

Artículo de Investigación

## Influencia de la densidad del aire en el consumo de combustible en vehículos livianos

*Influence of air density on fuel consumption in light-duty vehicles*

Edwin Grijalva<sup>ID</sup>, Jorge Acosta<sup>ID\*</sup>, Edison Mancheno<sup>ID</sup>

<sup>1</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador, 120501; egrijalvac@uteq.edu.ec; emanchenop@uteq.edu.ec

\*Correspondencia: jsantamaria@uce.edu.ec

**Citación:** Grijalva, E., Acosta, J. & Mancheno, E., (2021). Influencia de la densidad del aire en el consumo de combustible en vehículos livianos. *Novasinerugia*. 4(2). 140-151. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.09>

Recibido: 20 agosto 2021

Aceptado: 24 noviembre 2021

Publicado: 01 diciembre 2021

Novasinerugia  
ISSN: 2631-2654

**Resumen:** La eficiencia energética en vehículos livianos es un factor importante para las empresas automotrices como para el consumidor final. Las diferentes marcas de vehículos calculan el consumo de combustible utilizando estándares propios de la industria automotriz sin considerar factores externos, tales como, la densidad del aire, entre otros. Por lo que el valor proporcionado por el fabricante es un valor referencial que puede diferir del real. El objetivo de este estudio es analizar el efecto que tiene la densidad del aire en el consumo de combustible de un vehículo de uso general en el Ecuador. Para lograr nuestro objetivo realizamos una simulación *Model-in-the-Loop* (MIL). Para este estudio se consideraron factores externos característicos de distintas localizaciones geográficas en Ecuador. Se determinó que en las ciudades evaluadas de la región Costa, el consumo de combustible del vehículo fue aproximadamente de 7.214 L/100 km, mientras que la sierra de 6.842 L/100 km. Así, el efecto de la resistencia aerodinámica (la densidad del aire) es reducir el consumo de combustible en la región Sierra en aproximadamente 5%.

**Palabras clave:** Consumo de combustible, densidad el aire, model-in-the-loop, resistencia aerodinámica, vehículo liviano.

**Abstract:** *Energy efficiency in light-duty vehicles is an important factor for both automotive companies and end consumers. However, different vehicle brands calculate fuel consumption using automotive industry standards without considering external factors, such as air density. Therefore, the value provided by the manufacturer is a reference value that may differ from the actual value. This study aims to analyze the effect of air density on the fuel consumption of a general-purpose vehicle in Ecuador. To achieve our objective, we performed a Model-in-the-Loop (MIL) simulation. For this study, external factors characteristic of different geographical locations in Ecuador were considered. As a result, it was determined that in the cities evaluated in the coastal region, vehicle fuel consumption was approximately 7.214 L/100 km. In comparison, in the highlands, it was 6.842 L/100 km. Thus, the effect of aerodynamic drag (air density) reduces fuel consumption in the Sierra region by approximately 5%.*

**Keywords:** *Aerodynamic drag, air density, fuel consumption, lightweight vehicle, model-in-the-loop.*



**Copyright:** 2021 derechos otorgados por los autores a Novasinerugia. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC). (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introducción

Un vehículo al desplazarse por una superficie se encuentra expuesto a fuerzas que ofrecen resistencia a su desplazamiento. El diseño de un tren propulsor depende en gran medida de un adecuado análisis de la dinámica longitudinal del vehículo, por lo que, para determinar la fuerza de tracción necesaria para el movimiento del vehículo, es necesario efectuar un análisis de las fuerzas de resistencia a la rodadura, la resistencia aerodinámica, la resistencia gravitatoria y la resistencia inercial (Aparicio, Vera, & Díaz, 1996; Ehsani, Gao, Longo, & Ebrahimi, 2018). La resistencia aerodinámica es afectada por varios factores, entre ellos uno de gran relevancia es la densidad del aire, la cual varía en función de la ubicación en la que se encuentre el vehículo, por factores tales como la presión atmosférica, la humedad relativa y temperatura del aire (Soares & Souza, 2015). La energía que consume un vehículo se puede calcular mediante el análisis de la dinámica longitudinal, para lo cual se utilizan patrones de conducción “teóricos” que se asemejan a los patrones de conducción de un conductor en tiempo real, a los cuales se les denomina ciclo de conducción (CC). Un CC describe uno o varios viajes realizados por un vehículo, con frecuencia se utiliza para analizar el funcionamiento del sistema de propulsión, el consumo de combustible que se está obteniendo y las emisiones de gases que se están dando (Giakoumis, 2017). Los CC también se utilizan durante el desarrollo del vehículo, por ejemplo, para seleccionar el tamaño correcto de componentes o calibrar los controladores del tren motriz.

Dado que la conducción apropiada del vehículo depende del entorno donde se desplaza éste, un análisis en profundidad requiere de una diversidad de CC diferentes (Jiménez, Román, & López, 2013). A menudo, se requiere un CC que sea una representación muy cercana al patrón de conducción de un conductor medio, Sin embargo, a veces es importante disponer de un CC que muestre un patrón de conducción extrema, por ejemplo, para verificar el desempeño del vehículo bajo condiciones extremas. También, es necesario que los CC sean el reflejo de diferentes tipos de carreteras, como carreteras urbanas o carreteras extraurbanas, y diferente flujo de tráfico, como tráfico congestionado o tráfico fluido. Por esta razón, con frecuencia los CC son creados mientras que se conduce un vehículo en condiciones reales (de interés para futuras simulaciones). Los CC pueden diseñar teóricamente para que reflejen un patrón de conducción específico que permita verificar un requisito específico del vehículo.

El territorio ecuatoriano se encuentra dividido en tres Regiones geográficas: Costa, Sierra y Amazonia. En la región Sierra se pueden encontrar asentamientos urbanos a aproximadamente 3000 m.s.n.m. mientras que en la región Costa se encuentran a nivel del mar. Aunque los fabricantes de vehículos informan sobre el consumo promedio de combustible de sus vehículos estos valores difícilmente se ajustan a la realidad cuando las condiciones geográfica y el entorno de desempeño del vehículo se sale de lo que puede considerarse condicione promedio o medias de conducción. Por otro lado, la dinámica económica del Ecuador depende fuertemente del transporte terrestre, por esta razón los precios del combustible representan un punto sensible en la dinámica social del Ecuador,

en la economía familiar y del gobierno del Ecuador. Sin embargo, en el Ecuador los estudios relacionados con el consumo de combustible de los vehículos son escasos o no existe.

El objetivo de este estudio es analizar el efecto que tiene la densidad del aire en el consumo de combustible de un vehículo de uso general en el Ecuador. Para lograr nuestro objetivo realizamos una simulación *Model-in-the-Loop* (MIL). De esta manera se pudo abstraer el comportamiento del vehículo. Como subsistemas o bloques integrantes del modelo se emplearon: el bloque del CC, bloque del vehículo, modelo de la rueda, caja de velocidades, motor de combustión interna y el bloque de fuente de energía. Así, se pudo considerar el efecto de factores externos como las fuerzas de resistencia a la rodadura, la resistencia aerodinámica, y la resistencia a la inercia en el consumo de combustible. Los resultados se presentan de acuerdo con el ciclo de conducción "Highway Fuel Economy Driving Schedule (HWFET)" en distintos escenarios simulados, en las regiones de la Sierra y Costa. El HWFET se desarrolló para cuantificar el consumo específico de combustible y emisiones contaminantes en vehículos livianos simulando condiciones de manejo en autopista con velocidades por debajo de los 96 km/h (United States Environmental Protection Agency (EPA), n.d.).

## 2. Metodología

La metodología empleada se denomina MIL por sus siglas en inglés (Model In the Loop), que pertenece a un modelo en bucle y es una técnica de simulación que se utiliza para obtener el comportamiento de un sistema o subsistema de manera que este modelo se pueda utilizar para probar, simular y verificar el comportamiento del sistema completo (Lamberg *et al.*, 2004; Motahhir, El Ghzizal, Sebti, & Derouich, 2017; Plummer, 2006).

El modelo experimental que se ha diseñado se obtiene mediante el uso de una cadena de herramientas estándar de la industria *Simulink*, que permite probar y refinar la simulación dentro de un entorno de escritorio, lo que se traduce en administrar un sistema complejo de manera eficiente. La construcción del diagrama de bloques se ha realizado usando un cuadro de herramientas de QSS (Quasy Static System) desarrollado por el instituto Tecnológico de Zurich (Guzzella & Onder, 2010; Guzzella & Sciarretta, 2013; Stockar, Marano, Canova, Rizzoni, & Guzzella, 2011). Este diagrama de bloques se construyó ingresando los datos necesarios para el modelo y que permiten calcular el consumo de energía y combustible de un vehículo convencional. Entre los datos más importantes que se utilizan en el modelo son los datos del vehículo y los datos atmosféricos correspondientes a diferentes puntos geográficos del país.

En la implementación del modelo se usaron datos correspondientes a un vehículo de uso general por la población ecuatoriana. El vehículo posee un motor de combustión interna a gasolina de 4 cilindros en línea, con una capacidad de 1600 cm<sup>3</sup>, doble árbol de válvulas (DOHC – 4 válvulas por cilindro), y una entrega máxima de potencia de 137 HP a 6300 rpm, con sistema de transmisión manual de 6 velocidades. También se incorporaron al modelo los datos correspondientes a la caja de cambios como la relación de transmisión de cada marcha del vehículo, mientras que en el diferencial se ingresa la relación final de

transmisión y el rendimiento, y por último, los neumáticos donde se ingresan datos como: diámetro de rin, diámetro nominal, ancho de neumático, relación nominal de aspecto.

En cuanto a los datos atmosféricos, es necesario calcular la densidad del aire en referencia al lugar donde esté operando el vehículo. Debido a la geografía característica de Ecuador, sus principales ciudades están ubicadas en diferentes regiones naturales del país lo que causa que cambien las condiciones climáticas más importantes como: la presión atmosférica, la humedad relativa y temperatura del aire, los mismos que son necesarios para obtener la densidad del aire. Las ciudades escogidas para este estudio se encuentran en la región Costa y en la región Sierra para comparar como afectan estas condiciones al consumo de energía y combustible del vehículo. Para calcular las densidades del aire en varios puntos del país se ha recurrido a bases de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017) y a partir de la fórmula de la densidad del aire CIPM-2007 (versión exponencial) (Peña & Becerra, 2010) se procedió a calcular la densidad del aire para cada localización en el estudio.

### 2.1. Dinámica longitudinal del vehículo

Un vehículo al desplazarse está expuesto a varias fuerzas resistentes. El diseño óptimo de un tren propulsor depende en gran medida de un correcto análisis de la dinámica longitudinal vehicular. Para calcular la fuerza de tracción necesaria para el movimiento del vehículo se debe analizar las fuerzas de resistentes que éste debe vencer (Figura 1), estas fuerzas son: la resistencia a la rodadura ( $R_{rd}$ ), la resistencia aerodinámica ( $F_{xa}$ ), la resistencia gravitatoria ( $R_g$ ) y la resistencia a la inercia ( $R_{rt}$ ).

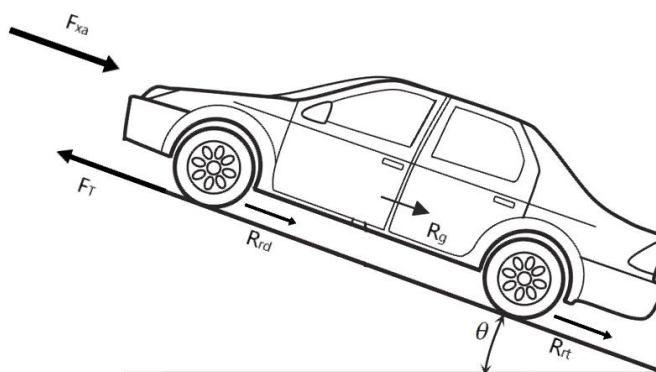


Figura 1: Fuerzas resistentes que intervienen en el avance del vehículo.

Aplicando la segunda ley de Newton y el teorema de Euler se obtiene la relación en la ecuación (1).

$$ma_x\gamma_m = F_T - R_{rt} - R_{rd} - F_{xa} - R_g \tag{1}$$

$$R_a \equiv R_r + F_{xa} + R_g \tag{2}$$

En la ecuación (1) y (2),  $m$  representa la masa total del vehículo (incluye peso de pasajeros),  $a_x$  la aceleración longitudinal,  $\gamma_m$  es el factor de mayoración de masa,  $F_T$  representa la fuerza de tracción, mientras que la fuerza resistente al avance es  $R_a$ . Así,

$$F_T = ma_x\gamma_m + R_r + F_{xa} + R_g \tag{3}$$

En la ecuación (3),  $\gamma_m$  toma en cuenta la inercia provocada por las masas giratorias del vehículo (discos y tambores de freno, sistema de transmisión, entre otros) que se estima mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_m = 1 + \sum \frac{I_r}{mr^2} + \sum \frac{I_t \xi_j^2}{mr^2} \quad (4)$$

Donde:  $I_r$  es el momento de inercia de las masas que giran con las ruedas respecto a sus ejes de giro,  $I_t$  es el momento de inercia de los componentes de la transmisión,  $r^2$  es el producto del radio cinemático equivalente con el radio del neumático bajo carga suponiendo como coincidentes a cada uno de ellos y  $\xi_j$  es la relación de transmisión respecto a las ruedas.

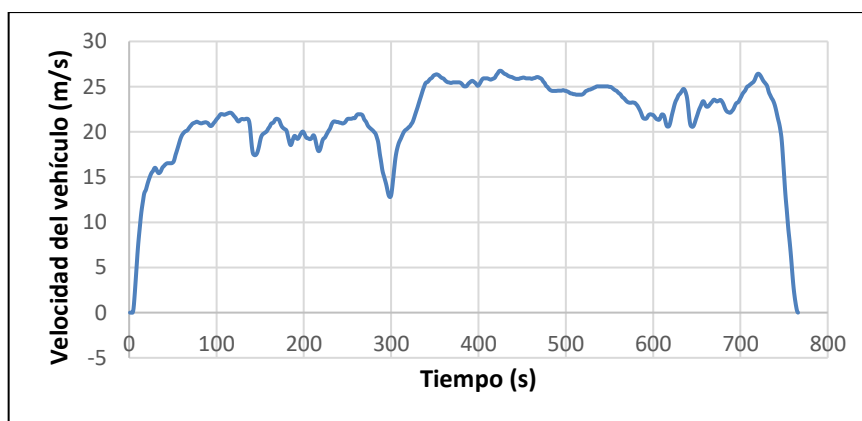
Para el cálculo de la energía del vehículo en primera instancia se necesita la potencia de tracción, la cual se calcula mediante la ecuación (5).

$$P_T = F_T V_{veh} \quad (5)$$

La energía que consume un vehículo se calcula integrando los valores de la potencia de tracción del sistema y se puede calcular mediante la ecuación (6).

$$E_{veh} = \int P_t dt \quad (6)$$

Para estimar el consumo de energía y combustible se utilizan patrones de conducción o CC estándar que tratan de asemejarse a las de un conductor (Jiménez, López, Aparicio, & Flores, 2009; Jiménez *et al.*, 2013). El CC describe cómo varía la velocidad del vehículo durante el viaje, es decir que el CC es una gráfica de la velocidad frente al tiempo (Figura2). Los ensayos suelen ser suficientes sin considerar la incidencia de la pendiente, es decir en camino llano, para este artículo se ha tomado en cuenta el ciclo de conducción extraurbano HWFET como se puede ver en la figura 2, la razón de seleccionar el CC HWFET es que a mayores velocidades es mayor el impacto de la resistencia aerodinámica.



**Figura 2:** Ciclo de conducción extraurbano HWFET (United States Environmental Protection Agency (EPA), n.d.).

## 2.2. Densidad del aire

El cálculo de la densidad del aire en cada sitio se realizó mediante la relación en la ecuación (7). La ecuación (7) requiere como datos conocidos: densidad del aire ( $\text{kg/m}^3$ )

representada como  $\rho_a$ , presión atmosférica (hPa) representada por  $p$ , humedad relativa (%) etiquetada como  $h_r$ , y Temperatura del aire (°C) representada como  $T$ . Este conjunto de datos se obtuvo de la base de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). El INAMHI registra los datos en concordancia con las normas internacionales establecidas por la Organización Meteorológica mundial-OMM, la cual recomienda que la incertidumbre de medición de la densidad del aire y demás variables meteorológicas estén establecidas entre 99% como altamente correcta y 90% como muy acertada (World Meteorological Organization, 2008).

$$\rho_a = \frac{0.34848p - 0.009h_r \exp(0.061t)}{273.15 + T} \tag{7}$$

### 2.3. Modelo

El modelo desarrollado corresponde a una serie de conexiones a través de un diagrama de bloques a partir de un cuadro de herramientas desarrollado por el Instituto Tecnológico de Zúrich denominado *Quasi-Static Simulation tool (QSS)* (Guzzella & Amstutz, 2005). El modelo se muestra en la Figura 3: Diagrama de Bloques del modelo matemático ejecutado en la simulación.

, donde se expone cada uno de los componentes que contiene cada bloque siguiendo la siguiente descripción:

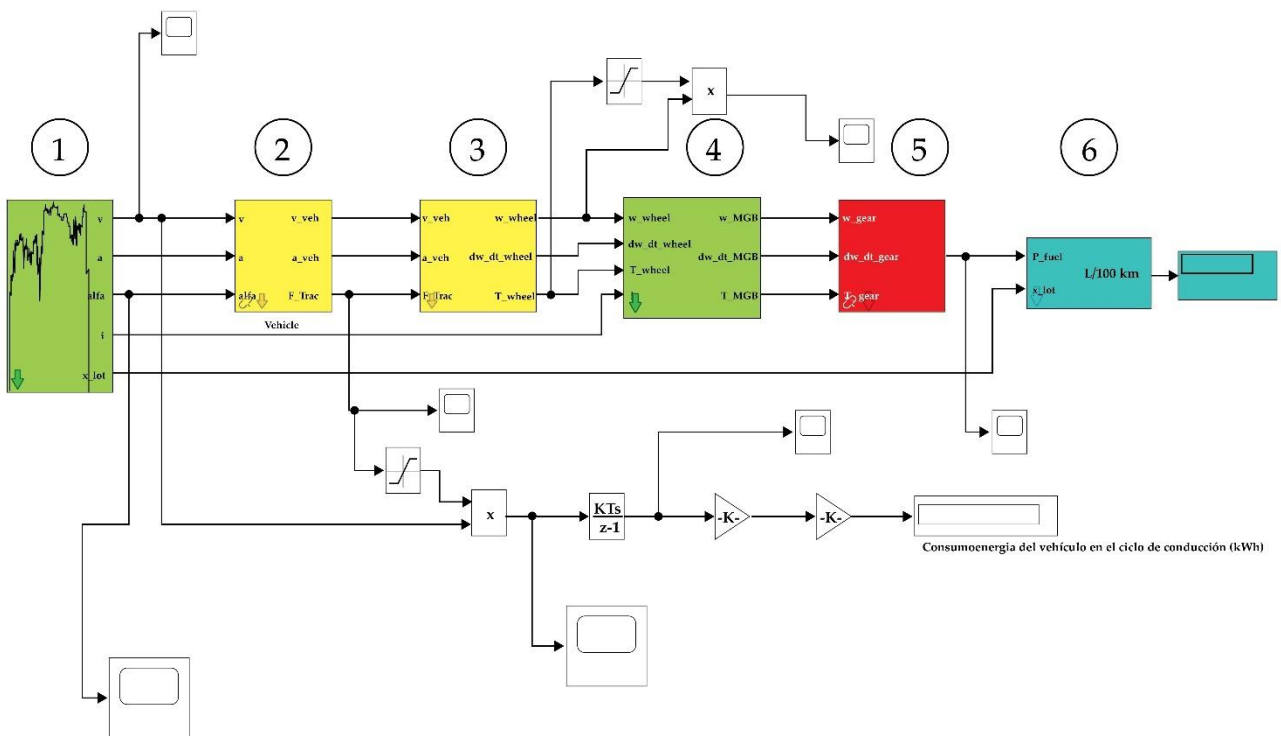


Figura 3: Diagrama de Bloques del modelo matemático ejecutado en la simulación.

1. *Bloque del CC*: El CC se define mediante dos vectores: Con un vector de tiempo (en el que los intervalos de tiempo suelen ser iguales), y un vector de velocidad del vehículo. Se debe mencionar que los ciclos de conducción son estandarizados y para el caso que queremos

tratar como es la influencia de la resistencia aerodinámica es pertinente analizarlo a altas velocidades por lo que en el modelo hemos aplicado el ciclo de conducción HWFET que se aplica como un ciclo de conducción extraurbano.

2. *Bloque del Vehículo*: Corresponde al sistema dinámico que efectúa un desplazamiento longitudinal, Que deriva de la potencia dada por el sistema de transmisión de potencia a través de su cadena de transmisión para al final pasarlo al grupo de neumáticos que efectuarán la potencia de tracción para el desplazamiento del vehículo. Este sistema está expuesto a un grupo de resistencia al avance que se ha mencionado anteriormente como son: La resistencia a la rodadura, la resistencia aerodinámica, la resistencia gravitatoria y las pérdidas de resistencia a la aceleración del vehículo (inercia).

3. *Modelo de la rueda*: Este modelo pertenece al neumático y como esta toma la potencia y par del sistema de transmisión y lo convierte en movimiento lineal al vehículo. Tiene en cuenta la velocidad angular, potencia y par que viene desde el tren de potencia.

4. *Caja de velocidades*: Este modelo corresponde al cambio de velocidades que debe darse en cada instancia del movimiento del vehículo y condición del motor teniendo en cuenta que a bajas velocidades el motor requiere altos requerimientos de Par y a altas velocidades altos requerimientos de Potencia.

5. *Motor de Combustión Interna*: Este bloque se refiere al convertidor energético. La potencia producida a partir de un motor de combustión interna se puede modelar siguiendo dos enfoques diferentes: el primero corresponde el de calcular el consumo de combustible desde un mapa de consumo y el segundo la aproximación de la eficiencia mediante la aplicación de linealidad de Willians para escalabilidad de motores de combustión interna (Nesci *et al.*, 2015).

6. *Bloque de fuente de energía*: Este bloque permite calcular el consumo de combustible. La potencia requerida del motor de combustión se divide por el poder calorífico inferior del combustible para calcular el flujo de masa de combustible real resultante (Ben-Chaim, Shmerling, & Kuperman, 2013; Guzmán, Cueva, Peralvo, Revelo, & Armas, 2018.; Taipe-Defaz, Llanes-Cedeño, Morales-Bayetero, & Checa-Ramírez., 2021). A continuación, el flujo de masa de combustible se integra con el fin de obtener la masa de combustible consumido para completar el ciclo de conducción elegido. La masa total de combustible se divide finalmente por la distancia total y se transforma en litros/100 km.

### 3. Resultados

#### 3.1. Resistencia aerodinámica

La Figura 4 muestra los resultados del comportamiento de la resistencia aerodinámica tras la ejecución de varias simulaciones del modelo conceptual desarrollado, teniendo en cuenta el efecto de la presión atmosférica y la densidad del aire de un grupo de ciudades de Ecuador.

3.2. Consumo de energía del vehículo y del motor

Hay que mencionar que el consumo de energía del vehículo es diferente al consumo de energía del motor. Esto se debe a que sistema de propulsión tiene una eficiencia determinada, por ejemplo, en los motores de combustión de encendido provocado, se tienen eficiencias del 20 al 25 % cuando se encuentran en su punto óptimo de funcionamiento, además que existen pérdidas en los distintos componentes de la cadena energética como caja de cambios y diferencial, con una eficiencia combinada de alrededor del 96 %. De esta manera se deduce que el sistema de propulsión tiene valores de eficiencia de alrededor del 20 %, por lo que la energía que consume el motor de combustión puede llegar a ser hasta cinco veces mayor a la energía que consume el vehículo. Esto se puede apreciar en la figura 5, donde se puede observar que durante el ciclo de conducción la energía que consumió el motor es aproximadamente 9 kWh en la región Sierra (Quito) y en la región Costa (Guayaquil).

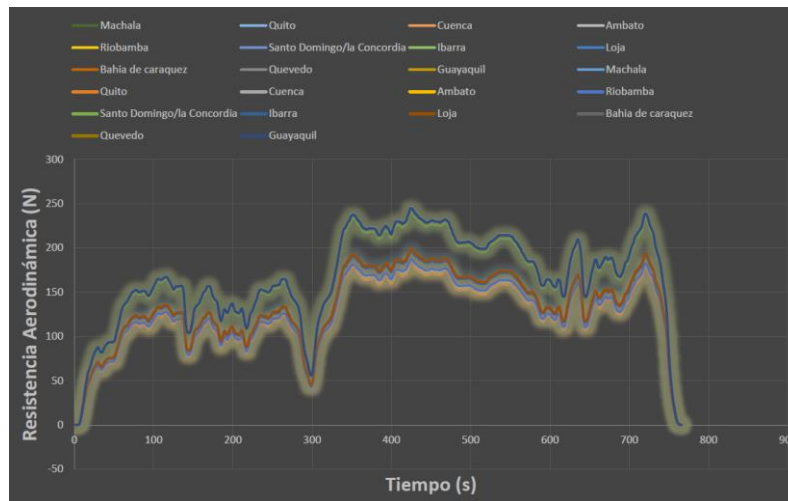
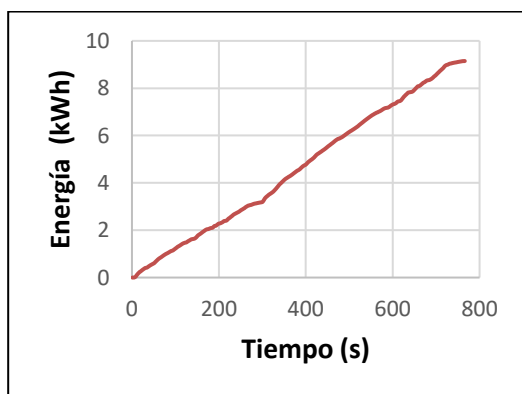
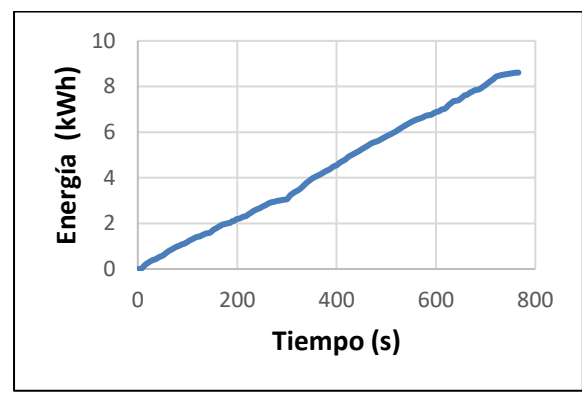


Figura 4: Valores de la resistencia aerodinámica del vehículo simulado usando el ciclo de conducción HWFET en diferentes regiones del Ecuador. Los colores identifican las trazas correspondientes a las regiones de estudio.



(a) Guayaquil



(b) Quito

Figura 5: (a) Energía consumida por el vehículo durante el CC HWFET en la región Costa, en la ciudad de Guayaquil y (b) Energía consumida por el vehículo durante el CC HWFET en la región Sierra, en la ciudad de Quito.



La Tabla 1 lista los valores del consumo de combustible del motor de combustión interna cada 100 km en varias ciudades del Ecuador. La resistencia aerodinámica tiene un mayor efecto en las ciudades que se encuentran en la región Costa (Tabla 1). En la región Costa y Sierra se hace más evidente el efecto de la resistencia aerodinámica (densidad del aire) en el consumo de combustible.

Se puede apreciar que en la región Sierra la variación de consumo de combustible fue entre 6.793 a 6.911 L/100 km, mientras que en la región Costa de 7.188 a 7.224 L/100 km.

Comparando las ciudades principales del país (Quito y Guayaquil) que coincidentemente una está en la Sierra ecuatoriana y otra en la Costa, en dato porcentual, existe en la ciudad de Guayaquil una variación de mayor consumo combustible del 5.9 % respecto a Quito, por lo que la resistencia aerodinámica tiene un mayor efecto en la región costa. Considerando el valor medio del consumo de combustible en las ciudades de la región Costa y el correspondiente valor medio para las ciudades en la región Sierra los datos sugieren que en promedio un vehículo liviano con las especificaciones dadas en este estudio consume un 95% del combustible que consumiría en la región Costa.

**Tabla 1:** Consumo de combustible del vehículo liviano simulado en distintas ciudades del Ecuador cuando se usa el ciclo de conducción HWFET. Entre paréntesis se indica la región geográfica.

Ciudades Referencia	Consumo de combustible en 100 km (L/100 km)
Quito (Sierra)	6.793
Cuenca (Sierra)	6.819
Ambato/Baños (Sierra)	6.824
Riobamba (Sierra)	6.814
Ibarra (Sierra)	6.894
Loja (Sierra)	6.911
Bahía de Caráquez (Costa)	7.212
Quevedo/Babahoyo (Costa)	7.217
Guayaquil (Costa)	7.217
Salinas (Costa)	7.224
Santo Domingo/la Concordia (Costa)	7.188
Machala (Costa)	7.224

#### 4. Discusión

Se ha tomado en consideración para este estudio el poder calorífico del combustible de mayor uso en vehículos livianos particulares en el Ecuador (gasolina extra). Así mismo, la densidad del aire fue incorporado en el modelo y para esto se consideró la presión atmosférica, temperatura ambiental y la humedad relativa de diferentes ciudades del Ecuador, a diferencia de muchos estudios donde se toma un valor estándar de la densidad del aire de 1.225 kg/m<sup>3</sup>. Se ha mostrado que la densidad del aire puede afectar el consumo de combustible de vehículo livianos cuando el patrón de conducción corresponde con un CC HWFET. Sin embargo, se debe tener presente que estos cálculos son el resultado de un modelo conceptual con algunas simplificaciones por lo que se requieren más estudios en profundidad para determinar la significancia de este resultado.

## 5. Conclusiones

Se ha elaborado un MIL a partir de un vehículo conceptual liviano de uso habitual en Ecuador, donde se ha aplicado el ciclo de conducción extraurbano HWFET, esto con el fin de caracterizar el efecto que tiene la resistencia aerodinámica sobre el consumo de combustible del vehículo. De lo que se puede concluir:

Se determinó que en las ciudades evaluadas de la región Costa, el consumo de combustible del vehículo fue aproximadamente de 7.214 L/100 km, mientras que la sierra de 6.842 L/100 km. Esto se interpreta como que el efecto de la resistencia aerodinámica (la densidad del aire) es reducir el consumo de combustible en la región Sierra en aproximadamente 5%.

La resistencia a la rodadura es constante en ambas regiones, mientras que la resistencia aerodinámica difiere sus valores por efecto de la densidad del aire, la presión atmosférica, temperatura ambiente y humedad relativa. Se concluye que, en los puntos geográficos evaluados, la región Costa es más incidente que la región sierra respecto al consumo de energía y combustible por efecto de la resistencia aerodinámica.

Experimentar con equipos de instrumentación sobre un vehículo en rutas extraurbanas, permitirá validar los resultados del modelo físico con el simulado.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y a la dirección de investigación por el apoyo brindado dentro del proyecto de Investigación "Estudio de la resistencia aerodinámica (Aerodynamic Drag) de vehículos comercializados en Ecuador."

## Contribuciones de los autores

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://casrai.org/credit/>). Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

	Grijalva, E.	Acosta, J.	Mancheno, E.
Conceptualización			
Análisis formal			
Investigación			
Metodología			
Recursos			
Validación			
Redacción - revisión y edición			

## Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés de ninguna naturaleza con la presente investigación.

## Referencias

- Aparicio, F., Vera, C., & Díaz, V. (1996). *Teoría de los vehículos automóviles*. Sección de Publicaciones de la ETSII-UPM. Universidad Politécnica de Madrid: España. Disponible en <https://es.scribd.com/document/351110516/Teoria-de-Los-Vehiculos-Automoviles>
- Ben-Chaim, M., Shmerling, E., & Kuperman, A. (2013). Analytic Modeling of Vehicle Fuel Consumption. *Energies*, 6(1):117–127. <https://doi.org/10.3390/en6010117>
- Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S., & Ebrahimi, K. M., (2018). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: Fundamentals, theory, and design* (3<sup>rd</sup> ed.). Boca Raton, FL: CRC press. <https://doi.org/10.1201/9780429504884>
- Giakoumis, E., (2017). *Driving and Engine Cycles*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49034-2>
- Guzmán, A., Cueva, E. J., Peralvo, A., Revelo, M., & Armas, A., (2018). Estudio del rendimiento dinámico de un motor Otto utilizando mezclas de dos tipos de gasolinas “Extra” y “Súper”. *Enfoque*, 9(4). 208-220. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n4.335>
- Guzzella, L., & Amstutz, A. (2005). The QSS toolbox manual. *Institut für Mess-und Regeltechnik, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. Zürich*. Retrieve from <https://vdocuments.mx/qss-tb-manual.html>
- Guzzella, L., & Onder, C., (2010). *Introduction to modeling and control of internal combustion engine systems*. Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-10775-7>
- Guzzella, L., & Sciarretta, A., (2013). *Vehicle propulsion systems: Introduction to modeling and optimization* (2nd. ed.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74692-8>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2017). *Anuario Meteorológico*. Obtenido de [https://www.inamhi.gob.ec/docum\\_institucion/anuarios/meteorologicos/Am\\_2013.pdf](https://www.inamhi.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf)
- Jiménez, F., Román, A., & Lopéz, M., (2013). Determinación de ciclos de conducción en rutas urbanas fijas. *Dyna: Ingeniería e Industria*. 88(6):685–92. <https://doi.org/10.6036/5751>
- Jiménez, F., López, J. M., Aparicio, F., & Flores, H. N., (2009) Comparación de tecnologías para la reducción de emisiones contaminantes en autobuses urbanos. *Dyna: Ingeniería e Industria*. 84(1): 21’25. Recuperado de <https://www.revistadyna.com/Articulos/Ficha.aspx?idMenu=a5c9d895-28e0-4f92->

[b0c2-c0f86f2a940b&Cod=1736&codigoacceso=15aa3863-5ed4-4cb8-90fc-519b41eea5f5](https://doi.org/10.1080/17445019.2021.1911111)

- Lamberg, K., Beine, M., Eschmann, M., Otterbach, R., Conrad, M., & Fey, I., (2004). *Model-Based testing of embedded automotive software using Mtest* (SAE Technical Papers 724). Recuperado de <https://ur.booksc.eu/book/71703976/ec8457>
- Motahhir, S., El Ghzizal, A., Sebti, S., & Derouich, A., (2017). MIL and SIL and PIL Tests for MPPT Algorithm. *Cogent Engineering* 4(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1378475>
- Nesci, W., Sorrentino, M., Mauramati, F., Arsie, I., Cricchio, A., & Pianese, C., (2015). *Application of Willans Line Method for Internal Combustion Engines Scalability towards the Design and Optimization of Eco-Innovation Solutions* (Technical Paper 2015-24-2397). SAE International. <https://doi.org/10.4271/2015-24-2397>
- Peña, L. M., & Becerra, L. O., (2010). *Impacto de la nueva fórmula de la densidad del aire CIPM-2007* (Reporte SM2010-S1A-3). Centro Nacional de Metrología: Mexico. Recuperado de <https://www.cenam.mx/sm2010/info/pmiercoles/sm2010-mp03a.pdf>
- Plummer, A. R., (2006). Model-in-the-Loop Testing.. *Journal of Systems and Control Engineering* 220(3):183–99. <https://doi.org/10.1243/09596518JSCE207>
- Soares, R. F., & de Souza, F. J., (2015). *The Brazilian Automotive Scenario over the Hatch 2015 Car Models: A View from Aerodynamics* (Technical Paper 2015-36-0518). SAE International. <https://doi.org/10.4271/2015-36-0518>
- Stockar, S., Marano, V., Canova, M., Rizzoni, G., & Guzzella, L., (2011). Energy-Optimal Control of Plug-in Hybrid Electric Vehicles for Real-World Driving Cycles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 60(7), 2949–2962. <https://doi.org/10.1109/TVT.2011.2158565>.
- Taípe-Defaz, V. A., Llanes-Cedeño, E. A., Morales-Bayetero, C. F., & Checa-Ramírez, A. E., (2021). Evaluación experimental de un motor de encendido provocado bajo diferentes gasolinas. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología* (26):17–29. <https://doi.org/10.17163/ings.n26.2021.02>
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (n.d). *Dynamometer Drive Schedules*, Retrieved from <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>
- World Meteorological Organization. (2008). *Guidelines on Communicating Forecast Uncertainty*. Recuperado de [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=4687](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4687)