

Gestión del plan de mantenimiento preventivo del parque automotor para la empresa
Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P

Andrés Felipe Poveda Bohórquez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Jorge Armando Vargas García

Esp. en Evaluación y Gerencia de Proyectos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A mis padres, Cándido Poveda Meza y Lilia Esperanza Bohórquez Jurado, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida personal y profesional, por su ejemplo y entrega.

Agradecimientos

Al ingeniero Jorge, por su apoyo y guía en la dirección de este proyecto, a los demás trabajadores de la empresa Piedecuestana de Servicios por su arduo trabajo en la limpieza del municipio.

A mi familia y a mi pareja, por creer en mí, por su apoyo incesante, por brindarme motivación extra para seguir adelante con cada proyecto que me propongo.

A la Universidad Industrial de Santander, a mis compañeros de posgrado, a cada uno de los docentes y colaboradores de la cohorte, por generar espacios idóneos para el crecimiento profesional y la academia.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Objetivos	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos Específicos	13
2. Generalidades de la empresa.....	14
2.1 Misión.....	14
2.2 Visión	15
2.3 Parque Automotor	15
3. Desarrollo.....	18
3.1 Recopilación de información	18
3.2 Diagnóstico.....	26
3.2.1 Vehículos compactadores.	27
3.2.2 Equipo de succión	29
3.2.3 Otros vehículos.....	29
3.3 Evaluación y tratamiento de la información	30
3.3.1 Pareto.....	31
3.3.2 Disponibilidad	37
3.3.3 Rendimiento de combustible	39

3.3.4	RCA.....	43
3.3.5	Stock de repuestos.....	47
3.4	Propuesta de plan de mantenimiento preventivo.....	49
3.5	Gestión de talento humano.....	55
4.	Conclusiones	56
5.	Recomendaciones	58
	Referencias Bibliográficas	60
	Apéndice	62

Listas de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Relación vehículos Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P	16
Tabla 2 Costos de mantenimiento vehículo 2022	19
Tabla 3 Costos de mantenimiento vehículo 2023	20
Tabla 4 Kilometraje vehículos 2022	23
Tabla 5 Kilometraje vehículos 2023	24
Tabla 6 Horas trabajo vehículo 2023	25
Tabla 7 Antigüedad compactadores	26
Tabla 8 Pareto costos mantenimiento 2022	31
Tabla 9 Pareto costos repuestos 2022	33
Tabla 10 Pareto costos mantenimiento 2023	34
Tabla 11 Pareto costos mantenimiento 2023	36
Tabla 12 Disponibilidad vehículos 2023	38
Tabla 13 Resultados RCA	45
Tabla 14 Stock repuestos compactadores	48
Tabla 15 Actividades de mantenimiento vehículos	51

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 Logo Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P.....	14
Figura 2 Costos de mantenimiento vehículos 2022	20
Figura 3 Costos de mantenimiento vehículos 2023	21
Figura 4 Acompañamiento rutas-Diagnóstico	27
Figura 5 Revisión componentes PESV	30
Figura 6 Pareto costos mantenimiento 2022	32
Figura 7 Pareto costos repuestos 2022.....	34
Figura 8 Pareto costos mantenimiento 2023	35
Figura 9 Pareto costos repuestos 2023.....	36
Figura 10 Disponibilidad promedio año 2023	39
Figura 11 Rendimiento promedio combustible 2022.....	40
Figura 12 Rendimiento promedio combustible 2023.....	40
Figura 13 Tendencia rendimiento combustible OUS018.....	41
Figura 14 Tendencia rendimiento combustible OUS089.....	41
Figura 15 Tendencia rendimiento combustible OSU016.....	42
Figura 16 Tendencia rendimiento combustible OSU017.....	42
Figura 17 Tendencia rendimiento combustible OSU040.....	42
Figura 18 Técnica de las 5G's.....	44
Figura 19 Herremienta 5W+1H	44

Lista de Apéndices

Los apéndices están adjuntos en una carpeta.

Apéndice A. Costos mantenimiento vehículos 2022

Apéndice B. Costos mantenimiento vehículos 2023

Apéndice C. Disponibilidad-kilometraje 2022-2023

Apéndice D. RCA

Glosario

CRA: la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico

PESV: plan estratégico de seguridad vial

RCA (siglas en inglés): análisis de causa raíz

Resumen

Título: Gestión del plan de mantenimiento preventivo del parque automotor para la empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P.*

Autor: Andrés Felipe Poveda Bohórquez**

Palabras Clave: Preventivo, Pareto, Disponibilidad, Costos mantenimiento, RCA.

Descripción:

Este trabajo se centra en presentar una propuesta para la gestión del plan de mantenimiento preventivo de los vehículos de la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P. El objetivo principal es exponer una propuesta para mejorar la gestión de la disponibilidad operacional y reducir los costos asociados al mantenimiento del parque automotor de la empresa, garantizando así la eficiente prestación del servicio a los usuarios. El manejo actual del mantenimiento se caracteriza por su ineficiencia, con falta de recopilación y tratamiento de información clave, lo que resulta en un desconocimiento del estado actual de los vehículos y en repercusiones económicas y operativas negativas. El proyecto busca fortalecer el control administrativo, identificar equipos críticos a través de metodologías de Pareto y análisis de causa raíz, para así establecer un plan de mantenimiento preventivo que transforme la proporción actual entre actividades correctivas y preventivas. Además de las consideraciones técnicas para mejorar la gestión del mantenimiento preventivo de vehículos, es fundamental integrar aspectos clave de recursos humanos en la propuesta. La capacitación del personal encargado del mantenimiento y operación de los equipos es esencial para asegurar la correcta implementación del plan propuesto. Esto incluiría programas de formación específicos sobre nuevas prácticas de mantenimiento preventivo y el uso eficiente de las herramientas y tecnologías asociadas.

* Trabajo de Grado

** Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Jorge Armando Vargas García. Especialista en evaluación y gerencia de proyectos.

Abstract

Title: Management of the preventive maintenance plan of the vehicle fleet for the Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P company*

Author: Andrés Felipe Poveda Bohórquez**

Key Words: Preventive, Pareto, Availability, Maintenance cost, RCA.

Description:

This work focuses on presenting a proposal for the management of the preventive maintenance plan for the vehicles of Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P company. The main objective is to present a proposal to improve the management of operational availability and reduce the costs associated with the maintenance of the company's vehicle fleet, thus guaranteeing the efficient provision of service to users. The current maintenance management is characterized by inefficiency, with a lack of collection and processing of key information, resulting in a lack of knowledge of the current state of the vehicles and negative economic and operational repercussions. The project seeks to strengthen administrative control, identify critical equipment through Pareto methodologies and root cause analysis, to establish a preventive maintenance plan that transforms the current ratio between corrective and preventive activities. In addition to the technical considerations to improve the management of preventive vehicle maintenance, it is essential to integrate key human resources aspects into the proposal. Training of personnel in charge of equipment maintenance and operation is essential to ensure proper implementation of the proposed plan. This would include specific training programs on new preventive maintenance practices and the efficient use of associated tools and technologies.

*Degree Work

**School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Advisor: Jorge Armando Vargas García. Project evaluation and management specialist.

Introducción

El presente trabajo se enfoca en presentar una propuesta para la gestión del plan de mantenimiento preventivo de los vehículos que conforman el parque automotor que opera en la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P, que permita mejorar la disponibilidad operacional, disminuir los costos asociados a mantenimiento y repuestos, de tal forma que garantice la prestación del servicio que la empresa ofrece a sus usuarios.

La gestión actual de mantenimiento de la flota de vehículos es ineficiente, problema al que se suma el no recopilar y el no tratar la información generada por los servicios prestados por el contratista, data del sistema de rastreo satelital, costos de mantenimiento, tiempos de indisponibilidad, indicadores, entre otros. Situación que resulta en el desconocimiento del estado actual del parque automotor, rendimiento deficiente de los recursos destinados al mantenimiento generando repercusiones económicas por adiciones en valor al presupuesto, deterioro acelerado de los vehículos, incumplimientos a usuarios en la prestación del servicio, afectaciones ambientales por fugas de aceites y lixiviados generados en el proceso de compactación de residuos e incluso mala imagen corporativa y pérdida de usuarios.

La empresa requiere restaurar la condición operativa de los mismos, para poder dar cumplimiento a sus objetivos estratégicos de satisfacción de usuarios y de mejorar la gestión de recursos económicos y financieros; así como cumplir con la reglamentación del plan estratégico de seguridad vial y evitar sanciones de los entes de control por incumplimientos.

La gestión propuesta, busca fortalecer el control administrativo del área de mantenimiento, determinar los equipos críticos, mitigar la reincidencia de las fallas de estos a través de la metodología de análisis de causa raíz y proveer un plan programado de mantenimiento preventivo que cambie la proporción actual (80-20) entre las actividades correctivas y preventivas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Elaborar una propuesta de gestión del plan de mantenimiento preventivo del parque automotor de la Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P. con el fin de aumentar la disponibilidad de los vehículos para su operación y alcanzar una disminución en los costos asociados a actividades correctivas de mantenimiento.

1.2 Objetivos Específicos

- Recopilar y analizar información técnica de los vehículos de la Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P, históricos de mantenimiento, costos asociados a mantenimiento y demás información de interés que soporte la ejecución del mantenimiento realizado al parque automotor de la empresa a fin de establecer una gestión documental que provea una trazabilidad de información para el desarrollo del proyecto.
- Realizar un diagnóstico del estado actual y requerimientos de mantenimiento del parque automotor de la Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P. a partir de visitas técnicas en campo a los vehículos, información proveída por el personal de mantenimiento y conductores, con el propósito de establecer un inventario de repuestos y partes de cada uno de los vehículos y priorizar labores iniciales de mantenimiento que reestablezcan la condición operacional de los mismos.
- Estimar la disponibilidad operacional del parque automotor de la empresa, a través de la gestión de un indicador que permita reconocer los vehículos con bajas disponibilidades y ahondar en las posibles causas de las mismas para generar oportunidades de mejora desde la gestión del mantenimiento.
- Establecer una metodología de análisis de costos de mantenimiento haciendo uso de la teoría del diagrama de Pareto y el RCA para la toma de decisiones dentro de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo para los vehículos de la entidad.

- Proponer un mantenimiento inicial y un plan de mantenimiento preventivo anual del parque automotor de la Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P. que se ajuste al requerimiento real de la empresa y a la disponibilidad técnica para la ejecución de labores de mantenimiento.

2. Generalidades de la empresa

La empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P. nace en 1997 como empresa de enfoque comercial e industrial del estado en el municipio de Piedecuesta, Santander. Creada bajo el decreto 172 del Concejo municipal debido a la necesidad de tener una entidad estatal que administre y preste los servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo.

Figura 1

Logo Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P.



Nota: Adaptado de *PIEDECUESTANA de Servicios Públicos*, <https://piedecuestanaesp.gov.co/>

2.1 Misión

Prestar Servicios Públicos Domiciliarios, cumpliendo con la normatividad legal vigente, atendiendo la demanda y necesidades de las partes interesadas, comprometidos con el respeto a los derechos humanos fundamentales, con productos y servicios de calidad, responsabilidad social

y ambiental, garantizando la cobertura y contribuyendo con el desarrollo del municipio de Piedecuesta y la región de influencia. (Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P, 2022).

2.2 Visión

Para el año 2025 ser la empresa de Servicios Públicos Domiciliarios más reconocida a nivel Departamental por su prestación de servicios de calidad, continuidad y cobertura; comprometidos con el cuidado y preservación de los recursos naturales, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de los usuarios, fortaleciendo la innovación y la capacitación continua de su capital de trabajo, así como la mejor eficiencia operativa, y buenas prácticas de gobierno transparente. (Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P, 2022).

2.3 Parque Automotor

El parque automotor de la empresa se compone de diferentes tipos de vehículos que articulan la operación de los servicios asociados a aseo y alcantarillado.

En la tabla 1, se presenta la relación de los vehículos activos de uso y tenencia de la compañía.

Tabla 1*Relación vehículos Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P*

Ítem	Vehículo	Marca	Línea	Modelo	[CC]	Tipo De Vehículo	Tipo De Combustible	Caja Compactadora	Capacidad
1	OSU018	Chevrolet	KODIAK 7500	2008	7200	Compactador Doble	DIESEL	FANALCA	20 Ton
2	OSU089	International	WORKSTAR	2018	10824	Compactador Doble	DIESEL	FANALCA	18,5 Ton
3	OSU026	Chevrolet	FVR	2014	7790	Compactador Sencillo	DIESEL	FANALCA	14 Ton
4	OSU027	Chevrolet	FVR	2014	7790	Compactador Sencillo	DIESEL	FANALCA	14 Ton
5	OSU040	Chevrolet	FVR	2016	7790	Compactador sencillo	DIESEL	ECOEQUIPOS	14 Ton
6	OSU000	Chevrolet	KODIAK	1994	4500	Volqueta Sencilla	DIESEL	N/A	12 Ton
7	OSU001	Chevrolet	KODIAK	1994	4500	Volqueta Sencilla	DIESEL	N/A	12 Ton
8	OSU087	Mack	GU 813E	2018	12777	Volqueta Doble	DIESEL	N/A	18,5 Ton
9	SRS399	Freightliner	M2-112	2015	12800	Volqueta Doble	DIESEL	N/A	15,35 Ton
10	OSU022	Chevrolet	NPR	2012	5193	Turbo	DIESEL	N/A	5 Ton
11	OSA368	Chevrolet	LUV TFR	1993	2300	Camioneta	Gasolina	N/A	2 pasajeros

Ítem	Vehículo	Marca	Línea	Modelo	[CC]	Tipo De Vehículo	Tipo De Combustible	Caja Compactadora	Capacidad
12	OSU103	Toyota	HILUX	2019	2393	Camioneta	DIESEL	N/A	5 pasajeros
13	HHD33C	AYCO	AY200ZH	2010	193	Motocarro	Gasolina	N/A	1 pasajero
14	OSU119	Mercedes Benz	ATEGO 1726 AUB L	2020	7201	Camión succion	DIESEL	N/A	N/A

Nota. Esta tabla muestra la descripción de cada vehículo con los que cuenta la empresa.

3. Desarrollo

En este capítulo, se implementa la metodología propuesta, que consta de cinco (5) fases, con el objetivo de abordar de manera sistemática la resolución del proyecto y lograr los objetivos específicos establecidos.

3.1 Recopilación de información

La recopilación de información constituye el pilar fundamental en el proceso de investigación y toma de decisiones en diversos ámbitos. En este capítulo, se busca en las diversas fuentes y herramientas disponibles para obtener información valiosa y con validez para el proyecto.

Los costos vinculados a las labores de mantenimiento y los repuestos empleados se han categorizado por vehículo durante las vigencias 2022 y 2023, considerando cada automóvil como un centro individual de costos. Esta recopilación de datos resulta esencial para efectuar una evaluación financiera exhaustiva de la contribución del mantenimiento al presupuesto general de la empresa. En este análisis se han incluido catorce (14) vehículos, detallados en la Tabla 1, que se presenta anteriormente, brindando así una visión completa y detallada de los gastos asociados a cada uno de ellos.

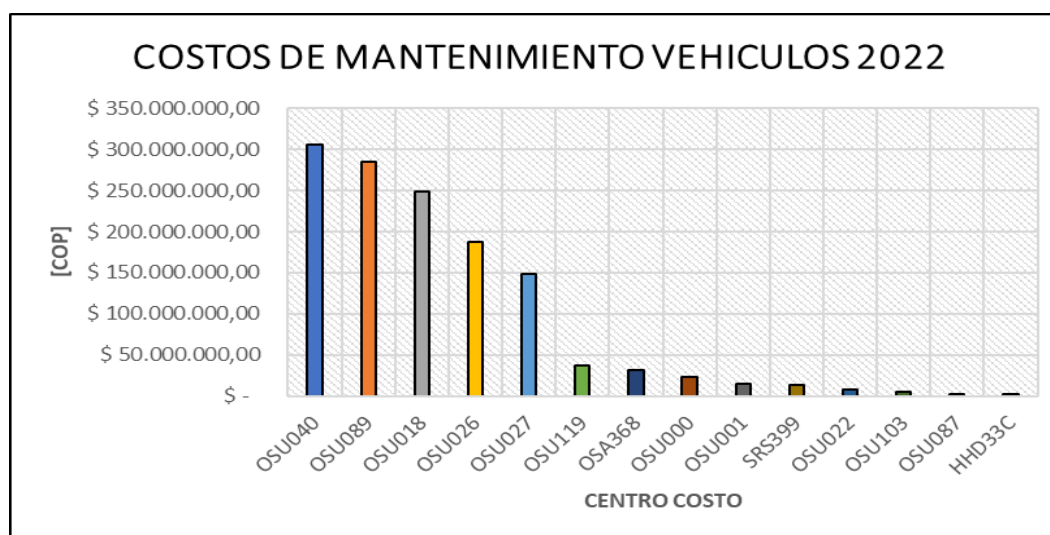
Para el año 2022, se tuvo un consumo total de mil trescientos nueve millones, ciento noventa y ocho mil novecientos ochenta pesos con cuarenta y cuatro centavos (\$1.309.198.980,44). En la Tabla 2, se presenta los costos de mantenimiento ejecutados en el año 2022.

Tabla 2*Costos de mantenimiento vehículos 2022*

Vehículo	Mantenimiento	Repuestos	Total
OSU040	\$ 244.236.583,70	\$ 61.095.066,80	\$ 305.331.650,50
OSU089	\$ 226.007.304,28	\$ 58.544.735,56	\$ 284.552.039,84
OSU018	\$ 179.780.163,91	\$ 68.995.031,40	\$ 248.775.195,31
OSU026	\$ 143.268.380,41	\$ 44.101.777,65	\$ 187.370.158,05
OSU027	\$ 100.793.736,18	\$ 47.315.273,08	\$ 148.109.009,26
OSU119	\$ 18.120.961,55	\$ 18.248.671,31	\$ 36.369.632,86
OSA368	\$ 26.892.675,79	\$ 4.231.244,77	\$ 31.123.920,56
OSU000	\$ 12.589.426,50	\$ 10.653.546,82	\$ 23.242.973,32
OSU001	\$ 8.529.480,00	\$ 6.025.749,24	\$ 14.555.229,25
SRS399	\$ 6.157.357,50	\$ 6.529.222,85	\$ 12.686.580,35
OSU022	\$ 3.050.565,00	\$ 5.301.540,10	\$ 8.352.105,10
OSU103	\$ 2.436.525,00	\$ 2.170.401,88	\$ 4.606.926,88
OSU087	\$ 249.900,00	\$ 2.270.196,10	\$ 2.520.096,10
HHD33C	\$ 1.561.126,48	\$ 42.336,58	\$ 1.603.463,05
Totales	\$ 973.674.186,30	\$ 335.524.794,14	<u>\$ 1.309.198.980,44</u>

Nota: Esta tabla representa los costos totales de mantenimiento y repuestos para cada uno de los vehículos, año 2022. Los valores están expresados en Pesos Colombianos COP.

En la figura 2, se presenta mediante un diagrama de barras los costos totales asociados a cada uno de los vehículos durante el año 2022, permitiendo una comparación directa entre los distintos modelos.

Figura 2*Costos de mantenimiento vehículos 2022*

Nota: Cada barra representa el gasto acumulado en mantenimiento y repuestos para un vehículo específico.

Para el año 2023, los costos asociados fueron de mil quinientos ochenta y siete millones quinientos cuarenta y dos mil novecientos tres pesos con dos centavos (\$1.587.542.903,02). En la Tabla 3, se presenta los costos de mantenimiento ejecutados en el año 2023.

Tabla 3*Costos de mantenimiento vehículos 2023*

Vehículo	Mantenimiento	Repuestos	Total
OSU089	\$ 117.523.855,49	\$ 198.270.421,03	\$ 315.794.276,52
OSU018	\$ 130.813.703,30	\$ 183.001.750,67	\$ 313.815.453,97
OSU027	\$ 114.225.412,21	\$ 166.456.044,11	\$ 280.681.456,31
OSU026	\$ 79.536.373,85	\$ 144.307.563,99	\$ 223.843.937,84
OSU040	\$ 69.811.358,73	\$ 139.735.870,07	\$ 209.547.228,80
OSU119	\$ 19.393.995,25	\$ 69.657.542,91	\$ 89.051.538,16
OSU000	\$ 7.148.187,50	\$ 43.894.947,86	\$ 51.043.135,35
SRS399	\$ 5.570.812,49	\$ 23.567.987,49	\$ 29.138.799,98

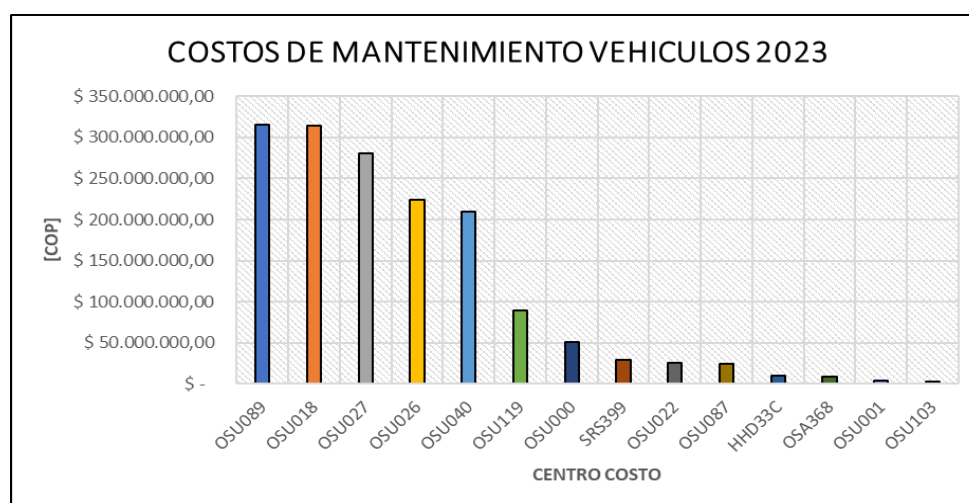
Vehículo	Mantenimiento	Repuestos	Total
OSU022	\$ 7.067.000,00	\$ 18.012.817,07	\$ 25.079.817,07
OSU087	\$ 2.864.925,00	\$ 21.699.470,92	\$ 24.564.395,92
HHD33C	\$ 3.186.601,04	\$ 6.119.796,23	\$ 9.306.397,27
OSA368	\$ 3.964.187,50	\$ 5.113.474,45	\$ 9.077.661,95
OSU001	\$ 535.500,00	\$ 3.947.016,66	\$ 4.482.516,66
OSU103	\$ 267.750,00	\$ 1.848.537,23	\$ 2.116.287,23
Totales	\$ 561.909.662,35	\$ 1.025.633.240,67	<u>\$ 1.587.542.903,02</u>

Nota: Esta tabla representa los costos totales de mantenimiento y repuestos para cada uno de los vehículos, año 2023. Los valores están expresados en Pesos Colombianos COP.

En la Figura 3, se muestra un diagrama de barras que ilustra los costos totales asociados al mantenimiento y repuestos de cada vehicula durante el año 2023, está representación proporciona una visión instantánea de como se distribuyen los costos entre los diferentes tipos de vehículos, facilitando la identificación de tendencias clave en la gestión de mantenimientos de dichos vehículos.

Figura 3

Costos de mantenimiento vehiculos 2023



Nota: Cada barra representa el gasto acumulado en mantenimiento y repuestos para un vehículo específico.

En las tablas 2 y 3 y en conjunto con las Figuras 1 y 2; se presenta un resumen de los costos de las anualidades 2022 y 2023. Información que se detalla para cada centro de costo en el Apéndice B. Costos mantenimiento vehículos 2022 y el Apéndice C. Costos mantenimiento vehículos 2023. Dentro de los que se recopila información del servicio prestado, con fecha, descripción y costo total, de igual manera se registra para los repuestos y se detalla un resumen de costos mes a mes.

La recopilación de la data del sistema de rastreo satelital, determina el kilometraje mensual recorrido por los vehículos, esto para el primer periodo, para el año 2023, se recopila mensualmente los datos arrojados en el reporte de encendido por cada automotor, representando así, las horas de trabajo que se tiene mes a mes, adicionalmente para este periodo, se cuenta con el registro de kilometraje por día, permitiendo tener una información detallada para el analisis a realizar en el capítulo 3.4.

Se hace claridad, que en el sistema de GPS se exeptuan los vehículos de placas OSU001, volqueta de troque sencillo que está asociada exclusivamente a labores en la PTAR, por lo que no registra este sistema y la camioneta de placas OSU103, la cual si cuenta con este sistema de rastreo instalado, con visualización confidencial, siendo asignada al transporte de la gerencia de la empresa. Es decir, se registran datos de doce (12) vehículos para el desarrollo de este proyecto. En la Tabla 4 y Tabla 5, se ilustra la recopilación mensual del recorrido en Kilometros por vehiculo, en los años 2022 y 2023 respectivamente.

Tabla 4*Kilometraje de vehículos 2022*

<i>Vehículo / Mes</i>	HHD 33C	OSA 368	OSU 000	OSU 018	OSU 022	OSU 026	OSU 027	OSU 040	OSU 087	OSU 089	OSU 119	SRS 399	TOTAL
ENE	21	0	96	3623	1357	1021	3141	4303	326	3082	825	941	18737
FEB	20	1	54	2556	891	1728	3535	3966	410	3325	604	212	17302
MAR	0	488	434	3518	1494	1102	4057	5214	321	3722	700	804	21854
ABR	38	558	660	2954	1378	1959	4121	4546	303	3501	564	617	21199
MAY	66	773	735	2902	1227	4442	4125	2072	391	3464	555	541	21293
JUN	558	627	498	2811	990	3780	4093	3567	290	3197	379	461	21251
JUL	207	655	258	2954	1503	1485	4133	3924	247	4047	522	1084	21019
AGO	280	280	260	3476	1017	4164	2647	5230	301	2784	583	219	21241
SEP	0	10	541	3190	1761	4183	2216	4370	161	3387	551	427	20797
OCT	96	537	714	3673	1457	2517	4774	4803	125	1847	523	620	21686
NOV	420	847	1404	3884	1719	4550	236	5489	32	1649	506	1750	22486
DIC	0	619	1127	2853	1685	5086	981	3740	129	2706	546	1464	20936
TOTAL	1706	5395	6781	38394	16479	36017	38059	51224	3036	36711	6858	9140	249801

Nota: En esta tabla se muestra la recopilación mensual del recorrido en kilómetros por vehículo que el sistema de localización registró para el año 2022.

Tabla 5*Kilometraje vehículos 2023*

<i>Vehículo / Mes</i>	HHD 33C	OSA 368	OSU 000	OSU 018	OSU 022	OSU 026	OSU 027	OSU 040	OSU 087	OSU 089	OSU 119	SRS 399	TOTAL
ENE	499	534	109	2979	1525	2293	4224	1496	0	3817	301	721	18497
FEB	905	719	406	2865	1706	3769	3581	2724	99	3494	544	428	21241
MAR	885	718	493	3046	1341	2143	4690	4343	539	3969	714	725	23608
ABR	544	534	522	450	2130	4413	5112	4307	219	3645	464	1093	23434
MAY	15	564	995	578	1773	4028	5134	4518	474	4457	564	1201	24302
JUN	0	617	1219	2298	2492	74	4035	4463	127	3736	547	1427	21035
JUL	0	528	826	2458	2166	13	4393	2467	412	4085	423	1249	19020
AGO	0	613	585	4040	1702	51	3725	3672	537	3587	468	913	19892
SEP	174	1007	116	3857	2166	2116	3581	2066	479	3780	162	1583	21089
OCT	844	791	376	3952	2313	230	4858	2810	1104	461	217	1607	19564
NOV	990	762	444	4104	2435	1889	3469	76	619	2754	475	1590	19605
DIC	823	671	185	3867	1960	5235	2125	0	356	3622	248	1077	20169
TOTAL	5679	8057	6276	34493	23710	26256	48927	32942	4966	41408	5128	13613	251455

Nota: En esta tabla se muestra la recopilación mensual del recorrido en kilómetros por vehículo que el sistema de localización registró para el año 2023. Para el caso del motocarro de placas HHD33C, presento fallo e intermitencias en el sistema con los meses con valores rojos, por lo que está información no se ajusta a la realidad del vehículo.

Los vehículos de la empresa por su designación de labores, en el sector de aseo, tienen un alto numero de horas de trabajo, como es el caso de los camiones compactadores de residuos, que recolectan los desechos de los ciudadanos a lo largo del municipio, realizando ciclos de compactación de forma estacionaria, es decir, el vehículo trabaja aún sin un desplazamiento. Las horas de trabajo son insumo a tener en cuenta en la designación de la periodicidad de los mantenimientos preventivos referentes a cambios de aceite. En la tabla 6 se evidencia las horas de trabajo realizadas por cada uno de los vehpiculos en cada mes del año.

Tabla 6

Horas trabajo vehículos 2023

<i>Vehículo</i>	<i>ENE</i>	<i>FEB</i>	<i>MAR</i>	<i>ABR</i>	<i>MAY</i>	<i>JUN</i>	<i>JUL</i>	<i>AGO</i>	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DIC</i>
OSU 000	15,40	23,13	107,62	41,55	63,08	54,08	25,48	0,00	0,00	0,00	21,72	4,90
OSU 018	263,98	259,88	289,87	34,35	81,53	257,13	235,78	414,88	405,10	441,35	424,85	373,68
OSU 022	112,05	108,20	97,97	141,73	119,62	148,73	123,18	110,83	146,33	161,30	173,87	124,52
OSU 026	118,48	246,20	130,32	208,57	182,35	11,32	6,55	10,02	176,88	18,72	155,92	419,67
OSU 027	309,30	270,03	373,02	360,53	338,03	342,40	383,72	274,13	297,28	386,45	282,77	172,58
OSU 040	114,93	208,45	350,15	344,27	363,08	352,68	217,32	342,92	211,22	242,18	2,83	0,00
OSU 087	0,00	10,78	36,30	12,33	28,52	4,85	63,75	58,13	59,27	111,48	50,95	38,05
OSU 089	375,48	363,75	404,77	397,17	508,62	398,40	465,58	399,87	452,27	47,72	302,72	380,50
SRS 399	53,48	53,63	50,02	86,80	77,68	87,27	86,63	76,17	126,25	136,88	134,72	81,18
OSA 368	39,40	47,27	23,63	17,27	43,25	54,08	41,00	48,05	65,92	65,32	56,48	49,75
HHD 33C	59,47	108,95	107,62	438,15	0,00	0,00	0,00	0,00	12,50	40,60	68,68	71,43
OSU 119	43,12	84,25	108,52	76,73	97,53	74,67	56,43	76,20	30,75	39,57	80,63	42,67

Nota: Los datos de color rojo presentan fallos en el sistema de GPS, por lo que es información que no representa validez para análisis.

3.2 Diagnóstico

Para comenzar, se hace un recuento de la antigüedad de la flota vehicular de la empresa, basándose en la (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, Resolución CRA 751 DE 2016), que establece un periodo de vida útil para vehículos recolectores de aseo en seis (6) años, por lo cual se tiene que el 80% de los camiones recolectores superan ya este valor. Esto se relaciona con los aumentos en costos asociados a mantenimiento por ciclo de vida útil cumplido de componentes y partes, deterioro natural de los sistemas del vehículo y por ende perdidas de disponibilidad de los equipos por reparaciones de alto impacto. En la tabla 7, se ilustra la antigüedad de vehículos compactadores.

Tabla 7

Antigüedad compactadores

ITEM	Vehículo	Modelo	Tipo de Vehículo	Antigüedad [Años]
1	OSU018	2008	Compactador Doble	15,00
2	OSU089	2018	Compactador Doble	5,00
3	OSU026	2014	Compactador Sencillo	9,00
4	OSU027	2014	Compactador Sencillo	9,00
5	OSU040	2016	Compactador Sencillo	7,00

La información recopilada de costos de actividades de mantenimiento y repuestos da un panorama de aquellas fallas reiterativas en los equipos, así como repuestos que se encuentren en constante cambio, esto es insumo clave en la determinación de los problemas mayores que presenta el parque automotor de la compañía.

Se realiza un primer diagnóstico en campo, haciendo diversos acompañamientos a la operación de los vehículos de recolección de residuos (figura 4) en seis (6) de las rutas establecidas, que a finalización del periodo 2023 definen el estado real del parque automotor de la empresa. Este ejercicio permite reconocer de primera mano los requerimientos de mantenimiento que se tienen, documentando el hallazgo por sistemas funcionales, los fallos y las condiciones de deterioro. La participación del personal operativo es clave para establecer un diagnóstico completo, ya que la experticia de los conductores y técnicos de mantenimiento son fuentes primarias de información.

En general todos los equipos requieren reestablecer condiciones básicas de pintura, alineación, revisión de estado de baterías y llantas, funcionamiento de indicadores del tablero de mando, estado de espejos, iluminación, elementos de la cabina y ajustes de partes.

Figura 4

Acompañamiento rutas-Diagnostico



3.2.1 Vehículos compactadores.

El vehículo compactador OSU018, siendo uno de los vehículos con mayor operación, es el que más requerimientos iniciales de mantenimiento describe, sumado a ser el vehículo con mayor antigüedad, presenta un evidente deterioro, requiere:

- Reparación de placa de barrido por daño estructural y corrosión

- Cambio de empaquetadura de control hidráulico trasero por fugas
- Arreglos en suspensión trasera, cambio de kit central, caucho viga, corbatines.
- Cambio de puente de cabina
- Cambio de puentes y soportes de motor
- Latonería puerta conductor por golpe
- Llantas troque trasero
- Cambio de piso tolva
- Pines de eje delantero
- Corrección de fuga en botella de dirección
- Cambio de circuitos eléctricos por mal estado
- Reparación pasadores cilindros de compactación y barrido

El vehículo compactador OSU089, tuvo un trabajo de gran impacto en la reconstrucción de la tolva y reparación del cilindro hidráulico de la placa eyectora, se establecen los requerimientos de este camión.

- Cambio de mangueras y conectores hidráulicos con desgaste y/o fuga
- Trabajo de tapicería cabina y reparación de bases de asientos
- Adecuación de tanque auxiliar de combustible
- Cambio de bujes, corbatines, templetos de suspensión trasera
- Reparación de aletas de placa eyectora
- Cambio de empaque de tolva

El vehículo compactador OSU026, tuvo en el mes de noviembre de 2023 el cambio de caja de cambios, instalando una caja tipo Fuller nueva, como trabajo más representativo, pese a ello se tienen algunos requerimientos, presentados a continuación.

- Reparación y cambio de empaquetadura controles hidráulicos.
- Cambio de teflones de placa eyectora.
- Reparación de cilindro eyector
- Adecuación de sensor de velocidad

- Reparación y adecuación de sistema de contención de lixiviados.

El vehículo compactador OSU027, finaliza la vigencia fuera de servicio por daños en motor, con sobrecalentamiento de este y empaque de la culata quemado, requiere corregir los fallos y adicionalmente, corregir fuga de aceite hidráulico en control trasero.

El vehículo compactador OSU040, finaliza la vigencia fuera de servicio por daños en motor, rotura de dientes de piñones de caja, daño en pistones y en sistema de inyección. Requiere reparaciones mayores con cambio de $\frac{3}{4}$ de motor y adicionalmente reparación de cilindros hidráulicos de barrido.

3.2.2 Equipo de succión

Finalizando la vigencia 2023, se realizaron trabajos de reparación y cambios de equipos del sistema hidráulico del vehículo, se instala la bomba hidráulica Parker 332, se cambia empaque de culata de hidro lavadora. Requiere realizar un sandblasting del tanque de separación de sólidos, en general en buen estado operativo, realizar revisiones básicas a sistemas funcionales.

3.2.3 Otros vehículos

En general las volquetas doble troque, el camión turbo, las camionetas y el motocarro requieren ajustes generales y revisiones básicas para restablecimiento de deterioro de sistemas y condiciones básicas de funcionamiento. En general son centros de costos de baja cuantía.

Como puntualización de requerimientos, la volqueta OSU000 requiere trabajos de tapicería; la volqueta SRS399 requiere cambio de llantas traseras y la camioneta de placas OSA368 requiere cambio de vidrio panorámico.

Este diagnóstico representa las actividades que son necesarias para establecer un punto de partida para la gestión preventiva del mantenimiento, reestableciendo la disponibilidad operativa de los equipos y recuperando las condiciones básicas y de deterioro que presentan en la actualidad.

Para finalizar el diagnóstico, se instaure una mesa de trabajo con el personal de seguridad y salud en el trabajo, estableciendo los requerimientos mínimos a implementar dentro de la normativa de la (Ministerio De Transporte, Resolución 40595 de 2022), correspondiente al Plan Estratégico de Seguridad Vial (PESV). Haciendo énfasis en la revisión de los elementos requeridos legalmente para la circulación de la flota vehicular (figura5) botiquines, kit de carreteras, kits antiderrames, extintor y la documentación de revisiones técnico-mecánicas y pólizas.

Figura 5

Revisión de componentes PESV



3.3 Evaluación y tratamiento de la información

En el capítulo dedicado a la evaluación y tratamiento de la información, se aborda de manera integral el proceso crucial de recopilación, análisis y aplicación de datos. La evaluación de la información se presenta como un paso esencial para discernir la relevancia, confiabilidad y

validez de los datos obtenidos previamente. A su vez, el tratamiento de la información se enfoca en estrategias efectivas para organizar, interpretar y utilizar la información de manera eficiente.

3.3.1 Pareto

Utilizando la metodología del diagrama de Pareto, se ilustra y clasifica los activos de la empresa según su participación en los costos asociados a servicios de mantenimiento, tabla 8 y figura 6. La ley del 80-20 asigna el orden de prioridades, designa un primer grupo (grupo A), que representa el 20% de los vehículos que generan el 80% de los costos, este grupo será denominado el grupo crítico, enfocando el análisis y la metodología de RCA que minimice la probabilidad de reincidencia de fallos, que resulte finalmente en una gestión adecuada del plan de mantenimiento preventivo.

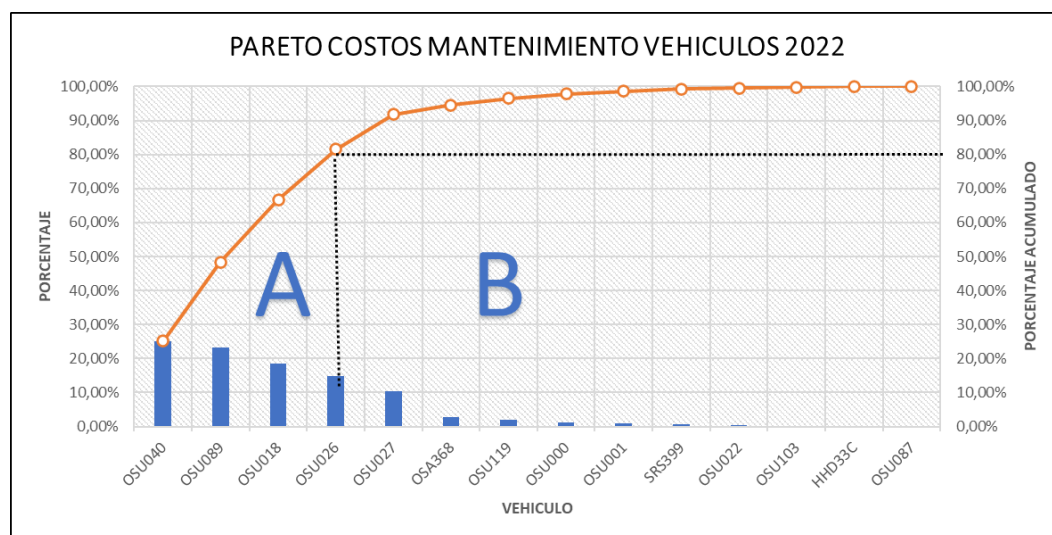
El grupo restante (grupo B), dada la condición operacional de la empresa, también será considerado dentro de la gestión preventiva, con mayor flexibilidad a actividades de mantenimiento correctivo a diferencia del grupo crítico.

Tabla 8

Pareto costos mantenimiento 2022

Vehículo	Mantenimiento	Porcentaje	Acumulado
OSU040	\$ 244.236.583,70	25,08%	25,08%
OSU089	\$ 226.007.304,28	23,21%	48,30%
OSU018	\$ 179.780.163,91	18,46%	66,76%
OSU026	\$ 143.268.380,41	14,71%	81,47%
OSU027	\$ 100.793.736,18	10,35%	91,83%
OSA368	\$ 26.892.675,79	2,76%	94,59%

Vehículo	Mantenimiento	Porcentaje	Acumulado
OSU119	\$ 18.120.961,55	1,86%	96,45%
OSU000	\$ 12.589.426,50	1,29%	97,74%
OSU001	\$ 8.529.480,00	0,88%	98,62%
SRS399	\$ 6.157.357,50	0,63%	99,25%
OSU022	\$ 3.050.565,00	0,31%	99,56%
OSU103	\$ 2.436.525,00	0,25%	99,81%
HHD33C	\$ 1.561.126,48	0,16%	99,97%
OSU087	\$ 249.900,00	0,03%	100,00%
TOTALES	\$ 973.674.186,30	100,00%	

Figura 6*Pareto costos mantenimiento 2022*

Nota: El grupo A se conforma por los compactadores de placas OSU040, OSU089, OSU018 e incluso el OSU026.

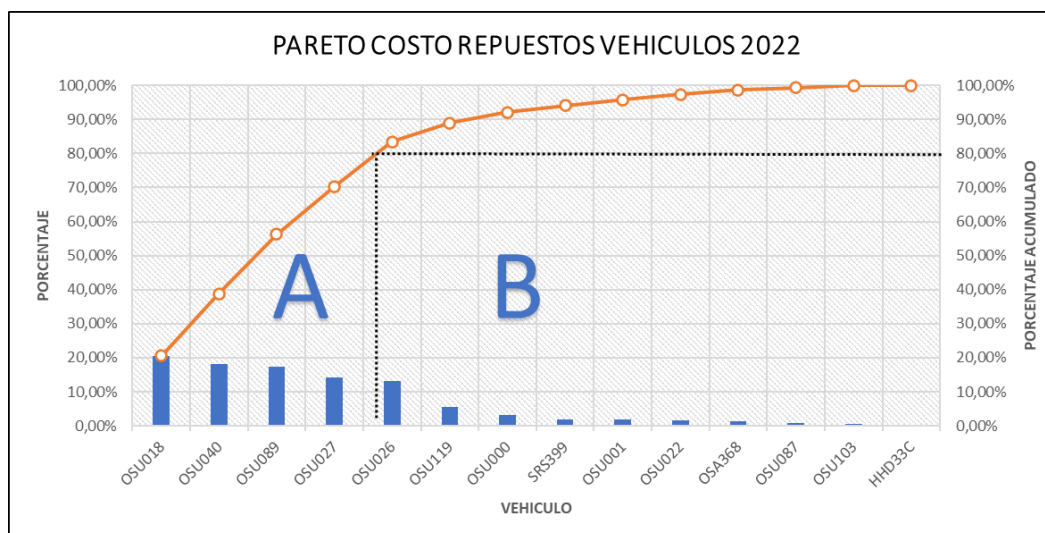
Una vez aplicada la metodología, se obtiene dentro del grupo crítico los vehículos tipo compactador, un resultado esperado, siendo estos los que operan con mayor frecuencia y bajo condiciones operacionales de rigor.

De igual manera se utiliza la metodología del diagrama de Pareto para clasificar los activos de la empresa según su participación en los costos asociados a los repuestos, tabla 9 y figura 7

Tabla 9

Pareto costos repuestos 2022

Vehículo	Mantenimiento	Porcentaje	Acumulado
OSU018	\$ 68.995.031,40	20,56%	20,56%
OSU040	\$ 61.095.066,80	18,21%	38,77%
OSU089	\$ 58.544.735,56	17,45%	56,22%
OSU027	\$ 47.315.273,08	14,10%	70,32%
OSU026	\$ 44.101.777,65	13,14%	83,47%
OSU119	\$ 18.248.671,31	5,44%	88,91%
OSU000	\$ 10.653.546,82	3,18%	92,08%
SRS399	\$ 6.529.222,85	1,95%	94,03%
OSU001	\$ 6.025.749,24	1,80%	95,82%
OSU022	\$ 5.301.540,10	1,58%	97,40%
OSA368	\$ 4.231.244,77	1,26%	98,66%
OSU087	\$ 2.270.196,10	0,68%	99,34%
OSU103	\$ 2.170.401,88	0,65%	99,99%
HHD33C	\$ 42.336,58	0,01%	100,00%
TOTALES	\$ 335.524.794,14	100,00%	

Figura 7*Pareto costos repuestos 2022*

Nota: la prioridad vuelve a darse para los vehículos compactadores, en el orden las placas OSU018, OSU040, OSU089, OSU027 y seguido el camión OSU026.

Se aplica la misma metodología del diagrama de Pareto para el año 2023, presentando una clasificación de los activos de la empresa en función de su contribución a los costos relacionados con los servicios de mantenimiento. Esta representación, desarrollada en el año 2023, se detalla en la tabla 10 y se visualiza en la figura 8.

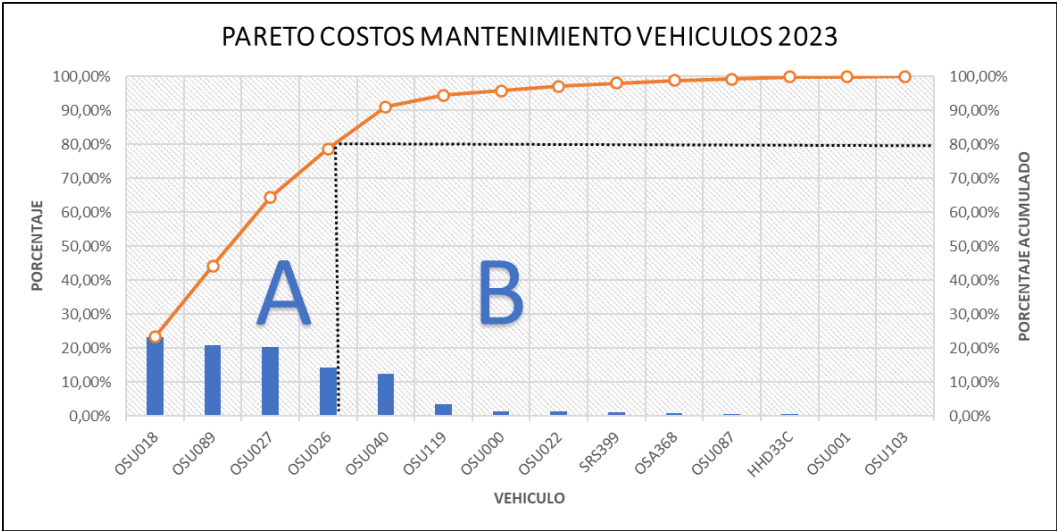
Tabla 10*Pareto costos mantenimiento 2023*

Vehículo	Mantenimiento	Porcentaje	Acumulado
OSU018	\$ 130.813.703,30	23,28%	23,28%
OSU089	\$ 117.523.855,49	20,92%	44,20%
OSU027	\$ 114.225.412,21	20,33%	64,52%
OSU026	\$ 79.536.373,85	14,15%	78,68%
OSU040	\$ 69.811.358,73	12,42%	91,10%
OSU119	\$ 19.393.995,25	3,45%	94,55%

Vehículo	Mantenimiento	Porcentaje	Acumulado
OSU000	\$ 7.148.187,50	1,27%	95,83%
OSU022	\$ 7.067.000,00	1,26%	97,08%
SRS399	\$ 5.570.812,49	0,99%	98,07%
OSA368	\$ 3.964.187,50	0,71%	98,78%
OSU087	\$ 2.864.925,00	0,51%	99,29%
HHD33C	\$ 3.186.601,04	0,57%	99,86%
OSU001	\$ 535.500,00	0,10%	99,95%
OSU103	\$ 267.750,00	0,05%	100,00%
TOTALES	\$ 561.909.662,35	100,00%	

Figura 8

Pareto costos mantenimiento 2023

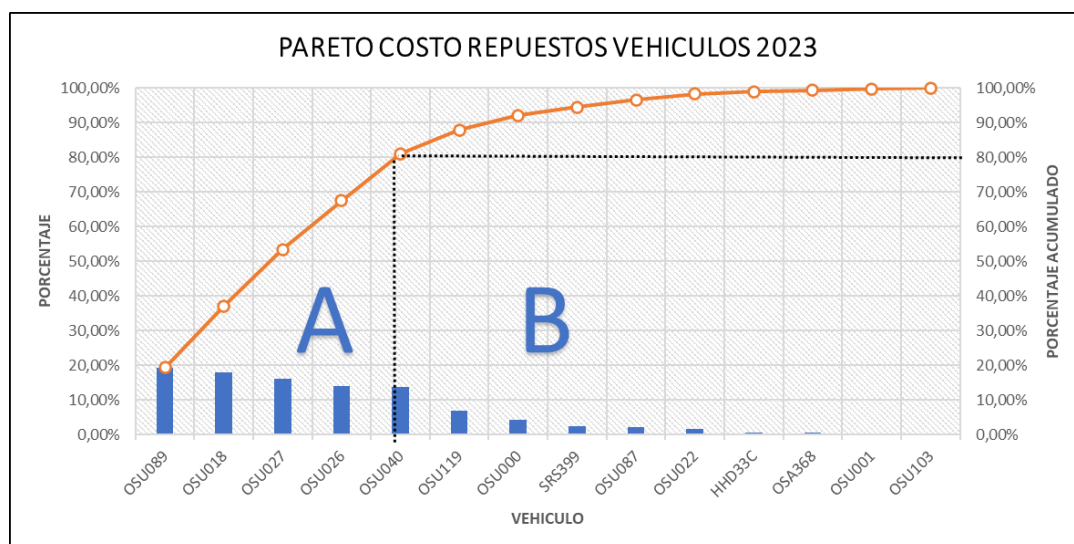


Nota: el grupo A corresponde a los vehículos compactares

Asimismo, mediante la metodología del diagrama de Pareto para el año 2023, se ofrece una clasificación de los activos corporativos según su impacto en los costos relacionados con los repuestos. Esta representación, se encuentra detallada en la tabla 11 y se visualiza en la figura 9.

Tabla 11*Pareto costos repuestos 2023*

Vehículo	Mantenimiento	Porcentaje	Acumulado
OSU089	\$ 198.270.421,03	19,33%	19,33%
OSU018	\$ 183.001.750,67	17,84%	37,17%
OSU027	\$ 166.456.044,11	16,23%	53,40%
OSU026	\$ 144.307.563,99	14,07%	67,47%
OSU040	\$ 139.735.870,07	13,62%	81,10%
OSU119	\$ 69.657.542,91	6,79%	87,89%
OSU000	\$ 43.894.947,86	4,28%	92,17%
SRS399	\$ 23.567.987,49	2,30%	94,47%
OSU087	\$ 21.699.470,92	2,12%	96,58%
OSU022	\$ 18.012.817,07	1,76%	98,34%
HHD33C	\$ 6.119.796,23	0,60%	98,94%
OSA368	\$ 5.113.474,45	0,50%	99,43%
OSU001	\$ 3.947.016,66	0,38%	99,82%
OSU103	\$ 1.848.537,23	0,18%	100,00%
TOTALES	\$ 1.025.633.240,67	100,00%	

Figura 9*Pareto costos repuestos 2023*

Se aplica la metodología de igual forma para la vigencia 2023, resultando nuevamente los vehículos tipo compactador, tanto de troque sencillo como doble en el grupo A. Por ende, en el capítulo 3.3.4. se enfocará el análisis RCA en los fallos de mayor impacto en costos asociados y en disponibilidad operacional en este tipo de automotor, siendo cinco (5) compactadores como equipos críticos para la empresa Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P.

3.3.2 Disponibilidad

De acuerdo con lo expresado por (Alavedra et al., 2016) “La disponibilidad de un equipo representa el tiempo disponible de un sistema al servicio de la unidad de producción, la cual se calcula en porcentaje en un tiempo determinado”. Para los servicios que la empresa presta a través de sus vehículos, se requiere un parque automotor con disponibilidad deseable superior al 70% mensual por vehículo.

La disponibilidad dada por la ecuación (1) de cada vehículo será la información cruzada del sistema de rastreo satelital, con el dato de kilometraje por día, cruzado con la información reportada por el taller, utilizando la premisa “Vehículo sin recorrido y en trabajo de mantenimiento de gran impacto a la disponibilidad”. La variable de tiempo se tomará en días.

$$Disponibilidad = \frac{\text{tiempo planeado} - \text{tiempo en reparación}}{\text{tiempo planeado}} \quad (1)$$

El tiempo planeado para la operación de los vehículos se toma como la cantidad de días calendario por mes, es decir, un tiempo planeado del 100% de los días.

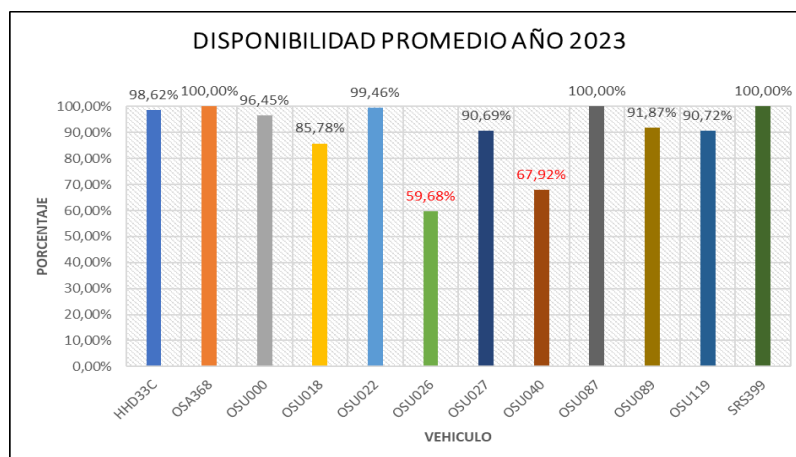
En la tabla 12, se presenta el resultado del cálculo del indicador de disponibilidad, fundamental para medir la gestión del mantenimiento y mostrar con datos la problemática que se tiene en el parque automotor de la empresa.

Tabla 12*Disponibilidad vehículos 2023*

<i>Mes</i>	HHD3	OSA	OSU	OSU	OSU	OSU	OSU	OSU	OSU	OSU	OSU	SRS
	3C	368	000	018	022	026	027	040	087	089	119	399
<i>ENE</i>	100%	100%	84%	100%	100%	100%	100%	61%	100%	100%	100%	100%
<i>FEB</i>	100%	100%	100%	96%	100%	96%	96%	68%	100%	100%	100%	100%
<i>MAR</i>	100%	100%	94%	100%	97%	71%	94%	97%	100%	100%	100%	100%
<i>ABR</i>	100%	100%	100%	33%	100%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>MAY</i>	97%	100%	100%	35%	100%	100%	90%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>JUN</i>	100%	100%	100%	87%	100%	7%	93%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>JUL</i>	100%	100%	100%	77%	100%	6%	84%	61%	100%	100%	100%	100%
<i>AGO</i>	100%	100%	100%	100%	100%	10%	100%	100%	100%	97%	100%	100%
<i>SEP</i>	87%	100%	80%	100%	100%	63%	87%	60%	100%	100%	47%	100%
<i>OCT</i>	100%	100%	100%	100%	100%	19%	100%	65%	100%	29%	42%	100%
<i>NOV</i>	100%	100%	100%	100%	100%	53%	67%	3%	100%	77%	100%	100%
<i>DIC</i>	100%	100%	100%	100%	97%	100%	77%	0%	100%	100%	100%	100%
<i>Prom</i>	98,62	100,0	96,45	85,78	99,46	59,68	90,69	67,92	100,0	91,87	90,72	100,0
<i>edio</i>	%	0%	%	%	%	%	%	%	0%	%	%	0%

Nota: los vehículos compactadores de placas OSU 026 y OSU040, tuvieron un promedio anual inferior al 70%.

Adicionalmente, todos los demás vehículos de este tipo contaron con al menos un mes por debajo de este valor de referencia. La disponibilidad de los camiones recolectores de basura se debe mejorar, entre otras razones, para evitar penalizaciones de los entes de control por incumplimiento a los horarios y rutas de recolección. En la figura 10 se muestra la disponibilidad de cada uno de los vehículos durante el año 2023.

Figura 10*Disponibilidad promedio año 2023*

Nota: los vehículos compactadores con placas OSU 026 y OSU040 registraron un promedio anual por debajo del 70%.

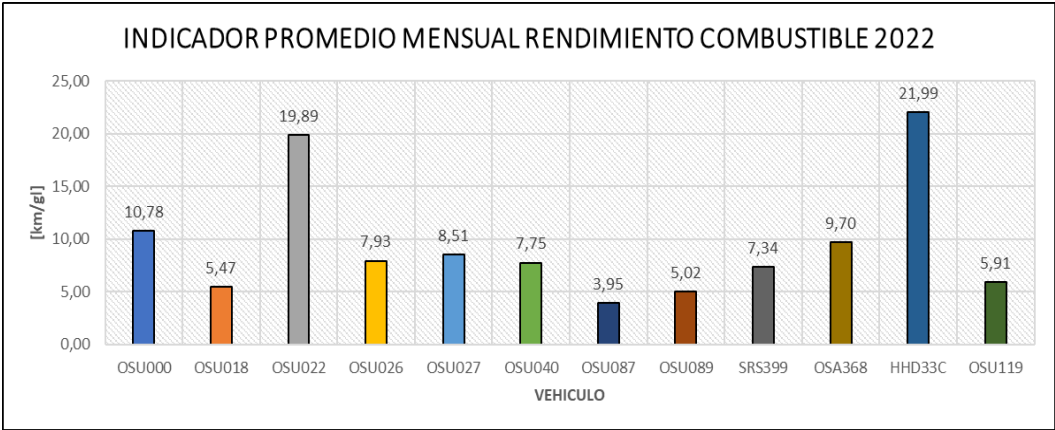
3.3.3 Rendimiento de combustible

Este indicador permite controlar el consumo de combustible que cada vehículo tiene, se expresa para este caso en kilómetros recorridos por galón de combustible [km/galón]. Es un dato aproximado, pero que permite generar una tendencia que indique posibles requerimientos de mantenimiento en los vehículos de la empresa, así como ejercer control administrativo sobre el personal operativo.

Estas figuras de tendencia se generan específicamente para los equipos críticos, desempeñando un papel crucial en la identificación temprana de posibles deficiencias en el rendimiento relacionadas con fallos en los vehículos. La información recopilada a través de estas tendencias proporciona un valioso material de análisis que debe ser considerado de manera integral en la propuesta de gestión de mantenimiento preventivo. Al monitorear de cerca la evolución de los indicadores clave de rendimiento, se establece una base sólida para anticipar y abordar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas significativas. Este enfoque proactivo

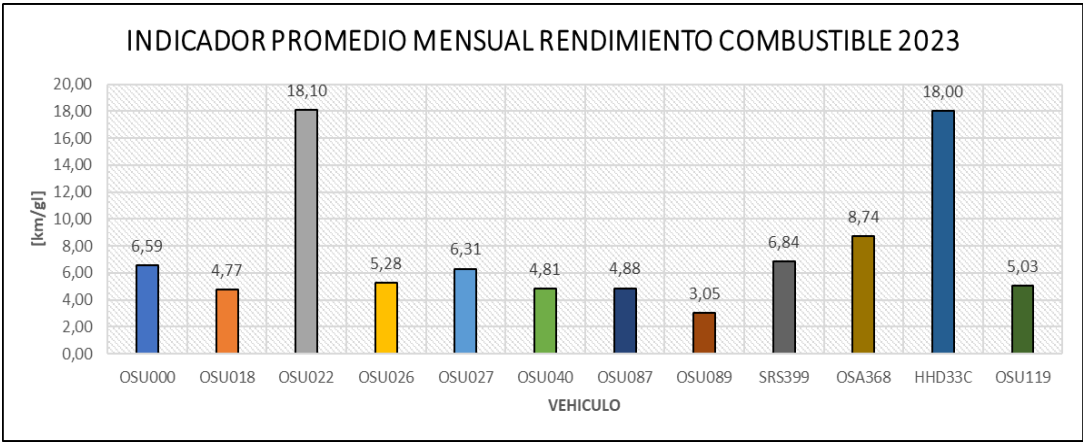
no solo optimiza la confiabilidad de los equipos críticos, sino que también contribuye a la eficiencia operativa y a la prolongación de la vida útil de los vehículos, reforzando así la efectividad global de las estrategias de mantenimiento preventivo. En la figura 11 y figura 12 se muestra el promedio de combustible durante el año 2022 y 2023 respectivamente.

Figura 11
Rendimiento promedio de combustible 2022



Nota: el vehículo con mejor rendimiento de combustible es el motocarro con placas HHD33C con 21,99 Km/gl.

Figura 12
Rendimiento promedio combustible 2023



Nota: el vehículo con mejor rendimiento de combustible es el NPR con placas OUS022 con 18,10 Km/gl.

Las figuras 13-17. Evidencian una disminución en la tendencia de rendimiento promedio tanto mensual como global de los vehículos tipo compactadores de basura, dada la comparación entre el año 2022 y 2023. Esto refleja el deterioro progresivo de los camiones y la necesidad de gestionar acciones que desde la planificación de mantenimiento permitan reestablecer condiciones de desempeño de los automotores.

Figura 13

Tendencia rendimiento combustible OUS018

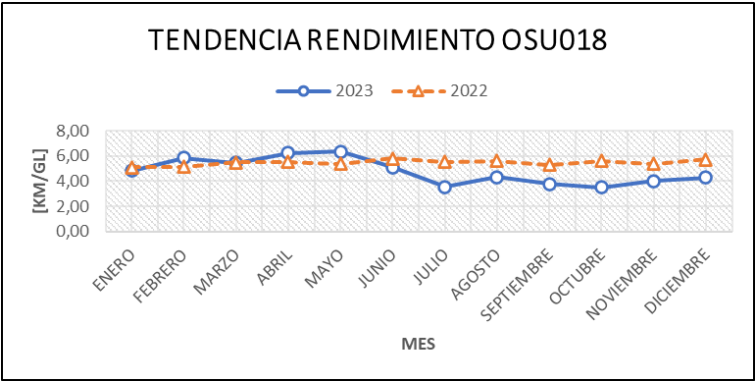


Figura 14

Tendencia rendimiento combustible OSU 089

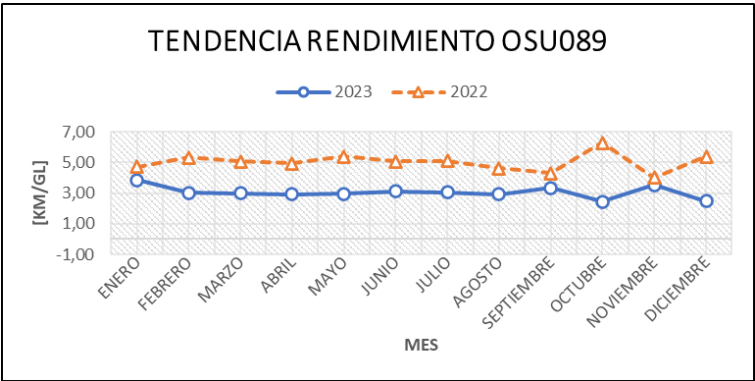


Figura 15
Tendencia rendimiento combustible OUS026

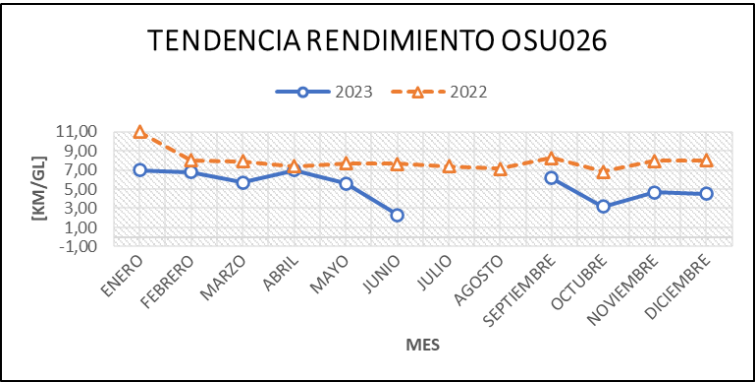


Figura 16
Tendencia rendimiento combustible OSU027

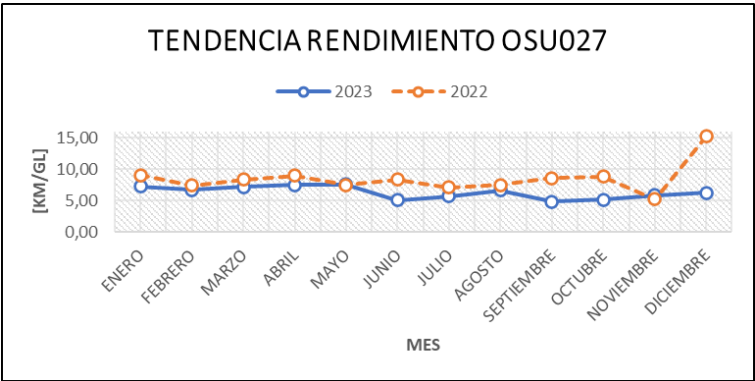
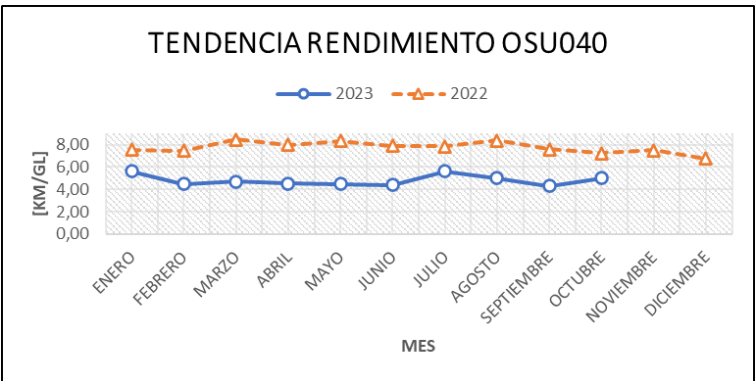


Figura 17
Tendencia rendimiento combustible OSU040



3.3.4 RCA

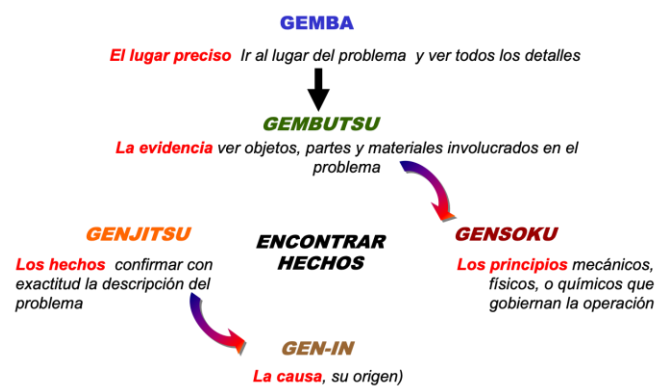
El análisis de causa raíz (RCA) es una herramienta metodológica esencial utilizada en diversas disciplinas para identificar y abordar las causas fundamentales de un problema o incidente, en lugar de simplemente tratar sus síntomas superficiales. Este enfoque sistemático implica una investigación profunda que busca entender las razones subyacentes que contribuyen a la ocurrencia de un evento no deseado. Los beneficios del análisis de causa raíz son múltiples y significativos. En primer lugar, permite una comprensión más completa y precisa de los desafíos, facilitando la toma de decisiones informada y la implementación de soluciones efectivas. Además, al dirigirse a las causas fundamentales, el RCA ayuda a prevenir la recurrencia de problemas similares, promoviendo la mejora continua en procesos y operaciones.

Se definen a partir del diagnóstico y los análisis realizados en capítulos previos, cinco (5) problemas o fallas mayores, por su impacto económico, impacto a la disponibilidad y reincidencia a lo largo de los periodos en estudio. Se busca gestionar soluciones, acciones de mejora y toma de decisiones que mitiguen, eliminen o reduzcan el impacto de estos problemas a la flota vehicular de la empresa.

- Costos elevados y reincidencia en pérdidas de aceite hidráulico en el sistema de compactación de los vehículos recolectores de basura.
- Costos elevados e impacto a la disponibilidad en daños estructurales de la caja compactadora, placas y pasadores de los compactadores.
- Costos elevados e impacto a la disponibilidad en sobrecalentamiento y daño a motor del vehículo (Cambios de motor).
- Reincidencia e impacto a la disponibilidad en rotura y fallos del sistema de suspensión tipo muelle de los vehículos compactadores.
- Reincidencia, impacto a la disponibilidad y costos en fallos del sistema de transmisión (Caja de cambios-embrague).

Para el desarrollo de la metodología de RCA, se aplicará inicialmente la técnica de las 5G's (figura 18) a fin de encontrar los hechos que llevan a la incurrencia del problema, trabajando con hechos y descartando las hipótesis; combinado con la herramienta de las 5W+1H (figura 19), nos permite determinar el fenómeno o problema a partir de la respuesta a los interrogantes planteados por esta herramienta.

Figura 18
Tendencia de las 5G's



Nota: La figura describe la metodología a seguir para encontrar los hechos que definen el problema o falla. Tomado de Aguilar León, M. (2024). *Mantenimiento Productivo Total, TPM*. Universidad Industrial de Santander.

Figura 19
Herramienta 5W+1H

¿Qué?	What?	¿Qué pasó, Que fue Evidente?
¿Cuándo?	When?	¿Cuándo ocurrió el problema? (Momento en el que ocurre)
¿Dónde?	Where?	¿Dónde vio el problema? (Línea/Maquina/Ubicación) ¿ En qué parte del trabajo o material defecto del problema?
¿Quién?	Who?	¿El problema está relacionado con la habilidad del personal?
¿Cuál?	Whict?	¿Cuál es la tendencia o frecuencia que tiene el problema?
¿Cómo?	How?	¿Cómo varía el estado normal de lo óptimo, es cuantitativo y asociado con el que?

Nota: la figura describe las preguntas a realizar en la consolidación del fenómeno o problema. Tomado de Aguilar León, M. (2024). *Mantenimiento Productivo Total, TPM*. Universidad Industrial de Santander.

Continuando con la metodología, se utiliza la herramienta de los 5 por qué's múltiple, basándose en definir los principales conjuntos de causas mayores siguiendo los enfoques de materiales, maquinas, métodos de trabajo, mano de obra. Finalmente, las causas raíz encontradas deberán contrastarse con al menos uno de los modos de falla, dentro de la técnica de las cinco (5) medidas para cero (0) fallos, siendo los siguientes:

- Restablecer condiciones básicas
- Falta de condiciones de funcionamiento/operación
- Deterioro forzado
- Puntos débiles de diseño
- Error humano/falta de capacitación

Como resultado del ejercicio presentada en la tabla 13, se analizan uno a uno los problemas mayores con la metodología descrita y se obtiene como resultado la serie de causas raíz que generan las fallas, para cada una de estas se propone una solución de manera general que represente un cambio en la tendencia e impacto de los fenómenos objeto de estudio.

Tabla 13

Resultados RCA

ITEM	Problema	Causas Raíz	Solución Propuesta
1	Pérdidas de aceite hidráulico en el sistema de compactación de los vehículos recolectores de basura.	Elección errónea del aceite hidráulico, ausencia de plan de lubricación caja compactadora, falta de capacitación al personal	Definir un estándar de calidad del aceite, exigir utilización de la mejor marca del mercado. Generar un plan de lubricación de la caja de compactación para evitar daños en el sistema hidráulico. Capacitar al personal en manejo adecuado de lubricantes, manejo adecuado del sistema hidráulico en operación

ITEM	Problema	Causas Raíz	Solución Propuesta
2	Daños estructurales de la caja compactadora, placas y pasadores de los compactadores.	Reparaciones con lámina común. Diseño con falencias. Falta de lavado y engrase vehículo	Establecer el uso de lámina anti-desgaste en reparaciones. Evaluar sistemas de regulación del sistema que eviten sobre compactación de la carga. Establecer procedimiento de lavado, generando programaciones periódicas que garanticen la limpieza de los lixiviados en la caja compactadora.
3	Sobrecalentamiento y daño a motor (Cambios de motor).	Ciclo de vida útil cumplido de componentes sistema de refrigeración. Falta de especificaciones del proceso de operación-mantenimiento. falta de capacitación y control de daños ocasionados a los vehículos.	Reemplazo de componentes del sistema de refrigeración que hayan cumplido su ciclo de vida útil. Designación de procedimientos y especificaciones de operación y mantenimiento del sistema de refrigeración. Generación de estándares. Implementación de procesos de capacitación al personal. Establecer procesos disciplinarios por daños ocasionados a los vehículos.
4	Fallos del sistema de suspensión tipo muelle	Rutas definidas en sector rural y urbano. Falta de capacitación- sentido de pertenencia	Evaluar diseños de ruta a fin de mitigar el tránsito de vehículos totalmente cargados por carreteras en mal estado o de difícil acceso. Capacitar el personal en el cuidado del vehículo, inspección vehículo, conducción segura y cuidadosa. Seguimiento a daños causados por conducción descuidada.
5	Fallos del sistema de transmisión (Caja de cambios-embrague)	Caja de cambios y componentes adaptados y/o hechizos. Conducción descuidada	Evaluar la compatibilidad de partes del sistema de transmisión, instalando repuestos originales, eliminando partes "hechizas". Capacitar al personal en cuidado del vehículo, conducción segura y cuidadosa. Seguimiento a daños por conducción descuidada.

En el Apéndice D, se presenta el desarrollo que respalda la aplicación de la metodología de análisis de causa raíz utilizada, se visualiza de forma clara y detallada la información extraída, siendo una referencia de vital importancia para la gestión de los fallos de alto impacto en el parque automotor.

3.3.5 *Stock de repuestos*

Un stock completo y actualizado de repuestos asegurará una respuesta rápida y eficiente ante cualquier necesidad de mantenimiento o reparación del parque automotor. Además, facilitará la implementación de programas de mantenimiento preventivo para garantizar un rendimiento óptimo de los vehículos.

Si bien la empresa no cuenta con un almacén propio de repuestos tabla 14, se identifica la necesidad de garantizar el stock de partes y consumibles indispensables por parte del contratista, considerando elementos de alta rotación, importación o que por su condición comercial pueda presentar escases en el mercado. Ejercer control administrativo al proveedor del servicio es fundamental para disminuir al mínimo los tiempos de respuesta del taller, ya que se evidenció una afectación directa y grave a la disponibilidad operacional por este aspecto. Se hace un trabajo de la mano del personal de mantenimiento, enlistando los repuestos que, dentro de las consideraciones expuestas, son requeridos principalmente en los vehículos compactadores, para no recaer en las malas prácticas y resultados que se han observado en las vigencias anteriores.

Tabla 14*Stock repuestos compactadores*

ITEM	Descripción
1	Banda freno pesada 4515x mc block Incolbest
2	Bomba auxiliar servo embrague diámetro 90 mm ktc 11164203502 Chevrolet ftr/Fotón/Jac
3	Bomba hidráulica dirección Chevrolet Kodiak
4	Bomba hidráulica Parker p51
5	Bomba principal embrague 1475002502 Chevrolet frr-ftr reward/fvr 2013
6	Cardanes
7	Cruceta cardan 334 mixta t35515x
8	Diafragma cámara tipo 30 t301
9	Empaque culata Isuzu 8976018195 Chevrolet fvr/Isuzu 6hk1
10	Empaquetadura cilindros hidráulicos
11	Esparrago eje 5/8x5/8x3-1/2 rf ro
12	Hoja cuarta delantera 22b520-4 Imal Kodiak
13	Hoja tercera delantera 22b520-3 Imal Chevrolet Kodiak 95615396 sencillo /3
14	Hojas de suspensión Kodiak, fvr, Internacional
15	Juego de cilindros hidráulicos de barrido compactadores dobles
16	Juego de cilindros hidráulicos de barrido compactadores sencillos
17	Juego de cilindros hidráulicos de compactación compactadores dobles
18	Juego de cilindros hidráulicos de compactación compactadores sencillos
19	Kit abrazadera cruceta spl250-1x-25-2507018x
20	Kit embrague Chevrolet fvr
21	Kit embrague Kodiak

ITEM	Descripción
22	Kit toma fuerza wa20-08-7005
23	Líquido frenos dot3 cofre 900 ml
24	Manguera hidráulica 1/2
25	Manguera hidráulica 3/4
26	Manguera hidráulica 3/4
27	Manguera hidráulica r15
28	Móvil hydraulic AW 68 1/5 hidráulico
29	Piñón mono
30	Soporte motor nacional 0110234/inq6307 Chevrolet Kodiak 3176 Caterpillar 98/
31	Terpel Ultrek (valvulina) 85w140 granel api gl-5 diferencial multigrado
32	Terpel ultrek 25w50 1/6 api cf-4/sg alto km multigrado
33	Tornillo centro grado 5 1/2 x 10

3.4 Propuesta de plan de mantenimiento preventivo

El mantenimiento rutinario y preventivo programado es esencial para garantizar el rendimiento óptimo y la disponibilidad operativa de los vehículos. Esta estrategia se ha propuesto tras una exhaustiva recopilación de información que abarca históricos de mantenimiento, manuales de fábrica, experiencia del personal involucrado (conductores y técnicos de mantenimiento) y la evaluación de la capacidad técnica del taller.

El análisis de los históricos de mantenimiento permite identificar patrones y tendencias relacionados con las necesidades de servicio de los vehículos. Al revisar los manuales, se obtiene información técnica específica sobre las recomendaciones básicas para el mantenimiento de cada tipo de vehículo. La experiencia del personal también ha sido un factor importante en la

elaboración de este programa, ya que las lecciones aprendidas de intervenciones anteriores y la comprensión de las particularidades de cada modelo de vehículo, han influido en la creación de un enfoque preventivo más eficiente y personalizado. Finalmente, la evaluación de la disponibilidad técnica en el taller complementa lo anterior, busca asegurar contar con las herramientas adecuadas, repuestos necesarios, personal capacitado y otros recursos propios del proceso para llevar a cabo el mantenimiento de manera efectiva y sin contratiempos.

Para la realización de los planes de mantenimiento preventivo, se propone codificar las actividades según su naturaleza, rutinaria (R) aplicada por los conductores y operarios de los equipos y preventiva programada (PP) asociada a técnicos de mantenimiento competentes para cada actividad. El mantenimiento preventivo programado de los compactadores de basura desempeña un papel fundamental en la preservación de su rendimiento óptimo y en la maximización de su vida útil como equipos críticos de la empresa, en un contexto donde la gestión eficiente de residuos es esencial para cumplimientos legales y satisfacción del cliente, estas máquinas requieren una atención especializada para garantizar su funcionamiento continuo, evitando contratiempos. De manera similar, se establecen actividades para los demás vehículos con requerimientos específicos, estableciendo en la tabla 15, integrando actividades que permita al personal interesado una fácil consulta de cualquier tipo de carro. Se establecen las convenciones para los equipos así:

- C: Compactadores de basura
- V: Volquetas
- S: Equipo succión
- T: Camión turbo
- K: Camioneta
- M: Motocarro
- Todos

Tabla 15*Actividades de mantenimiento vehículos*

Código	Descripción	Frecuencia	Tipo de Vehículo
R01	Comprobar nivel de aceite hidráulico.	Diario	C,V,T,S
R02	Drenar el sistema neumático si cuenta con válvulas de purga.	Diario	C,V,T,S
R03	Inspeccionar fugas en el sistema hidráulico (Controles, manómetros).	Diario	C,S
R04	Revisar guaya de aceleración, clutch y freno	Diario	M
R05	Inspeccionar visualmente fisuras, grietas o daños en la estructura de la caja compactadora.	Diario	C
R06	Revisar fugas de aceite en el PTO y bomba hidráulica.	Diario	C
R07	Verificar correcto ajuste de sistema de candados de tolva.	Diario	C
R08	Verificar correcto funcionamiento del freno de emergencia o freno de mano.	Diario	Todos
R09	Verificar el correcto funcionamiento de los cilindros hidráulicos (Compactación, barrido, eyección, levante tolva y volteo).	Diario	C
R10	Verificar el correcto funcionamiento del sistema de volteo	Diario	C,V,T,S
R11	Verificar el correcto funcionamiento del sistema de frenos.	Diario	Todos
R12	Verificar el nivel y estado del aceite de motor en frío.	Diario	Todos
R13	Verificar estado de correas de motor	Diario	
R14	Verificar estado de hojas de muelles.	Diario	C,V,T,S,K
R15	Verificar estado de amortiguadores	Diario	K,M

Código	Descripción	Frecuencia	Tipo de Vehículo
R16	Verificar estado de los espejos del vehículo.	Diario	Todos
R17	Verificar estado de mangueras neumáticas e hidráulicas.	Diario	C,V,T,S
R18	Verificar funcionamiento de luces y alarmas sonoras.	Diario	Todos
R19	Verificar funcionamiento del tablero de indicadores.	Diario	Todos
R20	Verificar la presión de aire del vehículo y funcionamiento del compresor.	Diario	C,V,T,S
R21	Verificar nivel de líquido de frenos	Diario	C,V,T,S,K
R22	Verificar nivel de aceite de dirección	Diario	C,V,T,S,K
R23	Verificar nivel de refrigerante.	Diario	C,V,T,S,K
R24	Verificar que no se presenten llantas pinchadas.	Diario	Todos
R25	Inspeccionar estado de llantas.	Semanal	Todos
R26	Lavado general del vehículo.	Semanal	Todos
R27	Ajustar presión del sistema hidráulico.	Mensual	C,S
R28	Inspeccionar bujes y pasadores de cilindros hidráulicos.	Mensual	C
R29	Lubricar el eje del PTO que acciona la bomba hidráulica.	Mensual	C
R30	Realizar limpieza de bomba hidráulica.	Mensual	C
R31	Revisar estado de espárragos.	Mensual	C,V,T,S
R32	Revisar estado de placas de eyección, barrido y compactación.	Mensual	C
R33	Revisar estado de teflones de caja compactadora	Mensual	C
PP01	Graduar frenos.	Semanal	C,V,T,S
PP02	Realizar engrase a puntos de engrase.	Semanal	C,V,T,S

Código	Descripción	Frecuencia	Tipo de Vehículo
PP03	Limpiar sistema de recolección de lixiviados, verificar funcionamiento de llave de drenaje	Semanal	C
PP04	Inspeccionar y realizar engrase de ejes delanteros y traseros.	Mensual	C,V,T,S
PP05	Revisar soldaduras y reparar fisuras en la estructura de la caja compactadora y chasis.	Mensual	C
PP06	Ajustar pernos y componentes de sistema de transmisión (Cardanes, crucetas)	Mensual	C,V,T,S
PP07	Ajustar acoples y pernos sistema de dirección	Mensual	C,V,T,S
PP08	Graduar embrague.	Mensual	C,V,T,S
PP09	Cambiar pasadores de cilindros hidráulicos.	Trimestral	C
PP10	Cambiar aceite hidráulico, cambiar filtro de aceite, bajar y limpiar de tanque.	Semestral	C,S
PP11	Cambiar conectores y mangueras hidráulicas.	Semestral	C,S
PP12	Mantenimiento sistema de transmisión, caja de velocidades, caja de reversa	Semestral	M
PP13	Cambiar empaque de tolva	Semestral	C
PP14	Cambiar empaquetadura cilindros de barrido, compactación y mandos hidráulicos.	Semestral	C
PP15	Cambiar teflones caja compactadora.	Semestral	C
PP16	Realizar mantenimiento a PTO	Semestral	C
pp17	Escanear vehículo, revisar sensores.	Semestral	C,V,T,S,K
PP18	Inspeccionar cilindro hidráulico de volteo	Semestral	C,V,T,S

Código	Descripción	Frecuencia	Tipo de Vehículo
PP19	Mantenimiento general de equipo de succión, motobomba, hidro-lavadora	Semestral	S
PP20	Realizar alineación vehículo	Semestral	C,V,T,S,K
PP21	Realizar mantenimiento y limpieza del sistema de refrigeración (Fan clutch, radiador, depósito)	Semestral	C,V,T,S,K
PP22	Revisar estado de pastillas, bloques de freno, bombonas o zapatas.	Semestral	Todos
PP23	Cambiar cilindros de compactación.	Anual	C
PP24	Ajustar pernos, uniones, tuercas de ejes y barras de dirección.	Anual	C,V,T,S,K
PP25	Cambiar bomba hidráulica.	Anual	C,S
PP26	Cambiar cilindros de barrido.	Anual	C
PP27	Cambiar empaquetadura cilindro hidráulico eyector y de levante de tolva	Anual	C
PP28	Cambiar lámina de tolva / refuerzo piso y laterales caja compactadora.	Anual	C
PP29	Cambiar líquido de frenos.	Anual	C,V,T,S,K
PP30	Cambiar lubricante caja de velocidades y ejes de transmisión.	Anual	C,V,T,S,K
PP31	Cambiar PTO.	Anual	C
PP32	Drenar y limpiar tanque de combustible.	Anual	C,V,T,S
PP33	Realizar mantenimiento al sistema de aire acondicionado.	Anual	C,V,T,S,K
PP34	Realizar sincronización de motor, calibración sistema de inyección.	Anual	Todos
PP35	Cambiar cilindro eyector.	Bianual	C
PP36	Cambiar bomba de agua	Bianual	C,V,T,S,K
PP37	Cambiar baterías	Bianual	Todos

Código	Descripción	Frecuencia	Tipo de Vehículo
PP38	Cambiar mando hidráulico.	Bianual	C
PP39	Cambiar aceite de motor	1,000 km	M
PP40	Cambiar aceite de motor, filtro de aceite, filtro de combustible, filtro de aire, otros filtros	5,000 km/350 horas/6 meses	C,V,T,S,K
PP41	Realizar ajuste y tensión a correas	10,000 km/6 meses	C,V,T,S,K
PP42	Realizar mantenimiento a baterías	10,000 km/6 meses	Todos
PP43	Realizar volteo de llantas	10,000 km/6 meses	C,V,T,S,K

3.5 Gestión de talento humano

Esta gestión emerge actualmente con un rol fundamental en toda organización, reconociendo que el capital humano constituye el activo más valioso. La administración de recursos humanos no solo abarca la selección y retención de talento, sino también la creación de un entorno laboral adecuado para el crecimiento individual y colectivo. Un liderazgo comprometido con el desarrollo profesional, la comunicación asertiva y la creación de equipos sólidos, no solo aumenta la productividad, sino que también fortalece el clima organizacional. Invertir en el bienestar y el desarrollo de su personal, les da a las organizaciones cimientos para el éxito a largo plazo, generando compromiso auténtico que repercute en el alcance de objetivos estratégicos.

En cuanto a la motivación del personal, es un componente esencial por considerar en la empresa de los Piedecuestanos. Un equipo motivado no solo cumple con sus responsabilidades laborales, sino que va más allá, con creatividad y energía al logro de metas. La motivación fomenta un ambiente laboral positivo, donde los empleados se sienten valorados y reconocidos, lo que a su vez contribuye a la retención de los trabajadores. La creación de programas de capacitación,

espacios de interacción entre los diferentes niveles jerárquicos y planteamiento de estrategias que generen y mantengan la motivación del personal propulsa el éxito a largo plazo.

4. Conclusiones

Se logró recopilar información de manera eficiente, de catorce (14) vehículos de uso y tenencia de la empresa Piedecuestana de Servicios Públicos para los años 2022 y 2023. Generando una gestión documental que se requería desde el área administrativa de la empresa, soportando la trazabilidad de eventos y datos asociados a los costos de mantenimiento, históricos de mantenimiento, data del sistema de rastreo satelital (kilometraje, horas de trabajo), costos de repuestos, información técnica, que en conjunto representa la materia prima para el desarrollo del proyecto. La verificación de las fuentes de información proporcionó validez al estudio realizado.

A través del diagnóstico, se logró primeramente establecer que el 80% (4 de 5) de los vehículos compactadores de basura superan el ciclo de vida útil definido en la Resolución CRA 751 de 2016. Las visitas realizadas al taller de mantenimiento en conjunto con el acompañamiento e interacción con el personal operativo de seis (6) rutas de recolección de residuos sólidos permitieron ilustrar el panorama actual del parque automotor, estableciendo un listado de requerimientos de mantenimiento específicos para cada vehículo, factor determinante como propuesta de las acciones de mantenimiento inicial requeridas para restablecer las condiciones operativas de los equipos. Se logró establecer una mesa de trabajo con el área de seguridad y salud en el trabajo, realizando seguimiento de lo expuesto en la Resolución 40495 de 2022 del PESV, resultando en el diagnóstico de los requerimientos de elementos de seguridad en los vehículos en marco del cumplimiento legal de dicha normativa.

Se establecieron las variables y formulaciones cualitativas y cuantitativas para el cálculo del indicador de disponibilidad para doce (12) vehículos de los que se obtuvo información durante el año 2023. Se calculó la disponibilidad operativa en porcentaje, mes a mes y en promedio para cada uno de los vehículos, evidenciando el nivel mensual de cumplimiento de la meta establecida por la empresa, correspondiente al 70%. Para los casos en que no se alcanzó la meta de disponibilidad mensual, se indagó acerca de los problemas asociados a la baja disponibilidad en cada caso, considerándolos eventos de alto impacto a la disponibilidad en marco de la aplicación de la metodología de RCA.

Se aplicó la metodología de Pareto a los costos de las actividades de mantenimiento y a los costos de los repuestos de los catorce (14) vehículos en las vigencias 2022 y 2023, estableciendo dos grupos de equipos, para los cuales, resultaron en todos los casos ser de mayor criticidad los cinco (5) vehículos compactadores de basura, sobre los cuales se utilizó la metodología de análisis de causa raíz. Como resultado del RCA, se evaluaron cinco (5) problemas mayores de los compactadores por su impacto a los costos, disponibilidad, reincidencia o sus combinaciones, encontrando las causas raíz y generando un precedente para la toma de decisiones dentro de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo y recomendaciones.

Se propuso un plan de mantenimiento con actividades de carácter rutinario y preventivo programado, acorde a las necesidades reales del parque automotor de la empresa y las condiciones y capacidades técnicas del taller y personal involucrado. Se establecen un total de treinta y tres (33) actividades rutinarias y cuarenta y tres (43) actividades de mantenimiento preventivo programado.

La dependencia de las actuaciones humanas en los principales problemas mayores, muestra los vacíos administrativos que presenta la empresa, en marco de la gestión de los recursos humanos.

Se requiere gestionar los recursos necesarios para la implementación de un software de mantenimiento que permita controlar la ejecución y programación de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo del parque automotor de la empresa, seguimiento de indicadores, costos y demás componentes directos e indirectos asociados a mantenimiento.

Se hace necesario reestructurar el área de mantenimiento, a partir del reclutamiento de personal calificado para la asignación del rol de ingeniero de mantenimiento. Que lidere y asuma las responsabilidades del proceso de gestión del mantenimiento del parque automotor de la empresa.

5. Recomendaciones

Continuar con la gestión documental, a fin de mantener la trazabilidad de información confiable que permita generar acciones de mejora continua en los procesos asociados al mantenimiento del parque automotor de la empresa.

Realizar un estudio técnico y financiero, que permita establecer un programa de renovación/expansión progresiva de la flota de vehículos, a fin de implementar vehículos con nuevas tecnologías que mitiguen con sistemas de seguridad la incidencia del error humano en la operación de los mismos.

Establecer un programa técnico de lubricación de los vehículos con especial énfasis en los componentes de la caja compactadora, con esto se busca prolongar la vida útil del equipo y disminuir costos asociados a pérdidas de aceite hidráulico y reparaciones metalmecánicas de las estructuras de la caja.

Establecer programas de capacitación y desarrollo de habilidades al personal operativo, programas de bienestar enfocados a la mejora continua del clima y cultura organizacional para alcanzar mejores desempeños de los trabajadores.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar León, M. (2024). *Mantenimiento Productivo Total, TPM*. Universidad Industrial de Santander.
- Alavedra, C., Gastelu, Y., Méndez, G., Minaya, C., Pineda, B., & Prieto, K. (2016). *Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013*, 34. Universidad de Lima: Ingeniería Industrial.
- Bauset, S. G. (2022). *El mantenimiento de las flotas de transporte*. Técnica Industrial, 247, pág 42.
- Fanalca. (s.f.). MANUAL DEL PROPIETARIO, Operación, mantenimiento y servicios. Obtenido de <https://es.scribd.com/presentation/480716182/MANUAL-FANALCA>
- Figuerola Castro, E. (2013). *ELABORACIÓN DE UN PLAN ANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA VEHÍCULOS RECOLECTORES COMPACTADORES DE LA EMPRESA DE ASEO DE BUCARAMANGA (EMAB)*. Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga.
- Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P. (2022). *Piedecuestanaesp*. Obtenido de <https://piedecuestanaesp.gov.co/>
- Resolución 40594 DE 2022. (s.f.). [Ministerio de Transporte]. *Por la cual se adopta la metodología para el diseño, implementación y verificación de los Planes Estratégicos de Seguridad Vial y se dictan otras disposiciones*. Julio 12 2022.

Resolución CRA 751 DE 2016. (s.f.). [Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico]. *Por la cual se establece el régimen de regulación tarifaria al que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo que atiendan en municipios de más de 5.000 suscriptores en áreas urbanas.* Febrero 8 2016.

Rodríguez Ascanio, J. (2021). *Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo del Sistema Hidráulico a la Compactadora MCNEILUS en Interaseo Santa Marta.* Obtenido de <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2595/7/2020JoseJavierRodriguezAscanio.pdf>

Serie WorkStar. (2008). Manual del operador - WorkStar. *Formulario No. 3679723R1.* Obtenido de https://www.academia.edu/16345515/87246655_Manual_de_Operador_Workstar

Apéndice

Apéndice A. Costos mantenimiento vehículos 2022

Apéndice B. Costos mantenimiento vehículos 2023

Apéndice C. Disponibilidad-kilometraje 2022-2023

Apéndice D. RCA