad	Numero de incidentes que sean de alta criticidad o podrian haber generado consecuencias de mayor escala debido a la operación	1	Ningun incidente grave
			5	Incidentes graves o sanciones
TR	Tiempo promedio de reparación	Tiempo necesario para volver a la operatividad del activo tras una falla, un activo que presenta fallas de gran criticidad requerirá de mayor tiempo de reparación, lo que implica menor disponibilidad y acciones de sustitución para suplir la baja	1	Corto plazo (0-2 horas)
			3	Medio plazo (2-3 horas)
			5	Largo plazo (3 o mas horas)

Fuente: Elaboración propia.

Consecuencia:

Una falla en un activo provoca:

- Retrasos operativos según gravedad de la falla, aumentando la duración del turno de trabajo de 8 horas en adelante.
- Aumento en consumo de combustible al requerir asistencia a terreno o extender la jornada del servicio para completarlo.
- Descontento social debido al retraso del retiro de desechos domiciliarios de los hogares de la ciudad de Valparaíso.
- Impacto negativo en la higiene y orden de la ciudad, debido a la acumulación de desechos en las calles y posible esparcimiento de basura generado por animales.

1.5.1 Evaluación de la consecuencia:

Para el desarrollo de esta matriz de criticidad, la consecuencia será calculada respondiendo al siguiente modelo matemático:

$$Consecuencia = (P * 0.25) + (A * 0.10) + (MP * 0.25) + (S * 0.3) + (TR * 0.10)$$

Mientras para la Consecuencia Total por Riesgo (CTR) se considerará la fórmula:

$$CTR = C * F$$

Este valor será evaluado para determinar el activo más crítico presente y continuar con nuestro análisis.

Tabla 5: Matriz de criticidad activo crítico.

Análisis de criticidad		Consecuencia		
		Baja	Media	Alta
Frecuencia		2	3	5
Alta	70	140	210	350
Media	50	100	150	250
Baja	30	60	90	150

Fuente: Elaboración propia.

Esta matriz nos permitirá realizar un cruce entre las variables explicadas previamente, con la finalidad de seleccionar el activo crítico ideal para la propuesta de mantención a generar.

Tabla 6: Análisis activo crítico.

Activos del proceso	Frecuencia de falla	Nivel de F.F	P de falla	Antigüedad	Nivel de Mto Preventivo	R. de seguridad	T. Prom reparación	Consecuencia	Nivel de consecuencia	CTR
VW Constellation 17280 LYTL67	58	Media	3	1	1	5	1	2,7	Media	156,6
VW Constellation 17280 LYTL68	45	Bajo	2	1	5	1	5	2,65	Media	119,25
VW Constellation 17280 LYTL69	87	Alto	5	1	3	5	3	3,9	Alta	339,3
Freightliner M2 106 HBG73	73	Alto	5	5	3	1	5	3,3	Alta	240,9
MB Atego 1729 KBTP31	56	Media	3	3	5	1	3	2,9	Media	162,4

Fuente: Elaboración propia.

Una vez aplicada nuestra matriz de criticidad, nos entrega el resultado del equipo más crítico corresponde a un camión recolector Volkswagen Constellation 17280 año 2020 es un camión semipesado diseñado para alto rendimiento, confiabilidad y confort en operaciones exigentes. Equipado con un motor MAN D08 36 280 Biturbo de 6 cilindros y 6.871 cm³, entrega una potencia neta de 275 hp y un torque máximo de 1.050 Nm entre 1.100 y 1.750 rpm, cumpliendo con la norma de emisiones Euro V mediante tecnología EGR, lo que elimina la necesidad de urea y reduce los costos operativos hasta en un 8%. Su transmisión corresponde a una Allison S3000, con 6 velocidades hacia adelante y 1 de retroceso, Esta caja cuenta con PTO (Power Take-Off), lo que permite acoplar equipos auxiliares como un sistema hidráulico-compactador como este caso, bajo una configuración 4x2, equipado con freno de tambor en ambos ejes con sistema ABS en todas sus ruedas.



Figura 4: Camión crítico VW Constellation 17280.

(Fuente: Elaboración propia, fotografía tomada 03/11/2025)

Este equipo en específico a liderado el listado de frecuencias de falla, con 87 fallas en el primer semestre de 2025, sin embargo, presenta un MTTR de 0,66 [Hr], lo que señala que presenta fallas que no consideran grandes tiempos de reparación, pero si una gran variabilidad de fallas a analizar. A continuación, se detallan las fallas transcurridas en el presente año.

Tabla 7: Fallas Semestre 2025.

Sistema	Modo de falla	Frecuencia
Sistema de rodado	Neumatico pinchado	12
	Neumatico desgastado	2
	Llanta golpeada	1
Sistema compactador	Flexible roto	10
	Pasador botella cortado	3
	Manguera suelta	3
Sistema toma de fuerza	Piñon desgastado	3
	Solenoides dañado	2
	Bomba gastada	3
Sistema de freno	Balata gastada	6
	Tambor de freno partido	1
	Flexible pinchado	3
	Regulador de freno atorado	1
Sistema de suspensión	Ballesta fracturada	4
	Perno centro cortado	2
Sistema de refrigeración	Manguera suelta	2
	Manguera pinchada	3
	Radiador roto	1
Sistema electrico	Luz trocha quemada	13
	Alarma retroceso quemada	3
	Correa Acc. Cortada	1
Sistema neumatico	Filtro secador obtruido	1
	Tecalan cortado	5
Sistema de transmisión	Cruceta desgastada	2
Total		87

Fuente: Elaboración propia

1.5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS.

Como se mencionó previamente, los equipos a considerar serán del área de vehículos pesados del departamento de Aseo, esta flota compuesta por 32 equipos de similares características. Camiones producidos entre los años 2015-2020, de un eje de tracción, con una potencia promedio de 280 [hp] y un torque de 1100 [Nm], equipados con cajas de transmisión Allison automáticas. Todos cuentan con una caja de compactación hidráulica de 9 [m³] que es suministrado de presión gracias a una bomba hidráulica de engranes, accionado por una toma de fuerza a través de un eje estriado. Estos equipos presentan diversos sistemas que trabajan entre sí para el correcto funcionamiento de el mismo, y una falla en alguno de estos podría significar la detención temporal del vehículo debido a una incapacidad operacional, a continuación, se describen los sistemas principales donde es posible encontrar fallas:

- Sistema eléctrico

El sistema eléctrico, se encarga de alimentar a todos los componentes eléctricos que posee el camión y que son necesarios para cumplir sus funciones. La base de esto comienza con un par de baterías de 150 [A] con una tensión nominal de 12[V] cada una conectadas en serie para sumar sus voltajes y un alternador de 100[A], las baterías alimentan al motor de arranque para que el motor de combustión interna comience a funcionar y a partir de ahí es el alternador quien alimenta los componentes eléctricos. Si el motor de combustión interna está detenido o el alternador deja de funcionar, las baterías cumplen el rol de entregar energía eléctrica a los componentes, pero llegará un momento en donde se quedarán sin energía, si esto sucede el motor se detendrá, o si está detenido, no volverá a encender. En el tablero de instrumentos es posible observar el voltaje de las baterías, lo que permite monitorear si estas se encuentran cargadas y si el alternador está entregando energía. A continuación, se nombran las

partes del sistema y en la “Figura 3” se observa un esquema que explica en forma sencilla la relación entre los componentes principales.

Piezas: Ampolletas, Alarma de retroceso, baliza, fusibles, relés, interruptores, conectores, correa, etc.

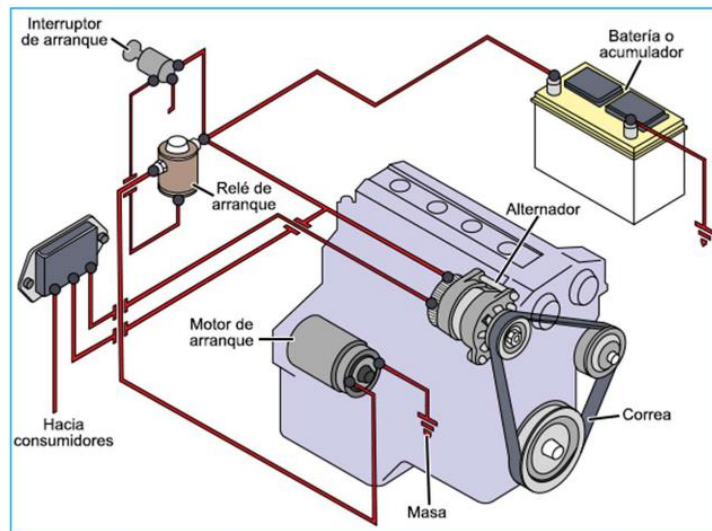


Figura 5: Sistema eléctrico camión

Fuente: Blogmecanicos “¿Conoces el funcionamiento del motor de arranque?”

- Sistema neumático:

El sistema neumático del camión se encarga de suministrar aire a presión a los dispositivos neumáticos que incorpora el vehículo, los cuales son esenciales para realizar sus

diversas operaciones. Estos dispositivos, en su mayoría, operan el sistema de frenos, pero también realizan otras tareas, como suministro a electroválvulas, acoples neumáticos, entre otros. El aire del ambiente es aspirado por un compresor que se activa mediante la energía proporcionada por el motor de combustión interna; este equipo comprime el aire, que luego atraviesa un secador de filtros para eliminar la humedad, y se guarda en depósitos que acumulan la presión necesaria. De allí, se distribuye por todo el camión a través de tuberías, llegando hasta los dispositivos neumáticos. Si el sistema no logra generar suficiente presión, los frenos quedan activados de forma permanente, lo que impide que el camión se desplace. En la “Figura 4” se muestra un diagrama del esquema neumático. Partes: cañerías, válvulas, filtro secador, compresor, gobernador.

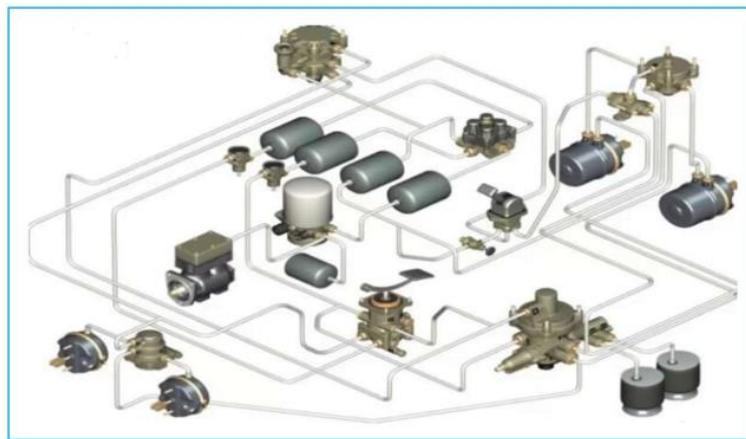


Figura 6: Sistema neumático de un camión

Fuente: Microscopio “Circuito neumático de camión”

- Sistema de refrigeración.

El sistema de refrigeración tiene la función de regular la temperatura operativa del motor, previniendo tanto el sobrecalentamiento como un funcionamiento excesivamente frío, ya que en cualquiera de estas situaciones se dañan los elementos internos del motor, reduciendo su durabilidad. El radiador actúa como un intercambiador térmico donde se reserva el refrigerante enfriado; mientras tanto, el refrigerante que circula por el motor se calienta durante su operación, y el termostato, que es una válvula reguladora, facilita el flujo de fluido entre ambos componentes. Una vez que el refrigerante en el motor llega a 95[°C], el termostato se abre, permitiendo que la bomba de agua (impulsada por una correa) transfiera el líquido desde el radiador al motor, lo que a su vez envía el refrigerante caliente del motor hacia el radiador. Cuando la temperatura desciende a 90[°C], el termostato se cierra nuevamente. Para disipar el calor del fluido, el radiador aprovecha el flujo de aire frontal que impacta contra el camión durante su movimiento, y en su zona trasera cuenta con un ventilador acoplado al eje de la bomba de agua, que ayuda a extraer el exceso de calor. En la “Figura 5” se ilustra un diagrama del sistema y sus componentes principales.

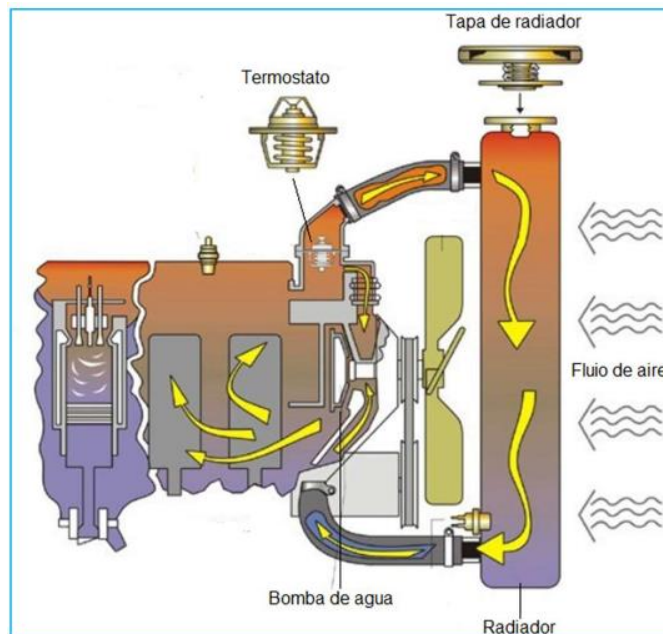


Figura 7: Sistema de refrigeración de motor.

Fuente: GMB “Mantenimiento del sistema de enfriamiento”

- Sistema de rodado:

El sistema de rodadura se refiere a las seis ruedas que emplea el camión para desplazarse, junto con la rueda de reserva. Cada una consta de un rin o aro metálico de acero, que forma el núcleo central de la rueda y desempeña una función estructural esencial, pues es el elemento que se ancla al camión mediante 10 pernos y proporciona el soporte necesario para el neumático. Este último se coloca sobre el rin y es el que mantiene el contacto directo con la superficie del camino, amortiguando en cierta medida sus imperfecciones para garantizar una buena adherencia al terreno, además de contener la presión de aire en su interior.

Estos elementos juegan un papel crucial en la seguridad y la evitación de incidentes, por lo que es fundamental inspeccionarlos de manera regular, verificando tanto su nivel de inflado como el grado de deterioro.

- Sistema de frenos:

Este sistema se encarga de disminuir la velocidad o de detener completamente el vehículo. Los frenos esta flota de camiones son de tambor en ambos ejes, donde la rueda va

apernada al tambor y gira junto a él. Dentro del tambor se encuentran inmóviles las balatas, las cuales se abren al pisar el pedal de freno y generan fricción con el tambor para poder disminuir la velocidad de las ruedas. Con el uso las balatas van sufriendo desgaste, por lo que la distancia entre balata y tambor va aumentando, lo que se soluciona con la regulación de los frenos. Además, es importante evitar su sobrecalentamiento, pues en tal caso se pierde la fricción y la capacidad de frenar. Este sistema está relacionado directamente con la seguridad activa del equipo y la prevención de accidentes, por lo que se debe monitorear periódicamente su estado.

A continuación, se presentan las partes del sistema y en la “Figura 6” un esquema de aquello.

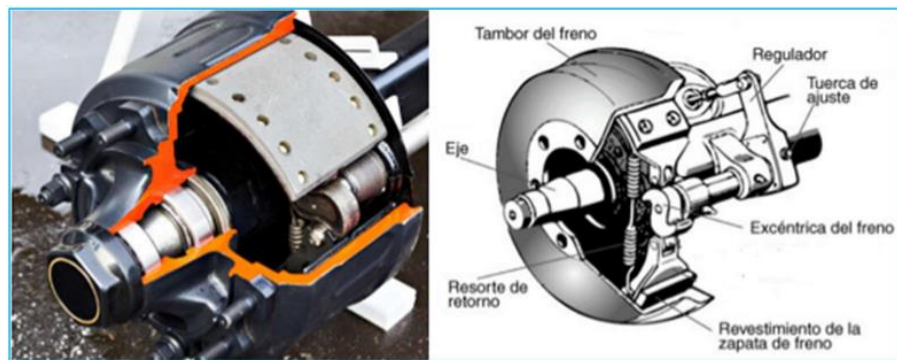


Figura 8: Sistema de frenos de tambor en camiones

Fuente: Alamy “Frenos de tambor camión”

- Sistema de transmisión:

El sistema de transmisión automática en un camión es un conjunto mecánico-hidráulico-electrónico diseñado para transferir la potencia generada por el motor a las ruedas motrices de manera eficiente y sin intervención manual constante del conductor. Su principal función es adaptar la velocidad y el torque del motor a las condiciones de operación del vehículo, como la carga transportada, el terreno o la velocidad deseada, seleccionando automáticamente las marchas adecuadas para optimizar el rendimiento, el consumo de combustible y la durabilidad del motor.

A continuación, se presentan las partes del sistema detalladas en la “Figura 7 “:

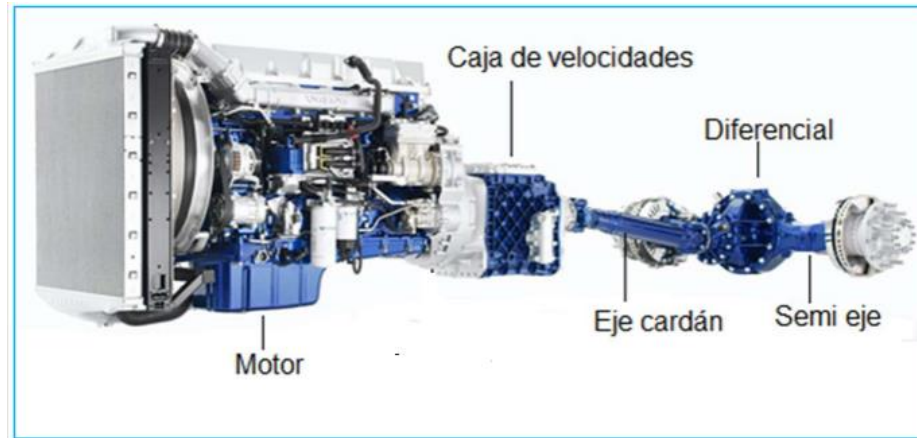


Figura 9: Sistema de transmisión de un camión.

Fuente: Canalmotor7 “Sistema de transmisión”

- Sistema de suspensión:

El sistema de suspensión es el conjunto de partes que se encargan de soportar el peso del vehículo y absorber las irregularidades del camino. El equipo en estudio cuenta con una suspensión de ballestas, barra estabilizadora y amortiguadores. Las ballestas son un elemento elástico que absorbe las irregularidades del camino, sin embargo, al ser elástico se generan oscilaciones que deben ser frenadas, para lograrlo se instalan amortiguadores hidráulicos en donde el intercambio de aceite entre dos cámaras frena la oscilación del elemento elástico. Además, la barra estabilizadora se encarga de mantener ambas ruedas firmes cuando el vehículo gira y tiende a tumbarse. Este sistema además de brindar confortabilidad forma parte de la seguridad activa del vehículo. A continuación, sus partes. Partes: Amortiguadores, ballestas, bujes, barra estabilizadora.

Suspensión Mercedes-Benz Atego 2019

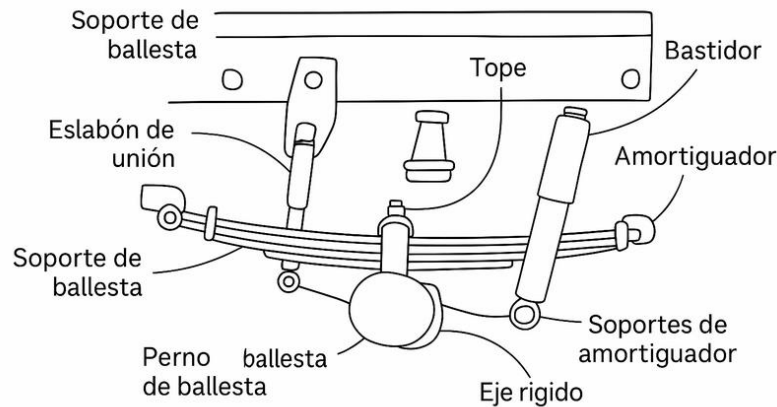


Figura 10: Sistema de suspensión delantero MB Atego 2019.

Fuente: Elaboración propia

- Sistema compactador.

El sistema compactador de los equipos es el conjunto encargado de la compactación y recolección de residuos, donde a través de una bomba hidráulica, suministra presión a través de cañerías, válvulas y flexibles a los diferentes cilindros que actúan en la caja compactadora realizando los movimientos requeridos. Gracias a este sistema, es posible compactar y reducir el volumen de los desechos recolectados para así aprovechar de una manera más eficiente la capacidad de carga de la caja compactadora.

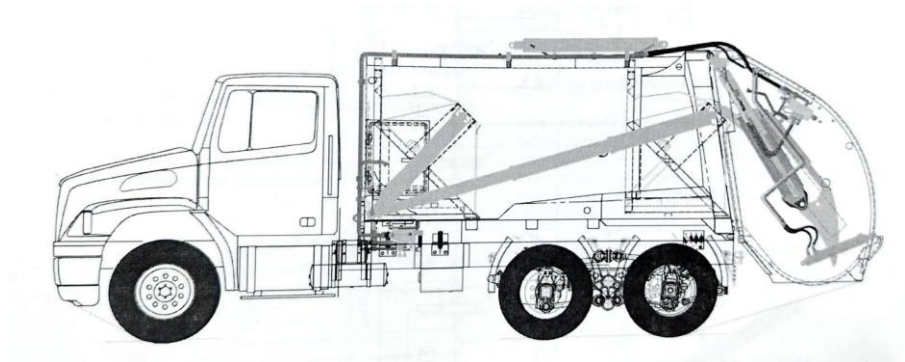


Figura 11: Sistema compactador McNeilus.

Fuente: MTM "Sistema compactador Metro-pack"

- Sistema Toma de fuerza (PTO)

La toma de fuerza o PTO, es un sistema en vehículos como camiones que permite transferir potencia del motor a otros equipos, como bombas, generadores o grúas, esta potencia se extrae directamente de la transmisión y se transmite a través de un eje estriado o piñón de intermediario entre la PTO y el accesorio, este sistema puede ser accionado a través de un interruptor, de manera mecánica, neumática o por una electroválvula. Para este caso, la PTO suministrara potencia a la bomba hidráulica del sistema compactador, a través de un piñón que es accionado de manera electrónica desde un interruptor en cabina.

Partes: PTO, piñón de acoplamiento, solenoide de acoplamiento, piñón de bomba hidráulica.

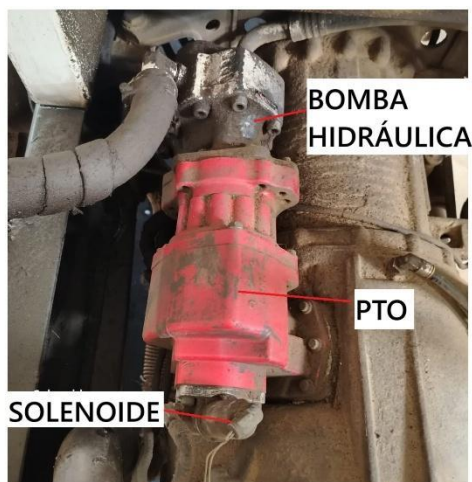


Figura 12: Sistema PTO MB Atego 2019

Fuente: Elaboración propia

1.6 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS SISTEMAS

El presente análisis de criticidad se enmarca en la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), cuyo objetivo es identificar, evaluar y priorizar los sistemas y componentes de un camión compactador en función del impacto que sus fallas pueden generar en la seguridad, operación, medio ambiente y costos.

El camión compactador constituye un equipo esencial para la gestión de residuos sólidos urbanos, por lo que su disponibilidad y confiabilidad son factores determinantes en la continuidad del servicio. Para asegurar estos estándares, se realiza un estudio sistemático de los principales sistemas que lo componen, considerando tanto su función primaria como las funciones secundarias.

Los sistemas señalados previamente se registrarán a través de los criterios de impacto a la producción, seguridad, frecuencia de falla y rapidez de reparación.

Para determinar la jerarquización de los sistemas a estudiar, se realizará una matriz de criticidad cuantitativa, considerando los siguientes criterios:

Tabla 8: Criterios y ponderación de matriz de criticidad de los sistemas.

Símbolo	Criterio	Desglose	Escala	Significado
IA	Impacto a la producción	Se considera como impacto a la producción la cantidad de tiempo inactivo que genera una falla de este sistema, suspendiendo o retrasando la productividad.	1	$T < 1\%$ del tiempo total
			3	$1\% < T < 5\%$ del tiempo total
			5	$T > 5\%$ del tiempo total
S	Seguridad	Bajo el aspecto de seguridad se analizará el riesgo generado por la falla del sistema considerando riesgo de operadores, conductor, entorno y operación.	1	Falla de riesgo menor
			3	Falla con posible daño o lesiones
			5	Falla con consecuencias graves
FF	Frecuencia de falla	Dentro de los aspectos de mantenibilidad, la frecuencia de falla se considera como un criterio importante, ya que nos plantea la constancia de falla, dando la posibilidad de proyectar la falla durante el tiempo.	1	$FF < 2$ en el semestre
			2	$2 < FF < 5$ fallas en el semestre
			3	$5 < FF < 10$ fallas en el semestre
			4	$10 < FF < 15$ fallas en el semestre
			5	$FF > 15$ fallas en el semestre
R	Rapidez de reparación	La capacidad de reparación frente a una falla, considerando el tiempo de detención de producción que genera esta, para este criterio se evaluará el tiempo promedio de reparación (MMTR) de cada sistema.	1	$MTTR < 1$ hora de reparación
			3	$1 < MTTR < 3$ horas de reparación
			5	$MTTR > 3$ horas de reparación

Fuente: Elaboración propia

Consecuencia:

Una falla en un sistema provoca:

- Interrupción de la jornada de producción del activo.
- Aumento del riesgo de operación debido a la falla imprevista.
- Posibilidad de generar la inoperatividad del activo y ser retirado de circulación

1.6.1 Evaluación de la consecuencia:

Para el desarrollo de esta matriz de criticidad, la consecuencia será calculada respondiendo al siguiente modelo matemático:

$$Consecuencia = (IA * 0.3) + (S * 0.3) + (FF * 0.25) + (R * 1.5)$$

Mientras para la Consecuencia Total por Riesgo (CTR) se considerará la fórmula:

$$CTR = C * F$$

Este valor será evaluado para determinar el sistema más crítico presente y tener en consideración para los mantenimientos a proponer.

Tabla 9: Matriz de criticidad sistema crítico.

Análisis de criticidad		Consecuencia		
		Baja	Media	Alta
Frecuencia		2	3	5
Alta	15	30	45	75
Media	10	20	30	50
Baja	1	2	3	5

Fuente: Elaboración propia.

Esta matriz servirá de guía para orientarnos respecto a los sistemas presentados, buscando categorizar la criticidad, a continuación, se añade tabla de análisis de criticidad aplicado en los sistemas.

Tabla 10: Análisis de criticidad sistema crítico.

Sistemas del activo	Frecuencia de falla	Nivel de Falla	I.Producción	Seguridad	F. de Falla	R. de reparación.	Consecuencia	Nivel de cons	CTR
1 Sistema de rodado	15	Alta	3	5	5	3	4,1	Alta	61,5
2 Sistema compactador	16	Alta	5	1	5	3	3,5	Media	56
3 Sistema toma de fuerza	8	Baja	5	1	3	5	3,3	Media	26,4
4 Sistema de freno	11	Media	3	5	4	3	3,85	Alta	42,35
5 Sistema de suspensión	6	Baja	5	5	3	5	4,5	Alta	27
6 Sistema de refrigeración	6	Baja	1	1	3	3	1,8	Baja	10,8
7 Sistema eléctrico	17	Alta	1	1	5	1	2	Baja	34
8 Sistema neumático	6	Baja	3	3	3	3	3	Alta	18
9 Sistema de transmisión	2	Baja	1	3	2	3	2,15	Media	4,3

Fuente: Elaboración propia.

Con los presentes resultados, es posible jerarquizar los sistemas en base a su criticidad de la siguiente manera:

- 1) Sistema de rodado
- 2) Sistema compactador
- 3) Sistema de frenos
- 4) Sistema eléctrico
- 5) Sistema de suspensión
- 6) Sistema toma de fuerza
- 7) Sistema neumático
- 8) Sistema de refrigeración
- 9) Sistema de transmisión.

En base a los presentes resultados, se tomarán medidas de mantención en base a la criticidad de los sistemas presentados. Esto con la finalidad de evitar fallas que podrían tener mayores consecuencias para el activo, tripulación y entorno.

CAPÍTULO 2: DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CON RCM.

2 MARCO TEÓRICO RCM:

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es una metodología que permite definir estrategias de mantenimiento basadas en la función de los activos, los modos de falla que pueden afectarlos y las consecuencias operativas de dichas fallas. Su aplicación en flotas vehiculares, como camiones recolectores, resulta especialmente valiosa, debido a la alta exigencia operativa, la variabilidad de condiciones de trabajo y el impacto directo que las fallas tienen en la continuidad del servicio.

Este capítulo presenta el diseño de un plan de mantenimiento para un camión recolector, utilizando los principios del RCM establecidos en las normas SAE JA1011 y JA1012, que definen los criterios y procedimientos para validar y aplicar correctamente esta metodología. Se incorpora además el análisis FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) como herramienta complementaria para identificar los modos de falla más críticos, evaluar su severidad y priorizar acciones correctivas o preventivas (Smith & Hinchcliffe, 2004).

A través del análisis funcional del camión, la identificación de sus fallas potenciales y la evaluación de sus efectos y consecuencias, se propone una estrategia de mantenimiento integral que combina acciones preventivas, predictivas y correctivas planificadas. El objetivo es mejorar la confiabilidad y disponibilidad del activo, optimizar los recursos técnicos y económicos, y reducir el impacto de las fallas en la operación diaria.

2.1 CONTEXTO OPERACIONAL SEGÚN NORMA SAE JA1011/1012

La norma SAE JA1011 establece los requisitos mínimos que debe cumplir cualquier proceso para ser considerado RCM, en base a esto, la norma señala que cualquier proceso MCC debe asegurarse de responder satisfactoriamente las siguientes siete preguntas y, además, ser respondidas en la siguiente secuencia:

Se establecen los requisitos mínimos que debe cumplir cualquier proceso para ser considerado RCM. Entre sus criterios fundamentales se incluyen:

- a) ¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente (funciones)?
- b) ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?
- c) ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?
- d) ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?
- e) ¿De qué manera afecta cada falla (consecuencias de falla)?
- f) ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de tareas)?
- g) ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible (acciones predeterminadas)?

Para comenzar nuestro análisis, en esta primera etapa se responderá la primera pregunta, la cual tiene como propósito permitir que el usuario identifique las funciones y

estándares de desempeño del activo. Para lograrlo, se dará inicio definiendo su contexto operacional

La norma SAE JA1012 indica en un comienzo que, para dar un contexto operacional de un activo físico, se incluye una descripción global breve de cómo y dónde se utilizara. A continuación, describe:

a) El presente camión recolector realiza un recorrido de lunes a sábado en la comuna de Valparaíso recolectando desechos domiciliarios. En la mañana, comienza su jornada desde el Cerro Florida en la base del Dpto. de Aseo de la I. Municipalidad de Valparaíso “Cuartel Cárcel” a las 06:00 horas, se dirige a cargar combustible para luego comenzar su ruta en el sector de Montedónico, Playa ancha, a las 07:00 horas, una vez finalizada la ruta se dirige al relleno sanitario “El Molle” a las 12:00 horas, donde realiza la descarga de los desechos retirados, para finalizar la jornada retorna a Base “Cuartel Cárcel” a las 13:00 horas.

La ruta realizada tiene una longitud de 50 kilómetros, compuesta principalmente por camino asfaltado dentro de la ciudad y ruta de recolección, mientras que dentro del relleno sanitario y camino a este se presenta camino de tierra propenso a condiciones adversas. Es posible apreciar el recorrido en la siguiente imagen:

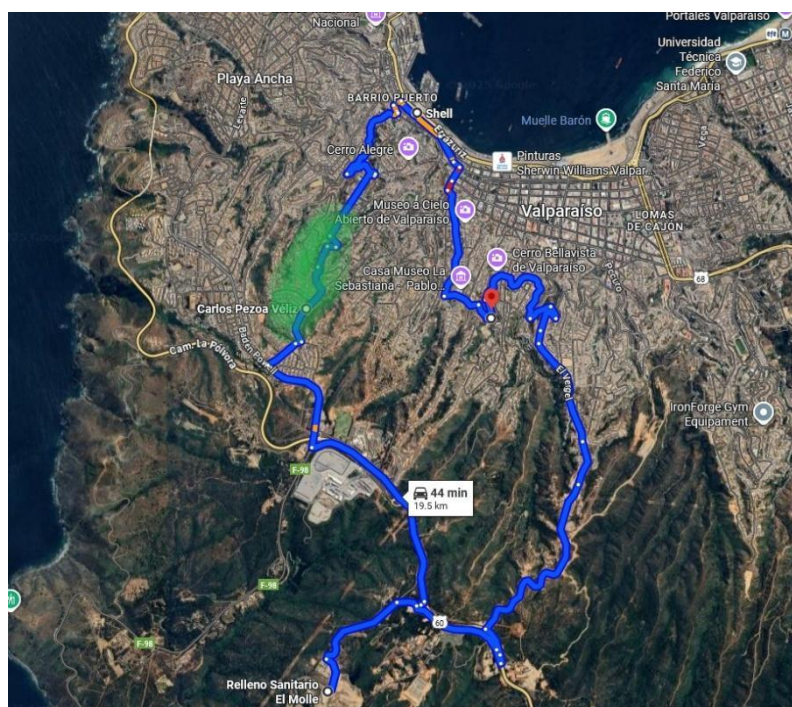


Figura 13: Recorrido ruta servicio de aseo Montedónico

Fuente: Elaborado con Google Maps.

Además, la norma señala que para definir el contexto operacional del equipo se debe informar de los aspectos específicos de este. A continuación, se detallan los siguientes puntos:

A) Proceso fluido o proceso por lotes: el activo se encuentra en un proceso por lotes cíclico, debido a que este trabaja a través de turnos únicos diarios, realizando paradas discretas con ventanas horarias, dentro de estos ciclos se presentan ciclos de carga/descarga, arranques/detenciones frecuentes, compactación y operación urbana variable según la zona.

B) Estándares de calidad: para ver un estándar de calidad del activo es importante entender la función de este, la cual, se entiende como recolectar y compactar residuos domiciliarios en rutas urbanas, con capacidad máxima de 12 m³ por jornada, en un turno de 8 horas, de lunes a sábado, en la comuna de Valparaíso. Además, añadir un análisis de desempeño donde se vea disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, esto debido a que no la calidad no se expresara como un valor universal, más bien como criterios de sus funciones operacionales.

C) Estándares ambientales: el equipo se presenta cumpliendo norma de emisiones Euro V desde fabrica, y en base a su operación se considera que este debe operar cumpliendo normativas de emisiones, ruido y manejo de residuos sin afectar su entorno.

D) Estándares de seguridad: Principalmente el activo debe operar su ruta de recolección sin poner en riesgo la integridad de la tripulación, comunidad y entorno, bajo esto se considera aspectos de seguridad vial, ocupacional, mecánica y ambiental.

E) Lugar de operaciones: Este equipo opera principalmente en cerros y laderas de Valparaíso, características de la zona que nos presenta operación sobre la altura del mar, pendientes pronunciadas y terrenos tanto urbanos como rurales.

F) Intensidad de operación: El equipo trabaja 8 horas diarias, por 6 días a la semana de lunes a sábado, debido a la demanda del servicio de aseo, la intensidad de operación de este genera que el activo no tenga grandes periodos de detención.

G) Rebundancia: En caso de falla del equipo o retiro de circulación, el servicio es realizado por otro camión en un segundo turno en la tarde, en caso de no haber servicio sustituto, el trabajo es realizado a la vuelta de la reparación.

H) Trabajo-durante-operación: Como el activo trabaja 8 horas diarias, entre las 06:00 y las 14:00 hrs, las intervenciones se pueden realizar posterior a este horario, de no ser una asistencia a terreno o falla menor. Taller de maestranza realiza sus operaciones entre las 14:00 y las 18:00.

I) Repuestos: Si bien los repuestos son una parte importante para la operación de mantención, debido a la gran cantidad de componentes y sistemas, se realiza una priorización de repuestos que soluciones fallas comunes y recurrentes, en caso de una reparación mayor, el activo queda en espera a la reposición del repuesto.

J) Demanda del mercado/ Suministro de materia prima: debido a que es un servicio muy ligado a higiene y sanidad de la ciudad, su demanda es altísima, requiriendo un

alto nivel de confiabilidad y disponibilidad para las operaciones. En el caso de la materia prima, se basa netamente en el Diesel, el cual presenta un valor variable lo que afecta los costos operacionales del activo.

2.2 DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES

Para lograr aplicar las herramientas del mantenimiento centrado en confiabilidad, se responderán las preguntas planteadas por la norma SAE JA1011. En primera instancia, se planteó la pregunta “¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente?”, la cual fue respondida para el activo completo en sí, sin embargo, aún queda definir las funciones de cada uno de los sistemas que componen al equipo.

- Función primaria: la razón por la que cualquier organización adquiere algún activo o sistema es para cumplir con una función o funciones específicas, es el motivo por el cual el activo existe.

- Función secundaria: son las funciones que no constituyen el propósito esencial, pero son necesarias para que el activo cumpla su misión. La pérdida de esta también puede traer serias consecuencias.

A continuación, se presentan las funciones de cada uno de los sistemas definidos previamente, lo que corresponde al primer paso del análisis.

2.2.1 Funciones del sistema eléctrico.

A) Función primaria:

- Entregar a los componentes eléctricos del activo un voltaje entre los 24 [V] y 28 [V]

B) Función secundaria:

- Energizar los sistemas de mando del camión (módulos y actuadores)
- Alimentar con energía eléctrica los componentes lumínicos del camión
- Permitir el correcto funcionamiento del camión y sus sistemas auxiliares, como solenoide de toma de fuerza.

2.2.2 Funciones del sistema neumático.

A) Función primaria:

- Entregar al circuito neumático presión entre 9 y 12,5 [bar]

B) Función secundaria:

- Alimentar con suministro de presión neumática a sistemas complementarios, principalmente sistema de frenos, freno motor, sistema de recirculación de gases.

2.2.3 Funciones del sistema de refrigeración

A) Función primaria:

- Mantener la temperatura del líquido refrigerante del motor en su rango de operación entre 80 y 95 [°C].

B) Función secundaria:

- Suministrar refrigerante caliente al sistema de calefacción
- Reducir temperatura de gases de escape a través del enfriador de la EGR.
- Refrigerar el aceite de transmisión a través del enfriador de la transmisión.

2.2.4 Funciones del sistema de rodado.

A) Función primaria:

- Soportar y transmitir las cargas del vehículo, asegurando una movilidad segura, estable y eficiente.

B) Función secundaria:

- Mantener dentro del neumático una presión entre 6,2 y 6,8 [bar]
- Absorber irregularidades del camino asegurando la tracción.

2.2.5 Funciones del sistema de frenos.

A) Función primaria:

- Reducir y detener de manera segura el movimiento del vehículo.

B) Función secundaria:

- Minimizar el desgaste de componente y optimizar la eficiencia del sistema.
- Disminuir parcialmente la velocidad del vehículo
- Disipar la energía generada por el roce en los componentes de frenado
- Mantener detenido el vehículo en su posición de estacionamiento.

2.2.6 Funciones del sistema de transmisión.

A) Función primaria:

- Transmisión de potencia desde el conjunto de motor hacia las ruedas.

B) Función secundaria:

- Transmitir potencia a sistema de toma de fuerza
- Retener y disminuir el movimiento de ruedas.

2.2.7 Funciones del sistema de suspensión.

A) Función primaria:

- Absorber las irregularidades del camino, manteniendo la estabilidad y tracción.

B) Función secundaria:

- Soportar el peso variable del vehículo.
- Administrar cargas generadas por la distribución de la carga.

2.2.8 Sistema compactador

A) Función primaria

- Compactar, transferir y almacenar residuos municipales de forma continua y segura durante la ruta, sin fugas ni bloqueos, hasta la descarga completa en el punto de vaciado.

B) Función secundaria:

- Reducir el volumen de la carga de residuos en una proporción para facilitar su traslado.
- Evitar derrames y pérdidas de fluidos en el trayecto.

2.2.9 Sistema toma de fuerza (PTO)

A) Función primaria.

- Generar presión a través de potencia suministrada por el sistema de transmisión, levantando presión en la bomba hidráulica que moviliza el sistema compactador.

B) Función secundaria

- Mantener una presión y caudal adecuados para la operación evitando sobrecargas.
- Mantener su sistema de protección a través del control electrónico de toma de fuerza.

2.3 IDENTIFICACIÓN DE FALLAS, EFECTOS Y CONSECUENCIAS.

Para continuar la aplicación del RCM según lo que indica la norma SAE JA1011, procedemos a responder la segunda y tercera pregunta, las cuales señalan que:

- a) ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (falla funcional)?
- b) ¿Qué causa cada falla funcional (modo de falla)?

Para poder responder estas preguntas es importante comprender a que refieren, comenzando por la primera, se entiende que hace referencia a una falla funcional, la cual, se comprende como la incapacidad de un activo o sistema para cumplir con la función que se esperar de él, dentro de los estándares establecidos, es decir, el activo sigue existiendo, sin embargo, no es capaz de realizar las actividades por las cuales fue adquirido. Para dar respuesta a esta pregunta, se define los estados de falla asociados a cada función.

La siguiente preguntan hace referencia a los modos de falla que generan estas fallas funcionales, un modo de falla es un evento único que es causante de una falla funcional, para definir esos modos de falla, se realizara un listado de aquellos que han ocurrido, actuales y posibles modos de falla que provoquen la falla funcional.

A continuación, la Tabla 9 se presenta como ejemplo, donde encontramos fallas funcionales, y modos de falla acorde al sistema. En el Anexo A se adjuntan las tablas correspondientes a cada sistema analizado.

Tabla 11: Fallas funcionales y modos de falla de Sistema Eléctrico.

Sistema	#	Descripción de la función	#	Falla funcional	#	Modo de falla
Sistema electrico	1	Entregar a los componentes eléctricos un voltaje entre los 24 [V] y los 28[V]	1.1	El sistema no entrega a los componentes un voltaje entre los 24 [V] y 28 [V].	1.1.1	Bateria completamente descargada
					1.1.2	Terminales de bateria sueltos
					1.1.3	Terminales de bateria en mal estado
					1.1.4	Alternador defectuoso
					1.1.5	Correa accesorios cortada.
					1.1.6	Cable alimentación alternador cortado
			1.2	El sistema entrega un voltaje menor a 24 [V] o mayor a 28 [V].	1.2.1	Regulador de voltaje del alternador quemado
					1.2.2	Sensor de voltaje defectuoso
					1.2.3	Cableado de alternador dañado
					1.2.4	Carbones de alternador gastados

Fuente: FMECA de Elaboración propia.

Una vez definidos los modos de falla posibles de los sistemas, se da paso a analizar las consecuencias y efectos generados.

2.4 EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE FALLA

Para continuar con la aplicación del Mantenimiento centrado en Confiabilidad, y posterior a la definición de los modos de falla, abarcamos las siguientes dos preguntas:

- d) ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional?
- e) ¿De qué manera afecta cada falla?

La primera pregunta presentada hace referencia directa a los efectos de la falla, mientras que la segunda pregunta abarca el concepto de las consecuencias de la falla.

Comenzaremos con la primera pregunta:

2.4.1 Efectos de falla:

Siguiendo la línea que nos presenta la norma, esta nos indica que “Los efectos de falla deben describir lo que puede pasar si no se realiza ninguna tarea específica para anticipar, prevenir o detectar la falla”. Para completar esto, la norma SAE JA1012 señala que la definición de un efecto de falla debe poder describir; si existe alguna evidencia del modo de falla ocurrido, si hay alguna posibilidad que existan heridos o muertos como resultado directo del modo de falla, si afecta a la producción o las operaciones, la acción requerida para corregir el modo de falla después que este ha ocurrido.

2.4.2 Consecuencia de la falla

Para la segunda pregunta, el proceso de MCC nos indica evaluar las consecuencias de cada modo de falla entendiéndose estas de la manera que “La valoración de las consecuencias de falla se deben realizar como si ninguna tarea específica se esté llevando a cabo actualmente para anticipar, prevenir o detectar la falla”. En base a esto, es posible categorizar las consecuencias en 4 grupos principales, descritos a continuación:

- A) Consecuencias en la Seguridad: son producidas cuando una falla afecta directamente la integridad física de las personas o pone en riesgo a estas, ya sea dañando o matando a un ser humano
- B) Consecuencias Ambientales: considerando la probabilidad de que alguna consecuencia pueda violar cualquier norma o regulación ambiental conocida, atentando con el medio ambiente
- C) Consecuencias Operacionales: ocurren cuando la falla afecta la funcionalidad principal del activo y, por consecuencia, la producción o el servicio ofrecido.
- D) Consecuencias No Operacionales (económicas): se considera cuando la falla no afecta directamente la seguridad ni la operación, sin embargo, genera costos adicionales no considerados.

Para esta tesis, debido a que se presenta un servicio público sin fines lucrativos ni existencia de una ganancia en base a la operación, no se presentan consecuencias no operacionales como impacto económico en base a la falla, ni una pérdida por producción, más bien existen consecuencias sociales, ambientales y operacionales, donde el principal impacto será generado en la comunidad y la operatividad del servicio.

2.4.2.1 Evaluación cualitativa de las consecuencias de falla.

La evaluación corresponderá a las consecuencias operacionales generadas por las fallas analizadas desde el ámbito ambiental y en términos de seguridad, será realizada en base a

una matriz cualitativa de 3x3, donde el eje “X” corresponderá a consecuencias de carácter ambiental, mientras que en el eje “Y” se presentaran las consecuencias del área de seguridad. Para la evaluación de esta matriz, se realizará una puntuación cualitativa con las letras “A-B-C”, considerando la siguiente valorización;

- A: Se considera una consecuencia de gran impacto.
- B: Se considera una consecuencia de medio impacto.
- C: Se considera una consecuencia de bajo impacto.

Estos criterios serán aplicados para ambas consecuencias a analizar. Los valores serán ingresados a la siguiente matriz, donde esta nos entregara un resultado en base a los siguientes valores:

- 1: corresponde a un nivel de bajo riesgo.
- 2: corresponde a un nivel de medio riesgo.
- 3: corresponde a un nivel de alto riesgo.

De esta manera se determina cuales modos de fallas se presentan como más críticos en términos cualitativos, considerando aspectos de Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA). A continuación, se presenta la matriz de riesgo 3x3 utilizada

SEGURIDAD	AMBIENTE				
	3x3	C	B	A	
	A	AC	AB	AA	
	B	BC	BB	BA	
	C	CC	CB	CA	
					Riesgo Clase 1
					Riesgo Clase 2
					Riesgo Clase 3

Figura 14: Matriz 3x3 riesgo cualitativo

Fuente: Elaboración propia

2.4.2.2 Evaluación cuantitativa de las consecuencias de falla

Además de la evaluación cualitativa, será realizada una evaluación cuantitativa de las consecuencias operacionales, donde la evaluación se aplicará considerando la siguiente información de cada modo de falla:

- a) Frecuencia de falla (FF):
 - Considerando cuantas veces en el año ha ocurrido el modo de falla.
- b) Tiempo medio de reparación (MTTR):
 - Tiempo promedio que demora en restaurar sus funciones, considerando aspectos como logística, ejecución y puesta en marcha post reparación.
- c) Impacto en la producción (IP)
 - Considerada como la perdida de producción por cada hora que el equipo se encuentra inactivo,
 - Para este caso en estudio, como es un servicio público no se generan ganancias para la Municipalidad, ni algún tipo de aporte monetario, más como se mencionó previamente, el impacto resulta ser enfocado en el área social, considerando el contenido de la comunidad frente al servicio entregado. Para calcular un impacto a la producción será considerado el tonelaje retirado mensualmente por el camión en el servicio domiciliario, el cual realiza un retiro de 156.000 [Kg], esto considerando que el camión realiza servicio 6 veces por semana en turnos de 8 horas diarias, es decir 24 días al mes, se calcula el impacto por hora bajo la siguiente operación:

$$IMP.PROD = \frac{\frac{15600[Kg]}{24[dias]}}{\frac{8[hr]}{1[dia]}} = 812,5[\frac{kg}{hr}]$$

Finalmente, considerando los valores presentados se define el modelo matemático que seguirá el cálculo de riesgo cuantitativo:

$$R: IP * MTTR * FF$$

El resultado de esta expresión nos permite estimar un riesgo operacional que representa una tasa de pérdida operacional, entendiéndose como cuanto “flujo de pérdida” genera el modo de falla analizado. Este valor se encontrará en [kg/hora].

Para lograr un análisis más completo, se considerará información de frecuencia de fallas de los camiones Freightliger M2 106 HBGP73 y Mercedes Atego 1729 KBTP31, esto debido a las 3 posibilidades de modelo que maneja la Maestranza Municipal actualmente, donde cada uno presenta similares modos de falla, pero en diferente frecuencia. En caso de presentarse el mismo modo de falla en más de un modelo, se considerará la mayor frecuencia entre estos. Listado de modo de falla en Anexo B.

Tabla 12: Efectos y consecuencias sistema eléctrico.

#	EFFECTO DE FALLA	FRECUENCIA DE FALLA	MTTR (LOG-EJEC. P. EN MARCHA)	IMP. PROD. KG/HR	IMP. SEG	IMP. AMB	RIESGO CUANTITATIVO KG/HR	RIESGO CUALITATIVO	GRAFICO
1.1.1	Evidente: No Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): No enciende tablero Acción correctiva: Cargar baterías	3	4	812,5	C	C	9750	CC	1
1.1.2	Evidente: No Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): No enciende tablero Acción correctiva: Apretar terminales	1	0,5	812,5	C	C	406,25	CC	1
1.1.3	Evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Cortocircuito en batería Acción correctiva: Reemplazo de terminales	3	1	812,5	C	C	2437,5	CC	1
1.1.4	Evidente: No Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Fallos en sistemas eléctricos Acción correctiva: Reemplazo de alternador	1	1,5	812,5	C	C	1218,75	CC	1
1.1.5	Evidente: No Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Voltaje de baterías, no de carga. Acción correctiva: Reemplazo de correa y revisión de sensores	1	1	812,5	C	C	812,5	CC	1
1.1.6	Evidente: No Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Posible cortocircuito bajo cabina, luz testigo en tablero Acción correctiva: Revisión y reparación de cableado	0	1	812,5	C	C	0	CC	1
1.2.1	Evidente: No Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Voltaje de carga elevado, sobre 28 [V] Acción correctiva: Reemplazo de regulador.	0	1	812,5	C	C	0	CC	1
1.2.2	Evidente: No Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): luz de batería encendido Acción correctiva: Reemplazo de sensor	0	1	812,5	C	C	0	CC	1
1.2.3	Evidente: No Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Entrega voltaje menor a 24 [V] Acción correctiva: Reparación de ramal eléctrico	2	2	812,5	C	C	3250	CC	1
1.2.4	Evidente: No Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Entrega voltaje menor a 24 [V] oscilante Acción correctiva: Reemplazo de carbones	0	2	812,5	C	C	0	CC	1

Fuente: FMECA de elaboración propia.

En la Tabla 10 se observa como ejemplo los efectos y consecuencias de falla correspondientes al sistema eléctrico. En el Anexo C: Efectos y consecuencias, se adjuntas las tablas para cada sistema considerado.

2.4.3 Resultados de modos de falla críticos

Una vez realizado la evaluación cualitativa de los modos de falla presentados, considerando sus efectos y consecuencias, se llegó al presente resultado, donde los modos de falla demostrados obtuvieron una calificación de falla con nivel 3 de riesgo, los que se consideran más críticos dentro de la evaluación.

Tabla 13: Modos de falla críticos riesgo cualitativo.

Sistema	#	Modo de falla	Riesgo Cualitativo	Nivel de riesgo
Sistema de refrigeración	3.1.4	Radiador roto	BA	3
Sistema rodado	4.2.3	Neumaticos con desgaste	AB	3
Sistema de frenos	5.1.1	Balatas desgastadas	AB	3
	5.2.2	Valvula maxibrake obtruida	AB	3
Sistema de suspensión	7.1.1	Perno centro cortado	AB	3
Sistema compactador	8.2.1	Caja compactadora con cortes	BA	3
	8.2.2	Sellos de cajón defectuosos	BA	3

Fuente: Elaboración propia.

Además de estos riesgos cuantitativos, también podemos obtener los mayores riesgos cualitativos con respecto al valor que han generado. A continuación, se presentan los 5 modos de falla más críticos cualitativamente. Estos son los cuales presentan una mayor pérdida operacional.

Tabla 14: Modos de falla críticos riesgo cuantitativo.

SISTEMA	#	Modo de falla	Riesgo cualitativo [kg/año]
S.SUSPENSIÓN	7.1.3	Ballesta fracturada	39000
S.RODADO	4.1.1	Neumatico pinchado	19500
S.SUSPENSIÓN	7.1.4	King pin con desgaste	19500
S.NEUMATICO	2.2.2	Depositos saturados de agua	16250
S.SUSPENSIÓN	7.1.1	Perno centro cortado	13000

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos se encuentran relacionados directamente con la frecuencia de falla, sin embargo, cabe destacar que existen modos de falla que aún no se presentan con una frecuencia en el tiempo analizado, por lo que se presentan con un valor 0. Dentro del análisis realizado, se considerará que el modo de fallo más crítico corresponde al sistema de suspensión, numero 7.1.1 Perno centro cortado, el cual se presenta en ambas tablas.

2.5 ACCIONES DE MANTENIMIENTO.

Finalizado el análisis de las fallas, efectos y consecuencias, damos paso a la siguiente pregunta propuesta en la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad, la cual presenta lo siguiente:

f) ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?

Esta pregunta hace referencia a las tareas proactivas e intervalos de las tareas de mantenimiento, como la norma indica, todas las tareas programadas deben ser técnicamente factibles, aplicables y efectivas.

Para dar respuestas a esta pregunta, será realiza una hoja de decisión de mantenimiento o diagrama de decisiones, la cual, es una herramienta estructura que ayuda a seleccionar la tarea más adecuada para cada modo de falla identificado previamente. A continuación, se presenta su estructura.

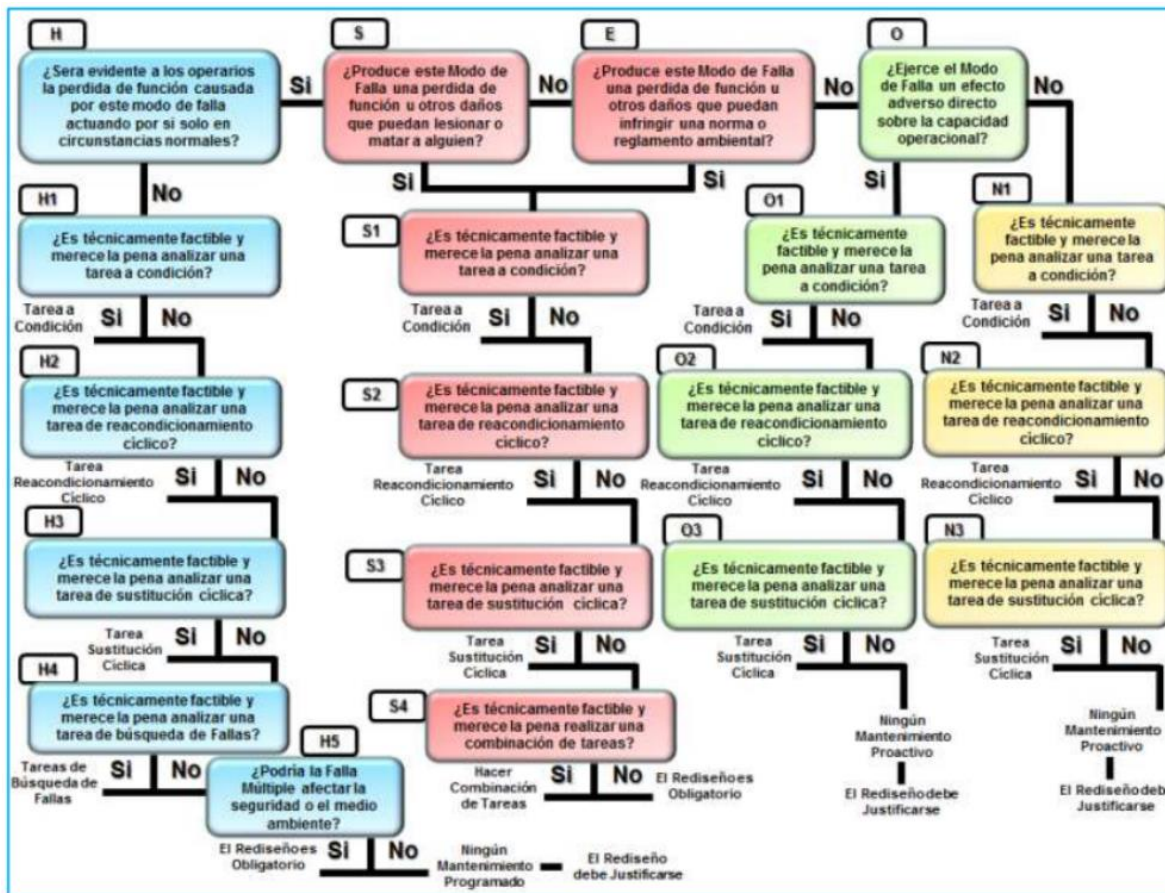


Figura 15: Diagrama de decisión.

Fuente: Reliability-Centered Maintenance RCM, Jhon Moubray.

Este diagrama se desarrolla de izquierda a derecha, y en base a las respuestas se sigue la línea de decisión, comenzado con la pregunta H, la cual hace referencia a si el modo de falla es evidente al operador, esta pregunta posee dos opciones de respuesta: “Si” o “No”, en base a esta respuesta se seguirá a la siguiente para llegar a la tarea de mantenimiento que indica.

En un comienzo, la primera fila horizontal cada pregunta se encuentra asignada una letra, la cual presenta las siguientes denominaciones:

- H: Si la falla es evidente, falla oculta.
- S: Si la falla afecta ámbitos como seguridad, dando la posibilidad de lesionar o dañar a alguien.
- E: Si la falla afecta ámbitos ambientales, donde se pueda afectar en reglamento ambiental, normas o leyes.
- O: Si la falla afecta la capacidad operacional.

Posteriormente, nos encontramos que, en cada fila siguiente de estas preguntas, se encuentra una letra y numero asociado desde el 1 al 5, el cual representa el número de fila y las tareas de mantenimiento, de la siguiente manera:

- H1-S1-E1-O1: Tarea a condición.
- H2-S2-E2-O2: Reacondicionamiento cíclico.
- H3-S3-E3-O3: Sustitución cíclica.
- H4: Tarea de búsqueda de fallos
- S4: Combinación de tareas.
- H5: Rediseño

Complementario a este diagrama de decisión, las respuestas a las preguntas deben quedar registradas en una “Hoja de decisión”. En esta se indica la función (F), Falla funcional (FF) y el modo de falla (MF). Para cada pregunta existe un recuadro a responder donde se rellenará con una “S” si la respuesta es Si, y con una “N” si la respuesta es No. A continuación, se describe las tareas de mantenimiento a realizar, su frecuencia de aplicación y el encargado de llevarla a cabo. En la Tabla 13, se desarrolla como ejemplo la hoja de decisión correspondiente al sistema eléctrico. En el Anexo D Hoja de decisión, se adjuntan las tablas para cada sistema analizado.

Tabla 15: Hoja de decisión Sistema Eléctrico.

HOJA DE DECISIÓN		ACTIVO: CAMIÓN VOLKSWAGEN CONSTELLATION 17280 2020																		
		SISTEMA: SISTEMA ELECTRICO																		
				Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Tareas "a falta de"				Tareas propuestas				Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4								
1	1.1	1.1.1	N				S						TAREA A CONDICIÓN. Lectura de voltaje en panel de instrumentos				Diario	Operador		
		1.1.2	N				S						TAREA A CONDICIÓN. Revisión y reapriete de terminales de batería.				Mensual	Tec. Electromecanico		
		1.1.3	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN. Revisión y reemplazo de terminales de batería en caso de necesitarse				Mensual	Tec. Electromecanico		
		1.1.4	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN. Revisión de voltaje y funcionamiento de alternador				Mensual	Tec. Electromecanico		
		1.1.5	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN. Inspección visual y reemplazo de correa de accesorios en caso de ser necesario				Mensual	Tec. Electromecanico		
		1.1.6	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN. Inspección visual a alternador.				Mensual	Tec. Electromecanico		
	1.2	1.2.1	N				S						TAREA A CONDICIÓN. Lectura de voltaje en panel de instrumentos				Diario	Operador		
		1.2.2	N					N	N	S			TAREA BUSQUEDA DE FALLA. Prueba funcional con multímetro o equipo de diagnostico electronico para asegurar que sensor cumple su función.				Semestral	Tec. Electromecanico		
		1.2.3	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN. Inspección visual y reparación de cableado en caso de ser necesario				Semestral	Tec. Electromecanico		
		1.2.4	N				S						TAREA A CONDICIÓN. Revisión de voltaje y funcionamiento de alternador. Reacondicionamiento en caso de ser necesario				Mensual	Tec. Electromecanico		

Fuente: Elaboración propia.

Una vez completadas las hojas de decisión, se realizará el llenado de la planilla de FMECA, considerando que este análisis no considera evaluación económica, se enfocará en el tiempo y actividades a considerar en esta propuesta. A continuación, se presenta como ejemplo las acciones de mantenimiento correspondiente al sistema eléctrico, en los Anexos E se encuentran el resto de los sistemas analizados.

Tabla 16: Acciones de Mantenimiento sistema eléctrico.

#	Acción a efectuar	Frecuencia de aplicación (anual)	Numero de personas	HH-Ejecución
1.1.1	TAREA A CONDICIÓN: Lectura de voltaje en panel de instrumentos	312	1	0,1
1.1.2	TAREA A CONDICIÓN: Revisión y reapriete de terminales	12	1	0,1
1.1.3	TAREA A CONDICIÓN: Revisión de voltaje y funcionamiento de alternador	12	1	0,2
1.1.4	TAREA A CONDICIÓN: Inspección visual y reemplazo de correa de accesorios en caso de ser necesario	12	1	1
1.1.5	TAREA A CONDICIÓN: Inspección visual a alternador.	12	1	0,2
1.1.6	TAREA A CONDICIÓN: Lectura de voltaje en panel de instrumentos	12	1	0,1
1.2.1	TAREA A CONDICIÓN: Lectura de voltaje en panel de instrumentos	312	1	0,1
1.2.2	TAREA BUSQUEDA DE FALLA. Prueba funcional con multímetro o equipo de diagnóstico electrónico para asegurar que sensor cumple su función.	2	1	1
1.2.3	TAREA A CONDICIÓN: Inspección visual y reparación de cableado en caso de ser necesario	2	1	3
1.2.4	TAREA A CONDICIÓN: Revisión de voltaje y funcionamiento de alternador. Reacondicionamiento en caso de ser necesario	12	1	2

Fuente: Elaboración propia.

Las tareas propuestas para el mejoramiento del plan de mantenimiento actual suman un total de 60,8 [hr] de ejecución en el año.

Para los casos donde los modos de falla se llegan al resultado de no tener una tarea programada, se aplica la última pregunta del RCM.

g) ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible?

Esta pregunta se refiere a las alternativas finales donde el equipo de RCM no puede implementar una tarea preventiva o predictiva. Para el caso de nuestro análisis, aquellos modos de falla que no se pueda realizar un mantenimiento proactivo será realizado un mantenimiento correctivo, realizando el reemplazo del componente.

2.6 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO.

Para generar nuestra mejora de plan de mantenimiento se tomará en cuenta la pauta de mantención existente actualmente en maestranza (Figura 2) y las acciones obtenidas en base a la aplicación del RCM en los sistemas analizados.

Para comenzar se propone la creación de pautas de mantención, donde se destacan actividades preventivas y correctivas según condición, estas acciones se distribuyen en base los intervalos de tiempo definidos para cada una. A continuación, se desarrollará cada una de las pautas propuestas.

2.6.1 Pauta Mantenición 1 (PM-01)

La primera pauta de mantenimiento se centrará en las acciones recomendadas diarias, la cual tendrá por responsable el operador del camión recolector, esto con la finalidad de realizar esta mantenimiento de manera previa al inicio de la jornada y posterior a ésta, el objetivo es realizar un constante chequeo de los principales elementos del camión y en caso de presentar alguna anomalía o falla que pueda poner en riesgo a la tripulación, el equipo y la operación, fomentando la comunicación entre el área de operaciones y mantenimiento. Frente a alguna falla el vehículo ingresará a Maestranza para ser evaluado y reparado.

En caso de existir alguna anomalía, desperfecto u observación en el transcurso del servicio, así como alguna asistencia a terreno necesaria, debe ser indicado en el espacio inferior de la hoja, donde se encuentra un recuadro para señalar dicha observación.

Si existe alguna falla o se requiere reparación de algún ítem crítico, el vehículo ingresa a Maestranza para la reparación del componente y posteriormente comienza su servicio, no debe quedar pendiente al finalizar el turno ni ser pasado por alto.

PAUTA INSPECCIÓN OPERADOR		CAMIÓN RECOLECTOR URBANO		PM-01	
PATENTE:		HORA INICIO:		FECHA:	
MARCA:		HORA TERMINO:		NIVEL DE COMBUSTIBLE:	
MODELO:		KILOMETRAJE:		OBSERVACIONES:	
RECORRIDO:		HOROMETRO:		NUMERO DE OT	
CRITERIOS:	OK: BUEN ESTADO	NR: NECESITA REPARACIÓN	NA:	NO APLICA	
ANTES DE OPERAR			DESPUES DE OPERAR		
DESCRIPCIÓN	OK	NR	NA	OBSERVACIONES (Anomalías presentadas durante el desarrollo de turno de trabajo)	
NIVEL'S					
REVISAR QUE NIVEL DE ACEITE MOTOR SE ENCUENTRE ENTRE MINIMO Y MAXIMO DE LA VARILLA (MOTOR APAGADO)					
REVISAR QUE NIVEL DE REFRIGERANTE SE ENCUENTRE ENTRE MINIMO Y MAXIMO EN DEPOSITO DE EXPANSIÓN (MOTOR FRIO)					
REVISAR NIVEL DE ACEITE HIDRAULICO SISTEMA COMPACTADOR (TODAS LAS BOTELLAS RECOGIDAS)					
REVISAR QUE NIVEL DE ACEITE DIRECCIÓN HIDRAULICA SE ENCUENTRE ENTRE MINIMO Y MAXIMO (BAJO CABINA, LADO CONDUCTOR)					
REVISAR NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN EN MODULO DE CAJA AUTOMATICA (BOTON + Y - AL MISMO TIEMPO, ESPERE TIEMPO INDICADO EN PANTALLA)					
REVISAR NIVEL DE ADBLUE EN PANEL DE INSTRUMENTOS (EN CASO DE SER NECESARIO)					
SISTEMA ELECTRICO					
COMPRUEBE FUNCIONAMIENTO LUCES DE POSICIÓN					
COMPRUEBE FUNCIONAMIENTO LUCES BAJAS					
COMPRUEBE FUNCIONAMIENTO LUCES ALTAS					
COMPRUEBE FUNCIONAMIENTO LUCES DIRECCIONALES					
COMPRUEBE FUNCIONAMIENTO LUCES DE EMERGENCIA					
COMPRUEBE FUNCIONAMIENTO LUCES DE RETROCESO					
COMPRUEBE FUNCIONAMIENTO LUCES DE FRENO					
COMPRUEBE FUNCIONAMIENTO BALIZA TRASERA					
COMPRUEBE FUNCIONAMIENTO DE BOTON PTO					
COMPRUEBE EN PANEL DE INSTRUMENTOS NIVEL DE CARGA DE ALTERNADOR (MIN 27 MAX 28 [V] MOTOR ANDANDO)					
COMPRUEBE FUNCIONAMIENTO LIMPIAPARABRISAS					
COMPRUEBE FUNCIONAMIENTO CORRECTO MOTOR DE PARTIDA (SIN GOLPES, NI RUIDOS EXTRAÑOS)					
COMPRUEBE FUNCIONAMIENTO DE BOCINA					
COMPRUEBE FUNCIONAMIENTO DE CHICHARRA DE RETROCESO					
ESTRUCTURAL					
ESTADO DE FOCOS					
ESTADO DE PARACHOQUES DE LANTERO					
ESTADO PARACHOQUES TRASERO					
ESTADO PISADERAS TRASERAS					
ESTADO CAJÓN COMPACTADOR					
ESTADO PUERTAS					
NEUMATICOS Y LLANTAS					
COMPRUEBE ESTADO DE NEUMATICOS (BANDA DE RODADURA)					
COMPRUEBE QUE LOS NEUMATICOS NO PRESENTEN CORTES LATERALES					
COMPRUEBE PRESIÓN DE NEUMATICOS (90-100 PSI)					
COMPRUEBE ESTADO DE VALVULAS DE NEUMATICO					
COMPRUEBE ESTADO DE LLANTAS (SIN GOLPES O CORTES DE DIMENSIONES)					
SISTEMA NEUMATICO					
COMPRUEBE QUE CAMIÓN LLEGA A LA PRESIÓN MÁXIMA DE TRABAJO (12.5 [BAR])					
COMPRUEBE DESPILCHE DE PRUEBA DE VALVULAS AL DAR CONTACTO (INFERIOR DEL CAMIÓN)					
DRENE COMPLETAMENTE LOS ACUMULADORES (LADO PILOTO)					
COMPRUEBE FUNCIONAMIENTO DE VALVULA MAXIBRAKE					
COMPRUEBE SI EXISTEN FUGAS DE AIRE EN CAMIÓN					
SISTEMA COMPACTADOR					
COMPRUEBE FUNCIONAMIENTO DE ESCUDO COMPACTADOR, TORRE PRINCIPAL Y PALA (MOVIMIENTO)					
COMPRUEBE EXISTENCIA DE FUGAS EN FLEXIBLES HIDRAULICOS					
NOMBRE Y FIRMA RESPONSABLE DEL EQUIPO				NOMBRE Y FIRMA DE RECEPCIÓN	

Figura 16: Pauta Mantenimiento MT-01.

Fuente: Elaboración propia.

2.6.2 Pauta Mantención 2 (MT-02)

La siguiente pauta propuesta consiste en acciones de carácter semanal, las cuales serán desarrolladas por personal de Maestranza en las dependencias de esta. Esta pauta considera también la pauta MT-01 como una revisión general del equipo, además de las acciones que se recomendaran. La mantención será realizada posterior al servicio recorrido por el camión recolector en ese día, y será programada por día, ingresando por grupos. Una vez realizada la mantención el vehículo será catalogado

como “Operativo” o “Inoperativo” según el estado en que se encuentre y en caso de necesitar una intervención más prolongada por alguna falla detectada de manera preventiva.

El fin de esta pauta es enfocarse en componentes que requieren un constante ajuste o revisión, para así aumentar su vida útil llevando un mantenimiento de carácter preventivo.

		PAUTA MANTENCIÓN SEMANAL							
		CAMIÓN RECOLECTOR URBANO							
		PM-02							
PATENTE:		HORA INICIO:		FECHA:					
MARCA:		HORA TERMINO:		NIVEL DE COMBUSTIBLE					
MODELO:		KILOMETRAJE:		OBSERVACIONES:					
RECORRIDO:		HOROMETRO:		Nº OT					
CRITERIOS:	OK: BUEN ESTADO	NR: NECESITA REPARACIÓN	NA: NO APLICA	CRITERIOS:	OK: BUEN ESTADO	NR: NECESITA REPARACIÓN	NA: NO APLICA		
SEMANA:									
DESCRIPCIÓN		OK	NR	NA	DESCRIPCIÓN		OK	NR	NA
NIVELES									
REVISIÓN DE NIVEL DIFERENCIAL									
SISTEMA COMPACTADOR/HIDRAULICO					SISTEMA DE TRANSMISIÓN				
REVISIÓN DE FLEXIBLES CAJÓN COMPACTADOR					REVISIÓN HOLGURAS DE CRUCETAS CARDAN				
REVISIÓN DE CILINDROS HIDRAULICOS					ENGRASE DE CRUCETAS CARDAN				
REVISIÓN DE FUGAS EN BOMBA HIDRAULICA					REAPRIETE DE ABRAZADERAS CRUCETAS				
REVISIÓN FUNCIONAMIENTO MANDOS HIDRAULICOS									
REVISIÓN DE PASADORES CILINDROS HIDRAULICOS									
COMPROBAR FUNCIONAMIENTO BOTON PTO									
ENGRASE DE SISTEMA COMPACTADOR									
SISTEMA DE RODADO					OBSERVACIONES				
COMPROBAR APRIETE DE RUEDAS (TORQUE 500 LB IN)									
REVISIÓN ESTADO DE TUERCAS Y PERNOS DE RUEDA									
REVISIÓN BANDA DE RODADURA (>1.6 MM)									
REVISIÓN ESTADO NEUMATICOS (CORTES, DEFORMACIONES)									
REVISIÓN ESTADO DE LLANTAS									
REVISIÓN ESTADO DE VALVULAS									
SISTEMA DE FRENO									
REVISIÓN Y REGULACIÓN DE FRENO									
ESTADO BALATAS DELANTERAS									
ESTADO BALATAS TRASERAS									
ESTADO REGULADORES DE FRENO									
REVISIÓN ESTADO FLEXIBLES DE FRENO									
REVISIÓN FUGAS PULMONES DE FRENO									
SISTEMA NEUMATICO									
REVISIÓN CONEXIONES ACUMULADORES									
REVISIÓN CONEXIONES COMPRESOR									
REVISIÓN FUGAS DE AIRE									
INSPECCIÓN LINEAS DE AIRE									
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN									
REVISIÓN DEPOSITO									
REVISIÓN MANGUERAS DE RADIADOR									
REVISIÓN DE FUGAS EN SISTEMA									
REVISIÓN ASPA ELECTROVENTILADOR									
REVISIÓN TENSION CORREA DE BOMBA DE AGUA									
SISTEMA DE SUSPENSIÓN									
REAPRIETE ABRAZADERAS PAQUETES DE RESORTES									
REVISIÓN Y REAPRIETE BUJES BARRA ESTABILIZADORA Y									
REVISIÓN Y REAPRIETE BUJES PAQUETES DE RESORTES									
ENGRASE TREN DELANTERO Y PAQUETES DE RESORTES									
CHEQUEO ALINEACIÓN DE HOJAS Y PERNO CENTRO									
REVISIÓN ALINEACIÓN Y DISTANCIA ENTRE EJES									
NOMBRE Y FIRMA RESPONSABLE DEL EQUIPO					NOMBRE Y FIRMA DE RECEPCIÓN				

Figura 17: Pauta Mantenimiento MT-02.

Fuente: Elaboración propia.

2.6.3 Pauta mantención 3 (MT-03)

La siguiente pauta se presenta en un carácter mensual, donde se presentarán acciones mantenimiento directo a componentes, esta mantención puede calzar en tiempo con la MT-03, pero añade actividades extras. Cabe destacar que MT-03 también abarca la pauta MT-01, para asegurar la entrega de un equipo en buenas condiciones y operativo para la jornada laboral.

		PAUTA MANTENCIÓN MENSUAL					
		CAMIÓN RECOLECTOR URBANO					
		PM-03					
PATENTE:		HORA INICIO:		FECHA:			
MARCA:		HORA TERMINO:		NIVEL DE COMBUSTIBLE			
MODELO:		KILOMETRAJE:		OBSERVACIONES:			
RECORRIDO:		HOROMETRO:		N° OT			
CRITERIOS:	OK:		NR: NECESITA REPARACIÓN	NA:	NO APLICA		
MES:							
DESCRIPCIÓN	OK	NR	NA	OBSERVACIONES			
SISTEMA ELECTRICO							
REVISIÓN Y REAPRIETE TERMINALES DE BATERIA							
REVISIÓN DE VOLTAJE Y FUNCIONAMIENTO ALTERNADOR							
INSPECCIÓN VISUAL Y EVALUACIÓN REEMPLAZO CORREA ALTERNADOR							
INSPECCIÓN VISUAL CONEXIONES ALTERNADOR							
INSPECCIÓN VISUAL CONEXIONES MOTOR DE ARRANQUE							
SISTEMA NEUMATICO							
REVISIÓN DE CONEXIONES COMPRESOR (REFRIGERACIÓN Y Y AIRE)							
REAPRIETE PERNOS DE ANCLAJE							
SISTEMA DE RODADO							
ROTACIÓN DE NEUMATICOS (EN CASO DE TENER NEUMATICOS MIXTOS)							
SISTEMA DE TRANSMISIÓN							
MEDICIÓN NIVEL DIFERENCIAL							
REVISIÓN MASAS TRASERAS							
REVISIÓN APRIETE EJE PALIER							
REVISIÓN JUEGO EN DIFERENCIAL							
REVISIÓN SOPORTES DE CARDAN							
PRUEBA FUNCIONAMIENTO TRANSMISIÓN							
ESCANER DE MODULOS TRANSMISIÓN							
SISTEMA DE SUSPENSIÓN							
REVISIÓN JUEGO MASAS							
REVISIÓN JUEGO DE KING PIN (PIVOTES)							
SISTEMA DE COMPACTACIÓN							
LIMPIEZA Y ENGRASE RIELES ESCUDO COMPACTADOR							
REAPRIETE DE TOMA DE FUERZA							
REAPRIETE BOMBA HIDRAULICA							
ENGRASE RIELES PALA Y TORRE COMPACTADORA							
NOMBRE Y FIRMA RESPONSABLE DEL EQUIPO							
NOMBRE Y FIRMA DE RECEPCIÓN							

Figura 18: Pauta Mantenimiento MT-03.

Fuente: Elaboración propia

2.6.4 Pauta de Mantenición 4 (MT-04)

Se añade la pauta de mantención MT-04 de carácter semestral, donde nos encontramos con reemplazos e intervenciones de componentes de carácter preventivo o correctivo, actividades para evitar fallas de mayor envergadura que signifique un tiempo de inoperatividad alto y afecte el funcionamiento de la flota.

		PAUTA MANTENCIÓN SEMESTRAL				
		CAMIÓN RECOLECTOR URBANO				
		PM-04				
PATENTE:		HORA INICIO:		FECHA:		
MARCA:		HORA TÉRMINO:		NIVEL DE COMBUSTIBLE		
MODELO:		KILOMETRAJE:		OBSERVACIONES:		
RECORRIDO:		HOROMETRO:		Nº OT		
CRITERIOS:	OK: BUEN ESTADO		NR: NECESITA REPARACIÓN	NA:	NO APLICA	
MES:						
	DESCRIPCIÓN	OK	NR	NA	OBSERVACIONES	
	SISTEMA ELÉCTRICO					
	TEST DE DESCARGA INTENSA DE BATERÍAS					
	TEST DE CARGA ALTERNADOR					
	MEDICIÓN CAÍDA DE VOLTAJE MOTOR DE ARRANQUE					
	SISTEMA NEUMÁTICO					
	TEST RECUPERACIÓN COMPRESOR					
	REVISIÓN, LIMPIEZA Y REGULACIÓN GOBERNADOR					
	SISTEMA REFRIGERACIÓN					
	REEMPLAZO CORREA BOMBA DE AGUA					
	LIMPIEZA RADIADOR Y CIRCUITO REFRIGERACIÓN					
	REEMPLAZO DE ABRAZADERAS DAÑADAS					
	REEMPLAZO DE MANGUERAS DESGASTADAS					
	SISTEMA DE RODADO					
	MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD NEUMÁTICOS					
	REEMPLAZO DE NEUMÁTICOS (SEGÚN ESTADO)					
	BALANCEO DE RUEDAS					
	SISTEMA DE FRENO					
	REVISIÓN Y LIMPIEZA DE VALVULA DESCARGA RÁPIDA					
	REVISIÓN Y LIMPIEZA VALVULA MAXIBRAKE					
	REEMPLAZO DE KIT DE RESORTES DE BALATAS					
	SISTEMA DE SUSPENSIÓN					
	ALINEACIÓN TREN DELANTERO					
	AJUSTE DE KING PIN					
	SISTEMA DE COMPACTACIÓN					
	REVISIÓN Y REPARACIÓN CAJON COMPACTADOR					
	REEMPLAZO DE SELLOS CAJON COMPACTADOR					
NOMBRE Y FIRMA RESPONSABLE DEL EQUIPO					NOMBRE Y FIRMA DE RECEPCIÓN	

Figura 19: Pauta Mantenimiento MT-04

Fuente: Elaboración propia.

2.6.5 Pauta Mantenimiento 5 (MT-05)

Finalmente nos encontramos con MT-05, la cual consistirá en mantenciones de frecuencia anual, donde se destaca el reemplazo y reacondicionamiento de componentes. Al igual que el resto de las pautas, también será considerada la pauta MT-01 como parte de esta para asegurarnos en devolver el activo en una condición ideal para trabajar. Este mantenimiento será distribuido durante el año para toda la flota de camiones de aseo, para no afectar o sobrecargar la distribución de servicios realizados.

		PAUTA MANTENCIÓN ANUAL			
		CAMIÓN RECOLECTOR URBANO			
		PM-05			
PATENTE:		HORA INICIO:		FECHA:	
MÁRCA:		HORA TÉRMINO:		NIVEL DE COMBUSTIBLE	
MODELO:		KILOMETRAJE:		OBSERVACIONES:	
RECORRIDO:		HOROMETRO:		N° OT	
CRITERIOS:	OK: BUEN ESTADO	NR: NECESITA REPARACIÓN		NA:	NO APLICA
MES:					
DESCRIPCIÓN		OK	NR	NA	OBSERVACIONES
SISTEMA ELÉCTRICO					
REEMPLAZO DE CARBONES ALTERNADOR					
SISTEMA NEUMÁTICO					
REEMPLAZO DE FILTRO SECADOR DE AIRE					
REVISIÓN Y LIMPIEZA DE VALVULA DE DESCARGA					
REVISIÓN DE LINEAS PRINCIPALES NEUMÁTICAS					
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN					
REEMPLAZO DE BOMBA DE AGUA					
REEMPLAZO DE TERMOSTATOS					
DRENADO Y REEMPLAZO DE LIQUIDO REFRIGERANTE					
SISTEMA COMPACTADOR					
REEMPLAZO DE FILTRO HIDRAULICO					
MEDICIÓN DE PRESIÓN CIRCUITO PRINCIPAL					
SISTEMA PTO					
DESMONTAJE, REVISIÓN Y EVALUACIÓN CONJUNTO PTO					
REVISIÓN DESGASTE PIÑON TOMA DE FUERZA					
REVISIÓN DESGASTE BOMBA HIDRAULICA					
SISTEMA DE SUSPENSIÓN					
ENGRASE DE RODAMIENTOS DE MASA DELANTEROS					
AJUSTE DE MASAS TRASERAS					
NOMBRE Y FIRMA RESPONSABLE DEL EQUIPO		NOMBRE Y FIRMA DE RECEPCIÓN			

Figura 20: Pauta Mantenimiento MT-05.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar, que mantenciones correspondientes a motor posee su propio plan de mantenimiento proveniente del fabricante y estructurado en intervalos de horas, por lo que en las presentes pautas se hace enfoque en los sistemas complementarios que permiten al camión cumplir su principal función de la manera mas eficiente, segura y confiable.

CAPITULO 3: VALIDACIÓN TÉCNICA Y PROYECCIÓN DE RCM.

3. VALIDACIÓN TÉCNICA.

El presente capítulo tiene como objetivo principal validar la viabilidad técnica de dicha propuesta y cuantificar el impacto esperado de su implementación en la operatividad de la flota. A diferencia de un mantenimiento genérico basado exclusivamente en recomendaciones de fabricante, la propuesta RCM busca atacar las causas raíz de las fallas recurrentes en el contexto operacional real de Valparaíso (topografía, carga de trabajo y rutas). Para la evaluación técnica de las propuestas realizadas, será realizada una estimación a futuro de las fallas una vez aplicadas las mejoras, además, se realiza la proyección de los indicadores presentados el capítulo 1 donde se busca contrastar la situación actual versus la proyección, logrando una mejora transversal en estos, a esto se añade la determinación de un nuevo porcentaje de disponibilidad esperada de la flota, finalizando con un análisis de factibilidad y carga de trabajo. Comparando las horas-hombre (HH) invertidas actualmente en acciones correctivas versus las HH requeridas por los nuevos planes preventivos propuestos.

3.1 ANÁLISIS DE REDUCCIÓN DE MODOS DE FALLA CRÍTICO

La validación técnica se fundamenta bajo la capacidad de las nuevas tareas para mitigar los modos de falla que actualmente presentar mayor criticidad en la flota y prevenir en conjunto de las acciones los modos de falla que fueron detectados previamente, Para este análisis, se utiliza el principio de la Curva P-F (Curva Falla Potencial-Funcional) (Moubray, 1997), el cual establece que la mayoría de las fallas mecánicas presentan alguna señal física de advertencia, ya sea calor, vibración, soltura, ruido, etc. Antes de alcanzar un estado de la falla funcional que detenga el equipo.

El plan de mantenimiento que se desarrolla actualmente en Maestranza, al ser genérico, permite que los componentes operen hasta la falla funcional, en contraste, la estrategia RCM diseñada en el capítulo 2 introduce tareas de inspección y a condición, orientadas a la detección de falla en su etapa potencial, evitando la falla funcional y permitiendo una intervención planificada y breve.

A continuación, se detalla el análisis técnico para los modos de fallas críticos presentados previamente.

3.1.1 Análisis del Sistema de Suspensión

Según el diagnóstico realizado en el Capítulo 1, este sistema es uno de los más afectados registrando 4 eventos en el camión crítico y 15 en el análisis FMECA. Estas fallas son de naturaleza progresiva y están directamente relacionada con la fatiga de la materia provocada por el trabajo en terrenos irregulares, falta de apriete constante y operación agresiva.

- Mecanismo de falla actual: La operación continua en los cerros genera vibraciones que aflojan las abrazaderas de sujeción de las ballestas y el perno centro, al perder tensión de sujeción (falla potencial), las hojas del paquete de resortes comienzan a trabajar con holgura, recibiendo impactos directos y flexiones excesivas que terminan fracturando el metal (falla funcional). Actualmente esto se repara solo cuando se llega a un impacto en la operación, ya sea una rotura de hoja, descentrado de ejes o perno centro cortado/deformado. En el caso del desgaste del King pin, este debido a las mismas vibraciones y falta de engrase comienza a desgastar sus bujes (falla potencial) lo que termina generando una excesiva holgura (falla funcional) en el traduciéndose en holguras y vibraciones al momento de circular, generando una dirección errática.
- Intervención propuesta:
 - 1.- La pauta PM-02 implementa la tarea específica: Revisión y reapriete de bujes de paquetes de resortes / Chequeo alineación de hojas y perno centro / Reapriete de abrazaderas /Engrase de tren delantero.
 - 2.- Además, la pauta PM-03 y PM-04 implementa tareas específicas de: Revisión de juego de King pin / Ajuste de King pin.
- Impacto técnico esperado: Al intervenir el sistema semanalmente con un reapriete, se elimina la holgura incipiente, asegurando que el paquete de resortes trabaje como un bloque solido tal como fue diseñado. Este ajuste elimina los ciclos de fatiga, mientras que la revisión preventiva de holguras y engrase de tren delantero previene el desgaste temprano del King pin. Se estima técnicamente que estas acciones preventivas reducirán la frecuencia de intervenciones en este sistema en al menos un 40%, transformando una reparación mayor correctiva en una tarea de ajuste rutinario de pocos minutos. Una reducción de 15 intervenciones a 9 intervenciones anuales.

3.1.2 Análisis del Sistema de Rodado.

El sistema de rodado presento una frecuencia de 15 eventos en el camión crítico y 28 eventos en el análisis FMECA con fallas por neumático pinchado, neumático desinflado, desgaste irregular y problemas en llantas o componentes de esta. Si bien, muchas de estas fallas pueden ser de carácter fortuito, gran parte de las fallas se suelen deber a operar con baja presión en los neumáticos, lo que genera un exceso de temperatura y debilita la estructura lateral de estos, así como el prolongar la vida útil de estos más de lo estipulado (fecha de caducidad).

- Mecanismo de falla actual: la falta de control de la presión de aire permite que los neumáticos operen deformados. Esto aumenta la superficie de contacto de manera

ineficiente y expone los laterales del neumático a cortes y fatiga térmica, derivando en reventones o deformaciones irreversibles que detienen la ruta de recolección y generan retrasos, asistencias a terrenos o recambios no pronosticados.

- Intervención propuesta:

1.- Pauta PM-01: Se establece la obligación de comprobar la presión de los neumáticos (90-100 PSI) y el estado de válvulas antes de iniciar la ruta.

2.- Pauta PM-03: Se incluye la rotación de neumáticos para asegurar un desgaste uniforme, en el caso de neumáticos mixtos.

- Impacto técnico esperado: La verificación diaria asegura que el neumático trabaje siempre en su rango de presión nominal, lo que garantiza que su capacidad de carga y resistencia estructural se encuentren en óptimas condiciones. Detectar una pérdida lenta de aire en la inspección matutina (falla potencial) evita que el camión salga a ruta y sufra una detención del servicio. Se proyecta que estas medidas reducirán las asistencias en terreno por problemas de neumáticos en un 50%, mejorando directamente la confiabilidad del cumplimiento de la ruta. Esta estimación proyecta la reducción de 28 eventos a 14 eventos.

3.1.3 Análisis del Sistema de Frenos.

El sistema de frenos registra fallas críticas como balatas desgastadas y tambor de freno partido, fallos ligados directamente con el desgaste y las exigencias de la operación, además del estado de otros componentes tales como válvulas de descarga y reguladores. Este sistema registra 16 eventos de falla en el análisis FMECA, siendo este un sistema de seguridad vital (Seguridad Clase A en la matriz de riesgo).

- Mecanismo de falla actual: si bien el desgaste de las balatas es la base del funcionamiento del sistema de frenos, el mal funcionamiento de los componentes que accionan el frenado y la falta de regulación pueden llevar a un desgaste acelerado, irregular o mal funcionamiento de estas, lo que podría derivar en fallas mayores que ponen en riesgo la seguridad de todos los involucrados en el proceso de recolección.
- Intervención propuesta:
 - 1.- La pauta PM-02 incorpora la revisión y regulación de frenos, estado de reguladores de frenos y la verificación del espesor de balatas.
 - 2.- La pauta PM-04 exige limpieza de las válvulas de descarga y maxi brake.
- Impacto técnico esperado: La regulación semanal mantiene la distancia correcta entre tambor y balata, optimizando el frenado y evitando el sobrecalentamiento que cristaliza las balatas o fracturas los tambores, sumado a la mantención de las válvulas implicadas nos lleva a la reducción de la tasa de fallas y la extensión de vida útil de

los componentes de fricción. Se espera que estas medidas reducirán en un 50% las fallas de este sistema, reduciendo de 16 a 8 eventos debido a la prevención, revisión y mantenimiento de componentes.

3.1.4 Análisis Sistema Compactador

El sistema hidráulico de compactación es el corazón operativo del camión. Según el historial de fallas de nuestro equipo crítico, este sistema presento un total de 16 fallas, las cuales no solo detienen la operación, si no que generar un riesgo ambiental debido al derrame de fluido hidráulico en la vía pública, una consecuencia inaceptable para la gestión municipal.

- Mecanismo de falla actual:
 - 1.- Fallas hidráulicas (Flexibles): En el esquema actual, las mangueras hidráulicas operan hasta la fatiga del material, el roce constante con la estructura o los picos de presión provocan una ruptura (falla funcional). No existe una búsqueda sistemática de “sudoración”, grietas o cortes en la goma exterior antes del colapso.
 - 2.- Fallas Mecánicas (Pasadores): El corte de pasadores en los cilindros hidráulicos suele ocurrir por falta de lubricación (agarrotamiento) o por el desprendimiento de los seguros de estos. Cuando un pasador trabaja seco o desalineado, la fuerza impensa de la prensa compactadora la cizalla.
- Intervención propuesta: El plan RCM introduce controles estrictos en la Pauta PM-02 y PM-03:
 - 1.- Inspección visual de fugas: se busca detecta la falla potencial ya sea como pequeñas gotas humedad, lo que nos permite identificar alguna falla antes que se convierta en un corte total que genere una fuga a presión.
 - 2.- Ruteo de mangueras: Verificación de que los flexibles no se encuentren rozando con superficies metálicas o abrasivas del cajón compactador
 - 3.- Lubricación crítica: La tarea engrase del sistema compactador y la revisión de pasadores cilindros hidráulicos asegura que las articulaciones de la pala, torre y escudo trabajen con una fricción mínima.
- Impacto técnico esperado: La implementación de inspecciones semanales permite identificar el deterioro de una manguera semanas antes de su ruptura. Reemplazar un flexible en base a su condición (cuando muestra el mallado de acero, cortes o agrietamiento) es una acción, mucho más rápida que reparar un flexible roto en ruta que implique la detención de la operación, limpieza de la calzada por derrame, o incluso a la derivación a Maestranza generando horas de inactividad. Se proyecta una reducción del 50% en fallas en por rotura de flexibles y una eliminación casi total del corte de pasadores gracias al engrase programado. Proyectando la reducción de 16 a 8 intervenciones de este sistema.

3.1.5 Análisis del Sistema Eléctrico

Es el sistema con mayor frecuencia absoluta de fallas en el equipo crítico, sin embargo, su impacto mecánico es bajo, su impacto principalmente afecta la disponibilidad operativa por normativas de tránsito y seguridad.

- Mecanismo de falla actual: Las vibraciones de la ruta y la humedad en conexiones provocan que las ampolletas se quemen o que los contactos se sulfaten.
- Intervención propuesta:
 - 1.- La pauta PM-01: Se solicita al operador un check-list obligatorio de todo el sistema de luces (posición. Bajas, altas, viraje, baliza) antes de salir de la base.
 - 2.- La pauta PM-02: Se añade la revisión de terminales y alternador.
- Impacto técnico esperado: Transferir la inspección visual al operador permite detectar la falla en base, realizar las correcciones o reemplazos en taller evita la interrupción del servicio en caso de una falla en terreno. Se proyecta que las interrupciones de servicio por temas eléctricos menores se reducirán en un 90%, convirtiéndose en tareas de rutina previas a la operación. Se espera reducir de 17 a 2 eventos en el equipo crítico analizado.

3.1.6 Análisis del Sistema Toma de Fuerza (PTO).

Este sistema es el eslabón que permite la operación del compactador. Se registraron fallas como “Piñón desgastado” y “Bomba gastada”

- Mecanismo de falla actual: El desgaste de los dientes del piñón y de la bomba ocurre por el acople repetitivo. La falla funcional se presenta cuando el mecanismo ya no transmite potencia (resbala), dejando al camión imposibilitado de compactar en plena ruta.
- Intervención propuesta:
 - 1.- PM-02: Comprobación funcional del botón y acople PTO.
 - 2.- PM-05: Desmontaje, revisión y evaluación del conjunto PTO y desgaste del piñón.
- Impacto técnico esperado: La inspección anual interna es clave, permite visualizar el estado de los componentes del sistema PTO y programar su reemplazo cuando es desgaste sea visible pero aún funcional. Esto evita la rotura súbita de la transmisión de potencia en servicio. Se estima la reducción del 50% en fallas de acople, reduciendo de 8 a 4 eventos en el equipo crítico.

3.1.7 Análisis del Sistema de Refrigeración

Con 6 fallas registradas, donde principalmente se encuentran “Mangueras pinchadas/sueltas”, este sistema es vital para evitar las fallas catastróficas del motor.

- Mecanismo de falla actual: Los ciclos térmicos endurecen la goma de las mangueras y aflojan las abrazaderas. Una manguera que revienta vacía el sistema en minutos, provocando un sobrecalentamiento inmediato que puede generar daños irreversibles en el motor
- Intervención propuesta:
 - 1.- PM-02: Revisión de mangueras, fugas y tensión de correas.
 - 2.- PM-04: Reemplazo preventivo de mangueras desgastadas y abrazaderas dañadas, según condición.
- Impacto técnico esperado: la política de sustitución preventiva elimina prácticamente el riesgo de rotura por fatiga del material. Se proyecta una reducción del 75% en detenciones por temperatura, protegiendo la vida útil del motor.

3.1.8 Análisis del Sistema Neumatico

El sistema de aire presenta fallas en tecalanes y filtro secador, componentes vitales para el funcionamiento de un camión de estas dimensiones, además, se encuentra ligado directamente con el sistema de frenos. En el historial se falla se registraron 6 intervenciones en estos componentes.

- Mecanismo de falla actual: Las líneas de aire suelen cortarse por roce contra el chasis u otros componentes, además, la acumulación de humedad por falta de drenaje satura filtros y válvulas.
- Intervenciones propuestas:
 - 1.-PM-01: Drenaje completo de acumuladores por parte del operador diariamente.
 - 2.- PM-04: Revisión y limpieza de válvulas de descarga y gobernadores.
- Impacto técnico esperado: El drenaje diario elimina el agua que corroe y obstruye válvulas. La inspección de líneas permite asegurar los flexibles con amarras plásticas o protecciones antes de que el roce corte la parte del tecalán. Se estima una reducción del 60% en fugas de aire que inmovilizan el camión y afectan sistemas aledaños. Esto se traduce a una reducción de 6 eventos a 2 eventos aproximadamente.

3.1.9 Análisis del Sistema de Transmisión.

En este sistema si bien en el periodo analizado se presentó una frecuencia baja con 2 eventos únicamente, su criticidad radica en la severidad, esto debido a que una falla en la transmisión o cardan inmoviliza completamente el vehículo, requiriendo costos y tiempos de reparación mayores.

- Mecanismo de falla actual: Los elementos del sistema de transmisión son sometidos a altos grados de torque y vibración, la falla típica suele ocurrir por lubricación, donde la grasa o aceite se pierde o seca, provocando que los elementos móviles trabajen en fricción directa con el resto de las partes generando una holgura progresiva que puede llegar incluso a la rotura completa del componente. En el actual plan de mantención

la intervención es reactiva, ocurriendo cuando existe algún reporte por parte del conductor de algún ruido o vibración anómalo.

- Intervenciones propuestas.
 - 1.- PM-01: Revisión de nivel de aceite de transmisión en el módulo de caja automática.
 - 2.- PM-02: Incluye explícitamente el engrase de crucetas de cardán, revisión de holguras y reapriete de abrazaderas de este.
 - 3.- PM-03: Medición de nivel diferencial y Escáner de módulos de transmisión para detectar códigos de falla electrónicos incipientes.
- Impacto técnico esperado: La lubricación señala renueva la película protectora en los rodamientos de la cruceta, deteniendo el desgaste prematuro. Por otro lado, la verificación manual de holguras permite detectar el juego axial antes de que la vibración dañe otros componentes. Dado que las fallas de transmisión suelen ser progresivas y muy avisadas, la inspección propuesta tiene una efectividad técnica muy alta. Se proyecta la eliminación casi total de las detenciones imprevistas en ruta por corte de cardán o fallas de cruceta, transformando cualquier desgaste en una reparación planificada en taller. Se estima la reducción de fallas en un 90%, reduciendo de 2 fallas a la mínima posibilidad de falla.

3.2 PROYECCIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD Y MANTENIBILIDAD.

Una vez establecida la capacidad técnica de las pautas PM-01 a PM-05 para mitigar los modos de falla críticos, se continuará cuantificando este impacto en los indicadores de desempeño de la flota. Para realizar esta proyección, se establece un escenario conservador de mejora basándose en el análisis técnico realizado en el punto 3.1. En vista que en el punto 3.1 las reducciones de fallas oscilan entre el 40% y 90% según sistema, se asumirá para el cálculo global una reducción del 50% en la frecuencia de fallas imprevistas, esto debido que la cantidad de intervenciones iniciales del análisis (114 intervenciones) se reduce aproximadamente al 50% una vez realizadas las proyecciones (57 intervenciones). Esto gracias a las tareas preventivas y a condiciones, se evitará la mitad de las detenciones que actualmente ocurren en ruta y generan la inoperatividad del equipo.

3.2.1 Proyección del nuevo MTBF (Confiabilidad).

El MTBF actual de la flota es de 15,19 horas, lo que indica que los camiones fallan aproximadamente cada dos turnos de trabajo.

Al aplicar el plan de RCM, el objetivo es reducir el denominador de la ecuación, correspondiente al número de detenciones.

- Situación base: el análisis original considero 969 detenciones para la flota

- Situación proyectada: Al implementar las pautas preventivas, las fallas funcionales (paradas) disminuyen al ser detectadas como fallas potenciales durante el mantenimiento planificado, a esto será aplicado el factor de reducción del 50%:

$$N_{paradas(proyectado)} = 969 * 0,5 = 484,5 \approx 485 \text{ paradas imprevistas}$$

Considerando que el tiempo total disponible se mantiene constante para efectos de comparación base (39.936 horas), y asumiendo que el tiempo de inactividad por fallas correctivas disminuirá drásticamente, podemos estimar el nuevo MTBF.

Para una proyección directa de la confiabilidad, al reducir las fallas a la mitad, el tiempo operativo entre ellas se duplica:

$$MTBF_{proyectado} = MTBF_{actual} * 2$$

$$MTBF_{proyectado} = 15,19 [Hr] * 2 = 30,38[Hr]$$

Con el nuevo plan. Se espera que el camión opere de manera continua durante 30,38 horas antes de presentar una falla imprevista. Esto equivale a casi 4 jornadas laborales completas sin interrupciones correctivas, una mejora sustancial respecto a la situación actual donde no se logra completar dos jornadas consecutivas sin incidentes.

3.2.2 Proyección del nuevo MTTR (Mantenibilidad)

El indicador actual de MTTR (13,01 horas) refleja un mantenimiento reactivo, donde el tiempo de detención no solo incluye la reparación mecánica, sino también tiempos "muertos" asociados al diagnóstico de fallas complejas y la espera logística de repuestos no estandarizados.

Para proyectar el nuevo MTTR, se descompone el indicador en tres factores que son impactados directamente por el plan RCM

- 1) Tiempo diagnóstico (Td): En la situación actual el mecánico debe investigar el origen de la falla, mientras que con la aplicación del RCM, la pauta PM-01 permite al operador entregar el equipo con el modo de falla ya identificado el cual debe ser confirmado por el mecánico y así se apunta directamente al problema. El tiempo de diagnóstico se reduce.
- 2) Tiempo logístico (Tg): En la situación actual las compras o búsqueda de repuestos inician una vez el camión ya fallo, mientras que nuestro RCM a través de las pautas PM-04 y PM-05 se consideran los insumos críticos en la operación del camión, los cuales deben presentar un stock, eliminando gran parte del tiempo de espera en compras.
- 3) Tiempo de reparación activa (Ta): Actualmente este tiempo es alto, debido a que se reparan componentes ya destruidos o con la falla establecida, lo que con RCM se

busca detectar la falla en su etapa potencial, realizando intervenciones menores o mecánicamente más rápidas y agendadas.

Bajo este nuevo escenario operativo, se proyecta que la naturaleza de las intervenciones cambiará su distribución. Se estima que el 80% de las intervenciones serán de baja complejidad (ajustes, comprobaciones, cambios de componentes a tiempo) y un 20% serán de alta complejidad (fallas fortuitas mayores que el RCM no logre evitar).

Se establecen los siguientes tiempos estándar conservadores para el cálculo:

- Tiempo promedio reparación menor (T menor): 2,0 horas (Ejemplo: Cambio de focos, flexibles, reaprietes)
- Tiempo promedio reparación mayor (T mayor): 10,0 horas (Se reduce de las 13 horas actuales al eliminar la incertidumbre logística, aunque la reparación mecánica sea larga)

$$\begin{aligned}
 MTTR_{proy} &= (T_{menor} * \%) + (T_{mayor} * \%) \\
 MTTR_{proy} &= (2,0 [Hr] * 0,80) + (10,0[Hr] * 0,20) \\
 MTTR_{proy} &= 1.6 + 2.0 = 3,6 [Hr] \approx 4[Hr]
 \end{aligned}$$

La reducción del MTTR a 4,00 [Hr] no implica que los mecánicos trabajarán “más rápido”, sino que trabajarán sobre averías de menor envergadura. Al transformar fallas catastróficas en correcciones planificadas y averías menores, el promedio general del tiempo de restitución disminuye matemáticamente en un 69%.

3.2.3 Evaluación de la Disponibilidad Técnica Proyectada.

Finalmente, con los nuevos valores de confiabilidad y mantenibilidad proyectados, se calcula una nueva disponibilidad proyectada para la flota. Este indicador es crítico para validar si se cumple con los requerimientos operaciones del Departamento de Aseo.

$$A = \frac{MTBF_{proy}}{MTBF_{proy} + MTTR_{proy}} * 100$$

Reemplazando los valores:

$$A = \frac{30.38}{30.38 + 4.00} * 100$$

$$A = \frac{30.38}{34.38} * 100$$

$$A = 88.36\%$$

En el diagnóstico inicial, se estableció que la disponibilidad de la flota era del 53,85%, un valor crítico que obligaba a realizar dobles turnos y generabas acumulación de residuos en los sectores, también se mencionó que las condiciones geográficas de Valparaíso demandan una disponibilidad operativa superior al 85%. La proyección técnica demuestra que, mediante la aplicación del plan RCM propuesto, es factible alcanzar una disponibilidad del 88,36%, superando el umbral requerido por la gestión municipal.

3.3 ANÁLISIS DE CARGA DE TRABAJO HH Y FACTIBILIDAD.

Para asegurar que el plan propuesto es aplicable, se debe analizar si la maestranza puede absorber la carga de trabajo (HH- Horas hombre) de las nuevas pautas preventivas versus la carga actual correctiva. Para este análisis, se considera la restricción operativa real de la flota, aunque el personal de maestranza cumple jornada completa de 07:00 a 18:00 horas, los camiones recolectores se encuentran en ruta de servicio hasta las 14:00 si no se requiere alguna intervención o visita a maestranza.

La diferencia horaria nos genera una ventana crítica de intervención para la flota activa de 4 horas diarias (14:00 a 18:00), donde se concentra la ejecución del mantenimiento preventivo.

3.3.1 Estimación de la carga de trabajo actual (Correctiva)

Actualmente, la flota registra un tiempo total de inactividad de 12609,46 horas. Se estima que técnicamente que el 30% de este tiempo corresponde a trabajo mecánico efectivo, mientras que el resto son tiempos muertos por gestión de repuestos o espera de diagnóstico

- Cálculo de HH correctivas anuales:

$$HH_{actuales} \approx 12.609,46 \times 0,30 = 3.783 \frac{HH}{año}$$

Este valor refleja una carga de trabajo reactiva que, al no ser planificada, interrumpe constantemente en la operación y desborda la capacidad de respuesta en momentos críticos.

3.3.2 Estimación de la carga de trabajo propuesta (preventiva)

Se calculan las Horas-Hombre (HH) anuales requeridas para ejecutar las nuevas pautas en la flota de 32 camiones.

- PM-01 (Diaria)
 - Ejecutor: Operador
 - Carga mecánica: 0 HH (Inspección visual delegada)
- PM-02 (Semanal)
 - Ejecutor: 2 Mecánicos

- Duración: 1,5 horas.
- Frecuencia: 40 semanas
- Carga mecánica: $40 \times 1,5 \times 2 = 120 \text{ HH/Año}$.
Se consideran 40 semanas debido a la jerarquización de las pautas, la pauta PM-02 se encuentra contenida en las otras pautas mayores, considerando que una mantención mayor incluye y reemplaza la menor.
- PM-03 (Mensual)
 - Ejecutor: 2 Mecánicos
 - Duración: 3 horas
 - Carga mecánica: $12 \times 3 \times 2 = 72 \text{ HH/Año}$
- PM-04 (Semestral)
 - Ejecutor: 2 Mecánicos
 - Duración: 5 horas
 - Carga mecánica: $2 \times 5 \times 2 = 20 \text{ HH/Año}$
- PM-05 (Anual)
 - Ejecutor: 2 Mecánicos
 - Duración: 8 horas
 - Carga mecánica: $1 \times 8 \times 2 = 16 \text{ HH/Año}$

El total de horas-hombre asignadas a mantenciones preventivas para la flota son de 228 HH/Año por camión, lo que llevado a la flota de 32 unidades se estima un total de 7.296 HH/Año.

3.3.3 Estrategia de Ejecución y Balance de Carga

Para absorber las 7.296 HH preventivas, se propone una estrategia de trabajo dividida en dos bloques de horarios, aprovechando la jornada extendida de la Maestranza (07:00-18:00)

- Bloque 1: Preparación y correctivos mayores (07:00-14:00): En este horario, los camiones se encuentran en ruta, por lo que el personal técnico se dedicará principalmente a la logística del mantenimiento preparando kits de mantención y herramientas para el desarrollo de las pautas y la reparación de equipos inactivos, donde se trabaje en las unidades que se encuentran fuera de servicio por fallas mayores o intervenciones de mayor duración.
- Bloque 2: Ejecución intensiva (14:00-18:00): Es la ventana crítica donde ingresa la flota operativa a su mantenimiento preventivo.
 - Capacidad Requerida: para el cálculo serán considerados 312 días debido a que maestranza trabaja de lunes a sábado.

$$HH_{diarias} = \frac{7.296 \text{ HH}}{312 \text{ días}} \approx 23.4 \frac{\text{HH}}{\text{día}}$$

- Dotación necesaria: considerando la ventana de 4 horas efectiva:

$$Técnicos = \frac{23,4 \text{ HH}}{4 \text{ Horas}} \approx 5.85 \text{ Técnicos} \approx 6 \text{ Técnicos}$$

Para concluir la factibilidad del plan, Maestranza posee actualmente una dotación de 10 mecánicos a disposición para la ejecución de las pautas preventivas, lo que sobrepasa la cantidad estimada necesaria para el desarrollo, cabe destacar, que la existencia de la jornada de mañana permite que esta ejecución de pautas sea eficiente debido al existir una preparación y coordinación previa. Para casos de pautas semestrales y anuales donde la duración excede las 4 horas disponibles, debe ser solicitado la detención del camión por un turno para su ejecución, la cual será realizada en el primer bloque. Esto valida que la capacidad instalada actual es suficiente para transitar de un modelo correctivo a uno preventivo sin requerir el aumento de dotación, sino una reorganización inteligente de los turnos. Finalmente, la propuesta consiste en invertir 7.296 horas anuales de mantención preventiva versus las 12.609 horas de inoperatividad de la flota (valor asociado solo a un semestre en el presente estudio).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo de la presente tesis permitió abordar la problemática de disponibilidad en la flota de camiones recolectores de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso. A través de la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), se ha logrado estructurar una propuesta técnica sólida que permite transitar desde una gestión reactiva hacia una estrategia proactiva y basada en condición.

En base a los objetivos planteados en el inicio de esta investigación, podemos concluir lo siguiente; respecto al diagnóstico del estado actual se determinó que el plan de mantenimiento original presentaba deficiencias estructurales, donde se caracterizaba por una ejecución genérica y de alta dependencia del mantenimiento correctivo. El diagnóstico inicial reveló una disponibilidad operativa crítica del 53,85%, valor muy por debajo del estándar requerido para la operación urbana y un servicio crítico como la recolección de residuos en la ciudad. Asimismo, se encontraron indicadores de desempeño deficientes, con un MTBF de apenas 15,19 horas y un MTTR elevado de 13,01 horas, lo que evidenciaba que los equipos pasaban casi tanto tiempo en reparación como en operación. Esta estrategia se basaba en abordar las fallas una vez que esta se convertía en una falla funcional, actuando de manera reactiva e invirtiendo los recursos en actividades correctivas por sobre las preventivas.

Respecto al diseño del Plan RCM, siguiendo la norma SAE JA1011, fue posible rediseñar la estrategia de mantenimiento basándose en la función de los activos y no solo en intervalos de tiempo. Se identificaron los modos de falla ocultos y potenciales que no eran cubiertos por el plan anterior, este proceso nos dio como resultado cinco pautas nuevas de mantenimiento, presentado principales cambios como la Pauta Diaria PM-01 la cual se traspasa la responsabilidad al operador, con una inspección visual al inicio de la jornada permitiendo la detección temprana de anomalías y donde es el operador quien reconoce el correcto funcionamiento de la unidad y cualquier cambio en este.

Además, respecto a la evaluación técnica de las mejoras, fue demostrado que la implementación técnica del plan propuesto es viable y altamente beneficiosa para la gestión municipal. Las proyecciones realizadas nos indican que es posible mejorar la disponibilidad de la flota desde un 53% a un 88%, esto gracias a la planificación y reorganización eficiente en las mantenciones preventivas del equipo, de esta manera se supera el umbral del 85% siendo un escenario más amigable para la operación. Además, se estima una reducción drástica en el MTTR, debido a la baja de actividades correctivas reemplazadas por actividades preventivas, se estima una baja desde 13 horas a 4 horas, esto gracias a la planificación logística y la detención de fallas en etapa potencial. Finalmente, el análisis de factibilidad de carga nos permite confirmar que Maestranza cuenta con la capacidad suficiente para el desarrollo de este plan desde el área técnica. Se determinó que se requieren

aproximadamente 6 técnicos en el bloque preventivo, donde existe la disponibilidad actual de 10 mecánicos, lo que valida que la mejora es aplicable sin la necesidad de varias el personal actual.

Para dar cierre, es posible concluir que la optimización del plan de mantenimiento mediante RCM cumple con el objetivo de incrementar la confiabilidad y disponibilidad operacional. La propuesta transforma la modalidad de mantenimiento de la flota desde un concepto de reparar la falla a una mejor gestión de la vida útil del activo, asegurando así la continuidad del servicio de aseo, seguridad de la tripulación y eficiencia en el uso de los recursos públicos municipales.

Para lograr un enfoque más práctico, se realizan las siguientes recomendaciones para la aplicación del plan de mantenimiento, enfocándose en la mejora continua y una estrategia a largo plazo. Las recomendaciones son las siguientes: 1) Establecer un comité de revisión semestral, conformado por el encargado de maestranza, el supervisor del taller y un representante de operadores, esto con el objetivo de analizar la efectivas de las pautas contrastándolas con las nuevas fallas que surjan y los resultados obtenidos, así logrando ajustar frecuencias de mantención basándose en la evidencia real de operación. 2) Formalización de un acuerdo de servicio interno entre el departamento de Aseo y Maestranza, donde se estipulen las responsabilidades mutuas, coordinación y programación de las mantenciones nuevas. 3) Integración de tecnologías de telemetría, evaluar la incorporación futura de tecnologías de telemetría y monitoreo remoto en las próximas licitaciones de compra de camiones. Esto permitirá automatizar la captura de datos e información para la programación de las pautas de mantención. 4) Puesta en marcha de plan piloto, se recomienda comenzar la implementación en 5 camiones, en conjunto con una capacitación a los operadores para la PM-01 y una gestión de stock crítico necesario para esta puesta en marcha.

BIBLIOGRAFIA

1. Ministerio de Medio Ambiente (2016). Estrategia Nacional de Residuos Sólidos 2016-2030. Gobierno de Chile.
2. Moubray, J. (1997). Reliability-Centered Maintenance. Industrial Press.
3. Ebeling, C. (2010). An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. Waveland Press.
4. SAE International. (2009). SAE JA1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes.
5. SAE International. (2009). SAE JA1012: A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard.
6. Smith, A., & Hinchcliffe, G. (2004). RCM—Gateway to World Class Maintenance. Elsevier.
7. Subsecretaria de Desarrollo Regional y Administrativo (2022). Informe Nacional de Gestión de Residuos Sólidos Municipales. Gobierno de Chile.
8. Volkswagen (2020). Manual de taller Volkswagen Constellation 17-280. Brasil.
9. Volkswagen (2020). Manual de Garantía y Mantención Volkswagen Constellation 17-280. Brasil
10. Parker Hannifin Corporation (2015). Manual de Operación y mantención Toma de Fuerza. Usa
11. McNeilus (2015) Manual de mantenimiento y operador. Revisión 1. Mexico.
12. Allison (2005). Allison Transmission Controles de 4ta generación de Allison (3000/4000).

ANEXOS

ANEXO A: FALLAS FUNCIONALES Y MODOS DE FALLA.

Sistema	#	Descripción de la función	#	Falla funcional	#	Modo de falla
Sistema electrico	1	Entregar a los componentes eléctricos un voltaje entre los 24 [V] y los 28[V]	1.1	El sistema no entrega a los componentes un voltaje entre los 24 [V] y 28 [V].	1.1.1	Bateria completamente descargada
					1.1.2	Terminales de bateria sueltos
					1.1.3	Terminales de bateria en mal estado
					1.1.4	Alternador defectuoso
					1.1.5	Correa accesorios cortada.
					1.1.6	Cable alimentación alternador cortado
			1.2	El sistema entrega un voltaje menor a 24 [V] o mayor a 28 [V].	1.2.1	Regulador de voltaje del alternador quemado
					1.2.2	Sensor de voltaje defectuoso
					1.2.3	Cableado de alternador dañado
					1.2.4	Carbones de alternador gastados

Sistema	#	Descripción de la función	#	Falla funcional	#	Modo de falla
Sistema neumatico	2	Entregar al circuito neumático una presión entre 9 y 12,5 [bar]	2.1	El sistema no entrega a los componentes una presión entre 9 y 12,5 [bar]	2.1.1	Acumulador principal con fuga
					2.1.2	Engranaje de compresor con desgaste
					2.1.3	Manguera de alimentación acumulador cortada
					2.1.4	Manguera de admisión de compresor cortada
					2.1.5	Filtro secador saturado
			2.2	El sistema entrega a los componentes una presión menor a 9 [bar] o mayor a 12,5 [bar]	2.2.1	Filtro secador roto
					2.2.2	Depositos saturados de agua
					2.2.3	Gobernador dañado
					2.2.4	Valvula de purga trabada abierta
					2.2.5	Valvula de purga trabada cerrada

Sistema	#	Descripción de la función	#	Falla funcional	#	Modo de falla
Sistema de refrigeración	3	Mantener la temperatura del líquido refrigerante del motor en su rango de operación entre 80 y 95 [°C]	3.1	El sistema mantiene la temperatura del líquido refrigerante bajo los 80 °C o sobre los 95 °C	3.1.1	Abrazadera de manguera sueltas
					3.1.2	Manguera cortada
					3.1.3	Radiador obtruido
					3.1.4	Radiador roto
					3.1.5	Deposito de expansión roto
					3.1.6	Correa accionamiento suelta
					3.1.7	Correa de accionamiento cortada
					3.1.8	Bomba de agua desgastada
					3.1.9	Termostato pegado abierto
					3.1.10	Termostato pegado cerrado

Sistema	#	Descripción de la función	#	Falla funcional	#	Modo de falla
Sistema de rodado	4	Soportar y transmitir las cargas del vehiculo, asegurando una movilidad segura, estable y eficiente.	4.1	El sistema no es capaz de soportar las cargas del vehiculo comprometiendo la movilidad de este	4.1.1	Neumatico pinchado
					4.1.2	Neumatico desinflado
					4.1.3	Valvula suelta
					4.1.4	Valvula rota
			4.2	El sistema no entrega estabilidad en el traslado del vehiculo	4.2.1	Llanta deformada
					4.2.2	Neumatico deformado
					4.2.3	Neumatico con desgaste

Sistema	#	Descripción de la función	#	Falla funcional	#	Modo de falla
Sistema de frenos	5	Reducir y detener de manera segura el movimiento del vehiculo	5.1	El sistema no es capaz de reducir el movimiento del vehiculo	5.1.1	Balatas desgastadas
					5.1.2	Valvula de descarga rapida obtruida
					5.1.3	Frenos desregulados
					5.1.4	Tambores de freno desgastados irregularmente
			5.2	El sistema no es capaz de detener el movimiento del vehiculo completamente	5.2.1	Frenos desregulados
					5.2.2	Valvula de maxi break obtruida
					5.2.3	Regulador de freno en mal estado
					5.2.4	Valvula de descarga rapida obtruida

Sistema	#	Descripción de la función	#	Falla funcional	#	Modo de falla
Sistema de transmisión	6	Transmisión de potencia desde el de motor hacia las ruedas	6.1	El sistema transmite menor o nula potencia desde el motor hacia las ruedas	6.1.1	Cruceta de cardan rota
					6.1.2	Eje palier cortado
					6.1.3	Corona desgasta
					6.1.4	Cardán cortado
					6.1.5	Convertidor de torque vacio
					6.1.6	Sensor en corte

ANEXO A: “Fallas funcionales y modos de falla”

(Fuente: FMECA de elaboración propia)

Sistema	#	Descripción de la función	#	Falla funcional	#	Modo de falla
Sistema de suspensión	7	Absorber las irregularidades del camino, manteniendo la estabilidad y tracción	7.1	El sistema no es capaz de absorber las irregularidades generando oscilaciones al andar y desalineamiento	7.1.1	Perno centro cortado
					7.1.2	Ruedas desbalanceadas
					7.1.3	Ballesta fracturada
					7.1.4	King pin con desgaste
					7.1.5	Bujes de barra estabilizadora desgastados

Sistema	#	Descripción de la función	#	Falla funcional	#	Modo de falla
Sistema compactador	8	Compactar, transferir y almacenar residuos de forma continua y segura durante la ruta hasta la descarga completa en el punto vaciado	8.1	El sistema no logra completar el ciclo de compactación	8.1.1	Fuga en cilindro hidráulico
					8.1.2	Bomba hidráulica defectuosa
					8.1.3	Rieles escudo desgastados
			8.2	El sistema no retiene los residuos dentro del compartimiento	8.2.1	Caja compactadora con cortes
					8.2.2	Sellos de cajón defectuosos
			8.3	El sistema opera con fuerza insuficiente para reducir el volumen esperado	8.3.1	Bomba hidráulica con fugas internas
					8.3.2	Valvula controladora de presión defectuosa
					8.3.3	Filtro hidráulico obstruido

Sistema	#	Descripción de la función	#	Falla funcional	#	Modo de falla
Sistema PTO	9	Generar presión a través de potencia suministrada por el sistema de transmisión, levantando presión en la bomba hidráulica que moviliza el sistema compactador	9.1	El sistema no transmite potencia	9.1.1	Piñón de toma de fuerza desgastado
					9.1.2	Piñón de bomba desgastado
			9.2	El sistema no activa/acopla	9.2.1	Solenoide PTO en corte
					9.2.2	Interruptor PTO en corte
					9.2.3	Fusible PTO en corte

ANEXO A: “Fallas funcionales y modos de falla”

(Fuente: FMECA de elaboración propia)

ANEXO B: HISTORIAL DE FALLA HBGP73 Y KBTP31.

Sistema	Modo de falla	Frecuencia
Sistema de rodado	Neumatico deformado	2
	Neumatico desinflado	5
	Llanta golpeada	3
Sistema compactador	Caja compactadora con cortes	3
	Sellos de cajón defectuosos	2
	Rieles escudo desgastados	2
Sistema toma de fuerza	Piñon desgastado	3
	Solenoides dañado	2
	Toma de fuerza suelto	4
Sistema de freno	Valvula de descarga rapida obtruida	2
	Tambor de freno desgastado	2
	Valvula de maxi break obtruida	2
	Resortes de balata vencidos	8
Sistema de suspensión	King pin con deshaste	2
	Ruedas desbalanceadas	2
Sistema de refrigeración	Termostato pegado cerrado	2
	Manguera cortada	3
	Radiador obtruido	1
	Bomba de agua desgastada	2
Sistema electrico	Terminales de bateria sueltos	1
	Cableado alternador dañado	2
	Correa Acc. Cortada	3
Sistema neumatico	Acumulador principal con fuga	2
	Gobernador dañado	2
	Engranaje de compresor desgastado	1
	Depositos saturados de agua	5
Sistema de transmisión	Reten de masa defectuoso	4
	Eje palier cortado	1
Total		73

Anexo B: “Historial de falla HBGP73”

Fuente: Elaboración propia.

Sistema	Modo de falla	Frecuencia
Sistema de rodado	Valvula rota	1
	Valvula suelta	1
	Llanta golpeada	1
Sistema compactador	Fuga en cilindro hidraulico	2
	Bomba hidraulica con fugas internas	1
	Bomba hidraulica defectuosa	2
Sistema toma de fuerza	Piñon desgastado	3
	Interruptor PTO en corte	1
	Bomba gastada	3
Sistema de freno	Frenos desregulados	5
	Regulador de freno en mal estado	2
	Valvula de descarga rapida obtruida	2
	Regulador de freno atorado	1
Sistema de suspensión	Bujes barra estabilizadora gastados	5
	Perno centro cortado	1
Sistema de refrigeración	Abrazadera de manguera suelta	2
	Manguera pinchada	3
	Deposito de expansión roto	3
Sistema electrico	Terminales de bateria en mal estado	3
	Alternador defectuoso	3
	Bateria completamente descargada	3
Sistema neumatico	Filtro secador obtruido	1
	Manguera de alimentación acumulador cortada	3
Sistema de transmisión	Sensor en corte	2
	Convertidor de torque vacio	1
	Corona desgastada	1
Total		56

Anexo B: “Historial de falla KBTP31”

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO C: EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE FALLAS

#	EFFECTO DE FALLA	FRECUENCIA DE FALLA	MTTR (LOG-EJEC-P. EN MARCHA)	IMP. PROD KG/HB	IMP SEG	IMP AMB	RIESGO CUANTITATIVO KG/AÑO	RIESGO CUALITATIVO	GRAFICO
1.1.1	Evidente: No	3	4	812,5	C	C	9750	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): No enciende tablero								
	Acción correctiva: Cargar baterías								
1.1.2	Evidente: No	1	0,5	812,5	C	C	406,25	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): No enciende tablero								
	Acción correctiva: Apretar terminales								
1.1.3	Evidente: Si	3	1	812,5	C	C	2437,5	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Cortocircuito en batería								
	Acción correctiva: Reemplazo de terminales								
1.1.4	Evidente: No	1	1,5	812,5	C	C	1218,75	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Fallos en sistemas eléctricos								
	Acción correctiva: Reemplazo de alternador								
1.1.5	Evidente: No	1	1	812,5	C	C	812,5	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Voltaje de baterías, no de carga.								
	Acción correctiva: Reemplazo de correa y revisión de sensores								
1.1.6	Evidente: No	0	1	812,5	C	C	0	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Posible cortocircuito bajo cabina, luz								
	Acción correctiva: Revisión y reparación de cableado								
1.2.1	Evidente: No	0	1	812,5	C	C	0	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Voltaje de carga elevado, sobre 28 [V]								
	Acción correctiva: Reemplazo de regulador.								
1.2.2	Evidente: No	0	1	812,5	C	C	0	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): luz de batería encendido								
	Acción correctiva: Reemplazo de sensor								
1.2.3	Evidente: No	2	2	812,5	C	C	3250	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Entrega voltaje menor a 24 [V]								
	Acción correctiva: Reparación de ramal eléctrico								
1.2.4	Evidente: No	0	2	812,5	C	C	0	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Entrega voltaje menor a 24 [V] oscilante								
	Acción correctiva: Reemplazo de carbones								
2.1.1	Evidente: Si	1	1	812,5	C	C	812,5	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Presencia de fuga y el vehículo no logra cargar la presión estimada								
	Acción correctiva: Revisión y reparación de fuga								
2.1.2	Evidente: Si	1	3	812,5	B	B	2437,5	BB	2
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Compresor no carga aire								
	Acción correctiva: Desmontaje y reemplazo de engranaje								
2.1.3	Evidente: Si	3	0,5	812,5	C	C	1218,75	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): El camión no carga aire								
	Acción correctiva: Reparación o reemplazo de línea afectada.								
2.1.4	Evidente: Si	1	0,5	812,5	C	C	406,25	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Carga lenta de presión de aire								
	Acción correctiva: Reemplazo de manguera de admisión								

Anexo C: "Efectos y consecuencias de falla"

Fuente: Elaboración propia.

2.1.5	Evidente: No	1	3	812,5	C	C	2437,5	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Carga lenta de presión de aire, acumuladores saturados de líquido								
	Acción correctiva: Reemplazo de filtro secador y drenado de estanques								
2.2.1	Evidente: Si	0	2	812,5	C	C	0	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): El camión no es capaz de cargar su								
	Acción correctiva: Revisión y reemplazo de filtro secador								
2.2.2	Evidente: Si	5	4	812,5	C	C	16250	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): El camión no es capaz de cargar su máxima capacidad, purgadores goteando.								
	Acción correctiva: Drenado de acumuladores y revisión de compresor y								
2.2.3	Evidente: No	2	2	812,5	C	C	3250	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): El compresor carga una presión de aire mayor a 12,5 [bar]								
	Acción correctiva: reemplazo de gobernador								
2.2.4	Evidente: Si	0	1	812,5	B	C	0	BC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Presencia de fuga constante, no se logra cargar máxima presión de aire								
	Acción correctiva: Desmontaje y limpieza de válvula de purga.								
2.2.5	Evidente: Si	0	1	812,5	B	C	0	BC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): El compresor carga una presión de aire mayor a 12,5 [bar] y no es capaz de despilchar								
	Acción correctiva: Desmontaje y limpieza de válvula de purga								
3.1.1	Evidente: Si	1	0,5	812,5	C	B	406,25	CB	1
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): fuga de refrigerante, derrame en piso								
	Acción correctiva: reapriete de abrazaderas								
3.1.2	Evidente: Si	1	1	812,5	C	B	812,5	CB	1
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Fuga de refrigerante en gran proporción, testigo de bajo nivel refrigerante								
	Acción correctiva: Revisión y reemplazo de manguera								
3.1.3	Evidente: No	1	4	812,5	C	C	3250	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Sobrecalentamiento de motor								
	Acción correctiva: Desmontaje y limpieza de radiador								
3.1.4	Evidente: Si	1	4	812,5	B	A	3250	BA	3
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Fuga constante de gran proporción, depósito de refrigerante vacío, testigo de refrigerante encendido								
	Acción correctiva: Reemplazo de radiador								
3.1.5	Evidente: Si	3	2	812,5	C	C	4875	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Fuga en depósito, bajo nivel de refrigerante, testigo de refrigerante encendido								
	Acción correctiva: Reemplazo de depósito de expansión								
3.1.6	Evidente: Si	1	0,5	812,5	C	C	406,25	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Chillido constante, alza de temperatura en funcionamiento								
	Acción correctiva: Tensar correa de accionamiento de bomba de agua								

Anexo C: “EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE FALLAS”

Fuente: Elaboración propia.

3.1.7	Evidente: Si	2	2	812,5	C	C	3250	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Aumento de temperatura repentino.								
	Acción correctiva: Revisión de tensores y rodillos, remplazo de correa de accionamiento								
3.1.8	Evidente: Si	2	3	812,5	C	C	4875	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Presencia de pequeña fuga en carcasa de bomba, incapacidad de mantener una temperatura bajo los 95°								
	Acción correctiva: Reemplazo de bomba de agua								
3.1.9	Evidente: No	0	2	812,5	C	C	0	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Vehículo no alcanza temperatura de								
	Acción correctiva: Reemplazo de termostato								
3.1.10	Evidente: No	2	2	812,5	C	C	3250	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): El vehículo sobrepasa al temperatura de funcionamiento								
	Acción correctiva: Reemplazo de termostato								
4.1.1	Evidente: Si	12	2	812,5	A	C	19500	AC	2
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Vehículo no sigue una trayectoria recta, carga distribuida de manera dispereja								
	Acción correctiva: Desmontaje y reparación de neumático								
4.1.2	Evidente: Si	5	1	812,5	B	C	4062,5	BC	1
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Carga distribuida de manera dispereja, camión ladeado hacia un costado								
	Acción correctiva: revisión por posible pinchadura, inflar a 100 psi								
4.1.3	Evidente: No	1	0,5	812,5	C	C	406,25	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): pérdida de presión progresiva en el								
	Acción correctiva: Reapriete de válvula y revisión de fugas								
4.1.4	Evidente: Si	1	1	812,5	B	C	812,5	BC	1
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Neumático no mantiene su presión de inflado, vaciado rápidamente								
	Acción correctiva: Reemplazo de válvula								
4.2.1	Evidente: Si	3	1	812,5	B	C	2437,5	BC	1
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Vibraciones anómalas en volante, pérdida de presión en neumáticos								
	Acción correctiva: Reemplazo de llanta								
4.2.2	Evidente: No	2	1	812,5	B	C	1625	BC	1
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Pérdida de tracción y estabilidad al								
	Acción correctiva: Reemplazo de neumático								
4.2.3	Evidente: Si	4	1	812,5	A	B	3250	AB	3
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Aumenta pérdida de tracción, frenados deficientes, propenso a pinchazos								
	Acción correctiva: Reemplazo de neumático								
5.1.1	Evidente: No	6	2	812,5	A	B	9750	AB	3
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Chillido, pérdida de eficiencia al frenar, maxibrake menos eficiente								
	Acción correctiva: Revisión y reemplazo de patines de freno								

Anexo C: “EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE FALLAS”

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2	Evidente: Si	2	3	812,5	A	C	4875	AC	2
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Funcionamiento maxibrake intermitente, no se despilcha sistema al frenar								
	Acción correctiva: Retiro, revisión, limpieza de valvula, evaluación de								
5.1.3	Evidente: Si	5	1	812,5	B	C	4062,5	BC	1
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Frenada deficiente, maxibrake no funciona de manera correcta. Pedal con largo recorrido								
	Acción correctiva: Revisión de estado de balatas y regulación								
5.1.4	Evidente: No	2	2	812,5	C	C	3250	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Frenada transmite vibraciones al volante, dificultad para regulación de frenos								
	Acción correctiva: Retiro y rectificado de superficie de tambores, cambio de balatas a sobremedida								
5.2.1	Evidente: No	2	1	812,5	B	C	1625	BC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Frenada larga, maxibrake deficiente								
	Acción correctiva: Revisión de estado de balatas y regulación								
5.2.2	Evidente: No	1	3	812,5	A	B	2437,5	AB	3
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Freno maxibrake no acciona ni descarga. Sigue en movimiento al activarse								
	Acción correctiva: Revisión, limpieza y evaluación de reemplazo de								
5.2.3	Evidente: No	2	1	812,5	A	C	1625	AC	2
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Rueda afectada no frena o frena de manera ineficiente								
	Acción correctiva: Reemplazo de regulador de freno								
5.2.4	Evidente: Si	2	3	812,5	A	C	4875	AC	2
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Funcionamiento maxibrake intermitente, no se despilcha sistema al frenar								
	Acción correctiva: Retiro, revisión, limpieza de valvula, evaluación de								
6.1.1	Evidente: Si	2	2	812,5	A	C	3250	AC	2
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Pérdida de tracción total del camión.								
	Acción correctiva: Reemplazo de cruceta y revisión de soportes de								
6.1.2	Evidente: No	1	5	812,5	B	C	4062,5	BC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Pérdida de tracción total, golpeteo en								
	Acción correctiva: Revisión de diferencial, reemplazo de palier								
6.1.3	Evidente: No	1	6	812,5	C	C	4875	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Golpeteo en zona posterior, holguras en diferencial, deslizamiento entre engranajes								
	Acción correctiva: Revisión, reparación y reajuste de sistema diferencial, evaluación de reemplazo.								
6.1.4	Evidente: Si	0	2	812,5	B	C	0	BC	1
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Pérdida de tracción total, ruido repentino con gran impacto.								
	Acción correctiva: Revisión soportes de cardan y reemplazo de cardan								
6.1.5	Evidente: No	1	2	812,5	C	C	1625	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Vehículo sin fuerza, pérdida de potencia								
	Acción correctiva: Revisión y relleno de transmisión, revisión de fugas								

Anexo C: “EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE FALLAS”

Fuente: Elaboración propia.

6.1.6	Evidente: No	2	1	812,5	C	C	1625	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Golpes entre cambio y cambio, bloqueo de modulo de caja.								
	Acción correctiva: Revisión, limpieza y evaluación de reemplazo de								
7.1.1	Evidente: Si	2	8	812,5	A	B	13000	AB	3
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): "eje desplazado", radio de giro errático, movimientos aleatorios de eje trasero al circular								
	Acción correctiva: Retiro de ballesta y reemplazo de perno centro								
7.1.2	Evidente: No	2	4	812,5	B	C	6500	BC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Vibraciones anómalas en volante, desgaste irregular de neumáticos								
	Acción correctiva: Balanceo de conjunto rueda								
7.1.3	Evidente: Si	4	12	812,5	A	C	39000	AC	2
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Grieta en ballesta, desalineamiento de hojas en ballesta, pérdida de altura del camión								
	Acción correctiva: Retiro de ballesta y reemplazo de elementos								
7.1.4	Evidente: No	2	12	812,5	A	C	19500	AC	2
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Dirección errática, holguras en volante al momento de circular								
	Acción correctiva: Revisión, comprobación de holguras y ajuste de laínas, evaluación de reemplazo de king pin.								
7.1.5	Evidente: No	5	3	812,5	B	C	12187,5	BC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Crujido en tren delantero, sensación de inestabilidad en cabina								
	Acción correctiva: Retiro de barra y reemplazo de bujes								
8.1.1	Evidente: Si	2	4	812,5	B	B	6500	BB	2
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Fuga visible en cilindro, problemas de movimiento sistema compactador								
	Acción correctiva: Retiro y reemplazo de cilindro afectado								
8.1.2	Evidente: No	2	3	812,5	C	C	4875	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Baja o nula potencia en sistema								
	Acción correctiva: Retiro y revisión de bomba, piñón y nivel de aceite.								
8.1.3	Evidente: No	2	3	812,5	C	C	4875	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Dificultad para expulsar o retraer escudo interior de sistema compactador								
	Acción correctiva: Limpieza y lubricación de rieles interiores								
8.2.1	Evidente: Si	3	5	812,5	B	A	12187,5	BA	3
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Fugas de líquidos o basura desde el interior de caja compactador								
	Acción correctiva: Limpieza y reparación de paneles afectados								
8.2.2	Evidente: Si	1	4	812,5	B	A	3250	BA	3
	Afecta SHA: Si								
	Efecto operacional (síntomas): Fugas de basura y líquidos por								
	Acción correctiva: Reemplazo de sellos de cajón								

Anexo C: "EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE FALLAS"

Fuente: Elaboración propia.

8.3.1	Evidente: No	1	5	812,5	C	C	4062,5	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Baja potencia de compactación, no logra realizar ciclo de compactación, demora en accionamiento								
	Acción correctiva: Retiro y reemplazo de bomba hidráulica								
8.3.2	Evidente: No	0	2	812,5	C	C	0	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Exceso o disminución de potencia en sistema compactador								
	Acción correctiva: Reemplazo de válvula controladora de presión.								
8.3.3	Evidente: No	0	1	812,5	C	C	0	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Baja o nula potencia en sistema compactador, fugas en líneas de filtro.								
	Acción correctiva: Reemplazo de filtro aceite hidráulico.								
9.1.1	Evidente: No	3	3	812,5	C	C	7312,5	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): Sistema engrana, pero no levanta presión del sistema compactador, ruido metálico proveniente de toma								
	Acción correctiva: Retiro y reemplazo de piñón								
9.1.2	Evidente: No	0	3	812,5	C	C	0	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): El sistema no levanta presión para								
	Acción correctiva: Retiro de bomba y reemplazo de piñón								
9.2.1	Evidente: No	2	1	812,5	C	C	1625	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): El sistema no acopla, camión no entra en modo de trabajo								
	Acción correctiva: Revisión de solenoide y cableado, reemplazo de								
9.2.2	Evidente: No	1	1	812,5	C	C	812,5	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): El sistema no es capaz de acoplar, no entra en modo de trabajo ni levanta rpm.								
	Acción correctiva: Revisión de conexiones y reemplazo de interruptor								
9.2.3	Evidente: No	0	0,5	812,5	C	C	0	CC	1
	Afecta SHA: No								
	Efecto operacional (síntomas): El sistema no es capaz de acoplar, no entra en modo de trabajo ni levanta rpm.								
	Acción correctiva: Revisión de fusibles y relays, reemplazo de elementos								

Anexo C: “EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE FALLAS”

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO D: HOJAS DE DECISIÓN ACCIONES DE MANTENIMIENTO.

HOJA DE DECISION		ACTIVO: CAMIÓN VOLKSWAGEN CONSTELLATION 17280 2020																	
		SISTEMA: SISTEMA NEUMATICO																	
		Evaluación de las consecuencias					H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Tareas "a falta de"				Tareas propuestas				Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4							
2	2.1	2.1.1	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN. Revisión de conexiones de estanque				Semanal	Operador	
		2.1.2	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN. Revisión de funcionamiento de compresor en caso de anomalía.				Semestral	Tec. Mecanico	
		2.1.3	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN. Revisión de conexiones de compresor				Mensual	Tec. Mecanico	
		2.1.4	S	N	N	S	S												
	2.2	2.1.5	S	S			N	N	S				SUSTITUCIÓN CICLICA. Remplazo de filtro secador.				Anual	Tec. Mecanico	
		2.2.1	S	S			N	N	S				TAREA A CONDICIÓN. Drenado de acumuladores.				Diario	Operador	
		2.2.3	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN. Revisión e inspección de gobernador y sus				Semestral	Tec. Mecanico	
		2.2.4	S	S			N	S					REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Limpieza y mantención de				Anual	Tec. Mecanico	
		2.2.5	S	S			N	S					valvula de purga.						

Anexo D: “Hoja de decisión Sistema Neumatico”

Fuente: Elaboración propia.

HOJA DE DECISIÓN		ACTIVO: CAMIÓN VOLKSWAGEN CONSTELLATION 17280 2020																	
		SISTEMA: SISTEMA REFRIGERACIÓN																	
				Evaluación de las consecuencias			H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas propuestas				Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4							
3	3.1	3.1.1	N				S						TAREA A CONDICIÓN. Inspección visual de mangueras.				Semanal	Tec. Mecanico	
		3.1.2	N				S												
		3.1.3	S	S			N	S					REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Revisión y limpieza de radiador				Semestral	Tec. Mecanico	
		3.1.4	S	S			N	S					TAREA A CONDICIÓN. Inspección visual de deposito y conexiones				Semanal	Tec. Mecanico	
		3.1.5	S	S			S						TAREA A CONDICIÓN. Inspección de tensión de correas.				Semanal	Tec. Mecanico	
		3.1.6	N	S			S						SUSTITUCIÓN CICLICA. Reemplazo de correa.				Semestral	Tec. Mecanico	
		3.1.7	S	S			N	N	S				SUSTITUCIÓN CICLICA. Reemplazo de bomba de agua				Anual	Tec. Mecanico	
		3.1.8	S	S			N	N	S										
		3.1.9	S	S			N	N	S				SUSTITUCIÓN CICLICA. Reemplazo de termostato				Anual	Tec. Mecanico	
		3.1.9	S	S			N	N	S										

Anexo D: “Hoja de decisión Sistema Refrigeración”

Fuente: Elaboración propia.

HOJA DE DECISIÓN		ACTIVO: CAMIÓN VOLKSWAGEN CONSTELLATION 17280 2020																				
		SISTEMA: SISTEMA DE RODADO																				
		Evaluación de las consecuencias					H1	H2	H3	Tareas "a falta de"					Tareas propuestas				Frecuencia inicial		A realizar por	
							S1	S2	S3	O1	O2	O3										
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4										
4	4.1	4.1.1	S	S			S						TAREA A CONDICIÓN. Revisión de presión y banda de rodadura de neumático				Diario		Operador			
		4.1.2	S	S			S															
		4.1.3	N				S						TAREA A CONDICIÓN. Inspección visual de componentes.				Semanal		Tec. Mecanico			
		4.1.4	N				S															
	4.2	4.2.1	S	S			S						TAREA A CONDICIÓN. Inspección visual de componentes.				Semanal		Tec. Mecanico			
		4.2.2	S	S			S						TAREA A CONDICIÓN. Rotación de neumáticos				Mensual		Vulcanizador			
		4.2.3	S	S			N	N	S				SUSTITUCIÓN CICLICA. Medición de profundidad y reemplazo de neumático				Semestral		Vulcanizador			

Anexo D: “Hoja de decisión Sistema Rodado”

Fuente: Elaboración propia.

HOJA DE DECISION		ACTIVO: CAMIÓN VOLKSWAGEN CONSTELLATION 17280 2020																SISTEMA: SISTEMA DE FRENO		
			Evaluación de las consecuencias						H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Tareas "a falta de"		Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por				
F	FF	MF	H	S	E	0	N1	N2	N3	H4	H5	S4								
5	5.1	5.1.1	S	S			S								TAREA A CONDICIÓN. Inspección de desgaste y evaluación de reemplazo.	Semanal	Tec. Mecanico			
		5.1.2	S	S			N	S							REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Revisión y limpieza de valvula de descarga	Semestral	Tec. Mecanico			
		5.1.3	S	S			N	S							REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Regulación de frenos	Semanal	Tec. Mecanico			
		5.1.4	S	S			S								TAREA A CONDICIÓN. Inspección de desgaste y evaluación de reemplazo.	Semanal	Tec. Mecanico			
	5.2	5.2.1	S	S			N	S							REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Regulación de frenos	Semanaal	Tec. Mecanico			
		5.2.2	S	S			N	S							REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Revisión y limpieza de valvula	Semestral	Tec. Mecanico			
		5.2.3	S	S			S								TAREA A CONDICION. Evaluación de funcionamiento y reemplazo	Semanal	Tec. Mecanico			
		5.2.4	S	S			N	S							REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Revisión y limpieza de valvula	Semestral	Tec. Mecanico			

Anexo D: “Hoja de decisión Sistema de Freno”

Fuente: Elaboración propia.

HOJA DE DECISIÓN		ACTIVO: CAMIÓN VOLKSWAGEN CONSTELLATION 17280 2020																SISTEMA: SISTEMA DE TRANSMISIÓN										
					Evaluación de las consecuencias			H1	H2	H3	Tareas "a falta de"										Tareas propuestas				Frecuencia inicial		A realizar por	
								S1	S2	S3																		
								O1	O2	O3																		
F		FF		MF		H	S	E	0	N1	N2	N3	H4	H5	S4													
6	6.1	6.1.1		S	S			S								TAREA A CONDICIÓN. Inspección de holguras y engrase.				Semanal				Tec. Mecanico				
		6.1.2		S	S			S								TAREA A CONDICIÓN. Inspección de aprietes de masa, holguras en diferencial y nivel de aceite de diferencial				Mensual				Tec. Mecanico				
		6.1.3		S	S			S								TAREA A CONDICIÓN. Inspección de nivel de aceite, medición de holgura.				Mensual				Tec. Mecanico				
		6.1.4		S	S			S								TAREA A CONDICIÓN. Reapriete de pernos de cardán y soportes.				Semanal				Tec. Mecanico				
		6.1.5		N				S								TAREA A CONDICIÓN. Monitoreo de nivel por modulo de transmisión				Diario				Operador				
		6.1.6		N				S								TAREA A CONDICIÓN. Chequeo de funcionamiento transmisión y medición de sensor				Mensual				Tec. Mecanico				

Anexo D: “Hoja de decisión Sistema de Transmisión”

Fuente: Elaboración propia.

HOJA DE DECISIÓN		ACTIVO: CAMIÓN VOLKSWAGEN CONSTELLATION 17280 2020																SISTEMA: SISTEMA DE SUSPENSIÓN.									
				Evaluación de las consecuencias			H1	H2	H3	Tareas "a falta de"							Tareas propuestas				Frecuencia inicial		A realizar por				
F	FF	MF	H	S	E	0	N1	N2	N3	H4	H5	S4															
7	7.1	7.1.1	S	S			S						TAREA A CONDICIÓN. Revisión de alineación de eje trasero, reapriete de abrazaderas				Mensual				Tec. Mecanico						
		7.1.2	N				N	S					REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Balanceo y alineación				Semestral				Tec. Mecanico						
		7.1.3	S	S			S						TAREA A CONDICIÓN. Inspección visual de hojas, reapriete de abrazaderas				Semanal				Tec. Mecanico						
		7.1.4	S				S																				
		7.1.5	S				S						TAREA A CONDICIÓN. Revisión de holguras tren delantero				Mensual				Tec. Mecanico						

Anexo D: “Hoja de decisión Sistema de Suspensión”

Fuente: Elaboración propia.

HOJA DE DECISIÓN		ACTIVO: CAMIÓN VOLKSWAGEN CONSTELLATION 17280 2020														SISTEMA: SISTEMA COMPACTADOR		
		Evaluación de las consecuencias			H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas propuestas				Frecuencia inicial	A realizar por	
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4						
8	8.1	8.1.1	S	S			S						TAREA A CONDICIÓN. Revisión de cilindros y flexibles				Semanal	Tec. Mecanico
		8.1.2	S	N	N	N	N	N	N				NINGUNA TAREA PROGRAMADA					
		8.1.3	S	S			N	S					REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Limpieza y lubricación de rieles				MENSUAL	Tec. Mecanico
	8.2	8.2.1	S	N	S		N	S					REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Revisión y reparación de paneles de caja.				Semestral	Soldador
		8.2.2	S	N	S		N	S					REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Revisión y reemplazo de sellos de cajón.				Semestral	Soldador
	8.3	8.3.1	N	N			N	N	N				NINGUNA TAREA PROGRAMADA					
		8.3.2	S	S			S						TAREA A CONDICIÓN. Medición de presión de trabajo, reemplazo de válvula				Anual	Tec. Mecanico
		8.3.3	S	S			N	N	S				SUSTITUCIÓN CICLICA. Reemplazo de filtro				Anual	Tec. Mecanico

Anexo D: “Hoja de decisión Sistema de Compactador”

Fuente: Elaboración propia.

HOJA DE DECISIÓN		ACTIVO: CAMIÓN VOLKSWAGEN CONSTELLATION 17280 2020																								
		SISTEMA: SISTEMA PTO																								
			Evaluación de las consecuencias					H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas propuestas				Frecuencia inicial		A realizar por					
			S1	S2	S3	O1	O2	O3																		
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4														
9	9.1	9.1.1	N				S						TAREA A CONDICIÓN. Desmontaje de conjunto PTO e inspección de desgaste}											Anual	Tec. Mecanico	
		9.1.2	N				S																			
	9.2	9.2.1	S	N	N	S	N	N	N					NINGUN MANTENIMIENTO PROACTIVO												
		9.2.2	S	N	N	S	N	N	N																	
		9.2.3	S	N	N	S	N	N	N																	

Anexo D: “Hoja de decisión Sistema de PTO”

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO E: ACCIONES DE MANTENIMIENTO.

#	Acción a efectuar	Frecuencia de aplicación (anual)	Numero de personas	HH-Ejecución
2.1.1	TAREA A CONDICIÓN. Revisión de conexiones de estanque	52	1	0,1
2.1.2	TAREA A CONDICIÓN. Revisión de funcionamiento de compresor en caso de anomalía.	2	1	2
2.1.3	TAREA A CONDICIÓN. Revisión de conexiones de compresor	12	1	0,1
2.1.4				
2.1.5	SUSTITUCIÓN CICLICA. Reemplazo de filtro secador.	1	2	2
2.2.1				
2.2.2	TAREA A CONDICIÓN. Drenado de acumuladores.	312	1	0,2
2.2.3	TAREA A CONDICIÓN. Revisión e inspección de gobernador y sus conexiones	2	1	0,2
2.2.4	REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Limpieza y mantención de valvula de purga.	1	2	3
2.2.5				

Anexo E: “Acciones de mantenimiento Sistema Neumatico”

Fuente: Elaboración propia.

#	Acción a efectuar	Frecuencia de aplicación (anual)	Numero de personas	HH-Ejecución
3.1.1	TAREA A CONDICIÓN. Inspección visual de mangueras.	52	1	0,1
3.1.2				
3.1.3	REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Revisión y limpieza de radiador	2	2	2
3.1.4				
3.1.5	TAREA A CONDICIÓN. Inspección visual de deposito y conexiones	52	1	0,2
3.1.6	TAREA A CONDICIÓN. Inspección de tensión de correas.	52	1	0,1
3.1.7	SUSTITUCIÓN CICLICA. Reemplazo de correa.	2	1	1
3.1.8	SUSTITUCIÓN CICLICA. Reemplazo de bomba de agua	1	2	3
3.1.9	SUSTITUCIÓN CICLICA. Reemplazo de termostato	1	2	2
3.1.9				

Anexo E: “Acciones de mantenimiento Sistema Refrigeración”

Fuente: Elaboración propia.

#	Acción a efectuar	Frecuencia de aplicación (anual)	Numero de personas	HH-Ejecución
4.1.1	TAREA A CONDICIÓN. Revisión de presión y banda de rodadura de neumático	312	1	0,3
4.1.2				
4.1.3	TAREA A CONDICIÓN. Inspección visual de componentes.	52	1	0,2
4.1.4				
4.2.1	TAREA A CONDICIÓN. Inspección visual de componentes.	52	1	0,2
4.2.2	TAREA A CONDICIÓN. Rotación de neumáticos	12	1	1
4.2.3	SUSTITUCIÓN CICLICA. Medición de profundidad y reemplazo de neumático	2	1	2

Anexo E: “Acciones de mantenimiento Sistema de Rodado”

Fuente: Elaboración propia.

#	Acción a efectuar	Frecuencia de aplicación (anual)	Numero de personas	HH-Ejecución
5.1.1	TAREA A CONDICIÓN. Inspección de desgaste y evaluación de reemplazo.	52	2	1
5.1.2	REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Revisión y limpieza de válvula de descarga	2	2	1
5.1.3	REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Regulación de frenos	52	1	0,1
5.1.4	TAREA A CONDICIÓN. Inspección de desgaste y evaluación de reemplazo.	52	1	1
5.2.1	REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Regulación de frenos	52	1	0,1
5.2.2	REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Revisión y limpieza de válvula	2	1	1
5.2.3	TAREA A CONDICIÓN. Evaluación de funcionamiento y reemplazo	52	1	0,3
5.2.4	REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Revisión y limpieza de válvula	2	1	1

Anexo E: “Acciones de mantenimiento Sistema de Frenos”

Fuente: Elaboración propia.

#	Acción a efectuar	Frecuencia de aplicación (anual)	Numero de personas	HH-Ejecución
6.1.1	TAREA A CONDICIÓN. Inspección de holguras y engrase.	52	1	0,2
6.1.2	TAREA A CONDICIÓN. Inspección de aprietes de masa, holguras en diferencial y nivel de aceite de diferencial	12	1	1
6.1.3	TAREA A CONDICIÓN. Inspección de nivel de aceite, medición de holgura.	12	1	0,2
6.1.4	TAREA A CONDICIÓN. Reapriete de pernos de cardán y soportes.	52	1	0,5
6.1.5	TAREA A CONDICIÓN. Monitoreo de nivel por módulo de transmisión	312	1	0,1
6.1.6	TAREA A CONDICIÓN. Chequeo de funcionamiento transmisión y medición de sensor	12	1	0,3

Anexo E: “Acciones de mantenimiento Sistema de Transmisión”

Fuente: Elaboración propia.

#	Acción a efectuar	Frecuencia de aplicación (anual)	Numero de personas	HH-Ejecución
7.1.1	TAREA A CONDICIÓN. Revisión de alineación de eje trasero, reapriete de abrazaderas	52	2	2
7.1.2	REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Balanceo y alineación	2	2	2
7.1.3	TAREA A CONDICIÓN. Inspección visual de hojas, reapriete de abrazaderas	52	2	1
7.1.4	TAREA A CONDICIÓN. Revisión de holguras tren delantero.	12	2	1
7.1.5				

Anexo E: “Acciones de mantenimiento Sistema de Suspensión”

Fuente: Elaboración propia.

#	Acción a efectuar	Frecuencia de aplicación (anual)	Numero de personas	HH-Ejecución
8.1.1	TAREA A CONDICIÓN. Revisión de cilindros y flexibles	52	1	1
8.1.2	NINGUNA TAREA PROGRAMADA. Mantenimiento correctivo, reemplazo de bomba	-	2	2
8.1.3	REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Limpieza y lubricación de rieles	12	2	2
8.2.1	REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Revisión y reparación de paneles de caja.	2	2	4
8.2.2	REACONDICIONAMIENTO CICLICO. Revisión y reemplazo de sellos de cajón.	2	2	3
8.3.1	NINGUNA TAREA PROGRAMADA. Mantenimiento correctivo, reemplazo de bomba	-	2	2
8.3.2	TAREA A CONDICIÓN. Medición de presión de trabajo, reemplazo de valvula	1	1	1
8.3.3	SUSTITUCIÓN CICLICA. Reemplazo de filtro	1	1	0,1

Anexo E: “Acciones de mantenimiento Sistema de Compactador”

Fuente: Elaboración propia.

#	Acción a efectuar	Frecuencia de aplicación (anual)	Numero de personas	HH-Ejecución
9.1.1	TAREA A CONDICIÓN. Desmontaje de conjunto PTO e inspección	1	2	4
9.1.2	de desgaste			
9.2.1	NINGUN MANTENIMIENTO PROACTIVO. Reemplazo de componente	-	1	0,2
9.2.2	NINGUN MANTENIMIENTO PROACTIVO. Reemplazo de componente	-	1	0,1
9.2.3	NINGUN MANTENIMIENTO PROACTIVO. Reemplazo de componente	-	1	0,1

Anexo E: “Acciones de mantenimiento Sistema PTO”

Fuente: Elaboración propia.

