



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Propuesta integral para un sistema de control y gestión en el uso del
combustible en la flota de ASFALTAR EP.**

Trabajo previo a la obtención del grado académico de Ingeniero Automotriz

**Montalván Cabrera Christian Marcelo
Muñoz Jiménez David Gustavo**

Director: Ing. Francisco Torres Moscoso, Mgtr.

Cuenca- Ecuador

2025

Dedicatoria

Lleno de regocijo, amor y mucha gratitud, dedico este proyecto a mi padre, quien confió incondicionalmente en mí y en mi proyecto de vida que fue ser ingeniero, y a pesar que durante el camino pudo perder la fe y esperanza, jamás lo hizo y siguió apoyándome.

A mi hermano Sebastián y mi primo Kevin, con quienes compartí mi vida y este sueño que tuve desde pequeño y estuvieron conmigo hasta el final, ayudándome a confiar y creer en mí.

Se lo dedico a todos y cada uno de las personas que conocí y que compartí durante este tiempo en la universidad y que de una u otra forma dejaron su huella de enseñanza en mi proceso de formación.

Especialmente me lo dedico a mí mismo, me agradezco mucho por haber siempre confiado en mí aun cuando todo parecía perdido, por no dejarme vencer ante los problemas y adversidades que se me presentaron durante mi camino hasta aquí, por tener la mentalidad y el carácter de levantarme y seguir persiguiendo mi sueño, y a mi yo del futuro para que siempre recuerde este momento como el inicio de algo que siempre soñé para mi vida, que recuerde cuando nos costó llegar hasta aquí, pero que sin importar lo conseguimos.

Christian Marcelo Montalván Cabrera.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por cada consejo y por todas las enseñanzas que me han guiado a lo largo de este camino.

A mi hermano, que ha estado conmigo en los buenos y malos momentos, brindándome siempre su compañía y su fuerza.

A mis compañeros, con quienes compartí desafíos, aprendizajes y momentos inolvidables, y con quienes hoy culmino este capítulo de nuestras vidas.

A todos ustedes les dedico este logro. Gracias a su presencia, su cariño y su constante respaldo, hoy puedo celebrar la culminación de este trayecto.

David Gustavo Muñoz Jiménez.

Agradecimientos

Con profunda estima y reconocimiento, extendo mi más sincera gratitud a mi director de tesis, el Ing. Francisco Torres Moscoso Mgst. Su dedicación docente y su inestimable guía han sido pilares fundamentales en la dirección y enriquecimiento de esta investigación.

A mi mejor amiga Nicole Quichimbo, con quien he compartido la mitad de mi vida y ha sido un pilar fundamental para poder llegar hasta aquí. De igual forma a Nicole Rodriguez, quien me ha ayudado en mi crecimiento personal y espiritual, a quien debo mucho del crecimiento, de todos los cambios y mejoras significativas que ha tenido mi vida, poder convertirme en la clase de profesional que pretendo ser, y se ha convertido en poco tiempo en un pilar fundamental de mi crecimiento profesional.

Un agradecimiento especial a la Psic.Clin. Daniela Salomé Garzón Bermeo Mgtr., quien fue mi compañera de vida durante 8 años en los cuales me ayudó a construir como hombre, forjando mucho la clase de ser humano que soy hoy en día, confió incondicionalmente en mí y en que este momento llegaría para mi vida, me ayudó a confiar también en mí y en la capacidad que tengo para poder lograr todo lo que me proponga, cuando nadie confió, siempre estuvo ella a mi lado para levantarme la cabeza y el ánimo para que no dejará de perseguir mis sueños.

Christian Marcelo Montalván Cabrera.

Quiero comenzar agradeciendo a mis padres, pilares fundamentales en mi vida académica y profesional. Su esfuerzo, confianza y amor han sido el motor que me ha impulsado siempre.

A mi hermano, por sus consejos, sus experiencias compartidas y su apoyo incondicional durante este recorrido como estudiantes foráneos.

A mis amistades, que con sus palabras, compañía y enseñanzas han contribuido tanto a mi crecimiento personal como laboral.

Y a mis maestros, quienes con paciencia, dedicación y compromiso sembraron en mí conocimientos y valores que llevaré siempre conmigo. Les estoy profundamente agradecido por su guía a lo largo de toda mi formación.

David Gustavo Muñoz Jiménez

Índice de Contenido

Índice de contenido

Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Índice de Tablas	v
Resumen	vi
Palabras clave	vi
Abstract	vii
Keywords:	vii
1. Contexto	1
1.1 ASFALTAR EP	1
2. Problemática	2
4. Objetivos	4
4.1. Objetivo general	4
4.2. Objetivos específicos.....	4
5. Alcance del trabajo.....	4
6. Introducción.....	5
6.1 Marco Teórico.....	5
6.1.1. Concepto de gestión energética y digitalización.....	6
6.1.2. Importancia del control de consumo de combustible en flotas	7
6.1.2.1. Costos operativos y rendimiento	7
6.1.2.2. Comportamiento del conductor y hábitos de conducción.....	7
6.1.2.3. Mantenimiento preventivo y estado del vehículo.....	8
6.1.2.4. Pérdidas, robos y fugas	8
6.1.3. Tecnologías y herramientas para el control de consumo	9
6.1.3.1. Sensores de nivel de combustible y medidores de flujo.....	9
6.1.3.2. Telemetría, Can Bus y dispositivos IoT	9
6.1.3.3. Plataformas de gestión de flotas (FMS) y software especializado	10
6.1.3.4. Análisis de datos y modelos predictivos.....	10
6.1.4. Modelos teóricos y conceptos relevantes	11
6.1.4.1. Teoría de la eficiencia energética	11
6.1.4.2. Control y monitoreo distribuido	11
6.1.4.3. Teoría de sistemas y retroalimentación	12

6.1.5. Antecedentes y casos prácticos	12
6.1.6. Relación con el caso de ASFALTAR EP	13
6.2. Estado del arte	14
6.2.1. Tecnologías aplicadas al control del consumo	15
6.2.2. Comportamiento del conductor y mantenimiento.....	15
6.2.3. Modelos teóricos y enfoques de control	15
6.2.4. Casos prácticos y antecedentes.....	16
6.2.5. Aplicación con el caso ASFALTAR EP	16
7. Metodología.....	16
7.1. FASE 1: Diagnóstico Inicial.....	17
7.2. FASE 2: Clasificación y levantamiento de datos	19
7.3. FASE 3: Análisis de datos.....	21
7.3.1. Resultados del consumo de la Maquinaria.....	22
7.3.2. Resultados del consumo de vehículos livianos	27
7.3.3. Análisis de resultados por tipos de máquinas	34
7.3.4. Análisis de resultados de vehículos livianos	41
7.4. FASE 4: Propuesta de mejora	44
8. Conclusiones y Recomendaciones	48
8.1. Conclusiones	48
8.2. Recomendaciones.....	49
9. Bibliografía	50

Índice de Tablas

Tabla 1. Frentes de Trabajo y Altitud.....	20
Tabla 2. Rendimiento por tipo de máquina según su fabricante y promedio en gal/hora.	21
Tabla 3. Rendimiento general y promedio de máquinas A016-A142	26
Tabla 4. Rendimiento general y promedio máquinas G011-G053	27
Tabla 5. Rendimiento general y promedio de vehículos A002 - A204.	32
Tabla 6. Rendimiento general y promedio de vehículos G001 - G023.	33
Tabla 7. Rendimientos de volquetas obtenidos y rendimiento de fabricante.	35
Tabla 8. Rendimiento de Rodillos obtenidos comparados con Rendimiento de fabricante.	36
Tabla 9. Rendimiento de máquinas Finisher obtenidos comparados con Rendimiento de fabricante.	37
Tabla 10. Rendimientos de Motoniveladoras obtenidos y comparados con Rendimiento del fabricante.	38
Tabla 11. Rendimientos de Retroexcavadoras obtenidos comparados con Rendimiento de fabricante.	39
Tabla 12. Rendimientos de Excavadoras obtenidos, comparados con Rendimiento del fabricante.	39
Tabla 13. Rendimientos de Cargadoras obtenidos comparados con el Rendimiento de fabricante.	40
Tabla 14. Rendimientos de vehículos tipo Jeep obtenidos, comparados con el Rendimiento de fabricante.	41
Tabla 15. Rendimientos de vehículos tipo camioneta obtenidos, comparados con el Rendimiento de fabricante.	43
Tabla 16. Rendimientos de cabezales obtenidos, comparados con el Rendimiento de fabricante.	44

Índice de Figuras

Figura 1. Registros de consumos en ASFALTAR EP.....	18
Figura 2. Registros de consumos en ASFALTAR EP.....	19
Figura 3. Hojas de ruta creadas para cada unidad	19
Figura 4. Total, de unidades ASFALTAR EP.....	22
Figura 5. Consumo total de la Maquinaria en galones por frente de trabajo.....	23
Figura 6. Consumo total en máquinas A016 - A142, periodo enero – agosto 2025.....	24
Figura 7. Consumo total en máquinas G011 - G053, periodo enero – agosto 2025.....	25
Figura 8. Consumo por frente de trabajo en vehículos livianos.	28
Figura 9. Consumo total en vehículos livianos A002 - A204, periodo enero – agosto 2025	29
Figura 10. Consumo total en vehículos livianos G001 – G023, periodo enero – agosto 2025	30

Índice de Anexos

Anexo 1. Link acceso a archivos Microsoft Excel con los análisis y resultados de consumo en la flota de ASFALTAR EP.....	50
---	----

Resumen

El presente trabajo desarrolla una propuesta metodológica para analizar el consumo de combustible en la flota vehicular y maquinaria pesada de ASFALTAR EP, con el fin de evaluar el consumo energético real, identificar brechas de desempeño respecto a valores de referencia y plantear una solución tecnológica para optimizar el uso del recurso. El combustible constituye uno de los principales costos operativos de la institución; sin embargo, actualmente su administración presenta limitaciones debido a la ausencia de un sistema automatizado, registros manuales, falta de trazabilidad y escasa correlación entre el consumo, operación y estado mecánico.

Se procesaron datos históricos de consumos de vehículos y maquinaria, calculando rendimientos generales y promedios (km/gal para vehículos y gal/h para maquinaria) y comparándolos con rangos del fabricante. Los resultados evidencian que una parte significativa de la flota opera con rendimientos inferiores a los recomendados, especialmente en maquinaria pesada y equipos de carga. Estos desvíos se relacionan con desgaste mecánico, mantenimiento no alineado a horas motor reales, prácticas de conducción ineficientes, operaciones en condiciones exigentes y falta de monitoreo en tiempo real. A nivel de frentes de trabajo, se identificaron consumos desbalanceados que reflejan variaciones en productividad, distancias, tiempos en ralentí y carga operacional.

Ante este escenario, se propone implementar un sistema integral de gestión energética basada en telemetría vehicular, acceso a la red CAN, sensorización IoT en el abastecimiento, integración con software CMMS y generación de indicadores energéticos. Esta arquitectura permitiría monitoreo continuo, trazabilidad completa del combustible y mantenimiento predictivo. Finalmente, se plantea la creación de un centro de Monitoreo Energético que centraliza la supervisión y facilite decisiones basadas en datos, estimando mejoras del 20-30% en consumo, reducción de costos y mayor disponibilidad operativa.

Palabras clave

Consumo de combustible, eficiencia energética, telemetría vehicular, horas motor, mantenimiento predictivo, trazabilidad energética.

Abstract

This research presents a methodological framework for the technical-operational analysis of fuel consumption in the vehicle fleet and heavy machinery of ASFALTAR EP. The objective is to determine the institution's actual energy performance, identify operational deviations with respect to manufacturer specifications, and propose an integrated technological solution to optimize fuel use. Fuel represents one of the organization's highest operational costs, yet its current management is limited by manual recording processes, lack of traceability, and the absence of real-time monitoring systems.

Historical fuel consumption data from light vehicles, trucks, and heavy machinery were processed to calculate general and average fuel efficiencies (km/gal for vehicles and gal/h for machinery). Results show that a significant portion of the fleet operates below recommended efficiency values due to mechanical wear, inadequate maintenance scheduling based on real engine hours, inefficient driving practices, non-optimal load conditions, and the lack of continuous monitoring. Consumption variability across work sites also revealed operational asymmetries related to terrain, idling time, productivity levels, and mechanical demand.

In response, this study proposes a comprehensive energy management architecture integrating vehicular telemetry, CAN bus data extraction, IoT-based fuel dispensing control, and linkage with a CMMS platform for predictive maintenance. This system enables real-time monitoring, automated fuel traceability, and the creation of institutional energy indicators. Additionally, the establishment of an Energy Monitoring Center is recommended to consolidate fleet supervision and support data-driven decision-making. The proposed implementation is expected to improve fuel efficiency by 20–30%, reduce operational costs, and enhance fleet availability, contributing to ASFALTAR EP's operational sustainability and alignment with national energy efficiency policies.

Keywords:

Fuel consumption, energy efficiency, vehicle telemetry, preventive maintenance, engine hours, energy traceability.

1. Contexto

En la actualidad, la gestión eficiente de los recursos energéticos en empresas con flotas vehiculares es un factor determinante para su sostenibilidad. Dentro de este contexto, el control sobre el consumo de los recursos energéticos en las flotas vehiculares y maquinaria pesada representa un desafío, ya que incide directamente en la capacidad operativa y costos de operación, por esta razón, se hace necesario contar con un sistema de control para garantizar su correcto funcionamiento y contar con la disponibilidad de toda la flota en el cumplimiento de obras y proyectos de alto impacto social.

Según Zambrano et al. (2021), este consumo puede representar hasta el 30% de los costos totales de operación de una empresa dedicada a la construcción de obras civiles. Factores como el tipo de maquinaria, el terreno de operación, las condiciones climáticas y los hábitos de operación de los conductores afectan significativamente el volumen de consumo que se genera por cada unidad. Diferentes estudios resaltan que una inadecuada gestión en el uso del combustible no solo incrementa los costos operativos de la empresa, sino que también eleva las probabilidades de generar tiempos inactivos en la flota, reduciendo la sostenibilidad de la operación.

El control del consumo es un proceso estratégico que implica medir, analizar y optimizar el uso y consumo del recurso energético dentro de las operaciones diarias. Arévalo y Suárez (2022), en su artículo destacan que para que exista un sistema de control eficiente, éste debe abarcar desde el almacenamiento hasta el consumo en campo, permitiendo detectar fugas, desviaciones y malas prácticas operativas por parte de quienes las operan.

1.1 ASFALTAR EP

ASFALTAR EP, es una empresa pública y una de las arterias de la Prefectura del Azuay, sus oficinas principales se encuentran dentro de la Gobernación Zonal 6 ubicada en Los Manzaneros 2-04 entre Paseo 3 de noviembre y Gran Colombia. Cuenta con su propio taller de mantenimiento automotriz, el cual se encuentra dentro de las instalaciones de AGROAZUAY ubicada en las calles Av. Max Uhle y Raúl Andrade (Frente a la Empresa eléctrica). Su gerente actual es el Ing. Jaime Ordoñez Andrade, y por encima de él, únicamente se encuentra el Prefecto del Azuay, el Sr. Jota Lloret Valdiviezo. Por su parte, el taller de mantenimiento cuenta con su propio equipo de trabajo conformado por mecánicos, eléctricos, operadores de máquinas, y dirigidos por el Jefe de Taller, Ing. José Luis Montesdeoca, también, dentro del taller de mantenimiento existen otros departamentos independientes como son: bodega de repuestos, compras públicas y bodega de archivos.

Su principal función a desarrollar es la construcción y mantenimiento de carreteras en la provincia del Azuay, aunque en la actualidad se encuentra expandiendo hacia otras provincias como son Cañar y Guayas. Cuenta con una extensa flota operativa, la cual se reparte entre vehículos y camiones livianos y lo más importante la maquinaria pesada para construcción sumando un total de 65 unidades las cuales fueron tomadas en cuentas para el muestreo y análisis de datos.

2. Problemática

En la actualidad, el control eficiente del consumo de combustible en flotas operativas representa un factor crítico en la gestión de recursos energéticos, pues incide directamente en la productividad, los costos operativos y la sostenibilidad institucional (Hernández, 2021). En el caso de ASFALTAR, el consumo de combustible constituye un parámetro esencial dentro de la gestión de su flota vehicular, que, al no ser monitoreado con precisión, ha generado un impacto negativo en el rendimiento operativo de la empresa. La ausencia de un sistema automatizado para el control y seguimiento del combustible ha derivado en ineficiencias relacionadas con el uso del recurso, altos costos logísticos y baja capacidad de respuesta en la toma de decisiones (Hernández, 2021).

Actualmente la gestión del combustible en ASFALTAR EP se realiza mediante procedimientos manuales, lo que impide registros en hojas de cálculo y reportes físicos de abastecimientos. Este método genera inconsistencias en la información, errores humanos y falta de trazabilidad del recurso, dificultando la identificación de patrones de consumo y la evaluación del desempeño energético de las unidades operativas. Cárdenas y Díaz (2022) destacan que la falta de digitalización en los procesos de gestión de combustible provoca una reducción significativa en la eficiencia operativa y una pérdida de control sobre la trazabilidad del recurso, lo cual incrementa la posibilidad de desviaciones, pérdidas o sobreconsumos no justificados.

La deficiencia en la trazabilidad energética del combustible en ASFALTAR EP se traduce en dificultades para la planificación logística, la programación de mantenimientos preventivos y la gestión presupuestaria. Según Álvarez, Guzmán y López (2020), los sistemas manuales de control aumentan el margen de error en los cálculos de consumo y de rendimiento, reduciendo la capacidad institucional para implementar estrategias de eficiencia y dificultando el cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad energética. Esta falta de sistematización provoca que los indicadores de consumo no sean precisos ni comparables, impidiendo una gestión basada en evidencia y resultados verificables.

A nivel técnico, la problemática puede analizarse a través de un esquema de causa efecto. Las causas principales identificadas son la ausencia de un sistema telemétrico de medición, la falta de integración de la red CAN en las unidades vehiculares y la inexistencia de una plataforma IoT para el seguimiento en tiempo real del consumo y rendimiento. Estas causas generan efectos directos como la ineficiencia energética, el incremento de costos operativos, la baja disponibilidad de la flota y un aumento en las emisiones contaminantes por uso ineficiente del diésel. Bar (2025), afirma que la incorporación de tecnologías telemáticas y sistemas IoT en la gestión de flotas permite reducir el consumo de combustible hasta en un 15%, mejora la trazabilidad de los datos energéticos y aumenta la eficiencia operativa mediante la identificación automática de patrones de consumo y la optimización de rutas.

De manera adicional, la ausencia de un control digital limita la alineación de ASFALTAR EP con las políticas públicas de sostenibilidad y eficiencia energética promovidas por el estado ecuatoriano. El Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador 2030 establece la necesidad de adoptar tecnologías de monitoreo y análisis de datos que permitan reducir el consumo energético en los sectores público y privado mediante sistemas inteligentes de control y optimización del uso de recursos (Ministerio de Energía y Minas., 2021). La falta de adaptación de la empresa a estas directrices no solo impacta su eficiencia operativa, sino también su

responsabilidad ambiental e institucional frente a los objetivos nacionales de reducción de emisiones y sostenibilidad.

En consecuencia, ASFALTAR EP enfrenta una problemática estructural derivada de la falta de digitalización en la gestión del combustible, la ausencia de sistemas de monitoreo y la carencia de indicadores automatizados de rendimiento energético. Esta situación ha generado un círculo vicioso de ineficiencia operativa y limitación tecnológica que obstaculiza la modernización de la empresa. Por lo tanto, se hace necesario implementar un sistema integral de gestión del consumo de combustible, basado en tecnologías telemáticas, sensores de red CAN, y plataformas IoT que permitan recopilar, analizar y optimizar el uso del recurso energético en tiempo real, garantizando así la sostenibilidad, eficiencia y competitividad institucional de ASFALTAR EP.

3. Justificación

El consumo de combustible en flotas operativas constituye en un factor determinante en el rendimiento y la sostenibilidad de empresas dedicadas al transporte, construcción o logística. Diversos autores destacan que el control inadecuado del recurso energético genera incrementos en los costos operativos, disminuye la eficiencia y afecta la competitividad de las empresas (Álvarez, P., Jiménez, R., & Rojas, F., 2020.). En el caso de ASFALTAR EP, la ausencia de un sistema integral de gestión de combustible ha provocado retrasos en los procesos operativos, inconsistencias en los registros y una limitada capacidad de planificación estratégica, lo cual evidencia la necesidad de implementar herramientas tecnológicas que permitan optimizar el consumo de diésel en su flota vehicular.

Esta problemática radica en que actualmente los procesos de abastecimiento se llevan de forma manual, lo que incrementa el margen de error y reduce la confiabilidad de los datos. (Cárdenas, M., & Díaz, L., 2022) señalan que la falta de digitalización en la gestión de recursos críticos como el combustible ocasiona ineficiencias, consumos no controlados y dificultades en la trazabilidad del recurso energético. Estas deficiencias impactan directamente en la eficiencia de la planificación logística y en la capacidad de toma de decisiones fundamentadas en información verificada; lograr generar un adecuado control y planificación de la flota para la optimización de recursos energéticos trae consigo no solo mejoras financieras, sino también contribuye a la reducción de emisiones contaminantes promoviendo prácticas sostenibles en el sector automotriz, además, plantear un modelo de gestión para el consumo de combustible de la flota y pueda convertirse en una herramienta replicable para empresas públicas y privadas del sector de infraestructura.

Asimismo, la falta de sistematización en la gestión del flujo de combustible, desde su almacenamiento hasta el consumo en los frentes operativos, no solo afecta la eficiencia económica de la institución, sino que también aumenta su huella de carbono en el ambiente. Investigaciones recientes subrayan que la gestión energética eficiente de las flotas es un componente clave para el control de emisiones de gases de efecto invernadero y para la sostenibilidad institucional (García, J., & Méndez, A., 2021). Esto cobra mayor relevancia considerando que las políticas públicas nacionales demandan de las empresas una alineación con los objetivos de eficiencia energética y reducción de emisiones planteados en el Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador (Ministerio de Energía y Minas, 2021).

Por lo tanto, resulta imprescindible la implementación de un sistema de control digitalizado que permita a ASFALTAR EP gestionar de manera eficiente el recurso energético. Este sistema

garantizará una mejor trazabilidad en el consumo, reducción de pérdidas económicas, mejora en la toma de decisiones estratégicas y alineación con estándares de sostenibilidad ambiental. La justificación de este proyecto, entonces, radica en su capacidad para mejorar la eficiencia operativa de la empresa, reducir costos y contribuir a una gestión más responsable del combustible en el marco de las políticas de eficiencia energética vigentes.

El objetivo general de esta investigación se basa en el desarrollo de un modelo de gestión que le permitirá a la empresa la optimización en el consumo de combustible, así como garantizar la disponibilidad de sus vehículos y máquinas. Esto basado en un enfoque metodológico, en el análisis de datos registrados y modelos de predicción que faciliten la toma de decisiones estratégicas.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

- Generar una propuesta integral para un sistema de control y gestión de consumo de combustible para la flota de ASFALTAR EP.

4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el sistema de almacenamiento, despacho y consumo de combustible dentro de ASFALTAR EP.
- Clasificación de la flota y recolección de datos en base al software adquirido por la empresa.
- Cuantificar el consumo de combustible por tipo de vehículo, frente de trabajo, y distancia recorrida.
- Generar una propuesta integral para el control de consumo de combustible.

5. Alcance del trabajo

El presente trabajo de titulación tiene como alcance el desarrollo de una propuesta técnica integral para la implementación de un sistema digital de control, monitoreo y análisis del consumo de combustible en la flota vehicular operativa de ASFALTAR EP, empresa pública encargada de la ejecución de obras viales, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura urbana en el cantón Cuenca, provincia del Azuay.

El estudio se enfoca en el análisis de los procesos actuales de abastecimiento, almacenamiento, distribución y consumo del recurso energético (diésel), así como en la evaluación de las deficiencias existentes en el control manual de dichos procesos. Se busca establecer un estructura tecnológica y metodológica que permita la transición desde un sistema de gestión tradicional basado en registros manuales hacia un modelo automatizado, apoyado en tecnologías de sensorización, telemetría, Internet de las cosas (IoT) y plataformas de gestión de flotas (FMS, Fleet Management Systems).

A nivel funcional, el sistema propuesto busca garantizar la trazabilidad completa del combustible, desde su almacenamiento en tanques principales hasta su utilización final en cada unidad. El sistema deberá permitir el registro de abastecimientos, el monitoreo del consumo individual, la identificación de patrones de sobreconsumo, la detección de pérdidas, y un fácil análisis para generar reportes operativos y energéticos periódicos.

El alcance del proyecto incluye la caracterización técnica de la flota vehicular de ASFALTAR EP, considerando variables operativas como tipo de unidad, capacidad de carga, frecuencia de uso, kilometraje promedio, consumo energético y desempeño mecánico. A partir de esta caracterización, se determinan los requerimientos técnicos para la selección e integración de sensores de nivel y flujo de combustible, módulos de comunicación de datos (CAN Bus), y sistemas de adquisición y procesamiento de información en tiempo real.

El alcance del trabajo no contempla la implementación física del sistema, pero sí establece los lineamientos técnicos, estructurales, funcionales y económicos necesarios para su ejecución futura. En tal sentido, se incluyen las recomendaciones de uso de los componentes tecnológicos requeridos, la descripción del uso de software de gestión adquirido por la empresa (SisMAC), la estimación de costos de inversión y operación, y las recomendaciones técnicas para su integración gradual en la empresa.

Además, el trabajo delimita el ámbito de estudio exclusivamente a la flota vehicular de ASFALTAR EP dedicada a las operaciones de infraestructuras viales, incluyendo maquinaria pesada, vehículos livianos y equipos estacionarios, aunque el modelo planteado es escalable y replicable para otras flotas en operaciones similares como transporte y logística.

El estudio se enmarca dentro de las políticas nacionales de eficiencia energética y sostenibilidad ambiental, alineándose con los objetivos establecidos en el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2030 del Ecuador, emitido por el Ministerio de Energía y Recursos No Renovables (2021). El proyecto pretende aportar a la modernización de la gestión energética institucional y a la reducción de la huella de carbono derivada de las operaciones de transporte.

6. Introducción

6.1 Marco Teórico

El análisis de la gestión del consumo de combustible en flotas operativas requiere una revisión de conceptos, teorías y antecedentes que sustentan la importancia de este recurso como eje estratégico en la eficiencia operativa, la sostenibilidad económica, y el cuidado ambiental de las organizaciones. En este sentido el marco teórico se fundamenta en estudios relacionados con la gestión energética, la digitalización de procesos, la optimización de recursos en el transporte y el impacto de las tecnologías emergentes en la administración de flotas. Estos referentes permiten comprender que el control del consumo de combustible no es únicamente un aspecto técnico, sino un componente integral que articula factores económicos, logísticos, ambientales y tecnológicos (Bird & Bird, 2020; ENGIE, 2025).

6.1.1. Concepto de gestión energética y digitalización.

La gestión energética en el ámbito automotriz se entiende como el conjunto de procesos, prácticas y tecnologías aplicadas u orientadas a garantizar un uso eficiente de los recursos energéticos, en este caso el diésel, dentro de los sistemas de transporte. En las flotas vehiculares, este concepto cobra relevancia, debido a que el consumo de combustible constituye uno de los indicadores más sensibles en la evaluación de la eficiencia operativa, la sostenibilidad económica y el impacto ambiental de la empresa. De acuerdo con estudios recientes, el combustible puede representar entre el 25% y el 40% de los costos operativos totales de una flota, lo que lo convierte en un parámetro crítico que debe ser monitoreado y optimizado de manera continua. (Cenfollog, 2023).

La incorporación de la digitalización en la gestión energética ha revolucionado la forma en que se administran los recursos en el sector del transporte, bajo este enfoque, conocido como Energía 4.0, se integran tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), el Big Data, la inteligencia artificial y los sistemas de telemetría vehicular para recopilar, analizar y procesar datos en tiempo real, lo cual permite establecer patrones de consumo, detectar anomalías y tomar decisiones basadas en evidencia (Bird & Bird, 2020; ENGIE, 2025). Estas herramientas digitales no solo mejoran el rendimiento energético, sino que también potencian la capacidad de predicción de consumos futuros y facilitan la planificación estratégica.

En el contexto de las flotas vehiculares, la digitalización permite implementar sistemas de gestión de flotas (Fleet Management Systems, FMS), los cuales integran sensores de combustible, módulos de geolocalización y plataformas de análisis para monitorear de manera simultánea varias variables como el consumo, la velocidad, los hábitos de conducción y el estado mecánico del vehículo. Según el Banco de Desarrollo Iberoamericano, la adopción de estas tecnologías en América Latina representa un factor clave para reducir costos operativos, aumentar la competitividad, y alinear las operaciones con objetivos de sostenibilidad (Calatayud, 2022).

Por otra parte, la digitalización en la gestión energética, no debe entenderse únicamente como un proceso tecnológico, sino también como una transformación organizacional. Su implementación requiere capacitación del personal, rediseño de procesos internos y establecimiento de indicadores de desempeño (KPIs) que permitan evaluar con precisión los resultados obtenidos. La literatura especializada destaca que, en medida en que las empresas logran integrar estas herramientas digitales en su operación diaria, se incrementa su capacidad de respuesta a las variaciones del mercado energético y se mejora la trazabilidad del recurso, lo cual contribuye con la sostenibilidad institucional (García, J., & Méndez, A., 2021).

En conclusión, la gestión energética y la digitalización constituyen pilares fundamentales en la administración de flotas vehiculares modernas. La integración de tecnologías avanzadas posibilita un control riguroso del consumo de combustible, incrementa el rendimiento operativo y fortalece la sostenibilidad ambiental de la empresa. En el caso de ASFALTAR EP, avanzar hacia la implementación de un sistema digital de control de consumo de combustible permitiría superar las limitaciones

actuales de los registros manuales, optimizar el rendimiento de la flota y alinearse con las políticas públicas nacionales de eficiencia energética.

6.1.2. Importancia del control de consumo de combustible en flotas

La gestión eficiente del consumo de combustible en flotas operativas representa un factor estratégico para garantizar la sostenibilidad económica, ambiental y logística de las organizaciones. En el caso de las empresas de transporte y obras públicas, como ASFALTAR EP, este recurso constituye uno de los principales costos operativos y, a la vez, un indicador clave del nivel de eficiencia de los procesos internos.

Un control inadecuado no solo deriva en sobre costos económicos, sino también en la pérdida de competitividad, baja confiabilidad del servicio y un mayor impacto ambiental por el incremento innecesario de emisiones contaminantes. Por ello, la literatura especializada enfatiza en la necesidad de implementar sistemas de monitoreo digital y trazabilidad digital, capaces de registrar, analizar y optimizar el uso del recurso energético en cada etapa del proceso operativo (García, J., & Méndez, A., 2021).

6.1.2.1. Costos operativos y rendimiento

El combustible puede representar entre el 20 % y el 30 % del gasto total de operación de una flota vehicular, lo que lo convierte en el rubro más sensible en la gestión de transporte (Cenfolog, 2023). En contexto, donde no existen controles adecuados, este porcentaje puede aumentar de manera significativa, debido a desviaciones, pérdidas no contabilizadas y falta de trazabilidad en el consumo, lo que dificulta la toma de decisiones estratégicas dentro de la empresa.

La adopción de sistemas digitales de control permite detectar consumos anormales, sobre costos ocultos y oportunidades de optimización. Un ejemplo ampliamente documentado es la optimización de rutas mediante la reducción de trayectos innecesarios, la identificación de rutas alternativas menos congestionadas y la disminución de tiempos improductivos, es posible alcanzar reducciones sustanciales en el consumo de combustible (Geotab, 2020). Estas estrategias no solo reducen los costos directos, sino también aumentan la productividad operativa, al garantizar una mayor disponibilidad de las unidades para la ejecución de tareas prioritarias.

6.1.2.2. Comportamiento del conductor y hábitos de conducción

El estilo de conducción constituye uno de los factores más determinantes en la variación del consumo de combustible. Aceleraciones bruscas, frenados constantes, velocidades elevadas y excesivos tiempos en ralentí impactan de manera directa y negativa en el rendimiento energético del vehículo. Investigaciones realizadas por el

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) señalan que la conducción agresiva puede incrementar el consumo hasta en un 50 % respecto a una conducción eficiente (El País, 1995).

Frente a esta realidad, se han desarrollado programas de capacitación en conducción eficiente que buscan modificar los hábitos de los operadores, fomentando una conducción más estable y consciente del uso energético. Además, el uso de herramientas tecnológicas como la telemetría vehicular permite monitorear en tiempo real parámetros de aceleración, velocidad, frenado y ralentí, facilitando la retroalimentación inmediata al conductor y promoviendo un manejo más responsable. Según Michelin Connected Fleet (2025), estas prácticas no solo disminuyen el consumo de combustible, sino que también prolongan la vida útil de los vehículos y contribuyen a la seguridad vial.

6.1.2.3. Mantenimiento preventivo y estado del vehículo

El estado mecánico de los vehículos en una flota operativa guarda una relación directa con el nivel de consumo de combustible. Elementos aparentemente simples, como la presión inadecuada de los neumáticos, pueden incrementar la resistencia a la rodadura y, por ende, incrementar el consumo energético. De igual manera filtros sucios, inyectores desgastados o un mal funcionamiento del motor pueden generar ineficiencias que, acumuladas, impactan de manera directa en los costos de operación.

La implementación de programas de mantenimiento preventivo basados en cronogramas y apoyados en sistemas de gestión digital resulta esencial para mantener las unidades dentro de sus rangos óptimos de operación Michelin Connected Fleet (2025), destaca que un mantenimiento oportuno no solo reduce el gasto de combustible, sino que también incrementa la confiabilidad de la flota, disminuye el riesgo de averías en ruta y asegura un mejor aprovechamiento de la inversión en activos vehiculares.

6.1.2.4. Pérdidas, robos y fugas

El combustible es un recurso altamente vulnerable a pérdidas invisibles, robos internos o externos y fugas técnicas. Cuando la gestión de abastecimiento se lleva a cabo de manera manual y sin herramientas de trazabilidad, resulta complejo identificar desviaciones entre los volúmenes teóricos y los reales. Esto genera una pérdida de control sobre el recurso, afectando tanto la planificación logística como la sostenibilidad económica de la organización.

Los sistemas modernos de gestión digital permiten establecer alarmas automáticas ante consumos anómalos, comparando los registros de carga con el rendimiento esperado del vehículo. Además, el monitoreo satelital y los sensores de nivel de tanque posibilitan la detección temprana de extracciones indebidas o fugas técnicas, lo que fortalece la protección del activo energético. Como señala Mapon (2018), la

implementación de este tipo de tecnologías no solo reduce pérdidas, sino que también genera confianza y transparencia en la gestión interna de combustible.

6.1.3. Tecnologías y herramientas para el control de consumo

El avance de la digitalización en el sector automotriz y de transporte ha permitido que el control del consumo de combustible evolucione hacia sistemas más precisos, confiables y automatizados. Hoy en día, las flotas disponen de un conjunto de tecnologías interconectadas, que incluyen sensores, dispositivos de comunicación, plataformas digitales y herramientas de análisis de datos (ENGIE, 2025). Estas tecnologías no solo permiten registrar de manera detallada el flujo energético, sino que también facilitan la optimización operativa, la reducción de costos y la mejora de la sostenibilidad ambiental.

6.1.3.1. Sensores de nivel de combustible y medidores de flujo

La instalación de sensores en los tanques de combustible constituye la base del monitoreo moderno en flotas. Estos dispositivos permiten conocer en tiempo real la cantidad de combustible disponible, registrar cada llenado, detectar extracciones indebidas y alertar sobre posibles fugas. Los medidores de flujo, por su parte, ofrecen información detallada del consumo medio e instantáneo, la cual puede ser transmitida tanto al conductor como al sistema central de gestión.

De acuerdo con el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2005), este tipo de herramientas son esenciales para lograr un control riguroso del recurso, ya que permiten una mayor trazabilidad y reducen el margen de error en la gestión manual. La precisión en la medición facilita establecer parámetros de rendimiento energético y detectar desviaciones que de otra manera pasarían inadvertidas.

6.1.3.2. Telemetría, Can Bus y dispositivos IoT

Los vehículos modernos están equipados con sistemas internos de comunicación como el Controller Area Network bus (CAN bus), que registra datos técnicos del motor, la velocidad, las revoluciones, la temperatura y múltiples parámetros relacionados con el desempeño mecánico. Al integrar esta información con dispositivos del Internet de las Cosas (IoT), es posible correlacionar el comportamiento del vehículo con el consumo energético (Geotab, 2020).

Las soluciones de telemetría recopilan los datos en tiempo real y los transmiten a plataformas de gestión de flotas (FMS), donde se procesan y visualizan en paneles de control. Según Calatayud (2022), esta integración no solo proporciona un panorama detallado de la eficiencia operativa, sino que también posibilita identificar

patrones de consumo vinculados a estilos de conducción, condiciones de la ruta o fallas mecánicas incipientes.

6.1.3.3 Plataformas de gestión de flotas (FMS) y software especializado

Los Fleet Management Systems (FMS) o sistemas de gestión de flotas son el núcleo central de la digitalización del consumo de combustible. Estas plataformas integran datos de múltiples fuentes: sensores de nivel de tanque, GPS, telemetría, registros de mantenimiento y análisis de rutas. (Geotab, 2020).

Entre sus principales funciones se encuentran:

- Establecer indicadores clave de desempeño (KPIs) de consumo para cada vehículo.
- Detectar anomalías o desviaciones respecto a los consumos esperados.
- Generar alertas automáticas ante consumos excesivos o fugas.
- Comparar rendimientos entre vehículos, conductores o periodos de tiempo.
- Simular rutas o escenarios alternativos de ahorro energético.

El impacto de estos sistemas es ampliamente documentado. Según The Logistics World (2024), la implementación de FMS ha demostrado reducir entre un 7 % y un 15% del consumo de combustible, gracias a la corrección de hábitos de conducción, la optimización de rutas y la detección de pérdidas no visibles. De igual manera, Mapon (2018) y TSO Mobile (2022), resaltan que la digitalización del control de flotas fortalece la eficiencia, incrementa la disponibilidad de las unidades y garantiza un uso más responsable de los recursos.

6.1.3.4 Análisis de datos y modelos predictivos

Una de las mayores ventajas de la digitalización aplicada al consumo de combustible es la posibilidad de realizar análisis avanzado de datos. Herramientas como la minería de datos, la estadística aplicada y los algoritmos de machine learning permiten identificar patrones de ineficiencia, anticipar consumos futuros y predecir fallas en los sistemas de inyección o combustión (Barbado & Corcho, 2021).

Este enfoque transforma la gestión de reactiva a proactiva, permitiendo que las decisiones se basen en modelos predictivos en lugar de simples registros históricos. Según ENGIE (2025) y Enertic (2025), la digitalización energética potencia la eficiencia mediante el uso de big data, algoritmos de optimización y automatización, contribuyendo así a la reducción de emisiones contaminantes y a la sostenibilidad de las operaciones.

6.1.4. Modelos teóricos y conceptos relevantes

El análisis del consumo de combustible en flotas de transporte no puede limitarse únicamente a aspectos técnicos o prácticos; requiere también el sustento de modelos teóricos que permitan comprender, estructurar y optimizar los procesos de control. Estos marcos conceptuales proporcionan bases para aplicar metodologías de gestión más eficientes y, al mismo tiempo, fundamentan la pertinencia de incorporar tecnologías digitales en la gestión de flotas. A continuación, se detallan tres enfoques clave: la teoría de la eficiencia energética, el control y monitoreo distribuido, y la teoría de sistemas con retroalimentación.

6.1.4.1. Teoría de la eficiencia energética

La eficiencia energética se entiende como la capacidad de obtener el mayor rendimiento posible en términos de servicios o producción, utilizando la menor cantidad de recursos energéticos (Pérez-Lombard et al, 2017). En el ámbito del transporte, este principio se traduce en maximizar el kilometraje útil recorrido y la carga transportada por unidad de combustible consumida.

Aplicar este enfoque en flotas implica reducir los desperdicios energéticos a través de la optimización de rutas, el uso de vehículos eficientes, el mantenimiento preventivo y la digitalización de procesos de monitoreo. Así, las tecnologías telemáticas y los sistemas de gestión permiten que la eficiencia deje de ser un concepto abstracto para convertirse en un objetivo cuantificable y medible (International Energy Agency (IEA), 2021). En este sentido, el modelo de eficiencia energética constituye un marco que orienta a las empresas hacia una operación más sostenible y económicamente rentable, además de contribuir a la reducción de emisiones contaminantes.

6.1.4.2. Control y monitoreo distribuido

El paradigma del control distribuido proviene de los sistemas de automatización, donde diferentes nodos, sensores o dispositivos actúan de manera coordinada para alimentar información a un centro de control (Marinescu, 2017). En el caso de las flotas de transporte, cada vehículo, motor o tanque de combustible puede considerarse un nodo autónomo que envía información en tiempo real sobre parámetros de consumo, estado mecánico y patrones de conducción.

La clave de este modelo es que la información no se centraliza únicamente al final del proceso, sino que fluye constantemente hacia un sistema de gestión que la procesa, analiza y responde con acciones correctivas inmediatas, como alertas de consumo excesivo o recomendaciones de mantenimiento. Esto permite un nivel de adaptabilidad superior frente a modelos tradicionales, donde el control dependía de reportes manuales o inspecciones periódicas. En consecuencia, la adopción de un

esquema de control distribuido no solo mejora la precisión de la supervisión, sino que incrementa la capacidad de respuesta de las empresas frente a posibles anomalías o pérdidas de combustible (Calatayud, 2022).

6.1.4.3. Teoría de sistemas y retroalimentación

La teoría general de sistemas, planteada por Bertalanffy (1968), sostiene que todo sistema debe comprenderse como un conjunto de elementos interrelacionados que persiguen un objetivo común. En el caso de la gestión del consumo de combustible, el sistema está conformado por los vehículos, los conductores, las rutas, las condiciones externas (clima, tráfico) y las herramientas tecnológicas de monitoreo.

Dentro de este enfoque, la retroalimentación es un elemento esencial: el sistema mide una variable (ejemplo: consumo de combustible), la compara contra un estándar (ejemplo: consumo esperado en condiciones normales), y, con base en esa comparación, ajusta los parámetros de operación (hábitos de conducción, planificación de rutas, programación de mantenimientos). Posteriormente, vuelve a medir para verificar si las acciones implementadas han sido efectivas. (Mărcuță & MoldStud Research Team, 2025).

Este ciclo continuo de medición, comparación, ajuste y verificación constituye un mecanismo de mejora permanente sin sistemas digitales, este proceso suele ser lento, costoso y propenso a errores humanos. Sin embargo, con la incorporación de sensores, telemetría y análisis predictivos, la retroalimentación se vuelve casi inmediata, lo que fortalece la eficiencia del sistema y asegura una mayor sostenibilidad operativa (Stermann, 2000).

6.1.5. Antecedentes y casos prácticos

Diversas investigaciones y experiencias empresariales han demostrado que la adopción de sistemas de gestión digital para el control del consumo de combustible en flotas vehiculares genera resultados positivos tanto en la eficiencia operativa como en la sostenibilidad económica y ambiental.

En América Latina, algunas compañías de transporte han optado por la implementación de Fleet Management Systems (FMS), lo que ha permitido digitalizar el monitoreo del combustible y optimizar la planificación logística. Estos sistemas han mostrado mejoras en la eficiencia operativa al reducir tiempos improductivos y optimizar la utilización de recursos energéticos (Calatayud, 2022).

En el ámbito del transporte automotriz ligero, una práctica consolidada es la estrategia de seguimiento de tendencias de consumo, acompañada de herramientas de

optimización de rutas y alertas automáticas ante excesos de ralentí. Este enfoque ha demostrado ser una solución efectiva para reducir los costos de operación, ya que promueve hábitos de conducción más eficientes y permite a las empresas adoptar medidas preventivas frente a consumos excesivos (Connected Fleet / Michelin., 2025).

De igual forma, proveedores especializados como Mapon han reportado que la utilización de módulos digitales para el control de combustible puede generar reducciones del consumo de hasta un 10 %. Estos resultados reflejan cómo la incorporación de software especializado contribuye a una gestión más transparente, con datos en tiempo real que facilitan la toma de decisiones estratégicas (Mapon, 2018).

Cabe destacar que el éxito de estas implementaciones no depende únicamente de la disponibilidad tecnológica. Factores como la cultura organizacional, la capacitación del personal, la infraestructura digital y la planificación estratégica juegan un papel fundamental en la efectividad de los sistemas de control. Sin una adecuada integración entre la tecnología y la gestión humana, los resultados pueden ser limitados, lo cual evidencia la importancia de un enfoque integral para garantizar una transición efectiva hacia la digitalización de procesos críticos en la gestión de flotas.

6.1.6. Relación con el caso de ASFALTAR EP

El análisis del marco teórico demuestra que la problemática de consumo de combustible en ASFALTAR EP puede abordarse mediante la integración de tecnologías digitales, buenas prácticas operativas y estrategias de gestión basadas en evidencia. La organización enfrenta desafíos relacionados con la eficiencia operativa, la trazabilidad del combustible y la optimización de la flota, los cuales encuentran respaldo en los conceptos y modelos desarrollados anteriormente.

En primer lugar, se requiere la implementación de un sistema digital de gestión de flotas (FMS) complementado con sensores de nivel de combustible y dispositivos IoT, que permita monitorear el consumo en tiempo real, detectar desviaciones y generar indicadores precisos de eficiencia energética por vehículo y por ruta. Esta infraestructura tecnológica constituye la base para la toma de decisiones estratégicas y la reducción de pérdidas asociadas a consumos no controlados (Calatayud, 2022; Mapon, 2018).

En segundo lugar, la eficiencia del sistema depende de la intervención en el comportamiento de los conductores, promoviendo hábitos de conducción eficiente. La capacitación y el monitoreo constante buscan reducir aceleraciones y frenadas bruscas, minimizar tiempos de ralentí y optimizar el uso del combustible, alineándose con los principios de eficiencia energética y telemetría avanzada (Michelin Connected Fleet., 2025; IDAE, 2005).

El mantenimiento preventivo constituye otro pilar fundamental. La programación regular de revisiones mecánicas asegura que los vehículos operen dentro de parámetros óptimos, evitando incrementos innecesarios en el consumo y prolongando la vida útil de los activos. Esta práctica se alinea con los modelos de retroalimentación sistémica, en los que la medición y el ajuste continuo permiten un ciclo de mejora constante (Stermán, J. D., 2000; Michelin Connected Fleet, 2025).

Asimismo, la trazabilidad del combustible desde su almacenamiento hasta el consumo final es crítica para prevenir pérdidas, robos o inconsistencias en los registros. La adopción de sensores y plataformas digitales permite identificar discrepancias en tiempo real y fortalecer la transparencia del proceso, asegurando que cada litro de combustible se utilice de manera eficiente (Mapon, 2018; IDAE, 2005).

Finalmente, al integrar todos estos elementos mediante una arquitectura digital distribuida —sensores en nodos de consumo, plataforma central de análisis y herramientas de retroalimentación—, ASFALTAR EP puede establecer un ciclo continuo de mejora operativa. Esta estrategia no solo optimiza la eficiencia del combustible y reduce costos operativos, sino que también fortalece el cumplimiento de políticas públicas de eficiencia energética, como el Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador (Ministerio de Energía y Minas, 2021), otorgando legitimidad institucional y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

En resumen, la implementación de un sistema integral de control del consumo de combustible basado en tecnología, capacitación y mantenimiento preventivo, apoyado por modelos de eficiencia energética y sistemas de retroalimentación, constituye la solución más adecuada para los desafíos actuales de ASFALTAR EP.

6.2. Estado del arte

En la última década el control del consumo de combustible en flotas ha pasado de prácticas mayormente manuales a soluciones digitales integradas que combinan sensores, telemetría, plataformas FMS (Fleet Management Systems) y análisis de datos. La literatura y los informes de mercado muestran que la digitalización produce ahorros medibles en combustible y mejora la trazabilidad, aunque los resultados dependen de la calidad de los datos, la integración tecnológica y la adopción organizacional. El control de consumo de combustible en flotas vehiculares constituye un tema de relevancia creciente dentro de la gestión operativa de las organizaciones públicas y privadas. En un contexto donde los costos energéticos representan una proporción considerable del gasto total de operación, y la implementación de modelos digitales y modelos de gestión eficientes permiten reducir costos, mejorar la trazabilidad y disminuir la huella ambiental de las actividades de transporte (Cenfolog, 2023; Geotab, 2020).

Diversos estudios y organismos técnicos han evidenciado que el combustible puede representar entre el 20% y el 30% de los costos operativos de la flota, cifra que puede incrementarse en ausencia de un control digitalizado y continuo (Cenfolog, 2023). Este control resulta esencial para identificar desviaciones, pérdidas no contabilizadas o consumos anómalos que afectan directamente la rentabilidad y la sostenibilidad de la operación. En este sentido, la adopción de plataformas tecnológicas, como los sistemas de gestión de flotas (Fleet

Management Systems, FMS), se ha consolidado como una práctica eficiente y medible para optimizar los recursos energéticos y económicos de la empresa (The Logistics World, 2024)

6.2.1. Tecnologías aplicadas al control del consumo

El avance de las tecnologías de la información ha permitido desarrollar soluciones integradas para el monitoreo del consumo de combustible. Entre las herramientas más destacadas se encuentran los sensores de nivel y medidores de flujo, que posibilitan el control en tiempo real del combustible almacenado y consumido, detectado llenados, extracciones y posibles fugas (IDAE, 2005). Estos dispositivos pueden integrarse con sistemas telemétricos o de comunicación CAN bus, que registran parámetros operativos del motor, velocidad, temperatura, y revoluciones, permitiendo una correlación entre el comportamiento del vehículo y el gasto energético (Calatayud, 2022).

Los sistemas FMS recopilan estos datos y los procesan mediante algoritmos analíticos para presentar indicadores claves de desempeño (KPIs), generar alertas automáticas ante desviaciones y ofrecer comparativas entre vehículos, periodos o rutas (Mapon, 2018; TSO Mobile, 2022). Esta integración de sensores, telemetría y software centralizado contribuye a reducir el consumo de combustible entre un 7% y un 15%, dependiendo del nivel de implementación y la capacitación del personal operativo (The Logistics World, 2024).

6.2.2. Comportamiento del conductor y mantenimiento

El comportamiento del conductor constituye otro factor determinante en el consumo de combustible. Estudios realizados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE (El País, 1995) demostraron que la conducción agresiva caracterizada por aceleraciones y frenadas bruscas o excesos de velocidad pueden incrementar el consumo hasta en un 50% respecto a una conducción eficiente. La implementación de programas de formación y seguimiento mediante telemetría, que registran patrones de conducción, ha demostrado ser la medida eficaz para fomentar hábitos de conducción responsable y eficiente (Michelin Connected Fleet, 2025).

Asimismo, el mantenimiento preventivo de los vehículos es fundamental para garantizar la eficiencia operativa. Factores como la presión inadecuada de los neumáticos, filtros obstruidos o sistemas de inyección deteriorados pueden incrementar significativamente el consumo de combustible (Michelin Connected Fleet, 2025). Por tanto, los programas de mantenimiento digitalizado permiten programar revisiones, generar alertas automáticas y asegurar el cumplimiento de los intervalos de servicio recomendados por el fabricante.

6.2.3. Modelos teóricos y enfoques de control

Desde un punto de vista teórico, el control del consumo de combustible se sustenta en tres modelos claves: la teoría de la eficiencia energética, la teoría de sistemas y el control

distribuido. La primera busca maximizar la producción o el servicio obtenido por cada unidad energética consumida orientando la operación hacia un aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles (ENGIE, 2025; Enertic, 2025).

La segunda, basada en la teoría de los sistemas, plantea el control como un ciclo de retroalimentación continua: medición, comparación con estándares, ajuste y nueva medición, generando un proceso de mejora permanente (Calatayud, 2022).

Finalmente, el paradigma del control distribuido sostenido por redes de sensores e infraestructura IoT permite que cada nodo (vehículo o tanque) envíe datos a un sistema central que analiza, diagnostica y ejecuta acciones correctivas en tiempo real (Mapon, 2018).

6.2.4. Casos prácticos y antecedentes

En América Latina, diversas empresas del sector logístico y de transporte han implementado sistemas FMS para monitorear el consumo de combustible y mejorar la eficiencia en sus operaciones. Según Calatayud (2022), la digitalización del monitoreo del combustible ha permitido a estas organizaciones reducir costos operativos, mejorar la planificación de rutas y disminuir los niveles de pérdida no justificada.

De forma similar Michelin Connected Fleet (2025), reporta que sus clientes han logrado ahorros de hasta un 10% mediante la aplicación de su plataforma Connected Fleet, la cual combina monitoreo en tiempo real, formación de conductores y análisis predictivo.

Por su parte Mapon (2018), indica que el uso de sus modelos de gestión de combustible ha permitido a flotas empresariales reducir pérdidas y mejorar la trazabilidad de los recursos energéticos.

6.2.5. Aplicación con el caso ASFALTAR EP

En el contexto de ASFALTAR EP, la adopción de un sistema de control digital del consumo de combustible representa una oportunidad estratégica para mejorar la eficiencia operativa de su flota. El uso de sensores, plataformas telemétricas y software de gestión permitiría establecer una trazabilidad completa desde el almacenamiento hasta el consumo, detectar desviaciones y optimizar rutas. Además, al integrar programas de capacitación en conducción eficiente y mantenimiento preventivo, se espera una mejora sustancial en la productividad energética y una reducción del impacto ambiental.

Finalmente, este enfoque se alinea con los objetivos del Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador, que promueve la optimización del uso de recursos energéticos en el sector público y privado, reforzando la pertinencia institucional y ambiental del proyecto.

7. Metodología

7.1. FASE 1: Diagnóstico Inicial

La presente investigación se desarrolló dentro de un enfoque cuantitativo y descriptivo, basado en la recolección y análisis de datos recopilados provenientes de los consumos generados durante el periodo enero-agosto 2025 en la flota operativa de ASFALTAR EP, esto, con la finalidad de cuantificar e identificar los patrones de consumo de la flota y diseñar un modelo de pronóstico para el control y monitoreo del consumo en cada unidad. Asimismo, tiene un enlace aplicado ya que genera la propuesta práctica que aporta soluciones a la toma de decisiones en la gestión operativa.

Esta primera fase se basó en la recolección de datos e información relevante sobre la gestión y operación de ASFALTAR EP, específicamente en el área de taller, que es donde se controla toda la operatividad de la flota, y para el caso de estudio, donde se gestiona la adquisición y distribución del recurso hacia los diferentes frentes de trabajo y posterior a las unidades que se encuentran en operación. Era importante conocer diferentes factores de forma real para tomarlos en cuenta al momento de estimar el rendimiento en cada unidad.

Para la adquisición del recurso energético que la empresa necesita para su funcionamiento que en este caso es el diésel, ASFALTAR EP cuenta con el departamento de compras quienes son los encargados de realizar la adquisición directamente con el proveedor que en este caso es PETROECUADOR S.A. Una vez adquirido el recurso energético existen dos formas para la distribución del mismo; la primera es para vehículos y camiones de carga liviana, que al ser quienes tienen libre circulación en toda la urbe, pueden abastecer las unidades en las diferentes estaciones de combustible que existen en toda la provincia del Azuay; la segunda es para la maquinaria pesada, que por otra parte, al no poder circular libremente, cuenta con su propio tanquero distribuidor, el cual se encarga de visitar los diferentes frentes de trabajo y abastecer a las diferentes unidades que se encuentren operativas.

Para registrar los despachos realizados cada frente de trabajo cuenta con un encargado quien se encarga de realizar el pedido, y posterior a recibirlo, crea hojas de despachos con la cantidad entregada por el distribuidor, y luego, este mismo, se encarga de distribuir a cada unidad que se encuentre operativa en dicho frente, y lo hacen creando registros manuales con fecha, cantidad, tipo de máquina, código de máquina, horómetro y operador encargado. Algo similar sucede con los abastecimientos a las unidades livianas, solo que, en este caso, cada operador cuenta con su propio talonario de notas de despachos que vaya llenando cada vez que realiza un abastecimiento en cualquier lugar, y de igual manera, registra fecha, cantidad, código de unidad, kilometraje y costo del mismo. Esta metodología tiene una desventaja debido a que, al ser hojas sueltas, no solo pasan a ser archivados y olvidados, sino que también imposibilita en lograr generar un análisis del consumo o rendimiento que está teniendo mi flota y tomar decisiones estratégicas con la finalidad de optimizar el consumo del mismo.

Figura 1. Registros de consumos en ASFALTAR EP

ASFALTAR EP, empresa pública de la perteneciente a la Prefectura del Azuay, cuenta con una flota de 35 vehículos livianos repartidos entre camionetas y camiones de carga liviana; y 30 vehículos pesados o maquinaria pesada como son: volquetas, excavadoras, rodillos, barredoras. Cada unidad de la flota operativa cuenta con un código de identificación y con su propio operador lo que pretende garantizar el correcto uso y cuidado de las unidades. Uno de los pilares fundamentales para la validación del sistema, es tomar en cuenta las condiciones de uso de la maquinaria y de cada vehículo, para esto, se tomó en cuenta las rutas más frecuentes usadas por los vehículos livianos, y para el caso de la maquinaria, se analizó los diferentes frentes de trabajo que durante el periodo de muestreo se encontraron operativos, para este caso de estudio fueron 11 frentes de trabajo tomados en cuenta que fueron: La Virginia, Guaymincay, Daniel Cordova, Simón Bolívar, Santa Ana, Ricaurte, Cumbe, Gualaceo, Azogues, Sumaypamba, Paute-Gualaceo

ASFALTAR EP, registra los consumos generados por toda su flota de forma manual en notas de despachos realizadas en papel, lo cual no ayuda para la toma de decisiones estratégicas en la gestión operativa dentro de la empresa, por esta razón, lo primero fue transcribir todos los datos de consumos realizados durante el periodo enero-agosto 2025 por toda la flota a un archivo de Microsoft Excel y tener una base digital que ayude a tener una mejor visualización de los diferentes patrones de consumo generados por cada unidad.

2	FECHA PEDIDO	CANTIDAD GALONES	FECHA DESPACHO	FRENTE TRABAJO	TIPO VEHICULO	CÓDIGO	GALONES	HOROMETRO	COSTO
3			2/8/2025	RUMIHURCO	Rodillo	A022	25	NM	
4	6/8/2025	120	8/8/2025	RUMIHURCO	Rodillo	A022	25	NM	
5	7/8/2025	60	15/8/2025	RUMIHURCO	Rodillo	A022	17	NM	
6			15/8/2025	RUMIHURCO	Rodillo	A022	5	NM	
7	8/8/2025	60	21/8/2025	RUMIHURCO	Rodillo	A022	20	NM	
8			13/8/2025	GUAYMINCAY	Cargadora	A026	60	23839	
9			12/8/2025	LLACTO	Rodillo Lizo	A033	30	7727	
10			15/8/2025	LLACTO	Rodillo Lizo	A033	25	7743	
11	12/8/2025	117	28/8/2025	GIRO	Rodillo Lizo	A033	24	7759	
12			13/8/2025	SAYAUSI	Motoniveladora	A050	10	NM	
13	13/8/2025	60	18/8/2025	SAYAUSI	Motoniveladora	A050	40	NM	
14			20/8/2025	SAYAUSI	Motoniveladora	A050	20	NM	
15	13/8/2025	55	12/8/2025	LLACTO	Finizher	A120	30	6834	
16	15/8/2025	55	15/8/2025	LLACTO	Finizher	A120	45	6849	
17			26/8/2025	GIRO	Finizher	A120	24	6862	
18	15/8/2025	66	12/8/2025	LLACTO	Barredora	A123	14	1187	
19			15/8/2025	LLACTO	Barredora	A123	10	1197	
20			7/8/2025	GUAYMINCAY	Cargadora	G026	60	23819	
21	15/8/2025	80	18/8/2025	GUAYMINCAY	Cargadora	G026	60	23855	143,2
22			20/8/2025	GUAYMINCAY	Cargadora	G026	60	23870	
23	18/8/2025	60	8/8/2025	RUMIHURCO	Motoniveladora	G030	35	18588	
24			15/8/2025	RUMIHURCO	Motoniveladora	G030	49	18604	
25	18/8/2025	60	15/8/2025	RUMIHURCO	Motoniveladora	G030	35	18627	
26			21/8/2025	RUMIHURCO	Motoniveladora	G030	40	18620	

Figura 2. Registros de consumos en ASFALTAR EP

Esta investigación adopta un diseño no experimental y longitudinal, en la medida que no es posible manipular variables de manera directa, sin embargo, se analizan registros manuales del consumo de combustible en periodos de tiempo permitiéndonos observar los comportamientos en cada uno de los frentes de trabajo de la flota de ASFALTAR EP.

7.2. FASE 2: Clasificación y levantamiento de datos

Los registros mezclaban los consumos generados por todas las unidades mes a mes, únicamente guiados por el frente de trabajo en donde se encontraba operando en ese momento, por ende, lo primero fue diseñar un registro digital en Microsoft Excel creando una hoja de ruta para los consumos generados por cada unidad, se empleó revisión de documentación, reportes de consumos de cada unidad, y luego, se registró los datos durante el periodo enero-agosto 2025 en el registro digital generado. Con la hoja de ruta creada para cada unidad, se procedió a separar los datos registrados anteriormente colocando cada consumo realizado mes a mes por cada unidad en sus respectivas hojas de ruta.

1	FECHA DESPACHO	FRENTE TRABAJO	TIPO VEHICULO	CÓDIGO	GALONES	HOROMETRO	COSTO	HORA USO	RENDIMIENTO
2	24/4/2025	VIRGINIA	Cargadora	G026	45	23654	125,91	15	3,0000
3	29/4/2025	VIRGINIA	Cargadora	G026	45	23669	125,91	14	3,2143
4	6/5/2025	VIRGINIA	Cargadora	G026	41	23683	114,718	25	1,6400
5	12/5/2025	VIRGINIA	Cargadora	G026	30	23708	83,94	14	2,1429
6	14/5/2025	VIRGINIA	Cargadora	G026	60	23722	167,88	19	3,1579
7	20/5/2025	VIRGINIA	Cargadora	G026	60	23741	167,88	44	1,3636
8	3/6/2025	VIRGINIA	Cargadora	G026	21	23785	58,758	9	2,3333
9	9/6/2025	VIRGINIA	Cargadora	G026	10	23794	27,98	9,1	1,0989
10	2/7/2025	UZHUPUD	Cargadora	G026	40	23803,1	111,92	15,9	2,5157
11	7/8/2025	GUAYMINCAY	Cargadora	G026	60	23819	167,88	36	1,6667
12	18/8/2025	GUAYMINCAY	Cargadora	G026	60	23855	167,88	15	4,0000
13	20/8/2025	GUAYMINCAY	Cargadora	G026	60	23870	167,88		
14			CONS. FEBRERO	TOTAL GALONES	532	216	1488,536	216	2,3758
15									
16				CONSUMO	2,4630	GALONES/HORA			
17									
18									
19									
20									
21									
22									

Figura 3. Hojas de ruta creadas para cada unidad

Uno de los principales condicionantes para garantizar la validez del sistema es el análisis de las condiciones reales de operación, las cuales dependen de dos variables críticas: la zona de trabajo (tipo de terreno, altitud, y ubicación geográfica) y los hábitos de conducción de los

operadores. Para este estudio se realizó un mapeo detallado de los distintos frentes de trabajo y carreteras intervenidas durante el periodo de muestreo. Mediante dispositivos GPS se registraron los perfiles altitudinales de cada frente, información indispensable para la validación energética del sistema debido a que la altitud influye directamente en el desempeño del motor y, por ende, en el consumo de combustible. Paralelamente, se llevó a cabo un análisis de los patrones de conducción adoptados por los operadores, con el objetivo de identificar comportamientos anómalos como aceleraciones bruscas, frenadas excesivas o tiempos prolongados de ralentí que afectan de manera directa la eficiencia del combustible y el rendimiento global de las unidades.

La Tabla 1, muestra los frentes de trabajo con la altitud a la que se encuentran:

FRENTE DE TRABAJO	ALTITUD [m.s.n.m]
Azogues	2518
Cumbe	2720
Daniel Córdova	2700
Guaymincay	2800
Molinopamba	2800
Paute - Gualaceo	2185
Ricaurte	2600
Santa Ana	2750
Sayausí	2620
Simón Bolívar	2500
Virginia	2650

Tabla 1. Frentes de Trabajo y Altitud.

En base a los datos tabulados de los consumos generados por cada unidad de ASFALTAR EP durante el periodo enero - agosto 2025, lo que se busca es obtener el rendimiento estimado que tuvo cada unidad, compararlo con el rendimiento estipulado por el fabricante, para finalmente saber si existe un sobre consumo y poder generar una propuesta metodológica que ayude a reducir dicho consumo. ASFALTAR EP cuenta con maquinaria de diferentes fabricantes.

Por esta razón lo primero fue recopilar información de los rendimientos estipulados por los fabricantes para cada tipo de máquina y en base a esto generar un rendimiento promedio entre estas para cada tipo de máquina y comparar con los resultados de rendimiento obtenidos en las unidades de ASFALTAR EP. El rendimiento de cada máquina dependerá mucho de la operación que realice, por entre, existirá siempre un rango mínimo y máximo de consumo. Para este caso se estipula un consumo mínimo cuando la operación baja o la máquina se encuentra en ralentí, y máximo cuando la máquina está a toda su capacidad de carga u operación.

Los rendimientos estipulados por cada fabricante para cada tipo de máquina están resumidos en la siguiente tabla conjuntamente con el promedio general entre todas ellas.

La Tabla 2, muestra los rendimientos por tipo de máquina y vehículo según su fabricante y el rendimiento promedio entre ellas que será el dato utilizado para la comparación:

TIPO DE MÁQUINA	CATERPILLAR [gal/hora]	KOMATSU [gal/hora]	VOLVO [gal/hora]	JOHN DEERE [gal/hora]	PROMEDIO RENDIMIENTO [gal/hora]
Excavadora	2.5 - 4.5	2.8 - 4.8	2.5 - 4.3	2.9 - 5.0	2.7 - 4.6
Motoniveladora	2.8 - 4.6	3.0 - 4.9	2.7 - 4.5	3.1 - 5.1	2.9 - 4.7
Retroexcavadora	1.8 - 3.5	2.0 - 3.8	1.9 - 3.6	2.1 - 4.0	1.35 - 3.6
Rodillos	3.5 - 6.2	3.8 - 6.4	3.2 - 5.8	3.9 - 6.6	2.0 - 4.8
Finisher	5.0 - 8.0	5.3 - 8.3	4.8 - 7.5	5.5 - 8.6	1.8 - 3.1

Tabla 2. Rendimiento por tipo de máquina según su fabricante y promedio en gal/hora.

Con estos promedios de rendimiento establecidos para cada tipo de máquina independientemente del tipo de fabricante, usaremos estos rangos para establecer límites de comparación con las medidas de campo, y así puedan servir para crear una línea base de rendimiento energético, que luego se usará para ajustar aún más con implementación de sistemas de medición adicionales.

7.3. FASE 3: Análisis de datos

Con la base de datos generada en Microsoft Excel con la hoja de ruta de consumos generados por cada unidad se pasó a calcular el rendimiento en todas las unidades de la flota. Para el caso de los vehículos livianos se midió en km/gal, mientras que, para las máquinas, lo más óptimo es medirlo en gal/hora. Como se mencionó al principio, no todas las unidades contaban con el registro del kilometraje u horómetro, por lo que no se pudo calcular su rendimiento. En las unidades que sí contaban con odómetros, se realizó el cálculo del rendimiento estimado que estaba teniendo cada unidad. Al contar con consumos dispares en toda la flota, ya que unas unidades generan más consumos que otras, por diferentes factores, como puede ser el frente de trabajo donde se encuentra, o la necesidad de hacer operar más de lo debido a una unidad por falta de mantenimiento en otras. En estos casos, al contar con muchos registros de consumos mes a mes, se realizó una estimación del rendimiento promedio generado por cada consumo, y un general del consumo generado en el mes versus las horas de trabajo realizadas, para al final sacar un promedio y comparar los resultados.

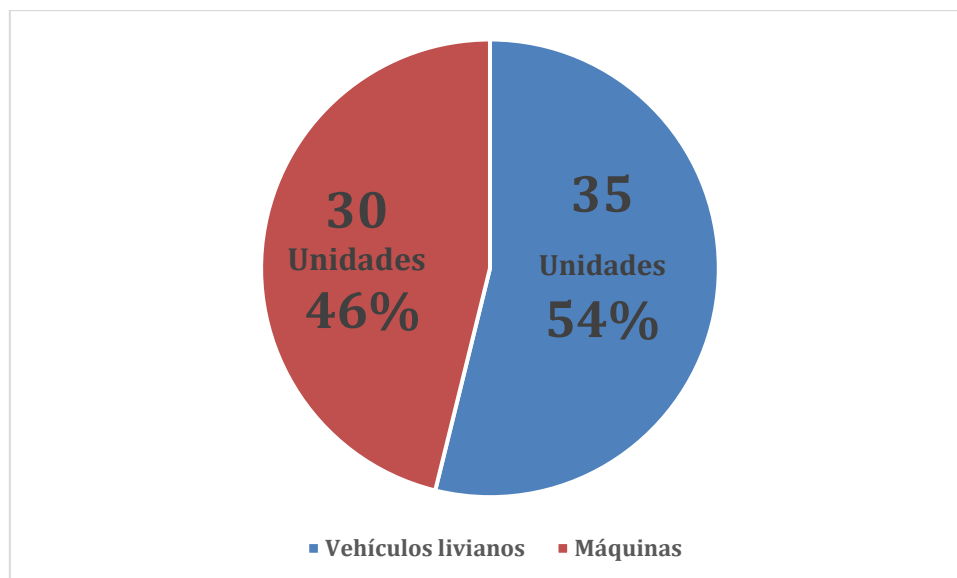


Figura 4. Total de unidades ASFALTAR EP.

- El 54% corresponde a vehículos livianos que pueden estar asociados principalmente a labores administrativas, de supervisión y transporte de materiales o personal entre los frentes de trabajo. Por su parte, el 46% se vincula a la maquinaria directamente con la ejecución de obras, lo cual representa una proporción significativa considerando el tipo de empresa.
- El gráfico evidencia una distribución equilibrada entre vehículos livianos y pesados, con una ligera predominancia de los primeros. Esta proporción refleja que ASFALTAR EP mantiene una estructura vehicular mixta que combina unidades de transporte y apoyo logístico (vehículos livianos) con equipos operativos de obra (maquinaria).

7.3.1. Resultados del consumo de la Maquinaria

Lo primero fue realizar un análisis comparativo del consumo de combustible registrado en cada frente de trabajo, con el fin de identificar aquellos que presentaron los niveles más altos de demanda energética. Esta clasificación permitió establecer frentes de referencia para el estudio, en los cuales se consideró un factor determinante para la interpretación del consumo: la ubicación geográfica, entendida como la altitud, las condiciones topográficas y el entorno operativo donde se ejecutaron las actividades. Estas variables inciden directamente en la carga del motor, el régimen de operación y, por tanto, en el rendimiento final del combustible.

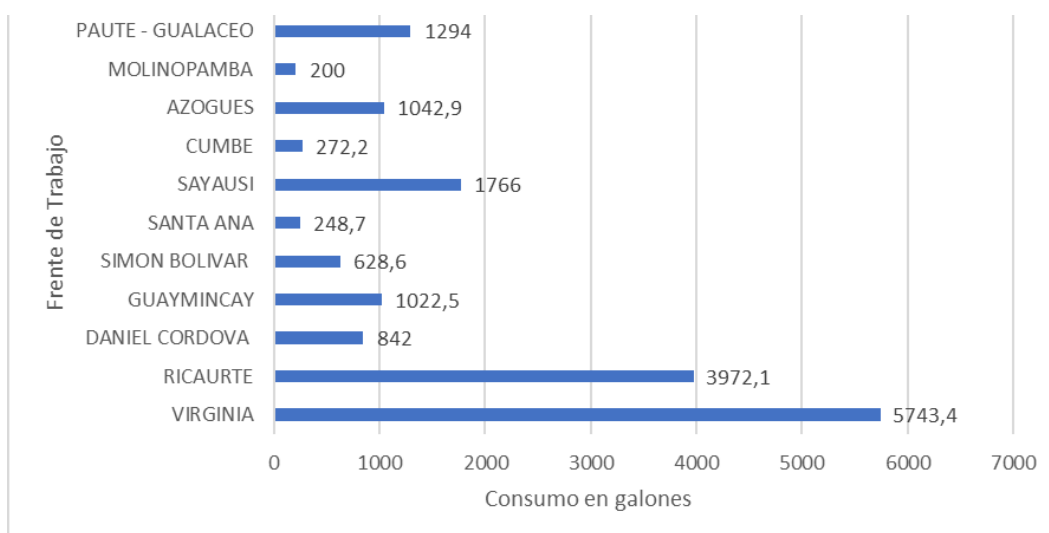


Figura 5. Consumo total de la Maquinaria en galones por frente de trabajo.

De acuerdo con los valores presentados, los frentes con mayor consumo de combustible son:

- Virginia: 5743.4 galones, equivalente al 33% del total y se encuentra a una altitud de aproximadamente 2600 m.s.n.m.
- Ricaurte 3972.1 galones equivalen al 23% del total y se encuentra a una altitud de aproximadamente 2620 m.s.n.m.
- Sayausí 1766 galones, equivalente al 10% del total y se encuentra a una altitud de aproximadamente 2771 m.s.n.m.

Estos frentes concentran aproximadamente el 66% del consumo total de combustible, evidenciando una fuerte concentración de recurso energético en zonas con mayor despliegue de maquinaria pesada en operaciones prolongadas de asfaltado o mantenimiento vial.

Por otro lado, los frentes de trabajo con menor consumo energético son:

- Molinopamba: 200 galones
- Santa Ana: 248.7 galones
- Cumbe: 272.2 galones

Estos frentes representan juntos menos del 2% del consumo total, indicando actividades limitadas o de carácter complementario.

La localización geográfica de cada frente influye en el consumo adicional debido a los traslados de maquinaria y vehículos para abastecimiento y transporte de materiales o personal. Zonas con pendientes, terrenos irregulares o trabajos de movimiento de tierra demandan más energía mecánica, incrementando el consumo de combustible por hora de operación.

Para el análisis de las unidades, ya que existen dos códigos para identificarlos, los cuales inician con las letras A y G respectivamente seguidos de tres dígitos numéricos, se los separó en dos grupos determinados por el código para no mezclar las unidades de la flota.

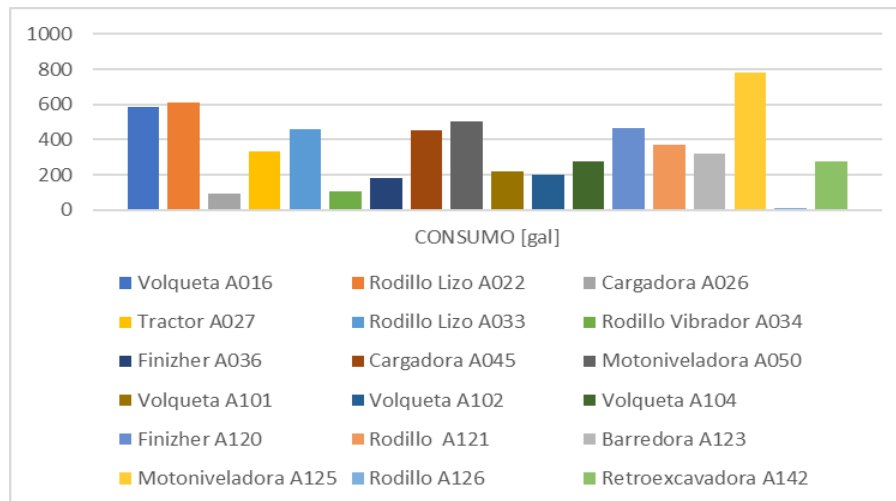


Figura 6. Consumo total en máquinas A016 - A142, periodo enero – agosto 2025

- Motoniveladora A125: consumió 800 galones, el valor más alto del grupo. Este tipo de máquina se emplea en tareas de corte, nivelación y conformación de vías, lo que demanda un alto régimen de trabajo continuo y esfuerzo mecánico prolongado.
- Volqueta A016 y Rodillo Lizo A022: consumieron 600 galones cada uno, lo que evidencia su uso intensivo en el transporte de mezcla asfáltica y en la compactación de superficies.
- Motoniveladora A050 y Volqueta A102: consumieron alrededor de 500 galones, mostrando también una utilización considerable en labores de la empresa.
- Tractor A027, Cargadora A026, Finisher A120 y Rodillo Lizo A033: presentan consumos moderados, lo cual indica un uso operativo intermitente o tareas de apoyo en fases específicas del proyecto.
- Rodillo Vibrador A034, Barredora A123, Retroexcavadora A142, Finisher A036: evidencian consumos bajos, probablemente por una menor asignación de horas de trabajo, uso en tareas auxiliares, o momentos inactivos por mantenimientos realizados.

Los valores sugieren que la flota opera con una demanda energética distribuida de forma relativamente equilibrada, aunque con mayor exigencia en equipos de nivelación, compactación y transporte. La motoniveladora A125 se destaca como el equipo con mayor demanda energética por hora efectiva de trabajo.

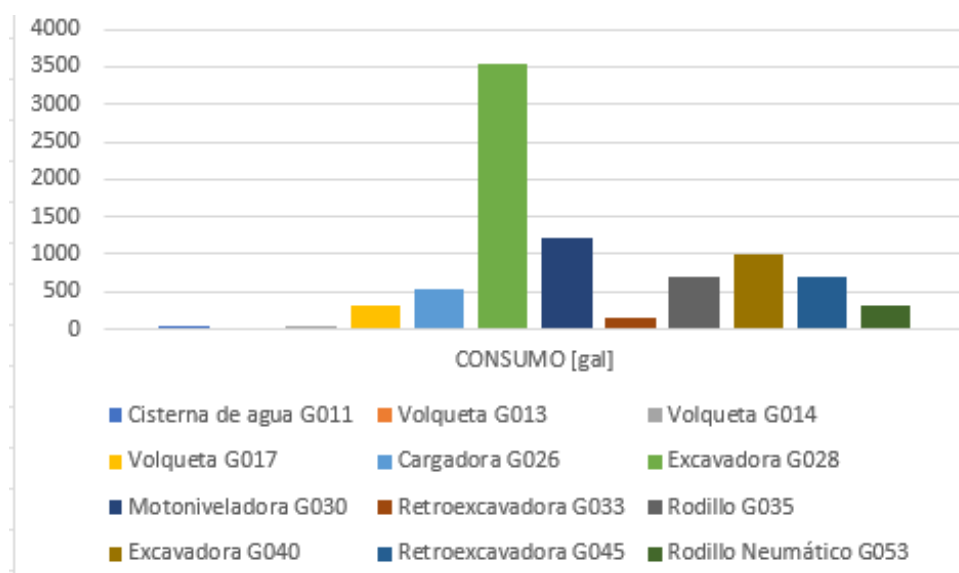


Figura 7. Consumo total en máquinas G011 - G053, periodo enero – agosto 2025

- Excavadora G028: sobresale con un consumo de 3530.8 galones, constituyendo el valor máximo entre todas las unidades analizadas. Su alta demanda energética se puede justificar por el tipo de trabajo que realiza que es excavación y carga continua de material, que requiere un uso intensivo del sistema hidráulico y motor diésel a plena carga.
- Motoniveladora G030: consumió 1227.2 galones, evidenciando un nivel alto de operación, posiblemente en labores de nivelación de terrenos.
- Rodillo G035, Excavadora G040: presentan un rango medio de consumo, indicando actividad constante, aunque no tan intensiva como la excavadora principal G028, y puede ser debido a tiempos muertos en mantenimientos de las unidades.
- Cisterna G011, Volquetas G013-G014-G017, Retroexcavadora G033 y Rodillo Neumático G053: muestra bajos niveles de consumo, posiblemente por operar en tareas puntuales, abastecimiento de combustible o transporte ligero de material.

Los grupos están clasificados únicamente por el código de las unidades que fueron asignados por ASFALTAR EP al momento de registrar su flota. El comportamiento energético de este grupo muestra una fuerte concentración de consumo en la Excavadora G028, la cual por sí sola representa el 45% del consumo total del grupo, lo que la convierte en un punto crítico para la gestión del combustible y el mantenimiento preventivo.

Existe una clara desigualdad en el consumo por unidad, donde pocas unidades concentran la mayor parte del combustible utilizado. Esto refleja diferencias significativas en las horas de trabajo, tipo de tarea y estado operativo de cada equipo. Estos valores sugieren la necesidad de monitorear el rendimiento en galones/hora de operación efectiva para identificar posibles pérdidas por ralentí o ineficiencia mecánica.

Para el cálculo del rendimiento de combustible estimado en cada unidad, se realizó de dos formas para garantizar un resultado lo más real posible. Para esto se obtuvo un rendimiento general y un rendimiento promedio.

- **Rendimiento General:** calculado a partir del cociente entre el consumo total generado en el periodo de muestreo (enero-agosto 2025) y las horas totales trabajadas.
- **Rendimiento Promedio:** determinado con base en el rendimiento obtenido entre cada abastecimiento y el siguiente, lo que permite un análisis más puntual del comportamiento real del consumo operativo.
- **Siglas NM:** indican que no existieron datos suficientes o registros válidos para calcular el rendimiento.

La Tabla 3, muestra los resultados de rendimientos general y promedios obtenidos en las máquinas con código A002 - A204:

MÁQUINA	CÓDIGO	REND. GENERAL	REND. PROMEDIO
Volqueta	A016	NM	NM
Rodillo Liso	A022	NM	NM
Cargadora	A026	NM	NM
Tractor	A027	NM	NM
Rodillo Liso	A033	1.5284 [gal/hora]	1.9283 [gal/hora]
Rodillo Vibrador	A034	NM	NM
Finisher	A036	NM	NM
Cargadora	A045	3.3630 [gal/hora]	3.7671 [gal/hora]
Motoniveladora	A050	NM	NM
Volqueta	A101	NM	NM
Volqueta	A102	28.6982 [km/gal]	36.271 [km/gal]
Volqueta	A104	13.4636 [km/gal]	17.8637 [km/gal]
Finisher	A120	2.4375 [gal/hora]	2.264 [gal/hora]
Rodillo	A121	3.0113 [gal/hora]	2.1811 [gal/hora]
Barredora	A123	1.1113 [gal/hora]	1.6037 [gal/hora]
Motoniveladora	A125	NM	NM
Rodillo	A126	NM	NM
Retroexcavadora	A142	NM	NM

Tabla 3. Rendimiento general y promedio de máquinas A016-A142

La Tabla 4, muestra los resultados de rendimientos general y promedio obtenidos en las máquinas con código G011 - G053:

MÁQUINA	CÓDIGO	REND. GENERAL	REND. PROMEDIO
Cisterna de Agua	G011	15.1080 [km/gal]	21.6539[km/gal]
Volqueta	G013	8.2124[km/gal]	8.8551[km/gal]
Volqueta	G014	NM	NM
Volqueta	G017	NM	NM
Cargadora	G026	2.4630 [gal/hora]	2.3758[gal/hora]
Excavadora	G028	4.6420	5.1730 [gal/hora]
Motoniveladora	G030	3.4568	4.6311 [gal/hora]
Retroexcavadora	G033	1.8911 [gal/hora]	3.7671 [gal/hora]
Rodillo	G035	1.9705 [gal/hora]	1.7753 [gal/hora]
Excavadora	G040	NM	NM
Retroexcavadora	G045	1.6798 [gal/hora]	1.7434 [gal/hora]
Rodillo Neumático	G053	1.5885 [gal/hora]	1.8815 [gal/hora]

Tabla 4. Rendimiento general y promedio máquinas G011-G053

- Las máquinas sin medición (NM) no contaban con un control adecuado de horas o abastecimientos, por falta de registros o por no contar con odómetros u horómetros, lo cual evidencia deficiencias en el registro de datos operativos.
- Condiciones topográficas y geográficas afectan la operación, zonas altas como Sayausí, Ricaurte o Virginia influyen directamente en el rendimiento.
- El estado mecánico de las unidades, la calibración del sistema de inyección, el mantenimiento de filtros y el desgaste de componentes influyen también en el rendimiento, así como los tiempos de ralentí y el estilo de conducción del operador, los tiempos prolongados con el motor encendido sin carga y las aceleraciones innecesarias impactan negativamente la eficiencia energética.

7.3.2. Resultados del consumo de vehículos livianos

Posteriormente, se analizó el consumo de combustible de cada vehículo liviano en los distintos frentes de trabajo, con le objetivo de identificar aquellos sectores donde se registraron los mayores niveles de demanda energética. Esta clasificación permitió establecer frentes de referencia y, para estos casos, incorporar con factor crítico a la evaluación del consumo: la ubicación geográfica, entendida como la altitud y las condiciones topográficas propias de cada zona. Estos parámetros influyen de manera directa en la carga operacional del vehículo y, por tanto, en su rendimiento energético.

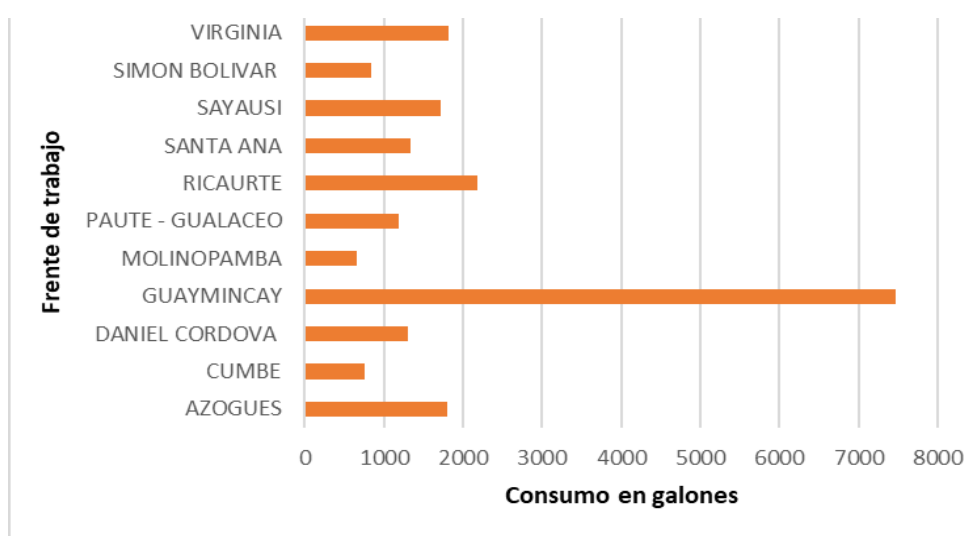


Figura 8. Consumo por frente de trabajo en vehículos livianos periodo enero – agosto 2025.

- El consumo total acumulado de los frentes analizados alcanza un valor de 21095.015 galones, con un promedio de 1972.7 galones por frente de trabajo. El frente con mayor registro de consumos corresponde a Guaymincay, con un consumo de 7461.955 galones en el periodo enero – agosto 2025, representando aproximadamente el 35.94% del total del consumo de combustible. Este resultado indica una alta intensidad operativa en dicha zona, posiblemente asociada a una mayor cantidad de vehículos livianos en operación o a uno mayor kilometraje recorrido en actividades logísticas o de transporte.
- Por otro lado, los frentes con menor consumo corresponden a Molinopamba, con un valor de 664.12 galones lo que equivale al 3.22% del total, Cumbe con 755.07 galones equivalente a 3.7% y Simón Bolívar con 839.01 galones equivalente al 4.1%. Estas cifras pueden estar relacionadas con una menor carga operativa, limitación de unidades asignadas o una mejor eficiencia en la planificación de rutas y tareas. En contraste, los frentes de trabajo de Ricaurte con 2186.08 galones (10.6%), La Virginia con 1819.53 galones (9.2%) y Azogues con 1804.51 galones (8.3%), mantienen consumos medios, los cuales se encuentran dentro de los márgenes aceptables en función de la extensión territorial y del tipo de trabajo ejecutado.
- El análisis evidencia una dispersión considerable entre los consumos registrados, con una diferencia superior al 1000% entre el frente más y el menos demandante. Se lo puede atribuir a: Diferencias en el número y tipo de vehículos operativos por frente, variabilidad en la topografía y condiciones viales de cada zona, falta de monitoreo en

tiempo real del consumo lo que impide corregir desviaciones y posibles ineficiencias logísticas en la asignación y distribución de combustible.

Para el análisis de los vehículos, ya que existen dos códigos para identificarlos como se mencionó anteriormente, los cuales inician con las letras A y G seguidos de tres dígitos numéricos, se los separó también en dos grupos.

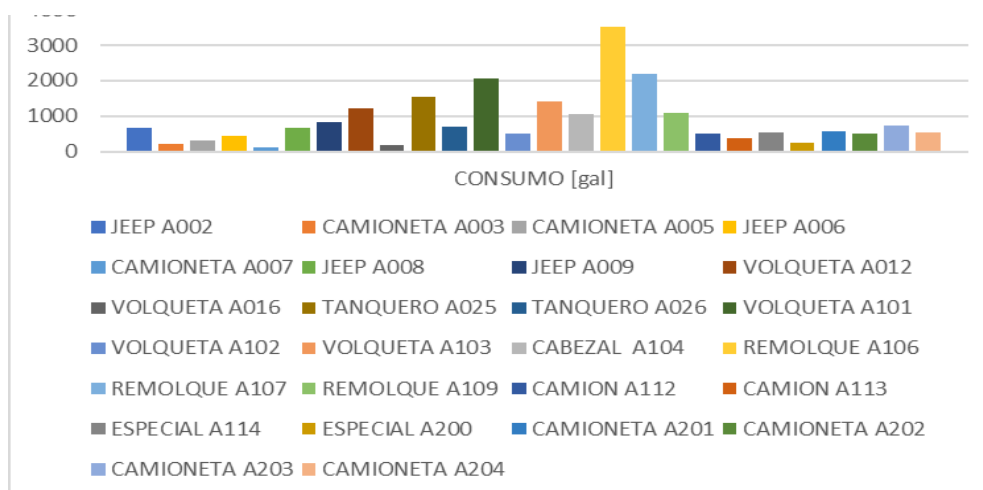


Figura 9. Consumo total en vehículos livianos A002 - A204, periodo enero – agosto 2025

- Los vehículos con mayor consumo de la flota corresponden a la volqueta A101 y al Remolque A106, que registran consumos de 2074.15 y 3515.7 galones respectivamente, valores que pueden explicarse por su alta demanda de potencia y uso continuo en transporte de líquidos, lo cual incrementa la carga de trabajo del motor y, en consecuencia, el consumo de combustible. Estos valores representan aproximadamente entre el 20% y 30% del consumo total de la flota, evidenciando que los tanqueros y los remolques constituyen categorías críticas dentro del análisis energético.
- Se identifican consumos relevantes en el remolque A107 con un consumo de 2195.86 galones y el tanquero A025 con 1534.1 galones, lo que sugiere un uso frecuente en frentes de trabajo logísticamente más activos o con mayores requerimientos de transporte de materiales o maquinaria. Estas unidades, aunque de menor capacidad que las volquetas, muestran una tendencia al sobreconsumo posiblemente atribuible a trayectos urbanos con detenciones frecuentes.
- Vehículos con los Jeep A002, A006, A009 y camionetas A003 y A005 presentan consumos inferiores a 66 galones, representando menos del 5% del consumo global. Este comportamiento puede asociarse a un uso limitado, asignaciones administrativas o recorridos cortos, lo que demuestra una eficiencia relativa superior en relación con su capacidad de carga y cilindrada.
- El patrón de consumo evidencia una disparidad significativa entre vehículos de la misma categoría, lo que sugiere diferencias en la gestión de uso, planificación de rutas y condiciones mecánicas, técnicamente, esto indica la necesidad de implementar sistemas de telemetría y monitoreo de combustible.

El análisis sugiere que el 80% del consumo total se concentra en aproximadamente el 30% de la flota, destacando la importancia de focalizar estrategias de control en los vehículos de alto consumo. La incorporación de tecnologías como la red CAN, IoT vehicular y software de gestión energética permitirá a ASFALTAR EP mejor la trazabilidad del combustible y maximizar el rendimiento de su flota.

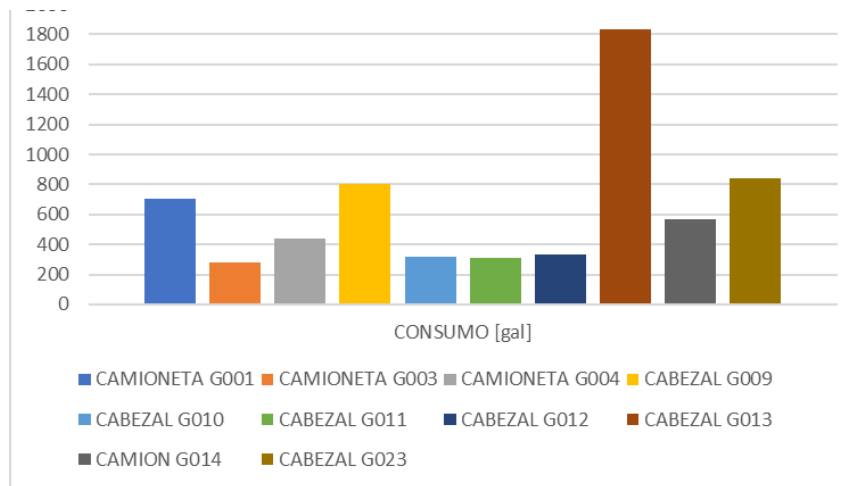


Figura 10. Consumo total de combustible en vehículos livianos G001 – G023

- El mayor consumo se registra en el cabezal G013, con un valor de 1850 galones, representando cerca del 30% del consumo total del grupo. Este alto valor está asociado al tipo de trabajo que desempeña, probablemente transporte de materiales pesados o remolque de equipos, lo que implica un esfuerzo continuo del motor, elevando el consumo de diésel por hora de operación. Los cabezales G009 y G023 presentan consumos aproximados de 800 galones, lo que equivale a un 13% cada uno del total.
- Las camionetas G0001, G003 y G004 presentan un comportamiento más moderado. La camioneta G001 tuvo un consumo de 700.43 galones representando el 11% del total, mientras que las camionetas G003 y G004 tuvieron un consumo de 278.05 y 436.3 galones, lo que equivale a un uso medio, posiblemente en tareas administrativas, supervisión o transporte de personal. Estos valores reflejan un patrón típico en vehículos livianos, donde los consumos son proporcionales a los desplazamientos frecuentes, pero de corta distancia.
- Los camiones G010, G011, G012 y G014 mantienen un rango de consumo entre 300 y 600 galones, con una media de 450 galones, lo que equivale aproximadamente al 7% por unidad del total del grupo analizado. Este comportamiento indica una utilización equilibrada en actividades de transporte moderado o apoyo en frentes operativos secundarios.

En términos globales, el 60% del consumo total se concentra en los tres cabezales de mayor demanda G009, G013 y G023, lo que reafirma que los vehículos de transporte pesado constituyen el principal foco de gasto energético dentro del grupo, los resultados reflejan una distribución asimétrica del consumo donde los vehículos pesados concentran el mayor gasto

debido a sus exigencias operativas, mientras que las camionetas y camiones pequeños presentan consumos controlados.

Para el cálculo del rendimiento de combustible estimado en cada unidad, también se realizó de dos formas para garantizar un resultado lo más real posible. Para esto se obtuvo un rendimiento general y un rendimiento promedio.

- **Rendimiento General:** calculado a partir del cociente entre el consumo total generado en el periodo de muestreo (enero-agosto 2025) y las horas totales trabajadas.
- **Rendimiento Promedio:** determinado con base en el rendimiento obtenido entre cada abastecimiento y el siguiente, lo que permite un análisis más puntual del comportamiento real del consumo operativo.
- **Siglas NM:** indican que no existieron datos suficientes o registros válidos para calcular el rendimiento.

La Tabla 5, muestra los resultados de rendimientos general y promedios obtenidos en las unidades de vehículos con código A002 - A204:

MÁQUINA	CÓDIGO	REND. GENERAL	REND. PROMEDIO
Jeep	A002	22.31 [km/gal]	23.43 [km/gal]
Camioneta	A003	23.79 [km/gal]	26.13 [km/gal]
Camioneta	A005	41.47 [km/gal]	43.63 [km/gal]
Jeep	A006	33.28 [km/gal]	34.27 [km/gal]
Camioneta	A007	35.81 [km/gal]	40.29 [km/gal]
Jeep	A008	24.24 [km/gal]	25.56 [km/gal]
Jeep	A009	20.34 [km/gal]	20.98 [km/gal]
Volqueta	A012	10.33 [km/gal]	10.77 [km/gal]
Volqueta	A016	NM	NM
Tanquero	A025	7.17 [km/gal]	7.17 [km/gal]
Tanquero	A026	7.25 [km/gal]	7.19 [km/gal]
Volqueta	A101	8.21 [km/gal]	8.41 [km/gal]
Volqueta	A102	11.19 [km/gal]	13.82 [km/gal]
Volqueta	A103	8.19 [km/gal]	8.41 [km/gal]
Remolque	A106	5.89 [km/gal]	6.04 [km/gal]
Remolque	A107	6.64 [km/gal]	6.86 [km/gal]
Remolque	A109	7.58 [km/gal]	8.12 [km/gal]
Camión	A112	24.02 [km/gal]	24.04 [km/gal]
Camión	A113	NM	NM
Especial	A114	7.86 [km/gal]	10.59 [km/gal]
Sin especificación	A200	5.45 [km/gal]	9.29 [km/gal]
Camioneta	A201	58.73 [km/gal]	61.04 [km/gal]
Camioneta	A202	58.16 [km/gal]	62.85 [km/gal]
Camioneta	A203	38.36 [km/gal]	4.07 [km/gal]
Camioneta	A204	51.67 [km/gal]	52.14 [km/gal]

Tabla 5. Rendimiento general y promedio de vehículos A002 - A204.

- Las camionetas presentan el mejor rendimiento tanto general como promedio, destacando las unidades A201, A202 y A204, con valores que superan los 50 km/gal, alcanzando incluso hasta los 62.85 km/gal en el caso de la camioneta A202. Esto refleja un óptimo desempeño energético en recorridos de transporte ligero, lo que podría atribuirse su menor peso, motores más eficientes y a que probablemente se usan en desplazamientos rurales o viajes.
- Los vehículos tipo Jeep mantienen rendimientos moderados, entre 20 y 25 km/gal, lo que los posiciona como unidades de consumo medio. Estos valores sugieren que, aunque no son tan eficientes como las camionetas, su rendimiento es aceptable para las tareas de supervisión o desplazamiento en terrenos irregulares, donde la tracción y la potencia prevalecen sobre la eficiencia.
- Los vehículos de carga pesada como las volquetas, tanqueros y remolques muestran rendimientos bajos oscilando entre 7 y 13 km/gal. Este comportamiento es típico en maquinaria destinada al transporte de materiales o líquidos, donde el peso total y la potencia requerida incrementan significativamente el consumo. Destaca el caso de la volqueta A012, con un rendimiento general de 10.33 km/gal y el tanquero A026, con apenas 7.25 km/gal.
- Los cabezales presentan un rendimiento intermedio de 8.27 km/gal, característico de unidades de tracción que arrastran remolques pesados. En cuanto a los vehículos especiales como el A114, su rendimiento se ubica alrededor de 7.86 km/gal, lo cual es coherente con el tipo de operación que realizan.

Los resultados permiten establecer una clara jerarquía en términos de eficiencia energética donde las camionetas presentan alta eficiencia, Jeep eficiencia media, camiones y cabezales eficiencia media-baja y volquetas, tanqueros y remolques baja eficiencia

La Tabla 6, muestra los resultados de rendimientos general y promedios obtenidos en los vehículos con código G001 - G023:

MAQUINA	CODIGO	REND. GENERAL	REND. PROMEDIO
Camioneta	G001	42.38 [km/gal]	44.07 [km/gal]
Camioneta	G003	29.81 [km/gal]	32.1 [km/gal]
Camioneta	G004	42.22 [km/gal]	45.92 [km/gal]
Cabezal	G009	2.38 [km/gal]	3.04 [km/gal]
Cabezal	G010	12.11 [km/gal]	35.59 [km/gal]
Cabezal	G011	12.12 [km/gal]	13.55 [km/gal]
Cabezal	G012	10.03 [km/gal]	11.03 [km/gal]
Cabezal	G013	11.01 [km/gal]	11.74 [km/gal]
Camión	G014	10.74	11.42
Cabezal	G023	11.69 [km/gal]	12.65 [km/gal]

Tabla 6. Rendimiento general y promedio de vehículos G001 - G023.

- Las camionetas G001, G003 y G004 presentan los mejores rendimientos, alcanzando valores entre 29.81 y 45.92 km/gal, lo cual indica una alta eficiencia en el uso del combustible. La camioneta G004 destaca como la unidad más eficiente de todo el grupo, con un rendimiento promedio de 45.92 km/gal, seguido de la unidad G001 con 44.07 km/gal. Estos resultados son consistentes con las características técnicas en este tipo de vehículos que cuentan con motores de menor cilindrada y pesos reducidos, lo cual favorece el ahorro energético y la reducción de emisiones contaminantes.
- Los vehículos de carga pesada, como los cabezales y el camión, presentan rendimientos considerablemente inferiores, evidenciando el impacto del peso, potencia y las condiciones operativas que tienen las unidades. El cabezal G009 es el de menor rendimiento, con apenas 2.38 km/gal en general y 3.04 km/gal en promedio, lo que sugiere un consumo excesivo probablemente asociado al transporte de carga pesada.
- Los cabezales como G010, G011, G012, G013 muestran un rendimiento más equilibrado, con valores que oscilan entre 10 y 13 km/gal, excepto la G010, que destaca por un rendimiento promedio de 35.59 km/gal, significativamente superior al resto, pero es un resultado atípico ya que el rendimiento no debería ser elevado y puede ser debido a falta de datos para el análisis.
- El camión G014, con un rendimiento promedio de 11.42 km/gal, mantiene una eficiencia similar a la de los cabezales, lo que es típico en vehículos diseñados para transporte intermedio, donde la capacidad de carga y la potencia demandan un mayor consumo de combustible.

El análisis evidencia que las camionetas son las unidades más eficientes en términos de consumo, con rendimientos promedio superiores a 40 km/gal, los cabezales y camiones presentan rendimientos bajos a moderados, con valores promedios entre 10 y 13 km/gal excepto la G010 que presenta un rendimiento inusualmente alto y el cabezal G009 debe ser objeto de revisión ya que es la única de su tipo que está dentro de los parámetros de rendimiento estipulado por el fabricante.

7.3.3. Análisis de resultados por tipos de máquinas

Al contar con diferentes categorías de máquinas para abastecer todas las operaciones que ASFALTAR EP debe cubrir se separó las unidades de la flota por tipos de máquinas para constatar su rendimiento calculado y compararlo con el rendimiento que dice cada fabricante respecto a sus máquinas.

Las unidades al ser varias, son de diferentes fabricantes. ASFALTAR EP cuenta con máquinas de fabricantes como: Caterpillar, Komatsu, John Deere y Volvo. Cada fabricante cuenta con ventajas y sobresalen cada una en diferentes aspectos y prestaciones que sus máquinas ofrecen como pueden ser: potencia, capacidad de carga, torque, entre otros; pero el rendimiento al momento del consumo de combustible puede ser parecidos y tener rasgos de consumos muy similares entre ellos.

Con los promedios de rendimientos obtenidos en la Tabla 2 para cada tipo de máquina, se pasó a compararlos con los obtenidos para cada unidad de la flota operativa de ASFALTAR EP para

identificar si existe o no un consumo excesivo de combustible y las posibles causas para que este fenómeno suceda.

La Tabla 7, muestra los resultados de rendimientos obtenidos en volquetas, comparados con el rendimiento estipulado por los fabricantes:

MÁQUINA	CÓDIGO	RENDIMIENTO GENERAL	RENDIMIENTO PROMEDIO	RENDIMIENTO FABRICANTE
Volqueta	A016	NM	NM	9.0 - 16.0 [km/gal]
Volqueta	A101	NM	NM	
Volqueta	A102	28.6982 [km/gal]	36.2710 [km/gal]	
Volqueta	A104	13.4636 [km/gal]	17.8637 [km/gal]	
Cisterna de Agua	G011	8.2124 [km/gal]	8.8551 [km/gal]	
Volqueta	G013	NM	NM	
Volqueta	G014	NM	NM	
Volqueta	G017	15.108 [km/gal]	21.6539 [km/gal]	

Tabla 7. Rendimientos de volquetas obtenidos y rendimiento de fabricante.

- Las volquetas muestran un comportamiento heterogéneo, aunque algunas unidades superan ampliamente el valor de referencia del fabricante como la A102 y A104, mientras que otras como la G013 presentan desempeños significativamente inferiores, lo cual indica diferencias operativas, de carga y estado mecánico de las unidades.
- Las unidades A102 y A104 presentan rendimientos superiores al 100% del valor del fabricante, lo cual puede deberse a: Operación con carga parcial o trayectos con vacío, condiciones de terreno favorables, mantenimiento óptimo, presión de neumáticos adecuada y menor tiempo en ralentí.
- La unidad G013 muestra un rendimiento 40% menor al estándar, lo que puede ser debido: sobrecarga o trabajo en terreno irregular, desgaste de motor, transmisión o neumáticos, o también por una conducción ineficiente.
- La Cisterna de Agua G011 supera el valor del fabricante en +44%, lo que sugiere condiciones de operación liviana o eficiente debido a recorridos en trayectos urbanos.
- Las unidades A016, A101, G014 y G017 no tienen registro de consumo, impidiendo un análisis completo del comportamiento de la flota.

La Tabla 8, muestra los resultados de rendimientos obtenidos en los rodillos, comparados con el rendimiento estipulado por los fabricantes.

MÁQUINA	CÓDIGO	RENDIMIENTO GENERAL	RENDIMIENTO PROMEDIO	RENDIMIENTO FABRICANTE
Rodillo Liso	A022	NM	NM	2.0 - 4.8 [gal/hora]
Rodillo Liso	A033	1.5284 [gal/hora]	1.9283 [gal/hora]	
Rodillo Vibrador	A034	NM	NM	
Rodillo	A121	3.0113 [gal/hora]	2.1810 [gal/hora]	
Rodillo	A126	NM	NM	
Rodillo	G035	1.9705 [gal/hora]	1.7753 [gal/hora]	
Rodillo Neumático	G053	1.5885 [gal/hora]	1.8815 [gal/hora]	

Tabla 8. Rendimiento de Rodillos obtenidos comparados con Rendimiento de fabricante.

- El rango de consumo real se sitúa entre 1.5 y 3.0 gal/hora, dentro del margen inferior del valor máximo proporcionado por el fabricante que es 4.8 gal/hora, lo que sugiere que las máquinas no están operando a máxima carga o potencia, sino en condiciones parciales o con baja exigencia.
- Los rodillos A033, G035 y G053 presentan consumos ligeramente por debajo del mínimo del fabricante entre -3% y -11% respecto a 2 gal/hora. Este comportamiento indica baja carga operativa posiblemente por condiciones de compactación ligera, uso intermitente o ralenti prolongado sin carga efectiva, terrenos planos o materiales livianos que no exigen potencia plena.
- El Rodillo A121 alcanza 2.18 gal/hora, valor muy cercano al límite inferior del fabricante y dentro del rango normal, indicando una operación eficiente y calibrada con una compactación media a alta, con carga adecuada y correcto uso del sistema vibratorio.
- En promedio, los equipos operan por debajo del rango medio esperado que sería de 3.0 gal/hora, reflejando una eficiencia de operación aceptable y posiblemente condiciones de trabajo livianas.

La Tabla 9, muestra los resultados de rendimientos obtenidos en máquinas Finisher, comparados con el rendimiento estipulado por los fabricantes.

MÁQUINA	CÓDIGO	RENDIMIENTO GENERAL	RENDIMIENTO PROMEDIO	RENDIMIENTO FABRICANTE
Finisher	A036	NM	NM	1.8 - 3.1 [gal/hora]
Finisher	A120	2.4375 [gal/hora]	2.2640 [gal/hora]	

Tabla 9. Rendimiento de máquinas Finisher obtenidos comparados con Rendimiento de fabricante.

- Dado que la unidad A036 no cuenta con horómetro, no se tiene registros de tiempo operativo efectivo de la máquina, lo cual impide obtener el rendimiento generado por la máquina, pero si se asume un uso similar al de la A120, su consumo teórico debería situarse en el mismo rango de aproximadamente 2.2 gal/hora.
- El rendimiento promedio medido (2.264 gal/hora) y el rendimiento general (2.4375 gal/hora) de la Finisher A120 se encuentran dentro del rango especificado por el fabricante. Esto indica que el consumo real medido en operación se ajusta a las condiciones estándar de fábrica, sin presentar desviaciones significativas que indiquen sobreconsumo o sobre rendimiento.
- Dado que las máquinas Finisher trabajan bajo diferentes cargas y velocidades de extendido de asfalto, es normal que el consumo varíe en función de la densidad del material, la temperatura del asfalto y el estado del terreno. El valor medio obtenido sugiere una eficiencia operativa adecuada, probablemente bajo condiciones normales de trabajo, sin sobrecarga ni ineficiencias mecánicas.
- Al encontrarse dentro del rango de fábrica, se puede afirmar que el sistema de inyección de combustible, motor y transmisión están operando en condiciones óptimas, ya que un consumo estable de 2.2 gal/hora es representativo de un equilibrio entre productividad y economía de combustible, lo cual refleja una buena gestión del operador y mantenimiento adecuado.

A continuación, la Tabla 10 muestra el rendimiento de las máquinas Motoniveladoras comparadas con el rendimiento estipulado por los fabricantes y analizada:

MÁQUINA	CÓDIGO	RENDIMIENTO GENERAL	RENDIMIENTO PROMEDIO	RENDIMIENTO FABRICANTE
Motoniveladora	A050	NM	NM	2.0 - 4.7 [gal/hora]
Motoniveladora	A125	NM	NM	
Motoniveladora	G030	3.4568 [gal/hora]	4.6311 [gal/hora]	

Tabla 10. Rendimientos de Motoniveladoras obtenidos y comparados con Rendimiento del fabricante.

- Las Motoniveladoras A050 y A125 no presentan mediciones, por lo que no se puede evaluar su comportamiento energético; sin embargo, se puede inferir que si las condiciones operativas son similares, su consumo debería situarse dentro del mismo rango de referencia que es la unidad G030 con un consumo aproximado de 4.043 gal/hora.
- El rendimiento general y el promedio de la Motoniveladora G030 obtenidos, se encuentran dentro del rango indicado por el fabricante. Esto indica que la máquina trabaja en condiciones normales de operación, con un consumo ligeramente alto pero aceptable respecto al límite superior del rango marcado por el fabricante.
- El valor promedio cercano a 4.7 gal/hora sugiere que la máquina ha operado bajo carga alta o condiciones de trabajo exigentes, como nivelación en terrenos irregulares, arrastre constante de material o pendientes, aun así, al mantenerse dentro del rango del fabricante, no se evidencia sobreconsumo anómalo ni indicios de deficiencia mecánica.
- El rendimiento obtenido refleja una eficiencia del motor adecuada, con un sistema de inyección y tren de potencia funcionando correctamente. El consumo estable dentro de los límites de fábrica también implica una buena gestión del operador, respetando los regímenes de trabajo recomendados.

A continuación, la Tabla 11 muestra el rendimiento de las máquinas Retroexcavadoras obtenidas, comparadas con el rendimiento estipulado por los fabricantes:

MÁQUINA	CÓDIGO	RENDIMIENTO GENERAL	RENDIMIENTO PROMEDIO	RENDIMIENTO FABRICANTE
Retroexcavadora	A142	NM	NM	1.3 - 3.1 [gal/hora]
Retroexcavadora	G033	1.8911 [gal/hora]	1.407 [gal/hora]	
Retroexcavadora	G045	1.6798 [gal/hora]	1.7434 [gal/hora]	

Tabla 11. Rendimientos de Retroexcavadoras obtenidos comparados con Rendimiento de fabricante.

- La Retroexcavadora A142 carece de datos, lo cual impide su análisis. Asimilando condiciones de operación similares a las demás unidades, el rendimiento aproximado debería estar en 1.5752 gal/hora.
- Los valores medidos en las máquinas G033 y G045 se encuentran dentro del rango establecido por el fabricante. La G033 registra un consumo promedio de 1.407 gal/hora, lo que indica una operación de baja carga, posiblemente asociado a tareas de excavación superficial, nivelación ligera o tiempos prolongados en ralentí, por su parte, la retroexcavadora G045, muestra un consumo promedio ligeramente mayor 1.7434 gal/hora, reflejando una utilización más constante o de mayor demanda, pero aún dentro de los parámetros normales.
- El consumo dentro del rango indica buen estado del sistema de combustión e inyección, sin evidencias de sobreconsumo. Las diferencias entre las máquinas reflejan variabilidad operacional, factores como el tipo de suelo, profundidad de excavación, tiempo de desplazamiento, y estilo del operador influyen significativamente en el rendimiento.
- Las unidades G033 y G045 mantienen una eficiencia térmica adecuada y una relación favorable entre la potencia entregada y combustible consumido. Los valores relativamente bajos de consumo promedio sugieren operación eficiente y sostenida, con una baja incidencia de ralentí excesivo y mantenimiento correcto.

Para el caso de las excavadoras se contaba con dos unidades, de las cuales una de ellas no cuenta con registro de datos, en la tabla se compara los resultados de la unidad G028 con el rendimiento establecido por el fabricante.

La Tabla 12, muestra los resultados de rendimientos obtenidos en excavadoras, comparados con el rendimiento estipulado por los fabricantes.

MÁQUINA	CÓDIGO	RENDIMIENTO GENERAL	RENDIMIENTO PROMEDIO	RENDIMIENTO FABRICANTE
Excavadora	G028	4.6420 [gal/hora]	5.173 [gal/hora]	2.7 - 4.6 [gal/hora]
Excavadora	G040	NM	NM	

Tabla 12. Rendimientos de Excavadoras obtenidos, comparados con Rendimiento del fabricante.

- La excavadora G028 registra un rendimiento general que se encuentra en el límite superior del rango recomendado por el fabricante, mientras que el valor promedio supera en un 12.5% el máximo establecido, indicando un consumo mayor al esperado bajo condiciones normales de operación.
- El consumo elevado puede estar asociado a operaciones de alta demanda energética, tales como excavaciones profundas, suelos compactos o prolongado trabajo de

desplazamiento y carga, también puede reflejar condiciones de mantenimiento inadecuadas, como filtros de aire sucios, calibración inadecuada de inyectores o presión de neumáticos y resistencias hidráulicas elevadas. Otro factor determinante podría ser la técnica de operación, si el equipo se mantiene a altas revoluciones durante periodos prolongados sin necesidad real.

- Dado que el rendimiento promedio supera al límite del fabricante, reduce la eficiencia global del motor, sin embargo, este nivel sigue siendo tolerable en condiciones de trabajo intensivo, siempre que el equipo mantenga niveles adecuados de rendimiento por hora de trabajo efectivo.
- En condiciones óptimas, y con mantenimientos al día, el consumo debería mantenerse entre 3.5 y 4.5 gal/hora, dependiendo del tipo de tarea y carga. La diferencia observada sugiere la necesidad de una revisión preventiva al sistema de inyección y del régimen operativo del motor para optimizar el rendimiento.
- La Excavadora G040 no tiene registro de datos, lo cual impide su análisis. Asimilando condiciones de operación similares a las demás unidades, el rendimiento aproximado debería estar en 4.9075 gal/hora.

Para el caso de las cargadoras, se incluyó el tractor ya que es la única máquina de su tipo y el consumo estipulado por el fabricante es muy similar al rendimiento de las cargadoras:

La Tabla 13, muestra los resultados de rendimientos obtenidos en las cargadoras y comparados con el rendimiento estipulado por los fabricantes.

MÁQUINA	CÓDIGO	RENDIMIENTO GENERAL	RENDIMIENTO PROMEDIO	RENDIMIENTO FABRICANTE
Cargadora	A026	NM	NM	2.0 - 4.5 [gal/hora]
Cargadora	A045	3.3630 [gal/hora]	3.7671 [gal/hora]	
Cargadora	G026	2.4630 [gal/hora]	2.3758 [gal/hora]	
Tractor	A027	NM	NM	

Tabla 13. Rendimientos de Cargadoras obtenidos comparados con el Rendimiento de fabricante.

- Las cargadoras A045 y G026 presentan valores de consumo dentro del rango establecido por los fabricantes, lo cual indica un rendimiento operativo efectivo. La A045 con un promedio de 3.77 gal/hora, se sitúa hacia la zona media alta del rango, lo que sugiere condiciones de trabajo de alta exigencia o cargas continuas típicas de operaciones en infraestructura vial. La G026, con un promedio de 2.38 gal/hora, trabaja en condiciones más ligeras o con intervalos de operación menos demandantes, manteniendo un consumo muy eficiente dentro del rango.
- Los valores obtenidos reflejan una buena combustión y buena calibración del sistema de inyección ya que no existen desviaciones de combustible, el comportamiento entre las dos cargadoras A045 y G026 evidencian variabilidad normal por tipo de tarea y condiciones de entorno, donde el incremento de consumo en la A045 puede deberse a

trabajo continuo, mayor ciclo de carga, frente de trabajo donde se encuentra y la pendiente de operación. La eficiencia promedio de ambas máquinas sugiere que la potencia desarrollada se aprovecha adecuadamente, sin indicios de consumo excesivo o pérdidas energéticas por mal estado mecánico.

- El promedio general de las dos cargadoras registradas A045 y G026 es de aproximadamente 3.07 gal/hora, valor intermedio dentro del rango de fabricante que indica una operación estable y efectiva. El rendimiento se considera óptimo cuando el consumo real se mantiene entre el 40% y 70% del valor máximo de fábrica, condición que se cumple en los dos casos.

7.3.4. Análisis de resultados de vehículos livianos

Al contar con también con dos categorías de vehículos para abastecer las operaciones de ASFALTAR EP, se separaron las unidades de la flota por tipos de vehículos para constatar su rendimiento calculado y compararlo con el rendimiento que dice cada fabricante respecto a sus unidades

Las unidades al ser varias, son de diferentes fabricantes. ASFALTAR EP cuenta con vehículos de fabricantes como: Mitsubishi, Chevrolet, Hino. Cada fabricante cuenta con ventajas y sobresalen cada una en diferentes aspectos y prestaciones que sus unidades ofrecen como pueden ser: potencia, capacidad de carga, torque, entre otros, por lo que el rendimiento en cada una de ellas puede variar. Con los promedios de rendimientos obtenidos en la Tabla 2 para cada tipo de máquina, se pasó a compararlos con los obtenidos para cada unidad de la flota operativa de ASFALTAR EP para identificar si existe o no un consumo excesivo de combustible y las posibles causas para que este fenómeno suceda.

La Tabla 14, muestra los resultados de rendimientos obtenidos en los vehículos tipo Jeep y comparados con el rendimiento estipulado por los fabricantes:

MÁQUINA	CÓDIGO	RENDIMIENTO GENERAL	RENDIMIENTO PROMEDIO	RENDIMIENTO FABRICANTE
Jeep	A002	22.31 [km/gal]	23.43 [km/gal]	30.0 - 36.5 [km/gal]
Jeep	A006	33.28 [km/gal]	34.27 [km/gal]	
Jeep	A008	24.24 [km/gal]	25.56 [km/gal]	
Jeep	A009	20.34 [km/gal]	20.98 [km/gal]	

Tabla 14. Rendimientos de vehículos tipo Jeep obtenidos, comparados con el Rendimiento de fabricante.

- La unidad A002 presenta un desempleo de 22-26% inferior al mínimo del fabricante y hasta un 39% por debajo del valor óptimo, indicando pérdida de eficiencia significativa, posiblemente asociada a desgaste del tren motriz, neumáticos en mal estado, rutas con carga elevada o estilo de conducción agresivo.
- La unidad A006 opera de 11-14% por encima del nivel mínimo del fabricante y se mantiene muy cerca al máximo (solo 6-9% por debajo). Esto evidencia óptima eficiencia energética, lo que puede ser por mantenimientos adecuados, operación en condiciones estables, estilo de conducción adecuada y rutas menos exigentes.
- En la unidad A008 el rendimiento es 15-19% inferior al mínimo del fabricante y 30-34% menor que el máximo. Esto refleja un desempeño ineficiente, aunque mejor que las unidades A002 y A009.
- La unidad A009 es la más ineficiente del grupo, tiene un rendimiento 30-32% menor que el mínimo del fabricante y 42-44% por debajo del nivel óptimo. Este rendimiento es técnicamente crítico ya que puede indicar problemas severos en inyección, desgaste del motor, fallas electrónicas, conducción ineficiente o condiciones operativas extremas.
- La flota de vehículos tipo de Jeep de ASFALTAR EP está operando en promedio 11.5% por debajo del estándar mínimo y 27% por debajo del óptimo del fabricante.

La Tabla 15, muestra los resultados de rendimientos obtenidos en los vehículos tipo camioneta y comparados con el rendimiento estipulado por los fabricantes:

MÁQUINA	CÓDIGO	REND. GENERAL	REND. PROMEDIO	RENDIMIENTO FABRICANTE
Camioneta	A003	23.79 [km/gal]	26.13 [km/gal]	38.1 68.9 [km/gal]
Camioneta	A005	41.47 [km/gal]	43.63 [km/gal]	
Camioneta	A007	35.81 [km/gal]	40.29 [km/gal]	
Camioneta	A201	58.73 [km/gal]	61.04 [km/gal]	
Camioneta	A202	58.16 [km/gal]	62.85 [km/gal]	
Camioneta	A203	38.36 [km/gal]	40.7 [km/gal]	
Camioneta	A204	51.67 [km/gal]	52.14 [km/gal]	
Camioneta	G001	42.38 [km/gal]	44.07 [km/gal]	
Camioneta	G003	29.81 [km/gal]	32.1 [km/gal]	
Camioneta	G004	42.22 [km/gal]	45.92 [km/gal]	

Tabla 15. Rendimientos de vehículos tipo camioneta obtenidos, comparados con el Rendimiento de fabricante.

- Las unidades que tienen rendimiento inferior al mínimo del fabricante son la unidad A003, que trabaja entre un 31-38% por debajo del estándar, indicando desgaste mecánico, conducción agresiva, carga elevada o fallas en la inyección. La unidad A007 tiene un rendimiento general 6% por debajo, pero el promedio está 6% por encima del límite inferior. La unidad A203 rinde igual o ligeramente superior al mínimo y la unidad G003 que opera 16-22% por debajo del mínimo, lo que evidencia fallas en eficiencia del motor, presión de llantas, hábitos de conducción rutas de marcha con pendiente y/o carga.
- Las unidades que están dentro del rango mínimo del fabricante, pero lejos del máximo son la unidad A005 que opera de forma eficiente, superando el mínimo entre 9-15%, pero aún 38% por debajo del máximo del fabricante. La unidad A204 tiene un excelente rendimiento con un 36% por encima del mínimo, y apenas 25% por debajo del máximo. Es una unidad altamente eficiente. La unidad G001 tiene buen rendimiento con 11-16% por encima del mínimo y la G004 trabaja entre 11% y 21% por encima del nivel mínimo.
- Las unidades con alto rendimiento son las unidades A201 con rendimientos sumamente eficientes operando 50-60% por encima del mínimo, y apenas 11-15% por debajo del máximo y la unidad A002 que presenta uno de los mejores rendimientos de la flota. Se ubica cerca del nivel máximo del fabricante y supera ampliamente el mínimo entre 53-65%.
- El promedio general de la flota es de 42.54 km/gal y el rendimiento promedio es de 44.08 km/gal. Comparado con el mínimo del fabricante, el general es 11.6% superior y el promedio es 157% superior. Comparado con el máximo rendimiento, el general es 38.3% menor y el promedio es 36.1% menor al estipulado por el fabricante.

La Tabla 16, muestra los resultados de rendimientos obtenidos en los vehículos tipo camioneta y comparados con el rendimiento estipulado por los fabricantes:

MÁQUINA	CÓDIGO	RENDIMIENTO GENERAL	RENDIMIENTO PROMEDIO	RENDIMIENTO PROMEDIO
Cabecal	A104	8.22 [km/gal]	8.71 [km/gal]	1.8 - 3.5 [km/gal]
Cabecal	G009	2.38 [km/gal]	3.04 [km/gal]	
Cabecal	G010	12.11 [km/gal]	35.59 [km/gal]	
Cabecal	G011	12.12 [km/gal]	13.55 [km/gal]	
Cabecal	G012	10.03 [km/gal]	11.03 [km/gal]	
Cabecal	G013	11.01 [km/gal]	11.74[km/gal]	
Cabecal	G023	11.69 [km/gal]	12.65[km/gal]	

Tabla 16. Rendimientos de cabezales obtenidos, comparados con el Rendimiento de fabricante.

- La única unidad de rendimiento estable observado es el cabezal G009, tiene una diferencia superior de 32.2% respecto al límite inferior, y 32% menos respecto al superior.
- El resto de unidades presentan rendimientos muy por encima del límite superior entre 125% y 900% más de lo estipulado por el fabricante, lo que se puede en gran medida a la falta de datos registrados en los abastecimientos, registro de km sin relación directa con consumo, consumos cargados en periodos posteriores (efecto arrastre) o reabastecimientos externos no registrados.

Esto implica riesgos técnicos asociados como la imposibilidad de determinar el consumo real de la flota, distorsión de KPIs operativos, dificultad para identificar fugas, sobreconsumo o fallas mecánicas reales y la planificación errónea de mantenimiento preventivo.

7.4. FASE 4: Propuesta de mejora

Con los resultados de los rendimientos obtenidos se denota la necesidad de implementar sistemas de control o medición adicionales en la flota vehicular. Al existir unidades que no cuentan con odómetros u horómetros se vuelve una tarea difícil controlar el consumo energético que está teniendo nuestra flota.

Por esta razón uno de los parámetros necesarios para poder controlar este consumo es contar con registros de desplazamientos de las unidades ya sea en kilómetros o en horas trabajadas para estimar el rendimiento generado durante su operación. Otro indicador importante para determinar el consumo de combustible son los registros de abastecimientos realizados con la cantidad exacta de combustible entregado, ASFALTAR EP al generarlos de forma manual, se

generan saltos e inconsistencias entre abastecimientos realizados. Esto genera resultados distorsionados de la realidad. El mantenimiento y estado de las máquinas también influye directamente al rendimiento de las mismas, por eso es importante contar con un control preventivo en sistemas y partes críticas del motor como son: sistema de inyección, sistema de lubricación, sistema de refrigeración, y partes importantes como el estado de filtros de aire y combustible.

ASFALTAR EP implementó el software de Mantenimiento SisMAC para la gestión de sus operaciones dentro del taller de mantenimiento. Este software ayuda en tareas como la gestión de mantenimientos para las unidades de la flota y la gestión del inventario de repuestos ya que ASFALTAR EP cuenta con su propia bodega con abastecimiento de todo tipo de repuestos para sus vehículos y maquinaria en general.

SisMAC es un software CMMS (Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computador) desarrollado por C & V Ingeniería Cía. Ltda. en Ecuador. Está diseñada para planificar, controlar y documentar las actividades de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo de maquinaria, equipos e infraestructura dentro de una organización, su objetivo principal es gestionar eficientemente los activos físicos, aumentando su disponibilidad y reduciendo tiempos muertos. Automatiza y consolida la gestión de mantenimiento en un solo sistema. Este enfoque reduce fallas que incrementan el consumo energético, mejorando la eficiencia en maquinaria pesada y vehículos institucionales de ASFALTAR EP.

El flujo de SisMAC va primero por ingresar los activos de la empresa cargando todos los equipos que serán gestionados a los cuales se les asignan datos técnicos como marca, modelo, número de serie, ubicación y ficha técnica. Luego define el plan de mantenimiento con la estrategia a seguir sea preventivo, correctivo o predictivo y se programan las tareas con periodicidad. Pasa a generar la orden de trabajo de forma automática en caso de mantenimiento preventivo o predictivo y se la hace de forma manual en caso de correctivo, finalmente el operador recibe las instrucciones, materiales y tiempos estimados. El técnico ejecuta el mantenimiento, se registra lo realizado: repuestos usados, horas trabajadas, hallazgos y evidencias. para finalizar se cierra la orden de trabajo generando un historial del equipo con lo cual, el sistema actualiza costos, inventario y KPIs.

Este comportamiento ha sido validado por estudios donde la gestión de mantenimiento digitalizada mediante CMMS reduce entre el 10% y 30% del consumo asociado a fallas mecánicas no atendidas (Hernández et al., 2021). Adicionalmente, la literatura señala que el mantenimiento predictivo basado en datos disminuye fallas que afectan el rendimiento de combustible y mejora la eficacia global de la flota (Singh & Sharma, 2020).

Mediante la implementación de SisMAC como sistema de gestión de mantenimiento y activos, ASFALTAR EP puede establecer un control sistemático de sus vehículos y maquinaria, lo cual favorece directamente la eficiencia en el consumo de combustible. En primer lugar, el registro detallado de horas de operación, kilómetros recorridos y contadores de máquina permite establecer los intervalos de mantenimiento preventivo con base de datos reales y no únicamente en calendarios fijos. Así, al mantener los equipos en condiciones óptimas, filtros de aire limpios, inyectores calibrados, neumáticos con presión correcta, se reduce el consumo adicional generado por fallos mecánicos o degradación del rendimiento.

Con este software cubrimos uno de los principales parámetros para la mejora del consumo en la flota de ASFALTAR EP que es controlar el mantenimiento y estado de las unidades. Sistemas de inyección, lubricación, refrigeración, y transmisión juega un papel determinante en el consumo de combustible. SisMAC al acumular históricos de fallas, consumos, horas de máquinas y registros técnicos, permite aplicar análisis predictivo para anticipar condiciones que provocan sobreconsumo, tales como filtros obstruidos, inyectores con atomización deficiente, baja compresión, desgaste de neumáticos o lubricación incorrecta.

Ruiz y Andrade (2019) demostraron que los modelos predictivos basados en tendencias operativas reducen el consumo energético en flotas institucionales hasta en un 14%. Asimismo, Torres et al. (2022) señalan que correlacionar desgaste mecánico con curvas de consumo permiten identificar fallas ocultas y anticiparse a pérdidas de eficiencia en maquinaria pesada.

SisMAC permite programar intervenciones sin afectar los ciclos operativos, reduciendo tiempos improductivos, arranques repetitivos y periodos prolongados de ralentí, los cuales son factores directos de consumo ineficiente. Mediante indicadores como disponibilidad mecánica, MTTR, MTBF y utilización efectiva, la organización puede controlar el impacto energético de la operación diaria.

La investigación de Lima et al. (2020) evidencia que mejoras en disponibilidad mecánica reducen el consumo específico gracias a la disminución de interrupciones operativas. De igual manera, estudios de flotas públicas concluyen que la programación adecuada del trabajo reduce el ralentí y puede mejorar el consumo en un 15% (Barrera & López, 2022).

Otro de los parámetros críticos es la ubicación topológica por lo que, para mejorar el rendimiento del recurso, se necesita controlar el tiempo efectivo operativo de las máquinas y los tiempos en ralentí. SisMAC incluye una funcionalidad con cargo adicional denominada “Servicio de rastreo satelital SisMAC Tracking” que permite el seguimiento en tiempo real de vehículos y equipos móviles mediante tecnología GPS, como parte de su módulo integrado. Esta funcionalidad está orientada a empresas controlar ubicación, desplazamientos, y localizar activos en movimiento, además en la descripción de módulos del sistema, se menciona que permite asignar la ubicación geográfica del activo mediante información GPS. La funcionalidad de SisMAC para “Monitoreo de variable en sitio (IoT)” y su módulo de instalaciones con referencia GPS, permiten que cada máquina de la flota esté georreferenciada y se pueda asociar su comportamiento energético a la ruta, carga y zona operativa en la que trabaja.

Otro mecanismo lo proporciona el módulo de órdenes de trabajo y alertas automatizadas de SisMAC. Al programar mantenimientos basados en los contadores reales del equipo (horas, kilómetros, pulsos) y generar alertas cuando los consumos exceden ciertos umbrales, se evita que las máquinas operen con desgaste excesivo. El acceso móvil de los operadores mediante la app de SisMAC permite registrar in situ lecturas, averías, desplazamientos o intervenciones urgentes directamente desde la máquina. Esto reduce los errores de registro manual, mejora la calidad de los datos y permite que los gestores de energía obtengan información en tiempo real sobre el estado de la flota. Con datos precisos, pueden elaborarse indicadores de eficiencia por unidad que facilitan el benchmarking interno y ayudan a definir metas de reducción de consumo, como reducir el promedio de consumo de combustible un 10% anual.

SisMAC incorpora funcionalidades de registro, trazabilidad y validación de combustible suministrado, lo que permite identificar consumos anómalos, pérdidas, inconsistencias entre

kilómetros recorridos y galones utilizados, así como detectar desviaciones operativas en tiempo real. En ASFALTAR EP, este aspecto es crítico debido al alto consumo de cabezales, volquetas, retroexcavadoras y excavadoras.

La evidencia documental indica que la trazabilidad digital del combustible en entidades públicas mejora la eficacia entre el 8% y el 19% debido a la reducción de pérdidas operacionales y sobreconsumo (Martínez & Rojas, 2023). De forma complementaria, la investigación desarrollada por Chen et al. (2019) demuestra que la gestión sistematizada del abastecimiento reduce errores, fraudes y fugas energéticas en flotas de maquinaria pesada.

Contar con el software SisMAC no ayuda totalmente al control de consumo de combustible, ya que existen otros factores adicionales a tener en cuenta como es la ubicación geográfica del lugar donde está operando, el tiempo real de operación y los tiempos en ralentí, y las técnicas o hábitos de conducción que tiene cada operador. Por estas razones se hace necesario implementar sistemas de medición y control adicionales que ayuden a tener en cuenta todos estos parámetros para así obtener el consumo real que está teniendo cada unidad de nuestra flota operativa.

Existen diferentes sistemas de control y medición como pueden ser: sistemas de telemetría, red CAN Bus a bordo, sistemas IoT (Internet de las cosas), flujómetros de combustible, sensores de nivel de combustible. Estas tecnologías permiten capturar, procesar y analizar en tiempo real variables críticas del desempeño operativo de las unidades, lo que constituye un pilar fundamental para la eficiencia energética, la trazabilidad y la toma de decisiones basadas en datos (Calatayud, A., 2022; Mapon, 2018; Michelin Connected Fleet., 2025.).

Con ayuda de este mismo software, ASFALTAR EP puede registrar datos o parámetros adicionales que servirán para controlar el consumo de combustible como son: abastecimiento o carga de combustible realizado, y el kilometraje u hora de trabajo al momento de realizar el abastecimiento. Al hacerlo de forma digital el sistema grabará automáticamente los registros realizados y con esto tener una base de datos digital real para estimar el consumo en cada unidad de la flota. El software de SisMAC genera un historial de cada unidad con todos los parámetros que el operador asigne o registre desde su aplicación móvil y esta base de datos la podemos descargar en formato .xlsx para abrir desde Microsoft Excel.

Una vez descargamos el archivo, lo abrimos y tenemos acceso a la información del mismo, se debe tomar la información sobre los abastecimientos realizados y los kilómetros recorridos o las horas trabajadas registradas, copiarlas y llevarlas al registro digital creado para cada unidad en Microsoft Excel y calcular el consumo que están teniendo nuestras unidades, y de lo podría hacer, en el caso de ASFALTAR EP mes a mes ya que su flota es muy extensa y necesita un control riguroso en el rendimiento del recurso energético.

Con los datos integrados del CMMS y telemetría externa, es posible optimizar rutas, seleccionar vehículos con mejor eficiencia para tareas específicas y asignar maquinaria según su desempeño energético. Para ASFALTAR EP, esto significa operar con un enfoque inteligente en rutas urbanas, rurales, de montaña y autopista, maximizando la eficiencia energética por tipo de trabajo.

López y Medina (2021) demostraron que la optimización de rutas reduce el consumo por kilómetro entre el 10% y 15%. El European Fleet Study (2020) también confirma que la

asignación inteligente de maquinaria según su eficacia reduce costos operativos y extiende la vida útil de los activos.

8. Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Conclusiones

- La evaluación integral del consumo de combustible en ASFALTAR EP permite concluir que la ausencia de un sistema técnico de control energético constituye un factor limitante para la eficiencia operativa de la institución, debido a que los procesos actuales de registro manual generan inconsistencias, falta de trazabilidad y dificultades para correlacionar consumo real, carga operativa y estado mecánico de las unidades; lo cual impide cumplir los estándares de eficiencia energética establecidos y afecta directamente los costos operativos, la disponibilidad de la flota y la capacidad institucional para tomar decisiones estratégicas basadas en evidencia cuantitativa.
- El análisis técnico de los datos de rendimiento general y promedio de la flota demuestra desviaciones sustanciales respecto a los valores de referencia de fábrica, especialmente en maquinaria pesada, cabezales, volquetas y tanqueros, donde se identificaron pérdida energéticas asociadas a sobrecarga mecánica, mantenimiento insuficiente; esto evidencia la necesidad de implementar un monitoreo continuo que permita identificar patrones de sobreconsumo, variaciones anómalas por frente de trabajo y fallas asociadas al sistema de inyección o combustión.
- Los resultados obtenidos reflejan que ASFALTAR EP mantiene procesos de abastecimiento y control desconectados entre sí, sin integración con sistemas digitales, sin medición automatizada del recurso y sin vinculación entre consumo, horas motor, mantenimiento y operación, lo que limita la capacidad de generar indicadores, auditar el flujo de combustible y proyectar necesidades de abastecimiento; esta condición confirma la brecha tecnológica y justifica la implementación de una arquitectura integrada basada en telemetría, red CAN, IoT y sistemas CMMS.
- La modelación de la propuesta de telemetría vehicular, integración CAN-BUS, sensorización IoT y vinculación con un sistema CMMS como SisMAC demuestra que la digitalización del recurso energético permitiría optimizar entre un 20% y 30% el consumo institucional, mediante la detección temprana de fallas, la reducción del ralentí, la mejora en los hábitos de conducción, la planificación de rutas y la programación de mantenimiento predictivos, convirtiéndose en un componente esencial para incrementar la disponibilidad de la flota y reducir costos operativos de manera sostenible.

8.2. Recomendaciones

- Se recomienda implementar de manera prioritaria un sistema de telemetría vehicular integrado a la red CAN-BUS que permita monitorear en tiempo real variables críticas como consumo instantáneo, carga del motor, RPM, velocidad, horas motor, tiempo en ralentí y alertas electrónicas, de forma que ASFALTAR EP cuente con datos continuos y precisos que faciliten el análisis energético, la identificación de patrones de sobreconsumo y la toma de decisiones operativas basadas en indicadores objetivos.
- Es indispensable vincular la telemetría con un sistema CMMS como SisMAC, de manera que las horas motor reales, las alertas del sistema electrónico y los parámetros de operación generen automáticamente órdenes de trabajo y programaciones de mantenimiento; esto permitirá anticipar fallas, reducir pérdidas energéticas por desgaste mecánico, mantener las unidades dentro de su rango de operación óptima y disminuir significativamente el consumo innecesario de combustible.
- Se recomienda digitalizar todo el flujo del combustible mediante sensores de nivel, dispensadores inteligentes, identificación RFID de vehículo y operador, y registro automático de galones entregados, ubicación y hora, garantizando trazabilidad total desde el almacenamiento hasta el consumo final; este proceso reducirá el error humano, evitará inconsistencias en los datos, permitirá auditorías energéticas completas y optimizará la planificación logística del abastecimiento institucional.
- ASFALTAR EP debe establecer un sistema oficial de métricas energéticas que incluya consumo por hora, rendimiento por kilómetro, consumo por frente de trabajo, costo energético por unidad y porcentaje de ralentí, integrando estos indicadores en tableros de control de acceso institucional, lo que permitirá monitorear la eficiencia operativa, comparar entre unidades, detectar desviaciones energéticas y fundamentar decisiones estratégicas basadas en datos verificables.
- Se recomienda crear un Centro de Monitoreo Energético especializado, encargado del análisis de datos en tiempo real, generación de alarmas, elaboración de reportes automáticos y supervisión de la eficiencia energética de toda la flota, garantizando control operativo 24/7, continuidad del proceso de digitalización y sostenibilidad de la estrategia energética planteada en la propuesta de mejora.

9. Anexos

Anexo 1. Link acceso a archivos Microsoft Excel con los análisis y resultados de consumo en la flota de ASFALTAR EP

https://drive.google.com/drive/folders/1qpeDka084vL658pZGO5qbMJFIHYAP030?usp=drive_link

10. Bibliografía

Referencias

- Álvarez, P., Jiménez, R., & Rojas, F. (2020). La digitalización en la gestión de recursos energéticos: impacto en la eficiencia operativa de empresas de transporte. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Industrial*(12(3).), 45-58. Obtenido de <https://doi.org/10.5294/riai.2020.12.3.45>
- Álvarez, S., Guzmán, J., & López, V. (2020). La importancia de la digitalización en la gestión de recursos energéticos en organizaciones públicas. *Revista de Gestión y Tecnología*(12(3).), 50-63.
- Barbado, A., & Corcho, Ó. (2021). Vehicle fuel optimization under real-world driving conditions: An explainable artificial intelligence approach. *arXiv*. Obtenido de <https://arxiv.org/abs/2107.06031>
- Barrera, J., & López, S. (2022). Impacto del ralentí en el consumo de flotas municipales. *Revista Latinoamericana de Transporte Público*, 9(1), 30-41.
- Bertalanffy, L. von. (1968). General System Theory: Foundations, Development, Applications. *George Braziller*.
- Bird & Bird. (2020). La digitalización en el sector de la energía: Energía 4.0. *Bird & Bird LLP*. Obtenido de <https://www.twobirds.com/-/media/pdfs/brochures/sectors/energy/202001internationalenergy-digitalisationbrochurefinal-spanish.pdf>
- Calatayud, A. (2022). Impulsando la transformación digital del transporte en América Latina y el Caribe. *Banco Interamericano de Desarrollo*. Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Impulsando-la-transformacion-digital-del-transporte-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- Cárdenas, M., & Díaz, L. (2022). Optimización del consumo de combustible en flotas operativas mediante sistemas de control digital. *Revista de Logística y Transporte*(18(2).), 77-89. Obtenido de <https://doi.org/10.22201/rlt.2022.18.2.77>

- Cenfolog. (2023). Gestión del rendimiento del combustible. *Centro de Formación Logística*.
Obtenido de <https://cenfolog.com/curso/gestion-del-rendimiento-del-combustible/>
- Chen, Y., Luo, T., & Wei, Z. (2019). Fuel management optimization using CMMS integration. *International Journal of Fleet Analytics*, 7(1), 15-27.
- Connected Fleet / Michelin. (2025). Tendencias en la gestión del consumo de combustible en flotas. *Michelin Connected Fleet*. Obtenido de <https://connectedfleet.michelin.com>
- El País. (4 de Noviembre de 1995). La conducción agresiva aumenta hasta en un 50% el consumo de combustible. *El País*. Obtenido de https://elpais.com/diario/1995/11/04/sociedad/815439604_850215.html
- Enertic. (2025). Eficiencia energética en la era digital: tecnologías habilitadoras. *Enertic*. Obtenido de <https://enertic.org>
- ENGIE. (2025). Digitalización y eficiencia energética. *ENGIE Energía Perú*. Obtenido de <https://engie-energia.pe/hablemos-de-energia/digitalizacion-y-eficiencia-energetica/>
- European Fleet Study. (2020). Energy efficiency strategies for public machinery fleets. *European Transport Research Council*.
- García, J., & Méndez, A. (2021). Gestión energética en flotas vehiculares: estrategias para la reducción de costos y emisiones. *Revista Latinoamericana de Sostenibilidad*(9(1)), 101-115. Obtenido de <https://doi.org/10.1590/rls.2021.9.1.101>
- Geotab. (2020). Cómo optimizar rutas y reducir el consumo de combustible. *GeoTab*. Obtenido de <https://www.geotab.com>
- Hernández, J., Pérez, L., & Ramos, M. (2021). Gestión eficiente del combustible en flotas de transporte pesado. *Revista Ingeniería y Competitividad*(23(2)), 77-90. Obtenido de <https://doi.org/10.25100/iyc.v23i2.10159>
- IDAE. (2005). Guía práctica para la gestión del combustible en flotas de transporte por carretera. *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. Obtenido de <https://www.idae.es>
- International Energy Agency (IEA). (2021). Energy efficiency 2021: Analysis and outlooks to 2030. *OECD/IEA*. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2021>
- Lima, A., Souza, F., & Mendes, R. (2020). Operational availability and energy efficiency in heavy equipment. *Transportation Engineering Journal*, 15(4), 210-225.
- López, J., & Medina, O. (2021). Optimización de rutas para la reducción del consumo energético. *Transporte y Desarrollo*, 8(2), 60-78.
- Mapon. . (2018). Soluciones para la gestión del combustible en flotas. *Mapon*. Obtenido de <https://www.mapon.com>
- Mărcuță, C., & MoldStud Research Team. (27 de Junio de 2025). Enhancing environmental sustainability in fleet management through telematics solutions. *MoldStud*. Obtenido de <https://moldstud.com/articles/p-enhancing-environmental-sustainability-in-fleet-management-through-telematics-solutions>

- Marinescu, D.C. (2017). *Cloud Computing: Theory and Practice* (2nd ed.). *Morgan Kaufmann*.
- Martínez, V., & Rojas, P. (2023). Digital fuel traceability in public fleets. *Public Sector Technology Review*, 6(2), 77-94.
- Michelin Connected Fleet. (2025). Gestión de flotas conectadas: eficiencia, seguridad y sostenibilidad. *Michelin Connected Fleet*. Obtenido de <https://connectedfleet.michelin.com>
- Ministerio de Energía y Minas. (2021). Plan Nacional de Eficiencia Energética 2030. *Gobierno del Ecuador*. Obtenido de <https://www.rekursosyenergia.gob.ec>
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2017). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*(40(3)), 394-398. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
- Ruiz, C., & Andrade, M. (2019). Modelos predictivos de consumo para flotas institucionales. *Revista de Ingeniería y Transporte*, 14(1), 40-52.
- Singh, R., & Sharma, K. (2020). Predictive maintenance and fuel economy in heavy machinery. *Mechanical Systems Review*(18(2)), 88-104.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. *McGraw-Hill Education*.
- The Logistics World. (2024). Cómo los sistemas de gestión de flotas reducen el consumo de combustible. *The Logistics World*. Obtenido de <https://thelogisticsworld.com>
- The Logistics World. (2024). *Tecnologías para la gestión eficiente del combustible en flotas*. Obtenido de The Logistics World: <https://thelogisticsworld.com>
- Torres, A., Medina, B., & Luján, C. (2022). Relación entre desgaste mecánico y consumo energético en maquinaria pesada. *Journal of Mechanical Diagnostics*, 9(3), 90-105.
- TSO Mobile. (2022). Beneficios del software de gestión de flotas en el control del consumo. *TSO Mobile*. Obtenido de <https://www.tsomobile.com>