

Diseño de una estrategia de mantenimiento preventivo basada en la metodología AMEF para una flota de transporte intermunicipal de SOTRAMAGDALENA S.A.S

Cesar Alberto Mantilla Villamizar

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

German Orlando Romero Suarez

MSc. en Innovación y Diseño

Codirector

Diego Fernando Villegas Bermúdez

PhD en Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2025

### **Dedicatoria**

Quiero dedicar este trabajo a Dios, por bendecirme e iluminarme en todo este camino.

A mis papás, Luis y Gladys, por ser mi mayor pilar, por su esfuerzo y sacrificio para sacarme adelante y darme siempre lo mejor.

A mi hermana, que con su ejemplo me ha mostrado el camino a seguir y me ha motivado a superarme cada día.

También a mi familia, por su cariño incondicional, y a mis amigos, quienes hicieron de esta etapa universitaria una experiencia más alegre y llevadera.

### **Agradecimientos**

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme salud, fortaleza y sabiduría para culminar este proceso académico.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por sus consejos y sacrificios que me han permitido alcanzar este logro. A mi hermana, por ser fuente de inspiración y ejemplo constante.

Extiendo mi gratitud a mis familiares y amigos, quienes con su cariño y compañía hicieron más llevadera esta etapa universitaria.

Agradezco de manera especial a mis docentes de la Universidad Industrial de Santander, quienes con su conocimiento y guía contribuyeron a mi formación profesional.

Finalmente, expreso mi reconocimiento a SOTRAMAGDALENA S.A.S por la disposición y colaboración que hicieron posible el desarrollo de este trabajo de grado.

**Tabla de contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	15
1. Planteamiento del problema .....	17
2. Justificación .....	19
3. Objetivos.....	20
3.1 Objetivo general .....	20
3.2 Objetivos específicos.....	20
4. Marco teórico.....	21
4.1 Mantenimiento.....	22
4.2 Mantenimiento correctivo.....	23
4.3 Mantenimiento preventivo.....	23
4.4 Caracterización de flotas .....	23
4.5 Taxonomía.....	24
4.6 Criticidad .....	24
4.7 Estado de falla o falla funcional .....	25
4.8 Modo de falla.....	25
4.9 Efecto de falla.....	25
4.10 Consecuencia de falla .....	25
4.11 Metodología AMEF.....	26
4.12 ISO 14224.....	26
4.13 SAE JA 1012 .....	27
4.14 CAPEX y OPEX.....	27

5. Metodología.....	28
5.1 Levantamiento de información y diagnóstico de la flota .....	28
5.2 Implementación del análisis de modos y efectos de falla (AMEF).....	28
5.3 Diseño de estrategia de mantenimiento preventivo.....	29
5.4 Personalización del plan de mantenimiento, elaboración de formatos y ejecución del plan piloto. ....	30
6. Levantamiento de información y diagnóstico de la flota .....	31
6.1 Diagnóstico del mantenimiento vigente en la flota .....	31
6.1.1 Documentación .....	32
6.1.2 Costos asociados del mantenimiento actual.....	32
6.1.3 Impacto en la disponibilidad.....	33
6.1.4 Impacto en la seguridad .....	34
6.2 Caracterización de la flota .....	34
6.2.1 Cantidad de vehículos y características .....	35
6.2.2 Rutas y rotación de vehículos .....	39
6.2.3 Fallas comunes.....	40
6.2.4 Hojas de vida.....	41
7. Análisis de modos y efectos de falla .....	43
7.1 Taxonomía.....	43
7.1.1 Taxonomía general.....	44
7.1.2 Taxonomía de los vehículos.....	44
7.1.2.1 Carrocería.....	45
7.1.2.2 Frenos.....	46

7.1.2.3 Propulsión .....	47
7.1.2.4 Suspensión y dirección .....	48
7.1.2.5 Aire acondicionado .....	49
7.1.2.6 Tren de potencia.....	50
7.1.2.7 Electricidad y electrónica.....	51
7.2 Análisis de criticidad .....	53
7.2.1 Criterios de evaluación .....	53
7.2.2 Matriz de comparación entre criterios .....	54
7.2.3 Matriz de comparación para cada criterio.....	55
7.2.4 Criticidad final .....	58
7.3 Desarrollo del AMEF .....	59
7.3.1 Severidad.....	60
7.3.2 Ocurrencia.....	61
7.3.3 Detección.....	62
7.4 Resultados del AMEF.....	62
8. Tareas de mantenimiento y planificación .....	66
8.1 Tareas de mantenimiento preventivo.....	66
8.2 Plan de mantenimiento .....	69
8.3 Personalización del plan de mantenimiento .....	75
8.4 Estrategias complementarias para la gestión del mantenimiento .....	77
8.4.1 Capacitación de operadores .....	77
8.4.2 Implementación progresiva de mantenimiento predictivo.....	78
8.4.3 Uso de software de gestión de flotas.....	79

8.5 Presupuesto.....	80
9. Ejecución del plan piloto.....	84
9.1 Selección de vehículos.....	84
9.2 Aplicación del plan.....	86
9.3 Indicadores.....	87
9.4 Resultados del plan piloto.....	92
10. Conclusiones.....	94
11. Recomendaciones.....	95
Referencias.....	96
Apéndices.....	100

**Lista de tablas**

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Distancias por trayecto y por ruta completa (ida y vuelta). .....	40
<b>Tabla 2.</b> Comparación de criterios AHP. ....	54
<b>Tabla 3.</b> Comparación según criterio de seguridad. ....	55
<b>Tabla 4.</b> Comparación según criterio de frecuencia de fallas. ....	56
<b>Tabla 5.</b> Comparación según criterio de disponibilidad. ....	57
<b>Tabla 6.</b> Comparación según criterio de costos. ....	57
<b>Tabla 7.</b> Valores normalizados y peso según criterio. ....	58
<b>Tabla 8.</b> Resultado del análisis de criticidad. ....	59
<b>Tabla 9.</b> Niveles de severidad. ....	60
<b>Tabla 10.</b> Niveles de ocurrencia. ....	61
<b>Tabla 11.</b> Niveles de detección. ....	62
<b>Tabla 12.</b> Resultados del AMEF por subsistema y componente. ....	63
<b>Tabla 13.</b> Clasificación para el plan de mantenimiento personalizado. ....	76
<b>Tabla 14.</b> Gastos de capital. ....	81
<b>Tabla 15.</b> Gastos de operación. ....	82

**Lista de figuras**

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Distribución de vehículos por marca.....	35
<b>Figura 2.</b> Distribución de vehículos por tipo. ....	36
<b>Figura 3.</b> Distribución de vehículos por línea.....	37
<b>Figura 4.</b> Distribución de vehículos por modelo.....	38
<b>Figura 5.</b> Capacidad de pasajeros por vehículo. ....	39
<b>Figura 6.</b> Hoja de vida de vehículo.....	42
<b>Figura 7.</b> Taxonomía general de la empresa. ....	44
<b>Figura 8.</b> Taxonomía del vehículo. ....	45
<b>Figura 9.</b> Subsistema de carrocería.....	46
<b>Figura 10.</b> Subsistema de frenos. ....	47
<b>Figura 11.</b> Subsistema de propulsión.....	48
<b>Figura 12.</b> Subsistema de suspensión y dirección.....	49
<b>Figura 13.</b> Subsistema de aire acondicionado.....	50
<b>Figura 14.</b> Subsistema de tren de potencia.....	51
<b>Figura 15.</b> Subsistema eléctrico y electrónico. ....	52
<b>Figura 16.</b> Extracto del AMEF.....	65
<b>Figura 17.</b> Extracto de las tareas de mantenimiento. ....	67
<b>Figura 18.</b> Distribución de tareas según el tipo de intervención.....	68
<b>Figura 19.</b> Extracto del plan de mantenimiento.....	71
<b>Figura 20.</b> Cantidad de tareas por subsistema.....	72
<b>Figura 21.</b> Cantidad de tareas por tipo de rutina.....	73

<b>Figura 22.</b> Cantidad de tareas acumuladas.....	74
<b>Figura 23.</b> Vehículo 1037. ....	84
<b>Figura 24.</b> Vehículo 138. ....	85
<b>Figura 25.</b> Extracto del plan de mantenimiento del vehículo 138. ....	87
<b>Figura 26.</b> Vehículo 138 en taller. ....	88
<b>Figura 27.</b> Vehículo 1037 en taller. ....	89
<b>Figura 28.</b> Operador del vehículo 138 con el plan diligenciado. ....	93

**Lista de Apéndices**

**Pág.**

Apéndice A. Código QR con documentación completa ..... 100

## Glosario

**AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla):** herramienta de ingeniería utilizada para identificar, priorizar y prevenir posibles fallas en un sistema o componente, evaluando sus efectos y proponiendo acciones de mejora.

**Estrategia:** conjunto de acciones planificadas y organizadas con el fin de alcanzar un objetivo específico, optimizando los recursos disponibles.

**Mantenimiento:** conjunto de actividades técnicas, administrativas y de gestión que tienen como propósito conservar un sistema, equipo o instalación en condiciones óptimas de funcionamiento.

**Mantenimiento preventivo:** tipo de mantenimiento planificado que busca evitar fallas mediante inspecciones, ajustes, sustituciones y tareas periódicas realizadas antes de que ocurra una avería.

**Flota:** conjunto de vehículos pertenecientes a una empresa de transporte, administrados de manera conjunta para la prestación de un servicio.

## Resumen

**Título:** Diseño de una estrategia de mantenimiento preventivo mediante AMEF para la flota intermunicipal de SOTRAMAGDALENA S.A.S\*

**Autor:** Mantilla, C. A.†

**Palabras Clave:** AMEF, Estrategia, Mantenimiento, Mantenimiento preventivo, Flota.

El presente proyecto tiene como objetivo principal diseñar una estrategia de mantenimiento preventivo para la flota de transporte intermunicipal de SOTRAMAGDALENA S.A.S, fundamentada en la metodología de Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF). Con ello se busca optimizar la planificación del mantenimiento, mejorar la seguridad vial y aumentar la eficiencia operativa de la empresa. Durante el desarrollo se recopilaron los registros históricos de la flota y se aplicó el AMEF para identificar los componentes críticos y sus posibles modos de falla. A partir de este análisis se diseñaron rutinas de mantenimiento preventivo ajustadas a las condiciones de operación y a los intervalos de kilometraje o tiempo establecidos. También se elaboró un formato de seguimiento y trazabilidad para facilitar el control de las tareas ejecutadas y fortalecer la gestión de mantenimiento. Finalmente, mediante indicadores y un plan piloto en un grupo de vehículos seleccionados, se evaluó la viabilidad de la estrategia. Los resultados demostraron una reducción de fallas no programadas, mayor disponibilidad de la flota y un uso más eficiente de los recursos, confirmando la utilidad de la metodología en el transporte intermunicipal.

---

\*Trabajo de grado

† Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Mecánica. Director: German Orlando Romero Suarez. MSc. en Innovación y Diseño. Codirector: Diego Fernando Villegas Bermúdez. PhD en Ingeniería Mecánica.

### Abstract

**Title:** Design of a Preventive Maintenance Strategy through FMEA for the Intermunicipal Fleet of SOTRAMAGDALENA S.A.S<sup>‡</sup>

**Author:** Mantilla, C. A.<sup>§</sup>

**Keywords:** FMEA, Strategy, Maintenance, Preventive Maintenance, Fleet.

The main objective of this project is to design a preventive maintenance strategy for the intermunicipal transport fleet of SOTRAMAGDALENA S.A.S, based on the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) methodology. The purpose is to optimize maintenance planning, improve road safety, and increase the operational efficiency of the company. During the development, historical records of the fleet were collected and analyzed, and FMEA was applied to identify critical components and their possible failure modes. Based on this analysis, preventive maintenance routines were designed according to operating conditions and established mileage or time intervals. A follow-up and traceability format was also developed to facilitate the control of executed tasks and strengthen maintenance management. Finally, through indicators and a pilot plan applied to a selected group of vehicles, the feasibility of the strategy was evaluated. The results showed a reduction of unplanned failures, greater fleet availability, and a more efficient use of resources, confirming the usefulness of the methodology in intermunicipal transport.

---

<sup>‡</sup> Degree Project

<sup>§</sup> Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Mechanical Engineering. Advisor: Germán Orlando Romero Suárez, MSc. in Innovation and Design. Co-advisor: Diego Fernando Villegas Bermúdez, PhD in Mechanical Engineering.

## **Introducción**

El transporte terrestre intermunicipal desempeña un papel esencial en la movilidad de personas y bienes, siendo un componente estratégico para el desarrollo económico y social de Colombia. De acuerdo con el Ministerio de Transporte, este sector moviliza más de 180 millones de pasajeros al año, lo que refleja su importancia para la conectividad del país (Ministerio de Transporte, 2023). La creciente demanda de servicios obliga a las empresas a adoptar estándares más altos de seguridad, calidad y eficiencia. En este contexto, garantizar que los vehículos operen en condiciones óptimas no solo es un requisito legal, sino también una necesidad para mantener la confianza de los usuarios y la competitividad empresarial.

Sin embargo, la gestión del mantenimiento en las flotas de transporte presenta múltiples retos. La diversidad de talleres y proveedores de servicios, la falta de estandarización en los procesos y la dificultad de ejercer un control riguroso sobre la ejecución de las tareas programadas generan un escenario de vulnerabilidad. Dichas limitaciones pueden derivar en fallas mecánicas, sanciones legales, pérdidas económicas y, lo más crítico, un incremento en los riesgos de seguridad vial. De acuerdo con la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV), en Colombia se registraron más de 8.500 muertes por siniestros viales durante el año 2022, de las cuales aproximadamente un 10% estuvieron relacionadas con el transporte público colectivo e intermunicipal (ANSV, 2023).

Frente a esta problemática, resulta indispensable contar con un enfoque sistemático y preventivo que permita anticiparse a las fallas y garantizar la confiabilidad de los vehículos. El Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) se presenta como una herramienta metodológica

adecuada para identificar los puntos críticos de la flota y priorizar acciones de mantenimiento que reduzcan la probabilidad de falla.

Este trabajo de grado propone el diseño de una estrategia de mantenimiento preventivo basada en la metodología AMEF para la empresa de transporte intermunicipal SOTRAMAGDALENA S.A.S Con ello, se busca optimizar la planificación y el control del mantenimiento, aumentar la disponibilidad de la flota, mejorar la seguridad vial y fortalecer la satisfacción del cliente. De esta manera, se aporta a la consolidación de prácticas más eficientes y sostenibles dentro de un sector altamente competitivo y en constante transformación.

## 1. Planteamiento del problema

El sector del transporte terrestre enfrenta desafíos constantes para garantizar la seguridad y satisfacción del cliente. Las empresas que operan en este sector se esfuerzan por mantener sus vehículos en óptimas condiciones, asegurando así el cumplimiento de los requisitos de tránsito, la seguridad de los pasajeros y la eficiencia operativa. Sin embargo, uno de los principales obstáculos radica en la diversidad de talleres que sus socios emplean, ya que estos tienen la autonomía para seleccionar al proveedor de mantenimiento. Esta situación complica el control y la supervisión, lo que puede resultar en consecuencias negativas potenciales.

La cantidad de proveedores de servicios de mantenimiento dificulta la estandarización en los procedimientos y una supervisión rigurosa. Como resultado, se imposibilita la implementación de un enfoque coherente y sistemático para el mantenimiento de la flota, lo que puede dar lugar a inconsistencias en la ejecución de las tareas de mantenimiento programadas. Esta falta de control y supervisión puede tener consecuencias graves. En primer lugar, existe un riesgo significativo para la seguridad vial, ya que el mantenimiento inadecuado de los vehículos aumenta la probabilidad de fallas mecánicas en carretera, lo que puede terminar en accidentes. La Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV) reportó que, entre enero y septiembre de 2023, se produjeron en Colombia 6.151 muertes asociadas a siniestros de tránsito (LaFM, 2023).

Además, la falta de confianza por parte de los clientes puede tener efectos perjudiciales. Cuando los usuarios perciben que las condiciones de seguridad no son óptimas, pueden optar por otros medios de transporte, reduciendo la demanda y afectando la rentabilidad de la empresa. La

pérdida de confianza también puede traducirse en una reputación deteriorada, lo que dificulta la captación de nuevos clientes y la fidelización de los existentes.

La situación descrita resalta la necesidad de establecer un sistema de mantenimiento estandarizado y supervisado que garantice la seguridad de los pasajeros y la eficiencia operativa, contribuyendo así a la mejora del servicio y la satisfacción del cliente.

## 2. Justificación

El transporte terrestre de pasajeros es un componente clave en la movilidad y desarrollo económico de las regiones, ya que garantiza el acceso de las personas a actividades educativas, laborales y recreativas. La eficiencia operativa y la seguridad de la flota son factores determinantes para la sostenibilidad de las empresas de transporte y para la confianza de los usuarios. Sin embargo, la diversidad de proveedores de mantenimiento y la falta de un control estandarizado generan inconsistencias en la ejecución de las tareas, aumentando el riesgo de fallas mecánicas, accidentes y pérdida de clientes.

En este contexto, el proyecto se centra en la flota de SOTRAMAGDALENA como caso representativo, permitiendo identificar las fallas potenciales y establecer un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla). Este enfoque permite evaluar y priorizar riesgos, definir acciones preventivas y mejorar la confiabilidad de los vehículos. Al mismo tiempo, los resultados y la metodología propuesta son generalizables a otras empresas de transporte terrestre que enfrenten retos similares, contribuyendo a la seguridad vial, a la reducción de costos operativos y al fortalecimiento de la confianza y satisfacción de los pasajeros.

De esta manera, la investigación justifica su relevancia al proporcionar un enfoque sistemático y aplicable que promueve el mantenimiento eficiente, la seguridad del servicio y la mejora continua en la gestión de flotas de transporte, beneficiando tanto a la empresa como a los usuarios en un contexto más amplio (Geotab, 2025).

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Diseñar una estrategia de mantenimiento preventivo basada en la metodología de modos y efectos de falla (AMEF) en la empresa de transporte intermunicipal SOTRAMAGDALENA S.A.S, con el propósito de mejorar la planificación y el control del mantenimiento para garantizar la seguridad vial, aumentar la satisfacción del cliente y mejorar la eficiencia operativa.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Recopilar información de los vehículos de la empresa, abarcando mantenimientos, reparaciones, características y registros de seguimiento, con el propósito de analizar las fallas presentadas y determinar el momento en que se manifestaron.

Implementar el análisis de modos y efectos de falla mediante plantillas según los lineamientos de la norma SAE JA1012, donde se identifiquen componentes, subsistemas y ensambles, con el fin de detectar de manera anticipada anomalías que puedan afectar la funcionalidad y el servicio de los automotores.

Diseñar la estrategia de mantenimiento preventivo a ser aplicada en cada uno de los vehículos según kilometraje recorrido o tiempo establecido, teniendo en cuenta los resultados del análisis de los modos de falla.

Desarrollar un formato de seguimiento y trazabilidad de mantenimiento preventivo que sea fácilmente implementado por el propietario del vehículo, garantizando su efectivo control y cumplimiento por parte de la empresa, con el fin de mejorar la gestión de mantenimiento de la flota.

#### 4. Marco teórico

El mantenimiento de flotas de transporte terrestre es un componente esencial para garantizar la operatividad, seguridad y eficiencia en las operaciones logísticas. En la revisión del proyecto de López (2014) se observó que el estudio se centró en el proceso de mantenimiento de la flota vehicular liviana en la empresa mixta Petrocedeño, filial de Petróleos de Venezuela S.A. El objetivo fue identificar fallas y proponer acciones de mejora en los procesos de mantenimiento. Para ello, se realizó un análisis detallado del flujo de trabajo, se evaluaron las fallas detectadas y se establecieron controles preventivos, correctivos y detectivos. Como resultado, se implementaron acciones que optimizaron la disponibilidad de la flota y la eficiencia de los recursos utilizados. Este estudio evidencia la relevancia de contar con un plan sistemático de mantenimiento que permita garantizar la operatividad de los vehículos y la seguridad de las operaciones.

De manera complementaria, Tapia (2018) diseñó un sistema de gestión de mantenimiento basado en AMEF para los vehículos con sistema GLP de la flota de Taxi Tours Aquarelas E.I.R.L., con el objetivo de reducir las emisiones contaminantes. Este proyecto incluyó diagnósticos preventivos, acciones correctivas y la evaluación de resultados, logrando una mejora significativa en la gestión ambiental de la flota. Por su parte, Villalta (2024) propuso un plan de mantenimiento proactivo basado en la criticidad de los componentes de la flota, identificando las causas fundamentales de las fallas y estableciendo actividades preventivas y correctivas para optimizar la disponibilidad vehicular y reducir los tiempos de inoperatividad.

Estos proyectos muestran que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo y la aplicación de la metodología AMEF son herramientas eficaces para garantizar la seguridad vial, la disponibilidad de los vehículos y la eficiencia operativa. La identificación de modos y efectos de falla permite priorizar los componentes críticos y definir acciones preventivas, mientras que la integración de normas y estándares como ISO 14224 y SAE JA1012 asegura la correcta recopilación, clasificación y seguimiento de los datos de mantenimiento (BSI, 2016; Gasca, Pérez, & Rodríguez, 2017).

En este contexto, el mantenimiento de flotas se configura como un tópico especial de estudio, que requiere un enfoque sistemático y normado. La planificación de actividades preventivas, correctivas y predictivas, junto con la utilización de metodologías como el AMEF y la aplicación de normas internacionales, permite optimizar la seguridad, eficiencia y confiabilidad de los vehículos. A partir de este marco, se desarrollarán a continuación los conceptos clave que sustentan la gestión del mantenimiento de flotas, incluyendo los tipos de mantenimiento, el AMEF y las normas aplicables.

#### **4.1 Mantenimiento**

El mantenimiento es un conjunto de actividades orientadas a preservar o restablecer la funcionalidad de equipos e instalaciones. Según la norma ISO 14224, el mantenimiento debe garantizar la fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad (RAMS) de los equipos industriales. Botero (1991) destaca que el objetivo principal del mantenimiento es preservar el servicio, asegurando que los equipos continúen operando de manera eficaz para su función designada.

#### **4.2 Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo consiste en intervenir un equipo una vez presentada una falla funcional o cuando existe la evidencia de que podría derivar en una avería mayor en el futuro. Este tipo de acción se realiza de manera imprevista durante la operación, y suele acarrear consecuencias negativas como costos adicionales, riesgos de accidentes, deficiencias en la calidad e incluso afectaciones ambientales (Montilla, 2016).

#### **4.3 Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo implica la planificación anticipada de actividades con el objetivo de minimizar la ocurrencia de daños imprevistos, reducir los tiempos de inactividad en la producción debido a fallas y, en consecuencia, disminuir los costos asociados. Aunque no representa una solución definitiva frente a todas las dificultades que pueden aparecer en los procesos productivos, constituye una manera organizada y sistemática de aplicar prácticas tradicionales de mantenimiento que favorecen la eficiencia en la producción (Botero, 1995).

#### **4.4 Caracterización de flotas**

La caracterización de la flota es un proceso fundamental en la gestión del mantenimiento, ya que permite conocer en detalle el estado técnico, el historial de uso y las especificaciones operativas de cada vehículo. Esta información es clave para planificar adecuadamente las tareas de mantenimiento preventivo, optimizar los costos operativos y mejorar la disponibilidad y confiabilidad del servicio. Además, permite identificar los vehículos que presentan mayor criticidad o desgaste. Una flota correctamente caracterizada también contribuye a mejorar la seguridad de los pasajeros y a reducir el riesgo de fallas inesperadas, lo cual repercute directamente en la continuidad y calidad del servicio prestado (Garzón., 2021).

#### **4.5 Taxonomía**

Según la SAE JA1012 (2002), el primer paso del análisis consiste en realizar el desglose jerárquico del sistema, también conocido como taxonomía, que implica descomponer la estructura del análisis desde el nivel más general (como las áreas funcionales de la empresa) hasta los componentes específicos de los vehículos. Este enfoque asegura una cobertura completa del sistema y previene omisiones que puedan comprometer la confiabilidad del análisis.

#### **4.6 Criticidad**

El método Analytic Hierarchy Process (AHP), desarrollado por Saaty (1980), es una herramienta de decisión que consiste en realizar comparaciones por pares entre criterios y alternativas, permitiendo asignarles un peso relativo en función de su importancia. Esta característica convierte al AHP en un método idóneo para el análisis de criticidad, dado que integra de manera sistemática criterios tanto cualitativos como cuantitativos. En el ámbito del mantenimiento industrial y del transporte, el AHP ha sido aplicado para priorizar subsistemas críticos considerando variables como seguridad operacional, costos de mantenimiento, disponibilidad, confiabilidad y frecuencia de fallas.

Una ventaja relevante del método es la posibilidad de medir la consistencia de los juicios emitidos en las comparaciones, lo que aporta mayor solidez y validez a los resultados obtenidos. En este sentido, Parra (2006) resalta que el AHP proporciona un marco metodológico estructurado y reproducible, lo que lo convierte en una herramienta confiable para aplicaciones en sectores como la refinación, la minería o el transporte. Su capacidad para combinar criterios diversos lo ha consolidado como una de las metodologías más empleadas en estudios de criticidad orientados a optimizar el mantenimiento preventivo y la asignación de recursos.

#### **4.7 Estado de falla o falla funcional**

La falla funcional ocurre cuando un activo deja de cumplir una o más de sus funciones requeridas en los parámetros establecidos, lo que no siempre implica un colapso físico. Esta puede clasificarse en dos estados: daño parcial, cuando el activo sigue operando pero con desempeño reducido; y daño total, cuando la función es completamente interrumpida. Esta distinción permite identificar con mayor precisión las condiciones operativas inaceptables (Moubray, 1997).

#### **4.8 Modo de falla**

Se describe como la forma en que una parte o conjunto podría dejar de satisfacer su función o los requisitos de diseño o producción. Es necesario considerar que estos pueden clasificarse en cinco categorías: falla total, falla parcial, falla intermitente, falla gradual y sobre funcionamiento (Molina, 2019).

#### **4.9 Efecto de falla**

Se refiere a las consecuencias o resultados negativos que ocurren como resultado de una falla en un sistema, componente o proceso. Es decir, es lo que sucede cuando un componente o ensamblaje no cumple con los requisitos de diseño o funcionamiento esperados. Los efectos de falla pueden variar en gravedad y pueden afectar tanto al rendimiento del producto o servicio como a la seguridad, la calidad, la fiabilidad o la satisfacción del cliente (Mikulak et al., 2017).

#### **4.10 Consecuencia de falla**

Es el impacto que produce una falla cuando ocurre, y puede manifestarse en diferentes áreas. Las consecuencias en seguridad afectan la integridad física de las personas; las ambientales involucran daños o contaminación al entorno; las operacionales comprometen la capacidad del vehículo para cumplir su función; y las no operacionales impactan aspectos económicos o de

confort sin detener la operación. Además, existen consecuencias ocultas que no son evidentes inmediatamente, pero pueden generar problemas futuros (Stamatis, 2003).

#### **4.11 Metodología AMEF**

El Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) es una metodología proactiva, sistemática y colaborativa para mejorar procesos, que permite la reconfiguración de un proceso con el fin de evitar fallas o errores antes de que se materialicen. El AMEF parte del supuesto de que, independientemente del conocimiento, la experiencia o el cuidado que puedan tener las personas, las fallas pueden ocurrir según las circunstancias. En su aplicación ideal, el AMEF se emplea para prevenir fallas potenciales y en su defecto, mitigar el impacto producido. (Parra, 2022).

El método se basa en el análisis de tres factores principales: la severidad del efecto de la falla, la frecuencia de ocurrencia, y la probabilidad de detección antes de que se materialice. Estos tres valores se combinan para calcular el Número de Prioridad de Riesgo (RPN, por sus siglas en inglés), el cual permite jerarquizar las acciones correctivas y de mantenimiento preventivo (Stamatis, 2003). La correcta aplicación del AMEF permite no solo reducir el impacto de las fallas, sino también optimizar la asignación de recursos técnicos y económicos en función de los elementos más críticos del sistema.

#### **4.12 ISO 14224**

La norma ISO 14224, es un estándar internacional de la Organización Internacional de Normalización (ISO) que establece directrices para la recopilación y el intercambio de datos sobre la fiabilidad, disponibilidad, mantenimiento y seguridad (RAMS) de equipos industriales. Una parte esencial de esta norma es la necesidad de contar con un sistema de clasificación claro y coherente para los datos recopilados. La pirámide con los niveles taxonómicos de los equipos

define la estructura jerárquica y las categorías para clasificar los equipos y los eventos de mantenimiento. Esta estandarización facilita el intercambio de información entre diversos sistemas y organizaciones, lo que contribuye a una mejor gestión y mantenimiento de los equipos industriales. (BSI, 2016).

#### **4.13 SAE JA1012**

La norma SAE JA1012 tiene como objetivo identificar los subsistemas y partes del equipo, vinculándolos con la falla funcional, así como con su causa y efecto, para crear un catálogo sistematizado de fallas. Gasca, Pérez y Rodríguez (2017) señalan que esta norma sirve como instrumento para un AMEF efectivo.

#### **4.14 CAPEX y OPEX**

El análisis de costos en un plan de mantenimiento se clasifica en dos categorías principales: CAPEX (Capital Expenditure) y OPEX (Operational Expenditure). El CAPEX corresponde a las inversiones iniciales o estratégicas de largo plazo, como adecuaciones de infraestructura, adquisición de software, contratación de personal adicional o convenios con laboratorios externos. Estos gastos no son recurrentes y buscan fortalecer la capacidad del sistema de mantenimiento (Kenton, 2023). En contraste, el OPEX se refiere a los costos recurrentes asociados a la operación diaria del plan de mantenimiento, como inspecciones, sustitución de repuestos y ajustes periódicos, cuyo fin es asegurar la disponibilidad y confiabilidad de la flota (Götze et al., 2008).

## **5. Metodología**

En este capítulo se narra el desarrollo metodológico del proyecto, evidenciando cómo se cumplieron los objetivos específicos planteados. Para la metodología de este diseño se tuvieron en cuenta cuatro fases, las cuales se presentan a continuación.

### **5.1 Levantamiento de información y diagnóstico de la flota**

En esta fase se llevó a cabo la recopilación de información sobre la situación actual de la empresa, considerando tanto las percepciones de los propietarios como los aportes de la división de seguridad vial y la jefatura de tráfico. La documentación reunida comprendió las hojas de vida de los vehículos de la flota, información acerca del mantenimiento, reparaciones y otros datos vinculados con el estado técnico y el desempeño de los vehículos. Para los vehículos que no contaban con hoja de vida, se elaboraron registros completos, y se actualizó la información de aquellos cuya documentación estaba incompleta o desactualizada. Además, se realizó un levantamiento de la problemática relacionada con la disponibilidad de los vehículos, escuchando directamente las observaciones de los responsables de operación y mantenimiento. Finalmente, se seleccionó el grupo de vehículos al cual se aplicaría el plan de mantenimiento, garantizando que la información recopilada fuera representativa y suficiente para el análisis posterior. Posteriormente, la revisión de los registros históricos se orientó de manera cualitativa a reconocer las principales causas asociadas a las fallas presentadas en los vehículos.

### **5.2 Implementación del análisis de modos y efectos de falla (AMEF)**

En esta etapa se procedió a clasificar los vehículos pertenecientes a la flota de transporte intermunicipal objeto de estudio, teniendo en cuenta el tipo de vehículo (microbús y buseta), la

marca y el modelo, así como las modificaciones realizadas durante su tiempo de operación, incluyendo cambios de motor, cajas y transmisiones. Posteriormente, se realizó la jerarquización de los sistemas, subsistemas, componentes y partes, de acuerdo con la taxonomía de los vehículos seleccionados.

Seguidamente, se identificaron los modos potenciales de falla, los efectos asociados y las causas raíces de cada uno de ellos. Con base en esta información, se priorizaron los modos de falla según su impacto en la funcionalidad y en la prestación del servicio de los vehículos, determinando la severidad de cada efecto de falla. Finalmente, se establecieron las ocurrencias de falla, el nivel de detección y se calculó el número prioritario de riesgo (NPR) de cada efecto de falla, con el fin de enfocar las acciones de mantenimiento en los componentes más críticos para la operación de la flota.

### **5.3 Diseño de estrategia de mantenimiento preventivo**

En esta etapa se recopiló información acerca de los mantenimientos requeridos por los vehículos, utilizando como fuentes los manuales de usuario y el conocimiento empírico de los mecánicos con experiencia en el área. Con base en esta información, se establecieron los periodos de mantenimiento preventivo específicos para cada componente o subsistema, considerando factores como el kilometraje o el tiempo de operación, de acuerdo con la criticidad y la probabilidad de falla identificadas en la etapa anterior.

Posteriormente, se diseñó el plan de mantenimiento preventivo, fundamentado en los resultados obtenidos del AMEF. La estructura del plan contempló actividades preoperacionales, reparaciones, sustituciones, así como la definición de las frecuencias de ejecución, observaciones

y los responsables de cada tarea, garantizando un control sistemático y efectivo sobre el mantenimiento de la flota.

#### **5.4 Personalización del plan de mantenimiento, elaboración de formatos y ejecución del plan piloto.**

En esta fase se procedió a la validación del plan de mantenimiento propuesto, para lo cual se elaboraron formatos de control adaptados a las particularidades de cada vehículo, teniendo en cuenta su configuración y componentes. Estos instrumentos buscaban reflejar las necesidades específicas de cada unidad, ser de fácil uso para los conductores y garantizar la trazabilidad de las labores preventivas. Asimismo, se plantearon recomendaciones adicionales orientadas a incrementar la disponibilidad de la flota, optimizar el control de mantenimiento y reforzar la seguridad operacional.

Finalmente, se ejecutó un plan piloto con dos vehículos de la flota, los cuales fueron monitoreados durante tres meses para evaluar la efectividad del plan y obtener información que permitiera su ajuste antes de su implementación general.

## **6. Levantamiento de información y diagnóstico de la flota**

El levantamiento de información sobre los vehículos y las prácticas de mantenimiento actuales constituye un paso fundamental previo al diseño de una estrategia de mantenimiento preventivo en una flota de transporte intermunicipal. Este proceso no solo permite obtener una visión integral del estado real de los vehículos, su historial de intervenciones, las fallas más recurrentes y los métodos de mantenimiento que se encuentran en aplicación, sino que también facilita conocer la cantidad y características de la flota en estudio. Tales aspectos son determinantes para comprender el impacto que estas variables tienen en la disponibilidad de los vehículos, la seguridad de la operación y los costos asociados al mantenimiento.

### **6.1 Diagnóstico del mantenimiento vigente en la flota**

El sistema de mantenimiento de la flota presenta actualmente un enfoque mayormente correctivo, ejecutado por los socios propietarios de los vehículos. Las prácticas preventivas se limitan a operaciones básicas como el cambio de aceite, pastillas de freno y algunos elementos de desgaste, mientras que las revisiones más profundas no forman parte de la rutina habitual. La empresa exige una revisión bimensual antes de permitir la salida de los vehículos a operación, la cual se realiza con apoyo de un centro de diagnóstico autorizado y es comparable a una inspección técnico-mecánica estándar, garantizando únicamente un control mínimo de parámetros generales.

De manera complementaria, las áreas de Seguridad Vial y de Seguridad y Salud en el Trabajo realizan verificaciones adicionales, aunque su alcance es limitado y se orienta principalmente a garantizar la operatividad básica, la comodidad del pasajero y aspectos de servicio, más que a la identificación de fallas técnicas críticas. Finalmente, todos los vehículos

cumplen con la revisión técnico-mecánica anual exigida por la normativa nacional, la cual asegura la legalidad de la operación, pero no ofrece un seguimiento continuo ni predictivo del estado real de los equipos.

El esquema actual refleja un sistema de mantenimiento que cumple con los requisitos mínimos regulatorios, pero que resulta insuficiente para garantizar de forma sostenida la disponibilidad, la seguridad y la optimización de costos de la flota. Estos aspectos serán desarrollados en los apartados siguientes.

### ***6.1.1 Documentación***

En cuanto a la documentación, aunque la empresa mantiene carpetas individuales para cada vehículo de la flota, se identificó que gran parte de la información contenida en ellas se encuentra desactualizada o incompleta. En muchos casos no se registran de manera física los soportes de seguros, revisiones bimensuales y técnico-mecánicas, lo que dificulta llevar un control preciso sobre el cumplimiento de estos requisitos. Asimismo, no se dispone de historiales detallados de fallas o reparaciones, lo cual impide reconocer patrones recurrentes, anticipar averías críticas y generar indicadores confiables para orientar la toma de decisiones en mantenimiento.

Esta situación limita la posibilidad de establecer un sistema preventivo sólido, ya que sin información organizada y trazable sobre cada vehículo resulta complejo priorizar intervenciones, planificar actividades de manera anticipada o evaluar la efectividad de las acciones implementadas.

### ***6.1.2 Costos asociados del mantenimiento actual***

A partir de la información recolectada en el diagnóstico y de las opiniones de los propietarios de los vehículos, se identificó que uno de los principales factores que impacta la operación es el incremento de los costos asociados al mantenimiento correctivo. Este tipo de

mantenimiento no solo representa gastos directos por las reparaciones, sino que también acarrea consecuencias económicas indirectas que afectan la rentabilidad de la flota.

Uno de los aspectos más relevantes es la pérdida de rutas rentables cuando un vehículo presenta una avería. Estas rutas constituyen una parte importante de los ingresos mensuales, de modo que su cancelación o reasignación genera una reducción inmediata en los ingresos. A ello se suman los gastos adicionales que suelen acompañar a las reparaciones correctivas, como la contratación de grúas para trasladar el vehículo hasta la ciudad donde se encuentra el taller o, en su defecto, el pago del transporte de mecánicos hasta el lugar de la falla.

Otro elemento crítico es la pérdida de días de rotación mientras el vehículo permanece en el taller. Muchas de las fallas requieren varios días de reparación, lo que ocasiona que se desaprovechen los periodos de descanso programados y los mantenimientos básicos al final de cada ciclo operativo. Esta situación prolonga el tiempo de inactividad y deriva en una disminución de la disponibilidad de vehículos para la prestación del servicio.

### ***6.1.3 Impacto en la disponibilidad***

En cuanto a la disponibilidad de la flota y teniendo en cuenta la opinión del coordinador de despacho, las averías inesperadas de los vehículos generan la necesidad de activar unidades de emergencia. Esto implica, en la mayoría de los casos, reformular los horarios de despacho, lo cual resulta especialmente complejo cuando las fallas ocurren en horarios críticos, como la madrugada. Esta reorganización ocasiona cambios que afectan directamente a los socios propietarios, pues ciertos horarios concentran mayor volumen de pasajeros y representan ingresos más rentables.

Las fallas imprevistas también repercuten en la calidad del servicio ofrecido a los usuarios. Los retrasos en los recorridos generan inconformidad entre los pasajeros, quienes esperan un

transporte puntual y confiable. A esto se suma que, en ocasiones, los vehículos de emergencia o de descanso no están disponibles porque se encuentran en el taller, ya sea en labores de mantenimiento preventivo o correctivo, lo que limita la capacidad de respuesta frente a contingencias.

Cuando varias unidades fallan de manera simultánea, la situación se complica aún más. El coordinador de despacho se ve obligado a extender los turnos de los vehículos que permanecen en operación, así como de sus conductores, lo que incrementa el riesgo de fatiga, reduce el rendimiento y expone tanto a los trabajadores como a los vehículos a un mayor desgaste.

#### ***6.1.4 Impacto en la seguridad***

Según la jefe de seguridad vial, la empresa ha mantenido un historial positivo en este aspecto, con más de cinco años sin siniestros graves. Los incidentes menores registrados se consideran parte del desarrollo normal de la operación, lo que refleja un adecuado nivel de control y una cultura preventiva en la conducción.

No obstante, la ausencia de accidentes graves no elimina la necesidad de fortalecer las prácticas de seguridad. Mantener y reforzar las acciones preventivas resulta esencial para garantizar la protección de los pasajeros y conductores, así como para preservar la confiabilidad del servicio. En este sentido, integrar la seguridad como un eje dentro de la estrategia de mantenimiento preventivo permite anticiparse a posibles riesgos y reducir la probabilidad de que se presenten situaciones que comprometan la operación.

## **6.2 Caracterización de la flota**

En esta sección se presenta la caracterización de la flota de vehículos de SOTRAMAGDALENA S.A.S pertenecientes a la rotación de Bucaramanga carrera 31, tomando

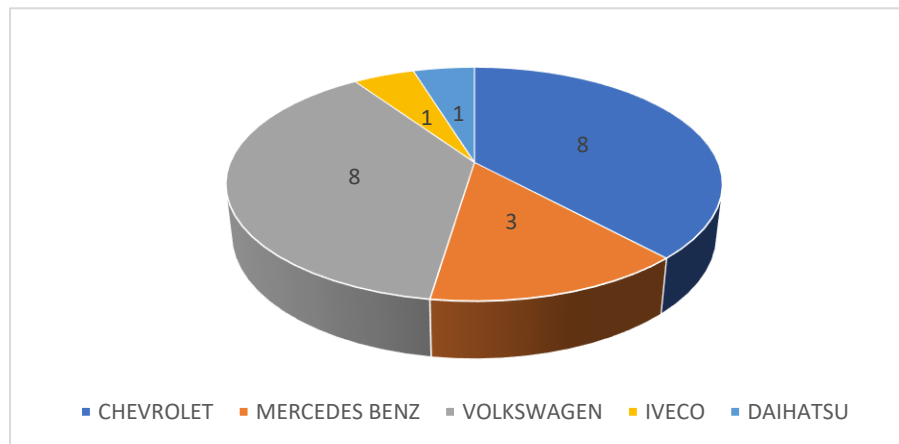
en cuenta la cantidad de unidades disponibles, sus principales características técnicas, la operación diaria que cumplen en las diferentes rutas, las fallas más recurrentes y el estado de la documentación asociada a cada vehículo. Este análisis resulta clave para comprender las condiciones actuales de la flota y constituye la base para estructurar una estrategia de mantenimiento preventivo acorde con las necesidades reales de la empresa.

### 6.2.1 Cantidad de vehículos y características

La flota en estudio de SOTRAMAGDALENA S.A.S. se compone de busetas y microbuses con capacidades que oscilan entre 15 y 30 pasajeros. No existe una estandarización en cuanto a marcas, ya que se cuenta con una variedad de fabricantes y modelos, lo que genera diversidad en las características técnicas. En cuanto a la antigüedad, los vehículos varían en su año de fabricación, con modelos desde 2003 hasta 2022, siendo este último el más reciente. Todos los vehículos funcionan con combustible DIESEL.

#### Figura 1.

*Distribución de vehículos por marca.*



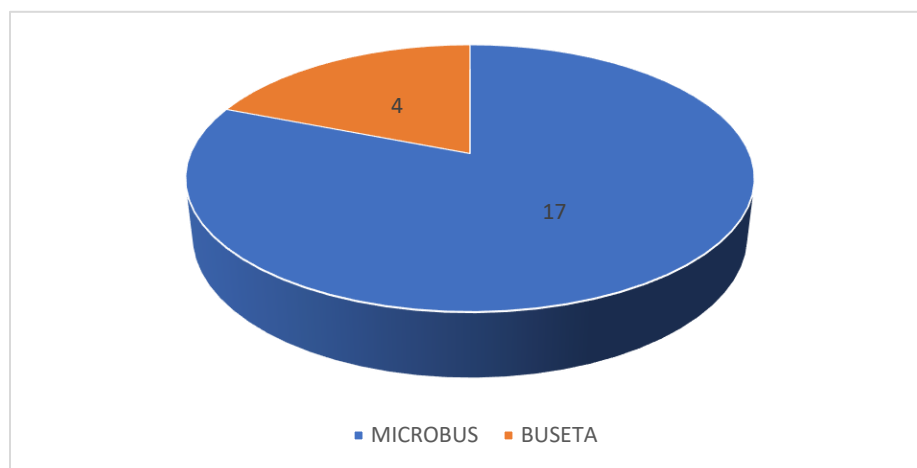
**Nota.** La mayoría de la flota corresponde a Chevrolet y Volkswagen, que en conjunto representan más de tres cuartas partes del total.

La Figura 1 muestra que Chevrolet y Volkswagen son las más representadas en la flota, con 8 vehículos cada una, lo que equivale al 38.1% del total para cada marca. Juntas, representan el 76.2% de la flota. Mercedes Benz tiene una participación del 14.3% con 3 vehículos, mientras que Daihatsu e Iveco cuentan con un solo vehículo cada una, representando el 4.8% del total cada una. Esta distribución sugiere una concentración en dos marcas principales, lo que facilita el mantenimiento, aunque las otras marcas requieren atención específica.

La Figura 2 refleja que la flota está compuesta mayoritariamente por microbuses, con un total de 17 unidades, lo que representa el 81% del total de vehículos. Las busetas, por su parte, suman 4 unidades, lo que equivale al 19%. Esta distribución muestra una clara preferencia por los microbuses en la operación de la flota, lo que puede estar relacionado con la flexibilidad y eficiencia de este tipo de vehículo en rutas intermunicipales.

### Figura 2.

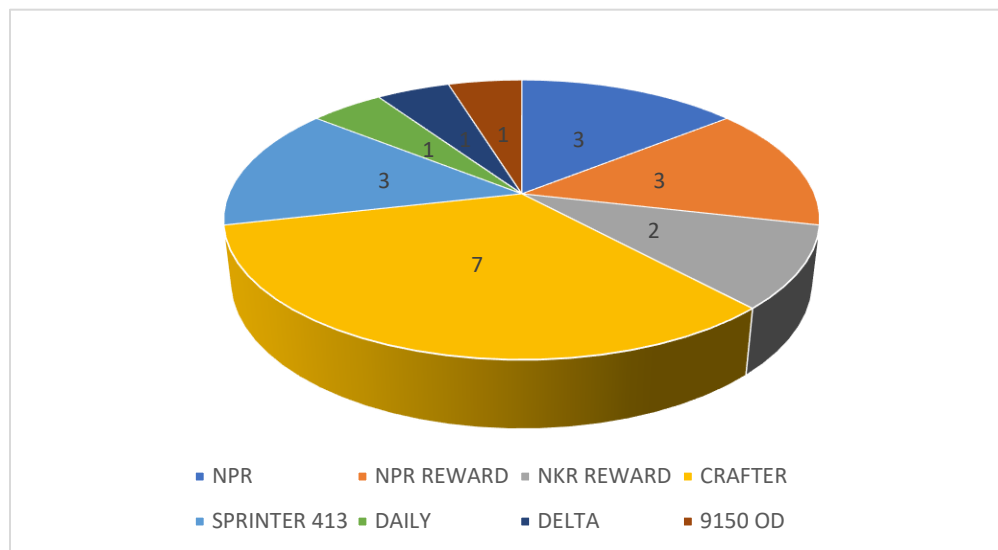
*Distribución de vehículos por tipo.*



La Figura 3 muestra una mayor diversificación en la marca Chevrolet, con tres líneas distintas: NPR, NPR Reward (modelo más nuevo) y NKR Reward, que es ligeramente más pequeño. Esto refleja una diversidad en las capacidades de los vehículos de esta marca. El resto de las marcas (Volkswagen, Mercedes Benz, Daihatsu e Iveco) presentan solo una línea cada una, lo que simplifica su categorización. Este desglose por líneas dentro de Chevrolet sugiere una mayor variabilidad en la flota en términos de tamaños y modelos.

### Figura 3.

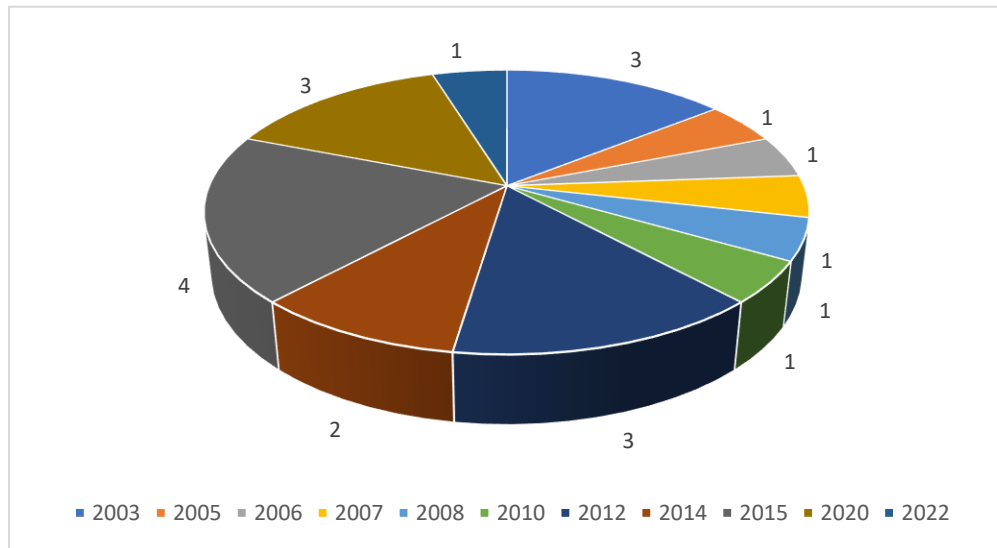
*Distribución de vehículos por línea.*



La Figura 4 refleja una diversidad en los años de los vehículos de la flota. Se observan modelos desde 2003, con 3 vehículos, lo que representa una parte significativa de los más antiguos. Los años 2012 y 2015 también destacan con 3 y 4 vehículos, respectivamente, mientras que en los años 2020 y 2022 hay 3 y 1 vehículo, lo que indica una renovación reciente en la flota. Otros modelos se distribuyen en los años 2005, 2006, 2007, 2008, y 2010, con un vehículo en cada año.

**Figura 4.**

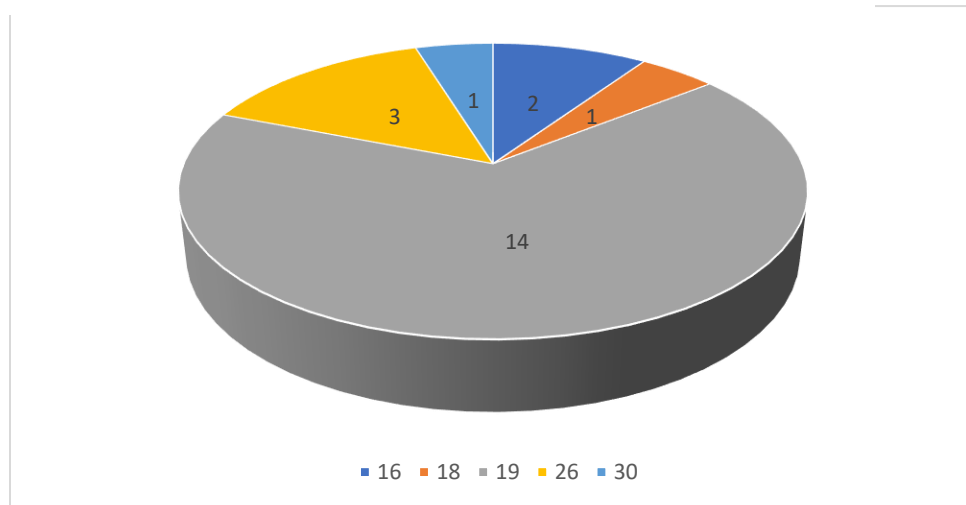
*Distribución de vehículos por modelo*



La Figura 5 muestra que la mayoría de la flota está compuesta por vehículos de 19 pasajeros, con un total de 14 unidades, lo que representa la mayor parte. Además, hay 2 vehículos de 16 pasajeros, 1 vehículo de 18 pasajeros, 3 vehículos con capacidad para 26 pasajeros y 1 vehículo de 30 pasajeros. Esta distribución indica una clara preferencia por vehículos de mediana capacidad, con algunos vehículos de mayor tamaño.

**Figura 5.**

*Capacidad de pasajeros por vehículo.*



### **6.2.2 Rutas y rotación de vehículos**

La flota seleccionada de SOTRAMAGDALENA S.A.S. opera principalmente en 9 rutas entre Bucaramanga y Puerto Wilches, 1 ruta directa entre Bucaramanga y Santa Rosa del Sur, 2 rutas hacia Yondó, y 1 ruta hacia Morales. A partir del trabajo en campo realizado, se evidenció que la mayor parte de los trayectos se realizan en carreteras asfaltadas, aunque se deben considerar tramos con malla vial deteriorada, lo que podría influir en el desgaste de los vehículos. Sin embargo, el porcentaje de caminos destapados es bajo, por lo que el impacto en los componentes críticos es mínimo.

Cada vehículo sigue un esquema de rotación que incluye 1 día de emergencia obligatoria para cubrir cualquier eventualidad técnica en las rutas, seguido de 3 días de descanso y/o revisión en taller. Esta planificación asegura que siempre haya vehículos disponibles para reemplazo en caso de fallas técnicas, y a su vez, permite mantener un calendario de mantenimiento preventivo y

reparaciones oportuno. Este tipo de rotación y las condiciones de las rutas influyen directamente en la planificación del mantenimiento preventivo.

En la Tabla 1 se observa que existen 4 rutas principales. A estas distancias, se deben sumar los desplazamientos adicionales hacia parqueaderos, talleres, estaciones, sitios de lavado, entre otros lugares necesarios para el mantenimiento y operación diaria. El kilometraje mensual promedio de cada vehículo es de 7.000 kilómetros, aunque esta cifra puede fluctuar dependiendo de la frecuencia de los recorridos y las condiciones operativas de cada mes.

**Tabla 1.**

*Distancias por trayecto y por ruta completa (ida y vuelta).*

Ruta	Distancia por trayecto [Km]	Distancia total de recorrido [Km]
Bucaramanga-Puerto Wilches	143	286
Bucaramanga-Santa Rosa del Sur	240	480
Bucaramanga-Yondó	135	270
Bucaramanga-Morales	205	410

### 6.2.3 Fallas comunes

En el proceso de recolección de información, se realizaron entrevistas con conductores y propietarios de los vehículos de la flota con el objetivo de identificar las fallas más comunes que afectan la operatividad de los automotores. Ellos señalaron que las principales causas de la interrupción en las rutas son las fallas en el sistema de aire acondicionado y las fallas eléctricas relacionadas con el alternador, ya que estas suelen surgir de manera imprevista y son difíciles de anticipar. En contraste, los demás subsistemas presentan fallas con menor frecuencia, ya que tienden a mostrar síntomas previos antes de una falla funcional, lo que permite programar el

mantenimiento con antelación y minimizar el impacto en la operación. Esta información fue clave para enfocar el análisis de criticidad, dando mayor prioridad a los subsistemas que generan paradas inesperadas.



#### **6.2.4 Hojas de vida**

Se implementó un nuevo formato de hojas de vida para cada vehículo. Este formato incluye las principales características de la tarjeta de propiedad, detalles sobre seguros extra y contra actual, datos del propietario, fotografías actualizadas del vehículo, y un registro detallado del historial de revisiones tecnomecánicas, SOAT, y fallas identificadas.

Además, se añadió un historial de conductores que han operado el vehículo, lo que permite rastrear su uso y mantenimiento, así como las fallas previas, para establecer patrones de comportamiento y prevenir problemas recurrentes. Esta actualización permite tener un control más preciso sobre el estado y operatividad de cada unidad de la flota, facilitando la planificación y ejecución del mantenimiento preventivo.

Figura 6.

Hoja de vida de vehículo.

		PLAN ESTRATEGICO DE SEGURIDAD VIAL				Versión 1
		HOJA DE VIDA DEL VEHICULO				AN-PESV-21
					Página 1	
DATOS GENERALES						
PLACA	N° DE INTERNO	CLASE DE VEHICULO	MODELO	MARCA	TIPO DE COMBUSTIBLE	
WLV 646	1037	BUSETA	2020	CHEVROLET	DIESEL	
CILINDRAJE	NUMERO DE MOTOR	SEGURO CONTRACTUAL	SEGURO EXTRACTUAL	SEGURO EXCESO	NUMERO DE CHASIS	
5.193	4HK1-0AN450	AA066543	AA075476	AA068357	9GCNPR751LB009999	
NUMERO VIN		CAPACIDAD DE PASAJEROS		N° TARJETA DE OPERACION		
9GCNPR751LB009999		26		424309		
NIVEL DE SERVICIO	FECHA VIGENCIA TARJETA DE OPERACION					
BASICO	26/03/2026					
DATOS DEL PROPIETARIO						
NOMBRE DEL PROPIETARIO		NUMERO DE CEDULA	DIRECCION DE RESIDENCIA		NUMERO DE CONTACTO	
LUIS MANTILLA - CARLOS ESTUPIÑAN		5725212 - 110089570	CARRERA 17 #13-12 APTO 605		3168008583 - 3185957308	
CORREO ELECTRONICO			UBICACION DEL VEHICULO			
mantillaluis1112@gmail.com - estupinansanchez@gmail.com			BUCARAMANGA			
FOTOGRAFIAS DEL VEHICULO						
						
HISTORIAL DE CONDUCTORES A CARGO DEL AUTOMOTOR						
NOMBRES Y APELLIDOS		IDENTIFICACION	FECHA DE INGRESO	FECHA DE RETIRO	FECHA DE LICENCIA	
		C.C.	(dd/mm/aaaa)	(dd/mm/aaaa)	(dd/mm/aaaa)	
CARLOS ALFREDO ESTUPINAN SANCHEZ		1100889570		31/05/2024		
YEISON DURAN WILCHES		1095827539	1/06/2024	1/07/2024		
CARLOS ALFREDO ESTUPINAN SANCHEZ		1100889570	1/07/2024			
HISTORIAL DE REVISIONES TECNICO-MECANICAS Y EMISIONES GASES REALIZADAS						
CENTRO DE DIAGNOSTICO QUE PRESTO EL SERVICIO		FECHA DE REALIZACION	FECHA DE VIGENCIA		NUMERO	
		(dd/mm/aaaa)	(dd/mm/aaaa)			
CDA DE LA PROVINCIA SAS		17/12/2023	17/12/2024		170334220	
CENTRO DE DIAGNOSTICO AUTOMOTRIZ TECNOLLULL LA 9		17/12/2024	17/12/2025		211279184	
HISTORIAL SOAT						
CENTRO DE DIAGNOSTICO QUE PRESTO EL SERVICIO		FECHA DE EXPEDICION	FECHA DE VIGENCIA		NUMERO	
		(dd/mm/aaaa)	(dd/mm/aaaa)			
AXA COLPATRIA		11/12/2023	12/12/2024		3184448900	
PREVISORA SEGUROS		12/12/2024	12/12/2025		4308004666305000	
HISTORIAL DE FALLAS						
FALLA PRESENTADA	FECHA DE FALLA	FECHA REINGRESO		OBSERVACIONES		
OBSERVACIONES:						

Nota. Esta hoja de vida pertenece al vehículo de número interno 1037.

## **7. Análisis de modos y efectos de falla**

Para el desarrollo del AMEF se comenzó con la elaboración de la taxonomía de la flota, partiendo de su clasificación general dentro del sector transporte hasta llegar a la identificación de los subsistemas y componentes específicos de cada vehículo. A partir de esta estructura, se determinó la criticidad de los equipos mediante la aplicación del método AHP (Proceso Analítico Jerárquico), lo que permitió establecer prioridades de análisis de acuerdo con la relevancia de cada subsistema en la operación de la empresa.

Con esta base definida, se procedió a identificar las funciones principales de los vehículos, las fallas funcionales más recurrentes y los modos de falla asociados a cada componente. Para cada uno se evaluaron los efectos y consecuencias de su ocurrencia, asignando valores de severidad, ocurrencia y detección que permitieron calcular el Número de Prioridad de Riesgo (NPR). El resultado de este proceso fue una jerarquización de fallas que constituyó la base para el diseño de estrategias de mantenimiento preventivo más efectivas y ajustadas a las necesidades reales de la flota.

### **7.1 Taxonomía**

En esta etapa se construyó la taxonomía de la flota tomando como referencia la pirámide planteada en la norma ISO 14224, la cual establece los niveles jerárquicos para la gestión de activos. A partir de este enfoque se definió, en primer lugar, la clasificación general de la empresa y de los vehículos que conforman la flota, para luego detallar progresivamente los subsistemas, equipos y componentes. Este desglose estructurado permitió organizar de manera coherente la

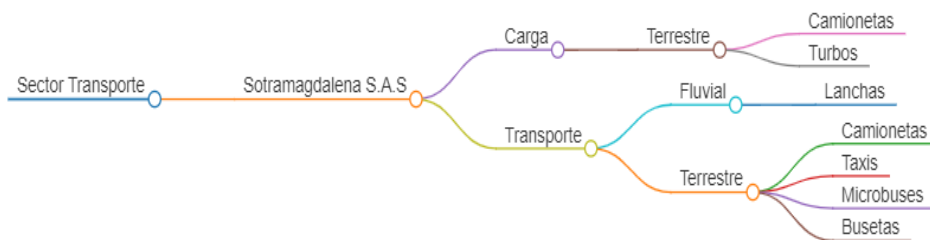
información técnica de cada vehículo, facilitando la identificación de elementos críticos y sirviendo como base para el análisis posterior de fallas y la formulación del plan de mantenimiento.

### 7.1.1 Taxonomía general

Como se puede observar en la Figura 7, se ha realizado una clasificación general de la empresa. Este esquema facilita la identificación clara de las principales divisiones de la compañía, destacando las áreas de operación y sus respectivas subdivisiones. A través de esta representación gráfica, es posible comprender de forma ordenada las diferentes categorías y funciones dentro de la estructura empresarial, lo cual es fundamental para un análisis sistemático y efectivo del sistema.

#### Figura 7.

*Taxonomía general de la empresa.*

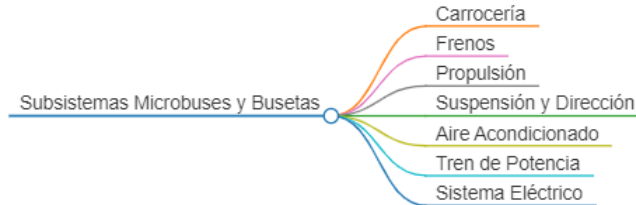


### 7.1.2 Taxonomía de los vehículos

La clasificación de subsistemas en el proceso AMEF permite identificar de forma precisa los modos de falla en cada área del vehículo, facilitando la detección de puntos críticos y la planificación de acciones preventivas. Dado que la flota está compuesta únicamente por microbuses y busetas, se estableció la siguiente clasificación de subsistemas, considerando criterios funcionales y operativos:

**Figura 8.**

*Taxonomía del vehículo.*

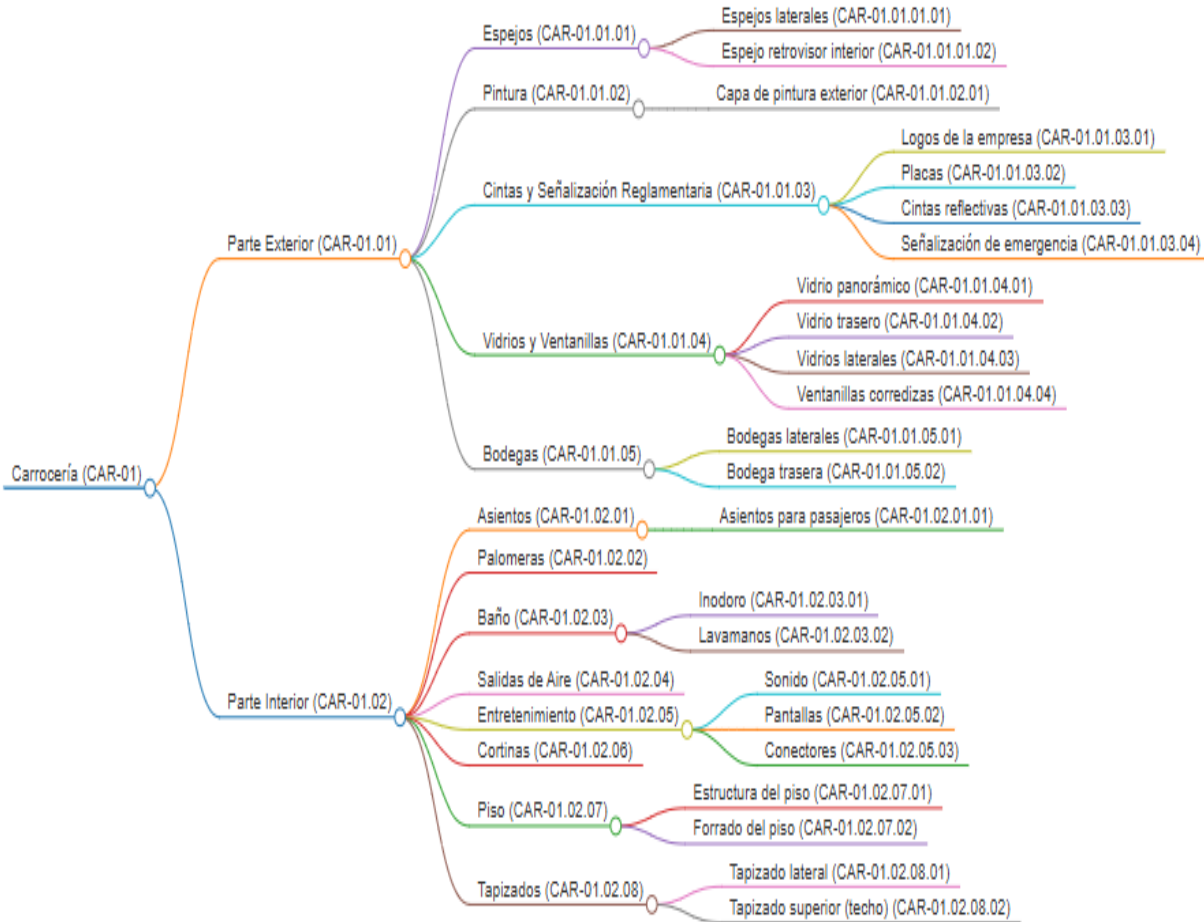


**7.1.2.1 Carrocería.** Este subsistema abarca los componentes estructurales del vehículo, tanto externos como internos. Incluye elementos como pintura, parabrisas, faros, retrovisores, así como asientos, pasamanos y acabados interiores. Su adecuado mantenimiento es clave para la seguridad y la comodidad de los pasajeros. Además, impacta directamente en la percepción del estado general del vehículo y en su durabilidad.

A cada subsistema y componente se le asignó un código único siguiendo la estructura jerárquica recomendada por la norma ISO 14224, lo que facilita el registro, análisis y trazabilidad de la información de mantenimiento en sistemas complejos (ISO, 2016).

**Figura 9.**

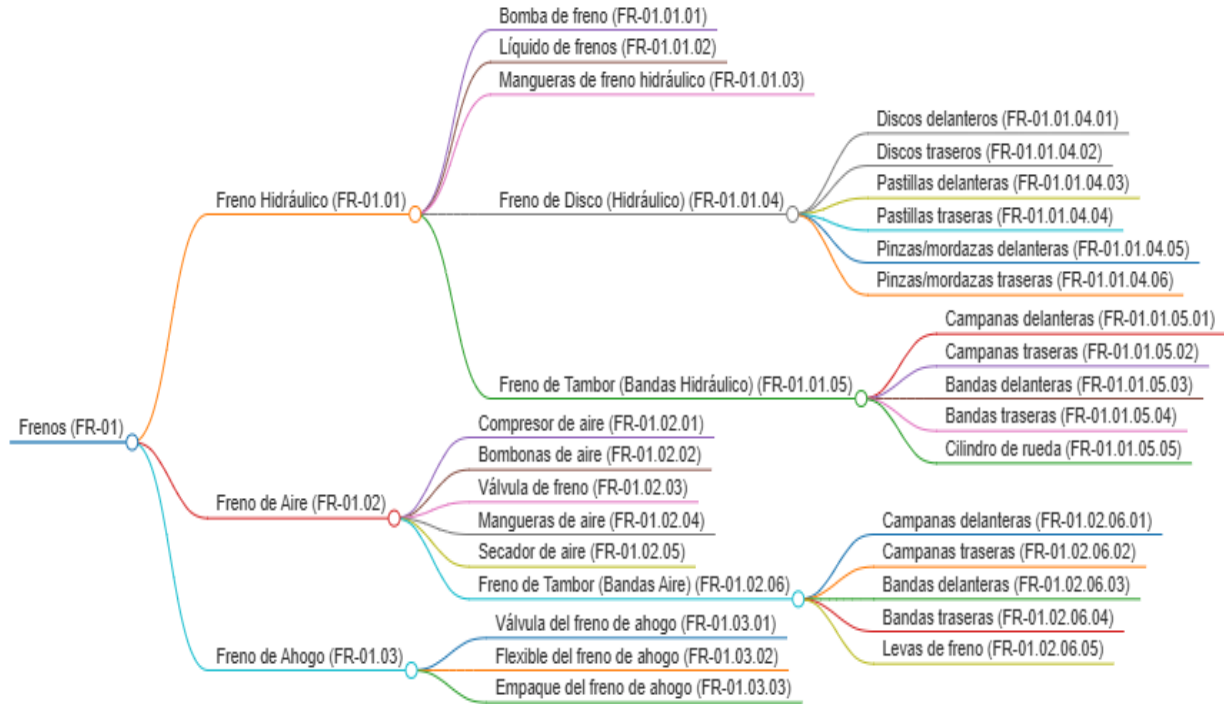
*Subsistema de carrocería..*



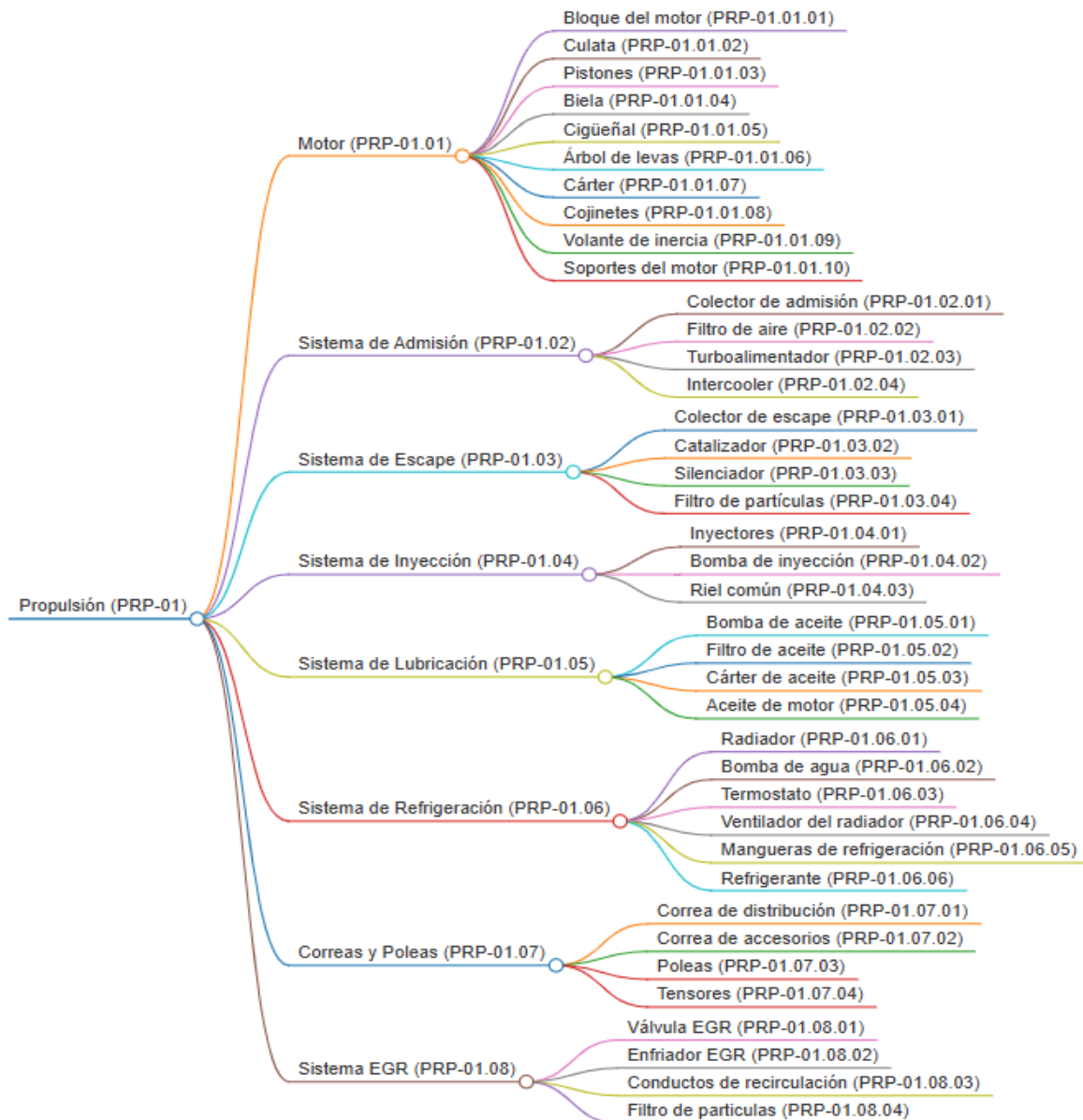
**7.1.2.2 Frenos.** El subsistema de frenos es fundamental para la seguridad operacional del vehículo. Incluye componentes como discos, pastillas, tambores, líneas de freno y los fluidos hidráulicos o neumáticos que permiten la acción del sistema. Su función es garantizar una detención eficiente y segura del vehículo bajo distintas condiciones de operación. Un mantenimiento adecuado es crucial, ya que las fallas en este sistema pueden provocar accidentes con consecuencias graves, especialmente en el transporte de pasajeros (Ariza, 2023).

**Figura 10.**

*Subsistema de frenos.*



**7.1.2.3 Propulsión.** El sistema de propulsión incluye el motor, la inyección de combustible, la refrigeración, la admisión (incluyendo sistemas de sobrealimentación) y el escape. Estos componentes trabajan en conjunto para generar y mantener la potencia necesaria para el desplazamiento del vehículo. Su correcto funcionamiento es esencial para garantizar la eficiencia operativa. Las fallas en este subsistema pueden ocasionar paradas prolongadas, altos costos de reparación y pérdida de disponibilidad de la unidad (Mendéz & Mozo, 2020).

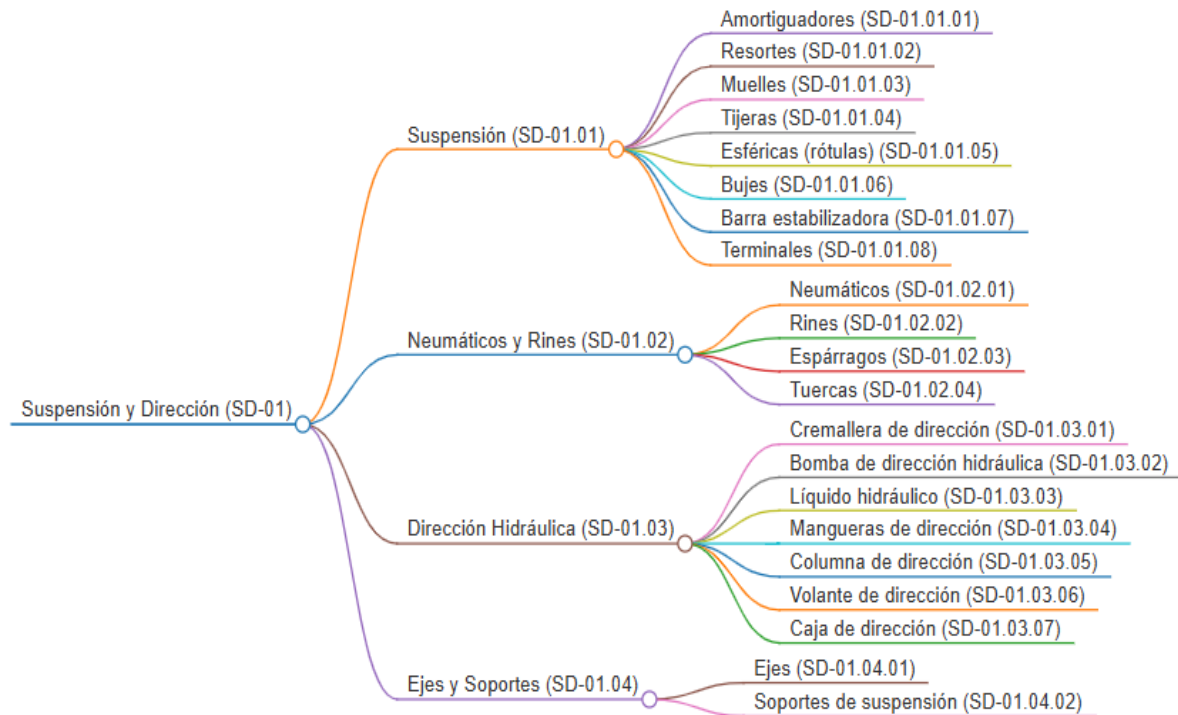
**Figura 11.***Subsistema de propulsión.*

**7.1.2.4 Suspensión y dirección.** Este subsistema es responsable de proporcionar estabilidad, maniobrabilidad y confort al vehículo. Comprende elementos como amortiguadores, muelles, rótulas, brazos de suspensión, barra estabilizadora y sistemas de dirección asistida. Su correcto mantenimiento permite absorber irregularidades del terreno, evitar desgaste prematuro en

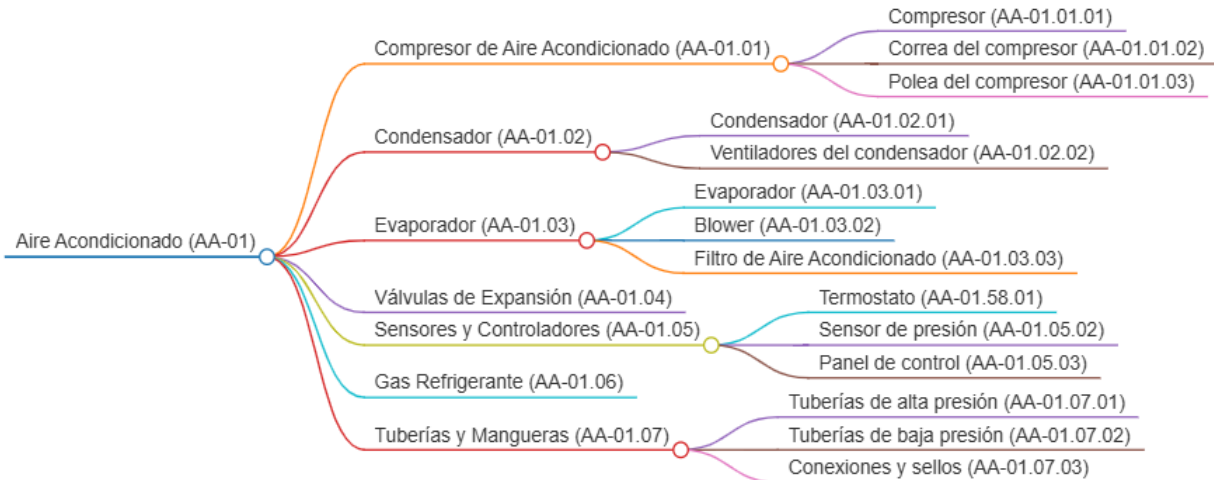
otros componentes y mantener una conducción segura, especialmente en rutas intermunicipales donde las condiciones viales pueden ser exigentes (Maya, 2020).

### Figura 12.

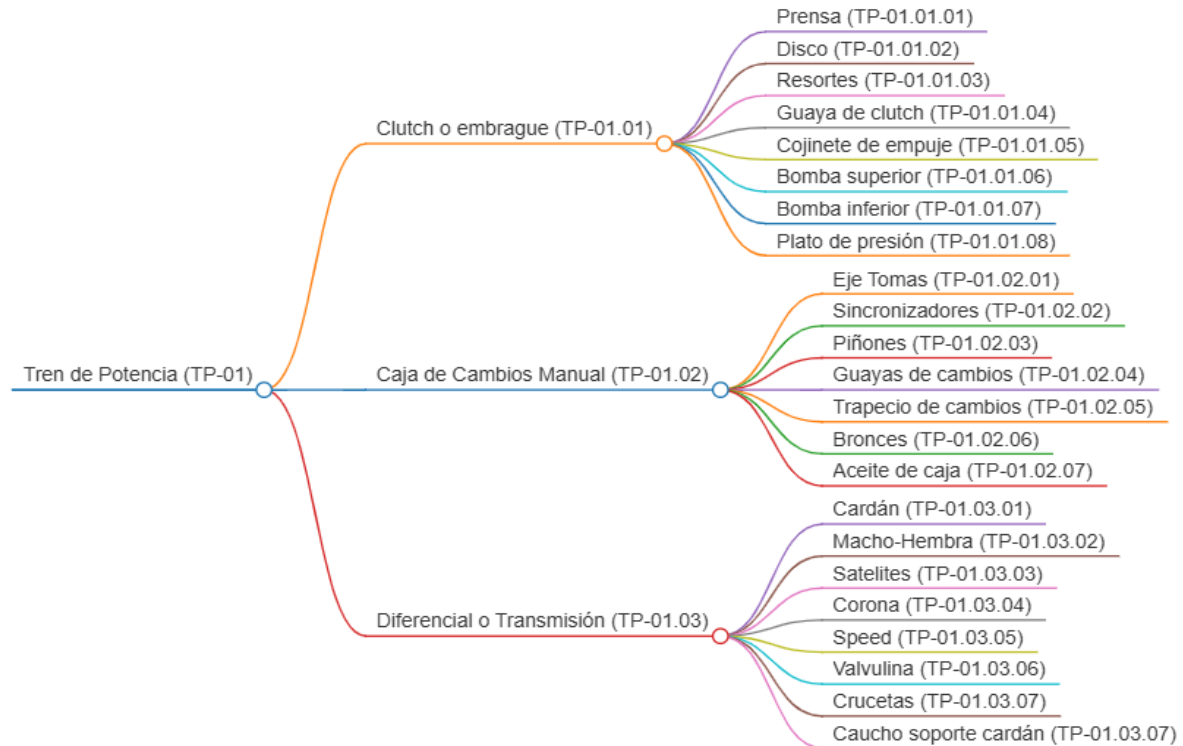
*Subsistema de suspensión y dirección.*



**7.1.2.5 Aire acondicionado.** Este subsistema es clave para garantizar el confort térmico de los pasajeros, particularmente en zonas de clima cálido como las que recorre esta flota. Está compuesto por el compresor, condensador, evaporador, ventiladores, sensores de temperatura y filtros. Un funcionamiento adecuado contribuye a una experiencia de viaje satisfactoria, mientras que sus fallas pueden afectar negativamente la percepción del servicio y el bienestar de los usuarios (Sánchez & Cárdenas, 2020).

**Figura 13.***Subsistema de aire acondicionado.*

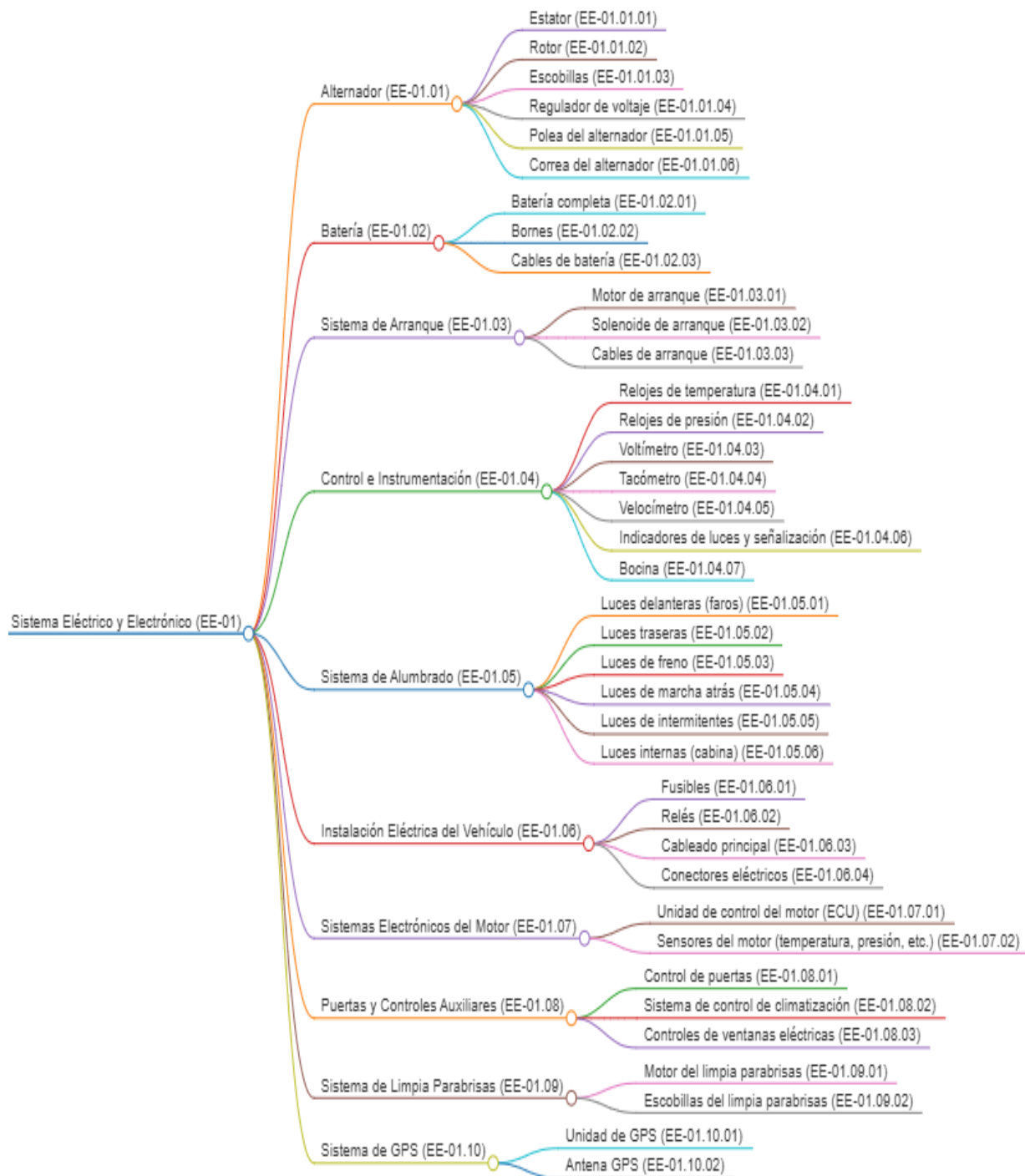
**7.1.2.6 Tren de potencia.** Este subsistema comprende el conjunto de componentes que transmiten la energía generada por el motor hacia las ruedas, incluyendo el embrague, la caja de cambios, el eje de transmisión y el diferencial. Su funcionamiento eficiente es vital para el desempeño general del vehículo. Una falta de mantenimiento puede generar pérdidas de torque, disminución en la eficiencia del combustible y fallas mecánicas graves, lo que incrementa los costos operativos y el tiempo de inactividad del vehículo (Mendéz & Mozo, 2020).

**Figura 14.***Subsistema de tren de potencia.*

**7.1.2.7 Electricidad y electrónica.** Este subsistema comprende todos los componentes encargados de suministrar, distribuir y controlar la energía eléctrica del vehículo, tales como la batería, alternador, cableado, fusibles, sistema de iluminación y los sistemas electrónicos de arranque. Además, incluye dispositivos auxiliares como puertas automáticas y tableros de control. Su correcto mantenimiento es vital para garantizar el funcionamiento confiable y seguro de los sistemas eléctricos y electrónicos del vehículo (Ariza, 2023).

**Figura 15.**

*Subsistema eléctrico y electrónico.*



## **7.2 Análisis de criticidad**

En el presente análisis se aplicó el método Analytic Hierarchy Process (AHP) para determinar la criticidad de los siete subsistemas seleccionados en la flota de vehículos. Para ello, se estableció una estructura jerárquica que permitió comparar los subsistemas en función de criterios previamente definidos: seguridad, costos de mantenimiento, disponibilidad y frecuencia de fallas. A partir de estas comparaciones se elaboraron las matrices de decisión, se calcularon los pesos relativos de cada criterio y se asignaron los niveles de criticidad a cada subsistema. Esta clasificación permitió establecer una jerarquización objetiva que sirvió como base para la priorización en el desarrollo del AMEF y en la formulación de estrategias de mantenimiento preventivo.

### ***7.2.1 Criterios de evaluación***

Los criterios de evaluación utilizados en el análisis de criticidad mediante el método AHP fueron cuatro. El primero es el impacto en la seguridad, el cual mide la relevancia de cada subsistema para garantizar la integridad física de los pasajeros y del conductor. Subsistemas como los frenos o la dirección reciben un peso mayor por su papel esencial en la prevención de accidentes. El segundo criterio es la frecuencia de fallas, que permite identificar qué subsistemas presentan averías con mayor regularidad. Esta información resulta crucial, ya que una alta frecuencia de fallas no solo interrumpe la operación, sino que también incrementa los costos asociados al mantenimiento correctivo. En tercer lugar, se considera el impacto en la disponibilidad operativa, que evalúa la capacidad del vehículo de mantenerse en servicio ante la falla de un subsistema. Por ejemplo, subsistemas como el tren de potencia o el sistema de propulsión pueden generar largos tiempos de inactividad cuando presentan fallas. Finalmente, el cuarto criterio es el costo de mantenimiento, el cual contempla los recursos económicos que

demanda la conservación óptima de cada subsistema. Elementos con altos costos de reparación, como el motor, pueden tener un efecto considerable sobre el presupuesto del propietario.

### 7.2.2 *Matriz de comparación entre criterios*

La matriz de comparación entre criterios permite establecer la importancia relativa de cada uno en el análisis de criticidad. A través de comparaciones por pares, se asignan valores de preferencia que reflejan qué tan significativo es un criterio respecto a otro.

**Tabla 2.**

*Comparación de criterios AHP.*

Criterios	Seguridad	Frecuencia de Fallas	Disponibilidad	Costos de Mantenimiento
Seguridad	1	5	7	7
Frecuencia de Fallas	1/5	1	3	5
Disponibilidad	1/7	1/3	1	3
Costos de Mantenimiento	1/7	1/5	1/3	1

En la Tabla 2 se observa que la seguridad se consideró siete veces más importante que los costos de mantenimiento y cinco veces más relevante que la frecuencia de fallas, lo que evidencia la prioridad de garantizar la protección de los pasajeros y la operación frente a cualquier otro aspecto. De igual manera, la disponibilidad se valoró tres veces más importante que la frecuencia de fallas y costos, al representar la continuidad en la prestación del servicio. Estos juicios permitieron construir la matriz de comparación y constituyen la base para calcular los pesos relativos de cada criterio en el análisis de criticidad.

### 7.2.3 Matriz de comparación para cada criterio

Una vez definidos los criterios de evaluación, se procede a comparar los siete subsistemas entre sí en relación con cada uno de ellos. Este análisis se realiza mediante matrices de comparación por pares, las cuales permiten establecer la importancia relativa de cada subsistema frente a los demás para un criterio específico. A partir de estas comparaciones, se obtienen los pesos locales que reflejan la criticidad de cada subsistema según su impacto en seguridad, frecuencia de fallas, disponibilidad operativa y costos de mantenimiento.

En la Tabla 3 se muestra la comparación de los subsistemas en función del criterio de seguridad. Se considera qué tan decisivo es cada subsistema para la protección de los pasajeros y del conductor. Aquellos cuya falla representa un mayor riesgo, como el sistema de frenos, obtienen mayor peso relativo.

**Tabla 3.**

*Comparación según criterio de seguridad.*

Subsistema	Carroceria	Frenos	Propulsión	Suspensión y Dirección	Aire Acondicionado	Tren de Potencia	Sistema Eléctrico
Carroceria	1	1/5	1/3	1/3	3	1/2	1/2
Frenos	5	1	3	3	7	5	5
Propulsión	3	1/3	1	1	5	2	3
Suspensión y Dirección	3	1/3	1	1	5	2	3
Aire Acondicionado	1/3	1/7	1/5	1/5	1	1/5	1/5
Tren de Potencia	2	1/5	1/2	1/2	5	1	3
Sistema Eléctrico	2	1/5	1/3	1/3	5	1/3	1

La Tabla 4 presenta la evaluación de los subsistemas según la frecuencia con que suelen fallar. Este criterio permite identificar cuáles presentan mayores recurrencias de fallas, afectando la confiabilidad de los vehículos y generando intervenciones frecuentes en mantenimiento. La comparación fue realizada con base en la experiencia de los propietarios, de acuerdo con la información recolectada durante el trabajo de campo.

**Tabla 4.**

*Comparación según criterio de frecuencia de fallas.*

Subsistema	Carroceri a	Freno s	Propulsió n	Suspensió n y Dirección	Aire Acondiciona do	Tren de Potenci a	Sistema Eléctric o
Carroceria	1	1/5	1/5	1/5	1/7	1/3	1/6
Frenos	5	1	1/3	1/3	1/5	1/3	1/4
Propulsión	5	3	1	2	1/2	2	1/2
Suspensión y Dirección	5	3	1/2	1	1/3	3	1/3
Aire Acondiciona do	7	5	2	3	1	5	2
Tren de Potencia	3	3	1/2	5	1/3	1	1/5
Sistema Eléctrico	6	4	2	3	1/2	5	1

En la tabla 5 se presentan los resultados de la comparación entre subsistemas con base en el impacto que tiene una falla sobre la disponibilidad del vehículo. Algunos subsistemas, como el tren de potencia o el sistema de propulsión, pueden dejar fuera de operación al vehículo por completo, lo que les otorga un peso mayor en este criterio.

**Tabla 5.***Comparación según criterio de disponibilidad.*

Subsistema	Carroceri a	Freno s	Propulsión	Suspensión y Dirección	Aire Acondiciona do	Tren de Potencia	Sistema Eléctric o
Carrocería	1	1/5	1/7	1/5	1/7	1/5	1/5
Frenos	5	1	1/7	1/5	1/7	1/3	1/3
Propulsión	7	5	1	5	1	2	2
Suspensión y Dirección	5	5	1/5	1	1/5	1/3	1/2
Aire Acondiciona do	7	7	1	5	1	1/2	1/2
Tren de Potencia	6	4	1/3	1/2	1/2	1	3
Sistema Eléctrico	5	3	1/2	2	2	1/3	1

Finalmente, la Tabla 6 muestra la comparación de subsistemas en términos de los costos que implican su mantenimiento o reparación. Subsistemas con repuestos costosos o intervenciones técnicas complejas obtienen mayor relevancia en este aspecto.

**Tabla 6.***Comparación según criterio de costos.*

Subsistema	Carroceri a	Freno s	Propulsión	Suspensión y Dirección	Aire Acondiciona do	Tren de Potencia	Sistema Eléctric o
Carrocería	1	1	1/5	1/2	1/2	1/4	1/2
Frenos	1	1	1/5	1/2	1/2	1/4	1/2
Propulsión	5	5	1	3	3	2	3

Subsistema	Carroceri a	Freno s	Propulsión	Suspensión y Dirección	Aire Acondiciona do	Tren de Potencia	Sistema Eléctric o
Suspensión y Dirección	2	2	1/3	1	2	1/3	2
Aire	2	2	1/3	1/2	1	1/3	1/2
Acondiciona do							
Tren de Potencia	4	4	1/2	3	3	1	3
Sistema Eléctrico	2	2	1/3	1/2	2	1/3	1

#### 7.2.4 *Criticidad final*

Se asignó un peso a cada criterio según su importancia relativa: seguridad (0.40), frecuencia de fallas (0.25), disponibilidad operativa (0.20) y costos de mantenimiento (0.15). Estos pesos se aplicaron a los valores normalizados obtenidos en las matrices de comparación.

**Tabla 7.**

*Valores normalizados y peso según criterio.*

Subsistema	Seguridad (0.40)	Frecuencia Fallas (0.25)	Disponibilidad (0.20)	Costos (0.15)	<b>Puntaje Final</b>
Carrocería	0,024	0,007	0,005	0,048	<b>0,044</b>
Frenos	0,152	0,015	0,011	0,008	<b>0,186</b>
Propulsión	0,066	0,036	0,056	0,048	<b>0,206</b>
Suspensión y Dirección	0,066	0,029	0,018	0,019	<b>0,133</b>
Aire	0,011	0,074	0,043	0,013	<b>0,142</b>
Acondicionado					
Tren de Potencia	0,046	0,032	0,034	0,037	<b>0,148</b>
Sistema Eléctrico	0,032	0,057	0,033	0,016	<b>0,138</b>

La suma de los valores ponderados para cada subsistema determina su puntaje final de criticidad, lo que permite ordenarlos de mayor a menor según su impacto. Los subsistemas con mayor puntaje son considerados prioritarios, ya que inciden de forma significativa en la operación y el mantenimiento de los vehículos. Esta priorización sirve como base para orientar el desarrollo del AMEF, enfocándose primero en los subsistemas más críticos. La Tabla 8 presenta los resultados obtenidos en el análisis de criticidad.

**Tabla 8.**

*Resultado del análisis de criticidad.*

Subsistema	Puntaje Final	Prioridad
Propulsión	0,206	<b>1</b>
Frenos	0,186	<b>2</b>
Tren de potencia	0,148	<b>3</b>
Aire Acondicionado	0,141	<b>4</b>
Sistema Eléctrico	0,138	<b>5</b>
Suspensión y dirección	0,133	<b>6</b>
Carrocería	0,044	<b>7</b>

### 7.3 Desarrollo del AMEF

En esta sección se presenta el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) aplicado a los subsistemas de los vehículos, previamente priorizados mediante el análisis de criticidad. Para cada subsistema, se estableció la función de cada componente y, a partir de ella, se identificaron las fallas funcionales, considerando el daño total o parcial de la función. Posteriormente, se

determinaron los modos de falla, utilizando la metodología de los 5 por qué para aproximarse a la causa raíz de cada problema. A continuación, se definieron los efectos de cada falla y sus respectivas consecuencias, clasificadas según su impacto operacional, ambiental, de seguridad u oculto. Finalmente, para cada modo de falla se calculó el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), utilizando los conceptos de severidad, ocurrencia y detección, lo que permitió jerarquizar los modos de falla más críticos y orientar las acciones de mantenimiento preventivo.

### 7.3.1 Severidad.

La severidad se determinó utilizando la Tabla 9, la cual fue adaptada y contextualizada a partir de la norma JA1011 al entorno del transporte, considerando factores como la seguridad de los ocupantes. Este indicador evalúa la magnitud del impacto que podría tener una falla funcional sobre el sistema, el desempeño del vehículo y el cumplimiento del servicio. Para su cuantificación se emplea una escala de 1 a 10, donde los valores más altos representan consecuencias más graves, reflejando así la criticidad de cada modo de falla dentro de la operación.

**Tabla 9.**

*Niveles de severidad.*

Nivel de severidad	Definición del nivel de severidad de las fallas	Calificación
Peligrosamente alto	Fallas que pueden causar pérdidas humanas.	10
	Fallas que pueden crear problemas legales.	9
Alto	Fallas que generan inoperación del vehículo.	8
	Fallas que generan alta insatisfacción del usuario.	7
	Fallas que afectan un subsistema y originan mal funcionamiento del equipo.	6
Bajo	Fallas que provocan pérdida de eficiencia y causan quejas.	5
	Fallas que pueden ser mejorados con pequeñas modificaciones y el impacto en eficiencia es pequeño.	4
Menor	Fallas que pueden ocasionar mínimas molestias en el usuario y que se pueden corregir por el operario sin necesidad de perder eficiencia.	3

Nivel de severidad	Definición del nivel de severidad de las fallas	Calificación
Ninguno	Fallas que son difíciles de conocer por el operario y sus efectos serán insignificantes para el servicio.	2
	Fallas que no son identificables por el operario y no afectan eficiencia.	1

**Nota.** Adaptada de SAE JA1011: *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance Processes* (Society of Automotive Engineers, 1999).

### 7.3.2 Ocurrencia.

El índice de ocurrencia se evaluó utilizando una escala de 1 a 10, adaptada de la norma JA1011 al entorno del transporte. Este indicador mide la probabilidad de que un modo de falla se presente durante la operación del vehículo, donde los valores más altos representan una mayor frecuencia de ocurrencia.

**Tabla 10.**

*Niveles de ocurrencia.*

Nivel de ocurrencia	Definición del nivel de severidad de las fallas	Calificación
Muy alto [Falla casi inevitable]	1 Falla por semana	10
	1 Falla por mes	9
Alto [Continuamente]	1 Falla cada 3 meses	8
	1 Falla cada 6 meses	7
Moderada [Ocasionalmente]	1 Falla cada 9 meses	6
	1 Falla al año	5
Baja [Falla ocurre muy poco]	1 Falla entre 2 y 3 años	4
	1 Falla entre 4 y 5 años	3
	1 Falla entre 6 y 9 años	2
Remota [No es probable que ocurra el daño]	1 Falla en más de 10 años	1

**Nota.** Adaptada de SAE JA1011: *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance Processes* (Society of Automotive Engineers, 1999).

### 7.3.3 Detección.

El índice de detección se evaluó utilizando una escala de 1 a 10. Este indicador refleja la capacidad de los controles o sistemas de mantenimiento para identificar un modo de falla antes de que cause un impacto significativo, donde valores bajos indican una alta probabilidad de detección temprana y valores altos una baja probabilidad de detectar la falla.

**Tabla 11.**

*Niveles de detección.*

Nivel de detección	Definición del nivel de severidad de las fallas	Calificación
Baja o nula	Es extremadamente difícil o imposible detectar la falla antes de que ocurra.	10 9
Baja	Es poco probable que la falla se detecte antes de que ocurra.	8 7
Moderada	La falla puede ser detectada con una probabilidad moderada.	6 5
Alta	Existe una alta probabilidad de detectar la falla antes de que ocurra.	4 3
Ninguno	Fallas que pueden ser detectadas a simple vista por el operador.	2 1

**Nota.** Adaptada de SAE JA1011: *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance Processes* (Society of Automotive Engineers, 1999).

### 7.4 Resultados del AMEF

El Número de Prioridad de Riesgo (NPR) se determinó multiplicando los índices de severidad, ocurrencia y detección, lo que permitió cuantificar el nivel de riesgo asociado a cada modo de falla. Este indicador facilita la identificación de los elementos más críticos dentro de cada subsistema y orienta la planificación de las acciones de mantenimiento, priorizando aquellas que tienen mayor impacto sobre la operación, la seguridad y la disponibilidad de la flota.

**Tabla 12.***Resultados del AMEF por subsistema y componente.*

Subsistema	Componente	NPR	Observaciones / Impacto
Propulsión	Correa de distribución	336	Falla puede causar daños internos graves (interferencia pistones/válvulas)
Propulsión	Cojinetes del motor	192	Aumenta costos de reparación por relación directa con cigüeñal
Tren de potencia	Disco de clutch	160	Puede dejar el vehículo fuera de operación durante un turno
Frenos	Bandas	350	Riesgo alto por relación directa con la seguridad de los pasajeros
Frenos	Bomba de freno	360	Riesgo alto por relación directa con la seguridad de los pasajeros
Frenos	Levas del freno de aire	360	Riesgo alto por relación directa con la seguridad de los pasajeros
Aire acondicionado	Termostato	245	La falla impide operación; relevante debido a rutas con altas temperaturas
Aire acondicionado	Refrigerante	240	La falla impide operación; afecta confort de pasajeros

Subsistema	Componente	NPR	Observaciones / Impacto
Aire acondicionado	Válvula de expansión	240	La falla impide operación; afecta confort de pasajeros
Suspensión / Dirección	Muelles	245	Rotura compromete estabilidad del vehículo, riesgo en curvas
Sistema eléctrico	Conexiones e instalación	294	Fallas afectan funcionamiento y control de sistemas
Sistema eléctrico	Sensores de motor (CKP, MAP, TPS, etc.)	280	Modo protegido; limita revoluciones y continuidad del servicio
Carrocería	Válvula de descarga del baño	105	Afecta experiencia del usuario y percepción del servicio

La Tabla 12 presenta un resumen de los modos de falla con los NPR más altos, destacando los componentes que requieren atención prioritaria debido a su relevancia operacional, de seguridad o de confort para los pasajeros. Esta información permite enfocar los esfuerzos de mantenimiento en los elementos más críticos, optimizando recursos y asegurando la eficiencia en la gestión de la flota. En la Figura 16 se muestra un extracto del AMEF completo, donde se observa la estructura integral del análisis, incluyendo todos los modos de falla, efectos, consecuencias y NPR calculados.

**Figura 16.**

*Extracto del AMEF.*

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD [MCC-RCM]																		
BASADO EN ESTÁNDAR SAE JA 1011-1012																		
SOTRAMAGDALENA S.A.S		Elaborado por:		Cesar Alberto Mantilla Villamizar				Microbuses y Busetas Cra 31										
SUBSISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO [AA-01]																		
ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA																		
Código	Subsistema	Función	Falla Funcional	Modos de Falla (Causa de la Falla) 5 WHY				Efecto de la Falla (Qué ocurre cuando Falla)	Consecuencias de Falla				Número Prioritario de Riesgo					
									Ocultas	Seguridad	Ambiente	Operacional		No operacional	Severidad	Ocurrencia	Detección	
[AA-01.01]	COMPRESOR DE AIRE ACONDICIONADO	Comprimir el refrigerante, aumentando su presión y temperatura para permitir su circulación eficiente a través del sistema.	El compresor funciona con una eficiencia reducida, lo que disminuye la capacidad de enfriar el aire, afectando el confort de los pasajeros.	los componentes internos del compresor, como los pistones o válvulas, están desgastados	el compresor ha operado por un tiempo prolongado sin mantenimiento adecuado o sin aceite.	no se realizaron inspecciones regulares del sistema o cambio de aceite cíclico.		Enfriamiento deficiente.				X	7	4	6	168		
				las correas o polea del compresor están desgastadas o desajustadas	no se reemplazaron ni ajustaron a tiempo	no se revisó el estado de las correas y polea durante las inspecciones.		Enfriamiento deficiente. Ruidos.				X	7	5	3	105		
				Refrigerante bajo	Fuga en el compresor o conexiones cercanas	Falta de inspección de fugas	no existe revisión periódica del nivel	Enfriamiento deficiente.				X	7	6	5	210		
			El compresor deja de funcionar completamente, impidiendo la circulación de aire frío y haciendo que el sistema de aire acondicionado sea inoperante.	el compresor ha fallado debido a un desgaste severo	no se realizó el mantenimiento adecuado, el sistema de lubricación interna falló	se operó con humedad o sin aceite	no se realizaron revisiones de filtro y cambio de aceite		Pérdida de funcionalidad del aire acondicionado.					X	8	4	6	192
				las correas o polea están rotas o se han soltado	no se reemplazaron ni ajustaron a tiempo	Falta de inspección al sistema de transmisión y sustituciones cíclicas de correa		Pérdida de funcionalidad del aire acondicionado.				X	8	5	3	120		
				el embrague del compresor ha fallado, impidiendo que el compresor se acople correctamente	el embrague está desgastado o ha sufrido un fallo eléctrico	Desgaste en bobinas o mandos de control	posible sulfatación	Falta de limpieza a partes eléctricas	Pérdida de funcionalidad del aire acondicionado.				X	8	4	7	224	
				No hay refrigerante	Fuga en el compresor o conexiones cercanas	Falta de inspección de fugas	no existe revisión periódica del nivel	Pérdida de funcionalidad del aire acondicionado.				X	8	6	5	240		

**Nota.** Para consultar la totalidad del AMEF y la documentación completa, se puede escanear el código QR incluido en los apéndices.

## **8. Tareas de mantenimiento y planificación**

Con base en los resultados del análisis AMEF, se desarrolló un conjunto de tareas de mantenimiento preventivo orientadas a mitigar los modos de falla más críticos de cada subsistema. La priorización de estas tareas se determinó según el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) obtenido, mientras que la frecuencia con la que deben ejecutarse fue establecida considerando las recomendaciones de los fabricantes, mecánicos y la experiencia de los propietarios, quienes aportaron información clave sobre el desgaste real de los componentes en operación. Este enfoque permitió construir un plan de mantenimiento alineado tanto con los riesgos identificados como con la realidad operativa de la flota.

### **8.1 Tareas de mantenimiento preventivo**

Una vez identificados los modos de falla más relevantes a través del AMEF, se procedió a establecer las tareas de mantenimiento preventivo asociadas a cada uno. Estas tareas fueron diseñadas con el propósito de reducir la probabilidad de ocurrencia de fallas, mejorar la detectabilidad y mitigar los efectos de las consecuencias funcionales, operacionales o de seguridad.

Para ello, se continuó con el mismo formato del análisis AMEF, añadiendo columnas específicas que permitieran registrar: el subsistema afectado, el NPR correspondiente, la tarea de mantenimiento asignada, el tipo de tarea (limpieza, inspección, sustitución periódica, reacondicionamiento cíclico o ajuste), la frecuencia promedio estimada, el responsable de la ejecución y las observaciones pertinentes al momento de realizarlas.

La frecuencia de cada tarea no se determinó únicamente por su criticidad, sino que fue establecida considerando las recomendaciones de los fabricantes, mecánicos y la experiencia de

los propietarios de los vehículos, quienes aportaron información práctica sobre los comportamientos reales de desgaste y fallas en operación.

A continuación, se presenta un extracto de la tabla general de tareas de mantenimiento, en la cual se relacionan los modos de falla identificados con las acciones correspondientes. Esta tabla sirvió como base para estructurar el plan de mantenimiento por rutinas y frecuencias.

**Figura 17.**

*Extracto de las tareas de mantenimiento.*

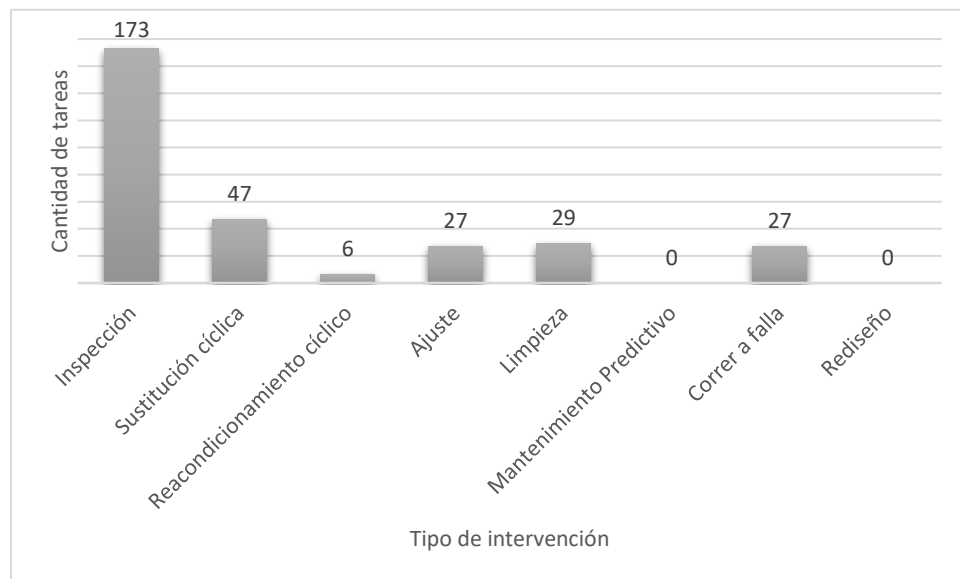
MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD [MCC-RCM]																	
SOTRAMAGDALENA S.A.S		Elaborado por:		Cesar Alberto Mantilla Villamizar				Microbuses y Busetas Cra 31									
SUBSISTEMA DE FRENOS [FR-01]																	
TAREAS DE MANTENIMIENTO																	
Código	Subsistema	Severidad	Ocurrencia	Detección	Número Prioritario de Riesgo	Tarea de mantenimiento	Mantenimiento preventivo						Frecuencia	A realizar por:	Observaciones		
							Inspección	Sustitución cíclica	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste	Limpieza	Mantenimiento Predictivo				Correr a falla	Rediseño
[FR-01.01]	FRENO HIDRÁULICO	10	4	6	240	Revisión nivel de líquido de frenos y fuga en llantas / Inspección bomba freno	X							300 KM / 80.000 KM	Operador / Mecánico	Preoperacional	
		10	8	3	240	Revisión nivel de líquido de frenos y fuga en llantas	X							300 KM	Operador	Preoperacional	
		10	4	4	160	Inspección estado de discos y pastillas de freno / Sustitución pastillas de freno	X	X						6.000/18.000 KM	Mecánico	Sustitución de disco de freno según desgaste	
		10	8	4	320	Inspección estado de discos y pastillas de freno / Sustitución pastillas de freno / Inspección freno de seguridad	X		X					6.000/18.000 KM	Mecánico		
		10	6	5	300	Mantenimiento a mordazas/caliper de freno			X						18.000 KM	Mecánico	Revisión de pistones, mecanismos/pacadores, ligas y cambio de guardapolvos
		10	7	5	350	Inspección al sistema de campanas/bandas	X								18.000 KM	Mecánico	Sustitución de bandas según desgaste. Verificación graduación, resortes, cilindros, rodillos y freno emergencia
		10	6	5	300	Mantenimiento a mordazas/caliper de freno	X	X							18.000 KM	Mecánico	Revisión de pistones, mecanismos y cambio de guardapolvos
		10	4	6	240	Revisión nivel de líquido de frenos y fuga en llantas / Inspección bomba freno	X								300 KM / 80.000 KM	Operador / Mecánico	Preoperacional
		10	7	3	210	Revisión nivel de líquido de frenos y fuga en llantas	X								300 KM	Operador	Preoperacional
		10	7	4	280	Sustitución pastillas de freno		X							18.000 KM	Mecánico	Inspección freno de emergencia.
		10	4	5	200	Mantenimiento a mordazas/caliper de freno / Inspección discos de freno	X		X						18.000 KM	Mecánico	Revisión de pistones, mecanismos y cambio de guardapolvos
		10	7	5	350	Inspección al sistema de campanas/bandas	X								18.000 KM	Mecánico	Sustitución de bandas según desgaste. Verificación graduación, resortes, cilindros y rodillos.
		10	6	5	300	Sustitución de líquido de frenos		X							40.000 KM	Mecánico	Recomendable DOT 4

**Nota.** Para consultar la totalidad de las tareas de mantenimiento y la documentación completa, se puede escanear el código QR incluido en los apéndices.

Analizando la distribución de tareas según el tipo de actividad asociada, se pudo identificar el enfoque operativo del plan. La Figura 18 presenta esta distribución, evidenciando que el mayor número de intervenciones corresponde a tareas de inspección, seguidas por sustituciones periódicas, lo cual refleja un enfoque preventivo en la gestión de la flota (Ariza, 2023).

**Figura 18.**

*Distribución de tareas según el tipo de intervención.*



En la figura 18 se evidencia un claro predominio de las tareas de inspección (173), lo que refleja un enfoque preventivo orientado a la detección oportuna de desviaciones antes de que generen fallas funcionales. Las sustituciones cíclicas (47) también representan una proporción importante, especialmente en componentes con una vida útil predecible. Las actividades de limpieza (29) y ajuste (27) complementan las acciones de conservación de las condiciones operativas de los sistemas.

El reacondicionamiento cíclico (6) se aplicó exclusivamente a elementos puntuales que requieren mantenimiento periódico sin necesidad de sustitución completa, como ciertos

componentes del sistema de frenado o embrague (en ciertas circunstancias). Las tareas clasificadas como “correr a falla” (27) fueron asignadas únicamente a elementos con bajo Número de Prioridad de Riesgo (NPR), que no comprometen significativamente la seguridad ni la funcionalidad del vehículo, y cuya condición puede evidenciarse de forma indirecta mediante las inspecciones realizadas a otros componentes relacionados.

## 8.2 Plan de mantenimiento

El diseño del plan general de mantenimiento surgió como consecuencia directa de la sistematización de las tareas definidas en la fase anterior. Una vez identificadas las actividades necesarias para mitigar o prevenir los modos de falla detectados, se organizaron en bloques estructurados conocidos como rutinas de mantenimiento, las cuales permiten ordenar la intervención técnica según la periodicidad, la complejidad de la actividad y la criticidad del componente.

Estas rutinas están diseñadas para facilitar la planeación, asignación de recursos y seguimiento de las intervenciones. Separar el mantenimiento por ciclos o grupos periódicos, como lo afirman autores como Ruiz et al. (2020), permite aumentar la disponibilidad operativa, optimizar la gestión de repuestos y reducir paradas imprevistas. A partir de ello, se definieron las siguientes categorías:

- **Preoperacional:** incluye tareas e inspecciones de carácter diario o previo al servicio. Estas actividades se asignan al operador del vehículo y corresponden a elementos que deben revisarse cada 300 km aproximadamente, tales como niveles y estado visual de componentes críticos.

- **Rutina A (6.000 – 8.000 km):** incorpora tareas básicas como cambio de aceite, inspección de niveles en caja y transmisión, revisión de filtros y estado general de componentes accesibles.
- **Rutina B (18.000 – 21.000 km):** contempla actividades de inspección y sustitución como el cambio de pastillas o bandas de freno, revisión de correas, inspección de suspensión y alternador.
- **Rutina C (36.000 – 42.000 km):** abarca cambios de líquidos de transmisión o caja y tareas más técnicas como inspecciones eléctricas y de sensores.
- **Rutina D (80.000 – 86.000 km):** agrupa intervenciones complejas como revisión de bombas, inspección del sistema de dirección, embrague y otros elementos de difícil acceso.

A lo largo del ciclo de vida de un vehículo, estas rutinas se van superponiendo según el kilometraje acumulado, lo cual permitió establecer un plan general de mantenimiento acumulativo que incorpora todas las tareas pertinentes desde los 6.000 hasta los 98.000 km. Este enfoque garantiza un control integral de la condición del vehículo, abordando tanto aspectos operativos como preventivos.

A continuación, se presenta un extracto con la estructura del plan general de mantenimiento, organizada por subsistema. La tabla incluye el tipo de tarea, frecuencia aproximada, responsable y observaciones.

**Figura 19.**

*Extracto del plan de mantenimiento.*

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD [MCC-RCM]																		
Elaborado por:		Cesar Mantilla	SOTRAMAGDALENA S.A.S	Microbuses y Busetas Cra 31	2025	Vehículo asociado:												
PLAN DE MANTENIMIENTO GENERAL																		
PERIODO DE REALIZACIÓN (7.000 KM - 98.000 KM)																		
Código	Subsistema	Descripción Tarea de Mantenimiento	A realizar por:	Observaciones	Tipo de rutina de mantenimiento y Kilometraje asociado													
					A	A	A+B	A	A	A+B+C	A	A	A+B	A	A	A+B+C+D	A	A
					7.000 KM	14.000 KM	21.000 KM	28.000 KM	35.000 KM	42.000 KM	49.000 KM	56.000 KM	63.000 KM	70.000 KM	77.000 KM	84.000 KM	91.000 KM	98.000 KM
PRP-01	PROPULSIÓN	Inspección estado del carter y fugas de motor	Mecánico	Al cambiar aceite de motor	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Sustitución de filtro de aire	Mecánico		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Sustitución de aceite	Mecánico	Depende del tipo de aceite cambia el intervalo. Sustituir filtro.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Inspección y lavado externo de intercooler	Mecánico	A baja presión (Al lavar vehículo)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Sustitución de filtro de combustible	Mecánico		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Inspección estado de correas de accesorios	Mecánico		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Inspección estado del ventilador y limpieza	Mecánico	A baja presión (En lavada general)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Sustitución correas de accesorios	Mecánico				X				X						X	
		Inspección de poleas	Mecánico	Reemplazo de poleas según desgaste			X				X						X	
		Inspección y limpieza de válvula EGR	Mecánico	Calibrar válvula							X							X
		Inspección enfriador EGR	Mecánico								X							X
		Inspección y limpieza conductos y tanques EGR	Mecánico								X							X
		Inspección filtro de partículas	Mecánico								X							X
		Inspección y ajuste de volante de inercia	Mecánico	Verificar torque y estado de pernos.														X
		Limpieza interna del intercooler	Mecánico	Reemplazar con refrigerante o mezcla refrigerante-agua														X
		Inspección al sistema de inyección (Bomba e inyectores)	Mecánico	Reemplazo de partes desgastadas y ajuste de mezcla														X
		Limpieza interna del radiador	Mecánico															X
		Inspección estado de mangueras de refrigerante	Mecánico															X
		Sustitución bomba de refrigerante	Mecánico															X
		Sustitución de termostato	Mecánico															X
Inspección al ventilador	Mecánico															X		
Sustitución correa de distribución	Mecánico	Uso de correa original														X		
Sustitución de poleas y tensores de distribución	Mecánico	Componentes originales														X		

**Nota.** Para consultar la totalidad del plan de mantenimiento y la documentación completa, se puede escanear el código QR incluido en los apéndices.

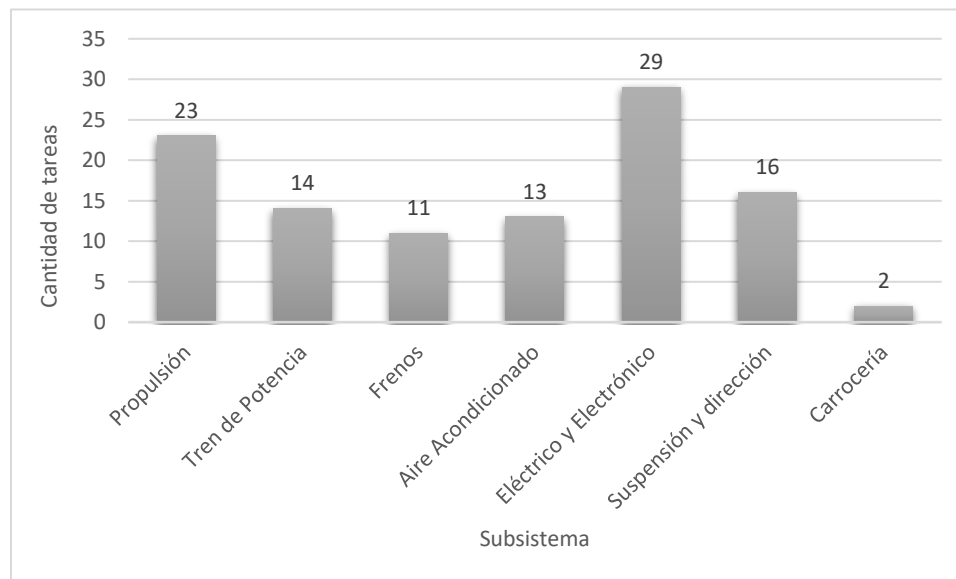
Este plan general de mantenimiento no solo se construyó a partir de la sistematización de tareas, sino que fue ajustado considerando manuales de fabricante, la experiencia de los propietarios y las condiciones reales de operación de la flota intermunicipal. Esto permitió definir frecuencias representativas y coherentes con el desgaste de los componentes, garantizando que las actividades respondan directamente a los modos de falla más críticos identificados en el AMEF y la estructura presentada constituye la base práctica del plan, ya que resume de manera organizada las tareas preventivas aplicables a toda la flota. Este enfoque permite vincular la teoría del AMEF

con la ejecución operativa, asegurando que cada modo de falla tenga una tarea asociada dentro de una rutina específica. Adicionalmente, el formato facilita la implementación de registros de mantenimiento (manuales o digitales), lo cual mejora la trazabilidad histórica de las intervenciones.

La Figura 20 muestra cómo se distribuyen las tareas de mantenimiento en cada subsistema de la flota. Esta información permite entender cuáles áreas requieren mayor dedicación y cuáles presentan una menor carga de mantenimiento.

**Figura 20.**

*Cantidad de tareas por subsistema.*



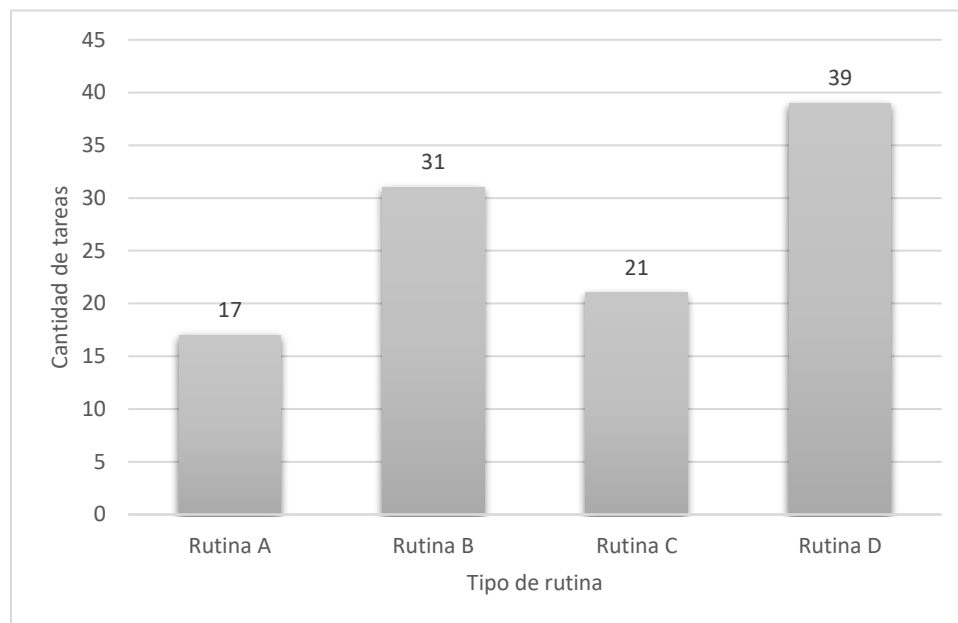
El sistema eléctrico y electrónico es el que más tareas concentra, lo que se explica por la gran cantidad de componentes y accesorios que lo conforman. Algo similar ocurre con el sistema de propulsión, que incluye el motor y sus elementos asociados, demandando un alto nivel de seguimiento. La suspensión y la dirección también requieren varias intervenciones, aunque en menor medida. En el caso de los frenos, la cantidad de tareas parece más baja, pero esto se debe a

que muchas de ellas abarcan varios componentes al mismo tiempo. El aire acondicionado presenta menos labores porque está compuesto por un número más reducido de piezas, mientras que en la carrocería la mayoría de intervenciones suelen ser correctivas, lo que explica su bajo número de tareas planificadas.

A continuación se muestra la distribución de las tareas de mantenimiento según el tipo de rutina. Esto permite identificar cómo varía la cantidad de tareas en función del kilometraje y el nivel de intervención que requiere cada vehículo.

**Figura 21.**

*Cantidad de tareas por tipo de rutina.*



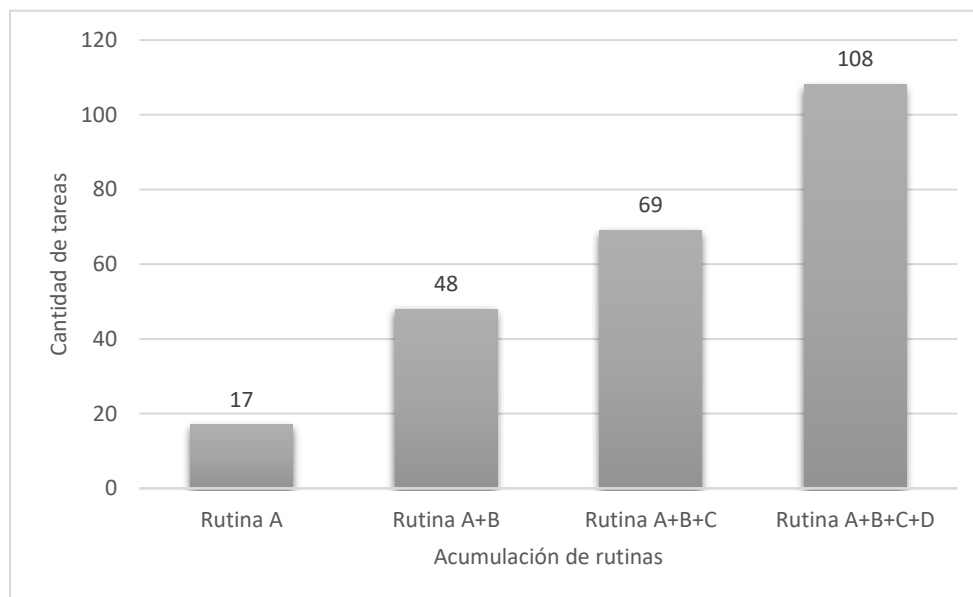
La rutina D es la que concentra la mayor cantidad de tareas, correspondientes a kilometrajes altos que implican una revisión casi general de todo el vehículo, incluyendo componentes atendidos con menor frecuencia. Le sigue la rutina B, que abarca intervalos medios e incorpora inspecciones relevantes a la suspensión y los frenos. En tercer lugar se encuentra la rutina C,

enfocada en sistemas eléctricos y de emisiones. Finalmente, la rutina A presenta la menor cantidad de tareas, centradas en cambios y revisiones de fluidos y filtros, determinantes para la vida útil de los principales componentes.

En la Figura 22 se muestra cómo se van sumando las tareas de mantenimiento a medida que se acumulan las distintas rutinas. Esto ayuda a entender de manera sencilla cómo crece el número de actividades necesarias conforme aumenta el kilometraje del vehículo.

**Figura 22.**

*Cantidad de tareas acumuladas*



Se aprecia un crecimiento progresivo en la cantidad de tareas, pues cada rutina incorpora las anteriores. A medida que aumenta el recorrido, los componentes presentan mayor desgaste y requieren más revisiones, sustituciones y mantenimientos. Este comportamiento también implica un incremento en los costos, el cual corresponde al ciclo de vida normal de los vehículos.

### **8.3 Personalización del plan de mantenimiento**

A partir del plan de mantenimiento general, fue necesario realizar una personalización de las frecuencias y actividades de acuerdo con las características técnicas de cada vehículo de la flota.

La importancia de esta personalización radica en que no todos los vehículos comparten los mismos subsistemas. Mientras algunos utilizan correa de distribución, otros operan con cadena; existen diferencias entre sistemas de freno de disco y de banda, así como en las configuraciones de suspensión. En particular, las Mercedes Benz Sprinter 413 y las Volkswagen Crafter cuentan con una suspensión delantera más ligera, similar a la de un vehículo liviano, mientras que los demás grupos poseen sistemas más robustos, diseñados para soportar mayores cargas y esfuerzos. De igual forma, aunque la mayoría de los vehículos trabajan con freno hidráulico (líquido), ciertos modelos incorporan freno neumático (aire), lo que implica la atención de componentes adicionales.

Estas particularidades hacen indispensable la adaptación del plan, garantizando que las rutinas respondan a las condiciones reales de cada grupo de vehículos. De esta manera, se conserva la coherencia del esquema general, pero con ajustes específicos en las frecuencias y actividades críticas que aumentan la confiabilidad y disponibilidad de la flota.

A continuación, se presenta la Tabla 13, donde se evidencia la organización de la flota en siete grupos según sus características técnicas más relevantes.

**Tabla 13.***Clasificación para el plan de mantenimiento personalizado.*

Isuzu npr convencional (euro 2)	Isuzu npr reward (euro 4)	Isuzu nkr reward con sustitución a motor convencional	Mercedes benz sprinter 413	Volkswagen crafter con sustitución a motor convencional	Volkswagen crafter original (correa de distribución)	Volkswagen 9150 (euro 4)
103	1037	117	119	128	145	1096 (freno de aire)
140	1061	130	129	132	150	
165	1071		185	138		
181				139		
104 (freno de aire)				174		

Estos cambios permiten establecer frecuencias más adecuadas y tareas adicionales según las características de cada unidad. En el caso de las Mercedes Benz Sprinter 413 y las Volkswagen Crafter, al contar con una suspensión delantera de tipo automóvil, se definieron intervalos de mantenimiento más cortos en este subsistema, dado que su resistencia es menor frente a las exigencias del transporte intermunicipal. De igual forma, en estos vehículos se ajustaron las rutinas de mantenimiento de frenos, ya que emplean pastillas en lugar de bandas, lo cual implica desgastes y reemplazos más frecuentes.

Por otra parte, los vehículos más recientes que cumplen normativa Euro 4, como las Isuzu NPR Reward y la Volkswagen 9150, requieren incluir dentro de su plan el mantenimiento del sistema EGR, componente crítico en el control de emisiones. En cuanto a las Crafter con motor original, estas deben recibir atención especial al sistema de distribución, pues cuentan con correa de repartición, cuyo cambio periódico es indispensable para evitar fallas catastróficas.

Finalmente, los vehículos equipados con freno de aire requieren la inclusión de actividades de mantenimiento adicionales en los accesorios asociados, como válvulas y compresores, los cuales no están presentes en los sistemas de freno hidráulico. Con esta personalización del plan se logra un mayor grado de precisión y confiabilidad en las intervenciones, garantizando la vida útil de los componentes y la seguridad operativa de la flota.

#### **8.4 Estrategias complementarias para la gestión del mantenimiento**

Además de las rutinas preventivas y correctivas, existen factores complementarios que son claves para garantizar la efectividad del plan de mantenimiento. Estos incluyen la capacitación de los operadores, quienes están en contacto directo con los vehículos; la aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo; y el uso de herramientas digitales para la gestión de flotas, que facilitan el control de las intervenciones, los costos y la programación. Integrar estos aspectos fortalece la planificación, aumenta la confiabilidad de la flota y optimiza los recursos disponibles.

##### ***8.4.1 Capacitación de operadores***

Se recomienda que la empresa implemente capacitaciones periódicas dirigidas a los conductores, no solo enfocadas en seguridad vial y manejo defensivo (claves para la prevención de accidentes), sino también en aspectos directamente relacionados con el mantenimiento de los vehículos. Entre estos se sugieren los preoperacionales diarios con revisión 360° del vehículo para detectar anomalías, la verificación de fluidos antes del primer encendido, la limpieza general y la trazabilidad de las intervenciones a los componentes y subsistemas. Asimismo, debe promoverse el uso de repuestos originales y la exigencia de reparaciones correctas a los mecánicos que realicen intervenciones, recordando que el conductor es el primer responsable ante cualquier eventualidad.

Otro componente importante sería la formación en hábitos de conducción: cuidado del embrague, uso adecuado del freno de ahogo, conducción orientada al ahorro de combustible y manejo del torque para evitar sobrerégimen (ocasionando desgastes prematuros) o funcionamiento a revoluciones demasiado bajas (generando acumulación de hollín y desgaste).

Estas capacitaciones se sugieren al menos de forma semestral o cuando existan cambios relevantes (nueva normatividad, incorporación de vehículos, hallazgos críticos de mantenimiento). Adicionalmente, deberían incluir evaluación mediante cuestionarios breves, listas de chequeo o pruebas prácticas, de modo que se verifique la apropiación de los contenidos y se cierre el ciclo de mejora continua. Con ello, se impactaría positivamente la disponibilidad de la flota, se reducirían costos correctivos y se fortalecería la seguridad de los pasajeros.

#### ***8.4.2 Implementación progresiva de mantenimiento predictivo***

Si bien el presente plan se fundamenta en la ejecución de tareas preventivas como inspecciones, ajustes, sustituciones periódicas y reacondicionamientos, es fundamental proyectar a futuro la incorporación gradual de prácticas de mantenimiento predictivo, en coherencia con la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad del parque automotor.

En este sentido, se sugiere iniciar con la técnica de análisis de aceites, aplicándola de forma piloto en dos grupos representativos de la flota: una Isuzu NPR y una Volkswagen Crafter con motor convencional, ya que en conjunto representan un porcentaje importante de las unidades en operación. En esta primera fase, el análisis se enfocaría en aceites de motor, caja y transmisión, con el objetivo de estudiar el nivel de degradación del lubricante y evaluar la condición de los componentes internos.

Los principales beneficios de esta técnica se centran en la detección temprana de fallas y la optimización de las frecuencias de cambio de aceite, lo que a su vez contribuye a la reducción de costos y a la extensión de la vida útil de los equipos. El análisis permite identificar parámetros críticos como oxidación del aceite (aparición de ácidos que aceleran la corrosión de componentes), rupturas térmicas del lubricante (pérdida de viscosidad y propiedades de lubricación por sobrecalentamiento), agotamiento de aditivos (disminución de detergentes, dispersantes y agentes antioxidantes) y presencia de contaminantes (polvo, agua, hollín o partículas metálicas).

Estos factores, de acuerdo con Totten (2017), afectan directamente la confiabilidad del sistema de propulsión y son la causa de un alto porcentaje de fallas mecánicas prematuras. Por lo tanto, implementar el análisis de aceites no solo permite detectar el desgaste generalizado, sino también establecer periodos óptimos de cambio de aceite ajustados a la condición real de operación de cada vehículo. En caso de obtener resultados positivos en esta fase piloto, la técnica podría extenderse de manera progresiva al resto de la flota, consolidando un esquema de mantenimiento predictivo complementario al preventivo.

#### ***8.4.3 Uso de software de gestión de flotas***

Un paso fundamental que la empresa debería considerar hacia la modernización del sistema de mantenimiento y la optimización de los recursos es la implementación de un software de gestión de flotas. Este tipo de herramienta digital permitiría centralizar y automatizar información clave, reduciendo la dependencia de registros manuales y facilitando la toma de decisiones con base en datos confiables.

Con este sistema es posible realizar el monitoreo en tiempo real de los vehículos, conociendo su ubicación y estado operativo, lo que contribuye a una mejor gestión de rutas y a la

seguridad de los pasajeros. De igual forma, permite automatizar las asignaciones de mantenimiento, generando alertas sobre inspecciones o servicios próximos y evitando olvidos que puedan derivar en fallas. También facilita la administración de cronogramas, no solo de mantenimiento, sino de capacitaciones en seguridad vial, servicio al cliente y técnicas de operación, lo que asegura que conductores y propietarios estén alineados con la política de la empresa.

Un aspecto clave de este tipo de software es que los propietarios pueden acceder a la información de sus vehículos, llevando un seguimiento inmediato sobre las intervenciones realizadas, las que están pendientes y los retrasos acumulados. Asimismo, la digitalización de la información permite identificar casos de sobre mantenimiento, que generan gastos innecesarios, o de desgastes prematuros en componentes que ameritan la búsqueda de un problema de causa raíz.

### **8.5 Presupuesto**

En el apartado de CAPEX, los rubros se evaluaron principalmente como opcionales, ya que los propietarios cuentan con talleres de confianza y no requieren inversiones adicionales en instalaciones ni en contratación de personal. No obstante, se identificaron algunos posibles conceptos de inversión que, aunque no resultan estrictamente necesarios en la situación actual, podrían considerarse estratégicos para fortalecer el plan en el futuro.

A continuación, se presenta la Tabla 14. Gastos de Capital, en la cual se detallan los conceptos evaluados y sus respectivos valores estimados:

**Tabla 14.***Gastos de capital.*

Concepto	Detalle	Valor Unitario aproximado anual (\$)
Inversiones en infraestructura física	Adecuaciones físicas o espacios de taller necesarios	\$ -
Inversión en personal adicional	Contratación de personal técnico o administrativo para el plan	\$ -
Software de gestión de flotas (opcional)	Licencia tipo SaaS	\$ 1.800.000,00
Análisis de aceites en laboratorio (opcional)	Contrato con laboratorio externo	\$ 1.000.000,00
Valor total		\$ 2.800.000,00

Del análisis de la Tabla 14 se desprenden varios aspectos relevantes. En primer lugar, las inversiones en infraestructura física y en personal adicional presentan valor nulo, dado que no se requieren adecuaciones en espacios ni contrataciones extras, pues las labores de mantenimiento continuarán realizándose en los talleres de confianza ya existentes.

En segundo lugar, se identifican dos rubros opcionales: el software de gestión de flotas y el análisis de aceites en laboratorio. El primero, con un costo aproximado de \$1.800.000 COP anuales, facilitaría la trazabilidad de las rutinas de mantenimiento, el registro histórico de intervenciones y la generación de alertas para el cumplimiento de las frecuencias. El segundo, estimado en \$1.000.000 COP anuales, permitiría disponer de análisis técnicos que fortalezcan el mantenimiento predictivo, reduciendo riesgos de fallas en componentes críticos como motor, caja y transmisión.

Finalmente, el valor total anual del CAPEX asciende a \$2.800.000 COP, correspondiente únicamente a estos rubros opcionales. En caso de no implementarlos, el CAPEX sería igual a cero, lo cual refuerza la viabilidad económica del plan y demuestra que el mantenimiento preventivo

puede ponerse en marcha de manera progresiva, sin requerir grandes inversiones iniciales por parte de los propietarios.

En cuanto a los gastos de operación (OPEX), la Tabla 15 presenta los costos estimados de repuestos y mano de obra asociados a cada rutina de mantenimiento (A, B, C y D). Estos valores fueron proyectados para un ciclo completo de 100.000 kilómetros recorridos, lo que permite dimensionar el gasto operativo necesario para asegurar la disponibilidad y confiabilidad de la flota durante este periodo.

**Tabla 15.**

*Gastos de operación.*

Rutina de mantenimiento	Detalle	Valor aproximado en repuestos (\$)	Valor aproximado en mano de obra (\$)	Valor Total de rutina (\$)
Rutina A	6,000-8,000 km	\$ 500.000,00	\$ 200.000,00	\$ 700.000,00
Rutina B	18,000–21,000 km	\$ 545.000,00	\$ 255.000,00	\$ 800.000,00
Rutina C	36,000–42,000 km	\$ 550.000,00	\$ 450.000,00	\$ 1.000.000,00
Rutina D	80,000–84,000 km	\$ 2.175.000,00	\$ 1.500.000,00	\$ 3.675.000,00
Valor total del plan de mantenimiento (100,000 KM)				\$ 18.675.000,00

El presupuesto proyectado indica que, para un ciclo de 100.000 km, el costo total de mantenimiento preventivo asciende a 18.675.000 COP por vehículo. Las rutinas A y B concentran valores más bajos, al estar enfocadas en inspecciones, limpieza y sustituciones menores, mientras que la rutina D demanda la mayor inversión (3.675.000 COP), dado que contempla repuestos de mayor costo y mano de obra especializada.

Cabe resaltar que los valores presentados son aproximados, pues los precios de repuestos y materiales pueden variar según la cotización del dólar, la disponibilidad en el mercado y las

referencias específicas de cada vehículo. Asimismo, la mano de obra depende del taller que realice las intervenciones.

Al proyectar este gasto en el tiempo, los 18.675.000 COP estimados para 100.000 km se distribuyen en un periodo cercano a 14 meses de operación, lo que equivale a un costo mensual aproximado de 1.350.000 COP por vehículo. De igual forma, al relacionar el valor total con el recorrido, se obtiene un costo de mantenimiento preventivo de 186,75 COP por kilómetro. Estos cálculos se limitan únicamente al mantenimiento preventivo, siendo los correctivos un rubro adicional; no obstante, el plan busca reducir las reparaciones imprevistas mediante inspecciones periódicas que permitan detectar fallas tempranas y mitigar su impacto económico.

## 9. Ejecución del plan piloto

### 9.1 Selección de vehículos

Para el desarrollo del plan piloto se optó por la selección de dos vehículos de la flota que cumplieran con criterios estratégicos. La elección se fundamentó, en primer lugar, en la facilidad de seguimiento, lo cual permitía llevar un control cercano sobre la aplicación de las rutinas preventivas y la recopilación de información relevante. En segundo lugar, se consideró la representatividad dentro de la flota, ya que ambos vehículos poseen características comunes a un número significativo de unidades, lo que hace posible extrapolar los resultados obtenidos y proyectar su impacto hacia el resto de la empresa.

El primer vehículo escogido fue la buseta de número interno 1037, una Isuzu NPR Reward modelo 2020 con carrocería B-US.

#### Figura 23.

*Vehículo 1037.*



Este vehículo cuenta con un motor electrónico bajo normativa Euro 4, capacidad para 26 pasajeros, y conserva todos sus componentes originales. Su sistema de frenos es hidráulico por medio de bandas, está equipada con un sistema de aire acondicionado Trans Aire de tres ventiladores, y posee una suspensión robusta mediante muelles, lo cual lo hace representativo de buena parte de las busetas modernas de la flota y aquellas con dimensiones mayores a las tipo “Aero Vans”.

El segundo vehículo seleccionado fue el microbús de número interno 138, un Volkswagen Crafter con capacidad para 19 pasajeros.

**Figura 24.**

*Vehículo 138.*



Este vehículo se encuentra motorizado con un Nissan MT3000 convencional, el cual fue reemplazado hace cinco años y actualmente opera en condiciones normales. Su sistema de frenos es hidráulico mediante mordazas y discos, dispone de un aire acondicionado original complementado con un sistema adicional para mejorar el enfriamiento, y una suspensión delantera

propia de vehículo liviano. Estas características lo hacen representativo del grupo de microbuses de la flota, especialmente aquellos que ya cuentan con modificaciones en el sistema de motorización.

La elección de estos dos vehículos permitió abarcar distintos segmentos de la flota (busetas modernas y microbuses adaptados), generando un escenario de prueba equilibrado para validar la efectividad del plan de mantenimiento preventivo antes de su implementación global.

## **9.2 Aplicación del plan**

El plan piloto tuvo una duración de tres meses, tiempo durante el cual los vehículos seleccionados alcanzaron kilometrajes de aproximadamente 21.085 km para el interno 138 y 21.870 km para el interno 1037. La diferencia en el recorrido obedeció tanto a la ejecución de viajes expresos como a la variabilidad propia de la operación diaria. Este rango de kilometraje permitió aplicar dos rutinas tipo A completas y una rutina combinada A+B, lo que se tradujo en la ejecución de tres cambios de aceite con sus respectivos filtros, la inspección y sustitución de correas, la verificación general de fluidos, la revisión del sistema de frenos, la inspección del refrigerante del aire acondicionado, el mantenimiento preventivo al alternador, la revisión del sistema de suspensión y la limpieza integral del interior de los vehículos.

La figura 25 muestra un extracto del plan de mantenimiento del vehículo 138, diligenciado por el conductor Elfido Monsalve, durante los tres meses de prueba piloto.

Figura 25.

Extracto del plan de mantenimiento del vehículo 138.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC-RCM) <i>Ejida Urdanabey</i>																			
Elaborado por:		Cesar Manilla	SOTRAMAGDALENA S.A.S	Microbuses y Busetas Cn 31	2025	Vehículo asociado:		138											
PLAN DE MANTENIMIENTO GENERAL																			
PERIODO DE REALIZACIÓN (7.000 KM - 98.000 KM)																			
Código	Subsistema	Descripción Tarea de Mantenimiento	A realizar por:	Observaciones	Tipo de nota de mantenimiento y kilometraje asociado														
					A	A	A+B	A	A	A+B+C	A	A	A+B	A	A	A+B+C/D	A	A	
					7.000 KM	14.000 KM	21.000 KM	28.000 KM	35.000 KM	42.000 KM	49.000 KM	56.000 KM	63.000 KM	70.000 KM	77.000 KM	84.000 KM	91.000 KM	98.000 KM	
[P92-01]	PROPULSIÓN	Inspección estado del Carter y fugas de motor	Mecánico	Al cambiar aceite de motor	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Sustitución de filtro de aire	Mecánico		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Sustitución de aceite	Mecánico	Depende del tipo de aceite cambia el intervalo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Inspección y lavado externo de intercooler	Mecánico	A baja presión (A lavar vehículo)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Sustitución de filtro de combustible	Mecánico		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Inspección estado de correas de accesorios	Mecánico		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Inspección estado del ventilador y limpieza	Mecánico	A baja presión (En lavado general)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Sustitución correas de accesorios	Mecánico				X							X					
		Inspección de polvos	Mecánico	Reemplazo de polvo según desgaste			X				X			X					
		Inspección y ajuste de volante de inercia	Mecánico	Verificar torque y estado de pernos.															X
		Limpieza interna del intercooler	Mecánico	Reemplazar con refrigerante o mezcla refrigerante- agua															X
		Inspección al sistema de inyección (Bomba e inyectores)	Mecánico	Reemplazo de partes desgastadas y ajuste de mezcla															X
		Limpieza interna del radiador	Mecánico																X
		Inspección estado de mangueras de refrigerante	Mecánico																X
Sustitución bomba de refrigerante	Mecánico																X		
Sustitución de termostato	Mecánico																X		
Inspección al ventilador	Mecánico																X		
[T7-01]	TREN DE POTENCIA	Inspección nivel de aceite de caja y fugas de caja	Mecánico		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Engrase de conchas y revisión de estado sistema cardán	Mecánico	Verificar estado de caucho de centro	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Inspección de nivel de aceite de transmisión y fugas	Mecánico		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Sustitución de aceite de caja	Mecánico				X				X			X				X	
		Sustitución de aceite de transmisión	Mecánico				X				X			X				X	
		Inspección prensa de clutch	Mecánico															X	
		Sustitución disco de embrague	Mecánico	No reacondicionamiento														X	
		Inspección guaya de clutch	Mecánico															X	
		Inspección cojinete de empuje y sustitución de buílnera	Mecánico															X	
		Sustitución bombas de embrague	Mecánico															X	
Sustitución de líquido de frenos	Mecánico	Recomendable DOT 4														X			
Inspección de resortes	Mecánico															X			

Nota. Para consultar la totalidad de las evidencias y la documentación completa, se puede escanear el código QR incluido en los apéndices.

### 9.3 Indicadores

La implementación de un plan de mantenimiento preventivo requiere contar con indicadores que permitan evaluar tanto el cumplimiento de las actividades programadas como su impacto en la operación y en los costos. Entre ellos, uno de los más relevantes es la disponibilidad mecánica (Ecuación 1), ya que permite medir el tiempo en que los vehículos estuvieron realmente disponibles para prestar el servicio durante el periodo analizado.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo total} - \text{Tiempo fuera de servicio}}{\text{Tiempo total}} \times 100\% \quad (1)$$

Durante los tres meses de duración del plan piloto (92 días calendario), se descontaron los días de descanso obligatorio por rotación, así como los días de rutas adicionales o emergencias que tienen los vehículos entre turnos. Con este ajuste, el microbús Volkswagen Crafter (interno 138) tuvo un total de 65 días hábiles de operación, de los cuales alcanzó a trabajar en 64. El único día perdido se debió a una fuga en el retenedor del cigüeñal, mientras que el resto de las intervenciones correctivas se ejecutaron de manera programada, sin impacto en la operación. Esto arroja una disponibilidad de 98,5 %.

### **Figura 26.**

*Vehículo 138 en taller.*



Por su parte, la buseta Isuzu NPR Reward (interno 1037) contó con 72 días hábiles de operación, de los cuales trabajó en 70. Los dos días de pérdida correspondieron a la falla en la geometría del turbo, que fue solucionada mediante su reemplazo. El resto de correctivos fueron

programados, evitando afectar la programación de rutas. La disponibilidad alcanzada en este caso fue de 97,2 %.

**Figura 27.**

*Vehículo 1037 en taller.*



Estos resultados demuestran que, bajo la aplicación del plan preventivo, ambos vehículos lograron un nivel de disponibilidad superior al 97 %, lo cual está por encima de los valores de referencia recomendados para el transporte intermunicipal (entre 90 % y 95 %, según Tapia, 2018). Esto refleja una mejora directa en la confiabilidad operativa y evidencia el aporte del mantenimiento planificado en la reducción de paradas no programadas.

El segundo indicador aplicado durante el plan piloto corresponde a los kilómetros recorridos sin presencia de fallas imprevistas, lo que permite medir el nivel de confiabilidad de cada vehículo en condiciones reales de operación.

$$\text{KM medio entre fallas} = \frac{\text{Kilometraje recorrido}}{\text{Número de fallas}} \times 100\% \quad (2)$$

En el caso del microbús Volkswagen Crafter (interno 138), durante los tres meses del piloto recorrió aproximadamente 21.085 km. A lo largo de este periodo se presentaron tres fallas imprevistas: fuga por el retenedor del cigüeñal, fuga de combustible por tobera del inyector y vibraciones en el sistema de transmisión y cardán. Con ello, el indicador de kilómetros entre fallas obtenido con la Ecuación 2 se ubicó en 7.028 km/falla, evidenciando la necesidad de fortalecer la inspección y el control de estos subsistemas.

Por su parte, la buseta Isuzu NPR Reward (interno 1037) recorrió alrededor de 21.870 km en el mismo periodo, registrando cuatro fallas imprevistas: avería en el turbo, obstrucción en el sistema EGR, rotura de un muelle trasero y problemas en el sistema de inyección. En este caso, el indicador se ubicó en 5.467 km/falla, un valor ligeramente inferior al de la Crafter, lo que sugiere un mayor nivel de exigencia en el mantenimiento preventivo de los sistemas de admisión, suspensión e inyección.

Por otra parte, el cumplimiento de las rutinas programadas constituye un factor clave para evaluar la disciplina y efectividad en la ejecución del plan de mantenimiento. Este indicador, calculado con la Ecuación 3 permite medir en qué medida las actividades planificadas fueron realmente realizadas durante el periodo del piloto, reflejando el grado de adherencia al esquema preventivo.

$$\text{Cumplimiento del plan} = \frac{\text{Actividades realizadas}}{\text{Actividades programadas}} \times 100\% \quad (3)$$

En el caso del Volkswagen Crafter (interno 138), se programaron 82 actividades correspondientes a las rutinas A y B durante los tres meses de operación. El vehículo logró cumplir

con la totalidad de las 82 tareas, ya que la mayoría correspondían a inspecciones básicas, cambios rutinarios de fluidos y verificaciones sencillas que no presentaron dificultades de ejecución.

Por su parte, la Isuzu NPR Reward (interno 1037) tuvo asignadas 76 actividades en el mismo periodo. De estas, se ejecutaron 75 tareas, quedando pendiente únicamente la verificación del nivel de refrigerante del sistema de aire acondicionado.

El análisis de los costos por kilómetro se determinó con la Ecuación 4 y permite identificar el impacto económico de la ejecución del plan de mantenimiento y de las fallas imprevistas que surgieron durante el piloto. Este indicador resulta esencial para medir la eficiencia del esquema preventivo frente a los correctivos, así como para estimar la viabilidad económica de su implementación a largo plazo.

$$\text{Costo de mantenimiento por KM} = \frac{\text{Costo de mantenimiento en el piloto}}{\text{Kilometro recorrido en el piloto}} \quad (4)$$

En el caso del Volkswagen Crafter (interno 138), los gastos en mantenimiento preventivo ascendieron a aproximadamente \$2.950.000 COP, mientras que en correctivos se registraron \$5.100.000 COP. Sin embargo, este valor incluye el cambio de transmisión, una reparación de alto costo (aproximadamente \$4.500.000 COP) que responde a un intervalo de desgaste prolongado y no recurrente. Si se excluye este gasto excepcional, los correctivos se reducen a \$600.000 COP. Teniendo en cuenta que este vehículo recorrió 20.480 kilómetros, el costo por kilómetro se ubicó en 173,3 COP por kilómetro.

Por su parte, la Isuzu NPR Reward (interno 1037) presentó un gasto de \$3.350.000 COP en mantenimiento preventivo y \$4.500.000 COP en correctivos, derivados principalmente del reemplazo del turbo. Si se descuenta esta reparación por desgaste normal, los correctivos

alcanzaron \$2.400.000 COP, dado que se realizaron otras intervenciones necesarias durante el periodo del piloto. Con un recorrido de 21.870 kilómetros durante el plan piloto, su costo por kilómetro alcanzó los 262,9 COP por kilómetro.

#### **9.4 Resultados del plan piloto**

La implementación del plan piloto permitió evaluar la efectividad del mantenimiento preventivo propuesto en la flota. Durante los tres meses de prueba, los vehículos mantuvieron alta disponibilidad y confiabilidad, con mínima pérdida de rutas y un desempeño superior al promedio de la empresa. Las fallas presentadas correspondieron a desgastes normales y fueron resueltas oportunamente, sin relación directa con el plan.

Los resultados evidenciaron diferencias entre subsistemas: los vehículos grandes presentaron menor demanda en sistemas de aire acondicionado, mientras que en los de menor capacidad la intervención en pastillas de freno fue más frecuente. El sistema EGR confirmó la necesidad de cumplir con los intervalos de servicio, dado el impacto de la calidad del combustible, y en los vehículos pequeños se identificó la alineación de la dirección como un requerimiento recurrente.

En conjunto, el plan alcanzó un nivel de cumplimiento del 99,3 % y una disponibilidad del 97,2% demostrando su rigurosidad y la viabilidad de implementarlo en toda la flota. Este alto grado de adherencia permitió reducir paradas no programadas y mejorar la disponibilidad operativa. Asimismo, los resultados evidenciaron los subsistemas más críticos, lo que constituye un insumo clave para ajustar y priorizar tareas en futuras implementaciones. Aunque se observó que los costos por kilómetro pueden incrementarse cuando ocurren fallas críticas de alto valor, el mantenimiento preventivo redujo la recurrencia de correctivos menores y mantuvo la confiabilidad

del servicio. Estos hallazgos reafirman la necesidad de sostener el esquema preventivo y avanzar hacia estrategias predictivas que anticipen fallas costosas y optimicen los gastos a largo plazo.

**Figura 28.**

*Operador del vehículo 138 con el plan diligenciado.*



## 10. Conclusiones

La estrategia de mantenimiento preventivo basada en la metodología de Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), diseñada para SOTRAMAGDALENA S.A.S., cumplió el propósito de mejorar la planificación y el control del mantenimiento, aportando a la seguridad vial, la satisfacción del cliente y la eficiencia operativa de la flota.

La recopilación y análisis de información sobre los vehículos permitió identificar modos de falla frecuentes, subsistemas críticos y tiempos aproximados de ocurrencia, así como la caracterización de todos los vehículos pertenecientes a la flota.

El desarrollo del AMEF, permitió priorizar fallas según su criticidad y definir tareas específicas orientadas a reducir los riesgos más relevantes. A partir de este análisis se diseñó un plan de mantenimiento integral, organizado en rutinas por kilometraje y tiempo, alineado con las recomendaciones de fabricantes y profesionales del sector.

Como soporte a la gestión, se elaboraron formatos de seguimiento adaptados a cada vehículo, facilitando la trazabilidad y el control de las intervenciones, fortaleciendo la gestión documental y garantizando la sostenibilidad de la estrategia en el tiempo.

El plan piloto implementado validó la propuesta: se alcanzó un cumplimiento del 99,3 % y se logró una disponibilidad del 97,2%, reduciendo la recurrencia de correctivos menores, demostrando que invertir en prevención genera beneficios económicos y técnicos a largo plazo. Además, se confirmó la viabilidad del plan y se constituyó una oportunidad real de transformar la gestión del mantenimiento, sentando bases sólidas para extender la estrategia a toda la flota y evolucionar hacia enfoques más avanzados.

## 11. Recomendaciones

Se recomienda implementar progresivamente el plan de mantenimiento en toda la flota, ajustando tareas y frecuencias según los resultados obtenidos en cada grupo de vehículos. Es fundamental fortalecer la gestión documental, garantizando que los propietarios registren todas las intervenciones en los formatos establecidos, con el fin de contar con un histórico confiable de fallas y mantenimientos.

Se sugiere monitorear indicadores de desempeño, como disponibilidad, confiabilidad, cumplimiento del plan y costo de mantenimiento por kilómetro, para evaluar la efectividad de la estrategia y apoyar la toma de decisiones. Además, se recomienda profundizar en los subsistemas críticos, como frenos, sistemas de emisiones (EGR) y dirección en vehículos pequeños, priorizando acciones que reduzcan el riesgo de fallas recurrentes.

La incorporación gradual de herramientas de mantenimiento predictivo, como el muestreo de aceites, permitirá anticipar fallas costosas y optimizar recursos. Se aconseja también evaluar la adopción de un software de gestión de flotas, que facilite la trazabilidad de intervenciones, el registro histórico, la generación de alertas automáticas y la visualización en tiempo real de variables de los vehículos, no solo relacionadas con el mantenimiento, sino también con otros factores operativos.

Finalmente, se recomienda capacitar a propietarios y conductores para fomentar su participación activa en la ejecución y seguimiento del plan de mantenimiento preventivo, así como promover buenos hábitos de conducción que contribuyan a la seguridad, eficiencia y reducción de costos.

## Referencias

- Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2023). Informe anual de siniestralidad vial 2022. Recuperado de <https://ansv.gov.co>
- Álvarez Campos, L. D. (2017). El AMEF para aumentar la disponibilidad de la flota vehicular de la empresa EMTRAFESA SAC (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo). Repositorio DSpace. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/9488>
- AENOR. (2007). UNE-EN 15341: Mantenimiento. Indicadores de gestión del mantenimiento. Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Ariza, J. (2023). Diseño de una estrategia basada en la filosofía de Mantenimiento Productivo Total (TPM), que contribuya a la mejora de la mantenibilidad de la flota de vehículos en una empresa de transporte de carga en Colombia. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84351>
- Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi, D. (2009). Handbook of Maintenance Management and Engineering. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0>
- Botero, J. (1991). Gestión del mantenimiento industrial. Editorial McGraw-Hill.
- Fernández Mozo, J. M. (2019). Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF).
- Gasca, J., Pérez, R., & Rodríguez, M. (2017). Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) en sistemas industriales. Editorial Alfaomega.

- Galarza Flores, K. J. (2024). Implementación de un plan de mantenimiento de maquinarias pesadas, aplicando la metodología AMEF para medir la disponibilidad en la empresa Inteqmin (Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú). <http://hdl.handle.net/20.500.12894/10913>
- Garzón Grisales, C. (2021). Implementación de plan de mantenimiento para flota de carga. Universidad de Antioquia. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10495/25336>
- Geotab. (2025, febrero 27). Mantenimiento de flotas: guía rápida de buenas prácticas. Recuperado de <https://www.geotab.com/es-latam/blog/guia-de-mantenimiento-rapido-para-flotas>
- ISO 14224:2016. (2016). Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Ginebra, Suiza: ISO. <https://www.iso.org/standard/64076.html>
- Kenton, W. (2023). Capital Expenditure (CAPEX): Definition, Types, and Examples. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/c/capitalexpenditure.asp>
- La FM. (2023, 27 de mayo). Accidentes en transporte público ha dejado más de 1.200 víctimas este año en Colombia. <https://www.lafm.com.co/colombia/accidentes-en-transporte-publico-ha-dejado-mas-de-1200-victimas-este-ano-en-colombia>
- López, K. A. (2014). Estudio del proceso de servicio de mantenimiento de la flota vehicular liviana en el área de producción de la empresa mixta Petrocedeño, filial de Petróleos de Venezuela, S.A. Universidad de Oriente.
- Manual de Taller Isuzu. (s. f.). Manual de taller Isuzu NPR-NKR-NHR. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/476653563/Manual-De-Taller-Isuzu-Npr-nkr-nhr-pdf>

- Martínez, L. A. (2014). Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51759>
- Maya, J. A. (2018). Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64727>
- Ministerio de Transporte. (2023). Estadísticas del transporte intermunicipal de pasajeros. MinTransporte. <https://www.mintransporte.gov.co>
- Mikulak, R. J., McDermott, R., & Beauregard, M. (2017). The basics of FMEA. CRC Press.
- Montilla Montaña, C. A. (2016). Fundamentos de mantenimiento industrial. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Moubray, J. (1997). RCM II: Reliability-Centered Maintenance (2nd ed.). Industrial Press.
- Mozo Coronel, P. A., & Méndez Garcés, B. A. (2020). Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo mediante la implementación de un software para la flota vehicular del gobierno autónomo descentralizado del cantón Otavalo. Recuperado de <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10720>
- Parra, C., & Crespo, A. (2006). Análisis de criticidad en sistemas del sector de refinación aplicando AHP [Informe].
- Parra Soto, A. (2022). Implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la Confiabilidad (RCM) en máquinas en el proceso de hilandería open end en la empresa Fabricato. Universidad de Antioquia. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10495/30260>

- SAE International. (1999). SAE JA1011: Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes.
- SAE International. (2002). SAE JA1012: Evaluation Criteria for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) and Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA).
- Smith, R., & Hawkins, B. (2004). *Lean Maintenance: Reduce Costs, Improve Quality, and Increase Market Share*. Elsevier.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution* (2nd ed.). ASQ Quality Press.
- Tapia, L. (2018). *Diseño de la gestión de mantenimiento basado en AMEF, a los vehículos con sistema GLP de la flota Taxi Tours Aquarelas E.I.R.L, para reducir emisiones contaminantes*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Torres-Sainz, R., Pérez Vallejo, L. M., Trinchet Varela, C. A., Pérez Rodríguez, R., & de la Rosa, J. E. (2024). Criterios de criticidad y complejidad para la toma de decisiones de mantenimiento: una revisión de la literatura. *Ingeniería Mecánica*, 27(2), e693.
- Totten, G. E. (2017). *Handbook of Lubrication and Tribology*. CRC Press.
- Villanueva, E. D., Pérez-Tagle, J. F. D., & de León, C. L. (1989). *La productividad en el mantenimiento industrial*.
- Volkswagen AG. (s.f.). *Manual de motores 2.5 I TDI del Volkswagen Crafter*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/223959083/manual-volkswagen-motores-2-5-i-tdi-crafter-pdf>

## Apéndices

**Apéndice A.** Código QR con documentación completa.



**Nota.** Escanea el QR para acceder a la carpeta con toda la documentación del proyecto. El contenido se encuentra organizado en cuatro fases:

1. Hojas de vida y caracterización de la flota.
2. Taxonomía de vehículos, estudio de criticidad y AMEF.
3. Tareas de mantenimiento, plan general de mantenimiento y plan personalizado de mantenimiento por vehículo.
4. Evidencias del plan piloto.