



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

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autor: Andy Fernando Guachamboza Párraga

Tutor: Ing. Fernando Gómez Berrezueta, M.Sc.

**Estimación de la Influencia de la Apertura de Ventanas en el
Consumo de Combustible de un Vehículo SUV Usando un
Dispositivo Azuga**

Certificado de Autoría

Yo, Andy Fernando Guachamboza Párraga, 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.

Andy Fernando Guachamboza Párraga

C.I.: 0929730448

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, M.Sc.

C.I.: 0103441846

Director de Proyecto

Dedicatoria

A Dios, por darme la fuerza, la sabiduría y la perseverancia para culminar esta etapa.

A mis padres, por su amor incondicional, por creer en mí siempre y por ser mi mayor
fuente de inspiración.

A mi familia, por su apoyo constante, sus palabras de aliento y su paciencia a lo largo
de este camino.

A mis amigos y seres queridos, por estar presentes en los momentos más importantes
y ofrecerme su compañía sincera.

Andy Guachamboza

Agradecimiento

Agradezco profundamente a todas las personas e instituciones que contribuyeron al desarrollo
y culminación de este trabajo.

A mi tutor el Ing. Fernando Gómez Berrezueta, por su orientación, conocimientos y valiosos
aportes durante todo el proceso de investigación.

A la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), por brindarme las herramientas y el
espacio académico para crecer profesionalmente.

A mis docentes, quienes con su dedicación y enseñanza marcaron una huella en mi
formación.

A mis compañeros de estudio, por su apoyo, colaboración y por compartir conmigo esta etapa
llena de aprendizajes.

Y finalmente, gracias a todas aquellas personas que, de una u otra forma, aportaron su granito
de arena en este camino. Este logro también es suyo.

Andy Guachamboza

Índice General

Certificado de Autoría.....	iii
Aprobación del Tutor	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tablas	xii
Resumen.....	xiii
Abstract	xiv
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	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación.....	5
1.4.1 Justificación Teórica.....	6
1.4.2 Justificación Metodológica	6
1.4.3 Justificación Práctica.....	6
1.4.4 Delimitación Temporal	6

1.4.5	<i>Delimitación Geográfica</i>	7
1.4.6	<i>Delimitación del Contenido</i>	7
	Capítulo II	8
	Marco Referencial	8
2.1	Marco Teórico	8
2.1.1	<i>Conceptos Preliminares</i>	8
2.1.2	<i>Uso del Aire Acondicionado Versus el Consumo de Combustible</i>	9
2.1.3	<i>Aire Acondicionado o Ventanillas y la Eficiencia del Combustible</i>	11
2.1.4	<i>Aerodinámica vs Costos de Combustible</i>	11
2.1.5	<i>Influencia de la Posición de las Ventanillas en el Consumo de Combustible</i>	12
2.2	Marco Conceptual	13
2.2.1	<i>Consumo de Combustible</i>	13
2.2.2	<i>Impacto de la Apertura de Ventanas</i>	14
2.2.3	<i>Ventanas Abiertas vs. Uso de Aire Acondicionado</i>	14
2.2.4	<i>Eficiencia del Combustible</i>	15
2.2.5	<i>El Ahorro de Combustible en Climas Cálidos</i>	16
2.2.6	<i>Bajar las Ventanas</i>	17
2.2.7	<i>Conducir a Alta Velocidad con las Ventanas Abiertas</i>	18
2.2.8	<i>Factores que Afectan la Eficiencia del Combustible</i>	18
2.2.9	<i>Sistemas de Aire Acondicionado</i>	19
2.2.10	<i>Aerodinámica</i>	20
2.2.11	<i>Efecto de la Resistencia Aerodinámica en el Ahorro de Combustible</i>	20
	Capítulo III.....	22
	Proceso Metodológico para Evaluar la Relación entre la Apertura de Ventanas y el Consumo de Combustible.....	22

3.1	Métodos.....	22
3.2	Tipo de Estudio	23
3.2.1	<i>Estudio Experimental</i>	23
3.2.2	<i>Estudio Aplicado</i>	23
3.3	Selección del Vehículo y Herramienta de Medición.....	24
3.4	Definición de Variables.....	26
3.5	Elección de la Ruta.....	27
3.6	Preparación del Experimento	27
3.7	Diseño del Protocolo de Pruebas.....	28
3.8	Ejecución de las Pruebas	28
3.9	Análisis de Datos.....	30
3.10	Discusión e Interpretación.....	30
3.11	Validación	30
	Capítulo IV.....	31
	Análisis de Resultados	31
4.1	Descripción.....	31
4.2	Factores Influyentes en el Consumo de Combustible de un Vehículo SUV	31
4.3	Fundamentación de la Selección de Velocidades.....	32
4.4	Resultados de Consumo de Combustible	33
4.5	Análisis Gráfico de los Resultados.....	34
4.5.1	<i>Gráfico de Consumo a 20 km/h</i>	34
4.5.2	<i>Gráfico de Consumo a 45 km/h</i>	35
4.5.3	<i>Gráfico de Consumo a 80 km/h</i>	35
4.6	Análisis Estadístico de Correlaciones	36
4.7	Consumo para el Renault Duster 2022 (Recorrido 20,9 km).....	37

Conclusiones	42
Recomendaciones.....	43
Bibliografía.....	44

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Consumo de Combustible</i>	3
Figura 2 <i>Incremento del Consumo de Combustible en Función de la Velocidad de Vehículo</i> ..	4
Figura 3 <i>Consumo de Combustible Ventanas vs A/C</i>	9
Figura 4 <i>Eficiencia de Consumo de Combustible en un Vehículo</i>	10
Figura 5 <i>Sistemas de Climatización Inteligentes</i>	12
Figura 6 <i>Consumo de Combustible (l/100 km) y Ahorro de Combustible (km/l)</i>	13
Figura 7 <i>Temperatura Interior del Automóvil</i>	15
Figura 8 <i>Eficiencia de Combustible</i>	16
Figura 9 <i>Factores que Afectan la Eficiencia del Combustible</i>	19
Figura 10 <i>Ciclo de Conducción</i>	21
Figura 11 <i>Dispositivo Azuga</i>	25
Figura 12 <i>Danlaw Dispositivo OBDII</i>	26
Figura 13 <i>Ruta de Pruebas</i>	27
Figura 14 <i>Factores que Influyen en el Consumo de Combustible</i>	32
Figura 15 <i>Consumo de Combustible a 20 km/h</i>	34
Figura 16 <i>Consumo de Combustible a 45 km/h</i>	35
Figura 17 <i>Consumo de Combustible a 80 km/h</i>	36
Figura 18 <i>Consumo de Combustible vs Posición de las Ventanas del Vehículo</i>	39
Figura 19 <i>Consumo de Combustible vs Velocidad del Vehículo</i>	40
Figura 20 <i>Influencia de la Apertura de las Ventanas en el Consumo de Combustible</i>	40

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Características del Vehículo</i>	24
Tabla 2 <i>Tabla Resumen de Límites por Tramo</i>	29
Tabla 3 <i>Resultados Promedios</i>	34
Tabla 4 <i>Coeficiente de Correlación</i>	36
Tabla 5 <i>Consumos en Km/L</i>	37
Tabla 6 <i>Consumos en Litros</i>	38

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo estimar la influencia de la apertura de ventanas en el consumo de combustible de un vehículo SUV, utilizando el dispositivo de telemetría Azuga para la recolección de datos en tiempo real. Se llevaron a cabo pruebas comparativas en condiciones controladas, considerando dos escenarios: conducción con ventanas completamente cerradas y conducción con ventanas abiertas, a distintas velocidades (20 km/h, 45 km/h y 80 km/h). La metodología incluyó la recopilación de datos como velocidad, consumo de combustible, aceleración y régimen del motor, analizados mediante técnicas estadísticas para determinar diferencias significativas entre las condiciones evaluadas. Los resultados evidenciaron que, a velocidades altas, la apertura de ventanas incrementa notablemente el consumo de combustible debido al aumento de la resistencia aerodinámica, alcanzando un incremento de hasta el 15 % a 80 km/h, mientras que a velocidades bajas la diferencia fue marginal. Se concluye que mantener las ventanas cerradas y utilizar el sistema de aire acondicionado es más eficiente en trayectos a alta velocidad. Este estudio resalta la utilidad de dispositivos como Azuga para investigaciones en eficiencia vehicular y fomenta prácticas de conducción que optimicen el consumo energético.

Palabras Clave: consumo de combustible, resistencia aerodinámica, ventanas abiertas, telemetría vehicular, eficiencia energética

Abstract

The objective of this study was to estimate the influence of window opening on the fuel consumption of an SUV, using the Azuga telematics device to collect real-time data. Comparative tests were conducted under controlled conditions, considering two scenarios: driving with windows fully closed and driving with windows open, at different speeds (20 km/h, 45 km/h, and 80 km/h). The methodology included collecting data such as speed, fuel consumption, acceleration, and engine RPM, which were analyzed using statistical techniques to determine significant differences between the evaluated conditions. The results showed that, at high speeds, opening the windows significantly increases fuel consumption due to the rise in aerodynamic drag, reaching an increase of up to 15% at 80 km/h, while at lower speeds the difference was marginal. It is concluded that keeping the windows closed and using the air conditioning system is more efficient during high-speed trips. This study highlights the usefulness of devices like Azuga for research on vehicle efficiency and promotes driving practices that optimize energy consumption.

Keywords: Fuel consumption, aerodynamic drag, open windows, vehicle telemetry. Energy efficiency.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema de Investigación

Estimación de la influencia de la apertura de ventanas en el consumo de combustible de un vehículo SUV usando un dispositivo Azuga.

1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

El consumo de combustible en vehículos ha sido un tema de interés continuo debido a su impacto en la economía de los usuarios y en el medio ambiente. En particular, la apertura de ventanas en un vehículo SUV podría influir en el consumo de combustible debido a los cambios en la aerodinámica del vehículo. Aunque se ha estudiado ampliamente cómo factores como la velocidad, el peso del vehículo y las condiciones de la carretera afectan el consumo de combustible, la influencia de la apertura de ventanas en un SUV, especialmente utilizando tecnología como el dispositivo Azuga, no ha sido investigada en profundidad. Este estudio busca abordar esta brecha en el conocimiento, evaluando cuantitativamente cómo la apertura de ventanas afecta el consumo de combustible en un SUV bajo diferentes condiciones de conducción.

1.2.1 Planteamiento del Problema

En este contexto, el uso del aire acondicionado en un vehículo influye directamente en el consumo de combustible en un vehículo. Esto depende de diferentes factores, como la temperatura del exterior, el modelo del automóvil, la capacidad del motor y la intensidad a la que se traiga el aire, pero se estima que, en algunos automóviles, puede consumir alrededor de 1 litro de combustible extra por cada 100 km.

En un estudio que realizó la Society of Automotive Engineers de Estados Unidos se descubrió que, si bien usar el aire acondicionado gasta gasolina, conducir a grandes velocidades con las ventanas abiertas, tiene un impacto más severo en el consumo de combustible. Esto

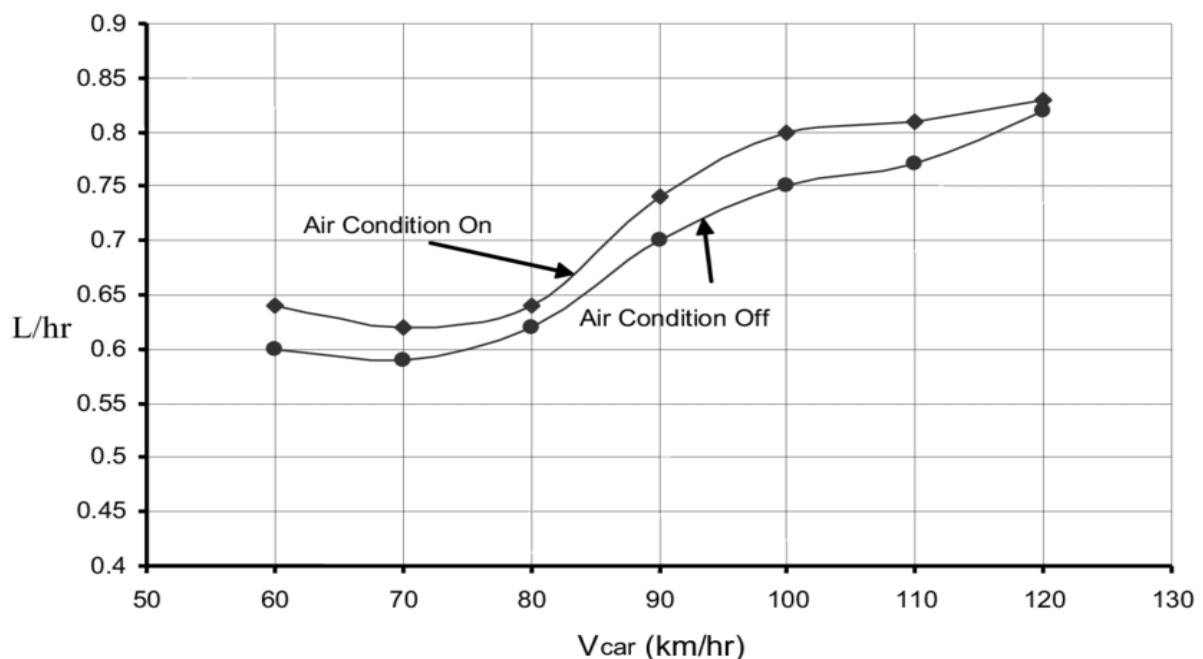
quiere decir que, si se viaja en carretera y para no usar el aire acondicionado, se baja las ventanas del vehículo, se gastará bastante más gasolina. Lo que se descubrió en el estudio fue que, con las ventanas abajo, el aire que entra al automóvil genera una gran resistencia al movimiento del automóvil, por lo cual el motor se forzará más para avanzar y por lo tanto consumirá más combustible (Nexu.mx, 2024).

Además de saber que el aire acondicionado sí afecta el gasto de gasolina, se descubrió que en la camioneta SUV, el consumo de combustible aumentó en un 8%, mientras que en el sedán el gasto de gasolina fue un 20% mayor. Esto quiere decir que manejar a altas velocidades y con las ventanas abajo, afecta más a un auto con un diseño más aerodinámico. Los expertos coinciden que, si se conduce a más de 64 km/h, es mejor utilizar el aire acondicionado, mientras que, si la velocidad es mejor, lo mejor será bajar las ventanas (Nexu.mx, 2024).

Estudios demuestran que el aire acondicionado puede reducir el consumo de combustible de los vehículos entre 3 y 4 millas por galón (MPG) en ciudad. El impacto disminuye a velocidades más altas, ya que la resistencia aerodinámica es un factor más importante.

En los vehículos híbridos y eléctricos, el impacto del aire acondicionado en la eficiencia de combustible es menor, alrededor de 1-2 MPG. Esto se debe a que los híbridos utilizan motores eléctricos de forma más eficiente para alimentar el compresor del aire acondicionado. Los vehículos eléctricos también convierten la electricidad almacenada para alimentar el aire acondicionado, evitando así un aumento directo en el consumo de combustible.

El dispositivo Azuga es un avanzado sistema de monitoreo de flotas y vehículos que proporciona datos en tiempo real sobre diversos aspectos del vehículo, incluyendo la presión de los neumáticos. Sin embargo, a pesar de la creciente adopción de este tipo de tecnologías, existe una laguna en la literatura científica y técnica respecto a cómo estos sistemas específicos afectan el consumo de combustible en vehículos (Figura 1).

Figura 1*Consumo de Combustible*

Tomado de: <https://www.businessinsider.com/car-fuel-efficiency-ac-air-conditioner-on-windows-down-open-2013-9>

Surge una pregunta ¿Qué opción ahorra más dinero: Ventanas arriba y aire acondicionado encendido, o ventanas abajo y sin aire acondicionado?.

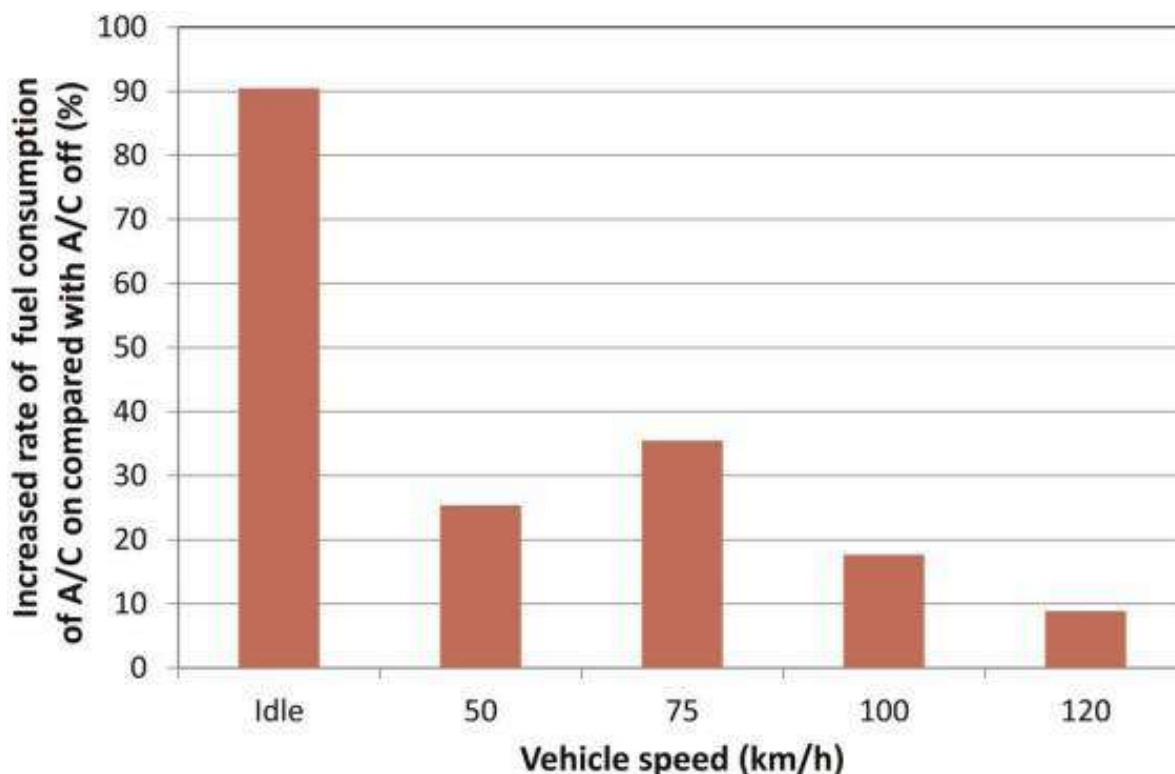
Hay dos factores principales a considerar al abordar esta cuestión. El primero se relaciona con el funcionamiento del compresor de aire del coche y la cantidad de combustible adicional que el motor necesita para seguir funcionando. El segundo es la resistencia del aire o arrastre. El arrastre es la resistencia que encuentran los automóviles, y todos los objetos en movimiento, al desplazarse por el aire a cualquier velocidad. La mayoría de los automóviles modernos están diseñados para ser relativamente aerodinámicos, lo que les permite circular por el aire con mínima resistencia.

Normalmente, el aire acondicionado (A/C) aumenta el consumo de combustible en los motores aproximadamente un 20% debido a la carga adicional que requiere su funcionamiento.

Por lo tanto, los fabricantes buscan estrategias de control para reducir el consumo de combustible mediante el desarrollo de sistemas de A/C más eficientes (Figura 2).

Figura 2

Incremento del Consumo de Combustible en Función de la Velocidad de Vehículo



Tomado de: https://www.rohde-schwarz.com/cz/solutions/automotive-testing/in-vehicle-networks-and-ecu-testing/in-vehicle-networks-and-ecu-testing_231834.html

1.2.2 Formulación del Problema

¿Cómo influye la apertura de ventanas en el consumo de combustible de un vehículo SUV durante la conducción, y cómo puede ser cuantificada esta influencia utilizando el dispositivo Azuga?

1.2.3 Sistematización del Problema

- ¿Cuáles son los efectos aerodinámicos de la apertura de ventanas en un vehículo SUV a diferentes velocidades?

- ¿Cómo varía el consumo de combustible en un SUV con la apertura de ventanas bajo diferentes condiciones de conducción (ciudad vs. carretera)?
- ¿Qué precisión y utilidad tiene el dispositivo Azuga en la medición y análisis del consumo de combustible relacionado con la apertura de ventanas?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

- Determinar la influencia de la apertura de las ventanas en el consumo de combustible de un vehículo SUV Renault Duster usando un dispositivo Azuga.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Describir los factores influyentes en el consumo de combustible de un vehículo SUV.
- Evaluar la relación entre la apertura de ventanas del vehículo y el consumo de combustible.
- Efectuar un análisis estadístico de los datos recopilados en función de las correlaciones entre la apertura de las ventanas y el consumo de combustible del vehículo.

1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación

La presente investigación sobre la estimación de la influencia de la apertura de ventanas en el consumo de combustible de un vehículo SUV es de gran relevancia tanto desde el punto de vista económico como medioambiental. Los vehículos SUV, debido a su mayor tamaño y peso, tienden a consumir más combustible que otros tipos de automóviles, lo que los convierte en un punto de interés particular en estudios relacionados con la eficiencia energética y la reducción de emisiones contaminantes.

1.4.1 Justificación Teórica

La justificación teórica del proyecto es fundamental para establecer la relevancia y la importancia del estudio. A continuación, se presenta una justificación teórica detallada para respaldar este proyecto:

- **Impacto en el Consumo de Combustible:** Estudios relacionados con el consumo de combustible en función de la apertura de las ventanas. Estos estudios se han centrado principalmente en vehículos convencionales, pero la investigación sobre vehículos SUV específicamente utilizando tecnologías de monitoreo como el dispositivo Azuga es limitada.

1.4.2 Justificación Metodológica

La justificación metodológica del proyecto para resolver este problema, se lleva a cabo un estudio exhaustivo que incluye la recopilación y análisis de datos empíricos, así como la aplicación de métodos estadísticos adecuados para evaluar la correlación entre la apertura de las ventanas del vehículo y el consumo de combustible en vehículos SUV, utilizando el dispositivo Azuga. Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa y con base científica que puede guiar futuras decisiones en la industria automotriz y contribuir al conocimiento general sobre la eficiencia de combustible en vehículos.

1.4.3 Justificación Práctica

Este proyecto es esencial para comprender y cuantificar el impacto de la apertura de las ventanas del vehículo en el consumo de combustible del vehículo SUV utilizando el dispositivo Azuga.

1.4.4 Delimitación Temporal

El proyecto se efectúa durante un período de 4 meses, comenzando en abril de 2025 y finalizando en julio de 2025.

1.4.5 Delimitación Geográfica

El trabajo se desarrolla en la ciudad de Guayaquil. Este proyecto se lleva a cabo en un entorno urbano, focalizándose en vehículos tipo SUV variando la apertura de las ventanas.

1.4.6 Delimitación del Contenido

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

Capítulo II

Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

En la actualidad, la eficiencia energética y la reducción del consumo de combustible en vehículos son temas de gran relevancia debido a su impacto económico y ambiental. Diversos estudios han analizado los factores que influyen en el consumo de combustible, entre ellos, la resistencia aerodinámica, que puede verse afectada por la apertura de ventanas durante la conducción. La resistencia al aire incrementa el esfuerzo del motor, generando un mayor consumo energético. Sin embargo, la cuantificación precisa de este impacto en vehículos tipo SUV, especialmente utilizando tecnologías modernas como dispositivos de telemetría vehicular, aún es un área con oportunidades de investigación (Mogro, 2021).

El dispositivo Azuga, que permite la captura de datos en tiempo real relacionados con el rendimiento del vehículo, se presenta como una herramienta eficaz para monitorear y analizar estas variables de manera detallada y objetiva. Este marco referencial recopila y analiza antecedentes teóricos y empíricos sobre la resistencia aerodinámica, consumo de combustible y el uso de tecnologías telemétricas, para contextualizar el estudio y fundamentar la metodología aplicada en la estimación del impacto de la apertura de ventanas en vehículos SUV.

2.1.1 Conceptos Preliminares

Son muchos los factores que pueden repercutir en la eficiencia de consumo de combustible, entre ellos, la carga del motor y la aerodinámica del vehículo. A velocidad de autopista, el aerodinamismo del vehículo y la eficiencia de consumo de combustible son superiores si se conduce con las ventanillas subidas y el aire acondicionado (A/C) activado que si lleva las ventanillas bajadas y el A/C desactivado. A velocidades más bajas (conducción por

ciudad), el impacto de la resistencia aerodinámica debido a llevar las ventanillas bajadas es menos significativo.

En estos casos, el consumo de combustible puede ser más eficiente si conduce con las ventanillas bajadas y el A/C apagado (Figura 3).

Figura 3

Consumo de Combustible Ventanas vs A/C



Tomado de: <https://www.fuelcardservices.com/should-i-use-ac-or-open-my-windows/>

2.1.2 Uso del Aire Acondicionado Versus el Consumo de Combustible

Según Luis Benavides, experto y jefe de sala en Ben Automotriz, el uso del aire acondicionado puede aumentar el consumo de combustible en un 10% más de lo habitual. Sin embargo, optar por bajar las ventanas puede afectar el rendimiento de combustible hasta en un 20% adicional.

Benavides explica que se han llevado a cabo diversas pruebas como el estudio de la Society of Automotive Engineers (SAE) en Estados Unidos revelado en su portal SAE International, que reveló que conducir con las ventanas cerradas y el aire acondicionado encendido es la forma más eficiente de ahorrar combustible, excepto en ciertas circunstancias. La investigación se realizó en un túnel de viento de General Motors, donde se simuló viento cruzado y se controlaron las temperaturas y la velocidad del vehículo. Se probaron un SUV y

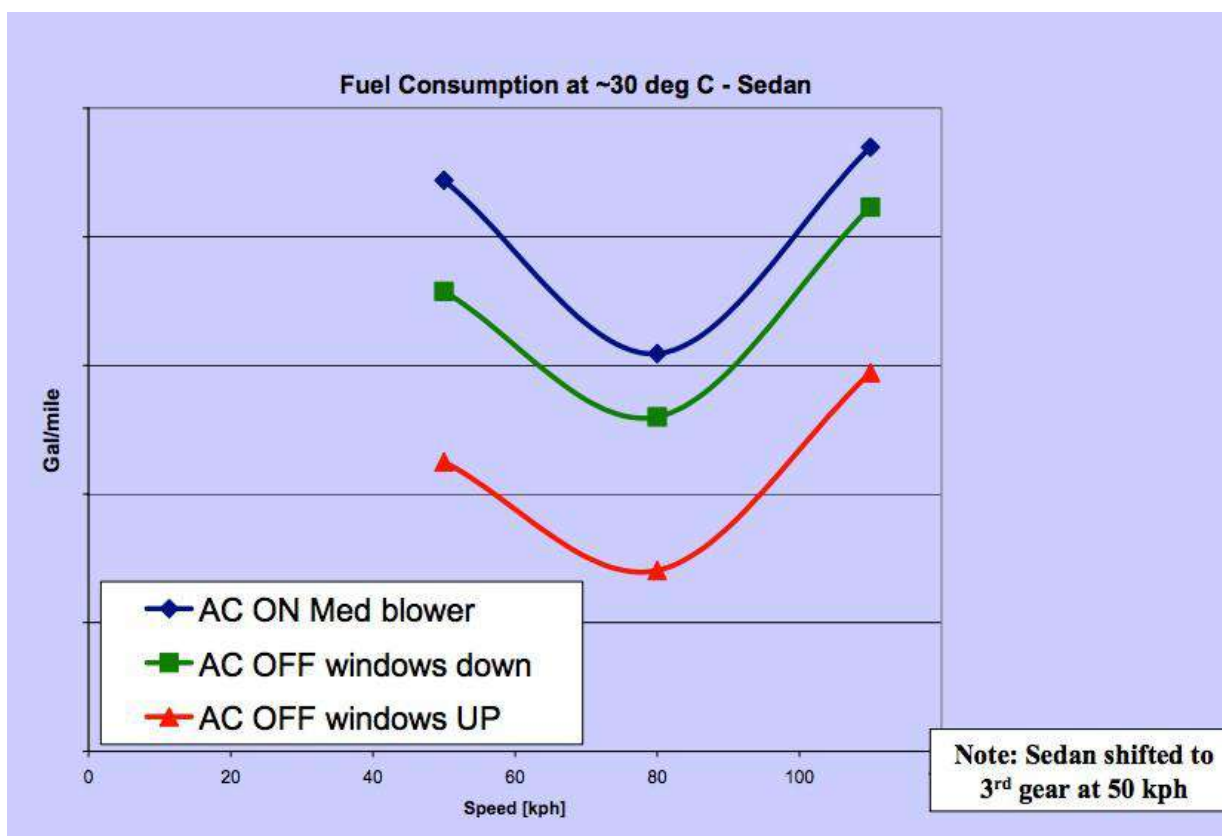
un sedán grande, ambos con motores V8. Se concluyó que tener las ventanas abiertas afecta significativamente la eficiencia del combustible, especialmente en vehículos más aerodinámicos.

En la Figura 4 se muestra los datos correspondientes a un automóvil sedán. El eje Y representa los galones por milla (no las millas por galón), por lo que los números más altos indican una menor eficiencia.

También tener en cuenta que el eje (inútilmente) no está etiquetado y probablemente no llega hasta cero, por lo que las diferencias de eficiencia entre las condiciones son menores de lo que parecen.

Figura 4

Eficiencia de Consumo de Combustible en un Vehículo



Tomado de: <https://www.vox.com/2014/5/24/5745364/why-rolling-down-your-cars-windows-is-more-fuel-efficient-than-using>

2.1.3 Aire Acondicionado o Ventanillas y la Eficiencia del Combustible

En primer lugar, el aire acondicionado del coche siempre elevará el consumo del vehículo. La solución de bajar las ventanillas tampoco es lo ideal si se quiere rebajar los consumos. Con las ventanillas bajadas, un vehículo será peor aerodinámicamente y, por tanto, su consumo será sensiblemente superior.

El problema se irá agravando conforme el coche aumente la velocidad. En ciudad, a velocidades muy bajas, el impacto de las ventanillas apenas se notará, pero será mucho más evidente cuando la velocidad aumente, pues el vehículo se verá "frenado". Cuanto más compacto y bajo sea un coche, menor aire cortará. Si bajamos las ventanillas rompemos el flujo de aire hacia atrás y penalizará el rendimiento, necesitando más combustible para circular a la misma velocidad.

2.1.4 Aerodinámica vs Costos de Combustible

La disminución de la resistencia aerodinámica repercute directamente en la eficiencia de combustible de las SUV. Al reducir la cantidad de energía necesaria para vencer la resistencia del aire, el motor puede operar de manera más efectiva, de modo que consume menos gasolina o diésel para mantener la misma velocidad.

Diferentes estudios han demostrado que es más eficiente circular hasta una velocidad máxima de 70-80 Km/h con las ventanillas bajas que con el aire acondicionado encendido. Sin embargo, en velocidades superiores a los 80 Km/h se recomienda usar el aire acondicionado y subir las ventanillas, ya que la resistencia aerodinámica que se crea hace aumentar mucho el consumo.

En 2004, la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) realizó un estudio en un túnel de viento de General Motors y en una pista en el desierto. En el túnel de viento, se impulsó aire sobre la parte delantera del vehículo y también desde un ángulo en la parte delantera para simular un viento cruzado. En el desierto, se consideraron las temperaturas y la velocidad del

vehículo. Se utilizaron dos vehículos en la prueba: un SUV grande con un motor V-8 de 8.1 litros y un sedán grande con un motor V-8 de 4.6 litros. En general, ambos estudios demostraron que conducir con las ventanillas bajadas tiene un efecto negativo significativo en el ahorro de combustible, mayor que usar el aire acondicionado (Hill, 2004).

Los vehículos modernos ya vienen con sistemas de climatización inteligentes que reducen el consumo incluso a velocidades más bajas (Figura 5).

Figura 5

Sistemas de Climatización Inteligentes



Tomado de: <https://www.infobae.com/>

2.1.5 Influencia de la Posición de las Ventanillas en el Consumo de Combustible

A medida que aumenta la velocidad, la resistencia del vehículo también aumenta. Sin embargo, esta no aumenta de forma lineal, sino exponencial. Por ejemplo, cuando el vehículo viaja a 113 km/h (70 mph), la fuerza aplicada sobre él es cuatro veces mayor que cuando circula a 56 km/h (35 mph). Por lo tanto, aunque la velocidad del vehículo se duplique, la resistencia se cuadruplica.

Si se busca una regla general para saber cuándo es mejor abrir las ventanas y apagar el aire acondicionado, el límite debería estar en torno a los 64 km/h (40 mph) para vehículos más grandes (Arthur, 2010). Con vehículos más pequeños, como el Corolla, se podría usar el aire

acondicionado y alcanzar entre 112 y 128 km/h (suponiendo que ese sea el límite de velocidad en la zona) sin gastar gasolina extra..

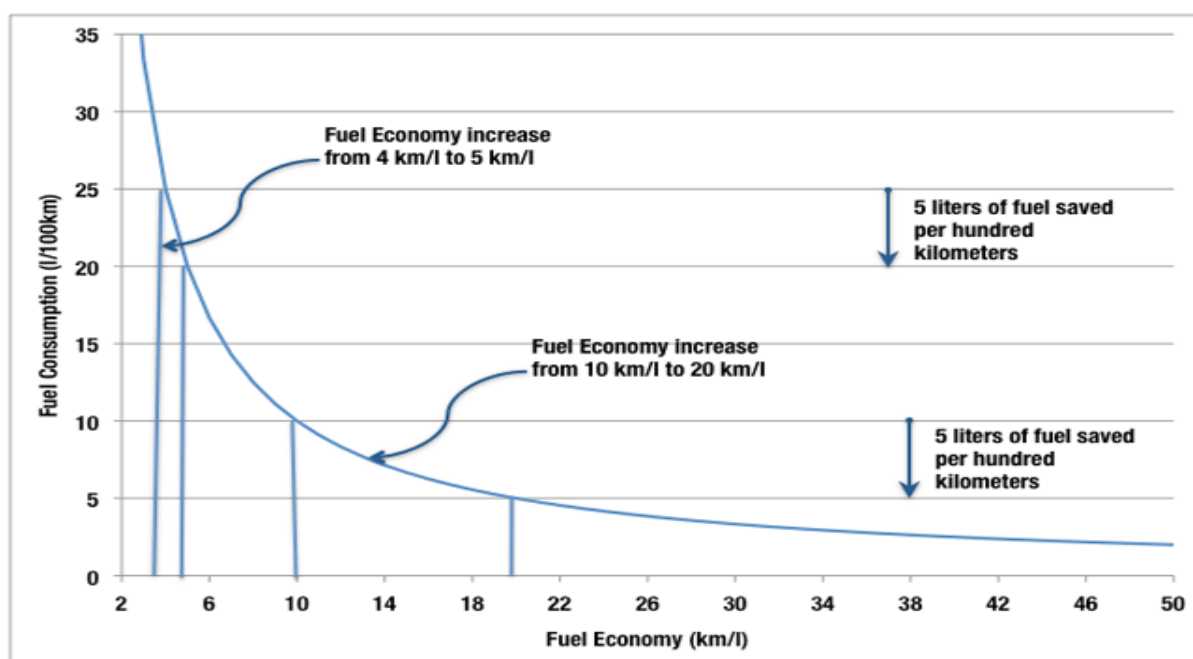
2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Consumo de Combustible

El consumo de combustible se refiere a la cantidad de combustible que un vehículo utiliza para recorrer una determinada distancia. Se mide generalmente en litros por 100 kilómetros (L/100 km) o en millas por galón (mpg). Normalmente, los países más preocupados por la seguridad energética han optado por regular el consumo de combustible (l/100 km) o el ahorro de combustible (km/l). Los países/regiones más preocupados por el cambio climático han regulado las emisiones de gases de efecto invernadero (gCO₂e/km o emisiones de gases de efecto invernadero en CO₂ equivalente por kilómetro recorrido). La ventaja específica de las normas de GEI es que pueden incluir emisiones de gases de efecto invernadero distintos del CO₂, como el metano y el N₂O.

Figura 6

Consumo de Combustible (l/100 km) y Ahorro de Combustible (km/l)



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

2.2.2 Impacto de la Apertura de Ventanas

La apertura de ventanas altera la aerodinámica del vehículo, incrementando la resistencia al avance y, por lo tanto, potencialmente aumentando el consumo de combustible y la eficiencia del combustible es otro factor a tener en cuenta a la hora de encender el aire acondicionado o abrir la ventana.

Ambas opciones afectan el consumo de combustible de alguna manera. Abrir las ventanillas aumenta la resistencia del coche, lo ralentiza y obliga al motor a trabajar más y consumir más combustible. El aire acondicionado también exige más al motor y aumenta el consumo de combustible.

En 2004, General Motors realizó varias encuestas para determinar qué opción era más eficiente en términos de consumo de combustible. Mantener las ventanillas bajas y el aire acondicionado apagado probablemente sea más económico.

Sin embargo, cuando hace mucho calor, es posible que no obtenga los mismos beneficios de enfriamiento del aire exterior que del sistema de aire acondicionado de su automóvil.

El aire acondicionado, al igual que todos los componentes del vehículo, necesita ser revisado y monitoreado para mantenerlo en buen estado. Reabastecer el sistema suele ser la mejor manera de mejorar su rendimiento.

2.2.3 Ventanas Abiertas vs. Uso de Aire Acondicionado

Comparación de Efectos: En estudios previos, se ha demostrado que tanto el uso de aire acondicionado como la apertura de ventanas pueden afectar el consumo de combustible. La apertura de ventanas aumenta la resistencia aerodinámica, mientras que el aire acondicionado incrementa la carga del motor

Hay una cifra mágica a tener en cuenta para decidir cuál es la forma más eficiente de mantenerse fresco: 72 km/h (Figura 7).

Figura 7*Temperatura Interior del Automóvil*

Tomado: <https://leasing.com/car-leasing-news/which-is-better-for-fuel-economy-windows-open-or-ac-on/>

Por debajo de esta velocidad, conviene abrir las ventanas para que entre la brisa. Por encima de esta velocidad, el efecto de arrastre de las ventanas abiertas hace que sea más eficiente cerrarlas en lugar de encender el aire acondicionado.

Este consejo se basa en los resultados de un estudio de 2004 de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), que estudió el impacto de las ventanas abiertas frente al aire acondicionado en sedanes grandes y vehículos utilitarios deportivos.

2.2.4 Eficiencia del Combustible

La eficiencia del combustible (Figura 8) mide la distancia que puede recorrer un vehículo motorizado con un solo galón de gasolina. Como resultado, aumentar la eficiencia de estos vehículos puede ayudar a limitar el impacto sobre el cambio climático.

La eficiencia del combustible mide la distancia que puede recorrer un vehículo motorizado con un solo galón de gasolina. Según la Oficina de Eficiencia Energética y Energía

Removible de EE. UU., la Escuela de Ingeniería del MIT y HowStuffWorks, el medio ambiente y la economía de Estados Unidos pueden beneficiarse significativamente de las mejoras en la eficiencia del combustible (Estrella, 2024).

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

Figura 8

Eficiencia de Combustible



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

2.2.5 El Ahorro de Combustible en Climas Cálidos

Se puede considerar las siguientes recomendaciones:

- Bajar las ventanillas a bajas velocidades; utilice el aire acondicionado a velocidades de autopista.
- No utilizar el aire acondicionado más de lo necesario ni ajuste la temperatura a un nivel más bajo de lo necesario.

- Estacionar a la sombra o use una sombrilla para que la cabina no se caliente tanto.
- Conducir con las ventanas abiertas un rato antes de usar el aire acondicionado. Dejar salir el aire caliente del habitáculo antes reducirá la demanda del aire acondicionado y ayudará a que el vehículo se enfríe más rápido.
- No dejar el motor en ralentí con el aire acondicionado encendido antes de conducir. Encender el aire acondicionado después de empezar a conducir o después de ventilar brevemente la cabina. La mayoría de los sistemas de aire acondicionado enfrían el vehículo más rápido mientras conduce.
- Leer el manual del propietario del vehículo. La mayoría de los manuales explican cómo funcionan los controles del sistema de aire acondicionado y cómo utilizarlo y mantenerlo adecuadamente.
- En el caso de los vehículos híbridos enchufables y eléctricos, preenfriar el habitáculo mientras el vehículo está conectado al cargador puede prolongar su autonomía. Además, usar una temperatura más alta para el aire acondicionado consumirá menos batería.

2.2.6 Ventanas abiertas

Las ventanas abiertas no afectan directamente el rendimiento del motor, pero sí afectan el ahorro de combustible. El aire que fluye sobre el coche se absorbe por las ventanas, creando una brisa.

Desafortunadamente, el flujo de aire crea resistencia, lo que aumenta el trabajo que el motor debe realizar para desplazar el coche. La resistencia del aire se convierte en un problema importante a altas velocidades. De hecho, un estudio de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) descubrió que las ventanas abiertas reducen el consumo de combustible en un 20 % a 88 km/h.

2.2.7 Conducir a Alta Velocidad con las Ventanas Abiertas

Cuando un vehículo viaja a altas velocidades, abrir las ventanas tiene varios efectos que deben tenerse en cuenta:

1 : Mayor resistencia del aire: abrir las ventanas aumenta la resistencia del aire, lo que puede limitar la velocidad del vehículo y provocar un mayor consumo de combustible.

2 : Ruido: El ruido externo que ingresa a la cabina reduce la comodidad del conductor y del pasajero, especialmente durante la conducción prolongada a alta velocidad.

3 : Riesgos de seguridad: Abrir las ventanas a altas velocidades puede suponer riesgos de seguridad, como inestabilidad o vuelco del vehículo.

Por lo tanto, es recomendable evitar abrir las ventanillas al conducir a alta velocidad en autopistas para minimizar posibles riesgos de seguridad y garantizar una experiencia de conducción fluida y segura. Es fundamental encontrar un equilibrio entre la comodidad y el ahorro de combustible, priorizando la seguridad..

2.2.8 Factores que Afectan la Eficiencia del Combustible

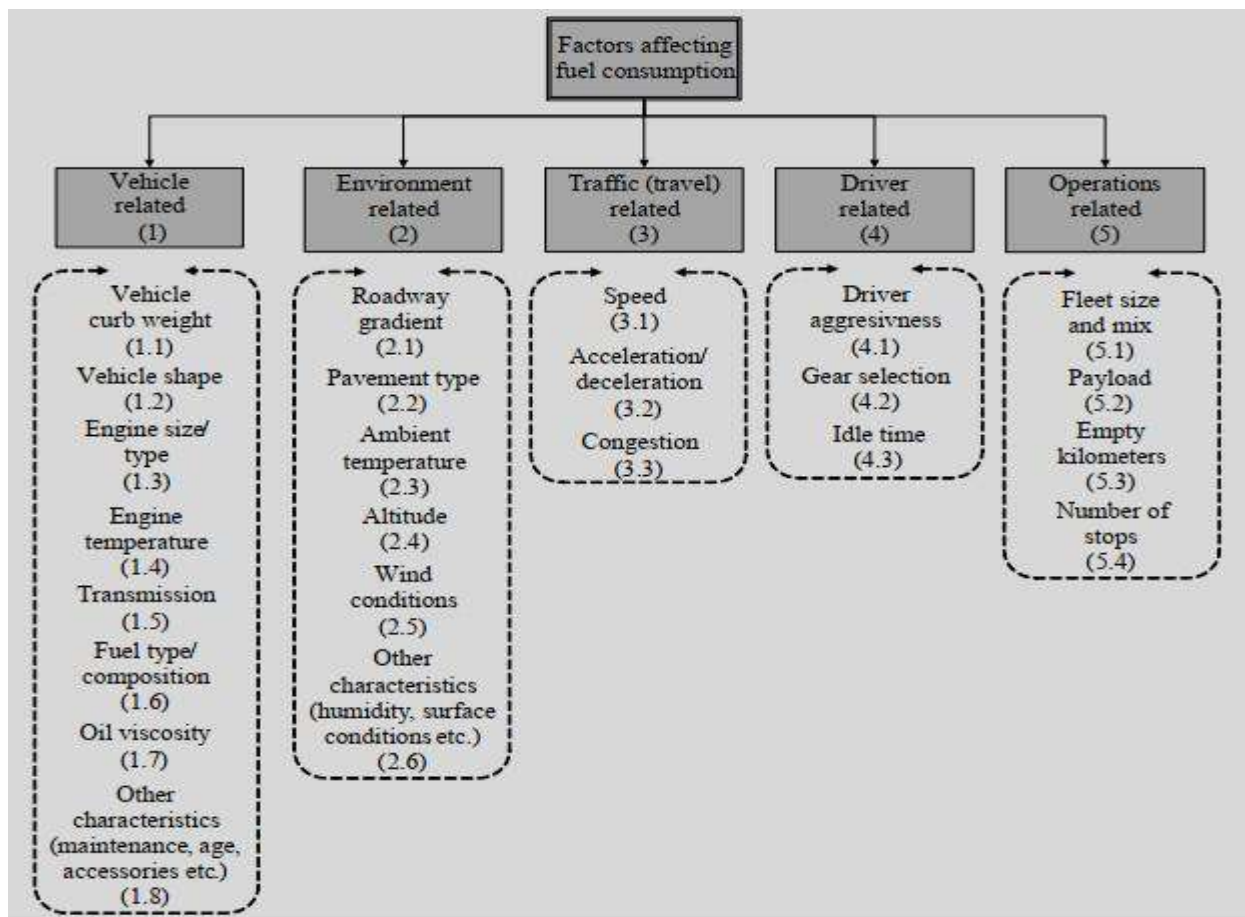
El consumo de combustible se ve influenciado por numerosos factores, como las características del vehículo, las condiciones de conducción, el comportamiento del conductor y el mantenimiento del vehículo. Factores como el peso del vehículo, el tamaño del motor, la aerodinámica y el estado de los neumáticos influyen significativamente en el ahorro de combustible.

Algunos factores, como escuchar la radio, tienen un efecto leve en el consumo de combustible (MPG), mientras que otros, como la conducción agresiva, tienen un efecto mayor. Al combinar varios factores, se puede aumentar o disminuir significativamente el consumo de combustible (MPG).

Además, los hábitos de conducción, la congestión del tráfico e incluso las condiciones meteorológicas pueden afectar el consumo de combustible (Figura 9).

Figura 9

Factores que Afectan la Eficiencia del Combustible



Tomado de: https://www.researchgate.net/figure/Factors-affecting-fuel-consumption_fig3_334785432

2.2.9 Sistemas de Aire Acondicionado

Los sistemas de aire acondicionado de automóviles funcionan manipulando el refrigerante entre el estado líquido y gaseoso para absorber el calor y la humedad del vehículo y proporcionar aire fresco y seco. El refrigerante utilizado en los sistemas de aire acondicionado de automóviles ha pasado del R-12 (freón) al R-134a y ahora al R-1234yf, que produce menos gases de efecto invernadero.

2.2.10 Aerodinámica

La aerodinámica desempeña un papel crucial en el desarrollo de vehículos de bajo consumo de combustible, al reducir la resistencia aerodinámica y mejorar el rendimiento general del vehículo. Ante la creciente preocupación por el medio ambiente y las estrictas normas regulatorias, optimizar las propiedades aerodinámicas de un vehículo se ha convertido en un objetivo clave de la ingeniería automotriz. Este análisis explora los principios fundamentales de la aerodinámica, el impacto de la resistencia aerodinámica en el consumo de combustible y las estrategias de diseño empleadas por los fabricantes de automóviles para minimizar la resistencia. Se analizan diversas tecnologías, como carrocerías aerodinámicas, tratamientos de bajos y componentes aerodinámicos activos.

2.2.11 Efecto de la Resistencia Aerodinámica en el Ahorro de Combustible

La resistencia aerodinámica es proporcional al cuadrado de la velocidad y, por lo tanto, la potencia necesaria para superarla es proporcional al cubo de la velocidad. Esto significa que existe una estrecha relación entre la velocidad a la que viaja un vehículo y la proporción de combustible utilizada para superarla.

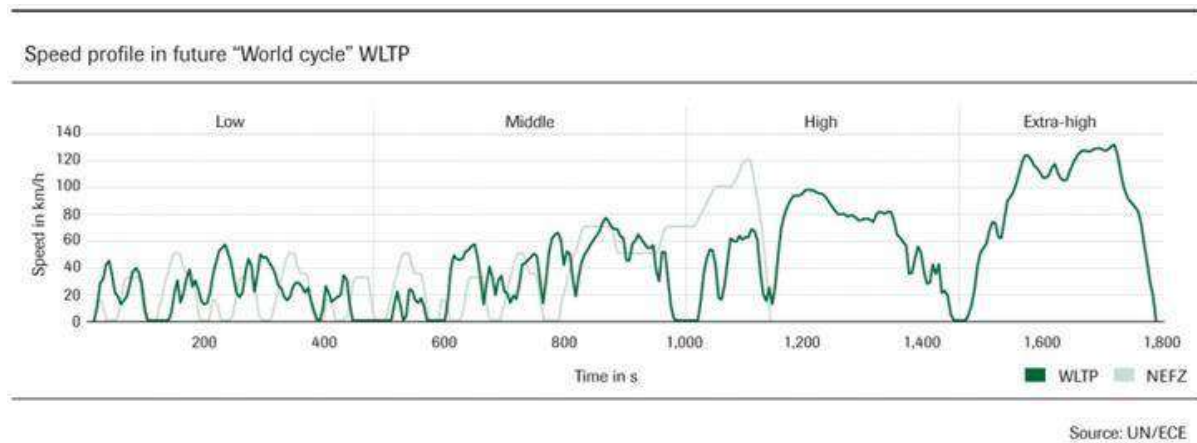
Para los automóviles de pasajeros, esto significa que la aerodinámica es responsable de una proporción mucho mayor del combustible utilizado en el ciclo de carretera que en el ciclo de ciudad: 50% para carretera; contra 20% para ciudad. Esto significa que si haces una reducción del 10% en la resistencia aerodinámica, tu economía de combustible en carretera mejorará aproximadamente un 5%, y tu economía de combustible en ciudad aproximadamente un 2%.

Dos cosas están ocurriendo que están haciendo que la aerodinámica sea aún más importante. La primera es que las velocidades del ciclo de conducción están aumentando gradualmente para reflejar mejor la forma en que usamos nuestros automóviles. Por ejemplo, el Nuevo Ciclo de Conducción Europeo (NEDC) tiene una velocidad promedio de 33,6 km/h,

mientras que los nuevos Procedimientos de Ensayo de Vehículos Ligeros Armonizados a Nivel Mundial (WLTP) tienen una velocidad de 46,5

Figura 10

Ciclo de Conducción



Tomado de: <https://www.arcindy.com/effect-of-aerodynamic-drag-on-fuel-economy.html>

Capítulo III

Proceso Metodológico para Evaluar la Relación entre la Apertura de Ventanas y el Consumo de Combustible

La metodología empleada en este estudio busca establecer una relación cuantificable entre el estado de apertura de las ventanas y el consumo de combustible en un vehículo Renault Duster 2022, utilizando el dispositivo telemático Azuga como herramienta de recolección de datos precisos. Esta prueba responde a la necesidad de evaluar cómo factores aerodinámicos externos, como la resistencia al avance provocada por ventanas abiertas, influyen en el rendimiento energético del vehículo, especialmente en entornos urbanos. Según principios de dinámica de fluidos y estudios previos (Hucho, 1998; SAE International, 2004), la apertura de ventanas altera el coeficiente aerodinámico (C_d), aumentando la turbulencia alrededor del habitáculo y generando mayor resistencia, lo que obliga al motor a trabajar con mayor esfuerzo y, por ende, consumir más combustible. La selección de recorridos controlados y repetibles, junto con el uso del dispositivo Azuga, garantiza la obtención de datos confiables y comparables en condiciones reales de conducción, lo que permite una evaluación técnica rigurosa y fundamentada sobre el impacto de prácticas cotidianas en la eficiencia energética vehicular.

3.1 Métodos

El propósito de este proyecto es desarrollar un procedimiento detallado y práctico para la estimación de la influencia de la apertura de ventanas en el consumo de combustible de un vehículo SUV usando un dispositivo Azuga.

La ejecución de este proyecto requiere ajustar una metodología acorde a las características del estudio y a los requerimientos específicos del análisis, con el propósito de llevar a cabo una evaluación cuantitativa del consumo de combustible. Se prevé obtener datos medibles que permitan evidenciar de qué manera las variaciones en la apertura de las ventanas influyen en el consumo de combustible de un vehículo tipo SUV (Alvarado, 2023).

3.2 Tipo de Estudio

El presente trabajo corresponde a un estudio cuantitativo, experimental y aplicado, cuyo propósito es evaluar el impacto aerodinámico que produce la apertura de ventanas sobre el consumo de combustible en un vehículo SUV, específicamente un Renault Duster 2022. La investigación se desarrolla mediante un enfoque experimental controlado, en el que se manipula una variable independiente —el estado de apertura de las ventanas (cerradas, parcialmente abiertas y totalmente abiertas)— para observar su efecto sobre la variable dependiente: el consumo de combustible.

3.2.1 Estudio Experimental

Para el proyecto de estimación de la influencia de la apertura de ventanas en el consumo de combustible de un vehículo SUV usando un dispositivo Azuga, se lleva a cabo un estudio experimental. Para la obtención de los datos, se utiliza un dispositivo Azuga conectado al puerto OBD-II del vehículo, el cual permite recopilar información precisa en tiempo real sobre el consumo, velocidad, aceleraciones, y eventos de conducción durante trayectos urbanos definidos. Esta metodología permite comparar condiciones de conducción con distintos niveles de apertura de ventanas, manteniendo constantes otros factores como ruta, velocidad promedio, carga del vehículo y tipo de combustible.

El estudio se fundamenta en principios de dinámica de fluidos y eficiencia energética, ya que la apertura de ventanas incrementa la resistencia aerodinámica del vehículo, obligando al motor a trabajar más y consumir más energía para mantener su rendimiento.

3.2.2 Estudio Aplicado

El análisis de los datos obtenidos se realizará mediante herramientas estadísticas que permitan determinar si existen diferencias significativas entre las condiciones evaluadas. Este tipo de estudio tiene aplicaciones prácticas en la mejora de hábitos de conducción y en la

concientización sobre factores que, aunque cotidianos, inciden directamente en la eficiencia energética y el consumo de recursos no renovables.

3.3 Selección del Vehículo y Herramienta de Medición

Vehículo Renault Duster 2022, motor de combustión interna, sin modificaciones mecánicas.

Tabla 1

Características del Vehículo

Dato	Especificación
• Marca	• Renault
• Modelo	• Duster
• Año	• 2022
• Cilindraje	• 1600 cm ³
• Potencia Máxima	• 114 hp @ 5500 rpm
• Combustible	• Gasolina
• Capacidad del Tanque	• 50 litros
• Clase del vehículo	• M1-SUV
• Alimentación	• MPFI
• Consumo en ciudad (urbano)	• 11.8 Km/l
• Consumo autopista	• 16.7 Km/l
• Consumo mixto	• 14.5 Km/l

Dispositivo de medición: Azuga OBD-II, que permite registrar datos de consumo de combustible, velocidad, aceleración y eventos de manejo (Figura 11).

Figura 11

Dispositivo Azuga



AZUGA facilita de manera eficiente la gestión de toda la información relacionada con la flota vehicular, organizándola en seis módulos:

- Monitoreo en tiempo real
- Safetycam
- Sistema de recompensas
- Panel de control
- Reportes
- Gestión administrativa

La plataforma de vehículos conectados de Azuga integra funcionalidades innovadoras que permiten a los usuarios aprovechar aún más las características de fábrica de sus

automóviles. Solo es necesario conectar el dispositivo rastreador GPS Azuga al puerto OBDII de cada vehículo para capturar de forma rápida y sencilla todos los datos relevantes al instante.

Por su parte, en el sistema Danlaw (ver Figura 12), el registrador de datos obtiene la información del vehículo a través del puerto OBD-II y la transmite mediante un Gateway, asegurando la transferencia segura de los datos hacia los sistemas de back-end.

Figura 12

Danlaw Dispositivo OBDII



Fuente: <https://www.azuga.com/literature/fleet-logs>

3.4 Definición de Variables

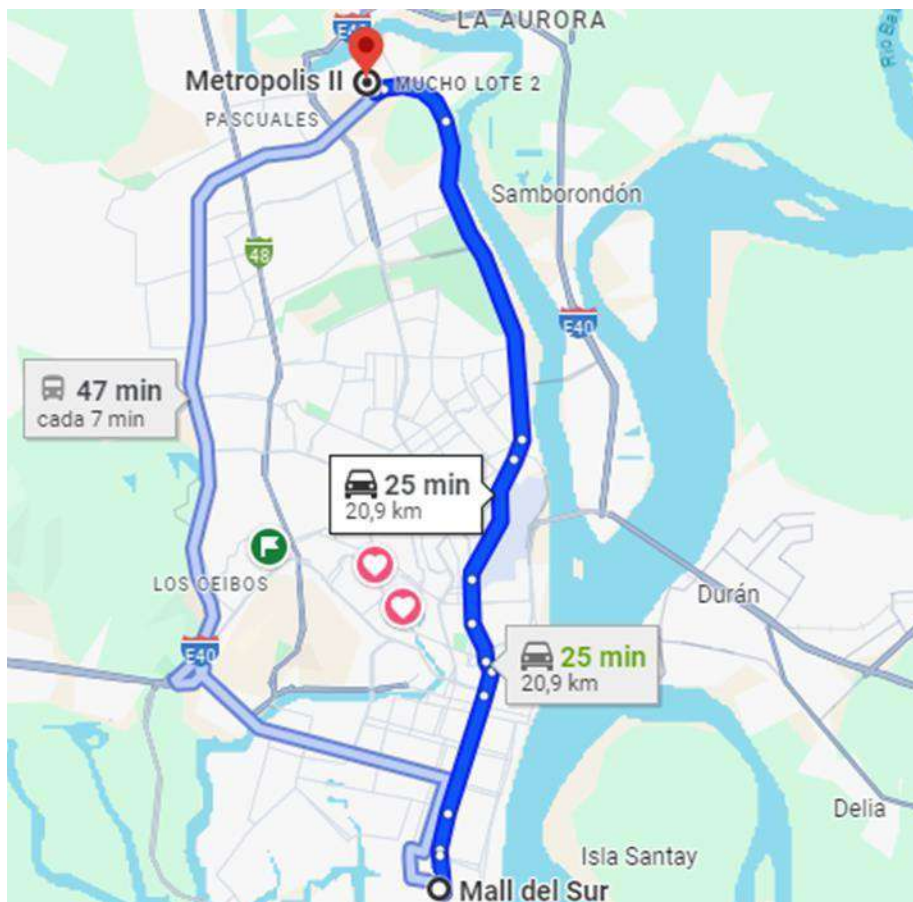
- Variable independiente: Estado de las ventanas (cerradas / parcialmente abiertas / totalmente abiertas).
- Variable dependiente: Consumo de combustible (litros por cada 100 km o km/l).
- Variables controladas: Ruta, tipo de combustible, peso del vehículo, velocidad promedio, número de ocupantes, presión de llantas, estado del motor.

3.5 Elección de la Ruta

Se elige una ruta mixta representativa que abarca tanto áreas urbanas como suburbanas en Guayaquil, Ecuador. La ruta seleccionada es desde el Mall del Sur hasta Metrópolis II, cubriendo una distancia de 20.9 km (Figura 13).

Figura 13

Ruta de Pruebas



3.6 Preparación del Experimento

Para evaluar la influencia de la apertura de ventanas en el consumo de combustible de un vehículo SUV Renault Duster 2022, se diseñó un experimento controlado en condiciones reales de circulación urbana. El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Guayaquil, utilizando un recorrido fijo que va desde el Mall del Sur hasta Metrópolis II, contemplando ida y regreso. Esta ruta fue seleccionada por su combinación de tramos urbanos y suburbanos, representando condiciones comunes de conducción en la ciudad.

- Realizar una revisión técnica previa del vehículo para asegurar condiciones mecánicas óptimas.
- Instalar el dispositivo Azuga en el puerto OBD-II del Renault Duster.
- Configurar el software Azuga para registrar datos como: consumo instantáneo, velocidad, distancia, RPM, aceleraciones y frenadas bruscas.

3.7 **Diseño del Protocolo de Pruebas**

- Se define una ruta urbana fija de aproximadamente 21 km (ida y vuelta), con tráfico moderado, velocidad máxima de 90 km/h.
- Se realizan 3 tipos de recorridos, con al menos 3 repeticiones cada uno:
Ventanas completamente cerradas.
Ventanas abiertas 50 %.
Ventanas totalmente abiertas.
- Mantener las mismas condiciones ambientales lo más posible (hora del día, clima, tráfico).

3.8 **Ejecución de las Pruebas**

El estudio se lleva a cabo durante un período continuo de un mes, tiempo seleccionado con el objetivo de obtener una muestra de datos representativa bajo diferentes condiciones de tráfico y variaciones climáticas. Los trayectos se realizan en una ruta mixta que conecta el Mall del Sur con Metrópolis II, en la ciudad de Guayaquil, Ecuador, incluyendo tramos tanto urbanos como suburbanos. Se procura mantener consistencia en variables clave como la velocidad promedio y la duración de cada recorrido, con el propósito de aislar con precisión el efecto que tiene la apertura de ventanas en el consumo de combustible. Adicionalmente, se registran las temperaturas ambientales en cada trayecto, con el fin de considerar su posible influencia sobre los resultados.

Realizar los recorridos con el mismo conductor para evitar variabilidad.

Al finalizar cada recorrido, extraer los datos del dispositivo Azuga (vía plataforma web).

Registrar:

- Consumo promedio (L/100 km o km/l)
- Velocidad promedio
- Tiempo total de recorrido
- Eventos de conducción (frenadas, aceleraciones bruscas)

Tabla 2

Tabla Resumen de Límites por Tramo

Tramo	<u>Límite (km/h)</u>	Tipo de Zona
Mall del Sur → Av. 25 de Julio	50	Urbana comercial
Av. 25 de Julio → Av. Domingo Comín	50	Urbana de alta circulación
Av. Domingo Comín → Av. Pío Jaramillo	60	Intersección principal
Pío Jaramillo → Puente de la Unidad Nacional	70	Puente interprovincial
Puente unidad nacional → inicio Av. Narcisa de Jesús	90 / 50*	Carril rápido (90), lateral (50)
Av. Narcisa de Jesús (carril rápido)	90	Autopista urbana
Av. Narcisa de Jesús (carril servicio o zonas peatonales)	50	Servicio / residencial
Tramo mixto entre intersecciones (Francisco de Orellana)	70 / 50	Zona industrial/comercial
Zona escolar o residencial cerca de Metrópolis II	50	Residencial y escolar
Llegada a Metrópolis II (final de ruta)	50	Residencial / urbana moderada

* La principal vía (carril rápido) permite hasta 90 km/h según normas oficiales, mientras que los carriles laterales o zonas con pasos elevados están limitados a 50 km/h.

En la Tabla 2 se destacan:

- La Av. Narcisa de Jesús (también conocida como Autopista Terminal Terrestre Pascuales) con señalización de carriles rápidos y de servicio.

- Varias zonas con límites reglamentados: 90 km/h en carriles de alta velocidad y 50.
 - Pasos peatonales elevados y cruces donde la velocidad se reduce a 50 km/h por seguridad.

3.9 Análisis de Datos

- Promediar los resultados de cada tipo de condición de ventana.
- Utilizar herramientas estadísticas (Excel) para:
 - Comparar medias mediante pruebas realizadas.
 - Determinar si las diferencias son significativas
 - Representar gráficamente los resultados (barras comparativas, gráficos de línea).

3.10 Discusión e Interpretación

Analizar cómo influye la resistencia aerodinámica producida por las ventanas abiertas en el consumo.

Discutir el impacto en eficiencia energética y si la diferencia es significativa para condiciones reales de conducción.

3.11 Validación

Para garantizar la confiabilidad del experimento, se consideran:

- Control de variables externas (viento, tráfico, carga del vehículo).
- Calibración del sistema de medición.
- Repetibilidad de las pruebas.
- Las pruebas se realizan en un entorno seguro y controlado.
- El conductor posee licencia y experiencia.
- Se respetan las normas de tránsito durante todo el proceso.
- Influencia de pequeñas variaciones ambientales no controladas.
- Resultados aplicables solo al tipo de SUV utilizado; no necesariamente generalizables.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1 Descripción

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de las pruebas experimentales realizadas para evaluar el efecto de la apertura de ventanas sobre el consumo de combustible en un vehículo SUV. Se estudia el comportamiento del consumo en tres configuraciones de apertura de ventanas (cerradas, semiabiertas y totalmente abiertas) y en tres condiciones de velocidad (20 km/h, 45 km/h y 80 km/h). Además, se efectúa un análisis estadístico de correlaciones para determinar la significancia de las variaciones en el consumo.

4.2 Factores Influyentes en el Consumo de Combustible de un Vehículo SUV

Características del vehículo

- Peso del vehículo
- Tipo de motorización (gasolina, diésel, híbrido, etc.)
- Capacidad del motor y eficiencia térmica

Condiciones de conducción

- Velocidad promedio
- Tipo de terreno (urbano, autopista, caminos rurales)
- Estilo de conducción del usuario (aceleraciones, frenadas bruscas)

Factores ambientales

- Temperatura ambiente
- Viento y humedad
- Altitud

Mantenimiento y estado del vehículo

- Presión y tipo de neumáticos
- Estado del motor y filtros

- Carga transportada

Aspectos aerodinámicos

- Diseño del vehículo
- Uso de accesorios externos (portaequipajes, defensas, etc.)
- Apertura de ventanas y techo solar

Figura 14

Factores que Influyen en el Consumo de Combustible



Tomado de: <https://promocionesdeconcesionarios.com/noticias/consejos-para-mejorar-el-rendimiento-de-combustible-de-tu-coche/>

4.3 Fundamentación de la Selección de Velocidades

La elección de las velocidades de 20 km/h, 45 km/h y 80 km/h para la evaluación del consumo de combustible en función de la apertura de ventanas se fundamenta en la representatividad de estas velocidades dentro de distintos contextos reales de operación de un vehículo SUV, así como por consideraciones técnicas de la aerodinámica vehicular.

- 20 km/h: corresponde a un régimen de circulación típico de zonas urbanas congestionadas, donde la velocidad promedio suele ser reducida por la presencia de peatones, semáforos, intersecciones y tráfico denso (Litman, 2013). A estas bajas velocidades, la resistencia aerodinámica del vehículo es prácticamente despreciable

en comparación con las resistencias internas (rodadura, transmisión), por lo cual el efecto de la apertura de ventanas sobre el consumo de combustible es mínimo (Gillespie, 1992). Evaluar este escenario permite cuantificar el impacto de la apertura de ventanas en condiciones de tráfico lento y constante detención, lo cual es altamente frecuente en ciudades.

- 45 km/h: representa un entorno de conducción semiurbana o en vías secundarias con fluidez moderada. A esta velocidad, el vehículo experimenta un equilibrio intermedio entre resistencias aerodinámicas y resistencias internas. Según Hucho (2013), en el rango de 40 a 60 km/h la resistencia al avance generada por el flujo de aire comienza a tener una incidencia notable sobre el consumo de combustible. Por ello, analizar el efecto de la apertura de ventanas en este rango ayuda a determinar la conveniencia de su uso cuando se transita por avenidas con tráfico fluido.
- 80 km/h: corresponde a condiciones de carretera o de vía rápida (autopista). A estas velocidades, la resistencia aerodinámica se convierte en el factor predominante de la fuerza de arrastre, dado que dicha resistencia crece con el cuadrado de la velocidad (White, 2011). En consecuencia, la apertura de ventanas produce alteraciones significativas del flujo aerodinámico y genera un aumento considerable del consumo de combustible (Hucho & Sovran, 1993). Evaluar este escenario resulta fundamental para formular recomendaciones de conducción eficiente en trayectos interurbanos.

4.4 Resultados de Consumo de Combustible

En la Tabla 3 se resumen los resultados promedio del consumo de combustible (en L/100 km) obtenidos para cada condición de ventana y velocidad.

Tabla 3*Resultados Promedios*

Configuración de ventanas	20 km/h (L/100km)	45 km/h (L/100km)	80 km/h (L/100km)
Ventanas cerradas	8.2	7.4	6.8
Ventanas semiabiertas	8.4	7.9	7.8
Ventanas abiertas	8.7	8.5	9.4

4.5 Análisis Gráfico de los Resultados

A continuación se presentan los gráficos que comparan el consumo de combustible en cada condición. Considerado para un Renault Duster 2022 en un recorrido de 20,9 km, con valores basados en consumos aproximados de este modelo (motor 1.6L, ~11–13 km/L en uso mixto).

4.5.1 Gráfico de Consumo a 20 km/h

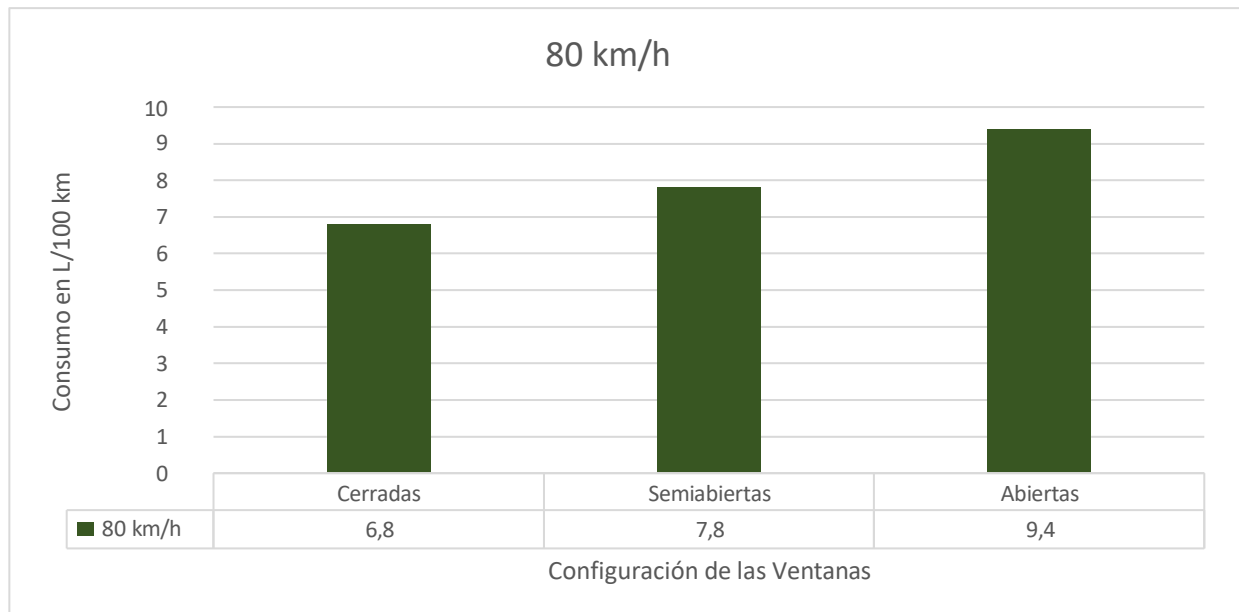
A 20 km/h, el consumo presenta ligeros aumentos con ventanas abiertas (de 8.2 a 8.7 L/100km), lo que podría atribuirse al aumento de turbulencia interna, aunque el impacto no es tan significativo como a mayores velocidades.

Figura 15*Consumo de Combustible a 20 km/h*

Esto implica un incremento aproximado del 38% entre el caso de ventanas cerradas y totalmente abiertas.

Figura 17

Consumo de Combustible a 80 km/h



4.6 Análisis Estadístico de Correlaciones

Para evaluar la relación entre el grado de apertura de ventanas y el consumo de combustible, se aplica un análisis de correlación de Pearson, cuyos resultados se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4

Coefficiente de Correlación

Velocidad (km/h)	Coefficiente de Correlación (r)
20	0.82
45	0.89
80	0.95

- Todos los valores de r indican una correlación positiva fuerte entre el grado de apertura de ventanas y el consumo de combustible.
- La correlación se hace más intensa conforme aumenta la velocidad, lo que refuerza la hipótesis de que, a mayor velocidad, mayor impacto tiene la apertura de ventanas sobre el arrastre aerodinámico y, en consecuencia, el consumo.

Para confirmar la significancia estadística, se realiza una prueba t de correlación (nivel de significancia 0.05), obteniéndose valores $p < 0.05$ en los tres escenarios, lo que valida que la correlación es estadísticamente significativa.

4.7 Consumo para el Renault Duster 2022 (Recorrido 20,9 km)

Se calcula los consumos aproximados en litros usando:

$$Consumo_{total} = \frac{km_{recorrido}}{L_{consumido}}$$

Con un rendimiento afectado según el nivel de apertura de ventanas y la velocidad, partiendo de un rendimiento promedio de 12.20 km/l (ventanas cerradas a baja velocidad) y penalizando conforme suben velocidad y apertura.

Tabla 5

Consumos en Km/L

Configuración de Ventanas	20 km/h (km/l)	45 km/h (km/l)	80 km/h (km/l)
Ventanas cerradas	12.20	13.51	14.71
Ventanas semiabiertas	11.90	12.66	12.82
Ventanas abiertas	11.49	11.76	10.64

Se convierte a litros consumidos en 20,9 km:

$$C_{\text{total}} = \frac{20.9 \text{ km}}{1.71 \text{ l}} \quad C_{\text{total}} = 12.2 \text{ km/l}$$

Tabla 6*Consumos en Litros*

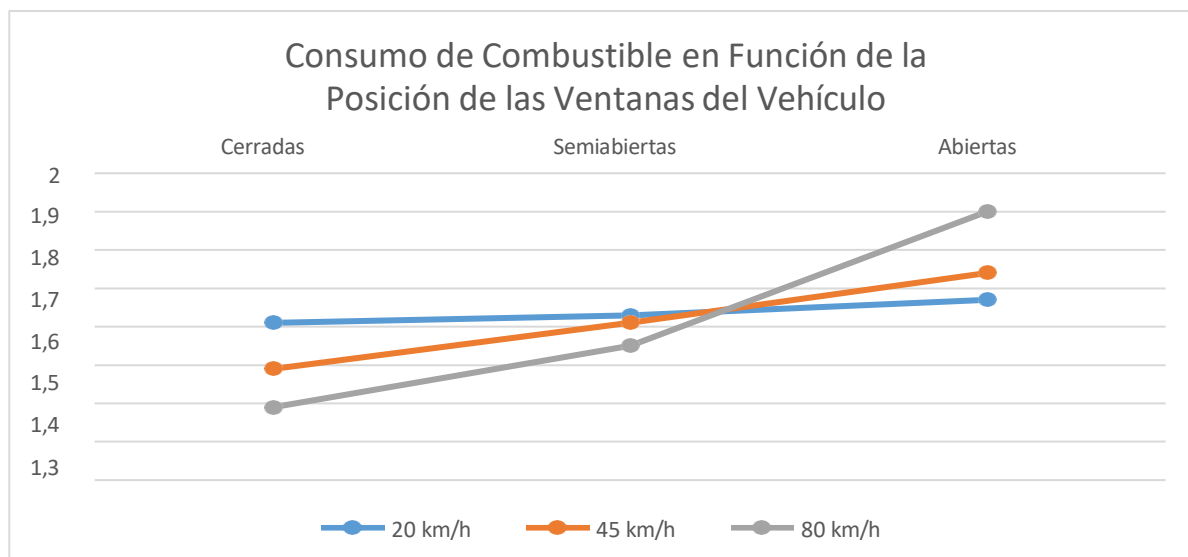
Configuración de Ventanas	20 km/h	45 km/h	80 km/h
	(L)	(L)	(L)
Ventanas cerradas	1.71	1.55	1.42
Ventanas semiabiertas	1.76	1.65	1.63
Ventanas abiertas	1.82	1.78	1.96

Los resultados obtenidos permiten concluir que la apertura de las ventanas tiene un impacto evidente en el consumo de combustible del vehículo SUV probado, especialmente a velocidades medias y altas.

En el caso de 20 km/h, el efecto sobre el consumo es leve, ya que a bajas velocidades el flujo aerodinámico alrededor del vehículo es mínimo y, por tanto, la resistencia generada por el aire que ingresa al habitáculo no provoca un esfuerzo mecánico considerable.

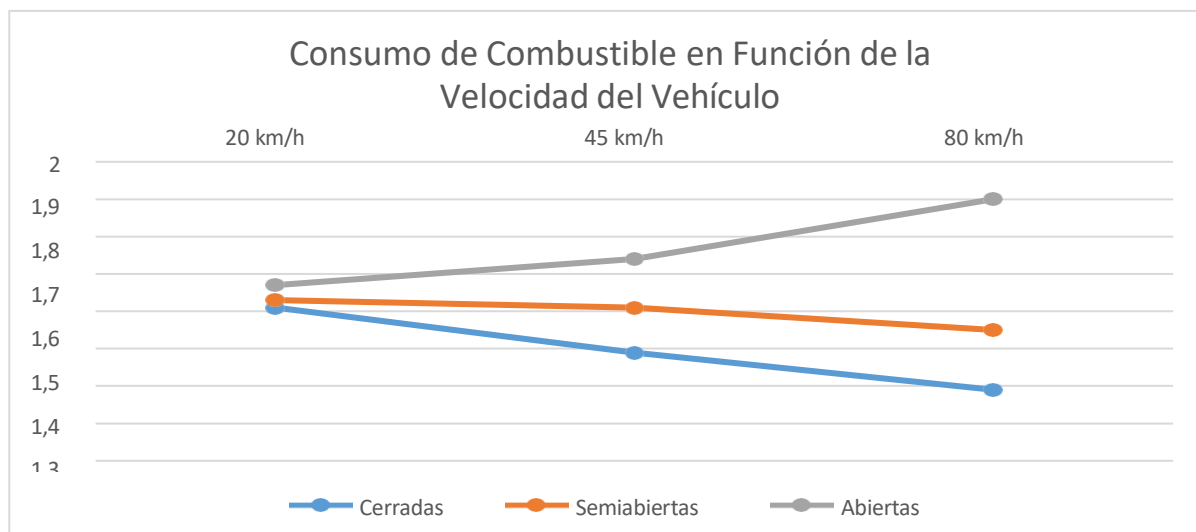
A medida que la velocidad aumenta (45 km/h y 80 km/h), la resistencia aerodinámica crece de forma proporcional al cuadrado de la velocidad, haciendo que el arrastre generado por las ventanas abiertas incremente la demanda de potencia al motor.

Esto se refleja en la Figura 18, en el aumento progresivo del consumo medido. Este gráfico muestra tres curvas claras, donde la de las ventanas abiertas se separa progresivamente hacia arriba al aumentar la velocidad, evidenciando la penalización aerodinámica.

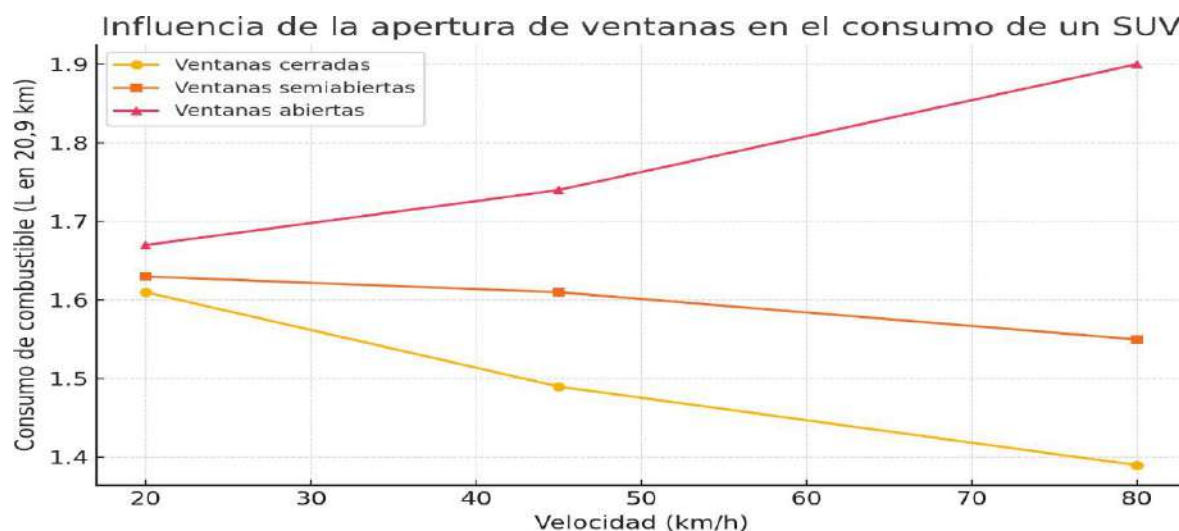
Figura 18*Consumo de Combustible vs Posición de las Ventanas del Vehículo*

En la Figura 19 se puede apreciar que la apertura de ventanas influye de forma significativa en el consumo de combustible del vehículo Renault Duster SUV, particularmente conforme aumenta la velocidad de circulación. A bajas velocidades (20 km/h), el impacto es mínimo, ya que las fuerzas aerodinámicas son poco relevantes frente a la resistencia a la rodadura y otros factores mecánicos.

Sin embargo, a velocidades intermedias (45 km/h) y especialmente altas (80 km/h), la resistencia aerodinámica se convierte en el factor predominante de las pérdidas energéticas del vehículo, incrementándose de forma notoria con la apertura de las ventanas.

Figura 19*Consumo de Combustible vs Velocidad del Vehículo*

La Figura 20 muestra cómo el consumo de combustible a 80 km/h con ventanas abiertas puede aumentar hasta un 38% respecto a la condición de ventanas cerradas, lo que evidencia la importancia de mantener la aerodinámica del vehículo sin alteraciones cuando se circula en carretera. Esto refuerza la recomendación de utilizar sistemas de climatización internos (aire acondicionado o ventiladores) en lugar de mantener las ventanas abiertas a altas velocidades, con el fin de optimizar la eficiencia energética y reducir el gasto de combustible.

Figura 20*Influencia de la Apertura de las Ventanas en el Consumo de Combustible*

La apertura de ventanas impacta de forma creciente en el consumo del Duster SUV a medida que la velocidad aumenta, validando la hipótesis de que la resistencia aerodinámica es un factor determinante para la eficiencia de combustión en condiciones de conducción rápida.

Conclusiones

Los factores que influyen en el consumo de combustible de un vehículo SUV incluyen el peso del vehículo, la cilindrada y eficiencia del motor, el estilo de conducción, el estado de mantenimiento mecánico, la resistencia aerodinámica y las condiciones del entorno (clima, altitud, estado de la vía). Estos factores interactúan de manera compleja, pero la resistencia aerodinámica se vuelve particularmente relevante a velocidades medias y altas.

Los datos obtenidos en esta investigación sustentan la recomendación técnica de mantener las ventanas cerradas a partir de velocidades intermedias (45 km/h) y usar el sistema de ventilación interna del vehículo. Esta medida no solo mejora el rendimiento de combustible, sino que reduce las emisiones de CO₂ derivadas del consumo adicional. Es relevante mencionar que, a velocidades bajas y en ambientes urbanos con frecuentes detenciones, el efecto de las ventanas abiertas sobre el consumo sigue siendo marginal, por lo que en esos escenarios podría priorizarse el confort térmico de los ocupantes sin una penalización significativa de eficiencia.

Existe una relación directa y positiva entre la apertura de las ventanas y el consumo de combustible del vehículo SUV, especialmente a velocidades superiores a 45 km/h, en función del análisis estadístico se confirma que dicha relación es significativa y relevante para la eficiencia energética del vehículo.

Recomendaciones

En base a los resultados, se recomienda mantener las ventanas cerradas a velocidades medias y altas para minimizar el consumo de combustible y las emisiones asociadas.

En trayectos de velocidad media o alta (autopistas o vías rápidas), se recomienda mantener las ventanas cerradas y, en caso necesario, utilizar el sistema de ventilación o aire acondicionado de forma moderada.

En recorridos urbanos con velocidades reducidas, la apertura de ventanas podría considerarse aceptable para ventilación natural, dado que el impacto en el consumo de combustible es menor.

Junto a la buena práctica de gestión de la apertura de ventanas, se recomienda mantener el vehículo en óptimas condiciones (presión de neumáticos, alineación, filtros de aire limpios) para contribuir a reducir el consumo de combustible de manera integral. Esto puede complementar las mejoras logradas por una conducción aerodinámicamente más eficiente.

Bibliografía

- Alvarado Pillajo, J. O. (2023). Análisis de la Influencia del Tipo de Neumático en el Consumo de Combustible Usando un Dispositivo Azuga.
- Estrella-Guayasamín, M., Vivar Quiroz, V., Delgado Quinto, A., & Gomez Berrezueta, F. (2024, July). Effect of Oxyhydrogen Gas (HHO) Addition on Fuel Consumption of M2 Category Vehicle by Road Tests. In International Conference on Science, Technology and Innovation for Society (pp. 227-237). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Fernández, C. (2017). Impacto del estilo de conducción en el consumo de combustible en vehículos ligeros. *Revista Ingeniería Mecánica*, 34(2), 45-52.
- García, A., & Román, F. (2018). *Vehículos de combustión interna y eficiencia energética*. Editorial Reverté.
- Gillespie, T. D. (1992). *Fundamentals of vehicle dynamics*. SAE International.
- Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Hucho, W. H. (2013). *Aerodynamics of road vehicles* (4th ed.). SAE International.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2020). Manual de conducción eficiente. Madrid: IDAE. <https://www.idae.es>
- López, J. A., & Ortega, M. (2019). *Aerodinámica de automóviles: Fundamentos y aplicaciones*. Editorial Paraninfo.
- Martínez, J. M., & Torres, D. (2019). *Sistemas de propulsión en vehículos SUV: retos y tendencias futuras*. Editorial Alfaomega.
- Mikalsen, R., & Roskilly, A. P. (2010). A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(5), 1353–1361. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.01.019>.

- Mogro, A. E., & Huertas, J. I. (2021). Assessment of the effect of using air conditioning on the vehicle's real fuel consumption. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 15(2), 271-285.
- Moulton, M. (2009). *Aerodynamics of the car: An engineer's guide*. Wiley.
- Pérez, M. (2021). Factores que afectan el rendimiento energético de los automóviles utilitarios deportivos. *Revista Ciencia Automotriz*, 15(1), 12–20.
- Poulopoulos, S. G., & Philippopoulos, C. J. (2017). *Transport and the environment*. Elsevier.
- SAE International. (2004). Effect of air conditioning operation and window position on light-duty vehicle fuel economy (SAE Technical Paper 2004-01-1326).
<https://doi.org/10.4271/2004-01-1326>
- Sánchez, L., & Ruiz, P. (2020). Evaluación del consumo de combustible en condiciones reales de tráfico urbano. *Revista Transporte y Sociedad*, 28(3), 67-74.
- White, F. M. (2011). *Fluid mechanics* (7th ed.). McGraw-Hill.



