



Powered by
Arizona State University

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en
Mecánica Automotriz**

Autor: Izurieta Fierro John Julián

Tutor: Ing. Fernando Gómez Berrezueta

**Determinación de la Influencia del Sistema de Monitoreo de
Presión de Neumáticos en el Consumo de Combustible de un
Vehículo M1 Usando un Dispositivo Azuga**

Guayaquil-Ecuador |2024

Certificado de Autoría

Yo, Izurieta Fierro John Julián, 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.

Izurieta Fierro John Julián

C.I.: 0953496999

Aprobación del Tutor

Yo, Fernando Gómez Berrezueta certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Ing. Fernando Gómez Berrezueta, MsC.

Director de Proyecto

Dedicatoria

"A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios que hicieron posible este logro. A mi pareja, por su paciencia y motivación. A mis amigos, por su aliento y comprensión en cada etapa de este camino."

John Izurieta

Agradecimiento

Quiero expresar mi profunda gratitud a todas las personas que han hecho posible la culminación de este trabajo de tesis.

En primer lugar, agradezco sinceramente a mi director de Proyecto de Titulación, Fernando Gómez Berrezueta, por su orientación, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso. Sus conocimientos, consejos y motivación fueron fundamentales para la realización de esta investigación.

Mi agradecimiento se extiende a mis amigos y compañeros de clase, quienes me brindaron su apoyo incondicional y comprensión durante momentos clave de esta travesía académica.

Agradezco profundamente a mi familia por su amor, aliento y sacrificio. Su constante apoyo emocional y motivación fueron mi fuente de fortaleza para alcanzar esta meta.

Por último, pero no menos importante, agradezco a todas las personas que de una forma u otra contribuyeron a este proyecto, aunque no puedan ser mencionadas aquí. Sin la ayuda y el respaldo de todos ustedes, esta tesis no habría sido posible.

Gracias por ser parte fundamental de este logro.

¡A todos, mi más sincero agradecimiento!

John Izurieta

Índice General

Certificado de Autoría.....	iii
Aprobación del Tutor.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tablas.....	xiii
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
Capítulo I.....	1
Antecedentes.....	1
1.1 Tema de Investigación.....	1
1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema.....	1
1.2.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2.2 Formulación del Problema.....	5
1.2.3 Sistematización del Problema.....	5
1.3 Objetivos de la Investigación.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación.....	6
1.4.1 Justificación Teórica.....	7
1.4.2 Justificación Metodológica.....	7
1.4.3 Justificación Práctica.....	8
1.4.4 Delimitación Temporal.....	8

1.4.5	<i>Delimitación Geográfica</i>	8
1.4.6	<i>Delimitación del Contenido</i>	8
	Capítulo II	9
	Marco Referencial	9
2.1	Marco Teórico	9
2.1.1	<i>Conceptos Preliminares</i>	9
2.1.2	<i>Presión de los Neumáticos y su Influencia en el Consumo de Combustible</i>	9
2.1.3	<i>Sistema Presión de los Neumáticos y la Eficiencia del Combustible</i>	10
2.1.4	<i>TPMS vs Costos de Combustible</i>	10
2.1.5	<i>El TPMS en el Mantenimiento de la Presión Óptima de los Neumáticos</i>	12
2.2	Marco Conceptual	13
2.2.2	<i>Consumo de Combustible</i>	13
2.2.3	<i>Eficiencia del Combustible</i>	15
2.2.3	<i>Tendencias de Eficiencia y Consumo de Combustible</i>	16
2.2.4	<i>Neumático</i>	17
2.2.5	<i>TPMS Monitoreo Rápido de Desinflado</i>	18
2.2.6	<i>TPMS Monitoreo Estacionario</i>	18
	Capítulo III	20
	Influencia del Sistemas de Control de la Presión de los Neumáticos en el Consumo de Combustible	20
3.1	Influencia del TPMS en el Consumo de Combustible	20
3.2	Presión de Inflado de los Neumáticos	23
3.3	Sistema de Control de la Presión de los Neumáticos	25
3.4	Importancia de la Presión de Inflado en el Rendimiento de los Neumáticos	27
3.5	Metodología Aplicada	29

3.5.1	<i>Métodos</i>	29
3.5.2	<i>Tipo de Estudio</i>	30
3.5.3	<i>Investigación Exploratoria</i>	31
3.5.4	<i>Investigación de Campo</i>	31
3.5.5	<i>Investigación Aplicada</i>	31
3.6	Descripción del Proceso de Evaluación	32
3.6.1	<i>Lugar de las Pruebas</i>	32
3.6.1	<i>Vehículo Utilizado</i>	33
3.6.2	<i>Dispositivo de Medición Utilizado</i>	34
3.6.3	<i>Rastreador Azuga - Especificaciones</i>	36
3.6.4	<i>Elección de la Ruta</i>	37
3.6.5	<i>Registro de Datos</i>	38
	Capítulo IV.....	40
	Análisis del Consumo de Combustible en Función del Sistema de Monitoreo de Presión de los Neumáticos	40
4.1	Descripción	40
4.1.1	<i>Monitoreo en Tiempo Real de la Presión del Neumático</i>	41
4.1.2	<i>Comparación del Consumo de Combustible</i>	42
4.1.3	<i>Condiciones del Vehículo de Prueba</i>	43
4.1.4	<i>Preparación del Vehículo para las Pruebas</i>	44
4.1.5	<i>Formato General</i>	44
4.1.6	<i>Obtención de Datos</i>	46
4.1.7	<i>Procedimiento</i>	47
4.2	Resultado de las Pruebas.....	49
4.2.1	<i>Presentación de Resultados</i>	49

4.2	Análisis de los Resultados	52
	Conclusiones	55
	Recomendaciones	56
	Bibliografía	57

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Mejora del Consumo de Combustible Usando TPMS</i>	4
Figura 2 <i>Efectos de Baja Presión en los Neumáticos en el Combustible Consumido</i>	5
Figura 3 <i>TPMS en Vehículos</i>	11
Figura 4 <i>Sensor TPMS vs Presión del Neumático</i>	12
Figura 5 <i>Valores de Emisiones de CO₂ Oficiales y Reales para Países Seleccionados, 2001-2014</i>	15
Figura 6 <i>Eficiencia de Combustible</i>	16
Figura 7 <i>Eficiencia y Consumo de Combustible en Automóviles Privados, 1990-2011</i>	17
Figura 8 <i>Construcción de un Neumático</i>	18
Figura 9 <i>Presión del Neumático</i>	22
Figura 10 <i>Economía de Combustible por Velocidad para un Toyota Corolla</i>	23
Figura 11 <i>Sistemas de Control de la Presión de los Neumáticos</i>	24
Figura 12 <i>Neumáticos AAA</i>	25
Figura 13 <i>Presión de Inflado del Neumático vs Consumo de Combustible</i>	26
Figura 14 <i>Investigación sobre TPMS</i>	27
Figura 15 <i>Lecturas de Presión del TPMS</i>	28
Figura 16 <i>Lugar de las Pruebas</i>	32
Figura 17 <i>Dispositivo Azuga Conexión en un Vehículo</i>	35
Figura 18 <i>Dispositivo Telemático Azuga</i>	36
Figura 19 <i>Danlaw Dispositivos OBDII</i>	37
Figura 20 <i>Ruta Seleccionada</i>	38
Figura 21 <i>Registro de Datos</i>	39
Figura 22 <i>Reducción del Uso del Transporte</i>	41
Figura 23 <i>Registro de la Presión de los Neumáticos</i>	42

Figura 24 <i>Verificación del Consumo de Combustible</i>	43
Figura 25 <i>Vehículo para Pruebas</i>	45
Figura 26 <i>Neumáticos del Vehículo para Pruebas</i>	45
Figura 27 <i>Informe de Viajes - Plataforma de Danlaw</i>	46
Figura 28 <i>Informe de Rutas</i>	47
Figura 29 <i>Almacenamiento de Datos</i>	48
Figura 30 <i>Análisis Comparativo - Ruta de Ida</i>	52
Figura 31 <i>Análisis Comparativo - Ruta de Retorno</i>	53
Figura 32 <i>Porcentaje de Reducción del Consumo - Ruta de Ida</i>	54
Figura 33 <i>Porcentaje de Reducción del Consumo – Ruta de Retorno</i>	54

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Datos del Vehículo Chery Arrizo</i>	33
Tabla 2 <i>Resultados Obtenidos Ruta de Ida – TPMS Activo</i>	50
Tabla 3 <i>Resultados Obtenidos Ruta de Regreso – TPMS Activo</i>	50
Tabla 4 <i>Resultados Obtenidos Ruta de Ida – TPMS no Activo</i>	51
Tabla 5 <i>Resultados Obtenidos Ruta de Regreso – TPMS no Activo</i>	51

Resumen

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo principal estudiar la influencia del sistema de monitoreo de presión de neumáticos en el consumo de combustible de un vehículo M1, específicamente utilizando el dispositivo Azuga. La presión de los neumáticos es un factor crucial que afecta tanto el rendimiento como la eficiencia del combustible en los vehículos. Un adecuado monitoreo y mantenimiento de la presión de los neumáticos no solo mejora la seguridad en la conducción, sino que también puede tener un impacto significativo en la economía de combustible y la reducción de emisiones contaminantes. En este estudio, se lleva a cabo un análisis comparativo entre el consumo de combustible de un vehículo M1 equipado con un sistema de monitoreo de presión de neumáticos activado y sin el sistema activado. La metodología consiste en realizar un análisis estadístico de los datos recopilados, centrándose en identificar correlaciones entre la presión de los neumáticos y el consumo de combustible. Se utiliza el dispositivo Azuga para recopilar datos relevantes sobre el consumo de combustible, la presión de los neumáticos y otros parámetros relacionados con la conducción. Se realizan pruebas en condiciones controladas y en situaciones de conducción real para evaluar el impacto del sistema de monitoreo de presión de neumáticos en diferentes escenarios y condiciones de uso. Los resultados obtenidos de esta investigación proporcionarán una comprensión más profunda sobre la influencia del sistema de monitoreo de presión de neumáticos en el consumo de combustible de los vehículos M1, que proporciona valiosa información para la toma de decisiones en políticas públicas y estrategias empresariales orientadas hacia la reducción del impacto ambiental y la optimización de recursos en el sector del transporte.

Palabras Clave: Neumáticos, consumo de combustible, presión de inflado, dispositivo Azuga.

Abstract

The main objective of this research project is to study the influence of the tire pressure monitoring system on the fuel consumption of an M1 vehicle, specifically using the Azuga device. Tire pressure is a crucial factor that affects vehicle performance as well as fuel efficiency. Proper monitoring and maintenance of tire pressure not only improves driving safety but can also have a significant impact on fuel economy and the reduction of polluting emissions. In this study, a comparative analysis is carried out between the fuel consumption of an M1 vehicle equipped with an activated tire pressure monitoring system and with the system deactivated. The methodology consists of performing a statistical analysis of the collected data, focusing on identifying correlations between tire pressure and fuel consumption. The Azuga device is used to collect relevant data on fuel consumption, tire pressure and other driving-related parameters. Tests are carried out under controlled conditions and in real driving situations to evaluate the impact of the tire pressure monitoring system in different scenarios and using conditions. The results obtained from this research provides a deeper understanding of the influence of the tire pressure monitoring system on the fuel consumption of M1 vehicles, which provides valuable information for decision-making in public policies and business strategies oriented towards reduction of environmental impact and optimization of resources in the transportation sector..

Keywords: Tires, fuel consumption, inflation pressure, Azuga device.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema de Investigación

Determinación de la influencia del sistema de monitoreo de presión de neumáticos en el consumo de combustible de un vehículo M1 usando un dispositivo Azuga.

1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

En la actualidad, la industria automotriz se encuentra en una fase de evolución constante, donde la búsqueda de soluciones para reducir el consumo de combustible y minimizar el impacto ambiental se ha convertido en una prioridad.

En este contexto, los sistemas de monitoreo de presión de neumáticos (TPMS, por sus siglas en inglés) han emergido como una tecnología esencial para mejorar la eficiencia de combustible y garantizar la seguridad del vehículo.

Estos sistemas están diseñados para alertar a los conductores sobre posibles pérdidas de presión en los neumáticos, lo que no solo optimiza el rendimiento del vehículo, sino que también contribuye significativamente a la seguridad vial.

1.2.1 Planteamiento del Problema

En este contexto, la implementación de sistemas de monitoreo de presión de neumáticos se ha convertido en una práctica común para garantizar un mantenimiento adecuado de los neumáticos y optimizar el rendimiento del vehículo.

Uno de estos sistemas es el dispositivo Azuga, que ofrece un monitoreo en tiempo real de la presión de los neumáticos, proporcionando datos precisos sobre su estado operativo.

A pesar de la creciente adopción de estos sistemas, existe una falta de investigaciones específicas que evalúen y cuantifiquen la influencia directa del sistema de monitoreo de presión de neumáticos, particularmente el dispositivo Azuga, en el consumo de combustible de los vehículos de clase M1. Entender esta relación es fundamental, ya que puede tener

implicaciones significativas tanto para los fabricantes de vehículos como para los usuarios finales (Alvarado, 2023).

Según FuelEconomy.gov, un sitio web conjunto del Departamento de Energía de EE. UU. (DOE) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA), las llantas desinfladas pueden reducir el consumo de combustible en un 0.3% por cada caída de 1 psi en las cuatro llantas.

El DOE estima que cada día se desperdician 3,56 millones de galones de gasolina debido a neumáticos inflados incorrectamente y advierte a los automovilistas que pueden mejorar el rendimiento de la gasolina en aproximadamente un 3,3% manteniendo los neumáticos inflados a la presión adecuada.

En este contexto, surge la necesidad de evaluar de manera precisa y científica la influencia del sistema de monitoreo de presión de neumáticos en el consumo de combustible de un vehículo de categoría M1, que incluye automóviles de pasajeros y vehículos utilitarios ligeros.

El presente proyecto se enfoca en determinar de qué manera la implementación de un sistema de monitoreo de presión de neumáticos, en este caso, el dispositivo Azuga, afecta el consumo de combustible en un vehículo M1.

El dispositivo Azuga es un avanzado sistema de monitoreo de flotas y vehículos que proporciona datos en tiempo real sobre diversos aspectos del vehículo, incluyendo la presión de los neumáticos. Sin embargo, a pesar de la creciente adopción de este tipo de tecnologías, existe una laguna en la literatura científica y técnica respecto a cómo estos sistemas específicos afectan el consumo de combustible en vehículos M1.

Cuando el Congreso de los estados Unidos ordenó por primera vez a la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en Carreteras (NHTSA) que estableciera un sistema que monitoreara los neumáticos de los vehículos nuevos y advirtiera al conductor sobre neumáticos

desinflados, fue una respuesta directa a varios accidentes relacionados con neumáticos. Esto ocurrió principalmente en el sur como resultado del calor excesivo.

Más de una década después, millones de automóviles, SUV y camionetas ligeras incluyen actualmente un sistema de control de la presión de los neumáticos (TPMS) que notifica al operador cuando uno o más neumáticos están un 25 % por debajo de la presión de inflado que figura en la placa de neumáticos del vehículo. Sin duda, el propósito original del TPMS era mejorar la seguridad en la carretera.

En abril de 2012, la NHTSA publicó los resultados de un estudio del Centro Nacional de Estadísticas y Análisis (que es una división de la NHTSA), "Factores relacionados con los neumáticos en la fase previa al accidente". Después de analizar una muestra de 5.470 accidentes (de 2.188.970 accidentes a nivel nacional) entre 2005 y 2007, el estudio llegó a la siguiente conclusión sobre la relación entre los accidentes y los neumáticos desinflados:

De los neumáticos que estaban desinflados en más del 25% de la presión recomendada, aproximadamente el 10% estaban en vehículos que experimentaron problemas con los neumáticos en la fase previa al choque.

Por el contrario, entre los neumáticos inflados correctamente, un porcentaje mucho menor (3,4%) pertenece a vehículos que experimentaron problemas con los neumáticos. Por tanto, el desinflado no es la única causa de problemas en los neumáticos; sin embargo, cuando los neumáticos están desinflados en un 25% o más, los neumáticos tienen tres veces más probabilidades de ser citados como eventos críticos en la fase previa al choque.

El TPMS proporciona capacidades de monitoreo de vehículos en tiempo real, lo que le permite realizar un seguimiento de la presión de los neumáticos de cada vehículo (Figura 1).

Figura 1*Mejora del Consumo de Combustible Usando TPMS*

Tomado de: <https://trackobit.com/blog/tire-pressure-monitoring-systems-reduce-fuel-consumption>

Pero tener la presión correcta de los neumáticos también puede ahorrar dinero en el surtidor. Según FuelEconomy.gov, un sitio web conjunto del Departamento de Energía de EE.UU. (DOE) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA), los neumáticos desinflados pueden reducir el consumo de combustible en un 0,3% por cada 0,07 bares de caída en los cuatro neumáticos.

Según Australian Government, Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities, la eficiencia de combustible maximizada reducirá automáticamente las emisiones de carbono:

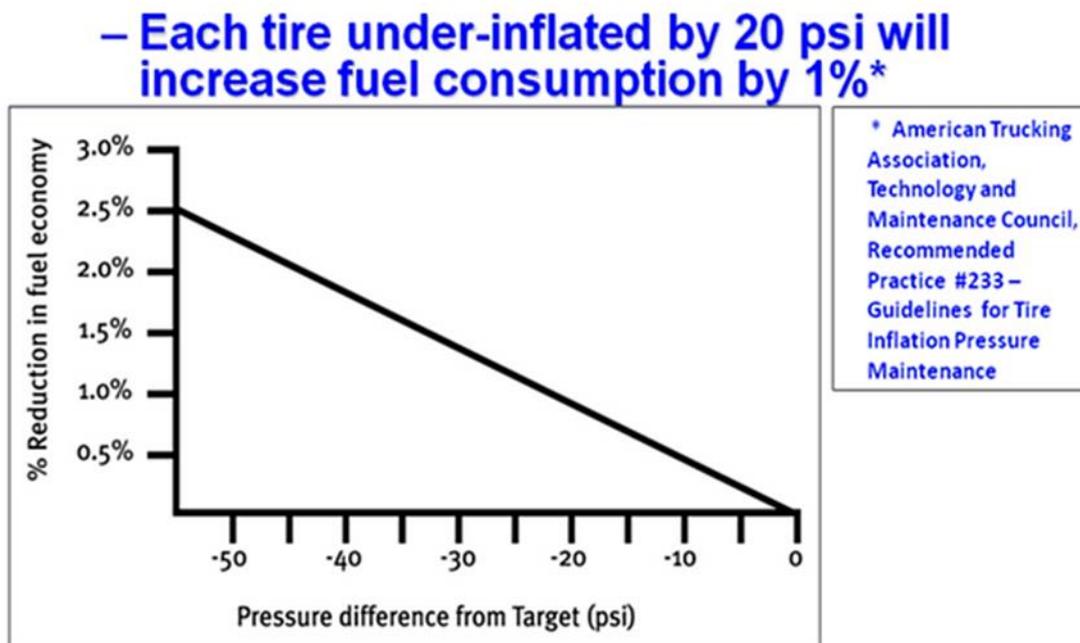
- Cada litro de gasóleo consumido emite 2,7 kg de CO₂.
- Cada 1 galón de combustible diésel consumido emite 22,5 libras de CO₂.

Ejemplo: Un camión normal de 10 ruedas que conduce 160 000 km (100 000 millas) cada año producirá, en promedio, 64 toneladas métricas de CO₂ (más de 141 000 libras) durante un período de 10 años simplemente manteniendo la presión correcta de los neumáticos.

El DOE estima que cada día se desperdician 1,35 millones de litros de gasolina debido a neumáticos inflados incorrectamente y advierte a los automovilistas que pueden mejorar el consumo de combustible en aproximadamente un 3,3% manteniendo los neumáticos inflados a la presión adecuada (Figura 2).

Figura 2

Efectos de Baja Presión en los Neumáticos en el Combustible Consumido



Tomado de: <https://www.tyreadid.com/background-info>

1.2.2 Formulación del Problema

En este contexto, surge la pregunta: ¿Cómo Determinación de la Influencia del Sistema de Monitoreo de Presión de Neumáticos en el Consumo de Combustible de un Vehículo M1 Usando un Dispositivo Azuga?

1.2.3 Sistematización del Problema

- ¿Cómo afecta el sistema de monitoreo de presión de neumáticos, específicamente el dispositivo Azuga, al consumo de combustible de un vehículo de clase M1?
- ¿Cuál es la relación entre la presión adecuada de los neumáticos, monitoreada por el dispositivo Azuga, y la eficiencia en el consumo de combustible de un vehículo?

- ¿Existen patrones o tendencias discernibles en los datos recopilados del dispositivo Azuga que indiquen cómo las variaciones en la presión de los neumáticos afectan el rendimiento del vehículo tipo M1?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

- Determinar la influencia del sistema de monitoreo de presión de neumáticos en el consumo de combustible de un vehículo M1 usando un dispositivo Azuga.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Configurar el dispositivo Azuga para su integración en el vehículo M1 asegurando su correcto funcionamiento para el monitoreo continuo del consumo de combustible.
- Recopilar datos detallados sobre el consumo de combustible del vehículo M1 durante un período específico de tiempo, registrando las condiciones de manejo, la velocidad, y otros factores relevantes.
- Realizar un análisis estadístico de los datos recopilados en función de las correlaciones entre la presión de los neumáticos y el consumo de combustible.

1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación

Uno de los factores que afecta significativamente el rendimiento de los vehículos, ya sean eléctricos o de combustión interna, es la presión de los neumáticos. Los neumáticos inflados adecuadamente no solo mejoran la seguridad del vehículo, sino que también reducen la resistencia al rodaje y, por ende, el consumo de energía.

En este contexto, los sistemas de monitoreo de presión de neumáticos (TPMS, por sus siglas en inglés) desempeñan un papel crucial al alertar a los conductores sobre la presión inadecuada de los neumáticos, lo que puede ayudar a prevenir situaciones de riesgo y optimizar el consumo de energía.

Este proyecto se justifica al abordar la falta de investigaciones específicas sobre la influencia del sistema de monitoreo de presión de neumáticos en el consumo de combustible de los vehículos clase M1. Al comprender mejor esta relación, se pueden desarrollar estrategias efectivas para optimizar el rendimiento del consumo, lo que contribuirá a la promoción de tecnologías más limpias y sostenibles en el sector automotriz.

1.4.1 Justificación Teórica

La justificación teórica del proyecto "Determinación de la influencia del sistema de monitoreo de presión de neumáticos en el consumo de combustible de un vehículo M1 usando un dispositivo Azuga" es fundamental para establecer la relevancia y la importancia del estudio. A continuación, se presenta una justificación teórica detallada para respaldar este proyecto:

- **Importancia de la Presión de Neumáticos:** La presión adecuada de los neumáticos es esencial para la eficiencia del combustible. Neumáticos correctamente inflados reducen la resistencia a la rodadura, mejoran la tracción y aumentan la eficiencia del vehículo, lo que, a su vez, reduce el consumo de combustible.
- **Impacto en el Consumo de Combustible:** Estudios previos han demostrado que la baja presión de los neumáticos puede aumentar significativamente el consumo de combustible. Estos estudios se han centrado principalmente en vehículos convencionales, pero la investigación sobre vehículos eléctricos M1 específicamente utilizando tecnologías de monitoreo como el dispositivo Azuga es limitada.

1.4.2 Justificación Metodológica

La justificación metodológica del proyecto para resolver este problema, se llevará a cabo un estudio exhaustivo que incluirá la recopilación y análisis de datos empíricos, así como la aplicación de métodos estadísticos adecuados para evaluar la correlación entre el monitoreo de presión de neumáticos y el consumo de combustible en vehículos M, utilizando el

dispositivo Azuga. Los resultados obtenidos proporcionarán información valiosa y con base científica que puede guiar futuras decisiones en la industria automotriz y contribuir al conocimiento general sobre la eficiencia de combustible en vehículos equipados con sistemas de monitoreo de presión de neumáticos.

1.4.3 Justificación Práctica

Este proyecto es esencial para comprender y cuantificar el impacto del sistema de monitoreo de presión de neumáticos en el consumo de combustible de vehículos M1 utilizando el dispositivo Azuga. La información resultante no solo aumenta el conocimiento científico en este campo, sino que también tendrá aplicaciones prácticas en la industria automotriz, beneficiando tanto al medio ambiente como a la economía.

1.4.4 Delimitación Temporal

El presente proyecto se desarrolla durante un período de 6 meses, comenzando en noviembre de 2023 y finalizando en abril de 2024.

1.4.5 Delimitación Geográfica

El trabajo se desarrolla en la ciudad de Guayaquil. Este proyecto se lleva a cabo en un entorno urbano, focalizándose en vehículos tipo M1.

1.4.6 Delimitación del Contenido

El proyecto se enfoca específicamente en los vehículos de clase M1, que son automóviles de pasajeros, y se utiliza el dispositivo Azuga como herramienta de monitoreo. La investigación se limita a evaluar la relación entre el sistema de monitoreo de presión de neumáticos y el consumo de combustible, excluyendo otros factores que puedan afectar el rendimiento del vehículo, como las condiciones de la carretera, la carga del vehículo o el estilo de conducción del usuario.

Capítulo II

Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

Los vehículos juegan un papel crucial en la movilidad moderna. El consumo eficiente de combustible es esencial para reducir la huella ambiental y mejorar la economía del propietario. Uno de los factores clave que afecta el consumo de combustible o energía en vehículos es la presión de los neumáticos. La presión inadecuada puede generar resistencia a la rodadura adicional y, por lo tanto, aumentar el consumo de combustible. En este contexto, los sistemas de monitoreo de presión de neumáticos (TPMS, por sus siglas en inglés) se han vuelto cada vez más esenciales.

2.1.1 *Conceptos Preliminares*

La presión adecuada de los neumáticos es esencial para la seguridad y el rendimiento del vehículo. Algunos estudios han demostrado que los neumáticos inflados incorrectamente pueden afectar significativamente la eficiencia del combustible (Alvarado, 2023). Mantener la presión correcta no solo reduce el consumo de combustible sino también el desgaste irregular de los neumáticos, mejorando así la vida útil del neumático y la seguridad del vehículo.

2.1.2 *Presión de los Neumáticos y su Influencia en el Consumo de Combustible*

Una reducción del 10% en la presión de los neumáticos tiene un efecto del 1% en el consumo de combustible (Motorpasion.com.mx, 2023).

Los neumáticos con baja presión de inflado o pinchados producen el 20 % de las averías presentes en un neumático. En los vehículos pesados, debido al tamaño, tienen el potencial de causar incidentes aún más graves si el conductor pierde el control del vehículo (Azocleantech.com, 2023).

El desarrollo de la tecnología enfocada en aumentar la eficiencia, la confiabilidad y reducir los costos relacionados con el consumo de combustible, está directamente relacionado con la fabricación de neumáticos.

El parámetro básico que permite aumentar las propiedades de uso de un neumático es la selección de la presión adecuada de los neumáticos según el peso del vehículo, las condiciones ambientales (temperatura, presión externa).

En un estudio realizado por Michelin, la disminución de la presión de los neumáticos de turismos en 0,03 MPa provocó un aumento del 6% en la resistencia a la rodadura mientras que el consumo de combustible aumentó en un 1%. Relaciones similares han establecido que, con una caída de presión en los neumáticos de camiones de 0,02 MPa, el consumo de combustible aumentó un 1,5% (Centroamerica.michelin.com, 2023).

2.1.3 Sistema Presión de los Neumáticos y la Eficiencia del Combustible

La presión de los neumáticos afecta directamente la eficiencia del combustible de un vehículo. Los neumáticos poco inflados aumentan el área de contacto del neumático con la carretera, lo que aumenta la resistencia a la rodadura. Cuanto mayor es la resistencia a la rodadura, más energía se necesita para superarla, lo que resulta en un mayor consumo de combustible. Según estudios de Oponeo.es, mantener la presión correcta en los neumáticos puede mejorar el ahorro de combustible hasta en un 3%. Para los operadores de flotas que gestionan varios vehículos, esto podría traducirse en ahorros significativos (Oponeo.es, 2022).

2.1.4 TPMS vs Costos de Combustible

Al mantener una presión óptima de los neumáticos, un TPMS puede ayudar a mejorar la eficiencia del combustible de un vehículo. Por ejemplo, si un TPMS alerta al conductor sobre una presión baja en los neumáticos, el conductor puede inflar los neumáticos al nivel recomendado, reduciendo la resistencia a la rodadura y mejorando la eficiencia del combustible.

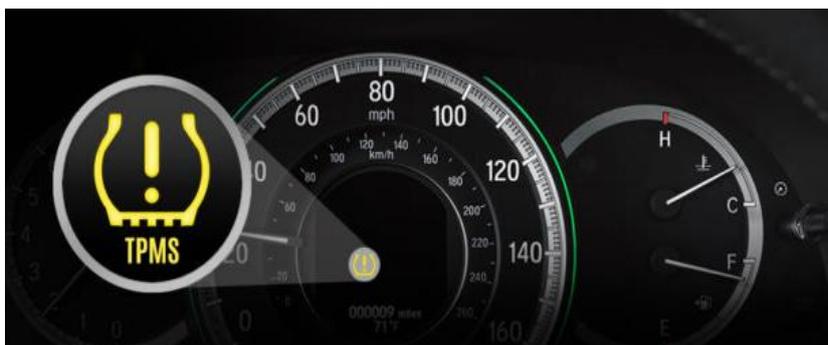
Además, algunos TPMS, como TireView, proporcionan datos en tiempo real sobre la presión y la temperatura de los neumáticos. Esto permite a los conductores abordar cualquier problema de inmediato, mejorando aún más la eficiencia del combustible y potencialmente ahorrando cientos de dólares en costos de combustible cada año (Tandembrite.com, 2023).

La administración nacional de seguridad de tráfico de carretera (NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration) fue un paso más allá en noviembre de 2012 y publicó otro informe técnico, "Evaluación de la eficacia del TPMS en el mantenimiento adecuado de la presión de los neumáticos". Este informe encontró que el 23,1% de los modelos 2004-2007 sin TPMS tenían al menos un neumático muy desinflado, pero sólo el 11,8% de los vehículos del mismo año con TPMS tenían un neumático muy desinflado (NHTSA, 2012).

“La seguridad de los neumáticos comienza con la reparación adecuada de los neumáticos”, TIA (thetiagroup.com/es) muestra a los conductores por qué se deben quitar los neumáticos de la llanta (rin) antes de repararlos. La segunda entrega se titula “La seguridad de los neumáticos comienza con TPMS” y se centra en los beneficios de seguridad relacionados con esta tecnología. Se menciona el posible ahorro de combustible y la mejora del desgaste de la banda de rodadura, pero el énfasis está en la seguridad porque ese es el único concepto que convencerá a la mayoría de los consumidores de gastar dinero en mantener, reparar y reemplazar el TPMS de sus vehículos (Figura 3).

Figura 3

TPMS en Vehículos



Tomado de: <https://gossipvehiculo.com/2022/02/19/que-es-tpms-en-un-carro/>

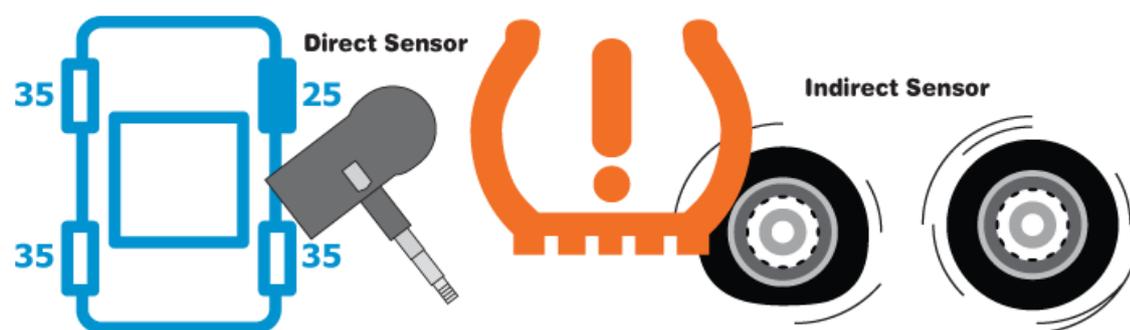
2.1.5 El TPMS en el Mantenimiento de la Presión Óptima de los Neumáticos

Un sistema de monitoreo de presión de neumáticos (TPMS) es una característica de seguridad del vehículo diseñada para alertar al conductor cuando la presión de los neumáticos es demasiado baja. Los neumáticos poco inflados pueden provocar diversos problemas, incluido un mayor consumo de combustible, un mal manejo del vehículo e incluso pinchazos de neumáticos. Al alertar al conductor sobre la baja presión de los neumáticos, un TPMS puede ayudar a prevenir estos problemas.

Hay dos tipos principales de sensores TPMS. El TPMS directo, el cual recopila datos de presión precisos directamente de la válvula del neumático a través de cuatro sensores de presión dedicados que están conectados a la válvula, informando las lecturas de presión en tiempo real. El TPMS indirecto, por otro lado, utiliza el sistema ABS para aproximar la presión de los neumáticos, y los automovilistas deben conducir una distancia considerable antes de que se genere una alerta (Figura 4).

Figura 4

Sensor TPMS vs Presión del Neumático



Tomado de: <https://mycardoeswhat.org/safety-features/tire-pressure-monitoring-system/>

Cuando la presión de un neumático cae por debajo del umbral recomendado, los sensores TPMS transmiten una señal a la computadora del vehículo, que luego activa una advertencia de baja presión de neumático. Esta alerta permite a los conductores abordar el

problema rápidamente y mantener el inflado adecuado de los neumáticos (32 psi a 35 psi cuando están fríos).

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 *Sistema de Monitoreo de Presión de Neumáticos (TPMS)*

El propósito del sistema de monitoreo de presión de neumáticos (TPMS) de su vehículo es advertirle que al menos uno o más neumáticos están significativamente desinflados, lo que posiblemente cree condiciones de conducción inseguras. El indicador de baja presión de neumáticos del TPMS es un símbolo amarillo que se ilumina en el panel de instrumentos del tablero con la forma de una sección transversal de neumático (que se asemeja a una herradura) con un signo de exclamación.

La función principal del sistema TPMS es monitorear la presión de los neumáticos mientras conduce. La Ley TREAD es la legislación federal de EE. UU. que exige que el sistema detecte y alerte al conductor dentro de los 20 minutos siguientes a cuando la presión de un neumático (o más) es al menos un 25 % inferior a la presión de inflado en frío recomendada por el fabricante del vehículo.

Ahora bien, estos valores de un 25% menos en 20 minutos son los que exige la legislación. Hoy en día, hay muchos vehículos que detectan y proporcionan una advertencia mucho más rápido que 20 minutos y con una diferencia de presión que es más sensible que el 25%.

2.2.2 *Consumo de Combustible*

Según la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Removible de EE. UU., la Escuela de Ingeniería del MIT y HowStuffWorks, las medidas de economía de combustible no muestran una imagen completamente precisa de los cambios y mejoras en la eficiencia de un vehículo. El consumo de combustible, que ilustra una relación lineal, es una medida mucho más precisa. El consumo de combustible se expresa en galones por milla (GPM) en lugar de

millas por galón, por lo que indica cuántos galones de gasolina utilizará cuando conduzca 100 millas.

Estas fuentes señalan que GPM es la métrica más importante para revisar con el fin de mejorar la eficiencia. La Escuela de Ingeniería del MIT señala que el uso de MPG para ilustrar la economía de combustible puede hacer que las pequeñas mejoras parezcan descomunales.

Por ejemplo, aumentar el rendimiento de gasolina de un automóvil de 40 a 60 MPG tiene un impacto mucho menor que aumentar el rendimiento de gasolina de un SUV de 10 a 15 MPG, aunque el primer escenario parece más ventajoso a primera vista. Esto se debe a que se ahorra más combustible al mejorar el MPG del SUV que el MPG del automóvil en este ejemplo. El MIT recomienda que los fabricantes de automóviles comiencen a informar los GPM de un automóvil por 100 millas, así como sus MPG.

El consumo de combustible es un rubro que todos los dueños y operadores de flotas siempre van a estar interesados en mejorar. Y esto es porque este costo representa entre 30% y 40% dependiendo del tipo de vehículo, la carga, la ruta y otros factores (Figura 3).

Los fabricantes de vehículos proporcionan cada vez más información instantánea al conductor a través de pantallas en los vehículos. Por ejemplo, las funciones ECO Assist y HondaLink de Honda implican un sofisticado sistema de retroalimentación que enseña a los conductores cómo conducir de manera más eficiente y qué comportamientos afectan su economía de combustible.

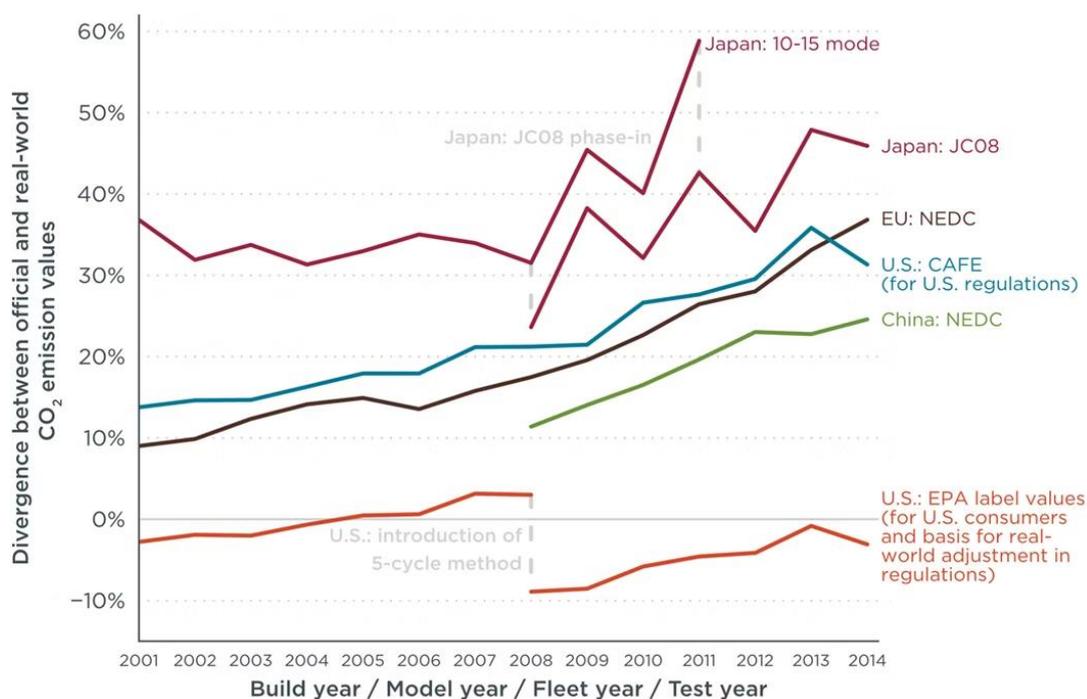
De manera similar, la función SmartGauge con EcoGuide de Ford puede ayudar a los conductores a lograr la mejor eficiencia de combustible al anticipar situaciones de conducción futuras para ayudar a informar los comportamientos de conducción más eficientes en el consumo de combustible (Afdc.energy.gov, 2023).

La brecha entre el consumo de combustible medido según los valores de prueba y en condiciones de conducción reales creció durante la última década en la mayoría de los

mercados de vehículos hasta alcanzar valores en 2017 que en algunos casos fueron casi un 50% más altos que el consumo de combustible por kilómetro probado (Figura 5).

Figura 5

Valores de Emisiones de CO₂ Oficiales y Reales para Países Seleccionados, 2001-2014



Tomado de: <https://www.iea.org/reports/fuel-economy-in-major-car-markets>

2.2.3 Eficiencia del Combustible

La eficiencia del combustible (Figura 6) mide la distancia que puede recorrer un vehículo motorizado con un solo galón de gasolina. Como resultado, aumentar la eficiencia de estos vehículos puede ayudar a limitar el impacto sobre el cambio climático. La eficiencia del combustible mide la distancia que puede recorrer un vehículo motorizado con un solo galón de gasolina.

Según la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Removible de EE. UU., la Escuela de Ingeniería del MIT y HowStuffWorks, el medio ambiente y la economía de Estados Unidos pueden beneficiarse significativamente de las mejoras en la eficiencia del combustible (Figura 8). Estas fuentes señalan que los automóviles, camiones y otros vehículos motorizados de

carretera representan casi el 60 por ciento del consumo de petróleo y más del 25 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero en los EE. UU. Como resultado, aumentar la eficiencia de estos vehículos puede ayudar a limitar el impacto. sobre el cambio climático.

Figura 6

Eficiencia de Combustible



Tomado de: <https://www.conduccioneficiente.cl/como-elegir-el-auto-mas-eficiente/>

2.2.3 Tendencias de Eficiencia y Consumo de Combustible

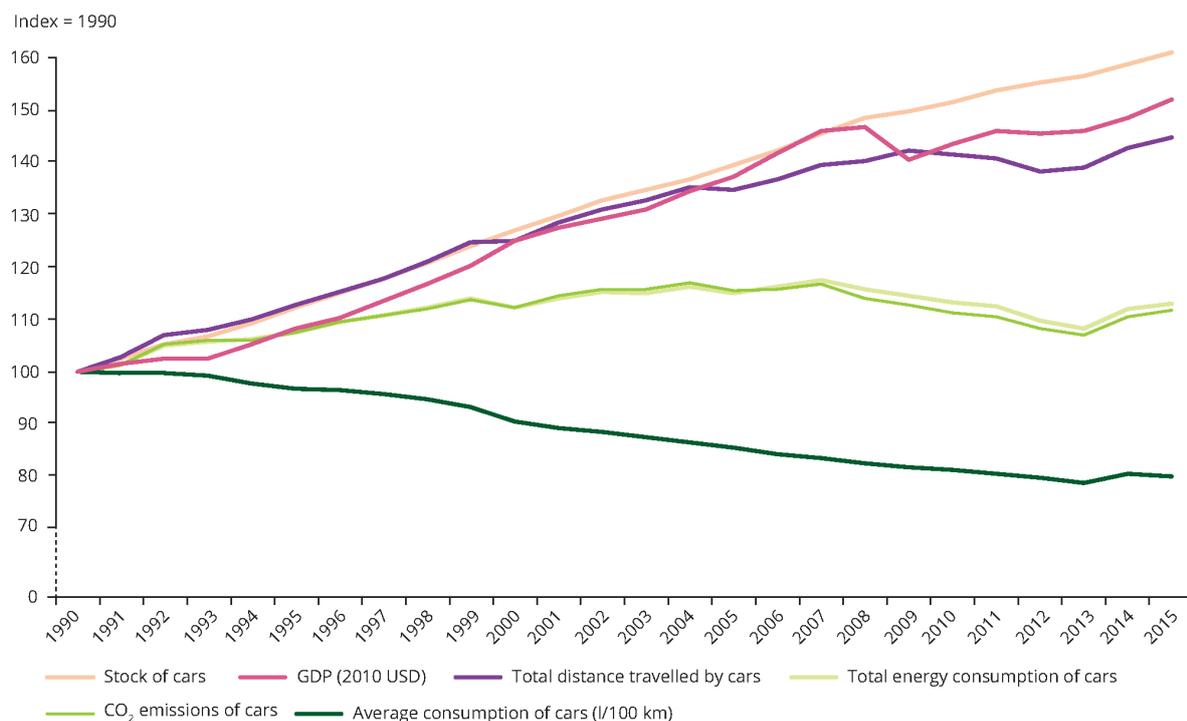
El consumo de combustible y la eficiencia del combustible trabajan en relación directa entre sí. La eficiencia del combustible depende del consumo de combustible del vehículo conducido, de la distancia recorrida y del tipo de vehículo. Más concretamente, la eficiencia térmica es la conversión del combustible del vehículo mientras funciona. Esta es la eficiencia del combustible. Esto varía de un vehículo a otro, dependiendo del tipo de vehículo, el método de uso, etc. El consumo de combustible del vehículo también se calcula a partir de la distancia recorrida y la velocidad de viaje. Un mejor vehículo conducirá más lejos con menos combustible y este tipo de vehículo tiene una mejor eficiencia de combustible. Además, al tener mejor eficiencia de combustible, consumirá menos combustible.

En la figura 7 se presenta las tendencias de eficiencia y consumo de combustible de los vehículos privados en la UE-28 en el período 1990 a 2015. Las variables incluidas son el

número de automóviles, las emisiones medias de CO₂ de los automóviles, el consumo medio de combustible de los automóviles, el PIB y la distancia total recorrida. por los automóviles y el consumo total de energía de los automóviles.

Figura 7

Eficiencia y Consumo de Combustible en Automóviles Privados, 1990-2011



Tomado de: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/fuel-efficiency-and-fuel-consumption>

2.2.4 Neumático

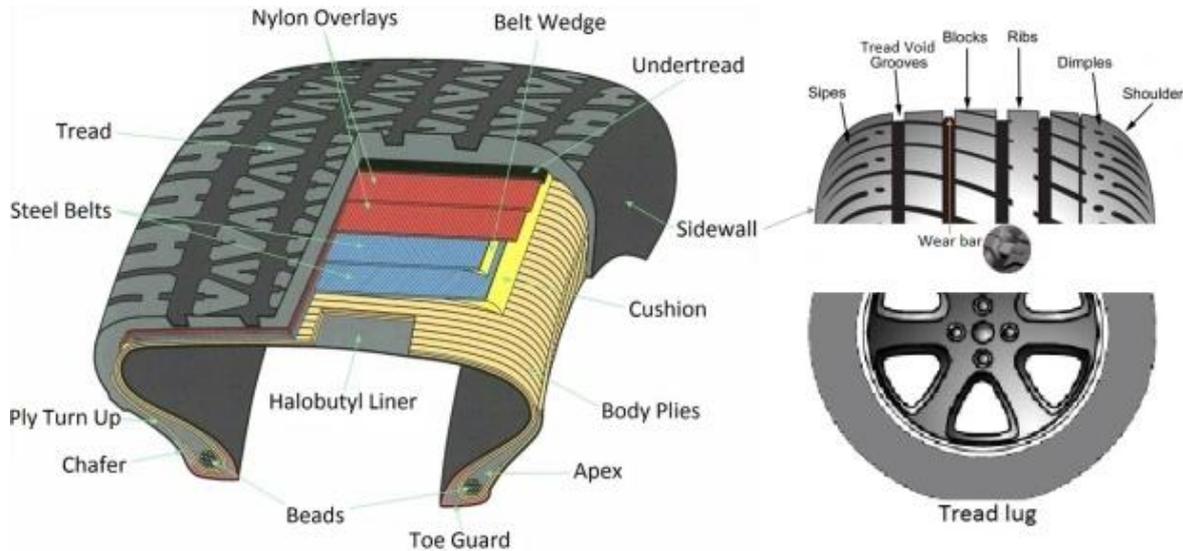
Es una cubierta en forma de anillo que se ajusta alrededor de la llanta de una rueda para protegerla y permitir un mejor rendimiento del vehículo. La mayoría de los neumáticos, como los de automóviles y bicicletas, brindan tracción entre el vehículo y la carretera y al mismo tiempo proporcionan un cojín flexible que absorbe los impactos.

Los materiales de los neumáticos modernos son caucho sintético, caucho natural, tela y alambre, junto con negro de carbón y otros compuestos químicos. Consisten en una banda de rodadura y un cuerpo.

La banda de rodadura proporciona tracción mientras que el cuerpo proporciona contención para una cantidad de aire comprimido (Figura 8).

Figura 8

Construcción de un Neumático



Tomado de: <https://scientificmarket.wordpress.com/2013/05/03/car-tires/>

2.2.5 TPMS Monitoreo Rápido de Desinflado

En caso de que un neumático pierda rápidamente una gran cantidad de aire, el período de 20 minutos es demasiado largo para proporcionar condiciones de conducción seguras, razón por la cual el TPMS también monitorea el rápido desinflado. Si el sistema detecta una pérdida rápida de presión, no esperará a la siguiente notificación programada. Enviará una señal a la computadora inmediatamente y encenderá la luz de advertencia tan pronto como llegue esa señal. Esto evita conducir con una llanta completamente desinflada (Fonseca, 2023).

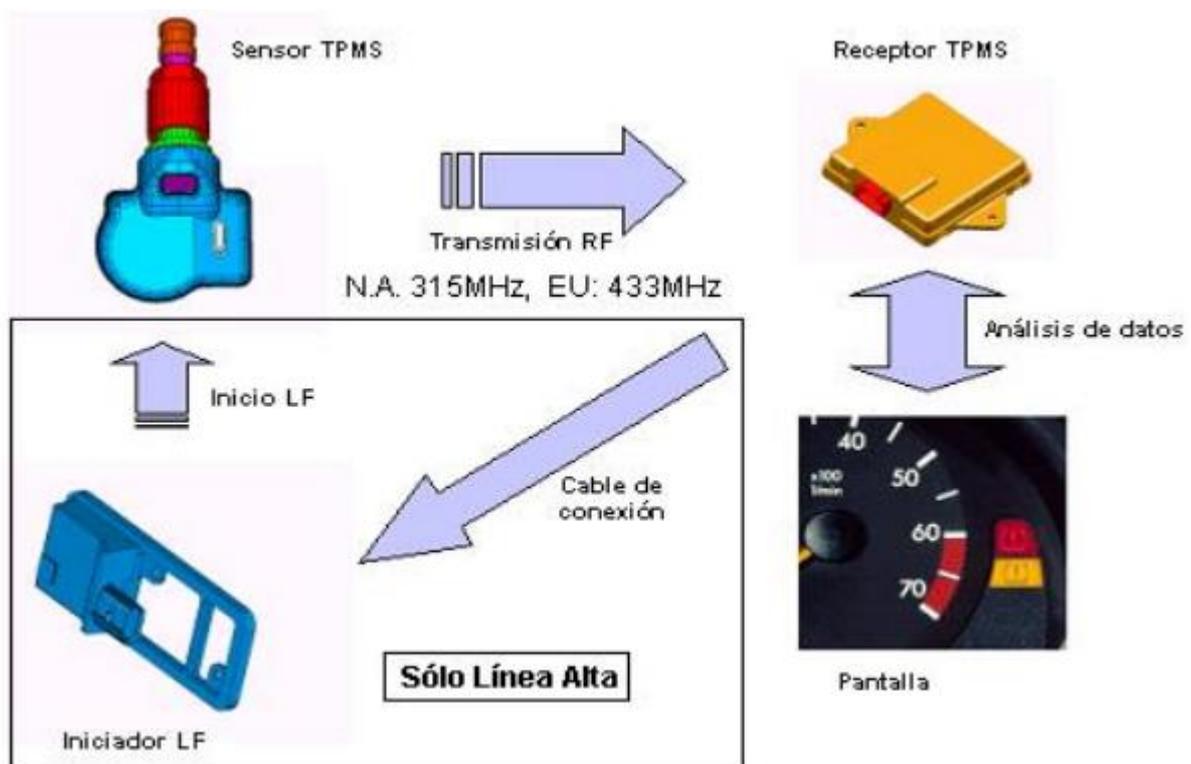
2.2.6 TPMS Monitoreo Estacionario

Algunos sistemas también brindan la capacidad de monitorear la presión de los neumáticos incluso si la rueda no gira. Este tipo de sistema utilizará una señal de radio de ultra alta frecuencia (UHF) para activar los sensores TPMS que solicitan una actualización de presión. Esto significa que el conductor sabrá acerca de una condición de baja presión incluso

antes de conducir el automóvil. Entonces, antes de regresar a la autopista, el conductor sabrá que los cuatro neumáticos son seguros para circular por la carretera. No obstante, en situaciones de "Línea baja", este sensor opera constantemente sin importar si el motor está en marcha o detenido. Según se ilustra en la figura 9, el sensor se conecta únicamente con el arrancador en vehículos de la "Línea alta", usando una frecuencia de 125KHz para LF (Baja frecuencia).

Figura 9

Interfase de Comunicación LF



Tomado de: <https://www.researchgate.net/publication/262350188>

Capítulo III

Influencia del Sistemas de Control de la Presión de los Neumáticos en el Consumo de Combustible

Los beneficios de los sistemas de control de la presión de los neumáticos (TPMS) superan el costo de los neumáticos. Un vehículo con la presión de neumáticos correcta puede afectar significativamente el resultado final.

Una reducción del 10% en la presión de los neumáticos tiene un efecto del 1% en el consumo de combustible.

Se estima que hasta 3.600 accidentes y el 20 por ciento de todas las averías están directamente relacionados con neumáticos pinchados o con baja presión. Debido al tamaño de los vehículos pesados, tienen el potencial de causar incidentes aún más graves si el conductor pierde el control del vehículo (Carreteras de Inglaterra, 2015).

3.1 Influencia del TPMS en el Consumo de Combustible

El objetivo principal del TPMS es realizar un seguimiento de la presión de cada neumático de su flota, ya sea de forma primaria o secundaria. Al hacerlo, el sistema puede indicarle cuál es el nivel de psi en cada neumático y si la presión real se desvía de la presión óptima.

El neumático es un componente fundamental en un vehículo, y su influencia en el consumo de combustible es significativa. Algunos de los principales factores que afectan el consumo de combustible relacionados con los neumáticos incluyen:

- **Resistencia a la rodadura:** La resistencia a la rodadura es la fuerza que se opone al movimiento del neumático sobre la superficie de la carretera. Neumáticos con una alta resistencia a la rodadura requieren más energía para mantener el vehículo en movimiento, lo que resulta en un mayor consumo de combustible. Por lo tanto,

neumáticos diseñados para minimizar esta resistencia pueden ayudar a reducir el consumo de combustible.

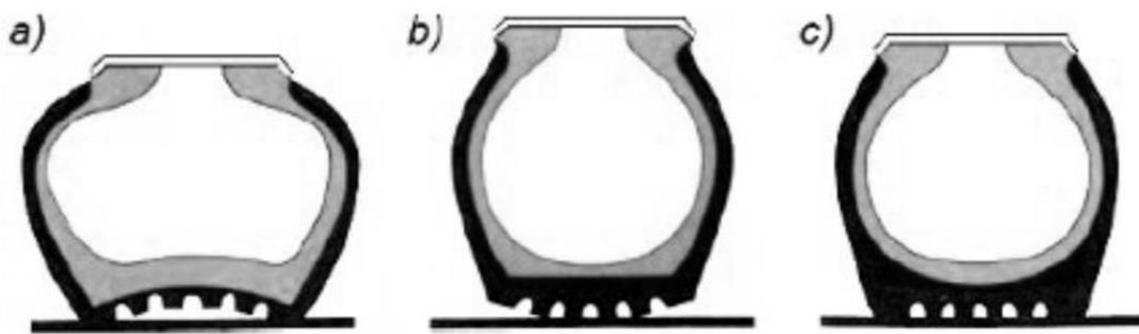
- **Diseño y banda de rodadura:** El diseño y la banda de rodadura del neumático también pueden influir en el consumo de combustible. Los neumáticos con una banda de rodadura más ancha o más agresiva pueden aumentar la resistencia a la rodadura y, por lo tanto, el consumo de combustible. Además, el tipo de compuesto utilizado en la banda de rodadura puede afectar la eficiencia del neumático y, en consecuencia, el consumo de combustible.
- **Presión de inflado:** La presión de inflado incorrecta de los neumáticos puede tener un impacto significativo en el consumo de combustible. Neumáticos subinflados aumentan la resistencia a la rodadura, lo que resulta en un mayor consumo de combustible. Por otro lado, neumáticos sobreinflados pueden afectar negativamente la tracción y la maniobrabilidad del vehículo. Mantener la presión de inflado adecuada según las recomendaciones del fabricante puede ayudar a optimizar la eficiencia del combustible.
- **Tamaño y peso del neumático:** Neumáticos más grandes y pesados tienden a aumentar la resistencia a la rodadura y, por lo tanto, el consumo de combustible. Por lo tanto, la elección de neumáticos de tamaño adecuado y peso ligero puede contribuir a mejorar la eficiencia del combustible.
- **Condiciones de la carretera:** Las condiciones de la carretera, como la superficie y la inclinación, pueden influir en la resistencia a la rodadura y, en consecuencia, en el consumo de combustible. Por ejemplo, conducir en carreteras con pavimento áspero o mojado puede aumentar la resistencia a la rodadura y, por lo tanto, el consumo de combustible.

En resumen, varios factores relacionados con los neumáticos, como la resistencia a la rodadura, el diseño y la banda de rodadura, la presión de inflado, el tamaño y el peso, así como las condiciones de la carretera, pueden influir en el consumo de combustible de un vehículo. Por lo tanto, elegir y mantener adecuadamente los neumáticos puede ayudar a mejorar la eficiencia del combustible y reducir los costos operativos del vehículo.

Ahora, el impacto de la presión de los neumáticos en la vida útil de los neumáticos y el consumo de combustible es bien conocido, como se muestra en los gráficos de Michelin a continuación en la figura 9.

Figura 9

Presión del Neumático



Tomado de: https://sjsutst.polsl.pl/archives/2019/vol1103/167_SJSUTST103_2019_SzczuickaLasota_Kaminska_Krzyzewska.pdf

La baja presión de los neumáticos provoca deformaciones desde el interior de tal manera que el contacto con el suelo se produce sólo en la superficie exterior. Entonces existe el peligro de que el neumático se caliente rápidamente (aumento de temperatura) y dañe su estructura, lo que puede reducir la vida útil del neumático.

Unos valores de presión de neumáticos demasiado elevados hacen que el contacto con el suelo sólo sea en la parte media.

En el tercer caso, la presión de los neumáticos es correcta. El consumo de la banda de rodadura es regular, lo que afecta al confort de conducción y aumenta la vida útil de los neumáticos y acorta las distancias de frenado.

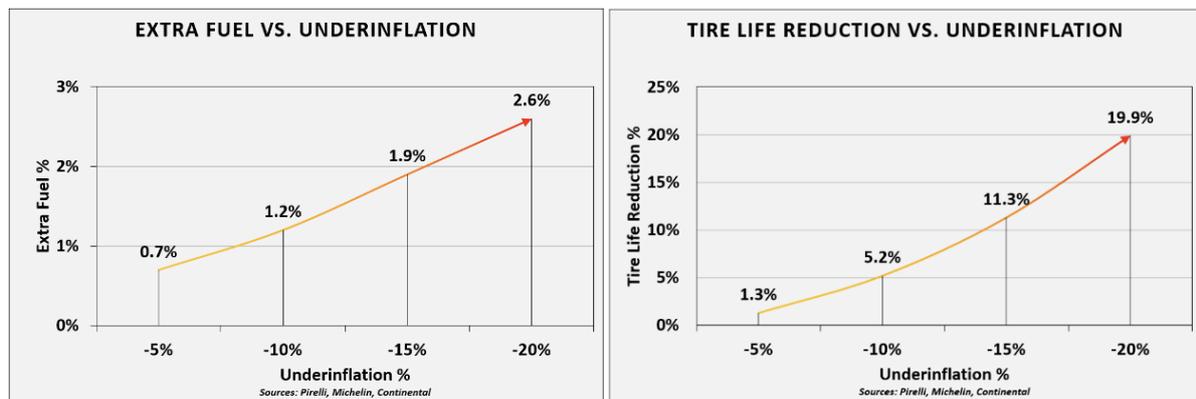
Según Mathai, unos valores correctos de presión y temperatura de los neumáticos permiten alargar la vida útil de los neumáticos. vida útil del neumático en un 30%.

Reiter et al. calculó que el uso de vehículos con menor presión en los neumáticos tiene el impacto de acortar la vida útil del neumático hasta en un 5%.

El inflado adecuado de los neumáticos mejora directamente el consumo de combustible, lo que garantiza ahorros de costes a largo plazo. Además, mantener una presión óptima de los neumáticos reduce el desgaste, lo que prolonga la vida útil de los neumáticos de los vehículos y minimiza los costos de reemplazo. En la Figura 10 puede observarse la influencia de una falta de presión en los neumáticos en el consumo de combustible y en la vida útil del neumático.

Figura 10

Economía de Combustible por Velocidad para un Toyota Corolla



Tomado de: <https://www.walkerproducts.com/commercialvehicle/about/tpms-sensors/>

3.2 Presión de Inflado de los Neumáticos

La función principal del sistema TPMS es monitorear la presión de los neumáticos mientras conduce. La Ley TREAD es la legislación federal de EE. UU. que exige que el sistema detecte y alerte al conductor dentro de los 20 minutos siguientes a cuando la presión de un

neumático (o más) es al menos un 25 % inferior a la presión de inflado en frío recomendada por el fabricante del vehículo. Ahora bien, estos valores de un 25% menos en 20 minutos son los que exige la legislación. Hoy en día, hay muchos vehículos que detectan y proporcionan una advertencia mucho más rápido que 20 minutos y con una diferencia de presión que es más sensible que el 25%. Los sistemas de control de la presión de los neumáticos tienen que ver con la seguridad. Los neumáticos correctamente inflados maximizan la estabilidad, el manejo y la distancia de frenado de su vehículo (Figura 11).

Figura 11

Sistemas de Control de la Presión de los Neumáticos



Tomado de: <https://www.tirereview.com/tpms-save-on-fuel/>

El consumo de combustible aumenta un 1% cada 2,9 psi / 0,2 bar que se coloca el neumático.

Bajo inflado.

- 0,4 bar de inflado insuficiente \Rightarrow 2% de aumento en el consumo de combustible

- 0,6 bar de inflado insuficiente \Rightarrow 3% de aumento en el consumo de combustible

El desgaste de los neumáticos aumenta un 5% cada 2,9 psi / 0,2 bar que el neumático está desinflado.

- 0,4 bar de inflado insuficiente \Rightarrow 10% de aumento en el desgaste de los neumáticos

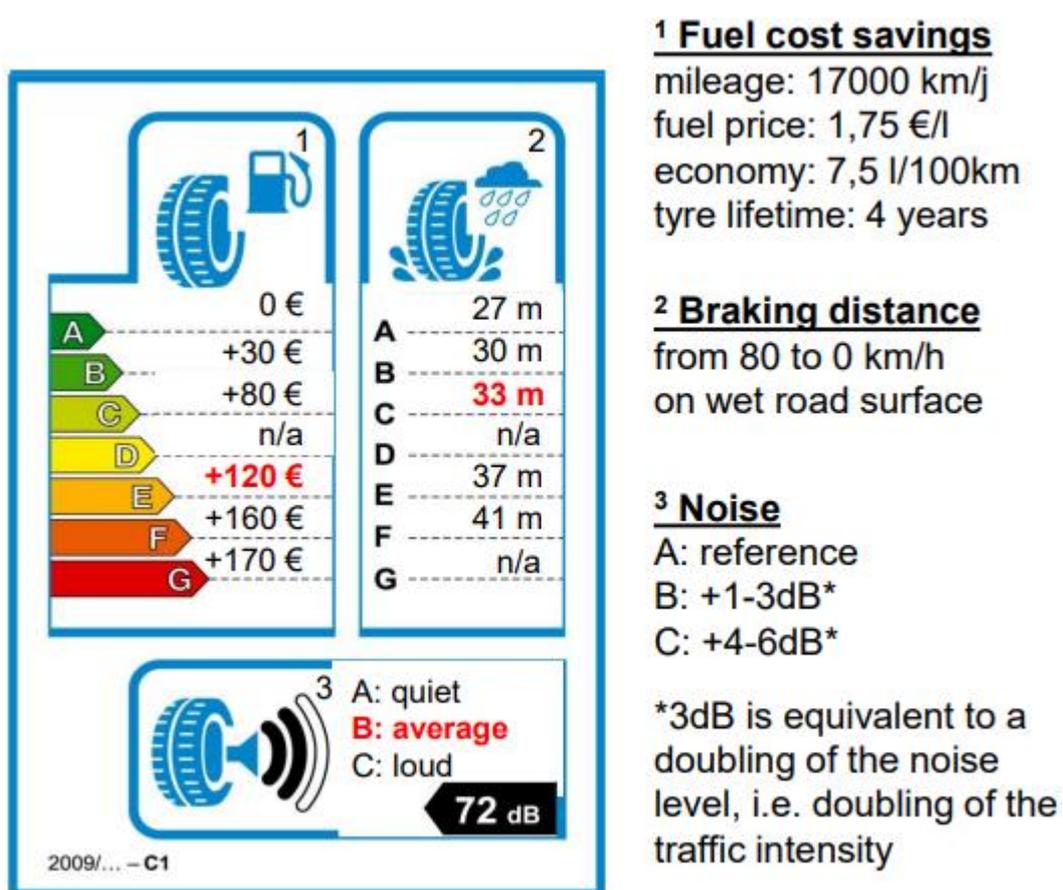
- 0,6 bar de inflado insuficiente \Rightarrow 15% de aumento en el desgaste de los neumáticos

Según NHTSA: El desgaste de los neumáticos aumenta un 15% cada 2,9 psi / 0,2 bar, el neumático está desinflado.

Como ejemplo se muestra los neumáticos Triple A que proporcionan beneficios para el medio ambiente ruido, seguridad y economía (Figura 12).

Figura 12

Neumáticos AAA



Tomado de: <https://unece.org/DAM/trans/doc/2014/wp29grb/GRB-60-14e-Rev.1.pdf>

3.3 Sistema de Control de la Presión de los Neumáticos

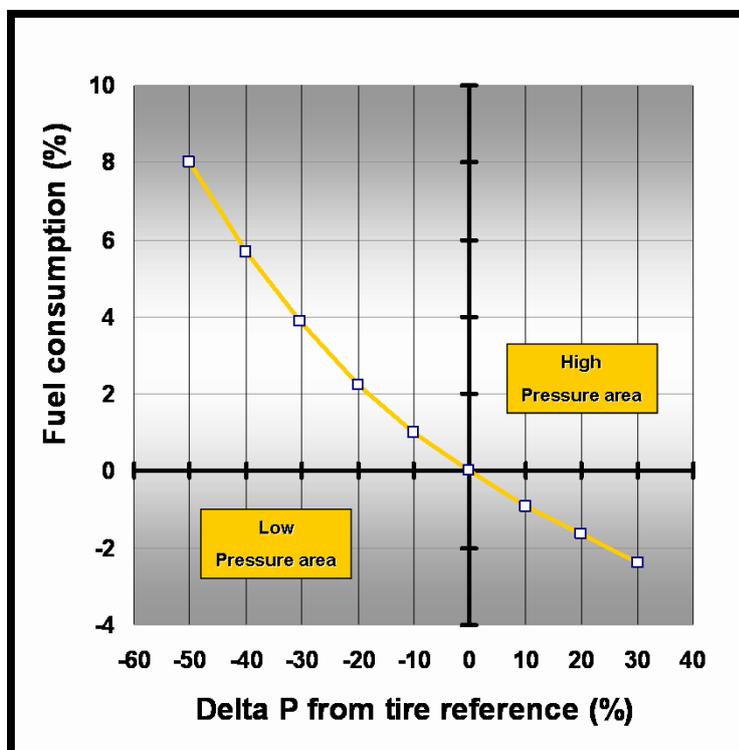
Actualmente se utilizan dos tipos diferentes de sistemas: TPMS directo y TPMS indirecto.

- Direct TPMS utiliza un sensor montado en la rueda para medir la presión del aire en cada neumático. Cuando la presión del aire cae un 25% por debajo del nivel recomendado por el fabricante, el sensor transmite esa información al sistema informático de su automóvil y activa la luz indicadora del tablero.
- El TPMS indirecto funciona con los sensores de velocidad de las ruedas del sistema de frenos antibloqueo (ABS) de su automóvil. Si la presión de un neumático es baja, rodará a una velocidad de rueda diferente a la de los otros neumáticos. Esta información es detectada por el sistema informático de su automóvil, que activa la luz indicadora del tablero.

La presión de aire incorrecta reduce sus millas por galón (Figura 13).

Figura 13

Presión de Inflado del Neumático vs Consumo de Combustible



Tomado de: <https://fuelmonitoring.org/products/tpms/>

3.4 Importancia de la Presión de Inflado en el Rendimiento de los Neumáticos

El último informe de investigación de ING destacó la importancia de la presión de los neumáticos como la solución número uno para que los transportistas ahorren combustible. También es el más sencillo de abordar. Otras soluciones destacadas descritas en el informe incluyen la aerodinámica y la gestión del motor, las cuales requieren una inversión sustancial.

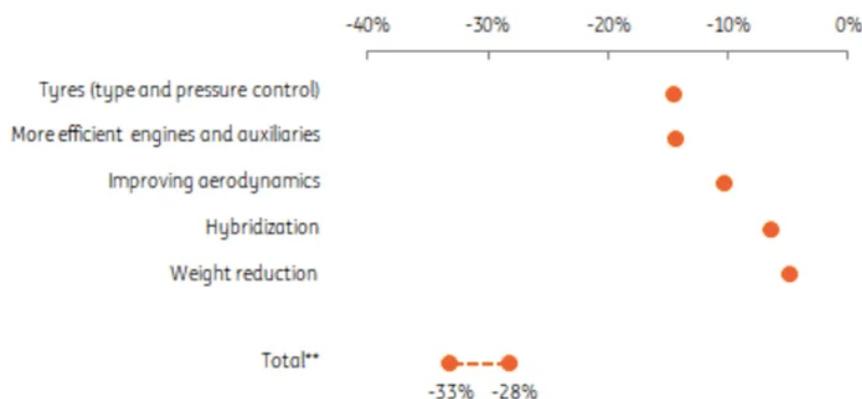
Los usuarios habituales de neumáticos para su flota, especialmente los de medidas técnicas, habrán notado los plazos de entrega más largos. Esto también está generando más situaciones en las que los operadores de flotas deben buscar fuera de su marca preferida, incluso en tamaños comunes (Figura 14).

Figura 14

Investigación sobre TPMS

More efficient engine technology and tyres offer most savings potential

Fuel saving potential for trucks (incl. trailers) towards 2030 (compared to 2015)*



* >16 ton 4*2 tractive unit

** Total fuel saving potential is not equal to the sum (this depends)

Source: TNO, ING Research

Tomado de: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=22449>

Algunos operadores especializados en transporte y carga, por ejemplo, exigen mayores aumentos en la presión de los neumáticos para transportar carga (y al mismo tiempo compensan

la velocidad). Ciertos fabricantes de neumáticos pueden satisfacer esta demanda y proporcionar neumáticos que puedan satisfacer los requisitos de la carga.

Lo que falta es la tecnología que el operador necesita para observar estas increíbles presiones y temperaturas de los neumáticos. Si los neumáticos no están disponibles y se utilizan sustitutos, la capacidad de interactuar con el vehículo y obtener información sobre su estado (incluida la temperatura y presión de los neumáticos) se vuelve más importante para el operador.

El TPMS emplea sensores de presión montados dentro de los neumáticos o en los vástagos de las válvulas para medir la presión de los neumáticos directamente. Estos sensores transmiten datos de forma inalámbrica a la computadora de a bordo del vehículo, lo que activa una advertencia al conductor si la presión cae fuera del rango recomendado (Figura 15).

Figura 15

Lecturas de Presión del TPMS



Tomado de: <https://creamerytire.com/blog/what-is-a-tpms-light-on-car-and-how-does-it-work/>

El TPMS directo proporciona lecturas de presión más precisas, lo que garantiza un mantenimiento óptimo de los neumáticos y puede mostrar valores de presión de neumáticos

específicos, lo que permite a los conductores abordar los problemas de forma rápida y precisa. Su única desventaja es que tiene un costo inicial más alto y los sensores que funcionan con baterías pueden requerir un reemplazo periódico.

3.5 Metodología Aplicada

3.5.1 Métodos

La metodología aplicada en el proyecto "Determinación de la Influencia del Sistema de Monitoreo de Presión de Neumáticos en el Consumo de Combustible de un Vehículo M1 Usando un Dispositivo Azuga" incluye los siguientes pasos:

- **Definición del objetivo del estudio:** Establecer claramente el objetivo del proyecto, que en este caso es determinar cómo el sistema de monitoreo de presión de neumáticos (TPMS) afecta el consumo de combustible en un vehículo M1 (vehículos de pasajeros) utilizando un dispositivo Azuga.
- **Selección del diseño del estudio:** Decidir sobre el diseño del estudio, que puede incluir un enfoque experimental. En este caso se opta por un diseño experimental donde se comparan los resultados de consumo de combustible con y sin el sistema TPMS activado en el vehículo.
- **Selección del dispositivo de monitoreo:** Elegir el dispositivo Azuga para el monitoreo del consumo de combustible y la presión de los neumáticos en el vehículo M1.
- **Selección de vehículos y configuración:** Seleccionar el vehículo M1 que se utiliza en el estudio y configurarlos de manera uniforme, asegurando que esté en condiciones comparables antes de realizar las pruebas.
- **Activación del sistema TPMS:** Activar el sistema de monitoreo de presión de neumáticos en el vehículo de prueba de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

- **Recopilación de datos preliminares:** Realizar pruebas piloto para recopilar datos preliminares sobre el consumo de combustible y la presión de los neumáticos en condiciones controladas.
- **Implementación del estudio:** Llevar a cabo el estudio principal, donde se registran los datos de consumo de combustible y la presión de los neumáticos en los vehículos de prueba equipados con el sistema TPMS y luego sin el sistema TPMS durante un período determinado de tiempo y bajo condiciones de conducción específicas.
- **Análisis de datos:** Analizar los datos recopilados para determinar si hay diferencias significativas en el consumo de combustible entre los vehículos con y sin el sistema TPMS activado.
- **Interpretación de resultados:** Interpretar los resultados del análisis estadístico para determinar si el sistema TPMS tiene un impacto significativo en el consumo de combustible de los vehículos M1.
- **Elaboración de conclusiones:** Extraer conclusiones basadas en los resultados del estudio y discutir las implicaciones prácticas de los hallazgos. Esto puede incluir recomendaciones para el uso del sistema TPMS en vehículos M1 para mejorar la eficiencia del combustible.
- **Elaboración de informe:** Preparar un informe detallado que documente el proceso de investigación, los métodos utilizados, los resultados obtenidos y las conclusiones alcanzadas en el estudio.

3.5.2 Tipo de Estudio

El desarrollo de este proyecto implica adaptar una metodología según las especificaciones del proyecto y las necesidades particulares para realizar un análisis cuantitativo del Consumo de Combustible y se espera obtener datos cuantitativos que demuestren cómo el consumo de combustible del vehículo M1 se ve afectado por las

variaciones en la presión de los neumáticos cuando se utiliza el sistema de monitoreo de presión de neumáticos.

Se realiza una comparación de consumo de combustible: Se comparan los datos de consumo de combustible del vehículo M1 con y sin el sistema TPMS para evaluar la diferencia en la eficiencia del combustible.

3.5.3 Investigación Exploratoria

Este proyecto exploratorio proporciona una comprensión más profunda de cómo los sistemas de monitoreo de presión de neumáticos, TPMS, pueden contribuir a la eficiencia del combustible en los vehículos M1. Los resultados obtenidos pueden ser fundamentales para futuras investigaciones y para la implementación de tecnologías similares en vehículos comerciales.

3.5.4 Investigación de Campo

La investigación se lleva a cabo mediante pruebas experimentales en condiciones controladas, donde se podrá ver como la presión de neumáticos influye en el consumo de combustible de los vehículos tipo M1 equipados con el sistema de monitoreo de presión de neumáticos. Se registrarán y analizarán meticulosamente los datos de consumo de combustible en cada configuración de presión de neumáticos.

La información cuantitativa y cualitativa recopilada será analizada estadísticamente para llegar a conclusiones sólidas y proporcionar recomendaciones prácticas y basadas en evidencia.

3.5.5 Investigación Aplicada

La investigación aplicada en este proyecto combina la revisión de literatura con la recopilación y análisis de datos experimentales para evaluar la influencia del TPMS en el consumo de combustible de los vehículos M1.

3.6 Descripción del Proceso de Evaluación

Se analiza el efecto de usar el TPMS en un vehículo recorriendo una ruta especificada en un vehículo M1.

Las pruebas de campo se realizan en Guayaquil, que se encuentran costa del Océano Pacífico en la región litoral de Ecuador.

Las pruebas se realizan en un vehículo Cherry Arrizo 5, primeramente, con el TPMS activado y luego con el sistema desactivado, en una ruta seleccionada de la ciudad de Guayaquil y en distintos periodos de tiempo.

3.6.1 Lugar de las Pruebas

El estudio actual sigue un enfoque cuantitativo, correlacional y transversal. Se llevó a cabo en la ciudad de Guayaquil, ubicada en la provincia de Guayas, Ecuador (véase Figura 16). Guayaquil tiene una superficie de 347 km² y condiciones climáticas que oscilan entre los 26-30 °C, con vientos del noreste a una velocidad de 8-15 km/h y una humedad que se mantiene en un rango del 85-88% (durante diciembre de 2023 a enero de 2024, período en el cual se recopilaron los datos).

Figura 16

Lugar de las Pruebas



3.6.1 Vehículo Utilizado

El vehículo en cuestión es una Chery Arrizo 5 Pro, equipado con un motor 1.5L ACTECO-SQRE4G15B. Esta selección se basa en el hecho de que es un vehículo de las marcas provenientes de China que están entrando fuertemente en el mercado ecuatoriano, según los datos registrados por la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE). Las especificaciones detalladas de este vehículo se presentan en la Tabla 2 para su referencia.

Tabla 1

Datos del Vehículo Chery Arrizo

Dato	Especificación
• Marca	• Chery
• Modelo	• Arrizo 5 Pro
• Año	• 2023
• Cilindrada	• 1500 cm ³
• Potencia Máxima	• 114 hp @ 6150 rpm
• Combustible	• Gasolina
• Clase del vehículo	• M1-Automóvil
• Alimentación	• Aspirado Natural - DVVT
• Consumo urbano	• 7.9 L/100 Km
• Consumo autopista	• 6.2 L/100 Km
• Consumo medio	• 7.0 L/100 Km

3.6.2 Dispositivo de Medición Utilizado

El dispositivo Azuga es un sistema de gestión de flotas que presenta funcionalidades destinadas a mejorar la eficiencia del combustible y disminuir los gastos asociados. Una evaluación del análisis de consumo de combustible proporcionado por Azuga se basa en los siguientes hallazgos:

- **Utilización de técnicas de ahorro de combustible:** Azuga emplea tecnología de seguimiento GPS y análisis avanzado de datos para evaluar comportamientos de conducción como exceso de velocidad y frenado brusco, asignando puntuaciones de seguridad y eficiencia de combustible. Esto permite a los gestores de flotas identificar a los conductores con hábitos ineficientes de consumo de combustible y ofrecer capacitación específica para mejorar su eficiencia en este aspecto.
- **Generación de informes detallados:** Azuga genera informes exhaustivos sobre el consumo de combustible de los vehículos, incluyendo métricas como la economía de combustible. Estos informes proporcionan a los gestores de flotas una visión clara de los patrones de consumo de combustible y les ayudan a identificar áreas que requieren mejoras.
- **Integración de tarjetas de combustible:** Azuga facilita la integración de tarjetas de combustible, permitiendo a los gestores de flotas rastrear los gastos de combustible y supervisar el consumo en tiempo real. Esta integración ayuda a detectar discrepancias o anomalías en el consumo y permite un mejor control sobre los costos asociados al combustible.
- **Funcionalidad FuelSaver:** La función FuelSaver de Azuga proporciona a los conductores información sobre las estaciones de servicio más cercanas con precios de combustible más bajos. Esto ayuda a los conductores a tomar decisiones

informadas sobre dónde repostar, potencialmente generando ahorros en los costos de combustible.

- Alertas en tiempo real: Azuga emite alertas en tiempo real sobre niveles bajos de combustible y la ubicación de las estaciones de servicio más cercanas o económicas. Esto permite a los gestores de flotas tomar medidas inmediatas para asegurar que los vehículos se abastezcan de combustible de manera eficiente y en lugares más rentables.

En conjunto, el dispositivo Azuga ofrece una variedad de características y herramientas diseñadas para analizar y reducir efectivamente el consumo de combustible en la gestión de flotas. A través de informes detallados, alertas en tiempo real e integración con tarjetas de combustible, ayuda a los gestores de flotas a optimizar el uso de combustible y a reducir los costos asociados al mismo (Figura 17).

Figura 17

Dispositivo Azuga Conexión en un Vehículo



Tomado de: <https://www.pmmag.com/articles/97177-fleet-tracking-technology-enhances-driver-accuracy>

Azuga DriveSafe es parte de Azuga Safe, una solución integral que aborda los aspectos A, B, C y D de la seguridad de las flotas. Azuga Fleet rastrea la aceleración, el frenado y las

curvas cuando se usa con nuestro rastreador OBD, mientras que Azuga DriveSafe monitorea y previene la conducción distraída (Figura 18).

Figura 18

Dispositivo Telemático Azuga



Tomado de: <https://dlachile.cl/>

3.6.3 Rastreador Azuga - Especificaciones

AZUGA administra de manera muy sencilla toda información de la flota de vehículos, presentando 6 áreas:

- Tiempo Real
- Safetycam
- Rewards
- Panel De Control
- Informes
- Administración

La plataforma Azuga de vehículos conectados utiliza innovadoras funciones para brindar a los clientes la posibilidad de maximizar aún más los beneficios que ofrecen las

especificaciones de fábrica de sus vehículos. Simplemente conecte el dispositivo rastreador GPS Azuga al puerto OBDII de cada vehículo y capture de manera rápida y sencilla todos los datos relevantes de manera instantánea.

En el sistema Danlaw (Figura 19), el registrador de datos adquiere información del vehículo mediante el puerto OBD-II y se comunica con el Gateway para transferir los datos de forma segura a los sistemas de back-end.

Figura 19

Danlaw Dispositivos OBDII



Tomado de: <https://www.azuga.com/literature/fleet-elog>s

3.6.4 Elección de la Ruta

Para recolectar los datos, el vehículo de gasolina fue conducido a lo largo de rutas predefinidas tanto antes como después de activar el sistema de control de presión de neumáticos (TPMS). Se escogieron varios horarios que abarcaban condiciones de manejo, velocidades y cargas del vehículo consistentes, así como características específicas de las vías (como densidad del tráfico, número de semáforos y tipo de carretera) para llevar a cabo el experimento en el campo. Se realizaron cinco trayectos de ida y cinco de regreso. La figura 20 ilustra la ubicación de estos ensayos de campo a lo largo de la ruta seleccionada.

La ruta elegida brinda las siguientes ventajas para la realización de la investigación:

- Ruta de alto tráfico.
- Semáforos a lo largo del trayecto.
- La ruta cuenta con una variación de límites de velocidad en todo el trazado delimitado.
- La ruta cubre una gran distancia.

Figura 20

Ruta Seleccionada



Fuente: (Google Maps, 2023)

3.6.5 Registro de Datos

Este registro proporciona una documentación detallada de los datos recopilados, el procedimiento de la prueba, los resultados obtenidos y las conclusiones del proyecto sobre la influencia del sistema de monitoreo de presión de neumáticos en el consumo de combustible de un vehículo M1 utilizando un dispositivo Azuga.

Durante la fase de recopilación de datos, se emplea un dispositivo de registro a bordo que registra los datos de manera continua, con una frecuencia de un registro por segundo.

Este dispositivo, previamente instalado en el vehículo, captura datos instantáneos relacionados con la posición del GPS, la velocidad, los parámetros del motor y las condiciones operativas a lo largo de toda la prueba.

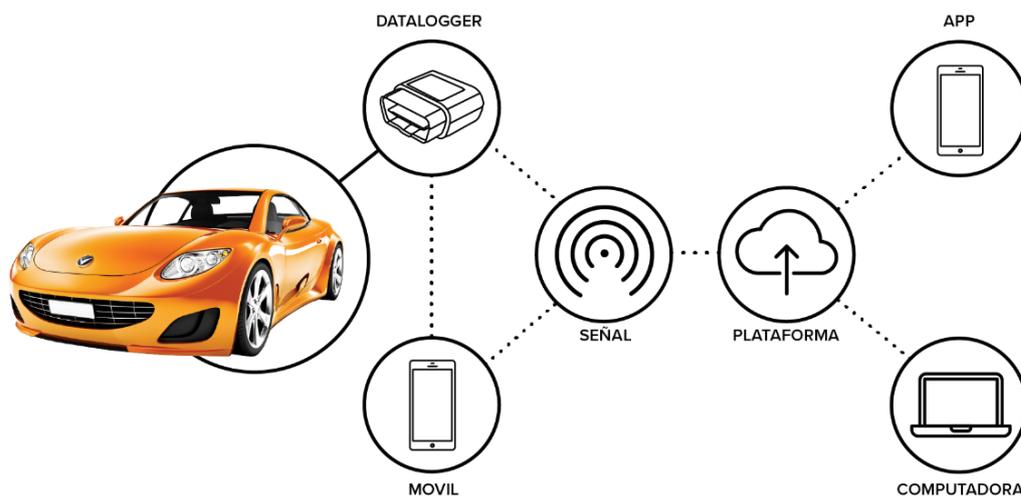
Su instalación se realiza de manera sencilla mediante la conexión al puerto de diagnóstico del vehículo. Posteriormente, los datos son transmitidos a un teléfono móvil y/o a una plataforma de Danlaw.

Para esta tarea, se emplea una aplicación móvil y/o la plataforma mencionada para recolectar los datos, los cuales son posteriormente descargados en una hoja de cálculo estándar.

Finalmente, estos datos son exportados a una computadora de laboratorio para su análisis ulterior (Figura 21).

Figura 21

Registro de Datos



Tomado de: <https://www.danlawinc.com/danlawlatam/>

Capítulo IV

Análisis del Consumo de Combustible en Función del Sistema de Monitoreo de Presión de los Neumáticos

4.1 Descripción

La gestión eficiente del consumo de combustible es un aspecto crucial en la industria automotriz, tanto desde la perspectiva económica como medioambiental. En este contexto, el sistema de monitoreo de presión de neumáticos (TPMS, por sus siglas en inglés) emerge como una tecnología innovadora que promete mejorar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones de carbono al optimizar el rendimiento de los neumáticos.

El objetivo de este estudio es explorar la influencia del sistema de TPMS en el consumo de combustible de vehículos automotores, centrándose en los efectos que tiene en la presión de los neumáticos y, por ende, en la eficiencia del vehículo. A través de la recopilación de datos, análisis comparativos y evaluación de resultados, se busca comprender cómo la implementación de este sistema impacta directamente en el consumo de combustible.

La introducción de este sistema revoluciona la manera en que se monitorea la presión de los neumáticos, al proporcionar información en tiempo real sobre su estado y alertar al conductor sobre cualquier anomalía. De esta forma, se espera que el TPMS no solo contribuya a mejorar la seguridad vial al prevenir accidentes relacionados con neumáticos desinflados, sino que también ayude a optimizar el rendimiento del vehículo y a reducir los costos operativos asociados con el consumo excesivo de combustible.

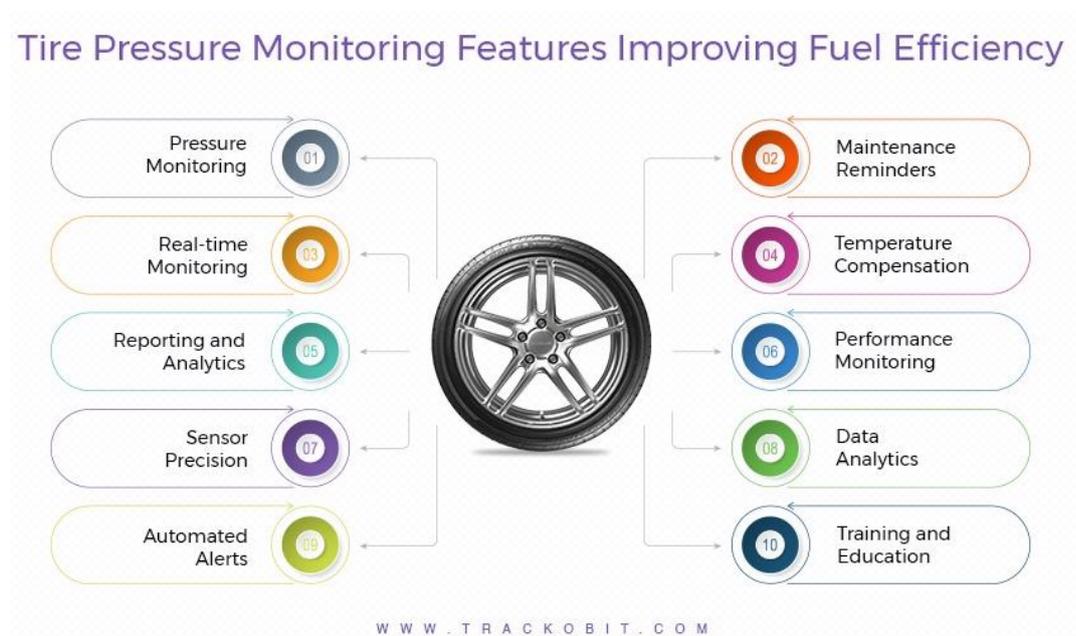
Además, este estudio pretende llenar un vacío en la literatura científica respecto a la influencia específica del TPMS en el consumo de combustible, proporcionando datos empíricos y análisis detallados que contribuyan a mejorar la comprensión de esta relación. Los resultados obtenidos tendrán implicaciones importantes para la industria automotriz, los

fabricantes de neumáticos, los consumidores y los organismos reguladores en términos de eficiencia energética y sostenibilidad ambiental.

El sistema TPMS genera análisis detallados sobre las tendencias de presión de los neumáticos, el uso de combustible y el ahorro de costos. Estos conocimientos le permiten monitorear la eficacia de sus métodos de ahorro de combustible, descubrir áreas de mejora y tomar decisiones basadas en datos para optimizar el consumo de recursos (Figura 22).

Figura 22

Reducción del Uso del Transporte



Tomado de: <https://trackobit.com/blog/tire-pressure-monitoring-systems-reduce-fuel-consumption/>

4.1.1 Monitoreo en Tiempo Real de la Presión del Neumático

El TPMS proporciona capacidades de monitoreo de vehículos en tiempo real, lo que le permite realizar un seguimiento de la presión de los neumáticos del vehículo. Debido a la rápida visibilidad, puede tomar medidas inmediatas si se observa alguna desviación de los niveles de PSI deseados (Figura 23).

La presión recomendada por el fabricante es de 2.0 bar.

Figura 23

Registro de la Presión de los Neumáticos



4.1.2 Comparación del Consumo de Combustible

Se evalúa la ruta para el estudio, teniendo en cuenta, estado de los neumáticos, condiciones ambientales, tráfico y el horario de las pruebas (inicio y finalización).

Es importante la selección de los horarios de circulación, porque proporcionan información acerca de los niveles de congestión y tráfico en la zona de la ciudad escogida.

Se seleccionan dos itinerarios, ambos ubicados en la ruta Norte-Sur-Norte de la ciudad con diferentes tramos de carretera y alineaciones, para certificar que exista una variación en las características de conducción y tráfico en la muestra.

Ambos itinerarios se caracterizan por contener variables en cuanto al estado del terreno (pendientes, tipo de vía) y conectaban la Ciudadela Metrópolis II (norte de la ciudad) con el Mall del Sur (sur de la ciudad).

El punto de referencia y como hecho de experimentación, se procede a tomar datos de forma empírica para tener una base de donde partir, se considera el consumo con el Savy Driver del vehículo en el tablero, para lo cual se procede a llenar el depósito de combustible del

vehículo y, luego, a colocar en el odómetro, el rendimiento por kilómetro ya que la ruta es de aproximadamente 50 km (ida y retorno).

Las pruebas se realizan tanto con el sistema conectado como el sistema desconectado.

Mediante estos datos es posible sacar de forma empírica el consumo de combustible del vehículo de pruebas (Figura 24).

Figura 24

Verificación del Consumo de Combustible



Tomado de: <https://www.rutamotor.com/chery-arrizo5-1-5-5mt-115-hp-2016-rompiendo-moldes/>

4.1.3 Condiciones del Vehículo de Prueba

Para la planificación de las rutas, se consideraron ciertas recomendaciones, siendo las principales las siguientes:

- Observar los límites de velocidad establecidos en áreas urbanas a 50 km/h y en zonas periféricas a 90 km/h;
- Verificar la tensión de la batería.
- Comprobar los indicadores del tablero.
- Utilizar el cinturón de seguridad.
- Inspeccionar el funcionamiento de las luces del vehículo.

- Controlar la presión y el estado de los neumáticos.
- Revisar el nivel de refrigerante y líquido de frenos.
- Evitar frenadas y aceleraciones bruscas.
- Conducir utilizando la marcha más alta posible.
- Mantener un control de la carretera y anticipar las maniobras considerando las condiciones del entorno.

4.1.4 Preparación del Vehículo para las Pruebas

Las condiciones del vehículo deben ser óptimas para realizar las pruebas tanto con los neumáticos usados como con los neumáticos nuevos.

Las pruebas preliminares familiarizan con los equipos con los que se va a trabajar.

El vehículo utilizado en la presente investigación cuenta con un panel de instrumentos muy dinámico, el cual proporciona los datos de consumo de combustible en función de su modo de manejo, y a la vez permite determinar fácilmente la capacidad del tanque de combustible que este caso es de aproximadamente 48 litros.

Una vez que se conoce este parámetro se procede a repostar el tanque de combustible y se efectúan las pruebas en la ruta seleccionada (Metrópolis II-Mall del Sur-Metrópolis) siguiendo las condiciones previamente definidas.

4.1.5 Formato General

- Se han seleccionado 1 vehículo de gasolina de tipo automóvil, año 2023.
- El vehículo tiene equipado los neumáticos tipo 205/55HR16.
- Vehículos no presentan defectos en la parte mecánica ni electrónica.
- Se dispone de las mismas condiciones para realizar las pruebas con el sistema activado y le sistema desactivado.
- Los vehículos son conducidos por el mismo conductor y bajo condiciones definidas para reflejar la conducción real en las distintas pruebas (No sea un factor de error).

- Las pruebas se realizan bajo condiciones de tráfico normal, para lo cual se seleccionan horarios variados para verificar la influencia del resto de vehículos en circulación.
- Para este trabajo sólo se consideran los vehículos de gasolina por ser “per se” el tipo de vehículo a usarse en las pruebas (Figura 25).

Figura 25

Vehículo para Pruebas



Tomado de: <https://www.chery.com.ec/arrizo-5-pro>

Los neumáticos usados son los que muestran en la Figura 26.

Figura 26

Neumáticos del Vehículo para Pruebas



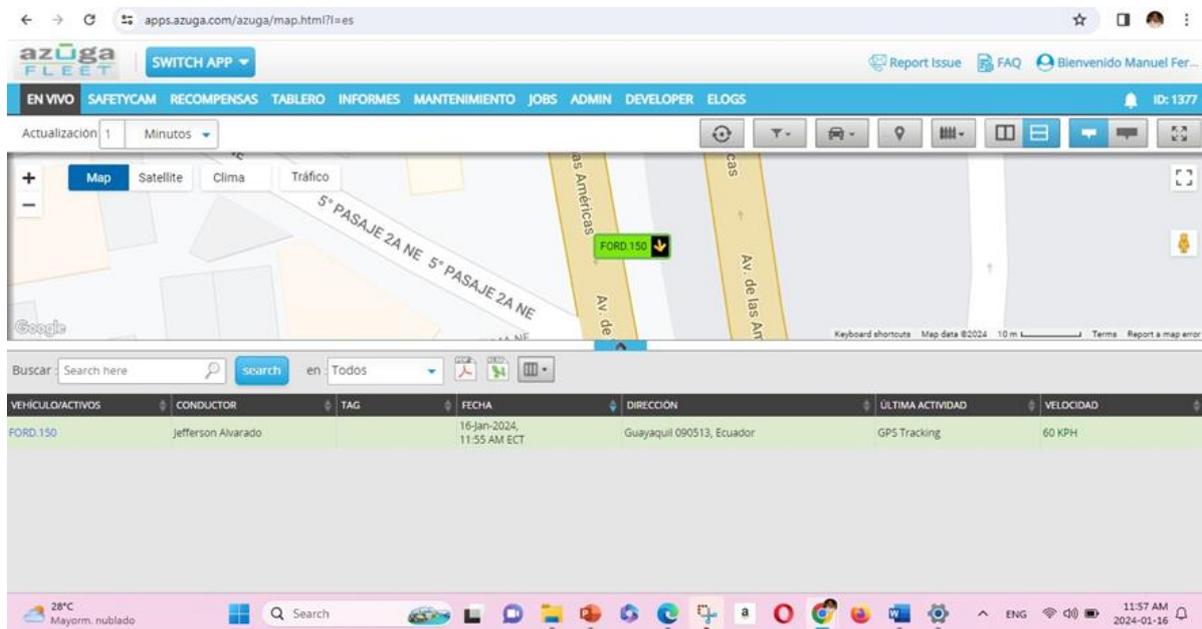
4.1.6 Obtención de Datos

- El propósito no es obtener mediciones exactas del consumo de combustible para los vehículos con MCI.
- Durante la etapa de análisis, se desechan las pruebas que exhiben anomalías o variables inesperadas que podrían influir en los resultados.
- Cada sesión de prueba tiene una duración aproximada de 2 horas.
- Los datos registrados de cada trayecto (Figura 27) se guardan en línea en la cuenta asociada al dispositivo Azuga utilizado.
- Los datos recopilados en tiempo real durante los trayectos (Figura 28) se capturan a través del dispositivo Azuga conectado al puerto OBDII del vehículo y pueden ser observados en tiempo real mediante el portal de acceso utilizando las credenciales proporcionadas por los proveedores de los equipos y dispositivos de medición (DLA Latin America).

Figura 27

Informe de Viajes - Plataforma de Danlaw

FECHA	VEHÍCULO / ACTIVO	VINLIST	MAPA	VIAJE DE LA ETIQUETA	CONDUCTOR	LOS OCUPANTES	ENCENDIDO CONE...	PARTIR
16-Jan-2024	FORD 150	LVVDC11BXR001800			Jefferson Alvarado		16-Jan-2024 09:35 AM -05	
16-Jan-2024	Chery Arizo	LVVDC11BXR001800			Jefferson Alvarado		16-Jan-2024 10:51 AM -05	Guayaq
27-Jan-2024	Chery Arizo	LVVDC11BXR001800			Jefferson Alvarado		27-Jan-2024 01:43 PM -05	

Figura 28*Informe de Rutas*

- Los valores se registran de manera continua (eventos) en la plataforma de Azuga.
- Para recopilar esta información y permitir descargar los datos en una hoja de cálculo estándar, que luego se exporta a una computadora de laboratorio.
- Conectar el equipo es muy sencillo, solo se debe insertar en el puerto de diagnóstico del vehículo (OBDII) y al hacerlo, en el panel del equipo se observa que se enciende unas luces LED de varios colores por unos segundos y luego se apagan, esto quiere decir que el equipo se está configurando; posteriormente quedará una luz verde parpadeante en el dispositivo, esta luz deja de parpadear en dos minutos, esto quiere decir que el equipo ya está comunicado con el automóvil.

4.1.7 Procedimiento

Después de recopilar todos los datos, se emplea un modelo de análisis estadístico para estimar el consumo de combustible instantáneo del vehículo durante las pruebas.

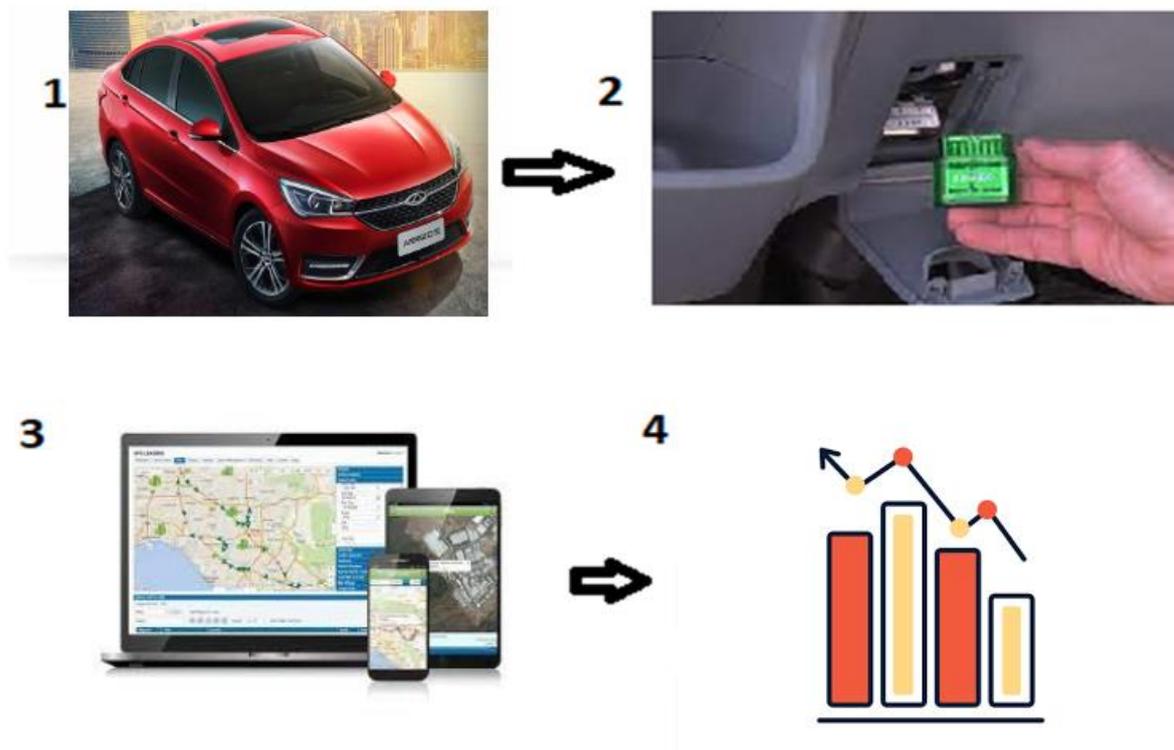
Posteriormente, se procede a procesar los datos y calcular los valores estadísticos pertinentes. Previo al procesamiento de los datos, se aplican una serie de filtros para identificar

posibles datos incorrectos, los cuales podrían ser causados por desviaciones no planificadas en las rutas o por fallas en el funcionamiento del GPS.

Una vez completado este proceso, los resultados se tabulan y se presentan gráficamente para facilitar su comprensión (Figura 29).

Figura 29

Almacenamiento de Datos



- Se inspeccionan las condiciones iniciales del vehículo.
- Se registra el consumo de combustible instantáneo en litros por kilómetro en la plataforma.
- Se preparan todos los equipos y se establece la ruta a seguir.
- Se definen los parámetros de conducción para la prueba.

- Se emplean dos tipos de neumáticos para llevar a cabo un análisis comparativo, uno con el sistema de monitoreo de presión de neumáticos (TPMS) activado y otro sin activar.
- Se sigue el método conocido como conducción Ecodriving, que representa los hábitos típicos de conducción del conductor y se sigue el manual de conducción elaborado por el Ing. Walter Granda.
- Posteriormente, se realizan pruebas sin activar el sistema TPMS.
- Se utiliza el software Azuga para la captura de datos en la ruta.
- Se lleva a cabo un registro y monitoreo constante de los parámetros a evaluar.

4.2 Resultado de las Pruebas

Se muestran los resultados del consumo de combustible para los diferentes recorridos en las rutas seleccionadas.

La evaluación de los impactos de uso adecuado del sistema TPMS se centra en las diferencias en el consumo de combustible de combustible entre el periodo 2 (con sistema desactivado) y el periodo 1 (con sistema activado).

Cabe destacar que el objetivo de esta investigación era obtener valores exactos de consumo, para comparar la eficiencia de consumo en función del TPMS en una ruta seleccionada para un tipo específico de vehículo en la ciudad de Guayaquil.

Se verifica que el factor del estado de los neumáticos es una parte influyente, por lo que los niveles de reducción de consumo se encuentran entre un 2 y 3 %.

4.2.1 Presentación de Resultados

Luego de realizar las pruebas se obtienen los datos proporcionados por el receptor, los cuales se obtiene en la base de datos guardados en la nube de la plataforma. Estos se presentan en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2*Resultados Obtenidos Ruta de Ida – TPMS Activo*

Datos Trayecto "Ida"	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Tiempo de prueba (min)	30	31	30.3	30.3	31
Consumo de combustible (litros)	1.79	1.84	1.84	1.91	1.79
Temperatura promedio (°C)	29.9	29.7	30.5	30.4	30.2
Velocidad promedio (km/h)	42.21	40.1	41.7	42.1	40.8
Distancia recorrida Vehículo (km)	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2
Promedio de l/100 km (Vehículo)	7.4	7.6	7.6	7.9	7.4
Presión de los neumáticos (bar/PSI)	2.3/33.4	2.3/33.4	2.3/33.4	2.3/33.4	2.3/33.4

Tabla 3*Resultados Obtenidos Ruta de Regreso – TPMS Activo*

Datos Trayecto "Retorno"	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Tiempo de prueba (min)	34	34	34	34	33
Consumo de combustible (litros)	1.55	1.51	1.6	1.54	1.51
Temperatura promedio (°C)	29.8	28.7	29.6	29.9	30.1
Velocidad promedio (km/h)	40.0	40.4	39.7	39.1	40.1
Distancia recorrida Vehículo (km)	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
Promedio de l/100 km (Vehículo)	7.7	7.5	7.5	7.64	7.7
Presión de los neumáticos (bar/PSI)	2.3/33.4	2.3/33.4	2.3/33.4	2.3/33.4	2.3/33.4

Una vez finalizadas las pruebas con neumáticos que poseía la camioneta (neumáticos usados), se necesita obtener datos con los neumáticos nuevos, para poder determinar la cantidad de combustible ahorrado y se obtienen los datos mostrados en las Tablas 4 y 5.

Para lo cual se realizan las siguientes pruebas en los mismos horarios, bajo las mismas condiciones climatológicas y siguiendo el protocolo de pruebas de conducción Ecodriving.

Tabla 4

Resultados Obtenidos Ruta de Ida – TPMS no Activo

Datos Trayecto "Ida"	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Tiempo de prueba (min)	34	34	34	34	33
Consumo de combustible (litros)	1.86	1.94	1.88	1.92	1.84
Temperatura promedio (°C)	28.8	29.7	28.6	28.9	30
Velocidad promedio (km/h)	41.0	39.4	40.7	40.1	40.9
Distancia recorrida Vehículo (km)	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
Promedio de l/100 km (Vehículo)	7.6	7.8	7.73	7.65	7.52
Presión de los neumáticos (bar/PSI)	2.1/30.4	2.1/30.4	2.1/30.4	2.1/30.4	2.1/30.4

Tabla 5

Resultados Obtenidos Ruta de Regreso – TPMS no Activo

Datos Trayecto "Retorno"	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Tiempo de prueba (min)	32	32	32	33	33
Consumo de combustible (litros)	1.57	1.59	1.65	1.56	1.58
Temperatura promedio (°C)	29	28.7	28.7	28.9	29.5
Velocidad promedio (km/h)	42.0	40.4	41.2	41.3	40.5
Distancia recorrida Vehículo (km)	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
Promedio de l/100 km (Vehículo)	7.8	7.9	8.2	7.75	7.85
Presión de los neumáticos (bar/PSI)	2.1/30.4	2.1/30.4	2.1/30.4	2.1/30.4	2.1/30.4

4.2 Análisis de los Resultados

Se ajustaron los turnos de conducción para cubrir las horas pico según los registros de movilidad de Guayaquil.

Se eligieron los tres horarios diferentes para realizar las pruebas: Durante la mañana (7h30–11h30), al mediodía (12h00–16h00) y durante la tarde (16h30–20:30).

Las primeras pruebas se llevaron a cabo en diciembre de 2023, mientras que las segundas se realizaron en enero de 2024.

Los resultados obtenidos se presentan en las Figuras 30 y 31.

En ambas direcciones del trayecto, se observa una reducción en el consumo de combustible cuando se activa el TPMS.

Se registró un mínimo de 1,79 litros en el viaje de Metrópolis II al Mall del Sur y de 1,51 litros en el trayecto de regreso del Mall del Sur a Metrópolis II. Estos valores se alcanzaron en el quinto día de pruebas y en el segundo día de pruebas, respectivamente.

Los resultados indican que el uso del TPMS conlleva un ahorro en el consumo de combustible.

Figura 30

Análisis Comparativo - Ruta de Ida

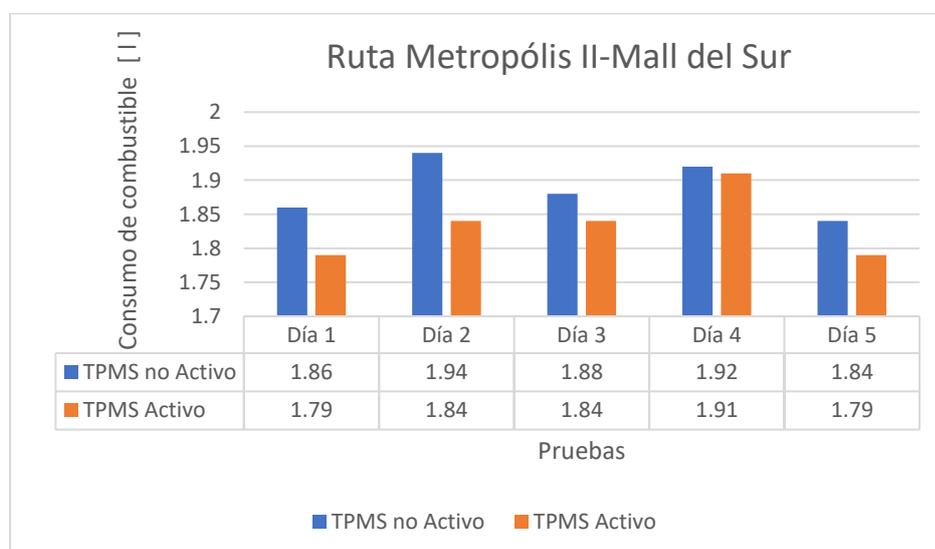
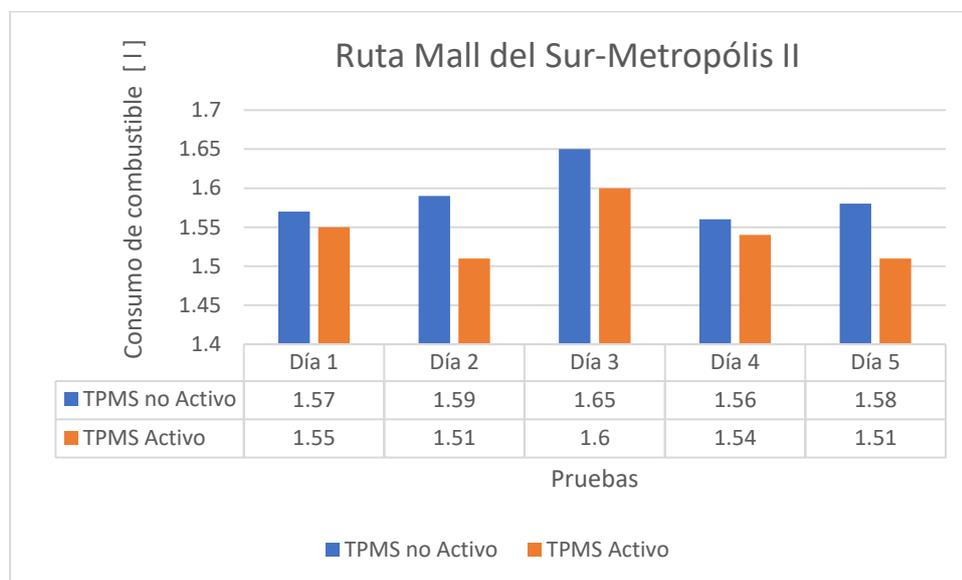


Figura 31*Análisis Comparativo - Ruta de Retorno*

La evaluación de campo en distintos tramos de la ruta seleccionada revela diversos resultados en cuanto al ahorro de combustible en relación con la activación del TPMS.

Los mayores niveles de economía de combustible se observaron en la ruta de Ida de Metrópolis II al Mall del Sur durante el segundo día de pruebas, alcanzando un 5,15%.

Se detecta una discrepancia entre los resultados obtenidos con el TPMS activado y desactivado a lo largo de las rutas de prueba, lo que sugiere que factores como los límites de velocidad, la aceleración, entre otros, no solo inciden en el consumo de combustible, sino también en los potenciales ahorros que podrían lograrse mediante el uso de sistemas como el TPMS.

Los porcentajes de ahorro de combustible en la ruta de ida oscilan aproximadamente entre un 0,52% y un 5,15% (Figura 32), mientras que en la ruta de retorno la reducción en el consumo de combustible varía entre un 1,28% y un 5,03% aproximadamente (Figura 33).

Figura 32

Porcentaje de Reducción del Consumo - Ruta de Ida

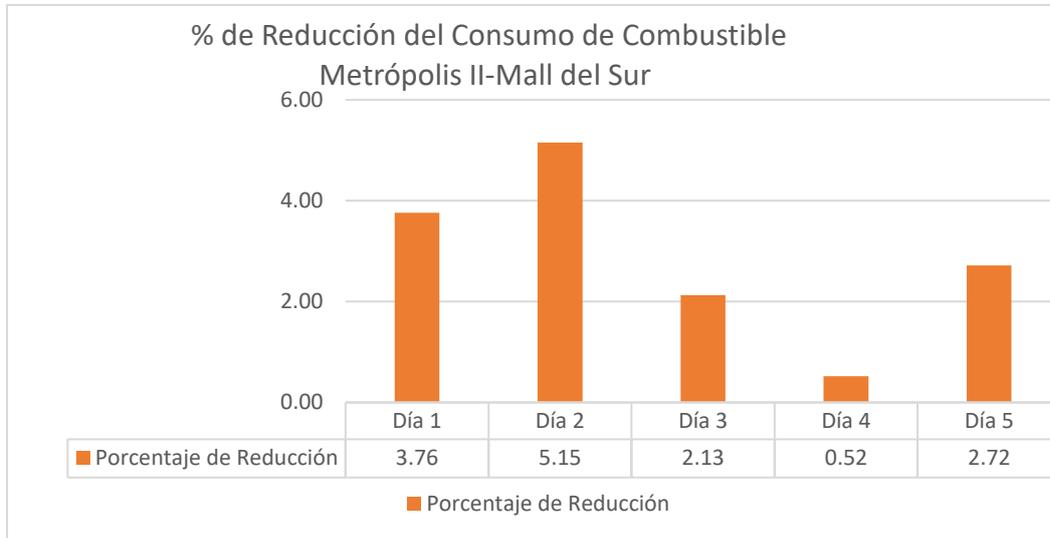
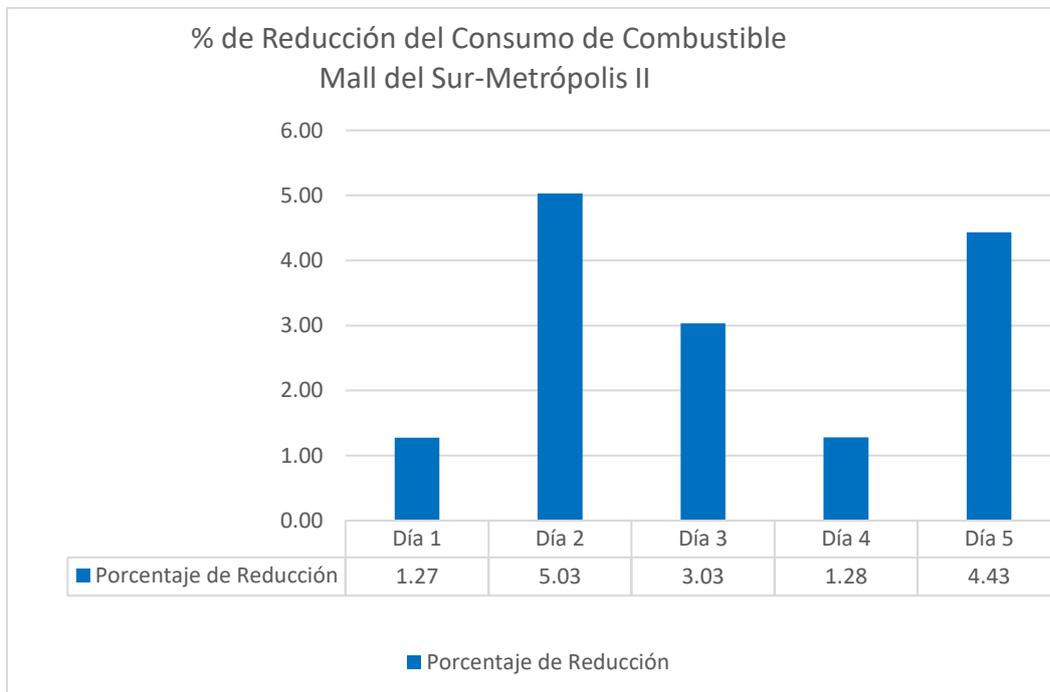


Figura 33

Porcentaje de Reducción del Consumo – Ruta de Retorno



Conclusiones

La configuración exitosa del dispositivo Azuga en el vehículo M1 y su correcto funcionamiento para el monitoreo continuo del consumo de combustible brindan una herramienta valiosa para optimizar el rendimiento del vehículo, mejorar la gestión de flotas y reducir los costos operativos relacionados con el consumo de combustible y se obtienen los porcentajes de ahorro de combustible en la ruta de ida oscilan aproximadamente entre un 0,52% y un 5,15%, mientras que en la ruta de retorno la reducción en el consumo de combustible varía entre un 1,28% y un 5,03% aproximadamente.

La recopilación de datos detallados sobre el consumo de combustible del vehículo M1 ha proporcionado información valiosa para comprender y mejorar su eficiencia en el uso de combustible. Esto constituye un paso importante hacia la optimización del rendimiento del vehículo y la reducción de los costos asociados con el consumo de combustible.

Se observa que cambios en la presión de los neumáticos tienen un impacto directo en el consumo de combustible del vehículo. Por ejemplo, neumáticos con una presión baja pueden aumentar la resistencia a la rodadura, lo que resulta en un mayor consumo de combustible. Por eso es importante mantener la presión adecuada, los resultados del análisis resaltan la importancia de mantener la presión de los neumáticos dentro de los niveles recomendados por el fabricante. Esto no solo contribuye a mejorar la eficiencia del combustible, sino que también ayuda a prolongar la vida útil de los neumáticos y a garantizar la seguridad en la conducción.

Recomendaciones

Los hallazgos de la investigación podrían contribuir a sensibilizar a los consumidores sobre la importancia de seleccionar neumáticos apropiados y mantener una presión adecuada, lo que puede resultar en una reducción del impacto ambiental y en ahorros significativos en combustible a largo plazo.

En caso de que el vehículo no posea un TPMS original de fábrica, se puede montar un sensor universal para el control de la presión de los neumáticos montarse en casi todos los neumáticos originales y opcionales. En caso necesario, los sensores también pueden sustituirse individualmente y combinarse con otros sensores originales.

Es importante realizar un análisis completo de los datos recolectados para determinar cualquier relación entre el sistema de monitoreo de presión de neumáticos y el consumo de combustible, y discutir las implicaciones de estos hallazgos.

Se sugiere la realización de estudios adicionales para evaluar otros factores que podrían influir en la eficacia de los sistemas de monitoreo de presión de neumáticos, como el comportamiento del conductor y las condiciones de la carretera.

Bibliografía

- Alvarado Pillajo, J. O. (2023). Análisis de la Influencia del Tipo de Neumático en el Consumo de Combustible Usando un Dispositivo Azuga.
- Abdul Wahab, M. H. M., Abdul Rahim, R., Shaib, A., Fadzli, M., Ishak, M. H. I., Mohamed Ali, M. S., ... & Tee, K. S. (2022). Tire pressure monitoring system.
- Druța, P. F., Gozman-Pop, C., Simoiu, D., Crâștiu, I., & Bereteu, L. (2021). The Analysis of the Dynamic Behavior of a Tire Pressure Sensor. In *New Advances in Mechanisms, Mechanical Transmissions and Robotics: MTM & Robotics 2020 2* (pp. 496-503). Springer International Publishing.
- Fonseca Vallejo, C. (2023). Instalación del sistema de control de presión de neumáticos TPMS en una maqueta didáctica aplicada a los estudiantes de cuarto semestre, en la carrera de pedagogía técnica de la mecatrónica 2023-2023 (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Garcés Jiménez, V. D., & Chiquito Bastidas, K. A. (2023). Análisis de los parámetros relevantes que inciden en el consumo de combustible en la ciudad de Quito, Ecuador mediante la aplicación de la metodología del ciclo de emisiones reales (Bachelor's thesis).
- Pillai, P. S. (2004). Effect of tyre overload and inflation pressure on rolling loss (resistance) and fuel consumption of automobile and truck/bus tyres.
- Szczucka-Lasota, B., Kamińska, J., & Krzyżewska, I. (2019). Influence of tire pressure on fuel consumption in trucks with installed tire pressure monitoring system (TPMS). *Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska*, (103), 167-181.
- Vinicio, N. M. M., Alexandra, J. M. D., Mero, C. M. L., & Barrezueta, M. F. G. (2023). Estimación del consumo de combustible en un vehículo Ford Explorer aplicando la técnica Ecodriving en la ciudad de Guayaquil. *South Florida Journal of Development*, 4(1), 520-535.

- Xin, Q., Jingfeng, G., Junjie, G., Mingxing, Y., & Pian, Z. (2019, October). Automobile tire pressure monitoring technology and development trend. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1314, No. 1, p. 012100). IOP Publishing.
- Zhang, Y. T., Claudel, C. G., Hu, M. B., Yu, Y. H., & Shi, C. L. (2020). Develop of a fuel consumption model for hybrid vehicles. *Energy Conversion and Management*, 207, 112546.
- Zhao, D., Li, H., Hou, J., Gong, P., Zhong, Y., He, W., & Fu, Z. (2023). A Review of the Data-Driven Prediction Method of Vehicle Fuel Consumption. *Energies*, 16(14), 5258.

