



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Evaluación del desempeño mecánico, energético y ambiental de tres vehículos en la ciudad de Cuenca, utilizando gasolinas de diferentes octanajes

Trabajo previo a la obtención del título de:
Ingeniero Mecánico Automotriz

Autor:
Wilson Ismael Espinosa Jiménez

Director de tesis:
Daniel Guillermo Cordero Moreno

Cuenca – Ecuador
2023

Dedicatoria:

A mi amada mamá, fuente inagotable de amor y sabiduría. Tu apoyo incondicional y tus palabras de aliento han sido mi luz en este camino académico. A mi querida esposa, compañera de vida y cómplice en cada desafío. Tu paciencia, comprensión y amor han sido mi mayor motivación. A mi valiente hijo, quien ha sido mi inspiración diaria. Este logro también es tuyo, mi pequeño cuca. Gracias por ser mi razón para esforzarme cada día. A los tres, mi familia, mi pilar fundamental, les dedico con todo mi corazón este logro. Sin su amor y apoyo, este camino no habría sido el mismo. ¡Gracias por ser mi fuerza y mi alegría constante!

Agradecimientos:

En primer lugar, deseo expresar mi gratitud a mis padres, en especial a mi madre, así como a mi esposa, mi hijo y demás familiares, por brindarme un apoyo incondicional a lo largo de mi trayectoria universitaria.

De igual manera, quiero agradecer al Ingeniero Daniel Cordero, Ph.D., y al Magíster Gustavo Alvarez por su respaldo durante todo el proceso académico, incluyendo el desarrollo de la tesis.

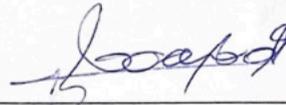
Resumen

El precio de los combustibles ha generado que la población prefiera usar las gasolinas de menor costo y octanaje. Por ende, en este proyecto se analizaron las incidencias que tienen dos gasolinas de diferentes calidades (Ecopais y Súper Premium) sobre el desempeño mecánico, energético y ambiental de tres vehículos. Para ello se realizaron pruebas de consumo de combustible, utilizando los ciclos de conducción FTP75, HWFET y NEDC, emisiones contaminantes, torque y potencia en dinamómetro de chasis. Se evidenció que solamente un automóvil, al utilizar la gasolina de menor octanaje, mejoró su potencia en un 2.18% con respecto a la de mayor octanaje. Sin embargo, en cuanto a consumo y emisiones se concluyó que la calidad de la gasolina no tiene una influencia representativa sobre estos parámetros, ya que, dependiendo del vehículo y las condiciones de prueba, los resultados pueden variar en favor de la gasolina Ecopais o Súper Premium.

Palabras clave: Ciclos de conducción, calidad de combustibles, consumo de combustible, emisiones contaminantes, torque y potencia.



Wilson Ismael Espinosa Jiménez
AUTOR



Robert Esteban Rockwood Iglesias
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Evaluation of the mechanical, energetic and environmental performance of three vehicles in the city of Cuenca, using gasoline of different octane ratings

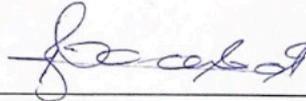
Abstract

The price of fuel has caused the population to prefer to use the lowest cost and octane gasoline. Therefore, this project analyzed the impact of two gasolines of different qualities (Ecopaís and Super Premium) on the mechanical, energetic and environmental performance of three vehicles. To this end, fuel consumption tests were carried out, using the FTP75, HWFET and NEDC driving cycles, pollutant emissions, torque and power in chassis dynamometer. It was evidenced that only one car, when using the lowest octane gasoline, improved its power by 2.18% compared to the higher octane one. However, in terms of consumption and emissions, it was concluded that the quality of the gasoline does not have a representative influence on these parameters, since, depending on the vehicle and the test conditions, the results may vary in favor of Ecopaís or Super Premium gasoline.

Keywords: Driving cycles, fuel quality, fuel consumption, polluting emissions, torque and power.



Wilson Ismael Espinosa Jiménez
AUTOR



Robert Esteban Rockwood Iglesias
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Índice de Contenidos

Dedicatoria:	II
Agradecimientos:	III
Resumen	IV
Abstract	V
I. Introducción	1
II. Materiales y Equipos.....	3
III. Metodología	3
A. Obtención del Centro de Gravedad.....	3
B. Análisis de las Características de las Gasolinas.....	4
C. Medición del Rendimiento en Condiciones Reales de Operación	4
D. Análisis del Rendimiento en Laboratorio	4
E. Obtención de Torque y Potencia.....	5
F. Análisis de Emisiones Contaminantes	5
IV. Resultados	5
A. Centro de Gravedad	5
B. Características de las Gasolinas Utilizadas.....	6
C. Rendimiento en Condiciones Reales de Operación	6
D. Coeficientes de Inercia (A), Rodadura (B) y Arrastre (C).....	6
E. Rendimiento en Laboratorio	6
F. Torque y Potencia	7
G. Emisiones Contaminantes	8
V. Conclusiones	8
Reconocimientos	9
Referencias	9

Índice de Figuras

Fig. 1 Consumo de combustibles en Ecuador	1
Fig. 2 Consumo de energía del vehículo 1.....	2
Fig. 3 Tiempo de aceleración máxima del vehículo 1.	2
Fig. 4 Medición del peso del vehículo.	4
Fig. 5 Tramo de carretera escogido para las pruebas Coast Down.	4
Fig. 6 Instrumentación del vehículo.....	5
Fig. 7 Coordenadas del centro de gravedad.	6
Fig. 8 Resultados de las características fisicoquímicas de las muestras de gasolinas utilizadas.	6
Fig. 9 Rendimiento real de los vehículos.	6
Fig. 10 Rendimiento total de los vehículos por el tipo de gasolina utilizada.	6
Fig. 11 Rendimiento total en cada ciclo por el tipo de gasolina utilizada.	7
Fig. 12 Rendimiento de los vehículos por cada ciclo de conducción.	7
Fig. 13 Rendimiento obtenido mediante ciclos de conducción versus el rendimiento obtenido en condiciones reales de operación.	7
Fig. 14 Torque y potencia total de los vehículos por el tipo de gasolina utilizada.	7
Fig. 15 Torque obtenido por cada vehículo.	7
Fig. 16 Potencia obtenida por cada vehículo.	8
Fig. 17 Emisiones totales de HC, CO y CO ₂ , por el tipo de gasolina utilizada.	8
Fig. 18 Emisiones de HC de los vehículos.....	8
Fig. 19 Emisiones de CO de los vehículos.....	8
Fig. 20 Emisiones de CO ₂ de los vehículos.	8

Índice de Tablas

Tabla I Especificaciones Técnicas de los Vehículos.....	3
Tabla II Especificaciones Técnicas de los Equipos Utilizados.....	3
Tabla III Especificaciones Técnicas de las Gasolinas Utilizadas	3
Tabla IV Pruebas Realizadas en las Gasolinas Utilizadas	4
Tabla V Ciclos de Conducción Utilizados	5
Tabla VI Coordenadas del Centro de Gravedad	5
Tabla VII Coeficientes A, B y C.....	6
Tabla VIII Porcentaje de Variación Entre Gasolinas Utilizadas Para el Desempeño Mecánico.....	8
Tabla IX Porcentaje de Variación Entre Gasolinas Utilizadas Para el Desempeño Energético	9
Tabla X Porcentaje de Variación Entre Gasolinas Utilizadas Para el Desempeño Ambiental.....	9
Tabla XI Características de las Gasolinas Utilizadas.....	9

Evaluación del desempeño mecánico, energético y ambiental de tres vehículos en la ciudad de Cuenca, utilizando gasolinas de diferentes octanajes

Wilson Ismael Espinosa Jiménez, Daniel Guillermo Cordero Moreno, Gustavo Andrés Álvarez Coello

Escuela de Ingeniería Automotriz, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador

ismaelol@es.uazuay.edu.ec

dacorderom@uazuay.edu.ec

galvarezc@uazuay.edu.ec

Resumen— El precio de los combustibles ha generado que la población prefiera usar las gasolinas de menor costo y octanaje. Por ende, en este proyecto se analizaron las incidencias que tienen dos gasolinas de diferentes calidades (Ecopaís y Súper Premium) sobre el desempeño mecánico, energético y ambiental de tres vehículos. Para ello se realizaron pruebas de consumo de combustible (utilizando los ciclos de conducción FTP75, HWFET y NEDC), emisiones contaminantes, torque y potencia en dinamómetro de chasis. Se evidenció que solamente un automóvil, al utilizar la gasolina de menor octanaje, mejoró su potencia en un 2.18% con respecto a la de mayor octanaje. Sin embargo, en cuanto a consumo y emisiones se concluyó que la calidad de la gasolina no tiene una influencia representativa sobre estos parámetros, ya que, dependiendo del vehículo y las condiciones de prueba, los resultados pueden variar en favor de la gasolina Ecopaís o Súper Premium.

Palabras clave— Ciclos de conducción, calidad de combustibles, consumo de combustible, emisiones contaminantes, torque y potencia.

Abstract— The price of fuel has caused the population to prefer to use the lowest cost and octane rating. Therefore, this project analyzed the impact of two gasolines of different qualities (Ecopaís and Super Premium) on the mechanical, energetic and environmental performance of three vehicles. To this end, fuel consumption tests were carried out (using the FTP75, HWFET and NEDC drive cycles), pollutant emissions, torque and power on chassis dynamometer. It was shown that only one car, when using the lowest octane gasoline, improved its power by 2.18% compared to the higher octane one. However, in terms of consumption and emissions, it was concluded that the quality of the gasoline does not have a representative influence on these parameters, since, depending on the vehicle and the test conditions, the results may vary in favor of Ecopaís or Super Premium gasoline.

Keywords— Driving cycles, fuel quality, fuel consumption, polluting emissions, torque and power.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Ecuador se comercializan cuatro tipos de gasolinas, cuyas características se encuentran reguladas por la norma INEN 935 [1], estas son: Extra y Ecopaís de 85 octanos, Ecoplus 89 octanos y Súper Premium de 95 octanos, siendo las más demandadas Extra y Ecopaís.

La demanda de dichas gasolinas obedece en gran medida al precio, el cual depende de múltiples factores como, por ejemplo, la Súper Premium y la Ecoplus de ochenta y nueve octanos, varían de acuerdo al costo del petróleo en los mercados internacionales. Sin embargo, en cuanto a las gasolinas Ecopaís y Extra, el costo es subsidiado por el gobierno y se encuentra fijo a raíz del paro nacional ocurrido en el año 2022. En consecuencia, el 30 de junio del 2022 se estableció que el precio se mantendrá en 2.4 (USD) y para el Diésel 1.75 (USD) [2].

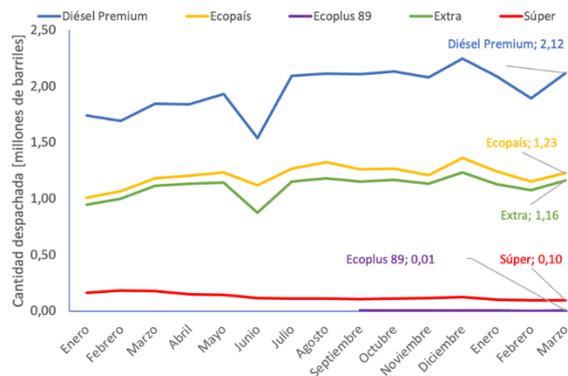


Fig. 1 Consumo de combustibles en Ecuador [3], [4].

De acuerdo con los datos de Petroecuador (Fig. 1), la demanda de la gasolina Súper en el año de 2022 con respecto a 2021, fue menor en un 33.73%; y en lo que va del año con respecto al 2022, ha disminuido en un 22.25%. Por otra parte, el consumo de Ecopaís y Extra ha aumentado 3.67% y 5.45% respectivamente, esto quiere decir que existe un incremento

importante en la migración de los usuarios desde la gasolina Súper hacia Ecopais y Extra [3], [4].

Por ende, la calidad de los combustibles se define mediante diferentes parámetros, siendo el más influyente el octanaje, el cual es la capacidad antidetonante del combustible, es decir, el control que se tiene al combustionar dentro de un motor, de forma que se aproveche al máximo la energía liberada [5]. Para conocer el valor de octanaje se realizan pruebas en un motor de relación de compresión variable, del cual se obtienen dos parámetros diferentes. Uno de ellos y el más utilizado es el RON (Número de octano de investigación) que se determina realizando un ensayo a una velocidad de 600 revoluciones por minuto (rpm) y a una temperatura de entrada de aire de 51.7°C. El segundo es el MON (Número de octano de motor), el mismo que se realiza a una velocidad de 900 rpm y con una temperatura de entrada de aire de 149°C, el promedio de estos dos valores nos da el número de octano AKI (Anti Knock Index) [6], y este se usa generalmente en Estados Unidos. No obstante, en el Ecuador como en muchos países de Latinoamérica se utiliza el RON como medida de referencia para la comercialización de gasolinas.

Entonces, a todo esto ¿Cuáles son los efectos que se producen en el vehículo al migrar de una gasolina de mayor octanaje hacia una de menor octanaje o viceversa?

En Reino Unido se realizó un estudio en dos vehículos Euro IV [7], empleando dieciocho gasolinas de diferentes características como, por ejemplo, números de octano (RON) que van desde 86 hasta los 103.3, también se tomó en cuenta otros parámetros como el porcentaje de etanol (Entre 0% hasta un 19.2%), etil, oxígeno y número de octano (MOM). El objetivo de esta investigación fue evaluar el consumo, aceleración y emisiones contaminantes, dando como resultado lo siguiente: a medida que aumenta el octanaje, disminuye el consumo de energía (Fig. 2).

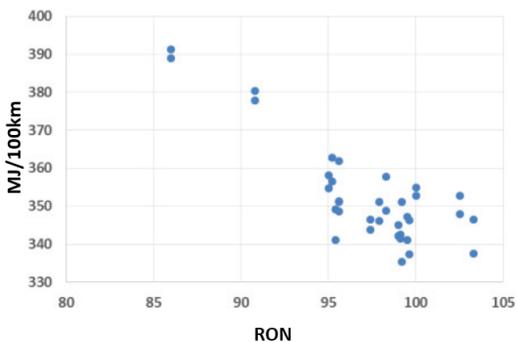


Fig. 2 Consumo de energía del vehículo 1 [7].

En las pruebas de aceleración máxima, los combustibles con menor octanaje traen consigo una pérdida en el rendimiento de aceleración (Fig. 3), lo que conlleva a un incremento en el consumo de combustible. Finalmente, el número de octano no tuvo ningún efecto sobre los ensayos de emisiones de escape.

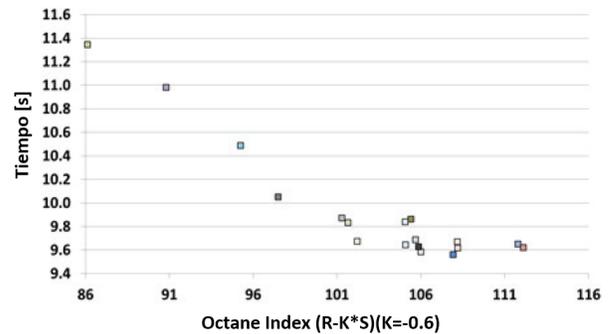


Fig. 3 Tiempo de aceleración máxima del vehículo 1 [7]. Tiempo en el cual el vehículo acelera de 50 a 120 km/h.

De igual manera, en Ecuador se han realizado algunos estudios como, por ejemplo, en la ciudad de Quito, se comparó cuatro vehículos con dos rangos de cilindrada y tres combustibles de diferentes octanajes que se encontraban disponibles en la ciudad, realizando pruebas de potencia, consumo, comportamiento de inyectores, sensor de oxígeno y sensor de golpeteo. Dichas pruebas se las realizaron con el vehículo estático y en ruta, para la cuales se tomaron en cuenta dos tramos: uno de 0.65 km y otro de 7.2 km. Como resultado, en relación a inyectores, se observó que entre mayor sea el octanaje menor es el ancho de pulso; así mismo, en el sensor de oxígeno se apreció que mientras mayor sea el octanaje, mayor es la amplitud de onda, siendo esto beneficioso para el vehículo. Por otro lado, el sensor de golpeteo no cascabelea con ninguna gasolina mientras se realice una conducción correcta. Con respecto a la potencia, la gasolina de 81 octanos fue la que dio un valor más alto en todos los vehículos, sin olvidar que esta ya no se produce actualmente en el país. En los vehículos de bajo cilindraje, la menor potencia se obtuvo con la gasolina de 87 octanos, y en vehículos con alto cilindraje, la potencia fue menor con la gasolina de 92 octanos. Finalmente, en cuanto a consumo, este se observó que a medida que sube el octanaje disminuye el tiempo de apertura de los inyectores dando un menor consumo de combustible [8].

En dichos estudios realizados, tanto en el Reino Unido, como en Quito, no se toman en cuenta los ciclos de conducción para evaluar el rendimiento de combustible, tampoco se realiza un análisis en laboratorio de las características de los combustibles utilizados; y las pruebas se realizan con gasolinas que no se encuentran a la venta en el país. Por ende, la Universidad del Azuay realizó un estudio, donde se analizó el desempeño mecánico, energético y ambiental de veintidós vehículos con las dos gasolinas comercializadas en la ciudad de Cuenca actualmente (Ecopais y Súper Premium). Las mismas que fueron obtenidas de veintidós gasolineras diferentes de la ciudad.

En consecuencia, este estudio aportó en el análisis de tres de los veintidós vehículos. Así mismo, una de las finalidades de este trabajo fue obtener algunas especificaciones técnicas de dichos vehículos que no proporciona el fabricante y así crear una base de datos donde los ciudadanos tengan libre acceso a

este tipo de información, tanto de desempeño mecánico, energético y ambiental; como de las especificaciones técnicas.

II. MATERIALES Y EQUIPOS

Las especificaciones técnicas de los vehículos utilizados en esta investigación, se detallan en la Tabla I.

TABLA I
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS VEHÍCULOS

Marca	Modelo	Año	Cilindraje [cc]	Relación de Compresión	Peso [kg]
Hyundai	I10 GAA 5D TM	2009	1100	10.1	930
Chevrolet	Spark GT AC 1.2 5P 4x2 TM	2019	1200	9.8	981
Suzuki	Grand Vitara SZ Next Sport AC 2.0	2015	2000	9.5	1565

Por otra parte, los equipos utilizados para el desarrollo de todos los ensayos se especifican en la Tabla II

TABLA II
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

Equipo	Especificaciones
Dinamómetro de Chasis [9]	<p>Marca: Super Flow Auto Dyn 30 <i>PMáx.</i>: 1864 kW; <i>Exactitud de control</i>: 0,2 km/h; <i>VMáx.</i>: 362 km/h; <i>Carga máxima</i>: 3629 kg</p> 
Básculas [10]	<p>Marca: Galoce - GPWA08 <i>Exactitud</i>: 1% - 3%; <i>Rango máximo de almohadilla única</i>: 5t</p> 
Torque Pro [11]	<p><i>Compatibilidad</i>: Android <i>Parámetros medidos</i>: Velocidad, RPM, Altitud, Tiempo, Consumo instantáneo.</p> 
Balanza de Precisión [12]	<p>Marca: Radwag <i>Capacidad mínima</i>: 0,5 g; <i>Resolución</i>: 0,1 g; <i>Tiempo de estabilización</i>: 1,5 s</p> 
Analizador de Gases [13]	<p><i>Lectura de gases</i>: HC, CO2, CO <i>Tiempo de calentamiento</i>: 8 min; <i>Índice de flujo</i>: 3,5 l/min</p>

Equipo	Especificaciones
	
OBD II Bluetooth [14]	<p><i>Indicadores led</i>: Azul, Rojo <i>Modelo</i>: JETHAX</p> 
GPS [15]	<p>Marca: Vbox Sport <i>Frecuencia de datos</i>: 20 Hz; <i>Exactitud</i>: 0,1 km/h; <i>Velocidad máxima</i>: 180 km/h</p> 

Por último, en la Tabla III se muestra las características teóricas de las gasolinas utilizadas, de acuerdo con la norma NTE INEN 935 [1].

TABLA III
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS GASOLINAS UTILIZADAS

Característica	Ecopaís		Súper Premium		Ensayo	
	Mín	Max	Mín	Max		
Número de octano RON	85		95		NTE INEN 2102	
Contenido de Etanol (%)		5				
Presión de vapor (kpa)		60.0		60.0	ASTM D323 ASTM D4953 ASTM D5191	
Contenido de Azufre (% peso)		0.0650		0.0450	ASTM D2622 ASTM D4294 ASTM D5453	
Contenido de gomas (mg/100 mL)		3.0		4.0	ASTM D381	
Corrosión a la lámina de cobre (3h a 50 °C)		No. 1		No. 1	ASTM D130	
T. de destilación: 10% (°C)		70		70	ASTM D86	
	50% (°C)	77	121	77		121
	90% (°C)		189			190

III. METODOLOGÍA

A. Obtención del Centro de Gravedad

Para este ensayo se utilizó la báscula Galoce GPWA08, y mediante la norma ISO 10392 [16] se determinó, en primer lugar, el peso total del vehículo. Para ello, el mismo estuvo debidamente montado sobre las básculas (Fig. 4) y, por consiguiente, con el peso obtenido en cada eje se calculó las coordenadas del centro de gravedad en “X” y “Y”.



Fig. 4 Medición del peso del vehículo.

Finalmente, se determinó la altura del centro de gravedad con respecto al suelo (coordenada en “Z”), mediante el método de elevación del eje detallado en la norma.

B. Análisis de las Características de las Gasolinas

Por cada vehículo utilizado, se recogió y almacenó dos muestras de la gasolina adquirida, tanto de Ecopais como Súper Premium, para enviarlas al laboratorio LACBAL de la Escuela Politécnica Nacional, y realizar un análisis de sus características químicas. Las pruebas realizadas en cada muestra se detallan en la Tabla IV.

TABLA IV
PRUEBAS REALIZADAS EN LAS GASOLINAS UTILIZADAS

Ensayo	Método
Octanaje	ASTM D2699
Destilación ASTM	ASTM D86
Presión de vapor	ASTM D323
Corrosión a la lámina de cobre	ASTM D130
Contenido de gomas	ASTM D381
Azufre	ASTM D4294
Densidad relativa	ASTM D1298

C. Medición del Rendimiento en Condiciones Reales de Operación

Para este ensayo, se llenó el tanque de combustible cada vez que visitamos una gasolinera. A su vez, registramos el kilometraje actual del vehículo, junto con la cantidad en unidades de volumen de la gasolina repostada, y mediante la ecuación (1), se obtuvo el rendimiento de cada tanqueada.

$$R = \frac{(km_i - km_{i-1})}{Vol_i} \quad (1)$$

Donde:

- km_i corresponde al kilometraje actual del vehículo.
- km_{i-1} representa el kilometraje anterior del vehículo.
- Vol_i es el volumen actual de gasolina necesaria para repostar el tanque de combustible.

D. Análisis del Rendimiento en Laboratorio

Antes de empezar con el análisis de consumo en laboratorio, se obtuvieron los coeficientes de ajuste del dinamómetro, los mismos que son: Inercia (A), Rodadura (B) y Arrastre (C). Dichos coeficientes ayudan a que el dinamómetro de chasis represente las cargas a las que generalmente se somete un vehículo cuando está en la carretera. Por ende, estos coeficientes se obtuvieron a partir de la norma ISO 10521, la misma que consta de dos partes.

En la primera parte se redacta el procedimiento necesario para obtener los coeficientes de carretera (A_t , B_t y C_t). Para lo cual, se realizaron pruebas en un tramo de la vía Cuenca – Loja comprendido entre el Redondel de Cumbe y el centro parroquial de Cumbe (Fig. 5), utilizando el vehículo instrumentado con el GPS Vbox Sport. La prueba consiste en acelerar el vehículo hasta una velocidad de 110 km/h, y mantener esta velocidad por cinco segundos; seguidamente, se colocó la palanca de cambios en posición neutral, y se permite que el vehículo desacelere por sí solo hasta que se detenga totalmente [17]. Esta prueba se repite alrededor de ocho veces en ambos sentidos de la carretera.

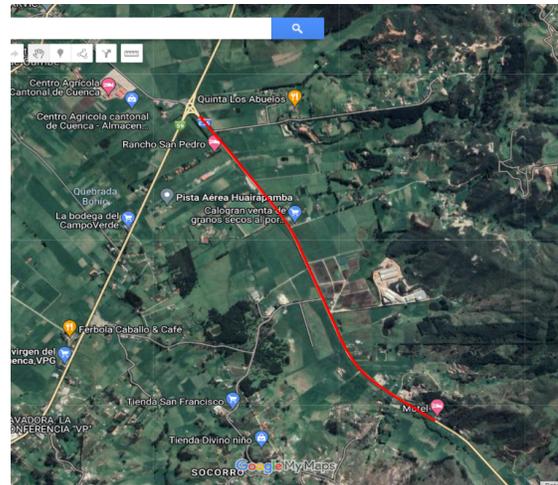


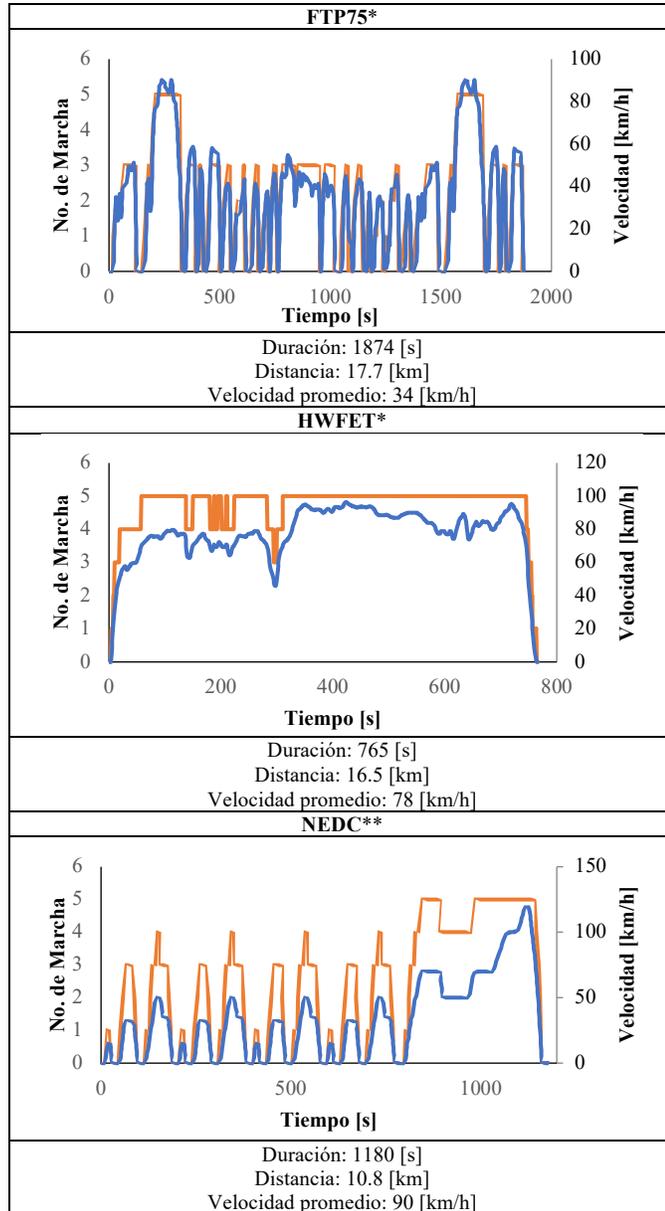
Fig. 5 Tramo de carretera escogido para las pruebas Coast Down.

Por otro lado, la segunda parte de la norma detalla el procedimiento para obtener los coeficientes de dinamómetro (A_s , B_s y C_s), el mismo que consiste en subir el vehículo a un dinamómetro de chasis; por consiguiente, se acelera hasta una velocidad de 110 km/h manteniéndola por cinco segundos, luego ubicamos la palanca de cambios en posición neutral y se espera hasta que el vehículo se detenga totalmente [18]. Dicha prueba se repite un mínimo de cinco veces con el fin de obtener un promedio general con un intervalo de confianza; finalmente, con el análisis matemático expuesto en la norma se obtienen los coeficientes de ajuste.

A continuación, se procede a calcular el rendimiento en laboratorio, para ello se utilizaron tres ciclos de conducción (Tabla V), dos de ellos utilizados en Estados Unidos por la Environmental Protection Agency (EPA), los cuales son FTP75

y HWFET; y el último utilizado en Chile por el Ministerio de Energía, conocido como NEDC. Dichos ciclos de conducción representan patrones de manejo urbano, extraurbano y mixto, respectivamente.

TABLA V
CICLOS DE CONDUCCIÓN UTILIZADOS



La línea azul representa el ciclo de conducción, mientras que la línea naranja representa el patrón de cambios.

*Adaptado de [19]

**Adaptado de [20]

Paralelamente, se controla la masa del combustible mediante la balanza de precisión Radwag, sobre la cual se colocó un recipiente con capacidad de 15 litros, la cual se conectó a una bomba externa de combustible, un regulador de presión y, a su vez, al sistema de alimentación del vehículo (Fig. 6).



Fig. 6 Instrumentación del vehículo.

E. Obtención de Torque y Potencia

Para este ensayo, al igual que la prueba anterior, se mantuvieron los vehículos instrumentados y ubicados en el dinamómetro de chasis. Seguidamente, se acelera el vehículo en cuarta marcha, desde los 30 km/h hasta la máxima velocidad que este alcance. Es importante mencionar que se realizaron cinco repeticiones para cada vehículo y con cada combustible utilizado.

F. Análisis de Emisiones Contaminantes

Con los vehículos debidamente instrumentados sobre el dinamómetro de chasis, y con la ayuda del analizador de gases Maha, se obtuvo la concentración de Hidrocarburos no quemados (HC), Monóxido de Carbono (CO) y Dióxido de Carbono (CO₂). Dichos ensayos se realizaron, al igual que torque y potencia, en cuarta marcha considerando las siguientes condiciones:

- Ralentí
- 1500 RPM
- 3000 RPM
- 4500 RPM

Esta prueba fue realizada cinco veces, con cada tipo de gasolina antes mencionada.

IV. RESULTADOS

A. Centro de Gravedad

Como primer ensayo, se definieron las coordenadas del centro de gravedad de cada uno de los vehículos, las mismas que se presentan en la Tabla VI.

TABLA VI
COORDENADAS DEL CENTRO DE GRAVEDAD

Vehículo	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
110	926.41	1.55	408.01 ± 65.61
Spark	887.95	3.67	436.08 ± 60.93
SZ	1380	4.04	785.43 ± 109.14

Estas coordenadas están representadas desde distintos puntos del vehículo, como se puede apreciar en la Fig. 7.

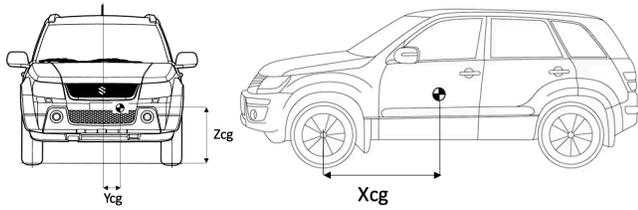


Fig. 7 Coordenadas del centro de gravedad.

B. Características de las Gasolinas Utilizadas

En la Fig. 8 se puede apreciar que el octanaje, densidad, contenido de azufre y etanol, de todas las muestras de gasolina analizadas cumplen con lo predefinido en la normativa ecuatoriana INEN 935; sin embargo, es importante mencionar que no se normaliza la densidad en gasolinas Ecopaís y Súper Premium.

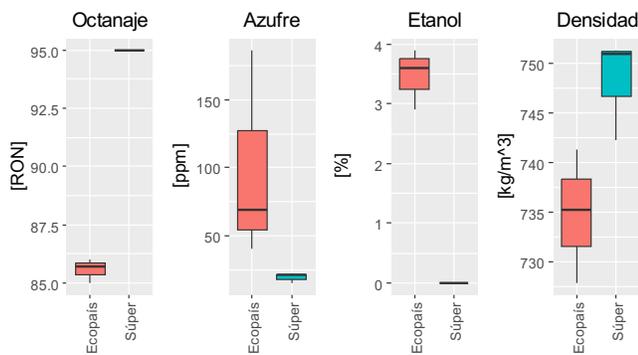


Fig. 8 Resultados de las características fisicoquímicas de las muestras de gasolinas utilizadas.

C. Rendimiento en Condiciones Reales de Operación

Luego de analizar los datos del monitoreo de las tanqueadas de los vehículos (Fig. 9), se evidenció que el automóvil con menor cilindrada es el que mayor rendimiento ofrece. Mientras que el Grand Vitara SZ es el vehículo que tiene un mayor consumo, debido a que tiene una cilindrada mucho más superior que los otros dos vehículos.

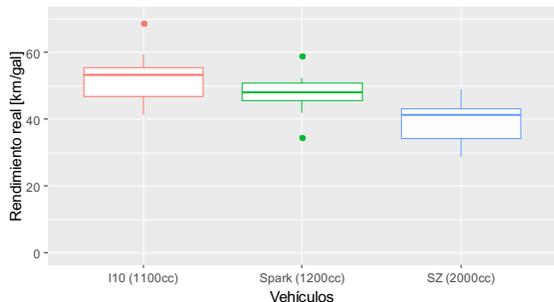


Fig. 9 Rendimiento real de los vehículos.

Dicho rendimiento se lo obtuvo utilizando la gasolina Ecopaís en diferentes rutas dentro de la ciudad, tanto urbanas como extraurbanas.

D. Coeficientes de Inercia (A), Rodadura (B) y Arrastre (C)

Los coeficientes finales A, B y C, necesarios para los ensayos de consumo en laboratorio, se presentan en la Tabla VII. Dichos coeficientes fueron deducidos mediante el análisis expuesto en la norma ISO 10521, del cual se realizaron un total de diez repeticiones de cada prueba para los coeficientes de carretera y dinamómetro. Por consiguiente, se obtuvo un promedio e intervalo de confianza de cada uno de ellos.

TABLA VII
COEFICIENTES A, B Y C

Coeficientes		Vehículos		
		I10	Spark	Sz
Carretera	At	793.57 ± 283.21	142.19 ± 138.33	831.34 ± 281.77
	Bt	0.28 ± 5.81	21.13 ± 64.88	-6 ± 6.15
	Ct	0.1 ± 0.05	-0.2 ± 0.67	0.12 ± 0.04
Dinamómetro	As	374.11 ± 22.22	362.19 ± 43.47	915.2 ± 273.82
	Bs	7.48 ± 1.76	3.76 ± 0.53	26.8 ± 15.73
	Cs	-0.03 ± 0.01	-0.01 ± 0.008	-0.15 ± 0.13
Finales	Ad*	816.24	-148.89	331.81
	Bd*	-7.14	21.59	-34
	Cd*	0.24	-0.39	0.4

E. Rendimiento en Laboratorio

En la Fig. 10, se presenta un promedio general del rendimiento obtenido de los vehículos en todos los ciclos de conducción, comparándolos entre si con el tipo de gasolina utilizada y, se puede observar que la mediana del rendimiento aportado por ambas gasolinas, es aproximadamente el mismo.

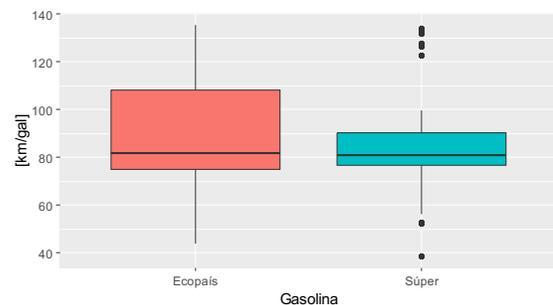


Fig. 10 Rendimiento total de los vehículos por el tipo de gasolina utilizada.

Además, en la Fig. 11 se aprecia el rendimiento general de todos los vehículos de acuerdo con cada ciclo de conducción; donde se observa que en el ciclo NEDC, existió una mayor diferencia en el rendimiento al usar la gasolina Súper Premium con respecto a la gasolina Ecopaís. No obstante, en los ciclos de conducción FTP75 y HWFET la diferencia fue mínima.

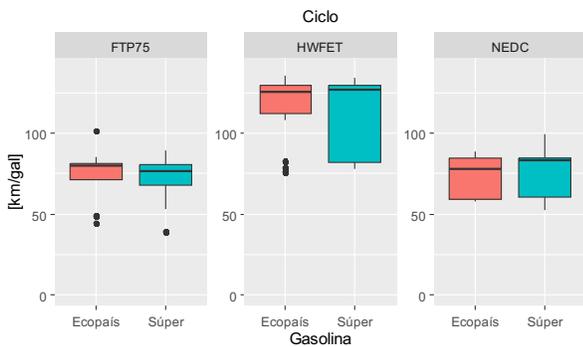


Fig. 11 Rendimiento total en cada ciclo por el tipo de gasolina utilizada.

En la Fig. 12 se evidencia más a detalle el rendimiento producido por los vehículos en cada ciclo de conducción, y se observa que los automóviles varían su consumo dependiendo del modo de manejo; como, por ejemplo, el Hyundai i10 aumenta su rendimiento al usar la gasolina Súper Premium en los ciclos de conducción HWFET y NEDC, mientras que sucede lo contrario en el ciclo FTP75. No obstante, el Chevrolet Spark mantiene un rendimiento parecido al utilizar ambas gasolinas en todos los ciclos de conducción.

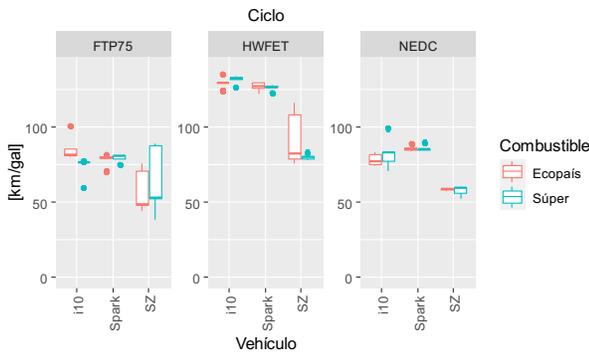


Fig. 12 Rendimiento de los vehículos por cada ciclo de conducción.

Finalmente, al realizar una comparativa entre el rendimiento obtenido mediante el monitoreo de tanqueadas y el rendimiento en laboratorio (Fig. 13), se encontró que el consumo en laboratorio es muy inferior a lo que se observa en la realidad. Cabe mencionar que las pruebas en el dinamómetro, se desarrollaron con rodillo libre ya que no se cargaron los coeficientes.

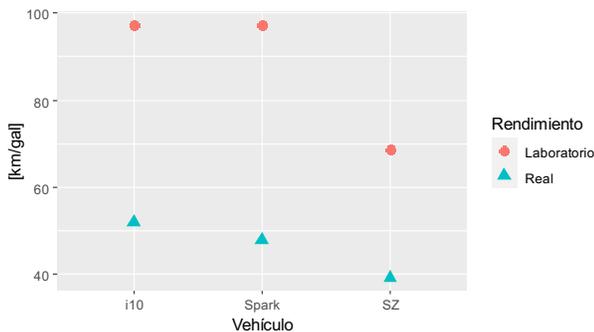


Fig. 13 Rendimiento obtenido mediante ciclos de conducción versus el rendimiento obtenido en condiciones reales de operación.

F. Torque y Potencia

En primera instancia, en la Fig. 14, se aprecia que la gasolina Ecopais produjo mayor torque y potencia al considerar de manera general los resultados de todas las pruebas, y comparándolo con el tipo de gasolina utilizada.

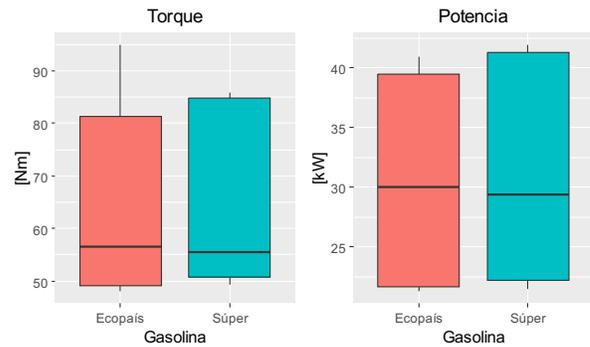


Fig. 14 Torque y potencia total de los vehículos por el tipo de gasolina utilizada.

Pero, analizando detalladamente el torque obtenido por cada automóvil (Fig. 15), se evidenció que existe un incremento de este parámetro al utilizar la gasolina Súper Premium en los vehículos, a excepción del Chevrolet Spark en el cual la diferencia es mínima.

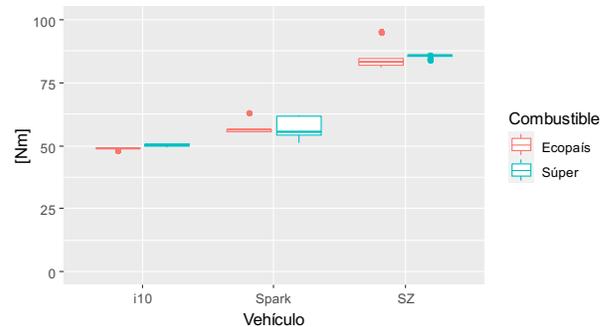


Fig. 15 Torque obtenido por cada vehículo.

Del mismo modo, como se aprecia en la Fig. 16, en dos vehículos se obtiene mayor potencia con la gasolina Súper Premium; por el contrario, en el Chevrolet Spark se obtiene mayor potencia al utilizar Ecopais.

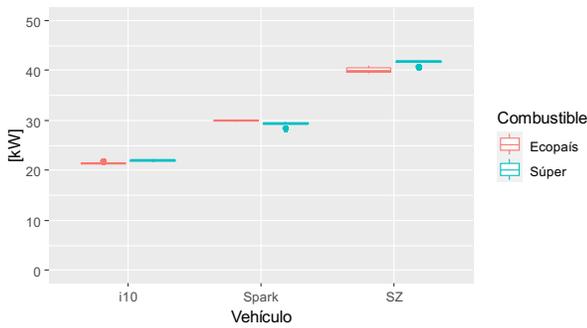


Fig. 16 Potencia obtenida por cada vehículo.

G. Emisiones Contaminantes

De manera general en la Fig. 17, se observa que se obtuvo aproximadamente la misma cantidad de Monóxido y Dióxido de Carbono en los vehículos, con los dos tipos de gasolina utilizada. No obstante, existió mayor concentración de Hidrocarburos no quemados al utilizar la gasolina Ecopais.

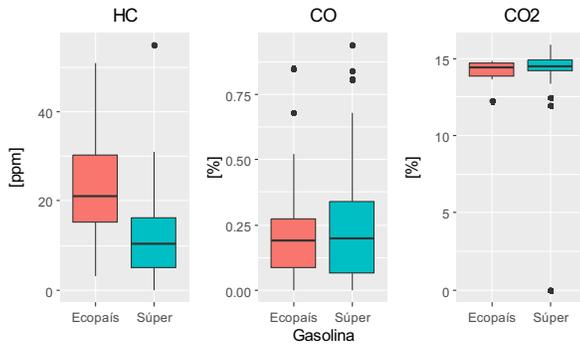


Fig. 17 Emisiones totales de HC, CO y CO₂, por el tipo de gasolina utilizada.

Esto se debe a que, en todas las condiciones de prueba existe mayor concentración Hidrocarburos con la gasolina Ecopais, como se aprecia en la Fig. 18.

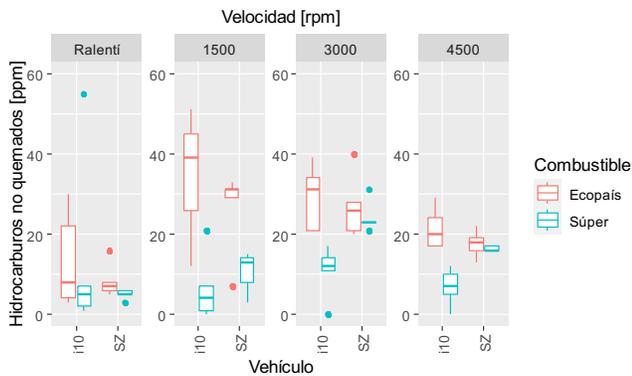


Fig. 18 Emisiones de HC de los vehículos.

Para el vehículo Chevrolet Spark, no se logró realizar los ensayos de emisiones de HC, CO y CO₂, debido a que no se tuvo disponible el analizador de gases al momento de realizar estas pruebas en dicho vehículo.

Por otro lado, como se observa en la Fig. 19, a 1500 rpm el Hyundai i10 presentó una mayor dispersión en los resultados de emisiones de CO utilizando Ecopais. Sin embargo, los

vehículos no superaron el 1% de la concentración de dicho gas en todas las condiciones de prueba, lo cual está dentro del porcentaje de volumen máximo permitido en la norma INEN 2204 [21].

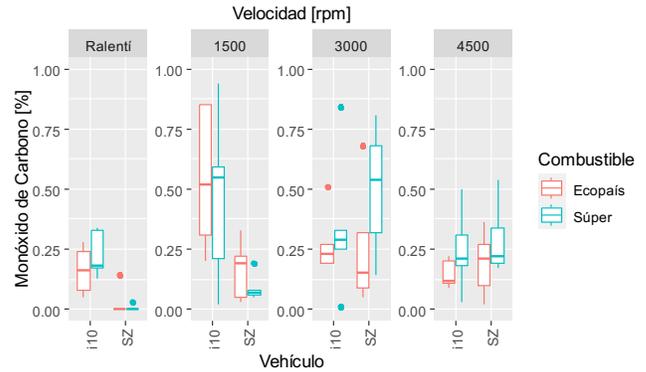


Fig. 19 Emisiones de CO de los vehículos.

Por último, en los vehículos analizados no se obtuvieron concentraciones de CO₂ superiores al 12.5% y, por otra parte, en el único vehículo donde se observó una diferencia notable de emisiones de este gas, fue en el Hyundai i10 con la gasolina Ecopais (Fig. 20).

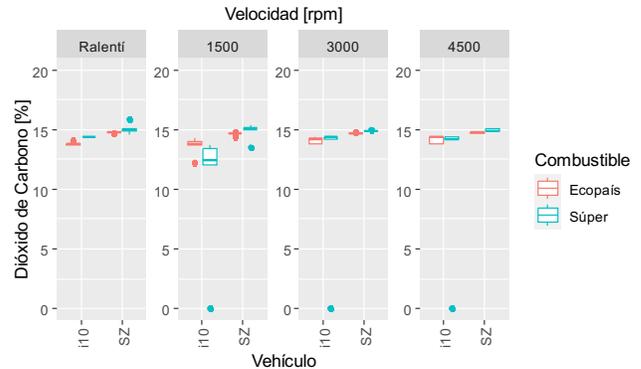


Fig. 20 Emisiones de CO₂ de los vehículos.

V. CONCLUSIONES

La calidad de las gasolinas tuvo una incidencia mínima sobre el desempeño mecánico de los vehículos. Como se aprecia en la Tabla VIII, el Chevrolet Spark, mejoró su potencia al utilizar la gasolina Ecopais, mientras que los vehículos Hyundai i10 y Grand Vitara SZ, mejoraron utilizando la gasolina Súper Premium.

TABLA VIII
PORCENTAJE DE VARIACIÓN ENTRE GASOLINAS UTILIZADAS PARA EL DESEMPEÑO MECÁNICO

Vehículo	Torque		Potencia	
	Gasolina	Δ [%]	Gasolina	Δ [%]
Spark	Ecopais	0.91	Ecopais	2.18
i10	Súper	2.56	Súper	2.28
SZ	Súper	0.37	Ecopais	0.37

Así mismo, la gasolina no influyó en gran medida sobre el desempeño energético, ya que esto dependerá mayormente del

vehículo y del tipo de conducción. Por ejemplo, el rendimiento del Hyundai i10, mejora sobre un patrón de conducción extraurbano y mixto al utilizar Súper Premium, mientras que, para un tipo de conducción urbano, su rendimiento es mejor con la gasolina Ecopais. No obstante, sucede exactamente lo opuesto con el Grand Vitara SZ, como se observa en la Tabla IX.

TABLA IX
PORCENTAJE DE VARIACIÓN ENTRE GASOLINAS UTILIZADAS PARA EL DESEMPEÑO ENERGÉTICO

Vehículo	FTP75		NEDC		HWFET	
	Gasolina	Δ [%]	Gasolina	Δ [%]	Gasolina	Δ [%]
Spark	Súper	0.90	Súper	0.03	Ecopais	0.32
I10	Ecopais	16.90	Súper	5.40	Súper	1.54
SZ	Súper	10.52	Ecopais	1.31	Ecopais	15.00

Por otra parte, en cuanto a emisiones de Hidrocarburos no quemados, la gasolina Ecopais es la que genera mayores concentraciones de este gas. Sin embargo, las emisiones de Monóxido de Carbono son superiores al utilizar Súper Premium (Tabla X). Por ende, no se puede concluir que el tipo de gasolina afecta directamente a las emisiones ya que solo se hicieron ensayos en dos vehículos y lo recomendable sería hacerlo en un mayor número de vehículos donde se pueda observar un patrón más claro.

TABLA X
PORCENTAJE DE VARIACIÓN ENTRE GASOLINAS UTILIZADAS PARA EL DESEMPEÑO AMBIENTAL

Vehículo	HC		CO		CO ₂	
	Gasolina	Δ [%]	Gasolina	Δ [%]	Gasolina	Δ [%]
I10	Ecopais	158.12	Súper	11.54	Ecopais	16.88
SZ	Ecopais	40.93	Súper	27.54	Súper	1.58

Por otro lado, ya que una de las finalidades de este proyecto es realizar una base de datos donde conste todos estos parámetros, fue necesario realizar una caracterización de los vehículos. No obstante, luego de hacer una revisión bibliográfica de todas las especificaciones de los mismos, se encontró que los datos de centro de gravedad y coeficientes no los proporciona el fabricante; por lo tanto, se complementó la información con las pruebas realizadas.

Además, luego de analizar los resultados de las características fisicoquímicas de las gasolinas utilizadas (Tabla XI), vemos que existe una variación sobre sus calidades dependiendo de la estación de servicio donde se las consiga. Esto nos da a entender que la calidad de los combustibles a nivel nacional, no siempre es la misma.

TABLA XI
CARACTERÍSTICAS DE LAS GASOLINAS UTILIZADAS

Vehículo	Gasolina	Octanaje	Etanol	Azufre	Densidad
		[RON]	[%]	[mg/kg]	[kg/m ³]
I10	Súper	95	0	22.67	751.3
I10	Ecopais	86	3.9	68.87	727.9
Spark	Súper	95	0	15.48	742.3
Spark	Ecopais	85.7	2.9	40.52	741.3
SZ	Súper	95	0	21.09	750.9
SZ	Ecopais	85	3.6	186.37	735.3

Finalmente, los coeficientes (A, B y C) no pudieron ser cargados en el equipo debido a una falla en el hardware del mismo. En consecuencia, el rodillo giró libre durante las pruebas de consumo de combustible, dando como resultado una variación desde un 74.53% (Grand Vitara SZ) hasta un 102.47% (Spark Gt), entre el rendimiento obtenido en laboratorio y el rendimiento en condiciones reales de operación. No obstante, se pudo corroborar que el rendimiento para estos casos de estudio se encuentra directamente relacionado con la cilindrada de los mismos.

RECONOCIMIENTOS

Agradezco al Mgtr. Pablo Paredes por el apoyo durante las pruebas en el dinamómetro de chasis. Del mismo modo, agradezco al Mgtr. Boris Coello, por la colaboración con el analizador de gases para las pruebas de emisiones.

Por último, agradezco a la Mgtr. Liliana Guzmán directora del laboratorio LACBAL de la Escuela Politécnica Nacional de Quito, quien ayudó a que se realizaran los ensayos de las gasolinas utilizadas.

REFERENCIAS

- [1] Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, “NTE INEN 935 Productos Derivados de Petróleo. Gasolina. Requisitos”, Quito, sep. 2021. Consultado: el 6 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec>
- [2] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, “Precios de Combustibles”. Consultado: el 11 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/precios-combustibles/>
- [3] Petroecuador, “Informe Estadístico Enero - Diciembre 2022”, 2023. Consultado: el 11 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/?p=3721>
- [4] Petroecuador, “Informe Estadístico Enero - Marzo 2023”, 2023. Consultado: el 11 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/?p=3721>
- [5] J. Castillo, “¿Qué es octanaje?” Consultado: el 7 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: www.ref.pemex.com/octanaje/que.htm
- [6] Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, “NTE INEN 2103:2013. Derivados del Petróleo. Determinación del Número de Octano de Motor (MON) de Combustibles para Motores de Encendido por Chispa”, 2013 Consultado: el 7 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/>

- [7] R. Stradling, J. Williams, H. Hamje, y D. Rickeard, “Effect of octane on performance, energy consumption and emissions of two Euro 4 passenger cars”, *Transportation Research Procedia*, vol. 14, pp. 3159–3168, 2016, doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.256.
- [8] R. Ávila, X. Darío, C. Ayala, y A. Galo, “Estudio del comportamiento de motores a gasolina respecto de la variación del octanaje”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2013. Consultado: el 9 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8034>
- [9] Super Flow, “SF-832 Chassis Dynamometers”. Consultado: el 11 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://superflow.com/product/sf-832-chassis-dyno/>
- [10] Galoce, “Bascula de Camión Portatil”. Consultado: el 9 de enero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://es.galoc-meas.com/portable-truck-scale/61137960.html>
- [11] Softonic, “Torque Pro”.
- [12] Radwag, “Balanzas de Precisión Serie x2”. Consultado: el 14 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://radwag.com/es/balanzas-de-precision,4,101-102#>
- [13] Maha, “MGT 5/ MDO2-LON Tecnología para análisis de emisiones” Consultado: el 22 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://manualzz.com/doc/42627027/mgt-5-mdo2-lon>
- [14] Woot, “JETHAX OBD2 Scanner Bluetooth 4.0”. Consultado: el 22 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://tools.woot.com/offers/jethax-obd2-scanner-bluetooth-4-0z-1>
- [15] VBOX Motorsport, “VBOX Sport”. Consultado: el 11 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.vboxmotorsport.com/store/index.php?route=product/product&product_id=120
- [16] International Organization for Standardization ISO, “ISO 10392. Road vehicles - Determination of centre of gravity”, 2016. Consultado: el 6 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/home.html>
- [17] International Organization for Standardization ISO, “ISO 10521. Road vehicles - Road load. Part 1: Determination under reference atmospheric conditions”, 2006. Consultado: el 20 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/home.html>
- [18] International Organization for Standardization ISO, “ISO 10521. Road vehicles - Road load. Part 2: Reproduction on chassis dynamometer”, 2006. Consultado: el 20 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/home.html>
- [19] United States Environmental Protection Agency (EPA), “Dynamometer Drive Schedules”. Consultado: el 7 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>
- [20] S. Fernandez, “El consumo real de los coches es hasta un 51% más del que anuncian, según la OCU”, Foro Coches Eléctricos. Consultado: el 9 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://forococheselectricos.com/2015/06/el-consumo-real-de-los-coches-es-hasta-un-51-mas-del-que-anuncian-segun-la-ocu.html>
- [21] Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, “NTE INEN 2204. Límites Permitidos de Emisiones Producidas por Fuentes Móviles Terrestres que Emplean Gasolina”, 2017. Consultado: el 7 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/>