



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
Powered by Arizona State University

**FACULTAD DE INGENIERÍAS APLICADAS Y
DESARROLLO INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Análisis de Desempeño de un Motor Cummins ISM 11
Mediante Telemetría en la Ruta Manta-Guayaquil**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Autor: Chávez Malo, André Alejandro

Tutor: Gómez-Berrezueta, Manuel Fernando

GUAYAQUIL
2026

Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Yo Manuel Fernando Gómez Berrezueta, en calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Análisis de Desempeño de un Motor Cummins ISM 11 mediante Telemetría en la Ruta Manta-Guayaquil realizado por André Alejandro Chávez Malo ha sido orientado y revisado en todas sus partes y considero que cumple los requisitos establecidos por la institución. En virtud de ello doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Manuel Fernando Gómez Berrezueta

Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, André Alejandro Chávez Malo declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, Reglamento y Leyes.

Autor: André Alejandro Chávez Malo

C.I.: 0918553249

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, por brindarme salud, fortaleza y sabiduría para culminar esta etapa académica. Su guía ha sido fundamental para superar cada desafío y mantener la perseverancia necesaria durante el desarrollo de esta investigación.

A mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante. Su confianza en mis capacidades ha sido una fuente permanente de inspiración para alcanzar mis metas personales y profesionales, convirtiéndose en el pilar fundamental de este logro.

A todos los docentes y profesionales que compartieron sus conocimientos y experiencias a lo largo de mi formación académica. Sus enseñanzas contribuyeron significativamente al desarrollo de las competencias necesarias para la realización de este trabajo y para mi crecimiento como profesional.

Agradecimiento

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad por brindarme la oportunidad de formarme académicamente y desarrollar esta investigación. Asimismo, agradezco a los docentes de la carrera por su dedicación, orientación y compromiso con la formación de profesionales competentes y comprometidos con la sociedad.

Mi agradecimiento especial al Ing. Fernando Gómez Berrezueta como tutor de este proyecto, por su guía, apoyo y valiosos aportes durante cada etapa de la investigación. Sus observaciones y recomendaciones permitieron fortalecer el contenido técnico y metodológico del estudio, contribuyendo al logro de los objetivos planteados.

Finalmente, agradezco a la empresa y al personal técnico que facilitaron el acceso al vehículo, al motor Cummins ISM 11 y a las herramientas de diagnóstico necesarias para la recopilación de información. Su colaboración fue fundamental para el desarrollo de las pruebas de campo y para la obtención de resultados que hicieron posible la culminación exitosa de esta investigación.

Índice de contenido

Carátula	I
Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular	II
Declaración de autoría y cesión de derechos	III
Dedicatoria	IV
Agradecimiento	V
Índice de contenido	VI
Índice de tablas	IX
Índice de figuras	X
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Capítulo I	5
Antecedentes	5
1.1 Tema	5
1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema	5
1.2.1 <i>Planteamiento del problema</i>	6
1.2.2 <i>Formulación del problema</i>	8
1.2.3 <i>Sistematización del problema</i>	8
1.3 Objetivos de la investigación	8
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	8
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	8
1.4 Justificación y delimitación de la investigación	8
1.4.1 <i>Justificación teórica</i>	9
1.4.2 <i>Justificación metodológica</i>	9
1.4.3 <i>Justificación práctica</i>	10
1.4.4 <i>Delimitación temporal</i>	10
1.4.5 <i>Delimitación geográfica</i>	10

1.4.6	<i>Delimitación del contenido</i>	10
Capítulo II		12
Marco referencial		12
2.1	Marco teórico	12
2.1.1	<i>Conceptos preliminares</i>	12
Capítulo III		20
Metodología		20
3.1	Enfoque metodológico	20
3.2	Tipo y diseño de investigación	21
3.3	Variables de estudio	21
3.4	Descripción del equipo y materiales	22
3.4.1	<i>Vehículo de prueba</i>	24
3.4.2.	<i>Instrumentos de recolección de datos</i>	25
3.5	Procedimiento experimental	25
3.5.1	<i>Etapas 1: Inspección del vehículo</i>	25
3.5.2.	<i>Etapas 2: Instalación del sistema telemétrico</i>	26
3.5.3.	<i>Etapas 3: Configuración</i>	27
3.5.4.	<i>Etapas 4: Recorrido</i>	27
3.5.5.	<i>Etapas 5: Descarga de información</i>	28
3.5.6	<i>Etapas 6: Depuración</i>	29
3.5.7	<i>Etapas 7: Procesamiento de datos</i>	29
3.6	Validación y control de calidad	29
Capítulo IV		31
Análisis de resultados		31
4.1	Configuración del sistema de adquisición de datos	31
4.2	Condiciones de la prueba de ruta	32
4.3	Análisis del consumo de combustible	32
4.4	Análisis del rendimiento energético	33

4.5	Influencia de la topografía sobre el consumo	34
4.6	Datos de la ECM al finalizar la ruta	35
4.7	Discusión de resultados	36
	Conclusiones	38
	Recomendaciones	39
	Referencias	40

Índice de tablas

Tabla 1 Variables de estudio.....	22
Tabla 2 Especificaciones del vehículo de prueba	24
Tabla 3 Principales indicadores evaluados.....	33

Índice de figuras

Figura 1 Ejemplos de sistemas de telemetría y monitoreo de parámetros	6
Figura 2 Transporte de carga	7
Figura 3 Transporte pesado en la logística.....	13
Figura 4 Sistema de telemetría	14
Figura 5 GEI de fuentes móviles (2019).....	17
Figura 6 Vehículo de prueba.....	23
Figura 7 Programa INSITE.....	24
Figura 8 Herramienta de diagnóstico de camión pesado Insite 9.0	25
Figura 9 Inspección del vehículo	26
Figura 10 Sistema telemático	26
Figura 11 Configuración del sistema	27
Figura 12 Ruta	28
Figura 13 Pruebas estandarizadas.....	30
Figura 14 Datos obtenidos-combustible consumido.....	35
Figura 15 Datos obtenidos-distancias recorridas	36
Figura 16 Resultados obtenidos	37

Resumen

La presente investigación evaluó el desempeño operativo de un motor Cummins ISM 11 instalado en un camión Shacman X5000, mediante el análisis de los datos registrados por la Unidad de Control Electrónico (ECM) durante un recorrido con carga entre las ciudades de Manta y Guayaquil. Se utilizó el software Cummins INSITE™ para establecer comunicación con la ECM y recopilar parámetros operativos como régimen del motor (RPM), consumo de combustible, velocidad del vehículo, potencia desarrollada, porcentaje de carga, temperatura del refrigerante y presión del aceite. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, de campo y alcance descriptivo-analítico. Los datos obtenidos fueron depurados y procesados mediante herramientas estadísticas para determinar el rendimiento de combustible (km/gal) y analizar su relación con la topografía de la ruta y las condiciones de operación. Los resultados permitieron identificar los tramos de mayor demanda energética, así como los factores que influyen en el consumo de combustible y la eficiencia del motor. La metodología propuesta constituye una herramienta técnica para optimizar la gestión de flotas, apoyar programas de mantenimiento basado en condición y contribuir a la reducción del consumo de combustible y de las emisiones de dióxido de carbono en el transporte pesado.

Palabras clave: Motor a diésel, telemetría vehicular, eficiencia de combustible.

Abstract

This research evaluated the operational performance of a Cummins ISM 11 engine installed in a Shacman X5000 truck by analyzing data recorded by the Engine Control Module (ECM) during a loaded route between the cities of Manta and Guayaquil, Ecuador. The Cummins INSITE™ diagnostic software was used to establish communication with the ECM and collect operational parameters, including engine speed (RPM), fuel consumption, vehicle speed, engine power, engine load, coolant temperature, and oil pressure. The study followed a quantitative approach with a non-experimental, field-based, and descriptive-analytical research design. The collected data were validated, processed, and statistically analyzed to determine fuel economy (km/gal) and evaluate its relationship with route topography and vehicle operating conditions. The results identified the road segments with the highest energy demand and the operational factors influencing fuel consumption and engine efficiency. The proposed methodology provides a practical technical tool for optimizing fleet management, supporting condition-based maintenance strategies, improving fuel efficiency, and reducing carbon dioxide (CO₂) emissions in heavy-duty road transportation.

Keywords: Engine diesel; vehicle telematics; fuel efficiency.

Introducción

El transporte terrestre de carga constituye uno de los pilares fundamentales para el desarrollo económico del Ecuador, debido a su papel estratégico en la movilización de mercancías entre los principales centros de producción, distribución y consumo. En este contexto, el desempeño de los motores diésel de servicio pesado influye directamente en la eficiencia operativa de las empresas transportistas, el consumo de combustible, los costos de operación y el impacto ambiental derivado de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Esta investigación se origina como respuesta a la necesidad de disponer de información técnica objetiva sobre el comportamiento operativo del motor Cummins ISM 11, instalado en un camión Shacman X5000, durante condiciones reales de operación. Estos motores reúnen sistemas electrónicos capaces de registrar una gran cantidad de parámetros de funcionamiento mediante la Unidad de Control Electrónico (ECM), en muchas empresas esta información no es aprovechada para evaluar el desempeño del vehículo ni para implementar estrategias de mejora basadas en evidencia. Esto limita la posibilidad de optimizar el consumo de combustible, identificar patrones de operación ineficientes y establecer criterios técnicos para la gestión de flotas.

Se recolecta la información durante una prueba de ruta con carga y se analiza el rendimiento de combustible en función de la topografía del recorrido y de las condiciones operativas del vehículo, identificando los tramos con mayor demanda energética y las variables que influyen en la eficiencia del sistema de propulsión.

Los objetivos específicos planteados se cumplen satisfactoriamente. En primer lugar, se logró configurar correctamente el sistema de diagnóstico Cummins INSITE para establecer comunicación con la ECM y registrar los parámetros de funcionamiento requeridos para el estudio. En segundo lugar, se obtiene una base de datos completa y confiable durante la prueba de ruta, permitiendo caracterizar el comportamiento dinámico del motor bajo condiciones reales de carga. Al final se analiza la información permitió determinar el rendimiento de combustible expresado en kilómetros por galón, relacionándolo con las variaciones topográficas y las exigencias operativas presentes en el recorrido Manta–

Guayaquil, identificando los sectores donde el motor presentó mayor consumo energético y mayor demanda de potencia.

Se identifican algunas limitaciones propias de una investigación desarrollada en condiciones reales de operación. Estas circunstancias también constituyen una ventaja metodológica, ya que los resultados obtenidos representan fielmente el comportamiento del motor bajo escenarios habituales de operación.

La investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, de campo y de alcance descriptivo-analítico. La información se obtiene directamente de la ECM mediante el software Cummins INSITE, utilizando el protocolo SAE J1939 para la captura de variables operativas del motor.

El documento se organiza en cinco capítulos. El primer capítulo presenta el planteamiento del problema, la formulación de la investigación, la justificación y los objetivos. El segundo capítulo desarrolla el marco teórico, incluyendo los fundamentos relacionados con motores diésel electrónicos, sistemas de diagnóstico, telemetría vehicular. El tercer capítulo describe la metodología empleada para la adquisición. El cuarto capítulo expone los resultados obtenidos durante la prueba de ruta, acompañados de su análisis e interpretación técnica.

La importancia de esta investigación radica en que demuestra el potencial de las herramientas de diagnóstico electrónico como instrumentos para la evaluación objetiva del desempeño de motores de transporte pesado en condiciones reales de operación.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema

Análisis de desempeño de un motor Cummins ISM 11 mediante telemetría en la ruta Manta-Guayaquil.

1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema

El transporte de carga en Ecuador, especialmente en la ruta Manta–Guayaquil, representa un componente crítico de la economía nacional debido a la movilización de productos hacia el puerto principal y otros centros de distribución. En este contexto, la eficiencia operativa de los vehículos pesados se convierte en un factor determinante para reducir costos, optimizar tiempos de viaje y minimizar el impacto ambiental.

El motor Cummins ISM 11, ampliamente utilizado en tractocamiones de transporte de carga, requiere un monitoreo preciso de sus parámetros de funcionamiento para garantizar su desempeño óptimo.

Sin embargo, el seguimiento tradicional mediante inspecciones físicas y registros manuales no permite una evaluación en tiempo real de variables críticas como consumo de combustible, temperatura, presión y emisiones contaminantes durante el recorrido.

El uso de telemetría permite la captura y análisis continuo de datos operativos del motor, proporcionando información valiosa sobre su desempeño en condiciones reales de operación. A pesar de sus ventajas, aún existen limitaciones en la sistematización de estos datos para evaluar el rendimiento energético, la eficiencia del motor y el comportamiento dinámico del vehículo en rutas de alta demanda, como la Manta–Guayaquil.

Por lo tanto, surge la necesidad de realizar un análisis detallado del desempeño del motor Cummins ISM 11 mediante telemetría, con el fin de identificar oportunidades de mejora en la operación, mantenimiento y eficiencia de los vehículos de transporte de carga en dicha ruta.

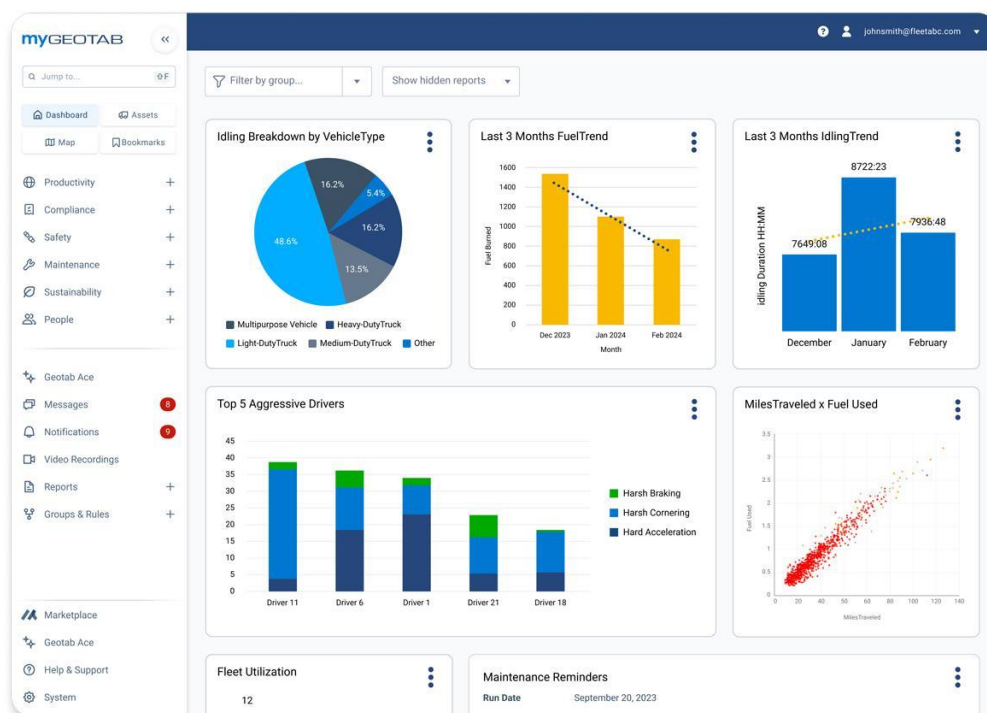
1.2.1 Planteamiento del problema

El transporte terrestre de carga constituye uno de los principales pilares de la economía, debido a su papel fundamental en la distribución de bienes y materias primas. Sin embargo, los vehículos pesados equipados con motores diésel presentan elevados consumos de combustible y costos operativos, los cuales pueden representar hasta el 50 % de los gastos de operación de una flota de transporte.

En este contexto, la optimización del rendimiento de los motores se ha convertido en una necesidad para las empresas de transporte, especialmente en rutas de larga distancia donde las condiciones topográficas, el peso de la carga y el comportamiento de conducción influyen significativamente en el consumo energético, ver figura 1. Diversos estudios han demostrado que los sistemas de telemetría permiten monitorear en tiempo real parámetros críticos del vehículo y del motor, facilitando la identificación de factores que afectan la eficiencia operativa y el consumo de combustible (Huertas, 2022).

Figura 1

Ejemplos de sistemas de telemetría y monitoreo de parámetros



Fuente: (Senzahydrogen.com, 2025).

El motor Cummins ISM 11, con una cilindrada de 11 litros y una potencia de hasta 420 CV, es ampliamente utilizado en vehículos de carga pesada. Este motor destaca por su alto torque, bajo consumo de combustible y durabilidad, con una vida útil estimada de hasta 2 millones de kilómetros (dieciochoruedas.blogspot.com, 2025). Además, cumple con las normas de emisiones Euro 5, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en carretera que transportan hasta 80,000 lb.

Estudios recientes han demostrado que la optimización del comportamiento del conductor y la implementación de tecnologías de monitoreo pueden reducir el consumo de combustible en flotas de vehículos industriales en un 12% a 15%. Además, el uso de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) ha mostrado ser eficaz en el control y seguimiento del transporte de carga terrestre, permitiendo una gestión más eficiente y reduciendo pérdidas económicas (Arxiv.org, 2025).

Por lo tanto, es crucial realizar un análisis detallado del desempeño del motor Cummins ISM 11 en la ruta Manta–Guayaquil mediante telemetría, con el objetivo de identificar oportunidades para mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y minimizar el impacto ambiental del transporte de carga en esta importante arteria vial, ver figura 2.

Figura 2

Transporte de carga



Fuente: (transporteguayito.com/, 2025).

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo influye el comportamiento del motor Cummins ISM 11, medido mediante telemetría, en su desempeño operativo durante el recorrido de la ruta Manta–Guayaquil?

1.2.3 Sistematización del problema

- ¿Qué parámetros críticos del motor (consumo de combustible, temperatura, presión, revoluciones, emisiones) pueden ser monitoreados eficazmente mediante telemetría?
- ¿Cuál es la variación del desempeño del motor en diferentes tramos de la ruta Manta–Guayaquil (subidas, bajadas, tráfico pesado)?
- ¿Cómo se puede utilizar la información de telemetría para mejorar la eficiencia energética y reducir los costos operativos del transporte de carga?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar el desempeño operativo del motor Cummins ISM 11 instalado en un camión Shacman X5000, mediante la recopilación y análisis de datos de la ECM.

1.3.2 Objetivos específicos

- Configurar el dispositivo Inside en un motor Cummins para la captura de parámetros clave (consumo de combustible, RPM, potencia, velocidad promedio) durante el recorrido Manta-Guayaquil.
- Recolectar parámetros operativos del motor a través del sistema de diagnóstico Cummins INSITE durante la prueba de ruta con carga.
- Analizar el rendimiento de combustible (km/gal) en relación con la topografía de la ruta y las condiciones de carga, identificando tramos de mayor demanda energética.

1.4 Justificación y delimitación de la investigación

La presente investigación se justifica en la necesidad de optimizar el transporte de carga pesada en la ruta Manta–Guayaquil, mediante el análisis del desempeño del motor

Cummins ISM 11 con apoyo de sistemas de telemetría, lo que permitirá identificar patrones de consumo, eficiencia y emisiones en condiciones reales de operación.

Desde un enfoque teórico, el estudio contribuye al campo de la ingeniería automotriz al fortalecer la literatura sobre gestión de flotas y eficiencia energética; desde lo metodológico, se apoya en el uso de tecnologías de monitoreo en tiempo real ampliamente reconocidas en investigaciones indexadas en Scopus por su efectividad en la reducción del consumo y las emisiones (Sanguesa et al., 2021; Rios-Torres & Malikopoulos, 2017); y en lo práctico, sus resultados serán de utilidad para empresas transportistas y responsables de la movilidad sostenible en Ecuador, al brindar información objetiva para la toma de decisiones operativas y de mantenimiento.

La investigación se delimita geográficamente a la ruta Manta–Guayaquil, técnicamente al análisis de parámetros del motor relacionados con consumo, torque, potencia y emisiones, y temporalmente a un periodo de recolección de datos en condiciones reales de circulación.

1.4.1 Justificación teórica

La eficiencia energética en el transporte de carga es un tema ampliamente estudiado en la literatura científica. Investigaciones han demostrado que la optimización del comportamiento del conductor y la implementación de tecnologías de monitoreo pueden reducir el consumo de combustible en flotas de vehículos industriales en un 12% a 15%.

1.4.2 Justificación metodológica

La metodología propuesta para este estudio se basa en el análisis de datos de telemetría obtenidos de vehículos equipados con motores Cummins ISM 11 que operan en la ruta Manta–Guayaquil. La telemetría permite la recopilación y transmisión de datos en tiempo real sobre el desempeño del motor, que incluye variables como consumo de combustible, temperatura, presión y emisiones.

Esta información facilita la identificación de patrones de operación y áreas de mejora en la eficiencia energética.

Estudios previos muestran la efectividad de la telemetría en la gestión de flotas de vehículos industriales. Por ejemplo, el uso de sistemas de telemetría ha permitido a las empresas monitorear el comportamiento de los conductores, identificar hábitos de conducción ineficientes y corregir desviaciones, lo que ha resultado en una mejora significativa en el rendimiento del combustible (Revistalogistec.com, 2025).

1.4.3 Justificación práctica

Desde una perspectiva práctica, la implementación de sistemas de telemetría en vehículos de carga pesada ofrece múltiples beneficios. La monitorización en tiempo real permite a los gestores de flotas tomar decisiones informadas para optimizar las operaciones, reducir costos y mejorar la seguridad. Además, la recopilación de datos detallados sobre el desempeño del motor facilita la planificación de mantenimientos preventivos, lo que puede extender la vida útil del motor y reducir el riesgo de fallas inesperadas.

La aplicación de telemetría en el transporte de carga también contribuye a la sostenibilidad ambiental. Al mejorar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones, se disminuye el impacto ambiental de las operaciones de transporte. Esto es especialmente relevante en el contexto actual, donde la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es una prioridad global.

1.4.4 Delimitación temporal

El proyecto se desarrolla durante 4 meses, empezando en mayo de 2026 y finalizando en agosto de 2026.

1.4.5 Delimitación geográfica

La investigación se desarrolla en la ruta Manta–Guayaquil, corredor estratégico para el transporte de carga en la costa ecuatoriana, caracterizado por un tráfico intenso de vehículos pesados y condiciones viales variables que permiten analizar el desempeño del motor en distintos escenarios de operación.

1.4.6 Delimitación del contenido

La investigación se enfoca en el análisis del desempeño del motor Cummins ISM 11 mediante telemetría, limitándose a variables técnicas relacionadas con consumo de

combustible, potencia, torque, velocidad. No se abordarán aspectos económicos de mercado, análisis financiero del transporte, ni comparaciones con otros tipos de motores distintos al Cummins ISM 11.

Capítulo II

Marco referencial

2.1 Marco teórico

El marco teórico del proyecto para el análisis de desempeño de un motor Cummins ISM 11 mediante telemetría en la ruta Manta-Guayaquil, aborda varios conceptos clave relacionados con la tecnología de motores, eficiencia en los vehículos.

2.1.1 *Conceptos preliminares*

El presente marco teórico tiene como finalidad establecer los fundamentos conceptuales y científicos que sustentan la investigación sobre el análisis de desempeño de un motor Cummins ISM 11 mediante telemetría en la ruta Manta–Guayaquil.

Inicialmente se tratan los principios de funcionamiento de los motores diésel de servicio pesado y sus características técnicas, destacando su importancia en el transporte de carga a nivel regional (Nath, 2024).

Se revisa el papel de la telemetría vehicular como herramienta de monitoreo y optimización, así como los factores externos como: topografía, condiciones operativas y comportamiento del conductor, que inciden directamente en el rendimiento y el consumo de combustible.

Igualmente se observan modelos predictivos de eficiencia y emisiones desarrollados en estudios internacionales, con el fin de contextualizar su aplicación en el transporte ecuatoriano.

El marco teórico brinda la información necesaria para interpretar los datos recopilados y proponer estrategias de mejora orientadas a la sostenibilidad y competitividad del sector logístico del transporte.

2.1.2 *Factores que afectan el desempeño en rutas específicas*

El consumo de combustible y el rendimiento del motor varían de acuerdo con la carga transportada, la pendiente del terreno, las condiciones climáticas y los hábitos de conducción (Tang et al., 2025). En la ruta Manta–Guayaquil, caracterizada por tramos costeros con pendientes moderadas y tráfico mixto, estos factores son determinantes, ver figura 3. Estudios

realizados en Colombia muestran que la capacitación en eco-driving reduce el consumo de combustibles en hasta un 12% en camiones pesados (Díaz-Ramírez et al., 2017).

Figura 3

Transporte pesado en la logística



Fuente: (Vistazo.com, 2021).

2.1.3 Motores Diésel de servicio pesado

Los motores diésel de servicio pesado, como el Cummins ISM 11, son ampliamente utilizados en el transporte de carga por su eficiencia térmica, durabilidad y capacidad para operar bajo condiciones de alta exigencia. Este motor de 11 litros, con sistema de inyección electrónica y turboalimentación, ha sido diseñado para equilibrar potencia, consumo de combustible y emisiones contaminantes (Kulkarni et al., 2010).

En estudios recientes, se ha demostrado que la optimización de la gestión electrónica del motor permite reducir consumos hasta en un 8% en operaciones reales de carretera (Hilgers & Achenbach, 2021).

2.1.4 Importancia del análisis de desempeño en transporte pesado

El transporte pesado constituye uno de los pilares fundamentales de la economía, dado que garantiza la movilidad de bienes en corredores logísticos nacionales e internacionales. En países en desarrollo como Ecuador, más del 80% de la carga se moviliza por vía terrestre mediante camiones con motores diésel de gran cilindrada, lo que convierte

a este sector en un componente estratégico para la competitividad económica, pero también en una de las principales fuentes de consumo energético y emisiones contaminantes (Díaz-Ramírez et al., 2017).

El análisis del desempeño de motores pesados que usa telemetría, ver figura 4, evalúa en condiciones reales variables críticas como consumo específico de combustible, eficiencia energética, potencia útil y emisiones, lo que contribuye a diseñar políticas de gestión de flotas más sostenibles (Bousonville et al., 2020).

Figura 4

Sistema de telemetría



Fuente: (gpemsac.com. 2026).

La evaluación continua del motor en operación facilita identificar ineficiencias derivadas de la carga transportada, el perfil topográfico de la ruta o los hábitos de conducción.

Algunas investigaciones como la de Tang et al. (2025) demuestran que los algoritmos basados en datos de telemetría permiten predecir con alta precisión el consumo de combustible en rutas de montaña, lo cual es relevante para contextos como el corredor Manta–Guayaquil, caracterizado por variaciones en pendiente y condiciones climáticas. En

tal sentido, la telemetría no solo constituye una herramienta de monitoreo, sino también de predicción y optimización.

La importancia de este análisis radica en que el transporte pesado es responsable de una fracción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero. Algunos estudios evidencian que la incorporación de telemetría y prácticas de ecodriving pueden reducir entre un 8% y un 12% el consumo de combustible y también las emisiones de CO₂ (Díaz-Ramírez et al., 2017; Hilgers & Achenbach, 2021).

Esto crea la necesidad de implementar sistemas de monitoreo que integren desempeño técnico con sostenibilidad.

2.1.5 Modelos de estimación de consumo y emisiones

El análisis del consumo de combustible y las emisiones contaminantes en motores de servicio pesado requiere de modelos capaces de representar la complejidad de las condiciones de operación reales.

Algunos enfoques deterministas como el HDM-4 (Highway Development and Management Model), se utilizan en evaluaciones de transporte, el cual estima el consumo de combustible en función de variables como la velocidad promedio, pendiente del terreno, peso vehicular y características de la vía (Wahyu Nariendra & Lestiani, 2023). Otros modelos mecanicistas como el CMEM (Comprehensive Modal Emissions Model) han demostrado alta precisión en la predicción de emisiones, integrando parámetros instantáneos del motor y del vehículo (Peng, Wang, & Xu, 2023).

Los avances en telemetría y procesamiento de datos han impulsado el desarrollo de modelos híbridos basados en inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático, que permiten estimaciones más robustas al incorporar información en tiempo real.

Por ejemplo, Zhou et al. (2024) proponen un marco de predicción de consumo en camiones pesados que integra el peso del vehículo dentro de arquitecturas de deep learning, logrando una disminución significativa en los márgenes de error. De forma similar, Tang et al. (2025) aplicaron técnicas de optimización como el IGWO-SVR (Improved Grey Wolf Optimizer

– Support Vector Regression) para estimar consumo en carreteras montañosas, alcanzando predicciones más precisas que los modelos convencionales.

El uso de estos modelos en regiones latinoamericanas ha mostrado resultados alentadores. En un estudio en Colombia, Díaz-Ramírez et al. (2017) emplearon datos de telemetría de flotas de camiones para evaluar el impacto del eco-driving, demostrando reducciones de hasta un 12% en el consumo de combustible y, por ende, en las emisiones de CO₂.

Este tipo de investigaciones confirman que la combinación de datos telemáticos con modelos predictivos permite no solo estimar, sino también optimizar el desempeño energético de los vehículos pesados.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Emisiones contaminantes

Son los gases y partículas liberadas durante la combustión del diésel, principalmente dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) y material particulado (PM). Su cuantificación y reducción constituyen un objetivo central en políticas de transporte sostenible (Peng et al., 2023).

El transporte de carga pesada constituye una de las principales fuentes de emisiones contaminantes en América Latina y, en particular, en Ecuador, donde más del 70% de la carga terrestre se moviliza mediante camiones diésel de servicio pesado (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2022).

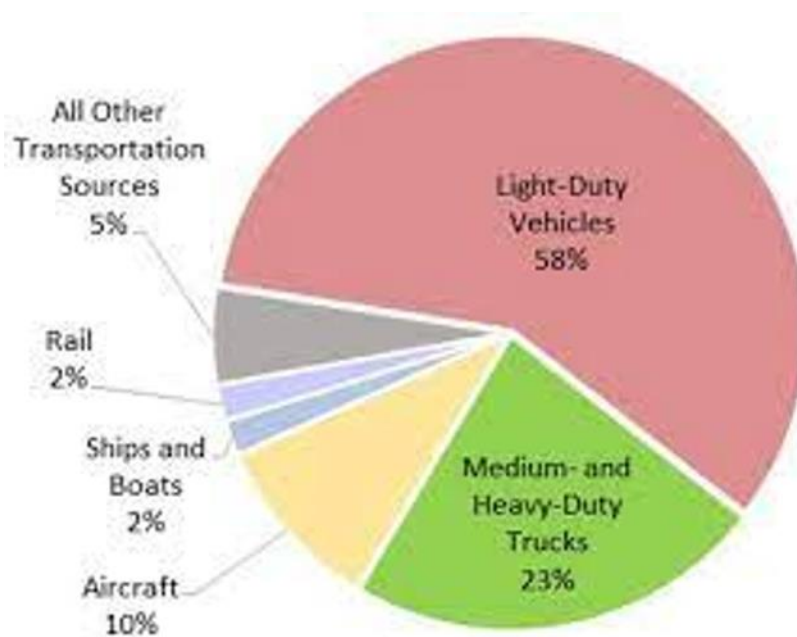
Estos vehículos emiten grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (PM) e hidrocarburos no quemados (HC), que contribuyen al deterioro de la calidad del aire y al incremento del efecto invernadero.

Según la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2022), el sector transporte representa cerca del 24% de las emisiones globales de CO₂ relacionadas con energía, y dentro de este porcentaje, los vehículos pesados aportan aproximadamente el 40%.

Estudios como el de Díaz-Ramírez et al. (2017) en flotas de camiones en Colombia confirman que la operación ineficiente de motores diésel puede incrementar el consumo de combustible hasta en un 15%, con la consecuente elevación de contaminantes, ver figura 5.

Figura 5

GEI de fuentes móviles (2019)



Fuente: (Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2019," EPA 430-R-21-005, 2024).

2.2.2 Consumo de combustible

Corresponde a la cantidad de combustible diésel utilizada por el motor para producir trabajo mecánico en una condición determinada. Se expresa en litros por kilómetro recorrido o litros por hora de operación, y se encuentra influenciado por variables como peso de carga, topografía, estilo de conducción y mantenimiento preventivo (Díaz-Ramírez et al., 2017).

2.2.3 Motor Cummins ISM 11

Es un motor diésel de seis cilindros en línea, 11 litros de desplazamiento, turboalimentado y con inyección electrónica, diseñado para aplicaciones de servicio pesado en transporte de carga y pasajeros. Su desempeño se mide en función de variables como potencia, torque, consumo de combustible y emisiones contaminantes (Kulkarni et al., 2010).

2.2.4 Desempeño del motor

Se refiere al conjunto de indicadores que reflejan la eficiencia y la capacidad operativa del motor bajo distintas condiciones de carga y operación. Incluye parámetros como consumo específico de combustible (BSFC), potencia efectiva, torque, emisiones (CO₂, CO, NO_x, HC, PM) y confiabilidad del sistema (Hilgers & Achenbach, 2021).

2.2.5 Telemetría vehicular

Es la tecnología que permite la transmisión y análisis remoto de datos en tiempo real, tales como velocidad, régimen del motor, consumo de combustible, ubicación GPS y condiciones de operación (Molina, 2025).

En el transporte pesado, la telemetría constituye una herramienta clave para optimizar la operación, reducir costos y mejorar la seguridad (Bousonville et al., 2020).

La telemetría en vehículos con motor diésel constituye una herramienta fundamental para el monitoreo en tiempo real del desempeño del motor, ya que permite adquirir y transmitir datos provenientes de la unidad de control electrónico (ECU) mediante protocolos como SAE J1939 y la red CAN Bus. Entre las variables monitoreadas se incluyen las revoluciones del motor (RPM), carga, torque, consumo de combustible, presión del turbocompresor, temperaturas de operación, emisiones y códigos de diagnóstico (DTC), facilitando la evaluación del comportamiento del vehículo bajo condiciones reales de operación.

La integración de estos datos con técnicas de análisis basadas en inteligencia artificial y mantenimiento predictivo mejora la eficiencia energética, optimiza el consumo de combustible, reduce tiempos de inactividad y fortalece la confiabilidad de las flotas de transporte pesado. Asimismo, la telemetría constituye un componente esencial de los sistemas inteligentes de transporte (ITS) y de la gestión moderna de vehículos conectados, permitiendo una toma de decisiones sustentada en datos para incrementar la productividad y disminuir el impacto ambiental del transporte diésel (Jiang, 2022).

2.2.6 Software INSITE para diagnósticos de motor

Es un programa de diagnóstico electrónico para PC basado en Windows, diseñado específicamente para motores Cummins. Permite leer y borrar códigos de falla, monitorear

parámetros en vivo, realizar pruebas de actuadores, programar calibraciones y solucionar problemas paso a paso.

INSITE es un programa de diagnóstico electrónico basado en la experiencia técnica de Cummins. INSITE hace diagnósticos sobre el motor y muestra información sobre aspectos electrónicos del motor en su computadora. Con diagnósticos paso a paso, planos de motor integrado y diagramas esquemáticos, trabajar con INSITE es fácil. Utilizar esta aplicación de software reducirá el tiempo de solución de problemas, los errores y los procedimientos incorrectos y devolverá rápidamente a su vehículo a la carretera.

Tiene las siguientes características:

- Acceso rápido a información de viaje
- Ajuste parámetros y revise/borre información incorrecta de manera rápida y fácil.
- Asistencia para solución de problemas fácil de seguir
- Diagramas de cableado y de ubicación de sensores
- Guarde información del motor y del viaje para un uso a futuro, o como plantillas de programación.

Capítulo III

Metodología

En este capítulo se describe la metodología empleada para evaluar el desempeño operativo del motor Cummins ISM 11 mediante el análisis de datos obtenidos a través de un sistema de telemetría durante el recorrido en la ruta Manta–Guayaquil.

La investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental de tipo aplicado y alcance descriptivo-analítico, ya que se analizaron las variables de funcionamiento del motor en condiciones reales de operación, sin intervenir en su comportamiento (Estrella, 2024).

Se recopilan y procesan parámetros registrados por la unidad de control electrónico (ECU) y transmitidos por el sistema telemétrico, tales como régimen de giro del motor (rpm), velocidad del vehículo, consumo instantáneo y acumulado de combustible, temperatura del refrigerante, presión de aceite, porcentaje de carga del motor, posición del acelerador y otros indicadores de desempeño.

La información se depura, organiza y analiza mediante herramientas estadísticas y gráficas, permitiendo caracterizar el comportamiento dinámico del motor a lo largo del trayecto, identificar patrones operativos y evaluar su eficiencia bajo las diferentes condiciones topográficas y de circulación presentes en la ruta de estudio.

3.1 Enfoque metodológico

La metodología usada se basa en un estudio cuantitativo, empírico y no experimental, por medio de telemetría para recopilar en tiempo real datos del motor Cummins ISM 11 en la ruta Manta–Guayaquil. Se registran variables como consumo de combustible, velocidad, régimen de motor, complementadas con datos de carga y condiciones de la vía.

Se realiza un análisis descriptivo y correlacional para identificar patrones de desempeño y su relación con el consumo.

Los resultados permiten construir indicadores de eficiencia energética y proponer estrategias de mejora en la operación y mantenimiento de los vehículos de carga pesada.

3.2 Tipo y diseño de investigación

La presente investigación corresponde a un estudio empírico-analítico, aplicado y longitudinal, desarrollado bajo un enfoque observacional no experimental. Se considera empírica porque se fundamenta en la recopilación y análisis de datos reales obtenidos durante la operación de un vehículo de transporte terrestre equipado con un motor Cummins ISM 11. Asimismo, es de carácter aplicado, ya que busca generar soluciones prácticas orientadas a mejorar la gestión de flotas y apoyar la toma de decisiones en el sector del transporte. Su naturaleza longitudinal permite realizar el seguimiento de las variables de desempeño del motor durante un período determinado, evaluando su comportamiento en condiciones reales de operación.

La finalidad de este estudio es aplicar herramientas de adquisición y procesamiento de datos para evaluar el desempeño operativo y energético del motor Cummins ISM 11 en una ruta de transporte terrestre. A partir del análisis de variables como consumo de combustible, velocidad, régimen del motor y condiciones de operación, se pretende identificar oportunidades de mejora en las estrategias de conducción y mantenimiento preventivo. Los resultados obtenidos servirán como base para optimizar la eficiencia operativa de la flota, reducir el consumo de combustible y contribuir a la disminución de las emisiones contaminantes, promoviendo un transporte más eficiente y sostenible.

3.3 Variables de estudio

En la presente investigación, las variables fueron seleccionadas considerando su influencia directa sobre el desempeño del motor, el consumo de combustible y la eficiencia operativa durante el recorrido Manta–Guayaquil.

Para ello, se establecieron variables independientes, correspondientes a las condiciones de operación y a los parámetros de funcionamiento del motor, variables dependientes, relacionadas con el desempeño energético obtenido, y variables de control, cuyo propósito fue mantener condiciones experimentales homogéneas y reducir la influencia de factores externos sobre los resultados.

El análisis de las variables de estudio se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1*Variables de estudio*

Tipo de Variable	Variable	Indicador /	
		Unidad de medida	Instrumento
Independiente	Condiciones de operación del vehículo	rpm	Cummins INSITE (ECM)
Independiente	Velocidad del vehículo	km/h	GPS / ECM
Dependiente	Consumo promedio de combustible	L/h	Cummins INSITE
Dependiente	Desempeño del motor Cummins ISM 11		Cummins INSITE
Controladas	Modelo del motor	-	Cummins ISM 11

Nota. Esta tabla se observa cuáles son las variables controladas y cuál es la variable independiente.

La correcta identificación y operacionalización de estas variables constituye la base metodológica para el procesamiento estadístico de los datos obtenidos.

3.4 Descripción del equipo y materiales

Para garantizar la confiabilidad y precisión de la información recopilada durante la investigación, es necesario emplear un conjunto de equipos, instrumentos y materiales que permitieron la adquisición, almacenamiento y procesamiento de los parámetros operativos del motor en condiciones reales de funcionamiento.

La selección de estos recursos se realiza considerando su compatibilidad con el motor Cummins ISM 11, su capacidad para establecer comunicación con la Unidad de Control Electrónico (ECM) mediante el protocolo SAE J1939 y su precisión en el registro de las variables objeto de estudio.

Los equipos utilizados comprendieron el vehículo de prueba, ver figura 6, el sistema de diagnóstico Cummins INSITE™, ver figura 7, la interfaz de comunicación entre el computador y la ECM, un computador portátil para la configuración y monitoreo de los parámetros, así como herramientas de procesamiento y análisis de datos.

De igual manera, se emplearon materiales auxiliares para la conexión del sistema de diagnóstico, el almacenamiento seguro de la información y la verificación del correcto funcionamiento de los dispositivos durante el recorrido Manta–Guayaquil.

Figura 6

Vehículo de prueba

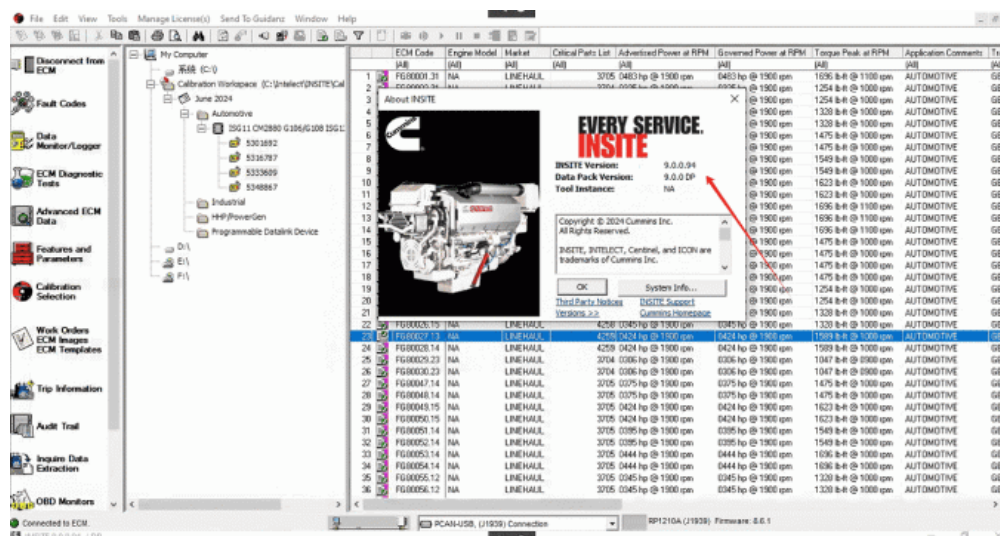


INSITE™ es un programa de diagnóstico de servicio electrónico basado en Microsoft Windows™ que permite solucionar problemas en los motores electrónicos de Cummins.

INSITE es una aplicación de software basada en PC que proporciona un acceso rápido y fácil a la información electrónica de rendimiento de su motor, lo que permite tiempos de respuesta de servicio más rápidos. INSITE ayuda a garantizar procedimientos y diagnósticos.

Figura 7

Programa INSITE



3.4.1 Vehículo de prueba

Las especificaciones del vehículo se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Especificaciones del vehículo de prueba

Especificación	Dato
Marca	Shacman
Referencia	X5000
Motor	CUMMINS ISM 11 CM876
Potencia	345 HP
Torque	1710/1000-1200
Relación de eje trasero	4.769:1
Transmission	FAST GEAR 12 forward and 2 reverse
RPM rueda:	12R22.5
Capacidad de tanque de combustible	105.66 Galones
Serie del motor	71122506
Kilometraje	405

Nota. Esta tabla se observa cuáles son las especificaciones del vehículo.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Los datos son obtenidos mediante un sistema de telemetría conectado al puerto de diagnóstico SAE J1939 del vehículo.

El sistema permite registrar en tiempo real la información proveniente de la ECU, ver figura 8.

Entre los principales componentes utilizados se encuentran:

- Módulo telemétrico
- Receptor GPS
- Interfaz can bus
- Red celular para transmisión de datos
- Plataforma web de almacenamiento
- Software de exportación de datos

Figura 8

Herramienta de diagnóstico de camión pesado Insite 9.0



Fuente: (www.cummins.com, 2024).

3.5 Procedimiento experimental

La investigación se desarrolla en siete fases.

3.5.1 Etapa 1: Inspección del vehículo

Se verifica el correcto funcionamiento del vehículo y del motor Cummins ISM 11, ver figura 9. Se comprueba el estado de:

- Filtros.
- Lubricantes.
- Sistema de refrigeración.
- Sistema eléctrico.
- Sensores electrónicos.

Figura 9

Inspección del vehículo

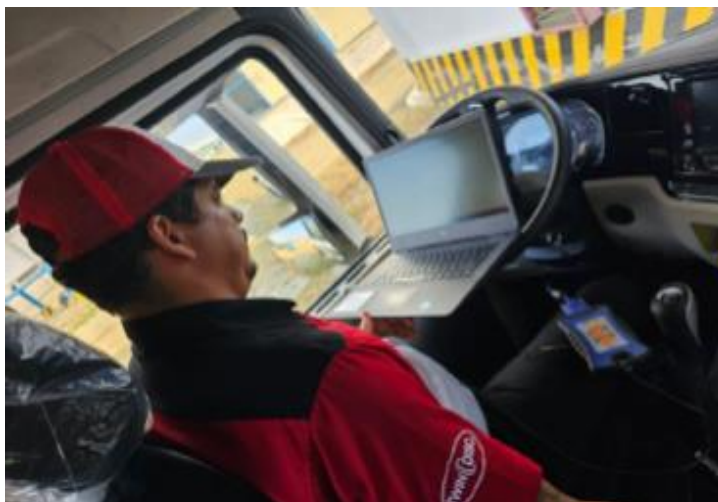


3.5.2. Etapa 2: Instalación del sistema telemétrico

- Se conecta el equipo al puerto SAE J1939.
- Se verifica la comunicación con la ECU.
- Se sincroniza el GPS, ver figura 10.

Figura 10

Sistema telemático



3.5.3. Etapa 3: Configuración

Se programa la frecuencia de adquisición.

Se verifica:

- Hora.
- Fecha.
- Parámetros disponibles, ver figura 11.
- Calidad de señal GPS.

Figura 11

Configuración del sistema



Previo al inicio de la adquisición de datos, se realiza la configuración del software Cummins INSITE™, herramienta oficial de diagnóstico y monitoreo desarrollada por Cummins Inc., la cual permite establecer comunicación con la Unidad de Control Electrónico (ECM, Engine Control Module) del motor mediante el protocolo SAE J1939.

Durante la configuración también se sincroniza el reloj interno del computador con la fecha y hora oficial del sistema de posicionamiento global (GPS), con el propósito de mantener la correspondencia temporal entre las variables del motor y la ubicación geográfica registrada por el dispositivo de telemetría.

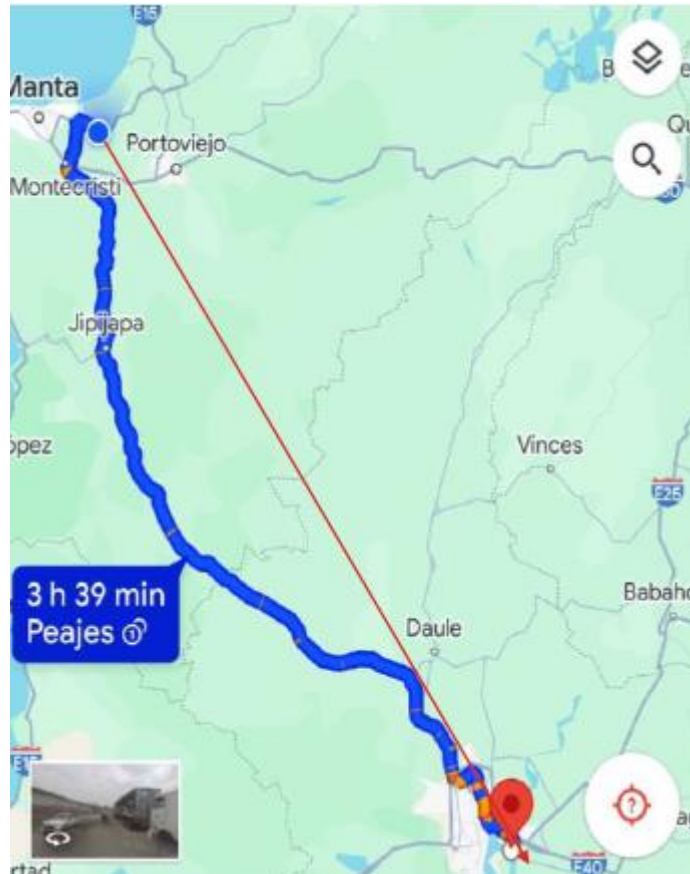
3.5.4. Etapa 4: Recorrido

- El vehículo realiza el recorrido completo entre Manta y Guayaquil.

- Durante todo el trayecto, ver figura 12, el sistema registra automáticamente los parámetros del motor.
- Se recomienda mantener las revoluciones entre 1100 rpm y 1300 rpm para mantener la economía de combustible

Figura 12

Ruta



3.5.5. Etapa 5: Descarga de información

- Una vez definida la lista de variables y comprobada la correcta comunicación entre el software y la ECM, se inicia la función de registro continuo (Data Logging), almacenando automáticamente toda la información en archivos digitales compatibles con formatos CSV y Microsoft Excel para su posterior procesamiento estadístico.
- Finalizado el recorrido se exporta la base de datos en formato CSV.

3.5.6. Etapa 6: Depuración

Finalizado el recorrido Manta–Guayaquil, el registro es detenido manualmente y los archivos son exportados para su depuración y análisis. Como parte del control de calidad de los datos, se verifica la continuidad temporal de los registros, la integridad de las variables monitoreadas y la ausencia de interrupciones en la comunicación entre el software INSITE y el módulo electrónico del motor.

Se eliminan:

- registros duplicados
- datos incompletos
- errores de transmisión
- valores atípicos originados por pérdida de señal

3.5.7 Etapa 7: Procesamiento de datos

La base de datos es organizada mediante hojas de cálculo, eliminando registros duplicados, corrigiendo inconsistencias y preparando la información para el cálculo de indicadores de desempeño como consumo específico de combustible, velocidad promedio, régimen de operación predominante, potencia desarrollada, tiempo en ralentí y eficiencia operacional del motor.

- Los datos se recopilan en hojas de cálculo y se organizan por condición de prueba.

3.6 Validación y control de calidad

Para garantizar una adecuada resolución temporal de la información, el sistema es configurado con una frecuencia de adquisición de un registro por segundo (1 Hz), permitiendo capturar las variaciones dinámicas del motor durante aceleraciones, desaceleraciones, cambios de pendiente y diferentes condiciones de operación presentes en la ruta Manta–Guayaquil.

Esta frecuencia resulta suficiente para representar el comportamiento operativo del motor sin generar pérdidas significativas de información, ver figura 13.

El mismo operador realiza todas las pruebas para evitar sesgos por manejo.

Capítulo IV

Análisis de resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante la prueba de ruta realizada con un camión Shacman X5000 equipado con un motor Cummins ISM 11 CM876 de 345 HP, utilizando como fuente de información la Unidad de Control Electrónico (ECM) mediante el software Cummins INSITE™.

La prueba se desarrolla en condiciones reales de operación entre las ciudades de Manta y Durán, con una carga útil de 30 toneladas, permitiendo evaluar el desempeño del motor, el consumo de combustible y la eficiencia energética bajo condiciones representativas del transporte pesado.

Los datos registrados son analizados para determinar el rendimiento de combustible, interpretar la influencia de la topografía sobre la demanda energética y evaluar el comportamiento general del sistema de propulsión.

El propósito de este reporte es dar a conocer el rendimiento de combustible y desempeño del motor Cummins modelo ISM 11-345HP CM876 instalado en la unidad SHACMAN X5000, en prueba de ruta designada por el cliente la cual se comprende desde la fábrica "INHARIPAC" Manta-Jaramijó a la Fabrica "GISIS S.A." Duran-guayas, alcanzando un recorrido total de 232.55 Km con una carga útil de 30 Toneladas.

Así mismo durante la prueba de ruta con acompañamiento del personal de Ingeniería de soporte al cliente Cummins, se realiza una familiarización al conductor asignado por el cliente y ciertas prácticas de conducción en pro de la obtención de un óptimo rendimiento de la unidad antes mencionada.

4.1 Configuración del sistema de adquisición de datos

Como parte del primer objetivo específico, se configura correctamente el software Cummins INSITE™, estableciendo comunicación con la Unidad de Control Electrónico (ECM) del motor mediante el protocolo SAE J1939.

Esta configuración permite acceder a los parámetros de viaje almacenados por la ECM, garantizando la confiabilidad de la información utilizada para el análisis.

El sistema registra variables relacionadas con el desempeño del motor, entre ellas:

- Distancia recorrida.
- Consumo total de combustible.
- Rendimiento de combustible.
- Información general del vehículo.
- Datos históricos almacenados en la ECM.

El uso del diagnóstico electrónico permite eliminar errores asociados a mediciones manuales y obtener información directamente procesada por el módulo de control del motor, incrementando la precisión del análisis.

4.2 Condiciones de la prueba de ruta

La evaluación se efectúa sobre el recorrido comprendido entre la planta INHARIPAC, ubicada en Manta, y la empresa GISIS S.A., localizada en Durán, completando una distancia total de 232,55 km con una carga útil de 30 toneladas.

Antes del inicio de la prueba se verifica que el vehículo presentara condiciones normales de operación y un nivel de combustible equivalente al 87 % de la capacidad del tanque.

La ruta seleccionada representa un escenario típico del transporte de carga en la región costera del Ecuador, ya que incluye sectores urbanos, carreteras de alta velocidad y tramos con pendientes ascendentes y descendentes, los cuales generan variaciones importantes en la demanda de potencia del motor.

4.3 Análisis del consumo de combustible

Uno de los principales indicadores evaluados fue el consumo total de combustible registrado por la ECM al finalizar el recorrido.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3*Principales indicadores evaluados*

Variable	Valor
Distancia recorrida	232,55 km
Combustible consumido	35,6 gal
Rendimiento	6,53 km/gal

Nota: Valores a condiciones normales de operación

El consumo promedio obtenido evidencia un comportamiento consistente con las condiciones de operación de un vehículo de carga pesada que transporta 30 toneladas durante un recorrido con variaciones topográficas. El rendimiento de 6,53 km/gal fue calculado automáticamente por la ECM y constituye un indicador confiable del desempeño energético del motor.

Si el consumo se expresa en unidades internacionales:

$$35,6 \text{ gal} \times 3,785 = 134,75 \text{ L}$$

Por tanto,

$$232,55 \text{ km} / 134,75 \text{ L} = 1,73 \text{ km/L}$$

o bien,

$$57,95 \text{ L/100 km.}$$

Este valor se encuentra dentro de los rangos esperados para vehículos de esta categoría operando con alta carga.

4.4 Análisis del rendimiento energético

El rendimiento de combustible constituye uno de los indicadores más importantes para evaluar la eficiencia de un motor diésel.

Durante la prueba se obtiene un rendimiento de 6,53 km/gal, lo que demuestra que el motor opera dentro de condiciones normales para una unidad equipada con un motor Cummins ISM 11 de 345 HP.

Estos resultados se deben a diversos factores:

- Adecuada gestión electrónica de la inyección.
- Elevada disponibilidad de torque entre 1000 y 1200 rpm.
- Correcta selección de relaciones de transmisión.
- Estabilidad del régimen de operación.
- Condiciones mecánicas satisfactorias del vehículo.

El comportamiento observado confirma que el motor mantiene un equilibrio adecuado entre potencia desarrollada y consumo de combustible, condición indispensable para maximizar la productividad en operaciones de transporte pesado.

4.5 Influencia de la topografía sobre el consumo

El reporte incorpora la representación topográfica del recorrido, evidenciando que la ruta presenta cambios de altitud que generan variaciones en la demanda de potencia del motor.

Desde el punto de vista energético, durante los ascensos el motor debe vencer simultáneamente:

- La resistencia a la gravedad.
- La resistencia a la rodadura.
- La resistencia aerodinámica.
- La inercia de la masa transportada.

En estas condiciones aumenta la carga del motor, incrementándose el suministro de combustible para mantener la velocidad del vehículo.

Por el contrario, durante los descensos la potencia requerida disminuye considerablemente, permitiendo reducir el consumo de combustible y mejorar el rendimiento promedio del recorrido.

Este comportamiento coincide con la teoría de dinámica vehicular y explica las variaciones del consumo observadas durante rutas con perfiles topográficos variables.

4.6 Datos de la ECM al finalizar la ruta

Es importante presentar la información proporcionada por la Unidad de Control Electrónico (ECM) al finalizar la prueba de ruta, ya que constituye la fuente principal para la evaluación objetiva del desempeño del motor.

La ECM registra y almacena de manera continua los parámetros operativos del sistema de propulsión durante el recorrido, permitiendo obtener indicadores precisos del comportamiento del vehículo en condiciones reales de operación como se muestra en la figura 14 y la figura 15.

Mediante el software Cummins INSITE™ es posible acceder a los datos de viaje registrados por el módulo electrónico, entre los que se encuentran la distancia recorrida, el combustible consumido, el rendimiento de combustible, el tiempo de operación y demás variables relacionadas con el funcionamiento del motor.

La información obtenida desde la ECM, elimina la incertidumbre asociada a métodos convencionales de medición y proporciona una base confiable para analizar la eficiencia energética del motor Cummins ISM 11 instalado en el camión Shacman X5000.

Figura 14

Datos obtenidos - combustible consumido

📁 Viaje Desde la Ultima Puesta a Ceros - Manejo (Velocidad Vehicular > 0)		
📁 Combustible Utilizado		
⚡ Combustible Utilizado en Cambio Descendente	18,4	gal
⚡ Combustible Utilizado en Cambio Superior	2,4	gal
⚡ Combustible Utilizado en Control de Crucero	0,0	gal
⚡ Combustible Utilizado en Descenso con Motor Desembragado	0,0	gal
⚡ Combustible Utilizado en la Sobrevelocidad Vehicular 1	0,1	gal
⚡ Combustible Utilizado en la Sobrevelocidad Vehicular 2	0,0	gal
⚡ Combustible Utilizado en Manejo	35,6	gal
⚡ Combustible Utilizado en Manejo con PTO Cargada	0,0	gal
⚡ Combustible Utilizado en Manejo en PTO	0,0	gal
⚡ Combustible Utilizado en Velocidad Vehicular Máxima con Acelerador	0,0	gal
⚡ Economía de Combustible Promedio en Manejo	4,1	mpg
📁 Distancia		

Figura 15*Datos obtenidos-distancias recorridas*

 Distancia		
✦ Distancia 1 de Sobrevelocidad Vehicular	0,3	mi
✦ Distancia 2 de Sobrevelocidad Vehicular	0,0	mi
✦ Distancia con el Freno de Servicio	15,8	mi
✦ Distancia con Freno de Motor	28,0	mi
✦ Distancia de Manejo en el Viaje	144,5	mi
✦ Distancia de Manejo en PTO	0,0	mi
✦ Distancia de Manejo en PTO Cargada	0,0	mi
✦ Distancia del ECM	144,5	mi
✦ Distancia del Motor	144,5	mi
✦ Distancia en Cambio Descendente	94,2	mi
✦ Distancia en Cambio Superior	17,8	mi
✦ Distancia en Control de Crucero	0,0	mi
✦ Distancia en Descenso con Motor Desembragado	16,6	mi
✦ Distancia en Velocidad Vehicular Máxima con el Acelerador	0,0	mi

Los datos registrados permiten correlacionar el consumo de combustible con las condiciones de carga y la topografía de la ruta, facilitando la identificación de patrones de operación, la evaluación del rendimiento del vehículo y la formulación de estrategias orientadas a optimizar la conducción, reducir los costos operativos y mejorar la eficiencia del transporte pesado.

4.7 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos demuestran que el motor Cummins ISM 11 mantiene un comportamiento estable durante condiciones reales de operación.

El rendimiento de combustible registrado se encuentra dentro de los valores esperados para motores de esta potencia trabajando con cargas cercanas a las utilizadas en operaciones comerciales.

La información obtenida directamente desde la ECM confirma la utilidad del sistema Cummins INSITE como herramienta para evaluar objetivamente el desempeño del motor, eliminando incertidumbres asociadas a métodos tradicionales basados únicamente en el abastecimiento de combustible.

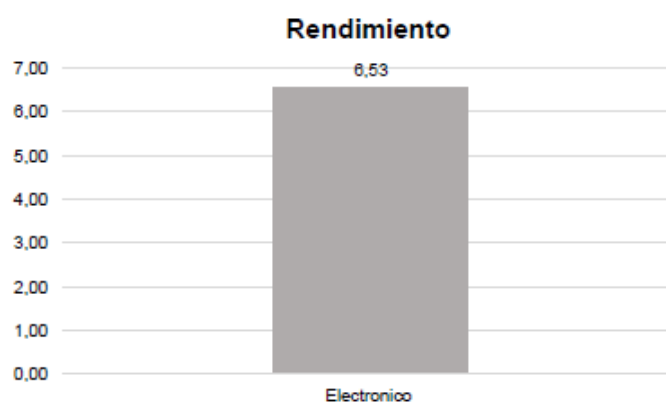
El análisis pone de manifiesto la influencia de la topografía sobre la eficiencia energética del vehículo, evidenciando que los tramos con mayor pendiente generan incrementos temporales en la demanda de potencia y en el consumo de combustible.

Estos resultados mostrados en la figura 16, indican la importancia de mantener el motor dentro del rango de revoluciones recomendado por el fabricante (1100–1300 rpm), condición que favorece el aprovechamiento del torque máximo y reduce el consumo específico de combustible.

Figura 16

Resultados obtenidos

MANTA-DURAN (30 TON CARGA UTIL)	
VARIABLE	ELECTRONICO
Distancia [km]	232.55
Consumo de combustible [Gal]	35,6
Rendimiento de combustible [km/Gal]	6.53



Conclusiones

Al configurar correctamente el sistema de diagnóstico Cummins INSITE™, se establece una comunicación estable con la Unidad de Control Electrónico (ECM) del motor Cummins ISM 11 mediante el protocolo SAE J1939. Esto permite la captura confiable de parámetros operativos como consumo de combustible, régimen del motor (RPM), potencia y velocidad del vehículo, cumpliendo el primer objetivo específico.

La recolección de datos durante la prueba de ruta, con una distancia de 232.55 km, con carga permite obtener información continua y representativa del comportamiento del motor en condiciones reales de operación. Los registros que se almacenan en la ECM facilitan el análisis del desempeño del motor y evidenciaron la utilidad del diagnóstico electrónico como herramienta para el monitoreo, la evaluación técnica y la toma de decisiones relacionadas con la operación y el mantenimiento de vehículos de transporte pesado.

El análisis del rendimiento de combustible de 6.53 km/gal permite establecer que la topografía del recorrido y las condiciones de carga influyen directamente en la demanda energética del motor. Los tramos con mayores pendientes y mayor esfuerzo operativo presentaron un incremento en el consumo de combustible y una disminución del rendimiento expresado en km/gal, demostrando que las condiciones de operación constituyen un factor determinante en la eficiencia energética del vehículo.

Recomendaciones

Implementar el uso periódico del sistema Cummins INSITE™ o de plataformas de telemetría compatibles como parte de los programas de mantenimiento preventivo y gestión de flotas, con el fin de monitorear continuamente los principales parámetros operativos del motor y detectar oportunamente desviaciones en su funcionamiento.

Ampliar futuras investigaciones incorporando un mayor número de recorridos, diferentes condiciones de carga y diversas rutas con variaciones topográficas, permitiendo comparar el desempeño del motor en distintos escenarios operativos y obtener modelos de consumo de combustible con mayor representatividad.

Utilizar la información registrada por la ECM para desarrollar estrategias de conducción eficiente y optimización de rutas, orientadas a reducir el consumo de combustible, disminuir los costos operativos y minimizar las emisiones de dióxido de carbono, contribuyendo a una gestión más eficiente y sostenible del transporte pesado.

Referencias

- Bousonville, T., Cheubou Kamga, D., Krüger, T., & Dirisch, M. (2020). Data driven analysis and forecasting of medium and heavy truck fuel consumption. *Enterprise Information Systems*, 16(6), 795–815. <https://doi.org/10.1080/17517575.2020.1856417>
- Díaz-Ramírez, J., Giraldo-Peralta, N., Flórez-Cerón, D., Rangel, V., Mejía-Argueta, C., Huertas, J. I., & Bernal, M. (2017). Eco-driving key factors that influence fuel consumption in heavy-truck fleets: A Colombian case. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 56, 258–270. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.08.012>
- Estrella-Guayasamín, M., Vivar Quiroz, V., Delgado Quinto, A., & Gomez Berrezueta, F. (2024, July). Effect of Oxyhydrogen Gas (HHO) Addition on Fuel Consumption of M2 Category Vehicle by Road Tests. In *International Conference on Science, Technology and Innovation for Society* (pp. 227-237). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Hilgers, M., & Achenbach, W. (2021). Fuel consumption and consumption optimization on conventional trucks. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz, & C. Singer (Eds.), *Commercial Vehicle Technology* (pp. 3–18). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-60841-8_1
- Kulkarni, A. M., Shaver, G. M., Popuri, S. S., Frazier, T. R., & Stanton, D. W. (2010). Computationally efficient whole-engine model of a Cummins 2007 turbocharged diesel engine. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 132(2), 022803. <https://doi.org/10.1115/1.3205034>
- Molina Macías, H. A. (2025). Estimación de la Influencia del Sistema de Aire Acondicionado en el Consumo de Combustible de un Vehículo SUV Usando un Dispositivo Azuga (Doctoral dissertation, GUAYAQUIL/UIDE/2025).
- Nath, K., Kumar, V., Smith, D. J., & Karniadakis, G. E. (2026). A digital twin for diesel engines: Operator-infused physics-informed neural networks with transfer learning for engine health monitoring. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 170, 114052.

- Peng, C., Wang, Y., & Xu, T. (2023). Transient fuel consumption prediction for heavy-duty trucks using on-road measurements. *International Journal of Sustainable Transportation*, 17(8), 719–730. <https://doi.org/10.1080/15568318.2022.2130842>
- Pereira, G., Parente, M., Moutinho, J., & Sampaio, M. (2021). Fuel consumption prediction for construction trucks: A noninvasive approach using dedicated sensors and machine learning. *Infrastructures*, 6(11), 157. <https://doi.org/10.3390/infrastructures6110157>
- Tang, G., Deng, X., Liu, C. H., Liu, J., & Dong, L. (2025). Research on fuel consumption prediction of heavy-duty diesel vehicle on mountain city road based on IGWO-SVR. *International Journal of Automotive Technology*. <https://doi.org/10.1007/s12239-025-00248-2>
- Wahyu Nariendra, P., & Eka Lestiani, M. (2023). Calibration of HDM-4 model for fuel consumption in heavy-duty trucks: Integration of telematics, engine speed, and aerodynamics. *Automotive Experiences*, 6(2), 75–86. <https://doi.org/10.31603/ae.12862>
- Zhou, Y., Zhang, W., Li, J., & Xu, L. (2024). Fuel consumption estimation in heavy-duty trucks: Integrating vehicle weight into deep-learning frameworks. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 130, 104157. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104157>.