



INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Automotriz

Autor: Alvarado Pillajo Jefferson Osmani

Tutor: Ing. Fernando Gómez Berrezueta

Análisis de la Influencia del Tipo de Neumático en el Consumo de Combustible Usando un Dispositivo Azuga

Certificado de Autoría

Yo, Alvarado Pillajo Jefferson Osmani, 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.

Alvarado Pillajo Jefferson Osmani

C.I.: 0750834764

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

Dedico este proyecto de titulación a todos aquellos que me brindaron su apoyo incondicional a lo largo de esta travesía académica. A mi familia, por su amor, paciencia y constante estímulo, que me motivaron a superar obstáculos y alcanzar mis metas. A mis profesores y mentores, cuya sabiduría y guía fueron fundamentales para mi crecimiento intelectual y profesional.

Jefferson Alvarado

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa en la realización y culminación de este proyecto de titulación. Este logro no habría sido posible sin el apoyo, orientación y colaboración de diversas personas y entidades que generosamente compartieron su conocimiento y tiempo. En primer lugar, deseo agradecer a mi asesor Fernando Gómez Berrezueta por su orientación experta y constante a lo largo de este proyecto. Sus consejos, retroalimentación y dedicación fueron fundamentales para dar forma y dirección a mi investigación. Agradezco a mis profesores y profesoras por impartirme una educación sólida y brindarme las herramientas necesarias para abordar este proyecto de manera eficiente. Sus enseñanzas han sido invaluableles y han contribuido enormemente a mi crecimiento académico y profesional.

Jefferson Alvarado

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.....	4
1.2.3 Sistematización del Problema.....	4
1.3 Objetivos de la Investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación.....	5
1.4.1 Justificación Teórica.....	5
1.4.2 Justificación Metodológica.....	5
1.4.3 Justificación Práctica.....	6
1.4.4 Delimitación Temporal.....	7

	viii
1.4.5 <i>Delimitación Geográfica</i>	7
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>	10
2.1.2 <i>Resistencia a la Rodadura y Consumo de Combustible</i>	10
2.1.3 <i>Aumento Constante en el Consumo de Combustible de los Vehículos</i>	11
2.1.4 <i>Influencia del Neumático en el Consumo de Combustible de los Vehículos de Pasajeros</i> <i>11</i>	
2.1.5 <i>Neumáticos y Economía de Combustible</i>	13
2.2 Marco Conceptual.....	15
2.2.2 <i>Neumático</i>	16
2.2.3 <i>Resistencia a la Rodadura</i>	16
2.2.4 <i>Presión de los Neumáticos</i>	17
2.2.5 <i>Vehículos M1</i>	18
2.2.6 <i>Dispositivo Azuga</i>	18
2.2.7 <i>Tipos de Neumáticos</i>	18
2.2.8 <i>Propiedades de los Neumáticos</i>	19
2.2.9 <i>Tecnologías para la Disminución del Consumo</i>	19
2.2.10 <i>Desgaste de Neumáticos</i>	21
2.2.11 <i>Economía de Combustible</i>	24
2.2.12 <i>Condiciones de la Carretera</i>	24
Capítulo III.....	25
Influencia de los Neumáticos en el Consumo de Combustible.....	25

3.1	Factores de Influencia del Neumático en el Consumo de Combustible	25
3.2	Interacción entre los Neumáticos y la Superficie de la Carretera	28
3.3	Inflado de Neumáticos	30
3.4	Desgaste al Rendimiento de los Neumáticos	32
3.5	Metodología Aplicada.....	34
3.5.1	<i>Métodos</i>	34
3.5.2	<i>Tipo de Estudio</i>	35
3.5.3	<i>Investigación Exploratoria</i>	35
3.5.4	<i>Investigación de Campo</i>	35
3.5.5	<i>Investigación Aplicada</i>	36
3.6	Descripción del Proceso de Evaluación.....	36
3.6.1	<i>Lugar de las Pruebas</i>	36
3.6.1	<i>Vehículo Utilizado</i>	37
3.6.2	<i>Dispositivo de Medición Utilizado</i>	38
3.6.3	<i>Especificaciones del Rastreador Azuga</i>	41
	Características Físicas	42
3.6.4	<i>Escogimiento de Ruta</i>	43
3.6.5	<i>Obtención de los Datos</i>	44
	Capítulo IV.....	45
	Análisis de Impacto de los Neumáticos en el Consumo de Combustible.....	45
4.1	Descripción	45
4.1.1	<i>Cuantificación de los Impactos del Desgaste del Neumático</i>	46
4.1.2	<i>Comparación del Consumo de Combustible</i>	47
4.1.3	<i>Condiciones del Vehículo de Prueba</i>	48
4.1.4	<i>Preparación del Vehículo para las Pruebas</i>	49

	x
4.1.5 <i>Formato General</i>	49
4.1.6 <i>Obtención de Datos</i>	50
4.1.7 <i>Procedimiento</i>	53
4.2 Resultado de las Pruebas.....	53
4.2.1 <i>Presentación de Resultados</i>	54
4.2 Análisis de los Resultados	56
Conclusiones	61
Recomendaciones	63
Bibliografía	64

Índice de Figuras

Figura 1 Contribución al Consumo de Combustible.....	2
Figura 2 <i>Resistencia a la Rodadura</i>	3
Figura 3 <i>Flujos de Energía de Ejemplo para un Automóvil de Pasajeros</i>	13
Figura 4 Consumo de Combustible según el Tipo de Neumático.....	14
Figura 5 <i>Consumo de Combustible</i>	15
Figura 6 <i>Resistencia a la Rodadura</i>	17
Figura 7 <i>Vehículo M1</i>	18
Figura 8 <i>Desgaste de Neumáticos</i>	23
Figura 9 <i>Neumático vs Consumo de Combustible</i>	26
Figura 10 <i>Economía de Combustible por Velocidad para un Toyota Corolla</i>	27
Figura 11 <i>Resistencia a la Rodadura y su Influencia en el Consumo de Combustible</i>	28
Figura 12 <i>Distribución Asimétrica del Diagrama de Presiones bajo la Rueda Girando</i>	30
Figura 13 <i>Presión de Inflado del Neumático vs Consumo de Combustible</i>	31
Figura 14 <i>Presión de Inflado del Neumático vs Vida Útil del Neumático</i>	32
Figura 15 <i>Medición la Profundidad de la Banda de Rodadura</i>	33
Figura 16 <i>Lugar de las Pruebas</i>	37
Figura 17 <i>Dispositivo Azuga Conexión en un Vehículo</i>	40
Figura 18 <i>Dispositivo Telemático Azuga</i>	41
Figura 19 <i>Danlaw Dispositivos OBDII</i>	42
Figura 20 <i>Ruta Seleccionada</i>	43
Figura 21 <i>Registro de Datos</i>	44
Figura 22 <i>Reducción del Uso del Transporte</i>	45
Figura 23 <i>Variación del Coeficiente de Resistencia a la Rodadura con el Desgaste</i>	46
Figura 24 <i>Verificación del Consumo de Combustible</i>	48
Figura 25 <i>Vehículo para Pruebas</i>	50

Figura 26 <i>Informe de Viajes - Plataforma de Danlaw</i>	51
Figura 27 <i>Informe de Rutas</i>	51
Figura 28 <i>Almacenamiento de Datos</i>	52
Figura 29 <i>Proceso para Análisis de Datos</i>	52
Figura 30 <i>Análisis Comparativo - Ruta de Ida</i>	57
Figura 31 <i>Análisis Comparativo - Ruta de Retorno</i>	57
Figura 32 <i>Porcentaje de Reducción del Consumo - Ruta de Ida</i>	58
Figura 33 <i>Porcentaje de Reducción del Consumo – Ruta de Retorno</i>	59

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Estudios sobre Economía de Combustible vs Presión de los Neumáticos</i>	29
Tabla 2 <i>Datos del Vehículo Ford F-150</i>	38
Tabla 3 <i>Características del Dispositivo Azuga</i>	42
Tabla 4 <i>Resultados Obtenidos Ruta de Ida - Neumáticos Usados</i>	54
Tabla 5 <i>Resultados Obtenidos Ruta de Regreso - Neumáticos Usados</i>	54
Tabla 6 <i>Resultados Obtenidos Ruta de Ida - Neumáticos Nuevos</i>	55
Tabla 7 <i>Resultados Obtenidos Ruta de Regreso - Neumáticos Nuevos</i>	55
Tabla 8 <i>Resultados Obtenidos con los Dos Tipos de Neumáticos</i>	59

Resumen

El proyecto "Análisis de la Influencia del Tipo de Neumático en el Consumo de Combustible usando un Dispositivo Azuga" tiene como objetivo principal investigar cómo diferentes tipos de neumáticos pueden afectar el consumo de combustible en vehículos, utilizando un dispositivo de monitoreo de flotas llamado Azuga. El estudio se enfoca en evaluar y comparar el consumo de combustible de un vehículo Ford F-150 equipado con neumáticos nuevos y usados. Para llevar a cabo el análisis, se emplea el dispositivo Azuga, que proporciona datos en tiempo real sobre el rendimiento y la eficiencia de los vehículos, incluyendo información sobre el consumo de combustible, la velocidad, la aceleración y otros parámetros relevantes. Se recopilan datos del vehículo y la ruta previamente establecida en la ciudad de Guayaquil, y se comparan los resultados para identificar posibles patrones y tendencias. Se inicia con la selección del vehículo, luego se realiza la instalación y configuración del dispositivo Azuga, posteriormente se recopila los datos del vehículo cuando recorren rutas habituales mientras el dispositivo Azuga registra información sobre el consumo de combustible y otros parámetros y los datos recopilados se analizan para identificar cualquier correlación entre el tipo de neumático utilizado y el consumo de combustible. Al final se presentan los resultados del análisis comparativo y se elaboran conclusiones sobre la influencia del tipo de neumático en el consumo de combustible. Se discuten posibles recomendaciones para la elección de neumáticos en función de la eficiencia en el consumo de combustible. Este proyecto es relevante ya que el consumo de combustible es un factor significativo en la operación de flotas de vehículos, y la elección adecuada de neumáticos puede tener un impacto considerable en la eficiencia operativa y en la reducción de costos. Además, la utilización de tecnología de monitoreo como el dispositivo Azuga permite obtener datos precisos y en tiempo real para respaldar el análisis y las decisiones informadas.

Palabras Clave: Consumo de combustible, dispositivo Azuga, neumáticos, monitoreo.

Abstract

The main objective of the project "Analysis of the Influence of Tire Type on Fuel Consumption using an Azuga Device" is to investigate how different types of tires can affect fuel consumption in vehicles, using a fleet monitoring device called Azuga. The study focuses on evaluating and comparing the fuel consumption of a Ford F-150 vehicle equipped with new and used tires. To carry out the analysis, the Azuga device is used, which provides real-time data on the performance and efficiency of vehicles, including information on fuel consumption, speed, acceleration, and other relevant parameters. Data from the vehicle and the previously established route in the city of Guayaquil are collected, and the results are compared to identify possible patterns and trends. Starting with the selection of the vehicle, the installation and configuration of the Azuga device is carried out, then the vehicle data is collected when traveling common routes while the Azuga device records information on fuel consumption and other parameters. The collected data is analyzed to identify any correlation between the type of tire used and fuel consumption. Finally, the results of the comparative analysis are presented, and conclusions are drawn about the influence of the type of tire on fuel consumption. Possible recommendations for choosing tires based on fuel consumption efficiency are discussed. This project is relevant since fuel consumption is a significant factor in the operation of vehicle fleets, and the appropriate choice of tires can have a considerable impact on operational efficiency and cost reduction. Additionally, utilizing monitoring technology such as the Azuga device enables accurate, real-time data to support analysis and informed decisions.

Keywords: Fuel consumption, Azuga device, tires, monitoring.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema de Investigación

Análisis de la influencia del tipo de neumático en el consumo de combustible usando un dispositivo Azuga.

1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

El consumo de combustible es un tema importante no solo desde la perspectiva de los costos de operación de un automóvil, sino también del impacto en el medio ambiente. Merece la pena saber cuál es el consumo medio de un coche, cómo calcularlo y cómo mejorarlo. La cantidad de combustible quemado cada 100 kilómetros dependen de muchos factores; algunos de ellos están directamente influenciados por el conductor, mientras que otros son el resultado del diseño del vehículo.

1.2.1 Planteamiento del Problema

La cantidad de combustible consumido depende del motor, el tipo de combustible utilizado y la eficiencia con la que se transmite la potencia del motor a las ruedas. Esta energía de combustible se usa para superar (1) la resistencia a la rodadura principalmente debido a la flexión de las llantas, (2) la resistencia aerodinámica a medida que el movimiento del vehículo es resistido por el aire y (3) la inercia y las fuerzas de escalada que resisten la aceleración del vehículo, como, así como pérdidas en el motor y en la línea de transmisión (National Academies of Sciences, Engineering, 2011).

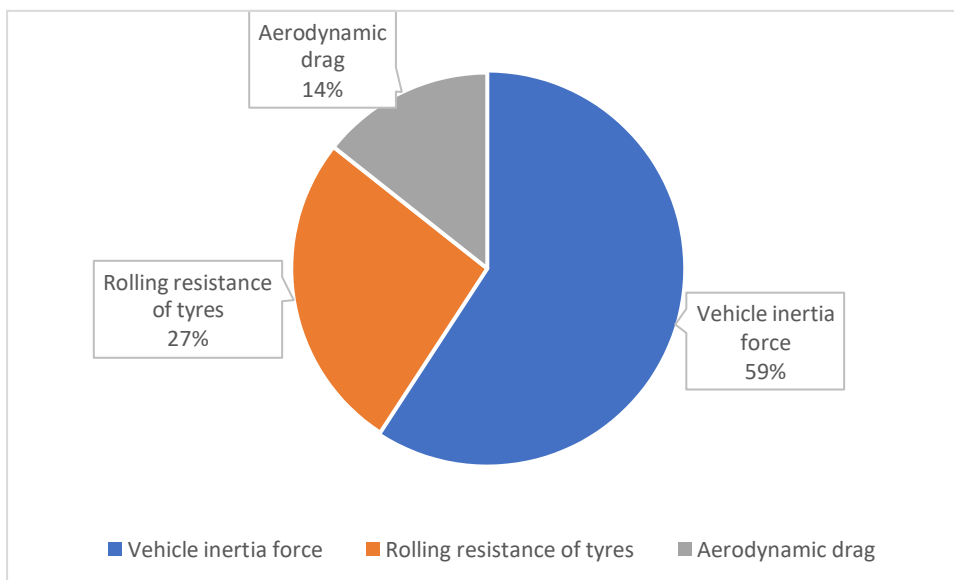
La eficiencia del combustible es un objetivo histórico de la ingeniería automotriz. Ya en 1918, el pionero automotriz de General Motors Company, Charles Kettering, estaba prediciendo la desaparición del motor de combustión interna dentro de 5 años debido a su uso derrochador de energía de combustible: “El buen Dios ha tolerado esta tontería de tirar el 90 por ciento de suficiente energía en el combustible” (Kettering, 1918).

Hay muchas cosas que pueden afectar el consumo de gasolina de su automóvil. A primera vista, puede parecer que las ruedas y los neumáticos de su vehículo no tendrían ningún impacto en el consumo de combustible. Sin embargo, tienen un impacto directo en el rendimiento general y la vida útil del automóvil y en la eficiencia con la que se desempeña, dependiendo de qué tan bien se mantengan y del tamaño de las ruedas (ENERGY.GOV, 2023).

El advenimiento de CAFE y otras políticas gubernamentales para promover el ahorro de combustible incitaron a los fabricantes e ingenieros de automóviles a observar más de cerca los muchos factores que influyen en el consumo de combustible de los vehículos. Si bien las explicaciones de estas influencias están disponibles en otros lugares (Schuring 1980; Ross 1997; NRC 2002; Sovran y Blaser 2003), una descripción general es útil para comprender la contribución de los neumáticos al consumo de energía (Figura 1).

Figura 1

Contribución al Consumo de Combustible



Tomado de: <https://www.semanticscholar.org/paper/Influence-of-Tyre-Inflation-Pressure-on-Fuel-and-Varghese/2c6819108bfaf0ceebf16f58a3fd12326b13d193>

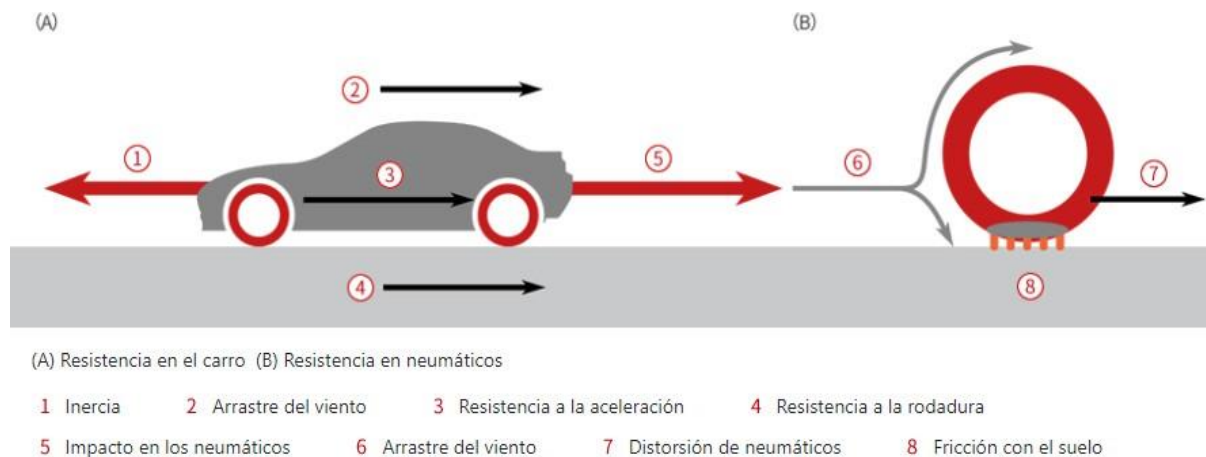
Es bien sabido que el ahorro de combustible influye directamente en las emisiones de CO₂ de los vehículos. Por lo tanto, un enfoque directo para reducir las emisiones de CO₂ del

tubo de escape es reducir el consumo total de combustible del vehículo. Se investiga el papel de la presión de inflado de los neumáticos en la economía de combustible. Los estudios han demostrado que un conjunto de factores relacionados con los neumáticos puede reducir el consumo de combustible, ya que reduce la resistencia a la rodadura. Además de los beneficios de la reducción del consumo de combustible, la presión de los neumáticos también juega un papel importante a la hora de decidir el manejo del vehículo y la comodidad de los pasajeros.

La resistencia a la rodadura se refiere a las diversas formas de resistencia contra la fuerza motriz cuando el automóvil está en movimiento. Varios factores contribuyen a la resistencia a la rodadura, incluida la resistencia del viento en el automóvil, la resistencia a la aceleración generada por la fuerza de inercia al acelerar y la resistencia de los neumáticos (Figura 2).

Figura 2

Resistencia a la Rodadura



Tomado de: <https://www.yokohama-india.com/page/rolling-resistance-fuel-consumption>

Hasta ahora, se ha investigado ampliamente la influencia de factores como la aerodinámica, el peso del vehículo y la calidad del combustible en el consumo de combustible. Sin embargo, existe un vacío en la investigación que se centra en el impacto específico del tipo de neumático en el consumo de combustible. Aquí es donde entra en juego el dispositivo

Azuga, que ofrece una solución de monitoreo en tiempo real para el rendimiento de los vehículos, incluido el consumo de combustible.

1.2.2 *Formulación del Problema*

¿Cómo afectan las variables del tipo de neumático en el consumo de combustible?

1.2.3 *Sistematización del Problema*

- ¿Cuáles son las variables que influyen en el consumo de combustible relacionadas con la rodadura?
- ¿Cómo afecta el tipo de neumático al consumo de combustible?
- ¿Cuáles son las consideraciones técnicas para tomar en cuenta dentro de una estimación del consumo de combustible en un vehículo, usando diferentes tipos de neumáticos?

1.3 *Objetivos de la Investigación*

1.3.1 *Objetivo General*

- Realizar un análisis de consumo de combustible usando diferentes tipos de neumáticos a través del dispositivo Azuga para una ruta urbana de la ciudad de Guayaquil.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Determinar las variables de la resistencia a la rodadura y su influencia en el consumo de combustible.
- Establecer los factores considerados en vehículos tipo M1 para la evaluación del análisis del consumo de combustible mediante el uso del Dispositivo Azuga.
- Estimar el consumo de combustible en función del tipo de neumático utilizado los valores obtenidos en las pruebas.

1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación

Luego de definir los objetivos de la investigación se da respuesta a las interrogantes planteadas. Se puede enfocar desde una perspectiva teórica, metodológica y práctica. Se espera obtener una comprensión más precisa de cómo el tipo de neumático influye en el consumo de combustible, lo que puede respaldar la toma de decisiones informadas por parte de los conductores y la industria. Los resultados podrían resaltar la importancia de la elección de neumáticos eficientes y fomentar prácticas más sostenibles en el sector del transporte.

1.4.1 Justificación Teórica

El análisis de la influencia del tipo de neumático en el consumo de combustible utilizando dispositivos como Azuga se justifica por su potencial para mejorar la eficiencia energética, reducir el impacto ambiental y optimizar los costos operativos en el sector del transporte. La combinación de la importancia de los neumáticos en el rendimiento del vehículo y la capacidad de recopilar datos precisos a través de la tecnología de monitoreo de flotas hace que este análisis sea una contribución valiosa para la industria y la sociedad en general.

La fundamentación teórica del trabajo se basa en investigación de temas relacionados con normativa sobre consumo de combustible y aprovechamiento de la energía, influencia de los neumáticos en el consumo de combustible, otros.

1.4.2 Justificación Metodológica

La justificación metodológica para llevar a cabo un análisis de la influencia del tipo de neumático en el consumo de combustible utilizando un dispositivo Azuga se fundamenta en la necesidad de comprender y optimizar la eficiencia de combustible en los vehículos, considerando uno de los factores clave que impactan en el consumo: los neumáticos. Dado que los neumáticos son el punto de contacto directo entre el vehículo y la carretera, su diseño, estado y características pueden tener un efecto significativo en el consumo de combustible. El uso de un dispositivo Azuga agrega un enfoque tecnológico y preciso para recopilar datos en

tiempo real y brindar información valiosa sobre el comportamiento de los neumáticos y su relación con el consumo de combustible.

La elaboración y aplicación de un proceso de para calcular el consumo de combustible de un vehículo M1, teniendo en cuenta todos los aspectos técnicos, mediante un proceso lógico y ordenado permitirá conocer en detalle la técnica de análisis de la influencia del tipo de neumático en el consumo de combustible usando un Dispositivo Azuga y siguiendo los procedimientos técnicos establecidos, aplicando una metodología para determinar la influencia del tipo de combustible.

Aunque existe literatura sobre la relación entre los neumáticos y el consumo de combustible, esta investigación podría aportar nuevos datos y enfoques, especialmente al incorporar tecnología de monitoreo en tiempo real.

1.4.3 Justificación Práctica

Mediante la elaboración de dicho proyecto se emplean y fortalecen varios conocimientos adquiridos sobre el consumo de combustible y los factores influyentes. La investigación sobre el consumo de combustible tiene una serie de justificaciones prácticas importantes.

La elección del neumático adecuado puede tener un impacto significativo en el consumo de combustible de un vehículo. Hay varias razones por las cuales el tipo de neumático puede influir en el consumo de combustible:

- Resistencia a la rodadura: Los neumáticos con mayor resistencia a la rodadura requieren más energía para mantenerlos en movimiento. Esto significa que el motor del vehículo necesita trabajar más para superar esa resistencia adicional, lo que resulta en un mayor consumo de combustible.
- Diseño de la banda de rodadura: El diseño de la banda de rodadura del neumático también puede afectar la eficiencia del combustible. Los neumáticos con una banda

de rodadura más agresiva pueden tener una mayor resistencia a la rodadura y, por lo tanto, consumir más combustible.

- **Presión de los neumáticos:** La presión incorrecta de los neumáticos puede afectar negativamente la eficiencia del combustible. Si los neumáticos están inflados con demasiada presión, pueden rebotar en la carretera, lo que aumenta la resistencia a la rodadura. Si los neumáticos están inflados con poca presión, aumenta la resistencia al rodaje, lo que también aumenta el consumo de combustible.

En la práctica, se han realizado estudios que demuestran que la elección del tipo de neumático puede tener un impacto significativo en el consumo de combustible. Por ejemplo, un estudio realizado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos encontró que cambiar los neumáticos de un vehículo por unos más eficientes en combustible podría reducir el consumo de combustible en hasta un 3,3 %.

Por lo tanto, es importante considerar cuidadosamente el tipo de neumático que se utiliza en un vehículo para minimizar su impacto en el consumo de combustible y, por ende, reducir los costos de combustible y disminuir la huella de carbono.

1.4.4 Delimitación Temporal

El trabajo se efectúa desde el mes de abril de 2023 hasta agosto de 2023, lapso que permite realizar la investigación, así como elaborar y desarrollar el proyecto propuesto.

1.4.5 Delimitación Geográfica

El trabajo se desarrolla en la ciudad de Guayaquil. La delimitación geográfica de una investigación sobre la influencia del tipo de neumáticos en el consumo de combustible.

Esta relación entre el tipo de neumático y el consumo de combustible no está limitada geográficamente, ya que es un fenómeno que se aplica en todo el mundo. Sin embargo, la magnitud de la influencia del neumático en el consumo de combustible puede variar según la región y las condiciones de conducción.

1.4.6 Delimitación del Contenido

El primer capítulo está orientado al establecimiento de una justificación sobre la influencia del tipo de neumático en el consumo de combustible y como puede variar dependiendo de varios factores, como el tipo de vehículo, el tipo de conducción, el clima y las condiciones del camino.

El segundo capítulo se refiere al marco referencial que explica y pone de manifiesto que el proyecto es auténtico. Se abordan temas sobre el consumo de combustible, procesos y formas de estimación, así como conceptos relacionados con los neumáticos y su influencia en el consumo de combustible.

El tercer capítulo está orientado a detallar la metodología usada para determinar la influencia del tipo de neumático en el consumo de combustible.

En el cuarto capítulo se presentan los valores obtenidos y el análisis de estos.

Capítulo II

Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

El presente marco teórico se centra en comprender la influencia del tipo de neumático en el consumo de combustible de un vehículo utilizando un dispositivo de monitoreo como Azuga. Se exploran los conceptos relacionados con la eficiencia en el consumo de combustible, las propiedades de los neumáticos y la importancia de la tecnología de monitoreo en la optimización del rendimiento vehicular.

El neumático de un vehículo puede influir significativamente en su consumo de combustible. Esto se debe a que los neumáticos afectan la resistencia a la rodadura, que es la fuerza necesaria para superar la fricción entre el neumático y la carretera.

En general, los neumáticos de baja resistencia a la rodadura pueden mejorar la eficiencia del combustible, ya que requieren menos energía para rodar. Estos neumáticos suelen tener una banda de rodadura con patrones más lisos y una mayor presión de inflado. También pueden estar diseñados con materiales que reducen la fricción.

Por otro lado, los neumáticos de alta resistencia a la rodadura pueden disminuir la eficiencia del combustible debido a la mayor energía necesaria para rodar. Estos neumáticos suelen tener una banda de rodadura más agresiva y una presión de inflado más baja. También pueden estar diseñados con materiales más pesados o con compuestos que aumentan la fricción.

Además, otros factores como el tamaño del neumático, la carga del vehículo y las condiciones de la carretera también pueden afectar el consumo de combustible. En general, se recomienda utilizar neumáticos de baja resistencia a la rodadura y mantenerlos inflados adecuadamente para maximizar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

La relación entre la presión de los neumáticos y la eficiencia del vehículo está respaldada explícitamente por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) para cumplir con las pruebas de carga en carretera y consumo de combustible dependiente de la velocidad de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). En el estudio de la CCA, las correlaciones entre economía de combustible y rodadura. La resistencia provino del desarrollo de una base de datos de llantas que consistía en datos de los fabricantes de neumáticos. Específicamente, el estudio encontró un efecto del 2 % en el ahorro de combustible por cada cambio del 10 % en la resistencia a la rodadura para conducción en carretera. Un efecto del 1 % en la economía de combustible por cada 10 % de cambio en la resistencia a la rodadura fue destacado por la conducción urbana. Estos efectos varían con la velocidad y las condiciones del vehículo. Los hallazgos de la Asociación de Fabricantes de Caucho también señalaron que cuando un neumático no está inflado correctamente por cada libra por pulgada cuadrada (psi), su resistencia a la rodadura aumenta aproximadamente un 1,1 %.

2.1.1 Conceptos Preliminares

El consumo de combustible y los neumáticos están estrechamente relacionados en términos de eficiencia en el rendimiento de combustible de un vehículo. Los neumáticos pueden afectar significativamente la economía de combustible de un vehículo debido a su capacidad para reducir la resistencia a la rodadura.

2.1.2 Resistencia a la Rodadura y Consumo de Combustible

Claramente hay muchos factores que afectan el consumo de combustible de un coche. Entre estos, los principales son sin duda el peso del vehículo, el tipo de motor, la aerodinámica del coche, el estilo de conducción, la pendiente del camino recorrido, la presencia de sistemas que necesitan energía (como el aire acondicionado), las condiciones del tráfico en el que conduce, las aceleraciones repentinas y el nivel de presión de los neumáticos del automóvil. Los neumáticos pueden marcar una gran diferencia en la cantidad de millas que un conductor

recorre hasta un tanque de gasolina. De hecho, entre el 20 % y el 30 % del consumo de combustible de un vehículo y el 24 % de las emisiones de CO₂ de los vehículos de carretera están relacionados con los neumáticos. Los neumáticos afectan la eficiencia de combustible del vehículo principalmente a través de la resistencia a la rodadura (ENERGY.GOV, 2023).

2.1.3 Aumento Constante en el Consumo de Combustible de los Vehículos

En los últimos años, ha habido un aumento constante en el consumo de combustible de los vehículos en California (Stillwater Asociados, 2020). Varios factores que contribuyen a esta demanda de combustible pueden atribuirse a un aumento en millas recorridas por vehículo (VMT) en el Estado. Aunque un aumento en VMT conduce directamente a un aumento en el consumo de combustible (Lin y Prince, 2009), los neumáticos desinflados pueden desempeñar un papel importante en el rendimiento operativo y la eficiencia de un vehículo en sí mismo, provocando así un aumento en consumo y demanda de combustible (Grugett et al., 1981). Esto es corroborado por algunos estudios recientes que han establecido una relación directa entre la presión de los neumáticos y el consumo de combustible de un vehículo (Thiriet et al., 2017; Sanchez et al., 2017).

La resistencia a la rodadura y el peso son dos de las principales preocupaciones de los fabricantes de neumáticos. Goodyear, por ejemplo, está trabajando para reducir la resistencia a la rodadura en un 40 % y el peso de los neumáticos en un 9 % para 2025, desde una línea de base de 2005, en toda su cartera de consumidores.

2.1.4 Influencia del Neumático en el Consumo de Combustible de los Vehículos de Pasajeros

En todos los aspectos importantes, la calidad y el rendimiento de los neumáticos para pasajeros actuales son superiores a los de sus predecesores. Los neumáticos se desgastan más, son más resistentes a los daños, se manejan y rastrean mejor y son más fáciles de mantener. Cada generación de ingenieros de neumáticos ha buscado equilibrar estas y otras características

de rendimiento, de acuerdo con el costo y las capacidades de la tecnología, las regulaciones gubernamentales, las demandas de los consumidores y los requisitos operativos.

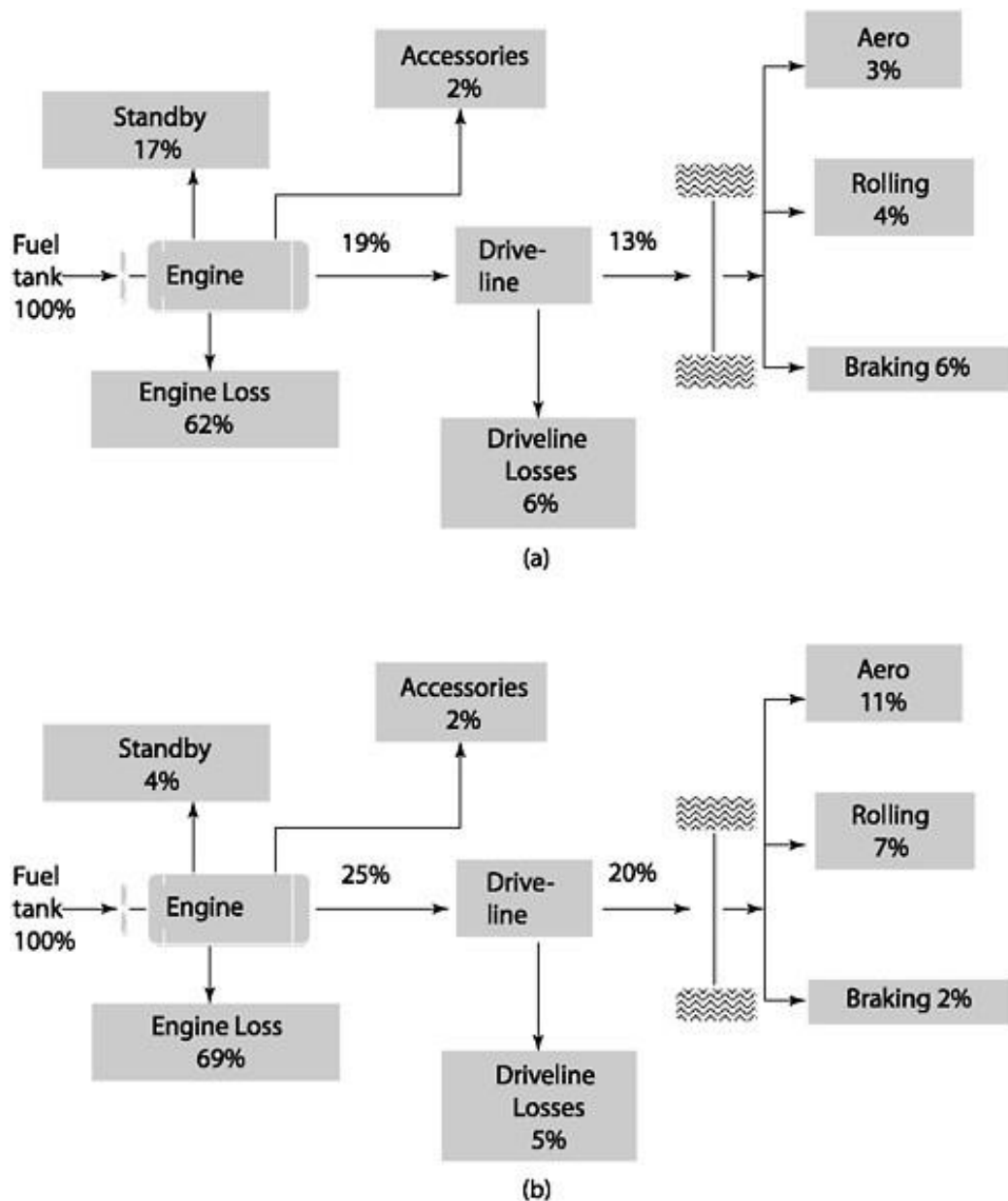
A partir de mediados de la década de 1970 se aplicaron una serie de políticas destinadas a la conservación de la energía. El Congreso aprobó el límite de velocidad nacional de 55 mph en 1974. Un año después, instruyó a la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA) para que exigiera la colocación de etiquetas de ahorro de combustible (pegatinas en las ventanas) en todos los vehículos nuevos a la venta. El Departamento de Energía de EE. UU. se encargó de desarrollar y publicar una guía anual de millaje de economía de combustible.

La cantidad de combustible consumido por un vehículo de motor a lo largo de una distancia se ve afectada por la eficiencia del vehículo para convertir la energía química del combustible de motor en energía mecánica y transmitirla a los ejes para impulsar las ruedas.

La Figura 3 representa los flujos y sumideros de energía de un automóvil de pasajeros mediano convencional que funciona con gasolina. La mayor parte de la energía disponible en el tanque de combustible (alrededor de dos tercios) se pierde al convertir el calor en trabajo mecánico en el motor, en gran parte inevitablemente. Para los viajes urbanos que consisten en conducción con paradas y arranques, un porcentaje significativo (alrededor del 15 al 20 por ciento) también se pierde en las operaciones de espera durante la conducción por inercia, el frenado y el ralentí en el tráfico. Para la conducción urbana, solo del 10 al 15 por ciento de la energía del combustible se transmite finalmente como potencia a las ruedas. Debido a que las pérdidas en modo de espera son menores durante la conducción en carretera y debido a que el motor funciona de manera más eficiente, un mayor porcentaje de la energía del combustible, alrededor del 20 por ciento, llega a las ruedas. Si bien los porcentajes específicos variarán según el tipo de vehículo y el viaje, los flujos que se muestran en la Figura 3 son generalmente representativos de los vehículos de pasajeros de hoy.

Figura 3

Flujos de Energía de Ejemplo para un Automóvil de Pasajeros



(a) conducción urbana (b) conducción en carretera.

Tomado de: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2006. Tires and Passenger Vehicle Fuel Economy. <https://doi.org/10.17226/11620>.

2.1.5 Neumáticos y Economía de Combustible

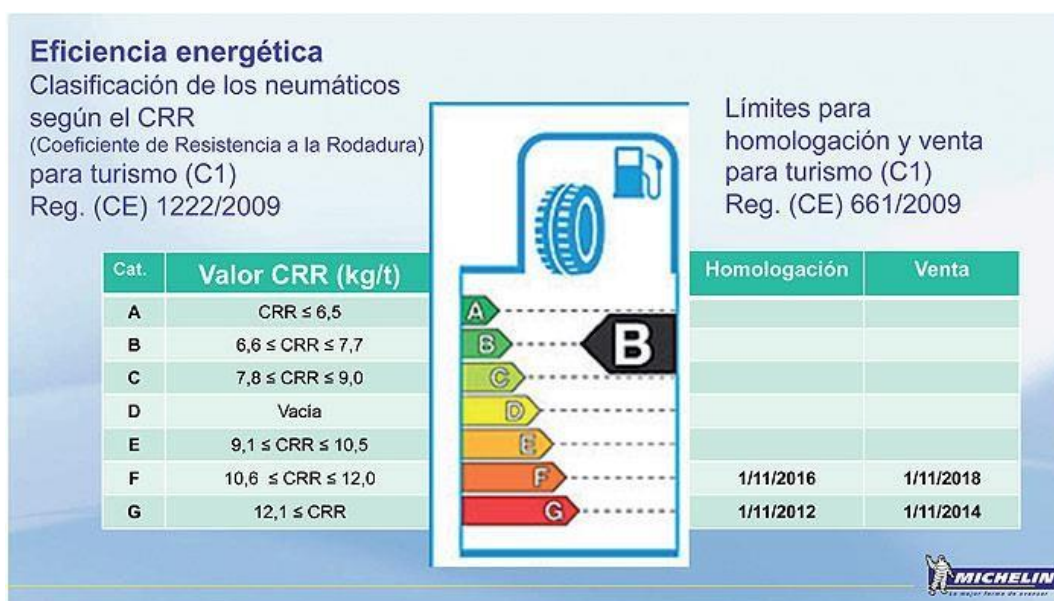
Hay muchas cosas que pueden afectar el consumo de gasolina de su automóvil. A primera vista, puede parecer que las ruedas y los neumáticos de su vehículo no tendrían ningún impacto en el consumo de combustible. Sin embargo, tienen un impacto directo en el

rendimiento general y la vida útil del automóvil y en la eficiencia con la que se desempeña, dependiendo de qué tan bien se mantengan y del tamaño de las ruedas. La resistencia al rodaje de sus neumáticos engendra un consumo significativo. La clasificación permite estimar el ahorro de combustible realizado en 100 km con relación a la clase de referencia A.

Por ejemplo, en Europa desde noviembre de 2012, todos los neumáticos que se comercializan en la Unión Europea. Responde al reglamento No1222/2009 del Parlamento Europeo, llevan una etiqueta informe de la influencia del neumático en el consumo de combustible, o lo que es lo mismo, su resistencia a la rodadura. Cuanto menor, más nota. Cuanta más nota, menos gasolina consume (Figura 4).

Figura 4

Consumo de Combustible según el Tipo de Neumático



Tomado de: <https://www.km77.com/revista/engendro-mecanico/neumaticos-de-etiqueta/>

Los neumáticos son el único material que conecta un vehículo a la carretera. Y solo un pequeño parche de cada neumático, llamado "parche de contacto", está conectado a la carretera en cualquier momento. Si los neumáticos están desgastados, no solo afecta el manejo, sino que es probable que los neumáticos desgastados resbalen más en la carretera, lo que requiere que el motor trabaje más para hacer avanzar el vehículo.

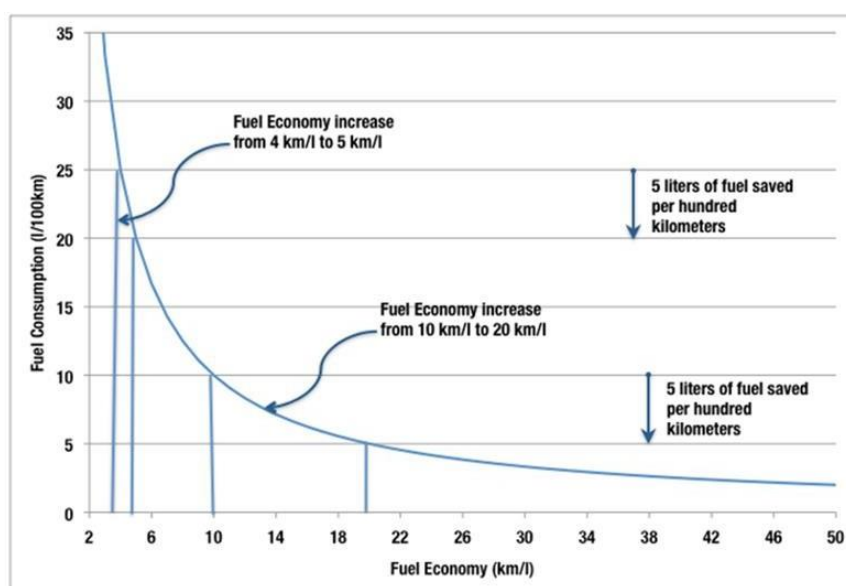
2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Consumo de Combustible

El consumo de combustible (Figura 5) mide la cantidad de combustible que consume un automóvil para recorrer una distancia específica. Se expresa en litros por cien kilómetros, o en países que utilizan el sistema imperial, galones por 100 millas. Por ejemplo, un Volkswagen Golf TDI Bluemotion tiene una de las mejores calificaciones de consumo de combustible, requiriendo solo 3,17 litros para recorrer 100 kilómetros. Por lo tanto, cuanto menor sea el valor, mejor será la calificación. No todo el combustible consumido se utiliza para impulsar directamente el automóvil. Alrededor del 3 al 11 % del combustible que se consume se utiliza para superar la resistencia a la rodadura. Dado que el combustible consumido no se usará directamente para impulsar el automóvil, es bueno implementar técnicas de conducción para reducir el consumo de combustible. Algunas técnicas incluyen: acelerar suavemente, mantener una velocidad constante y deslizarse para desacelerar. El uso de estos métodos podría reducir las emisiones de CO₂ hasta en un 25 % (Nrcan.gc.ca, 2018).

Figura 5

Consumo de Combustible



Tomado de: <https://theicct.org/fuel-consumption-vs-fuel-economy/>

2.2.2 Neumático

Un neumático es un componente esencial de un vehículo que consiste en una estructura circular de caucho y otros materiales reforzados, diseñada para encajar en una llanta y proporcionar un medio de contacto entre el vehículo y la superficie de la carretera.

Los neumáticos desempeñan un papel crucial en la conducción segura y eficiente, ya que son responsables de brindar tracción, amortiguación, soporte de carga y dirección.

La construcción de un neumático típico incluye varias capas de diferentes materiales, como caucho, tejidos textiles y acero.

Estas capas se combinan para formar una estructura resistente que puede soportar las fuerzas y tensiones generadas durante la conducción.

Además de proporcionar un agarre adecuado en diferentes condiciones climáticas y superficies de la carretera, los neumáticos también influyen en aspectos como la eficiencia del combustible, el confort del viaje y la durabilidad del vehículo.

2.2.3 Resistencia a la Rodadura

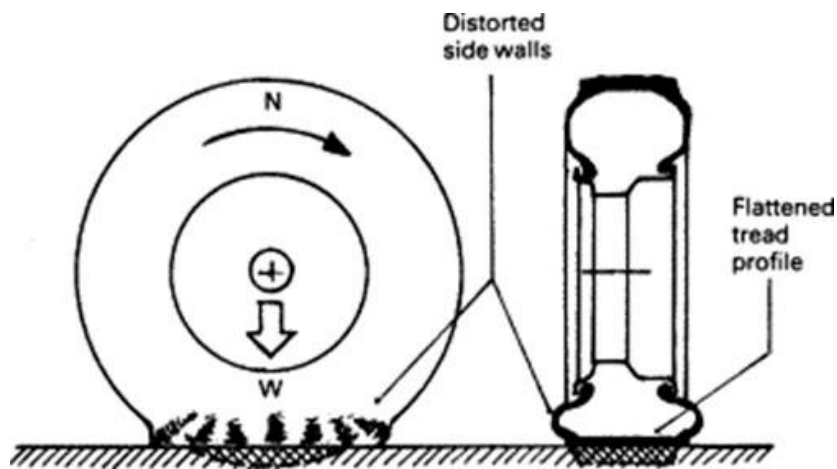
Cuando una rueda y un neumático cargados se ven obligados a rodar en una dirección dada, la carcasa del neumático en la interfaz con el suelo se desvía debido a una combinación de la carga vertical y el efecto de rodadura hacia adelante en la carcasa del neumático (Figura 6).

La carga vertical tiende a aplanar el perfil circular del neumático al nivel del suelo, mientras que el movimiento de rodadura hacia adelante de la rueda comprimirá y extenderá el borde de contacto delantero y la pared en la región de la banda de rodadura.

Al mismo tiempo, el borde de fuga tenderá a reducir su presión de contacto y expandirse a medida que se libera progresivamente de la reacción del suelo.

Figura 6

Resistencia a la Rodadura



Tomado de: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/rolling-resistance>

Las consecuencias de la continua distorsión y recuperación de la carcasa del neumático a nivel del suelo significan que se está utilizando energía para hacer rodar el neumático sobre el suelo y no toda se devuelve como energía de deformación a medida que el neumático toma su forma original. Desafortunadamente, cuando la carcasa está estresada, la tensión producida es una función de la tensión. Al liberar el estrés, debido a que el material del neumático no es perfectamente elástico, la deformación se retrasa, de modo que la deformación para un valor dado de tensión es mayor cuando la tensión disminuye que cuando aumenta. Por lo tanto, al eliminar la tensión por completo, queda una tensión residual. Esto se conoce como histéresis y es la causa principal de la resistencia a la rodadura del neumático.

2.2.4 Presión de los Neumáticos

Una correcta presión de neumáticos es importante para ahorrar combustible. Según FuelEconomy.gov, un sitio web conjunto del Departamento de Energía de EE. UU. y la Agencia de Protección Ambiental, los neumáticos desinflados pueden disminuir el consumo de combustible en un 0.3% por cada reducción de 1 psi en los cuatro neumáticos. El DOE estima que cada día se desperdician 3,56 millones de galones de gasolina debido a neumáticos inflados incorrectamente.

2.2.5 Vehículos M1

De acuerdo con el INEN, 2016, dentro de la clasificación de los vehículos Categoría M se hallan todos los vehículos que poseen cuatro ruedas y que se diseñaron para el transporte de pasajeros. Aquí se encuentra la subcategoría denominada M1 (Figura 7), en la cual se encuentran todos los vehículos de motor nuevo utilizados para el transporte de personas y que no pueden transportar más de ocho pasajeros además del conductor, cuyas emisiones de CO₂ no superen los 130 g/km y su longitud no supere los 4460 mm.

Figura 7

Vehículo M1



Tomado de: <https://autotest.com.ar/noticias/ford-nueva-pick-up-f-150-lightning/>

2.2.6 Dispositivo Azuga

Azuga es un dispositivo de monitoreo vehicular que utiliza tecnología avanzada para recopilar y analizar datos en tiempo real sobre el rendimiento del vehículo. El dispositivo registra información sobre la velocidad, la aceleración, el frenado y otros parámetros relevantes. También puede rastrear el consumo de combustible y proporcionar datos detallados sobre el comportamiento del conductor.

2.2.7 Tipos de Neumáticos

El neumático es mucho más que un anillo de goma lleno de aire. Es una pieza compleja de ingeniería que viene en muchas formas y está diseñada para enfrentar una gran variedad de

desafíos. Aquí es donde se debe considerar los diferentes tipos de neumáticos en el mercado y las ventajas específicas que pueden ofrecer al vehículo. Los neumáticos se fabrican en una variedad de tamaños y diseños para adaptarse a diferentes tipos de vehículos y condiciones de manejo.

Algunos neumáticos están diseñados específicamente para vehículos todo terreno, mientras que otros están optimizados para el rendimiento en carretera, la eficiencia de combustible o el manejo en condiciones de nieve y lluvia. Mantener los neumáticos en buen estado, incluyendo la verificación regular de la presión y el desgaste, es esencial para garantizar una conducción segura y eficiente. Existen algunos tipos de neumáticos diseñados apropiadamente para aplicaciones diversas. Los neumáticos pueden clasificarse en dos; neumático con cámara y sin cámara.

2.2.8 Propiedades de los Neumáticos

Los neumáticos juegan un papel esencial en el rendimiento general de un vehículo. Diferentes tipos de neumáticos, como los de verano, invierno y all-season, presentan características distintas en términos de agarre, resistencia a la rodadura y durabilidad. La resistencia a la rodadura es particularmente relevante, ya que se refiere a la energía que se necesita para superar la fricción entre el neumático y la superficie de la carretera. Neumáticos con mayor resistencia a la rodadura tienden a requerir más energía, lo que puede resultar en un mayor consumo de combustible.

2.2.9 Tecnologías para la Disminución del Consumo

La preocupación por el consumo de combustible y sus impactos ha impulsado la investigación y el desarrollo de tecnologías más eficientes en términos de consumo de energía, como motores híbridos, eléctricos y de celdas de combustible. Estas tecnologías tienen el potencial de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y disminuir los impactos ambientales.

En general, reducir el consumo de combustible es fundamental para abordar los desafíos económicos, ambientales y sociales relacionados con la dependencia de los combustibles fósiles. Esto implica promover la eficiencia energética, fomentar el uso de tecnologías limpias y desarrollar fuentes de energía renovable para crear un futuro más sostenible.

En la fabricación de neumáticos, se han implementado diversas tecnologías para disminuir el consumo de combustible de los vehículos. Estas tecnologías están diseñadas para reducir la resistencia a la rodadura, mejorar la eficiencia y promover un menor consumo de combustible. Algunas de estas tecnologías incluyen:

- **Compuestos de banda de rodadura avanzados:** Los fabricantes han desarrollado compuestos de goma especiales que minimizan la resistencia a la rodadura sin comprometer el agarre y la durabilidad del neumático.
- **Diseño de la banda de rodadura:** Los diseños de la banda de rodadura se optimizan para mejorar la distribución del peso del vehículo y reducir la fricción con la carretera. Los patrones de la banda de rodadura se ajustan para minimizar la resistencia y maximizar la eficiencia.
- **Construcción y materiales internos:** Los neumáticos de baja resistencia a la rodadura utilizan materiales internos, como cinturones y capas de refuerzo, que reducen la deformación y la pérdida de energía durante la conducción.
- **Tecnología de pared lateral:** Las paredes laterales de los neumáticos también pueden diseñarse para ser más rígidas, reduciendo la deformación y la fricción que se produce en cada giro y movimiento del neumático.
- **Innovaciones en la carcasa:** Algunos neumáticos incorporan materiales y construcción de carcasa optimizados para mejorar la eficiencia y reducir la resistencia al rodar.

- **Neumáticos de baja presión:** Mantener la presión adecuada en los neumáticos es esencial para reducir la resistencia a la rodadura. Los sistemas de monitoreo de presión de neumáticos (TPMS) también son útiles para mantener la presión óptima.
- **Tecnología de fabricación:** Los procesos de fabricación más avanzados pueden permitir la creación de neumáticos con tolerancias más ajustadas y geometría optimizada, lo que contribuye a una menor resistencia a la rodadura.
- **Investigación en nuevos materiales:** Los fabricantes están investigando y desarrollando nuevos materiales que puedan mejorar aún más la eficiencia de los neumáticos, como compuestos de goma de alta tecnología y materiales ligeros pero duraderos.
- **Modelado y simulación:** La simulación por computadora y el modelado avanzado permiten a los diseñadores de neumáticos prever el comportamiento del neumático en diferentes condiciones y optimizar su diseño para minimizar la resistencia a la rodadura.
- **Colaboración con fabricantes de automóviles:** Los fabricantes de neumáticos trabajan en colaboración con los fabricantes de automóviles para desarrollar neumáticos específicos que se adapten a las características de cada vehículo, maximizando la eficiencia y el rendimiento.

En conjunto, estas tecnologías y enfoques han permitido a la industria de neumáticos contribuir a la reducción del consumo de combustible y las emisiones de los vehículos, al tiempo que mantienen un rendimiento y seguridad adecuados.

2.2.10 Desgaste de Neumáticos

El desgaste de los neumáticos es un aspecto importante en el mantenimiento de un vehículo, ya que los neumáticos son la única parte del vehículo en contacto directo con la

carretera. Un desgaste excesivo (Figura 8) puede afectar la seguridad, el rendimiento y la eficiencia del vehículo. Aquí tienes información relevante sobre el desgaste de los neumáticos:

- **Patrones de Desgaste:** Los neumáticos pueden desgastarse de diferentes maneras, y el patrón de desgaste puede indicar problemas específicos. Algunos patrones comunes de desgaste incluyen desgaste en los bordes exteriores o interiores (alineación incorrecta), desgaste en el centro (inflado excesivo), desgaste irregular (problemas en la suspensión) y desgaste en forma de copa (problemas en la dirección o suspensión).
- **Profundidad del Dibujo:** La profundidad de la banda de rodadura es crucial para el agarre y la tracción en diferentes condiciones climáticas. La mayoría de las leyes y recomendaciones establecen una profundidad mínima de banda de rodadura de aproximadamente 1.6 mm. Por debajo de este valor, la capacidad de tracción y evacuación de agua disminuye significativamente, lo que puede aumentar el riesgo de aquaplaning y reducir la adherencia en condiciones de lluvia o nieve.
- **Rotación Regular:** Rotar los neumáticos periódicamente es importante para asegurarse de que desgasten de manera más uniforme. Esto ayuda a prolongar la vida útil de los neumáticos y a maximizar su rendimiento.
- **Presión de Inflado:** Mantener la presión de inflado correcta es fundamental. Un inflado incorrecto puede llevar a un desgaste desigual de los neumáticos, afectar la eficiencia del combustible y la capacidad de manejo del vehículo.
- **Hábitos de Conducción:** El estilo de conducción también puede afectar el desgaste de los neumáticos. Frenadas bruscas, aceleraciones violentas y giros agresivos pueden acelerar el desgaste.

- **Inspecciones Regulares:** Realizar inspecciones visuales regulares de los neumáticos es importante para detectar cualquier signo de desgaste anormal, daños o pinchazos. Siempre verifica la presión de los neumáticos antes de emprender un viaje.
- **Reemplazo Oportuno:** A medida que los neumáticos envejecen y su banda de rodadura se desgasta, es esencial reemplazarlos. Los neumáticos con un desgaste significativo pueden perder su capacidad de agarre y seguridad en condiciones adversas.

Figura 8

Desgaste de Neumáticos



Tomado de: <https://tirediscounters.com/services/tires/tire-education/tread-wear>

En general, mantener una buena rutina de mantenimiento, revisar regularmente la profundidad de la banda de rodadura, la presión de inflado y los patrones de desgaste, así como adoptar un estilo de conducción suave, contribuirá a prolongar la vida útil de tus neumáticos y garantizar tu seguridad en la carretera.

2.2.11 Economía de Combustible

Algunos fabricantes de neumáticos desarrollan modelos específicos diseñados para mejorar la eficiencia de combustible. Estos neumáticos suelen tener un compuesto de caucho especial y un diseño de banda de rodadura que reduce la resistencia a la rodadura.

2.2.12 Condiciones de la Carretera

La calidad de la carretera, la textura del pavimento y otros factores pueden afectar la resistencia a la rodadura. En superficies ásperas o irregulares, los neumáticos pueden experimentar una mayor resistencia, lo que conduce a un aumento en el consumo de combustible.

Capítulo III

Influencia de los Neumáticos en el Consumo de Combustible

El desarrollo de la tecnología, especialmente la tecnología para medir los parámetros, moviéndose en la dirección de aumentar la eficiencia, la confiabilidad y reducir los costos relacionados con el consumo de combustible, reduciendo así la emisión de contaminantes nocivos. 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 contexto de progreso renovable y sostenible en la industria automotriz donde el combustible y el respeto por el medio ambiente están en el centro de todas las preocupaciones, los neumáticos energéticamente eficientes podrían desempeñar un papel importante para ahorrar dinero, limitar los gases de efecto invernadero y contribuir a reducir la contaminación local.

3.1 Factores de Influencia del Neumático en el Consumo de Combustible

Los neumáticos pueden tener una influencia significativa en el consumo de combustible de un vehículo. Algunos factores que pueden afectar el consumo de combustible incluyen:

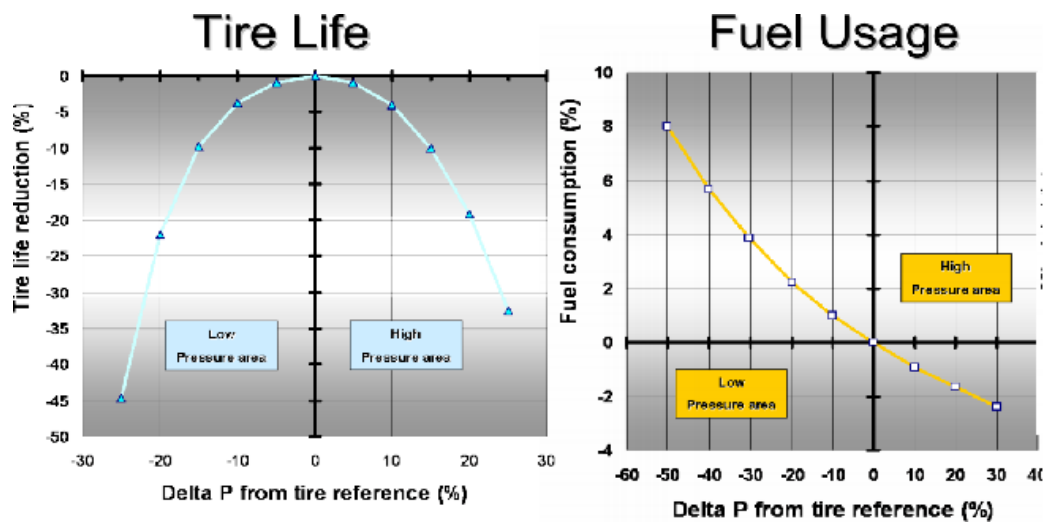
- **Desgaste:** Cuando el dibujo de la banda de rodadura del neumático pierde profundidad, puede haber una mayor resistencia a la rodadura por parte de la rueda, lo que puede aumentar el consumo de combustible.
- **Presión:** Una presión inadecuada en los neumáticos puede aumentar la resistencia a la rodadura y, por lo tanto, el consumo de combustible. Una rueda con una mayor presión de la recomendada tendrá una menor banda de rodadura, reduciendo con ello la resistencia, la tracción y elevando el riesgo de accidentes.
- **Masa:** La masa del neumático puede tener una influencia sobre el nivel de consumo. Cuanto más ligero sea el neumático, menor será el consumo de combustible.

- Tipo de estructura: El tipo de estructura de los neumáticos también puede influir en el nivel de gases de combustión emitidos. Los modelos diagonales, que hace un tiempo eran los únicos en el mercado, tenían una resistencia a la rodadura un 20 % mayor en comparación con los radiales.

Para minimizar el consumo de combustible, es importante tener en cuenta la presión adecuada de los neumáticos, elegir neumáticos más ligeros y considerar los modelos ecológicos que tienen una reducida resistencia a la rodadura. 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

Neumático vs Consumo de Combustible



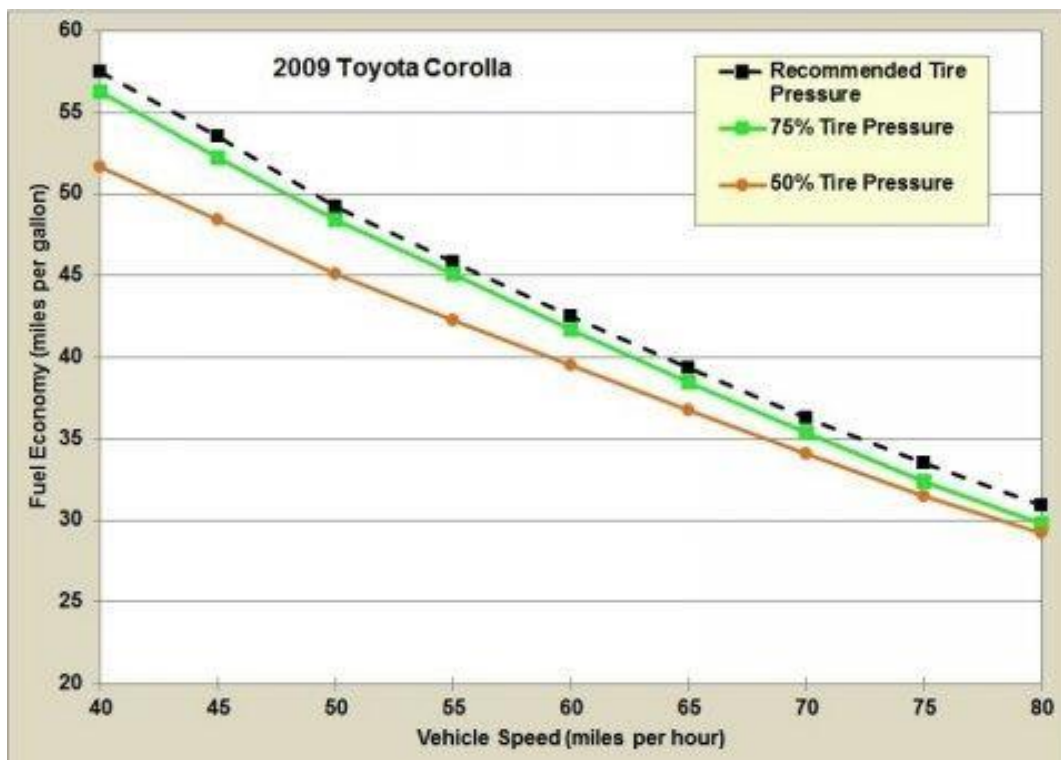
Tomado de: http://www.fleettmps.com/index.php?p=1_19

Además, es importante cuidar el estado de los neumáticos y verificar la etiqueta de los neumáticos para conocer su eficiencia en el consumo de combustible. Circular con una presión inadecuada puede traducirse en un gasto extra de combustible, más emisiones de CO₂ a la atmósfera y una reducción de la vida útil del neumático. Investigadores del Laboratorio Nacional de Oak Ridge realizaron recientemente un estudio que midió el efecto de la presión de los neumáticos en el ahorro de combustible a velocidades que oscilan entre 40 y 80 millas

por hora. La figura 10 muestra los resultados de un Toyota Corolla 2009 probado con los cuatro neumáticos a la presión recomendada (línea negra), luego al 75 % de la presión recomendada (línea verde) y nuevamente al 50 % de la presión recomendada (línea naranja). Con los cuatro neumáticos al 75 % de la presión recomendada, la penalización por ahorro de combustible se mantuvo bastante constante en alrededor del 2-3 % en el rango de velocidades. La penalización por economía de combustible para los cuatro neumáticos al 50% de la presión recomendada es más grave, pero el efecto sobre la economía de combustible es mayor a velocidades más bajas. A 40 millas por hora, la economía de combustible con los cuatro neumáticos al 50 % de su presión recomendada es aproximadamente un 10% más baja, pero a 80 millas por hora es solo un 5 % más baja. Cabe señalar que los neumáticos desinflados no solo desperdician combustible, sino que también plantean graves riesgos para la seguridad.

Figura 10

Economía de Combustible por Velocidad para un Toyota Corolla



Tomado de: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/fact-826-june-23-2014-effect-tire-pressure-fuel-economy>

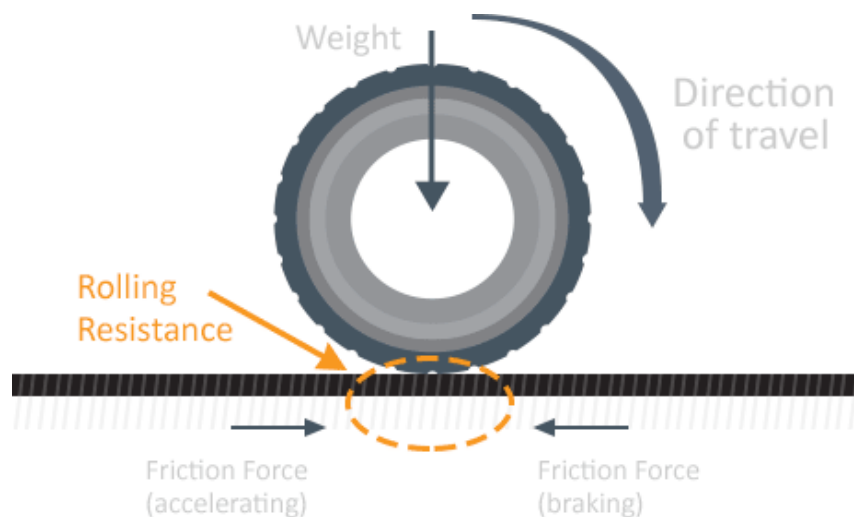
3.2 Interacción entre los Neumáticos y la Superficie de la Carretera

Los neumáticos casi siempre se analizan es estado estático, es decir cuando el vehículo se encuentra estacionado, por lo que se piensa en ellos como objetos fijos. Pero en realidad, los neumáticos son muy dinámicos y su funcionamiento varía de acuerdo con el tipo de carreteras como asfalto, gravilla, adoquín, entre otros.

Mientras está bajo carga y rodando, la banda de rodadura del neumático necesariamente se deforma contra la superficie de la carretera y luego vuelve a su estado estático. Esta deformación de la zona de contacto de los neumáticos y la interacción con la superficie de la carretera son cruciales para el agarre y el rendimiento del vehículo (se debe considerar que cuánto podría aportar un círculo de cemento rodante), pero el proceso requiere una energía considerable (Figura 11).

Figura 11

Resistencia a la Rodadura y su Influencia en el Consumo de Combustible



Tomado de: <https://www.tirebuyer.com/education/rolling-resistance-and-fuel-economy>

En los últimos años, ha habido un aumento constante en el consumo de combustible de los vehículos en California (Stillwater Asociados, 2020). Varios factores que contribuyen a esta demanda de combustible pueden atribuirse a un aumento en millas recorridas por vehículo

(VMT) en el Estado. Aunque un aumento en VMT conduce directamente a un aumento en el consumo de combustible (Lin y Prince, 2009), los neumáticos desinflados pueden desempeñar un papel importante en el rendimiento operativo y la eficiencia de un vehículo en sí mismo, provocando así un aumento en consumo y demanda de combustible (Grugett et al., 1981). Esto es corroborado por algunos estudios recientes que han establecido una relación directa entre la presión de los neumáticos y el consumo de combustible de un vehículo (Thiriet et al., 2017; Sanchez et al., 2017). Esta investigación resume esa relación a través de una revisión de la literatura y aplicación de toma de datos.

Como ejemplo se muestra la Economía de combustible por velocidad para un Toyota Corolla en diversas condiciones de presión de los neumáticos (Tabla 1).

Tabla 1

Estudios sobre Economía de Combustible vs Presión de los Neumáticos

SPEED (MILES PER HOUR) FUEL ECONOMY (MILES PER GALLON)	RECOMMENDED TIRE PRESSURE	75% TIRE PRESSURE	50% TIRE PRESSURE
40	57.5	56.3	51.7
45	53.5	52.2	48.4
50	49.2	48.4	45.1
55	45.8	45.1	42.3
60	42.5	41.7	39.5
65	39.4	38.5	36.8
70	36.3	35.4	34.1
75	33.5	32.4	31.5
80	30.9	29.8	29.2

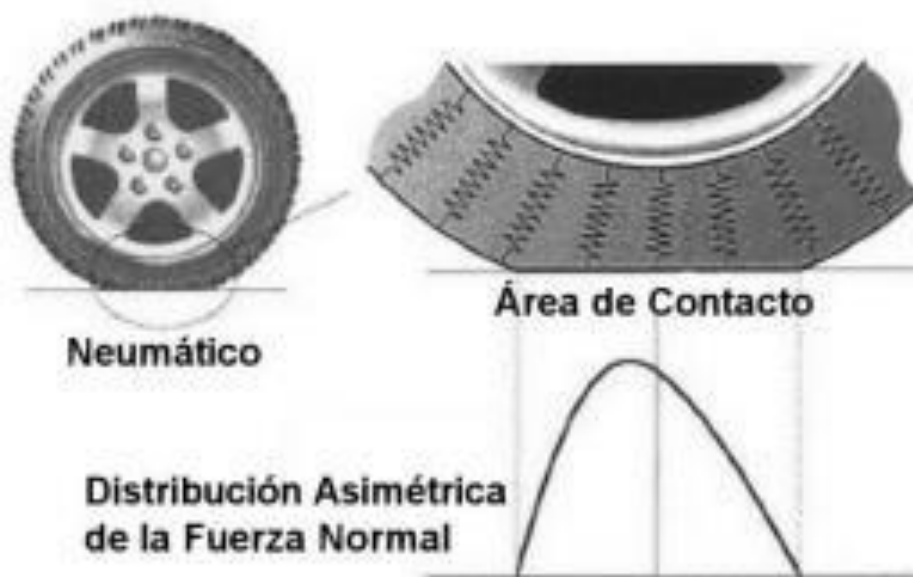
Nota: Las pruebas del vehículo consistieron en una fase de calentamiento a una temperatura de aceite objetivo, seguida de un crucero de 50 mph durante cinco minutos y luego operar el vehículo a velocidades constantes de 40 mph a 80 mph en incrementos de 5 mph, manteniendo cada velocidad durante al menos 5,5 minutos. Para obtener detalles adicionales sobre las pruebas individuales, consulte la fuente que se indica a continuación.

Fuente: J., Huff, S., and West, B., "Fuel Economy and Emissions Effects of Low Tire Pressure, Open Windows, Roof Top and Hitch-Mounted Cargo, and Trailer," SAE International Journal of Passenger Cars -Mech. Syst. 7(2):2014, doi:10.4271/2014-01-1614.

La interacción neumático-pavimento (Figura 12) es un problema de contacto extremadamente complejo. Las mediciones experimentales son arduas debido a su tiempo, gastos y limitaciones en el estudio de varias condiciones de contorno de este sistema de interacción. La estructura del neumático es extraordinariamente compleja. Para un neumático radial típico, comprende componentes en varias escalas, como nervaduras, ranuras, talones, paredes laterales y pilotes de cinturón, y cada parte tiene sus propias propiedades materiales.

Figura 12

Distribución Asimétrica del Diagrama de Presiones bajo la Rueda Girando



Tomado de: <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/4490/4420>

3.3 Inflado de Neumáticos

Un neumático funciona con su rendimiento óptimo cuando se infla a la presión recomendada. Sin embargo, todos los neumáticos perderán aire de forma natural a través de la carcasa con el tiempo; se debe esperar una pérdida de presión de alrededor del 3% por mes. Si el sello de la válvula tiene fugas o si se pincha el neumático, la presión caerá mucho más rápido.

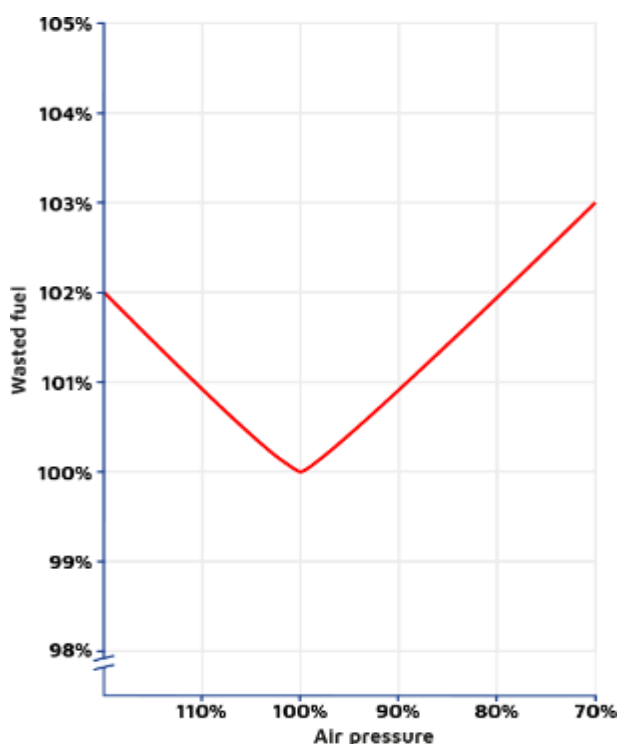
Los neumáticos que funcionan con la presión recomendada experimentan una mayor resistencia a la rodadura, lo que tiene un efecto negativo en el rendimiento y la durabilidad: aumenta el consumo de combustible y las emisiones de carbono al tiempo que reduce la vida

útil del neumático. Más importante aún, el manejo, el frenado y la estabilidad del vehículo también se verán afectados negativamente. Si la presión de la llanta no se corrige, esto puede causar que la llanta se sobrecaliente y se rompa, o incluso reviente con resultados potencialmente desastrosos.

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://www.tyrewatch.com/knowledge/fuel-economy-tyre-wear/>

- Un neumático inflado un 5 % usará un 0,5 % más de combustible y logrará solo el 97 % de su vida normal.
- Un neumático inflado un 10 % usará un 1 % más de combustible y logrará solo el 90 % de su vida normal.
- Un neumático inflado un 20 % usará un 2 % más de combustible y logrará solo el 70 % de su vida normal.

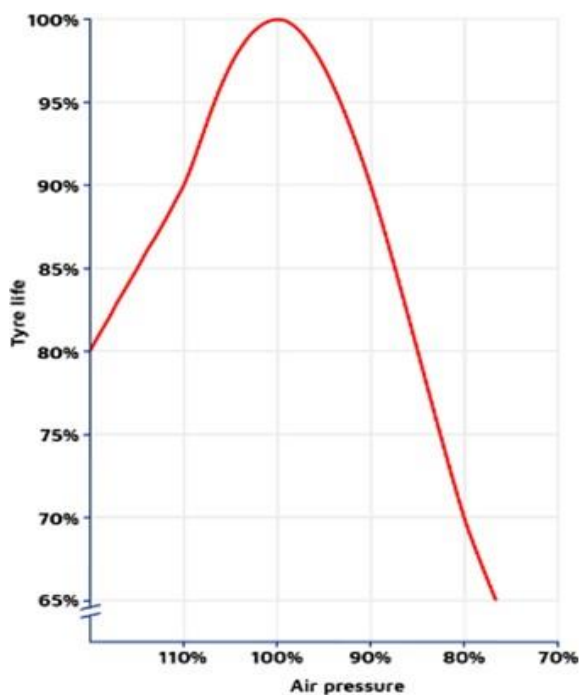
El inflado excesivo también puede reducir la vida útil de los neumáticos.

- Un neumático sobreinflado en un 10 % utilizará un 1 % más de combustible y alcanzará solo el 90 % de su vida normal

La presión de aire incorrecta reduce drásticamente la vida útil de los neumáticos (Figura 14).

Figura 14

Presión de Inflado del Neumático vs Vida Útil del Neumático



Tomado de: <https://www.tyrewatch.com/knowledge/fuel-economy-tyre-wear/>

3.4 Desgaste al Rendimiento de los Neumáticos

Los neumáticos proporcionan la mayor tracción cuando son nuevos, gracias a sus bandas de rodadura profundas y bien definidas. Con neumáticos nuevos, el caucho se agarra tenazmente a la carretera seca, el agua pasa a través de las ranuras laterales para resistir el hidropneumático y arañan la nieve. Pero ahí también es cuando la resistencia a la rodadura es peor.

Esto puede sorprender a los conductores que reemplazan sus neumáticos desgastados por modelos que se sabe que brindan una excelente resistencia a la rodadura. La economía de

combustible de los neumáticos nuevos puede no ser tan buena como la de los neumáticos viejos, pero mejorará a medida que los neumáticos se desgasten (Petersen, 2021).

Por supuesto, una vez que su neumático haya alcanzado $\frac{4}{32}$ de pulgada, es hora de comenzar a buscar llantas nuevas, independientemente de cuán buena haya sido la economía de combustible. Y con $\frac{2}{32}$ pulgadas, es absolutamente el momento de reemplazar el neumático. En la figura 15 se observa la forma de medir la profundidad de labrado del neumático.

Para el hidroplaneo, medir la velocidad a la que los neumáticos rozan la superficie del agua, lo que indica una pérdida de control de la dirección. El frenado húmedo se realiza desde 60 mph y simplemente registra la distancia de frenado. La tracción en nieve es una medida de la distancia recorrida mientras se acelera de 5 a 20 mph en nieve moderadamente compactada. Un neumático que requiere una distancia más corta para alcanzar esa velocidad tiene una mejor tracción en la nieve.

Figura 15

Medición la Profundidad de la Banda de Rodadura



Tomado de: <https://www.consumerreports.org/cars/tires/low-rolling-resistance-tires-can-save-you-money-at-pump-a1547901110/>

Si ahorrar dinero es el objetivo principal cuando se compre un juego de neumáticos, mirar más allá del precio de compra para considerar los costos a largo plazo, reflejados tanto en la vida útil de la banda de rodadura como en la resistencia a la rodadura. Los compradores, naturalmente, pueden evitar los neumáticos caros, pero las pruebas de CR muestran de forma rutinaria que algunos de los neumáticos más caros ofrecen una excelente tracción y una larga vida útil, lo que hace que su verdadero costo de propiedad sea uno de los más bajos.

3.5 Metodología Aplicada

3.5.1 Métodos

Una vez realizado la recopilación y análisis del estado del arte sobre la influencia del tipo de neumático en el consumo de combustible, seleccionando artículos científicos, revistas, libros, documentales y sitios web con información relevante, se procede con la determinación de la metodología adecuada para llevar a cabo las pruebas. Para determinar la influencia del tipo de neumático en el consumo de combustible, se siguen los siguientes pasos:

- Selección de los neumáticos: Seleccionar un conjunto de neumáticos de diferentes marcas, modelos y tipos (verano, invierno, all-season) que se ajusten a las especificaciones del vehículo.
- Medición del consumo de combustible: Conducir el vehículo en una ruta estandarizada y medir el consumo de combustible para cada conjunto de neumáticos.
- Medición de otras variables: Además del consumo de combustible, es importante medir otras variables que puedan influir en los resultados, como la presión de los neumáticos, la temperatura ambiente y la velocidad.
- Análisis de los datos: Analizar los datos recopilados para determinar si existe una relación estadísticamente significativa entre el tipo de neumático y el consumo de combustible. También se pueden comparar las diferentes marcas y modelos de

neumáticos para identificar cuál es el más eficiente en términos de consumo de combustible.

- Conclusiones y recomendaciones: En base a los resultados obtenidos, se pueden extraer conclusiones y hacer recomendaciones sobre el tipo de neumático que se debería utilizar para reducir el consumo de combustible en el vehículo.

Es importante tener en cuenta que los resultados pueden variar dependiendo del vehículo y las condiciones de conducción, por lo que se deben realizar pruebas exhaustivas para obtener resultados precisos y confiables.

3.5.2 Tipo de Estudio

Según el nivel de conocimiento científico (observación, descripción, explicación) al que espera llegar el investigador, se debe formular el tipo de estudio, es decir de acuerdo con el tipo de información que espera obtener. Para realizar el presente trabajo se utiliza la investigación experimental, en donde el investigador puede manipular ciertas variables en estudio para observar la conducta de dichas variables permitiendo analizar los detalles a preferencia del investigador (Guevara Alban, Verdesoto Arguello, & Castro Molina, 2020).

3.5.3 Investigación Exploratoria

Se lleva a cabo un análisis exhaustivo examinando diferentes tipos de neumáticos (nuevos y usados), sus características y su posible relación con la eficiencia en el consumo de combustible. Se espera que los resultados de esta investigación proporcionen una visión inicial sobre cómo la elección de neumáticos podría afectar el consumo de combustible de los vehículos.

3.5.4 Investigación de Campo

La presente investigación de campo tiene como objetivo analizar el impacto del tipo de neumático en el consumo de combustible de vehículos automotores. A medida que la

conciencia ambiental y la eficiencia en el consumo de combustible se vuelven más importantes, es crucial comprender cómo diferentes tipos de neumáticos pueden influir en este factor.

Para lograrlo, se lleva a cabo un estudio exhaustivo que involucra la recopilación de datos de un vehículo equipados con distintos tipos de neumáticos, así como el análisis de factores ambientales y de manejo que podrían influir en los resultados. Los hallazgos de esta investigación podrían tener implicaciones significativas para la industria automotriz y para los conductores en general en Guayaquil.

3.5.5 Investigación Aplicada

Mediante ella podemos poner los modelos de estudio para detallar la técnica de Análisis de la influencia del tipo de neumático en el consumo de combustible usando un Dispositivo Azuga siguiendo los procedimientos técnicos establecidos, y por consiguiente relacionar con los temas de la tecnología que se aprendió durante los años de estudio.

3.6 Descripción del Proceso de Evaluación

Aquí se analiza los impactos de usar diferentes neumáticos 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 Ford F-150, usando primeramente un juego de neumáticos nuevos y luego un juego de neumáticos usados, en una ruta seleccionada de la ciudad de Guayaquil y en distintos periodos de tiempo.

3.6.1 Lugar de las Pruebas

El presente estudio tiene un diseño cuantitativo, correlacional y transversal. Fue desarrollado en la ciudad de Guayaquil (Guayas, Ecuador) (Figura 16), la cual tiene una extensión geográfica de 347 km², con condiciones ambientales de 26-30 °C, viento del NE a 10-15 km/h, humedad del 80-85 % (abril-agosto 2023, fechas de toma de datos).

Figura 16*Lugar de las Pruebas*

3.6.1 Vehículo Utilizado

El vehículo es una camioneta Ford F-150 con motor 3.7L- Ti-VCT V6, debido a que se toma como referencia la estadística de una de las camionetas más vendidas en el Ecuador según los registros de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), En las Tabla 2 se observan las especificaciones del mencionado vehículo.

Tabla 2*Datos del Vehículo Ford F-150*

Dato	Especificación
• Marca	• Ford
• Modelo	• F-150
• Año	• 2012
• Cilindrada	• 3726 cm ³
• Potencia Máxima	• 302 hp @ 6500 rpm
• Combustible	• Gasolina
• Clase del vehículo	• M1-Camioneta
• Alimentación	• Inyección Secuencial Multipunto
• Consumo urbano	• 13.8 L/100 Km
• Consumo autopista	• 10.2 L/100 Km
• Consumo medio	• 12.4 L/100 Km

3.6.2 Dispositivo de Medición Utilizado

El dispositivo Azuga es un sistema de gestión de flotas que ofrece características para ayudar a optimizar el consumo de combustible y reducir los costos de combustible. Aquí hay una evaluación del análisis de consumo de combustible proporcionado por el dispositivo Azuga basado en los resultados de la búsqueda:

- Técnicas de ahorro de combustible: Azuga utiliza ciencia de datos avanzada en el rastreo GPS para asignar puntuaciones de seguridad y combustible basadas en

comportamientos de conducción como exceso de velocidad y frenado. Esto permite a los administradores de flotas identificar a los conductores con hábitos de consumo de combustible ineficientes y brindar capacitación específica para mejorar su eficiencia de combustible.

- **Informes detallados:** Azuga proporciona informes completos sobre el consumo de combustible del vehículo, incluida la economía de combustible y otras métricas relevantes. Estos informes brindan a los administradores de flotas información sobre los patrones de consumo de combustible de sus vehículos y los ayudan a identificar áreas de mejora.
- **Integración de tarjetas de combustible:** Azuga ofrece integración de tarjetas de combustible, lo que permite a los administradores de flotas realizar un seguimiento de los gastos de combustible y monitorear el consumo de combustible en tiempo real. Esta característica ayuda a identificar discrepancias o anomalías en el consumo de combustible y permite un mejor control sobre los costos de combustible.
- **Función FuelSaver:** la función FuelSaver de Azuga brinda información a los conductores sobre la estación de servicio más cercana con el combustible más barato. Esto ayuda a los conductores a tomar decisiones informadas sobre el reabastecimiento de combustible, lo que genera ahorros potenciales en costos de combustible.
- **Alertas en tiempo real:** Azuga proporciona alertas en tiempo real sobre niveles bajos de combustible y las estaciones de servicio más cercanas o baratas en las cercanías. Esto permite a los administradores de flotas tomar medidas inmediatas para garantizar que los vehículos se reabastezcan de combustible de manera eficiente y en las ubicaciones más rentables.

El dispositivo Azuga ofrece una gama de características y herramientas para analizar y reducir de manera efectiva el consumo de combustible en la gestión de flotas. Proporciona informes detallados, alertas en tiempo real e integración con tarjetas de combustible para ayudar a los administradores de flotas a optimizar el uso de combustible y reducir los costos de combustible (Figura 17).

Figura 17

Dispositivo Azuga Conexión en un Vehículo



Tomado de: <https://www.globalfleet.com/fr/technology-and-innovation/global/article/azugas-global-expansion-anticipates-gps-tracking-growth?a=FJA05&curl=1>

Azuga DriveSafe™ es una tecnología galardonada que utiliza el dispositivo de rastreo OBD-II de Azuga junto con la aplicación Azuga FleetMobile para monitorear e incluso impedir que los conductores usen sus teléfonos inteligentes para llamar, enviar correos electrónicos, enviar mensajes de texto, usar aplicaciones o navegar por Internet mientras conducen. Prevenir

el costo exorbitante de un accidente, el impacto en su negocio y, lo que es peor, el impacto en sus conductores es lo que distingue a Azuga (Figura 18).

Figura 18

Dispositivo Telemático Azuga



Tomado de: <https://www.azuga.com/literature/drivesafe>

3.6.3 Especificaciones del Rastreador Azuga

La plataforma Azuga de vehículos conectados se ayuda de nuevas maneras para permitir a los clientes a ahorrar aún más de las especificaciones que vienen en sus vehículos. Meramente conecte el rastreador GPS Azuga en el puerto OBDII de cada vehículo y capture todos los datos de forma instantánea y sencilla.

En la tabla 3 se describen las características principales del dispositivo.

Tabla 3*Características del Dispositivo Azuga***Características Físicas**

Dimensiones y peso	Ultracompacto (L = 1,7", W= 1,8", H= 1"), 31,1 g (1,1 oz)
Ambiente	IP64
Rango de temperatura	-40 °C a +85 °C (en funcionamiento) -40 °C a +85 °C (almacenamiento)
Humedad	0% a 95% (sin condensación) (SAE J1455)
Choque, vibración y calor	SAE J1455 y SAE J1211

En el dispositivo Danlaw (Figura 19), el DataLogger adquiere datos del vehículo a través del puerto OBD-II del vehículo e interactúa con el Gateway para transferir datos de manera segura a los sistemas de back-end.

Figura 19*Danlaw Dispositivos OBDII*

Tomado de: <https://azuga.freshdesk.com/support/solutions/articles/6000170607-how-does-the-azuga-vehicle-tracking-system-work->

3.6.4 Escogimiento de Ruta

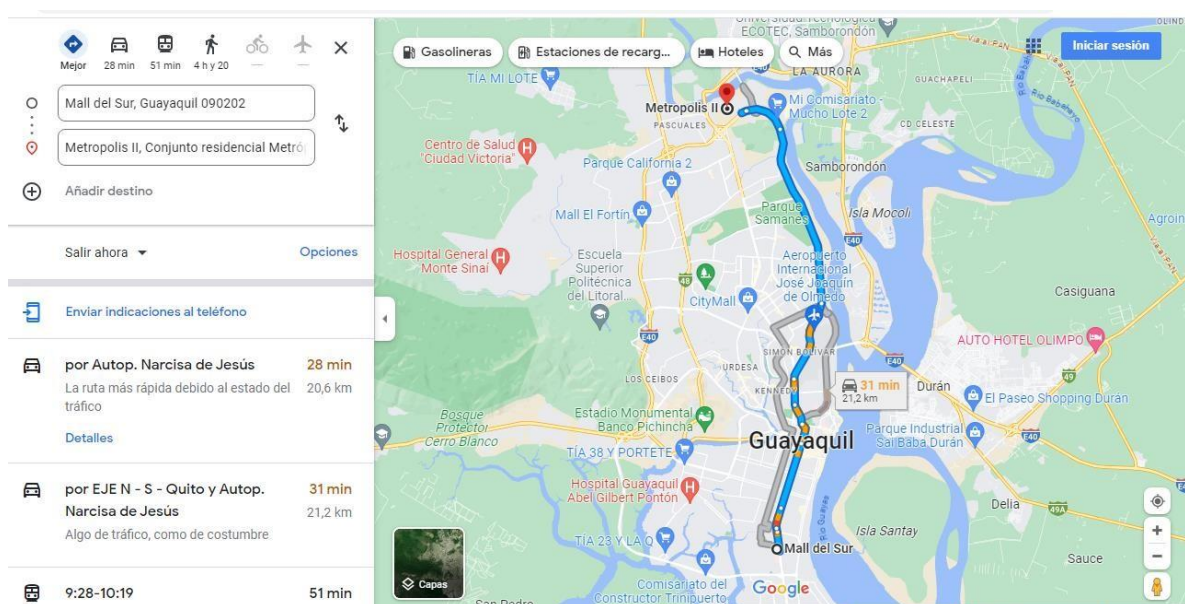
Para la recogida de datos, se condujo el vehículo a gasolina por las rutas predeterminadas, antes y después de cambiar el tipo de neumáticos. Se seleccionaron diferentes horarios, que cubrían las condiciones de manejo, velocidades y peso del vehículo uniformes, así como las especificaciones de las vías (zonas de tráfico, número de semáforos y tipo de vía), para la prueba de campo: cinco en sentido de ida y cinco en sentido de regreso. La figura 20 muestra la ubicación de los ensayos de campo en la ruta seleccionada.

Se escoge esta ruta debido a las facilidades que brinda para la realización de la investigación las cuales son:

- Ruta de alto tráfico.
- Gran número de 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



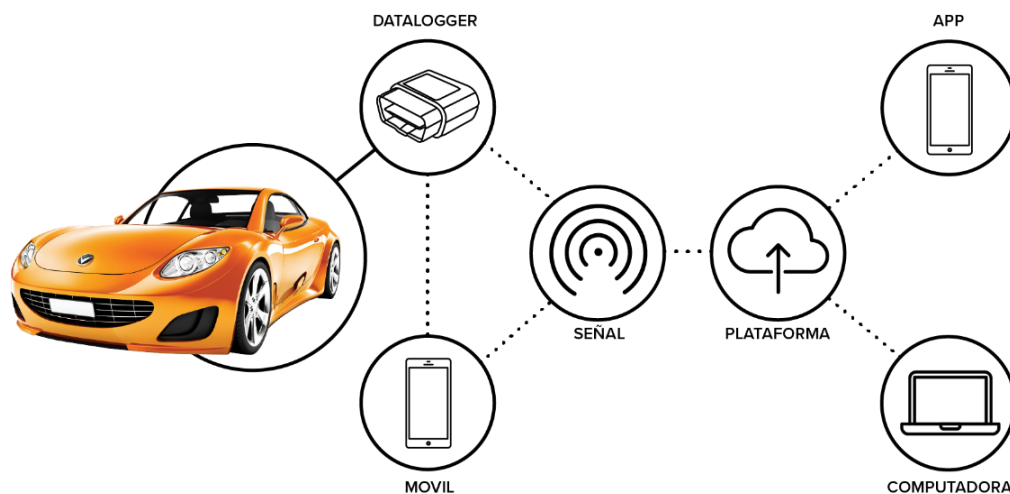
Fuente: (Google Maps, 2023)

3.6.5 Obtención de los Datos

La conducción ecológica se prueba en condiciones reales de tráfico (itinerarios flotantes). Durante la campaña de recopilación de datos, los datos se registran por segundo a través de un dispositivo de registro a bordo preinstalado en cada vehículo. Esto proporciona los valores instantáneos de la posición del GPS, la velocidad, los parámetros del motor y las condiciones operativas durante toda la prueba. Este dispositivo se instala fácilmente en el puerto de diagnóstico del vehículo y envía los datos a un teléfono móvil y/o plataforma de Danlaw con una frecuencia de 1 Hz. Se utiliza una aplicación móvil y/o plataforma para recopilar esta información y se descargan los datos en una hoja de cálculo estándar, que luego se exportó a una computadora de laboratorio (Figura 21).

Figura 21

Registro de Datos



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

Capítulo IV

Análisis de Impacto de los Neumáticos en el Consumo de Combustible

4.1 Descripción

El neumático se desgasta por abrasión de las capas posteriores de la banda de rodadura, lo que tiene una influencia directa en el mantenimiento de los parámetros óptimos del neumático durante la conducción. Cuanto más pequeña sea la banda de rodadura y menos profunda, menor será la resistencia a la rodadura, pero también peor será el agarre sobre mojado. Un producto tan desgastado ya no protege contra el deslizamiento y no proporciona distancias de frenado cortas, por lo que es importante cambiar los neumáticos a tiempo. Un desgaste significativo de la banda de rodadura también puede dar como resultado una reducción del peso y un aumento de la rigidez del neumático (Figura 22).

Figura 22

Reducción del Uso del Transporte



Tomado de: <https://automagazine.ec/la-relacion-de-los-neumaticos-con-el-consumo-de-combustible/>

Hay algunas formas de reducir cuánto se gasta en combustible, pero ninguna puede ser más importante que el mantenimiento del vehículo y la calidad de los neumáticos. El desgaste irregular de los neumáticos no solo afecta el rendimiento del combustible, sino que también

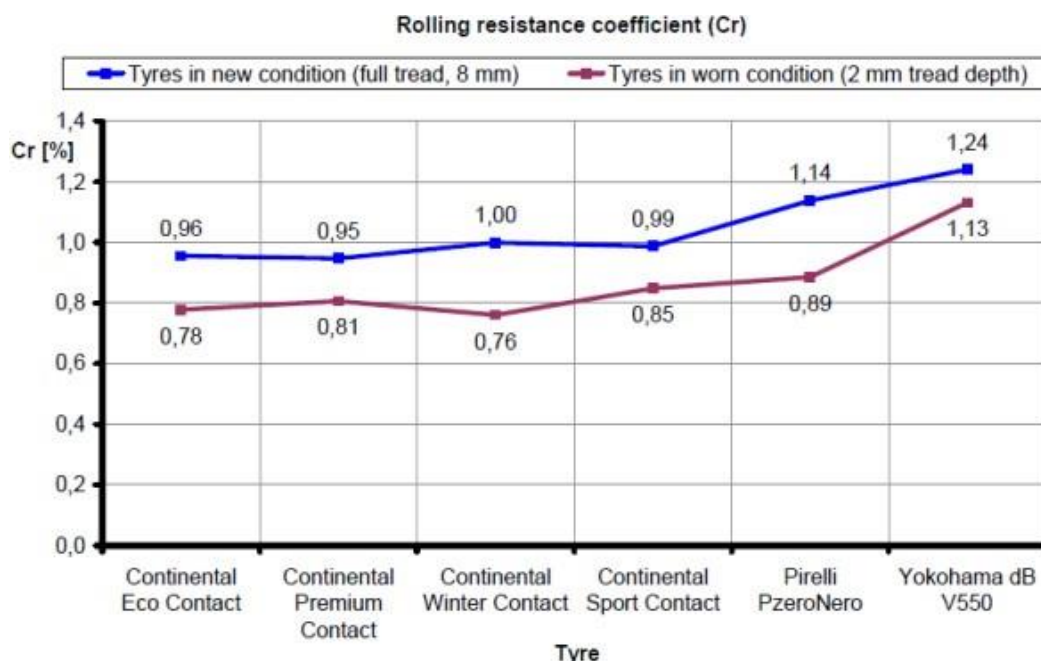
acorta la vida útil de los mismos, lo que significa que gasta aún más dinero en el mantenimiento del vehículo.

4.1.1 Cuantificación de los Impactos del Desgaste del Neumático

Otro factor importante es el grado de desgaste de los neumáticos. Sin embargo, los neumáticos sustancialmente desgastados son más frecuentes en nuestras carreteras y calles que neumáticos nuevos o casi nuevos. Sólo unas pocas investigaciones han abordado el problema básico de cómo y en qué medida el desgaste de los neumáticos influye en el ruido de los neumáticos/carretera. Los resultados de las medidas de resistencia a la rodadura en las instalaciones de BAST se muestran a modo de comparación entre los neumáticos nuevos y completamente desgastados (2 mm de profundidad restante del dibujo). El valor que se muestra es el coeficiente RR expresado en porcentaje de la carga vertical, figura 23.

Figura 23

Variación del Coeficiente de Resistencia a la Rodadura con el Desgaste



Tomado de: Sandberg, U., Glaeser, K-P., Ejsmont J.A., Schwalbe, G., (2008) Silence - The influence of tyre wear and ageing on tyre/road noise emission and rolling resistance, 10 September 2008, Sustainable Development, Global Change & Ecosystems Integrated Project – Contract N. 516288, p 34.

Parece que el coeficiente RR disminuye sustancialmente con el desgaste. La reducción promedio de la nueva condición es 17%.

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).

Se selecciona esta ruta porque según la ATM es donde aproximadamente el 80% de los desplazamientos diarios se realizan en coche (ATM, 2020).

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.

Las pruebas se realizan tanto con neumáticos nuevos como vehículos usados.

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.puomotores.com/13140135/por-que-el-medidor-de-combustible-de-mi-camioneta-chevy-no-funciona-correctamente>

4.1.3 Condiciones del Vehículo de Prueba

Para la realización de las rutas se tomaron en cuenta ciertas recomendaciones (Figura 25), siendo las principales las siguientes:

- respetar los límites de velocidad establecidos dentro de la ciudad a 50 km/h y en las periferias a 90 km/h;
- revisión de la tensión de batería;
- verificación de testigo de tablero;
- uso de cinturón;
- verificación de luces;
- verificación de la presión y estado de los neumáticos;
- verificación de nivel de refrigerante y líquido de freno;
- evitar el frenado dinámico y acelerando;
- conducir en la marcha más alta posible;

- control de la carretera y del entorno que se tiene delante, para que las maniobras estén planificadas con antelación.

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 admiten familiarizarse 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 23 galones.

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 camioneta, año 2014.
- Neumáticos para probar son nuevos y también usados, se deben encontrar en buen estado.
- Vehículos no presentan defectos en la parte mecánica ni electrónica.
- Se dispone de las mismas condiciones para realizar las pruebas con neumáticos usados y con neumáticos nuevos.
- 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.quitomotors.com.ec/>

4.1.6 Obtención de Datos

- El objetivo no es obtener valores precisos del consumo de combustible para los vehículos con MCI.
- En la fase de análisis, se descartan aquellas pruebas que presentan irregularidades o factores extraños que pueden alterar los resultados.
- Cada prueba dura alrededor de 2 horas.
- Los registros de los datos de cada uno de los viajes (Figura 26) se almacenan en línea en la cuenta registrada que pertenece al dispositivo Azuga utilizado.
- Los valores que se obtienen en cada viaje y al instante durante las rutas (Figura 27) se registran a través del dispositivo Azuga acoplado al puerto OBDII del vehículo y pueden ser visualizados en tiempo real a través del portal de acceso, usando el

usuario y contraseña proporcionado por los proveedores de los equipos y dispositivos de medición (DLA Latin America).

Figura 26

Informe de Viajes - Plataforma de Danlaw

FECHA	VEHICULO / ACTIVO	CONDUCTOR	MAPA	VALOR DE LA ETIQUETA	CONDUCTOR	LOS OCUPANTES	ENCENDIDO COME...	FINITE	ENCENDIDO APAGA...	UBICAR	HORA DE VALOR
14-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		14-Jun-2023 07:41 PM -05		14-Jun-2023 07:46 PM -05	Guayaquil 090512, Ecuador	00:07:39
14-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		14-Jun-2023 08:38 PM -05		14-Jun-2023 08:42 PM -05	Guayaquil 090512, Ecuador	00:07:27
15-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		15-Jun-2023 07:56 AM -05		15-Jun-2023 08:04 AM -05	Guayaquil 090512, Ecuador	00:08:26
15-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		15-Jun-2023 11:52 AM -05		15-Jun-2023 12:04 PM -05	Av. Francisco de Orellana, Guayaquil, Ecuador	00:11:36
15-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		15-Jun-2023 05:07 PM -05		15-Jun-2023 05:34 PM -05	Av. Rodrigo Chaves 1014, Guayaquil 090510, Ecuador	00:37:05
15-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		15-Jun-2023 07:19 PM -05		15-Jun-2023 07:25 PM -05	Av. Francisco de Orellana 330, Guayaquil 090512, Ecuador	00:06:36
15-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		15-Jun-2023 07:27 PM -05		15-Jun-2023 07:37 PM -05	Dr. Luis Oreneta Cornejo 22, Guayaquil 090512, Ecuador	00:09:23
15-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		15-Jun-2023 07:34 PM -05		15-Jun-2023 07:45 PM -05	Dr. Luis Oreneta Cornejo, Guayaquil 090512, Ecuador	00:10:28
15-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		15-Jun-2023 06:11 AM -05		15-Jun-2023 06:26 AM -05	Av. Francisco de Orellana, Guayaquil, Ecuador	00:15:16
15-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		15-Jun-2023 10:24 AM -05		15-Jun-2023 10:34 AM -05	Calle 13E NE 311, Guayaquil 090513, Ecuador	00:10:17
15-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		15-Jun-2023 11:07 AM -05		15-Jun-2023 11:51 AM -05	Av. Francisco de Orellana, Guayaquil, Ecuador	00:14:05
15-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		15-Jun-2023 05:48 PM -05		15-Jun-2023 05:56 PM -05	Av. Francisco de Orellana, Guayaquil, Ecuador	00:07:41
15-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		15-Jun-2023 06:28 PM -05		15-Jun-2023 06:35 PM -05	Guayaquil 090512, Ecuador	00:06:28
15-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		15-Jun-2023 07:01 PM -05		15-Jun-2023 11:38 PM -05	Av. Alonso de Montalvo, Zaruma, Ecuador	04:37:16
17-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		17-Jun-2023 06:42 AM -05		17-Jun-2023 06:56 AM -05	Zaruma, Ecuador	00:13:57
17-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		17-Jun-2023 08:08 AM -05		17-Jun-2023 08:58 AM -05	Remedio Empresa 121, Zaruma, Ecuador	00:01:14
17-Jun-2023	FORD 150	Jefferson Alvarado			Jefferson Alvarado		17-Jun-2023 08:58 AM -05		17-Jun-2023 09:58 AM -05	Remedio Empresa 121, Zaruma, Ecuador	00:01:04

Figura 27

Informe de Rutas

CONDUCTOR	FECHA	EVENTO	VELOCIDAD	DIRECCIÓN
Jefferson Alvarado	22-Aug-2023, 12:39 AM ECT	Motor apagado		Guayaquil 090512, Ecuador
Jefferson Alvarado	22-Aug-2023, 01:44 AM ECT	Motor apagado		Guayaquil 090512, Ecuador
Jefferson Alvarado	22-Aug-2023, 02:49 AM ECT	Motor apagado		Guayaquil 090512, Ecuador
Jefferson Alvarado	22-Aug-2023, 03:54 AM ECT	Motor apagado		Guayaquil 090512, Ecuador
Jefferson Alvarado	22-Aug-2023, 04:59 AM ECT	Motor apagado		Guayaquil 090512, Ecuador
Jefferson Alvarado	22-Aug-2023, 06:04 AM ECT	Motor apagado		Guayaquil 090512, Ecuador
Jefferson Alvarado	22-Aug-2023, 07:09 AM ECT	Motor apagado		Guayaquil 090512, Ecuador
Jefferson Alvarado	22-Aug-2023, 08:14 AM ECT	Motor apagado		Guayaquil 090512, Ecuador
Jefferson Alvarado	22-Aug-2023, 09:20 AM ECT	Motor apagado		Guayaquil 090512, Ecuador

- Los valores se registran de manera continua (eventos) en la plataforma de Azuga (Figura 28).
- Para recopilar esta información y permitir descargar los datos en una hoja de cálculo estándar, que luego se exporta a una computadora de laboratorio (Figura 29).

- 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.

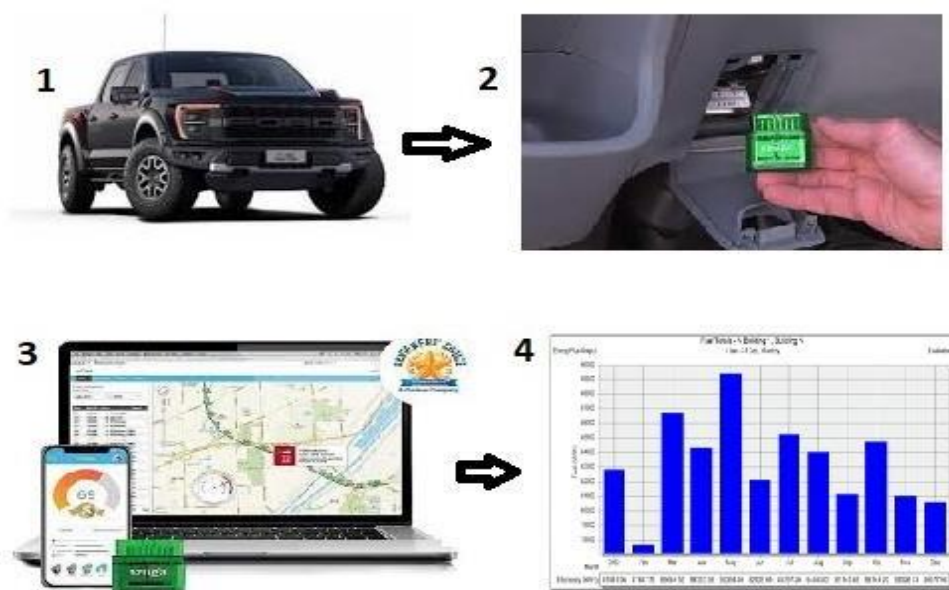
Figura 28

Almacenamiento de Datos



Figura 29

Proceso para Análisis de Datos



4.1.7 Procedimiento

Una vez registrados todos los datos, se utiliza el modelo de análisis estadístico para estimar el consumo instantáneo de combustible del vehículo durante las pruebas. Luego, los datos fueron procesados y los valores estadísticos fueron calculados. Antes de procesar los datos, se aplicaron una serie de filtros para detectar datos erróneos debido a desvíos no programados de rutas o por mal funcionamiento del GPS. Luego se tabulan y se representan los resultados en forma gráfica para mayor entendimiento.

- Se verifica las condiciones iniciales del vehículo.
- Se registra el consumo instantáneo de combustible en litros por kilómetro, en la plataforma.
- Se establecen todos los equipos y la ruta a utilizar.
- Se determinan los parámetros de conducción de la prueba.
- Se utilizan dos tipos de neumáticos para realizar un análisis comparativo (neumáticos nuevos y neumáticos usados).
- Se aplica el método llamado conducción Ecodriving donde es el típico hábito del conductor que se pone a prueba, siguiendo el manual de conducción elaborado por el Ing. Walter Granda.
- Luego se realiza las pruebas con neumáticos nuevos.
- La toma de datos en ruta es usando el software Azuga.
- El registro y monitoreo de los parámetros a evaluar es constante.

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 de los neumáticos se centra en las diferencias en el consumo de combustible de combustible entre el periodo 2 (con neumáticos

nuevos) y el periodo 1 (con neumáticos usados). Cabe destacar que el objetivo de esta investigación era obtener valores exactos de consumo, para comparar la eficiencia de consumo en función del tipo de neumático (estado del neumático) 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 3 y 6 %.

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 4 y 5.

Tabla 4

Resultados Obtenidos Ruta de Ida - Neumáticos Usados

Datos Trayecto "Ida"	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Tiempo de prueba (min)	33	34	33	33	33
Consumo de combustible (litros)	3.05	3.07	3.06	3.04	3.03
Temperatura promedio (°C)	28.9	29.2	29.5	30.1	29.7
Velocidad promedio (km/h)	41.02	40.4	42.7	41.1	41.9
Distancia recorrida Vehículo (km)	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2
Promedio de l/100 km (Vehículo)	12.6	12.68	12.63	12.55	12.54

Tabla 5

Resultados Obtenidos Ruta de Regreso - Neumáticos Usados

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)	2.49	2.53	2.56	2.59	2.49
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)	12.4	12.6	12.76	12.9	12.41

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 6 y 7.

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 6

Resultados Obtenidos Ruta de Ida - Neumáticos Nuevos

Datos Trayecto "Ida"	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Tiempo de prueba (min)	32	33	32	34	33
Consumo de combustible (litros)	2.93	2.87	2.91	2.89	2.86
Temperatura promedio (°C)	28	26	27	28	26.5
Velocidad promedio (km/h)	42.0	42.4	42.7	43.1	41.9
Distancia recorrida Vehículo (km)	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2
<u>Promedio de l/100 km (Vehículo)</u>	12.1	11.88	12.03	11.95	11.84

Tabla 7

Resultados Obtenidos Ruta de Regreso - Neumáticos Nuevos

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)	2.41	2.37	2.47	2.51	2.37
Temperatura promedio (°C)	27	27	27	28	27
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
<u>Promedio de l/100 km (Vehículo)</u>	12	11.8	12.13	12.15	11.91

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 siguientes horarios para realizar las pruebas:

- 1er periodo. Durante la mañana: 7:30–11:30 am
- 2do período. A la hora del Almuerzo: 12:00–4:00 p. m.
- 3er período. Durante la tarde: 4:30–8:30 p. m.

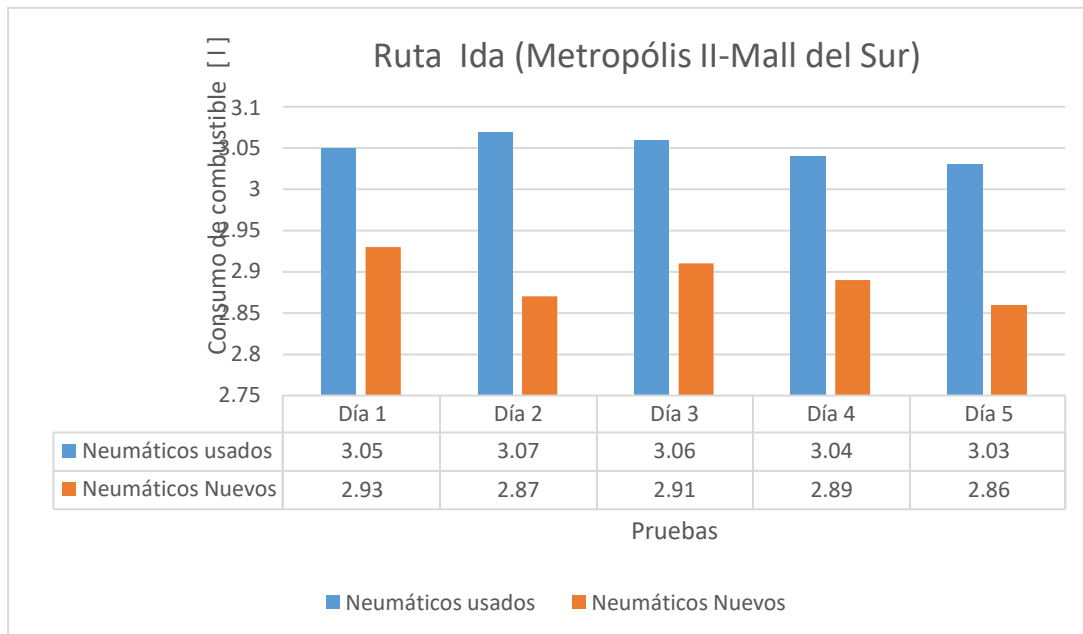
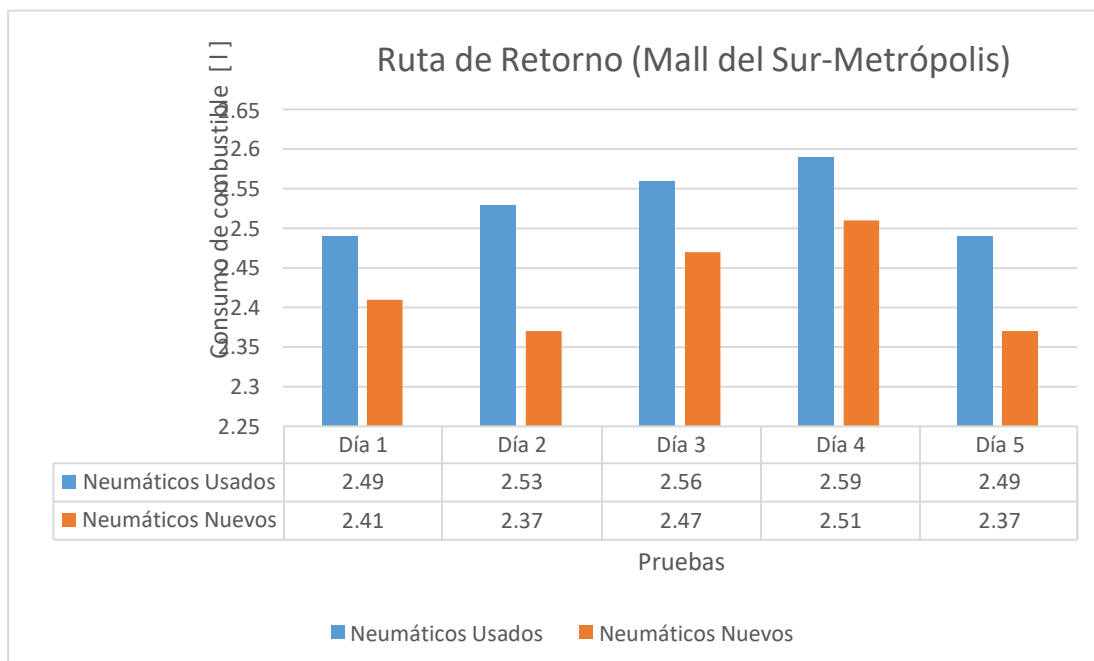
Las primeras pruebas se realizaron durante los meses de abril/mayo de 2023 y las segundas durante los meses junio/julio de 2023, después de realizar el cambio de neumáticos.

En las Figuras 30 y 31 se muestran los resultados obtenidos.

El 100% de los datos de los viajes se registraron correctamente, aunque el consumo instantáneo de combustible fue superior al consumo real de combustible (comprobado por el registro de repostaje).

Tanto en el trayecto de ida como en el de retorno se observa una disminución del consumo de combustible al utilizar neumáticos nuevos, llegando a obtener un valor mínimo de 2,91 litros en la ruta Metrópolis-Mall del Sur y 2,37 litros en la ruta Mall del Sur-Metrópolis, y dichos valores se obtuvieron en el día tres de las pruebas y en día cinco de las pruebas, respectivamente.

Los resultados indican que los neumáticos nuevos proporcionan un ahorro en el consumo de combustible, coincidentemente van de la mano con los resultados de ahorro de combustible.

Figura 30*Análisis Comparativo - Ruta de Ida***Figura 31***Análisis Comparativo - Ruta de Retorno*

La prueba de campo en diferentes sectores de la ruta seleccionada muestra varios resultados en términos de ahorro de combustible y cambios de los neumáticos. Los mayores

ahorros de combustible se lograron en la ruta de Ida Metrópolis-Mall del Sur en el día dos de las pruebas (6,51 %).

La diferencia entre los resultados obtenidos con neumáticos usados y neumáticos nuevos se registró a lo largo de las rutas de prueba, lo que indica que factores como los límites de alta velocidad, aceleración, entre otros; no solo afectan el consumo de combustible, sino también los ahorros potenciales que podrían lograrse mediante el uso de neumáticos en correcto estado (nuevos).

El porcentaje de ahorro de combustible en la ruta de ida se encuentra entre el 3,93% y el 6,51% aproximadamente (Figura 32) y en la ruta de retorno entre el 3,09% y el 6,32% de reducción en el consumo de combustible aproximadamente (Figura 33).

Figura 32

Porcentaje de Reducción del Consumo - Ruta de Ida

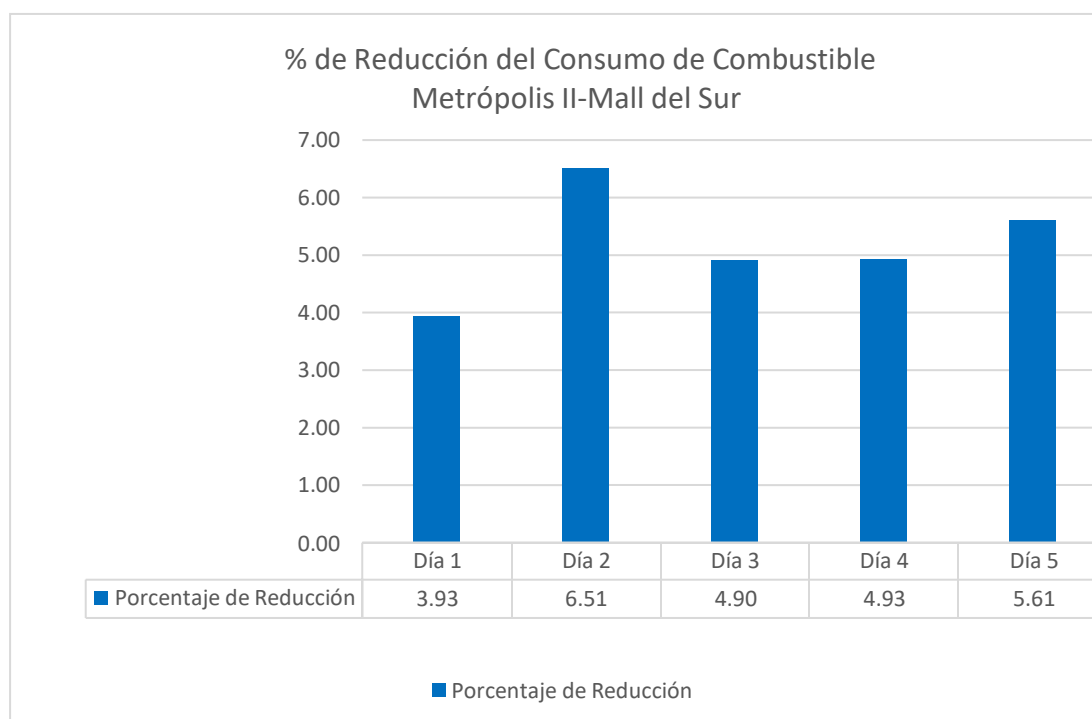
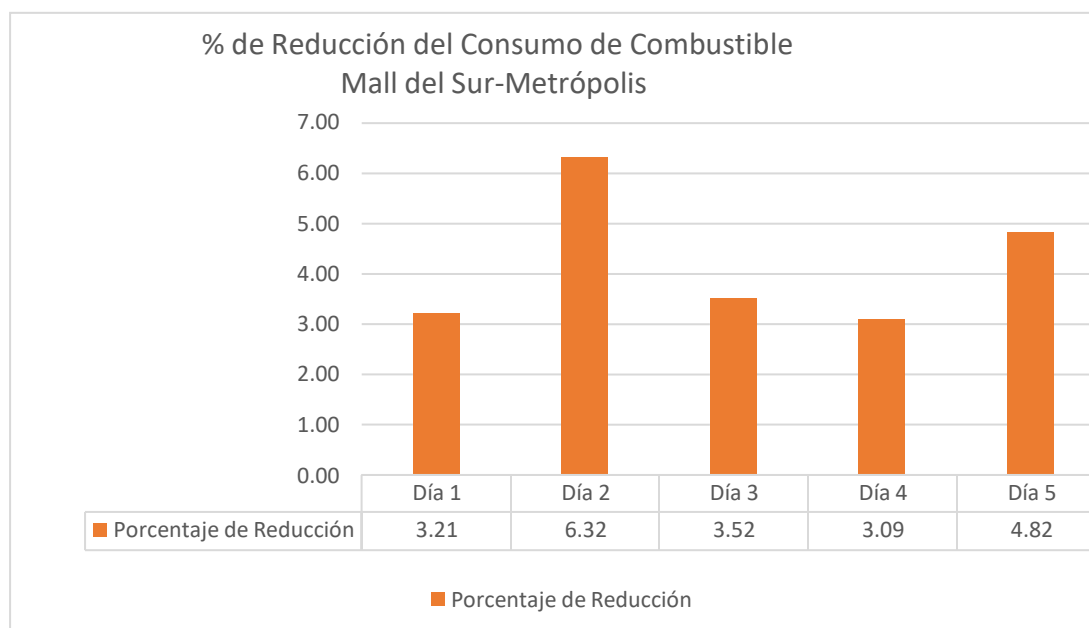


Figura 33

Porcentaje de Reducción del Consumo – Ruta de Retorno



Para determinar la diferencia de consumo se realizaron los dos recorridos el mismo día. Primero con los neumáticos usados y luego con los neumáticos nuevos. Se realizaron las pruebas en lo posible para igualar las condiciones: mismo día, mismo conductor, misma cantidad de combustible en el depósito, temperaturas parecidas y sin cambios apreciables en la dirección del viento (Tabla 8).

Tabla 8

Resultados Obtenidos con los Dos Tipos de Neumáticos

	Neumáticos Usados	Neumáticos Nuevos
• Distancia Recorrida	km	km
• Temperatura	°C	°C
• Velocidad Media	km/h	km/h
• Tiempo Empleado	1:03:4	1:03:4
• Litros consumidos	8,5 l	8,6 l
• Consumo Medio	l/100 km	l/100 km

El consumo con los Neumáticos Nuevos (Michelin) ha sido algo menor. En nuestra prueba, hay un promedio del 4,8 por ciento de diferencia. Es decir, los neumáticos nuevos ofrecen menor resistencia a la rodadura y por ende nos da una mayor eficiencia en el consumo de combustible.

Conclusiones

Al realizar este trabajo, se pudo determinar que el análisis de consumo de combustible en el vehículo al utilizar diferentes neumáticos evidenció la reducción del consumo de combustible y un aumento en el rendimiento de la distancia recorrida por el uso de neumáticos nuevos.

La prueba de ruta utilizando el equipo Onboard en el vehículo, permitió determinar el porcentaje de reducción en el consumo de combustible, mediante los cuales se concluye que se reducen significativamente el consumo de combustible en porcentajes entre el 3 % y 7 %, en las rutas seleccionadas, al utilizar neumáticos nuevos.

Se puede concluir que el uso adecuado de neumáticos en buen estado y con la presión de inflado especificada reduce el consumo de combustible en condición de tráfico normal (hasta en un 7 %).

En general, el dispositivo Azuga ofrece una gama de características y herramientas para analizar y reducir de manera efectiva el consumo de combustible en la gestión de flotas. Proporcionando informes detallados, alertas en tiempo real e integración con tarjetas de combustible para ayudar a los administradores de flotas a optimizar el uso de combustible y reducir los costos de combustible.

La literatura muestra que las bajas presiones de los neumáticos aumentan el consumo de combustible de un vehículo, al igual que su estado (uso). En el presente trabajo de investigación, un estudio y análisis de los datos obtenidos permite estimar que existe colinealidad entre los niveles de presión de los neumáticos y la cantidad de combustible consumido por los vehículos. Se espera que la investigación realizada con más datos fortalezca aún más esta relación lineal entre las dos variables.

En general, el análisis de la influencia del tipo de neumático en el consumo de combustible resalta la importancia de tomar decisiones informadas al elegir neumáticos para

un vehículo. La elección adecuada no solo puede contribuir a la eficiencia del combustible, sino también a la seguridad y el rendimiento general del vehículo.

La elección del tipo de neumático puede tener un impacto medible en el consumo de combustible de un vehículo. Al optar por neumáticos con menor resistencia a la rodadura, mantener el tamaño y la presión adecuados, y considerar las necesidades de rendimiento del vehículo, los conductores pueden contribuir a una mayor eficiencia en el consumo de combustible y a una reducción en la huella de carbono.

Recomendaciones

Este documento puede ser usado como base para investigaciones futuras relacionadas, dirigidas al uso y aplicación de diferentes tipos y marcas de neumáticos, enfocándose en la selección de rutas y condiciones ambientales que mejor resultado proporcionen, así como otros tipos de parámetros que puedan influir en los resultados obtenidos.

Dado que el impacto del tipo de neumático puede variar según el vehículo y las condiciones de conducción, es importante considerar recomendaciones específicas para cada caso. Un análisis más detallado y pruebas prácticas pueden ayudar a determinar qué tipo de neumático es el más adecuado para un vehículo en particular.

Bibliografía

- Aldhufairi, H. S., & Olatunbosun, O. A. (2018). Developments in tyre design for lower rolling resistance: a state of the art review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 232(14), 1865-1882.
- Benedetto, P., Han, Ke, Friesz, Terry L., Yao, Tao, 2013. Estimating fuel consumption and emissions via traffic data from mobile sensors. In: *Fifty-first Annual*.
- Berrezueta, M. F. G., Mena, A. F. L., Torres, P. W. M., & Estrella-Guayasamín, M. X. (2023). Programación del transponder en sistemas inmovilizadores para automóviles tipo M1. *South Florida Journal of Development*, 4(2), 857-866.
- Čiplienė, A., Gurevičius, P., Janulevičius, A., & Damanauskas, V. (2019). Experimental validation of tyre inflation pressure model to reduce fuel consumption during soil tillage. *Biosystems engineering*, 186, 45-59.
- d'Ambrosio, S., & Vitolo, R. (2019). Potential impact of active tire pressure management on fuel consumption reduction in passenger vehicles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 233(4), 961-975.
- Fontaras, G., Zacharof, N. G., & Ciuffo, B. (2017). Fuel consumption and CO2 emissions from passenger cars in Europe—Laboratory versus real-world emissions. *Progress in energy and combustion Science*, 60, 97-131.
- Guevara Alban, G. P., Verdesoto Arguello, A. E., & Castro Molina, N. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas y de investigación-acción). *Revista Científica Mundo de la Investigación y Conocimiento*, pp. 163-173.
- Guillou, M., & Bradley, C. (2010). Fuel consumption testing to verify the effect of tire rolling resistance on fuel economy (No. 2010-01-0763). *SAE Technical Paper*.

- Hernandez, J. A., Al-Qadi, I. L., & Ozer, H. (2017). Baseline rolling resistance for tires' on-road fuel efficiency using finite element modeling. *International Journal of Pavement Engineering*, 18(5), 424-432.
- INEN. (2016). NTE INEN 2656 - Clasificación Vehicular. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10042/1/15672.pdf>
- IEA, 2013. CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2013, IEA, Paris. doi: http://dx.doi.org/10.1787/co2_fuel-2013-en (2014, accessed 20 February 2015).
- Joumard, R., Jost, P, Hickman, J., 1985. Influence of instantaneous speed and acceleration on hot passenger car emissions and fuel consumption. SAE Technical Paper 1995-950928.
- Kamal, M.A.S., Mukai, M., Murata, J., Kawabe, T., (2011). Ecological vehicle control on roads with up-down slopes. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 12 (3), 783–794.
- Loor Benites, L. F., Izquierdo Sánchez, B. D., & Gómez Berrezueta, F. T. (2023). Evaluación del Impacto del Ecodriving en Vehículos M1 en Guayaquil.
- Méndez Torres, P. W., Gómez Berrezueta, M. F., & Llerena Mena, A. F. (2020). Análisis de la viabilidad para la implementación de vehículo eléctrico que preste servicio de taxi en la ciudad de Cuenca.
- Moinfar, A., Shahgholi, G., Gilandeh, Y. A., & Gundoshmian, T. M. (2020). The effect of the tractor driving system on its performance and fuel consumption. *Energy*, 202, 117803.
- Moreira-Romero, A. F. (2018). Contaminación del aire en el medio ambiente por las emisiones de gases tóxicos de empresas industriales en Ecuador. *Polo del Conocimiento*, pp. 273-280.
- National Research Council (US). Transportation Research Board. Committee for the National Tire Efficiency Study. (2006). Tires and passenger vehicle fuel economy: informing consumers, improving performance (Vol. 286). Transportation Research Board.

- Pillai, P. S. (2004). Effect of tyre overload and inflation pressure on rolling loss (resistance) and fuel consumption of automobile and truck/bus tyres.
- Rojas Moncayo, M. V., Caraballo Núñez, M. A., Álvarez Hernández, O. H., & Vivanco Pinta, S. (2018). Emisión de dióxido de carbono de vehículos automotores en la ciudad de Loja, Ecuador. *Revista del Centro de Estudios y Desarrollo de la Amazonía*, pp. 23-29.
- Said, I., Okte, E., Hernandez, J., & Al-Qadi, I. L. (2021). Impact of New Generation Wide-Base Tires on Fuel Consumption. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 147(2), 04021011.
- 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.

