



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

**Evaluación del consumo de combustible en vehículos,
utilizando diferentes estrategias cambios de marcha.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

Nombre de los autores:

JORGE LUIS ULLOA MASACHE
ANDRES FABIAN VELASCO VICUÑA

Nombre del Director:

DANIEL CORDERO MORENO

CUENCA-ECUADOR

2018

Dedicatoria:

A mis padres, Fabián y Yolanda, por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi carrera, siendo un ejemplo para cada día ser mejor.

Andrés

Dedicatoria:

Dedico de manera especial a mis padres, José y Martha y a mi familia quienes fueron el principal cimiento para la formación de mi vida profesional; que confiaron y me apoyaron para superarme en todo momento de mi vida y a Dios por permitirme culminar mis estudios para una vida profesional.

Jorge

AGRADECIMIENTO:

A nuestro director Daniel Cordero Moreno y a todos los integrantes del departamento de ERGON por brindarnos su ayuda en todo momento y su apoyo para lograr finalizar nuestra investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|----------------------------|------|
| DEDICATORIAS | II |
| AGRADECIMIENTO..... | IV |
| INDICE DE CONTENIDOS | V |
| INDICE DE FIGURAS..... | VI |
| INDICE DE TABLAS | VI |
| RESUMEN..... | VII |
| ABSTRACT | VIII |

| | |
|---|----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. MATERIALES Y METODOS | 3 |
| 3. RESULTADOS..... | 5 |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 6 |
| 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 7 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|---|
| Figura 1. Demanda de energía por sector..... | 1 |
| Figura 2. Distribución de energía | 1 |
| Figura 3.a. Ciclo de conducción FTP 75 | 3 |
| Figura 3.b. Estrategia de cambios FTP 75 | 3 |
| Figura 3.c. Ciclo de conducción HWFET | 3 |
| Figura 3.d. Estrategia de cambios HWFET..... | 3 |
| Figura 4. Consumo de combustible específico del freno... .. | 3 |
| Figura 5. Fotografía dinamómetro de chasis | 3 |
| Figura 6. Prueba de consumo de combustible sobre un dinamómetro... .. | 5 |
| Figura 7. Ecuación de ajuste Kia Sportage... .. | 5 |
| Figura 8. Consumo de combustible ciclo FTP 75... .. | 5 |
| Figura 9. Consumo de combustible ciclo HWFET | 6 |
| Figura 10. Rendimiento en el ciclo FTP 75..... | 6 |
| Figura 11. Rendimiento en el ciclo HWFET..... | 6 |
| Figura 12. Reducción de consumo vehículos a gasolina vs original..... | 6 |
| Figura 13. Reducción de consumo vehículo a diésel vs original..... | 6 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|---|
| Tabla 1. Especificaciones del Dinamómetro..... | 4 |
| Tabla 2. Vehículos más vendidos en el Ecuador 2017..... | 4 |
| Tabla 3. Descripción de los equipos | 4 |
| Tabla 4. Estrategias de cambios de marcha | 4 |
| Tabla 5. Resultados de rendimiento de combustible..... | 5 |
| Tabla 6. OBD II vs flujómetro | 5 |
| Tabla 7. Ecuación de ajuste para cada vehículo..... | 6 |
| Tabla 8. Estrategias de cambios | 6 |
| Tabla 9. Coeficientes primarios de carretera..... | 7 |

Evaluación del consumo de combustible en vehículos, utilizando diferentes estrategias cambios de marcha.

Resumen

Este trabajo aporta a reducir el consumo combustible en vehículos, mediante la obtención del régimen adecuado para realizar el cambio de marcha. Se aplicaron cinco estrategias, en los cuatro vehículos más vendidos en Ecuador en el 2017, utilizando los ciclos de conducción de la EPA, FTP75 y HWFET. Con un total de 114 pruebas se obtuvo que: los tres vehículos a gasolina al circular en condiciones urbanas alcanzan un mejor rendimiento de combustible al realizar los cambios a 2000 rpm, en tanto que, en condiciones de autopista mejoran su rendimiento a 2500 rpm; mientras que, el vehículo a diésel obtiene el mayor rendimiento a 1500 rpm en los ciclos evaluados. El estudio concluye que el rendimiento se puede mejorar al variar el patrón de cambios de marcha.

Palabras claves: *Ciclos de conducción, rendimiento de combustible, estrategia de cambios de marcha, zona de eficiencia de combustible, dinamómetro de chasis.*



Ing. Mateo Coello Salcedo, MSc
Director de Escuela



Ph.D Daniel Cordero.
Director del trabajo de titulación



Jorge Luis Ulloa Masache
Autor



Andrés Fabian Velasco Vicuña
Autor

Evaluation of fuel consumption in vehicles using different gear shifting strategies.

Abstract

This work contributed to reduce fuel consumption in vehicles by obtaining the appropriate regime for changing gears. Five strategies were applied in the four best-selling vehicles in Ecuador in 2017 using the driving cycles of the EPA, FTP75 and HWFET. With a total of 114 tests, it was obtained that the three gasoline vehicles reached a better fuel efficiency when making the changes at 2000 rpm in urban conditions. Their performance was improved at 2500 rpm under highway conditions. The diesel vehicle obtained the highest performance at 1500 rpm in the evaluated cycles. The study concluded that performance could be improved by varying the pattern of gear changes.

Keywords: Driving cycles, fuel efficiency, gear shift strategy, fuel efficiency zone, chassis dynamometer.



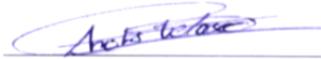
Ing. Mateo Coello Salcedo, MSc
Faculty Director



Ph..D Daniel Cordero.
Thesis Director



Jorge Luis Ulloa Masache
Author



Andrés Fabian Velasco Vicuña
Author



Translated by
Ing. Paul Arpi

Trabajo de Titulación.
Jorge Luis Ulloa Masache.
Andrés Fabián Velasco Vicuña.
Octubre, 2018.

EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN VEHÍCULOS, UTILIZANDO DIFERENTES ESTRATEGIAS CAMBIOS DE MARCHA.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se centra en reducir el consumo de combustible en vehículos, mediante la variación del régimen de giro del motor para realizar el cambio de marcha en los vehículos más vendidos en Ecuador, utilizando los ciclos de conducción de la EPA, FTP75 y HWFET, el proyecto se enfoca en determinar el mejor régimen de giro analizado para reducir el consumo de combustible.

Evaluación del consumo de combustible en vehículos, utilizando diferentes estrategias cambios de marcha.

Jorge Luis Ulloa
Facultad de Ciencia y
Tecnología, Ingeniería en
Mecánica Automotriz.
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador.
jorge95ullo@hotmail.com

Andrés Fabián Velasco
Facultad de Ciencia y
Tecnología, Ingeniería en
Mecánica Automotriz.
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador.
favelasco55@hotmail.com

Daniel Cordero Moreno
Centro de Investigación y
Desarrollo en Ingeniería
Automotriz (ERGON).
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador.
dacorderom@uazuay.edu.ec

Diego Francisco Torres
Centro de Investigación y
Desarrollo en Ingeniería
Automotriz (ERGON).
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
ftorres@uazuay.edu.ec

Mateo Coello Salcedo
Centro de Investigación y
Desarrollo en Ingeniería
Automotriz (ERGON).
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador.
mfcoello@uazuay.edu.ec

Resumen— Este trabajo aporta a reducir el consumo de combustible en vehículos, mediante la obtención del régimen adecuado para realizar el cambio de marcha. Se aplicaron cinco estrategias, en los cuatro vehículos más vendidos en Ecuador en el 2017, utilizando los ciclos de conducción de la EPA, FTP75 y HWFET. Con un total de 114 pruebas se obtuvo que: los tres vehículos a gasolina al circular en condiciones urbanas alcanzan un mejor rendimiento de combustible al realizar los cambios a 2000 rpm, en tanto que, en condiciones de autopista mejoran su rendimiento a 2500 rpm; mientras que, el vehículo a diésel obtiene el mayor rendimiento a 1500 rpm en los ciclos evaluados. El estudio concluye que el rendimiento se puede mejorar al variar el patrón de cambios de marcha.

Palabras claves: Ciclos de conducción, rendimiento de combustible, estrategia de cambios de marcha, zona de eficiencia de combustible, dinamómetro de chasis.

Abstract— This work contributed to reduce fuel consumption in vehicles by obtaining the appropriate regime for changing gears. Five strategies were applied in the four best-selling vehicles in Ecuador in 2017 using the driving cycles of the EPA, FTP75 and HWFET. With a total of 114 tests, it was obtained that the three gasoline vehicles reached a better fuel efficiency when making the changes at 2000 rpm in urban conditions. Their performance was improved at 2500 rpm under highway conditions. The diesel vehicle obtained the highest performance at 1500 rpm in the evaluated cycles. The study concluded that performance could be improved by varying the pattern of gear changes.

Keywords: Driving cycles, fuel efficiency, gear shift strategy, fuel efficiency zone, chassis dynamometer.

I. INTRODUCCION

En el año 2016 aproximadamente un cuarto, del total de la energía demandada a nivel mundial, se concentró en el transporte (Figura 1). Del total de la energía demandada por el transporte, aproximadamente el 80% fue proporcionada por gasolina y diésel (Figura 2) [1].

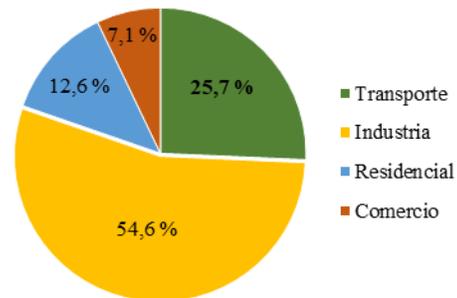


Figura 1 Demanda de energía por sector [1].

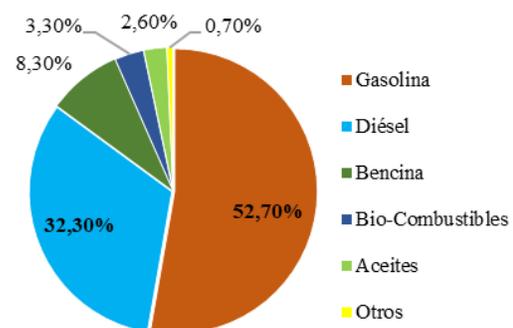


Figura 2 Distribución de energía [1].

El consumo de energía anual está en aumento, para el año 2025, según la Perspectiva Energética Internacional, se proyecta un incremento del 9% en el consumo de energía; esto significa llegar a 35680 GW, versus los 32670 GW que se consumieron en el 2017 [2].

Los combustibles fósiles son la principal fuente de energía utilizada para el transporte; sin embargo, el consumo de éstos tiene tres grandes inconvenientes que son: emisiones gaseosas y de partículas sólidas a la atmósfera, escasez de recursos y costos generados [3].

En este contexto, al transporte se le atribuye el 23% de las emisiones mundiales de gases y material particulado [4]. Además, se estima que existen fuentes comprobadas de petróleo, para satisfacer la demanda mundial para los próximos 54 años [2]. En cuanto a costos, depende del precio de combustible en cada lugar, por ejemplo, en Ecuador se estima que las empresas de transporte destinan cerca del 20% de su presupuesto para combustible [5]; mientras que en otros lugares este rubro puede llegar al 50% [3].

Por lo tanto, es importante reducir el consumo de combustibles fósiles en el transporte.

Tolouei y Titheridge indican que la reducción de la masa del vehículo ayuda a aumentar el rendimiento de combustible ya que disminuye la resistencia al avance del vehículo [6].

Esta resistencia al avance está constituida por: la resistencia a la rodadura, resistencia a la pendiente, resistencia a la inercia y la fuerza de arrastre, que es la única en la que no interviene la masa.[7]

Biggs and Akcelik, no solamente evaluaron el efecto de la masa en el consumo de combustible; sino que también evaluaron el consumo en dos tipos de ruta, urbana y extra-urbana. Se determinó que en la ruta urbana el consumo de combustible se debió principalmente al funcionamiento y la aceleración del motor; mientras que, en la zona extra-urbana, el consumo de combustible se concentró en la resistencia al avance y la resistencia a la rodadura. Esto significa que las condiciones de operación tiene un impacto en el consumo de combustible [8].

Debido a las condiciones de operación de los motores de combustión interna, las estrategias de cambios de marcha en una conducción, también afectan al consumo de combustible. Vieira da Rocha, afirma que el consumo total de combustible disminuyó alrededor del 1-5% en promedio, al aplicar las trayectorias de conducción urbana modificadas; esto significa que, los hábitos de manejo (carga y revoluciones del motor a las que se realiza el cambio, aceleraciones y frenadas bruscas) influyen en el consumo de combustible a pesar de

que los conductores circulaban por la misma carretera [9].

Los fabricantes de vehículos detallan, dentro de las especificaciones de sus modelos, el rendimiento de combustible de sus productos. Para la obtención de estos valores de consumo de combustible, se deben realizar pruebas en laboratorio. Existen dos grandes referentes, a nivel mundial, que establecen los procesos para la medición de consumo de combustible de un vehículo; éstos son: la Agencia de protección del medio ambiente de los EEUU (EPA) y, la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE). Estos dos organismos establecen los reglamentos y a través de éstos, los procedimientos para la medición de consumo de combustible. De esta manera, el rendimiento detallado en las especificaciones de los vehículos, es una referencia para comparar con otros vehículos, ya que, en la realidad, las condiciones de operación no son iguales a las establecidas en los protocolos de las instituciones mencionadas. Ahora, la utilidad de las pruebas del laboratorio es conocer el rendimiento de los distintos vehículos en igualdad de condiciones y comparar sus resultados.

Siendo así, el consumo de combustible depende principalmente de tres factores que son: vehículo, conductor y ruta. Además, los fabricantes en Estados Unidos establecieron como objetivo un rendimiento de combustible medio de 34.1 millas por galón para el 2016 y como objetivo futuro de 49.6 millas por galón para el 2025. Esto significa 14.49 y 21.08 L/100 km respectivamente [10].

La EPA, para la homologación del consumo de combustible, indica que es necesario colocar un vehículo en el rodillo de un dinamómetro de chasis, seguir un ciclo de conducción que se muestra en una pantalla y conectar los equipos de medición de consumo de combustible. El ciclo de conducción es un diagrama de velocidad vs tiempo que describe patrones de manejo típicos de una región. Los ciclos de conducción de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE) son diferentes a los propuestos por la (EPA); por ejemplo, la EPA utiliza el ciclo FTP75 (Figura 3a Ciclo de conducción FTP 75.), el cual es un ciclo transitorio que describe patrones de conducción típicos en una ciudad y también utiliza el ciclo HWFET (Figura 3c Ciclo de conducción HWFET.), que representa patrones de autopista. Cabe destacar que los dos ciclos poseen una estrategia de cambio de marcha establecida. Los ciclos y los patrones de cambio se presentan en la Figura 3 a-d.

Ciclos de conducción utilizados por la (EPA) con su patrón de cambios.

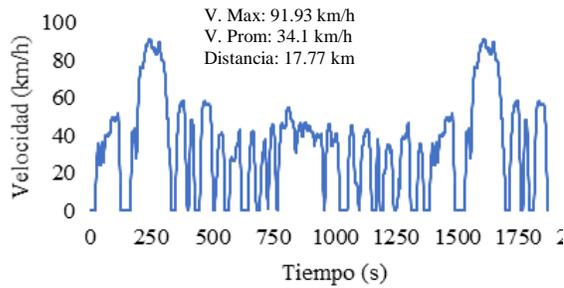


Figura 3a Ciclo de conducción FTP 75.

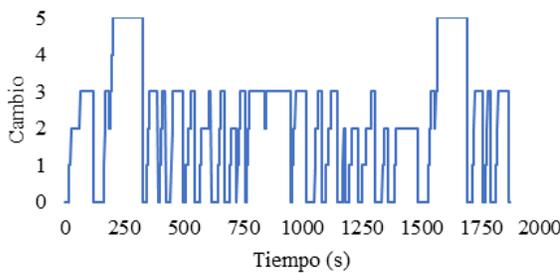


Figura 3b Estrategia de cambio FTP 75.

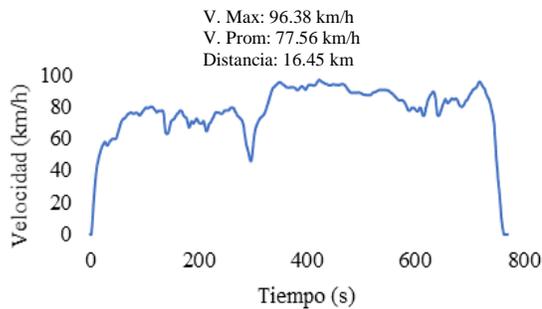


Figura 3c Ciclo de conducción HWFET.

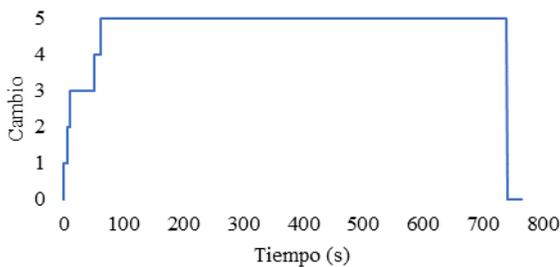


Figura 3d Estrategia de cambio HWFET.

El consumo de combustible específico al freno (BSFC) es un parámetro que refleja la eficiencia de un motor de combustión que quema combustible y produce potencia de rotación (en el eje o el

cigüeñal). En aplicaciones automotrices, el BSFC se utiliza para evaluar la eficiencia de los motores de combustión interna (ICE). La palabra **freno** está relacionada con el uso de un dinamómetro (freno mecánico, hidráulico o eléctrico) [11].

El consumo de combustible específico al freno, de un motor, generalmente se representa en un mapa de consumo específico y depende de la velocidad del motor [rpm] y la carga del motor [%]. En la Figura 4 se identifica una región donde el rendimiento es el más bajo. Esta región se conoce como la zona de eficiencia o zona verde [12].

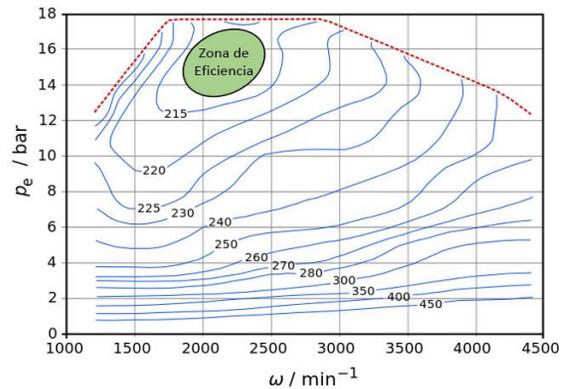


Figura 4 Consumo de combustible específico del freno [11].

La zona de eficiencia, en un motor de combustión interna, está ubicada habitualmente a velocidades medias del motor y cerca del par máximo (Figura 4) [11].

Este estudio se centró en la comparación de consumo del combustible en vehículos aplicando diferentes estrategias de cambios de marcha, de acuerdo con los ciclos de conducción FTP75 y HWFET, se realizaron en total 38 experimentos, en tres vehículos a gasolina y uno a diésel.

II. MATERIALES Y METODOS.

Para desarrollar los casos del estudio se utilizó un dinamómetro de chasis (Figura 5) cuyas especificaciones se muestran en la Tabla 1.



Figura 5 Fotografía dinamómetro de chasis - Universidad del Azuay.

Tabla 1 Especificaciones del Dinamómetro.

| SF-832 CHASIS DYNO | |
|----------------------------|--|
| Diámetro del rodillo | 30 "(76,2 cm) |
| Potencia máxima | 2,500 HP (1,864 kW) |
| Pico de potencia absorbida | 1,100 (SEC) / 2,200 HP (DEC) - (820 kW / 1,641 kW) |
| Máxima velocidad | 225 mph (362 km / h) |
| Ancho de rodillo | 26 "adentro - 100" afuera (66 cm - 254 cm) |
| Dimensiones | 120 x 40.5 X 35 in. (305 x 103 x 89 cm) |
| Inercia del rodillo | 1,200 lbs. (544 kg) |
| Peso del eje | 8,000 lbs por eje (3,629 kg) |

Cuando un vehículo se encuentra en la carretera debe vencer algunas fuerzas que se oponen al movimiento como: fuerza de arrastre, resistencia de rodadura, resistencia a la pendiente, resistencia a la inercia; pero cuando un vehículo se encuentra en un dinamómetro de chasis, dichas fuerzas no existen, por lo que es necesario determinar unos coeficientes de ajuste del dinamómetro, conocidos como coeficientes A, B y C como se indica en la $F = A + BV + CV^2$ Ecuación 1.

$$F = A + BV + CV^2 \quad \text{Ecuación 1}$$

La norma ISO 10521 indica el procedimiento para el cálculo dichos coeficientes.

Se evaluó el consumo de combustible en los vehículos más vendidos del Ecuador (Tabla 2), para esto se tomó en cuenta el anuario que realiza la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE)[13].

Tabla 2 Vehículos más vendidos en el Ecuador 2017.

| Cilindrada | Marca | Modelo |
|----------------|-----------|-------------------------------------|
| < 1500 cc | Chevrolet | Sail 4P 1.4L 4x2 TM A/C |
| 1500 a 2000 cc | Chevrolet | Aveo Emotion 1.6L 4P GLS |
| 2000 a 2500 cc | Kia | Sportage 2.0 LX 4x2 |
| 2500 a 3000 cc | Chevrolet | D-Max CRDI STD 3.0 CD 4x2 TM Diesel |

La adquisición del consumo de combustible se realizó a través de dos equipos de medición (Tabla 3): **flujómetro**, equipo que se instala directamente en la línea de combustible del sistema de inyección del vehículo y que entrega datos de caudal instantáneo de combustible y, **Red Can del vehículo**, para esto se utilizó un lector del sistema OBD II, que permite obtener datos en tiempo real de la ECU del vehículo; obteniéndose además del

consumo, varios parámetros de funcionamiento del motor para el cálculo del consumo de combustible, como velocidad del motor (RPM's) , torque entregado (Nm), carga de motor (%) y velocidad (km/h).

Tabla 3 Descripción de los equipos.

| Equipo | Especificaciones técnicas |
|---|---|
| ELM 327 | Protocolos de comunicación: Todos para OBD II. Voltaje: 12v. Conexión: inalámbrica Bluetooth. |
|  Flujómetro Max Flow-gasolina. | Rango de flujo: 0.5 a 1.800 cc / min. Precisión $\pm 0.2\%$ de lectura en un rango de 200: 1. Presión máxima de funcionamiento: 210 bar. Peso: 1.1 kg. |
|  Flujómetro DFM-diésel. | Rango de flujo: 10 a 100 L / h. Precisión $\pm 3\%$ de lectura. Presión máxima de funcionamiento: 25 bar. Peso: 2.3 kg. |
|  | |

Teniendo en cuenta que la zona de eficiencia se encuentra a bajas revoluciones (2000 - 2500) del motor, en este estudio se consideraron los parámetros que se muestra en la Tabla 4 para realizar las pruebas en cada vehículo.

Tabla 4 Estrategias de cambios de marcha.

| Estrategia | Gasolina | Diésel |
|------------|---------------------|---------------------|
| | Estrategia Original | Estrategia Original |
| | 2000 rpm | 1500 rpm |
| | 2500 rpm | 2000 rpm |
| | 3000 rpm | 2500 rpm |
| | 3500 rpm | 3000 rpm |

Una vez determinados los parámetros para los ensayos, se realizaron las pruebas de consumo de combustible en los ciclos FTP75 y HWFET utilizando dos equipos de medición simultáneamente. Se realizaron tres pruebas para cada estrategia de conducción por cada vehículo.



Figura 6 Prueba de consumo de combustible sobre un dinámometro.

RESULTADOS.

Se determinó el rendimiento de combustible en los diferentes casos aplicados, tanto con el flujómetro como con el lector del OBD II, los resultados promedio de cada caso se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5 Resultados de rendimiento de combustible.

| Vehículo | Ciclo | Equipo | | | | | |
|----------|--------|---------------|------|------|------|------|------|
| | | OBD II (km/L) | | | | | |
| | | Original | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 |
| Sail | FTP 75 | 17.2 | 19.8 | 18.2 | 17.3 | | |
| | HWFET | 28.8 | 30.1 | 30.3 | 28.9 | | |
| Aveo | FTP 75 | 13.9 | 16.5 | 15.7 | 14.2 | 13.3 | |
| | HWFET | 23.5 | 23.8 | 24.3 | 24.1 | 22.4 | |
| Sportage | FTP 75 | 15.2 | 17.1 | 15.7 | 15.6 | 14.2 | |
| | HWFET | 22.7 | 23 | 24.1 | 23 | 22 | |
| D-max | FTP 75 | 11.2 | 10.7 | 8.7 | 7.3 | 6.3 | |
| | HWFET | 13.4 | 14.5 | 12.4 | 12.6 | 10.5 | |

| Vehículo | Ciclo | Equipo | | | | | |
|----------|--------|-------------------|------|------|------|------|------|
| | | Flujómetro (km/L) | | | | | |
| | | Original | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 |
| Sail | FTP 75 | 21.1 | 25.3 | 23.7 | 21.7 | | |
| | HWFET | 38 | 40.1 | 44.2 | 36.1 | | |
| Aveo | FTP 75 | 18.5 | 21.1 | 20.6 | 19.1 | 16.9 | |
| | HWFET | 30.6 | 31.5 | 33.1 | 32.5 | 30.5 | |
| Sportage | FTP 75 | 14.9 | 16.8 | 16.1 | 15.1 | 13.9 | |
| | HWFET | 23.3 | 23.5 | 23.6 | 23.1 | 21.3 | |
| D-max | FTP 75 | 29.6 | 40.3 | 36.9 | 18.8 | 7.3 | |
| | HWFET | 39.6 | 44.2 | 28.3 | 40.5 | 17.9 | |

Debido a que el OBD II calcula el consumo de combustible a través de los parámetros de funcionamiento del motor, es necesario determinar la ecuación de ajuste para el OBD II vs el flujómetro

(Tabla 6), donde se estima que el comportamiento incide directamente con la marca y tipo de vehículo que se emplee para la prueba. En el vehículo a diésel analizado el OBD II no considera el retorno del combustible hacia el tanque.

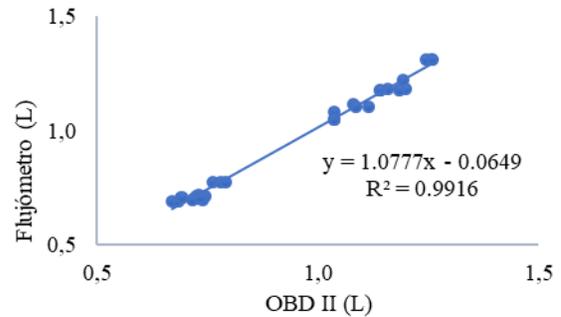


Figura 7 Ecuación de ajuste Kia Sportage.

Tabla 6 OBD II vs flujómetro.

| Vehículo | Coefficiente de determinación | Ecuación de ajuste |
|----------|-------------------------------|------------------------|
| Sail | 0.9802 | $y = 0.8608x - 0.0613$ |
| Aveo | 0.9905 | $y = 0.7956x - 0.0231$ |
| Sportage | 0.9916 | $y = 1.0777x - 0.0649$ |
| D-max | 0.232 | $y = 0.5627x - 0.1441$ |

De los datos obtenidos, se observa que en los tres vehículos gasolina, en el ciclo de conducción FTP 75, el menor consumo de combustible, se obtiene haciendo el cambio de marcha a las 2000 rpm, como se indica en la Figura ; mientras que, en el ciclo de conducción HWFET, el menor consumo de combustible, se obtiene realizando los cambios de marcha a las 2500 rpm. En el vehículo diésel el menor consumo de combustible, para los dos ciclos de conducción evaluados, se obtuvo realizando el cambio de marcha a las 1500 rpm (Figura).

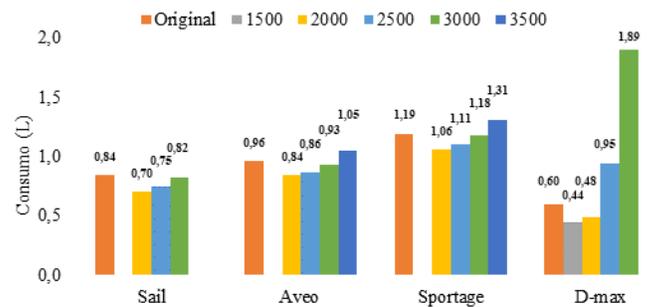


Figura 8 Consumo de combustible ciclo FTP 75.

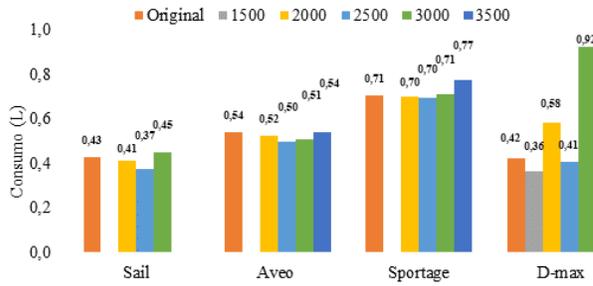


Figura 9 Consumo de combustible ciclo HWFET.

Comparando las estrategias de cambio de marcha aplicadas en los vehículos se obtuvo un comportamiento similar de rendimiento de combustible en los tres vehículos a gasolina mientras que en el vehículo a diésel se comporta de una manera diferente (Figura y Figura).

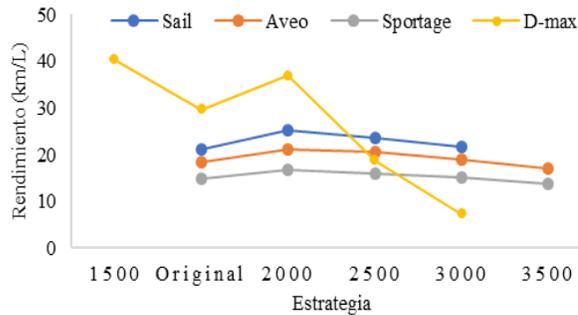


Figura 10 Rendimiento en el ciclo FTP 75.

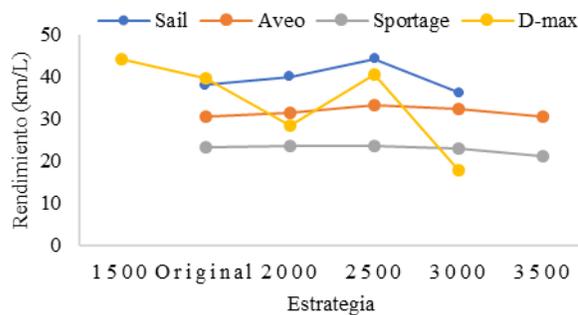


Figura 11 Rendimiento en el ciclo HWFET.

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos establece la utilización de las estrategias de cambio de marchas definidas para la obtención del consumo de combustible en los ciclos de conducción; sin embargo, al aplicar otras estrategias de cambios se obtiene una reducción en el consumo de combustible con respecto a la establecida (Figura y Figura).

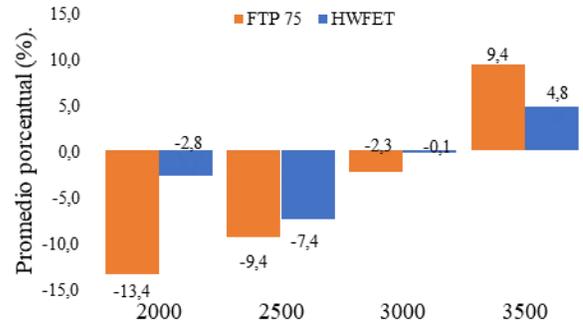


Figura 12 Reducción de consumo vehículos a gasolina vs estrategia original.

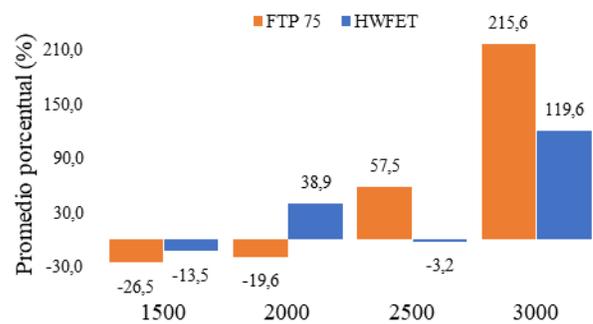


Figura 13 Reducción de consumo vehículo a diésel vs estrategia original.

III. CONCLUSIONES

Los datos del consumo de combustible obtenidos con el lector del OBD II, necesitan de una curva de calibración con respecto a los datos obtenidos con el flujómetro (Tabla 7); de esta manera, se podrían obtener mediciones más cercanas entre los dos equipos.

Tabla 7 Ecuación de ajuste para cada vehículo.

| | |
|-----------------|------------------------|
| Sail | $y = 0.8608x - 0.0613$ |
| Aveo | $y = 0.7956x - 0.0231$ |
| Sportage | $y = 1.0777x - 0.0649$ |
| D-max | $y = 0.5627x - 0.1441$ |

De las opciones de velocidades del motor [rpm] evaluadas para realizar el cambio de marchas, las que reducen el consumo de combustible de indican en la Tabla 8.

Tabla 8 Estrategias de cambios.

| | Ciudad | Autopista |
|----------------------|---------------|------------------|
| Vehículos a gasolina | 2000 rpm | 2500 rpm |
| Vehículo a diésel | 1500 rpm | 1500 rpm |

Los coeficientes primarios de ajuste de carga del Dinamómetro At, Bt y Ct de carretera de los vehículos analizados son los representados en la siguiente tabla:

Tabla 9 Coeficientes primarios de carretera.

| | At | Bt | C |
|-----------------|----------------|---------------|-----------------------|
| | N | N/(Km/h) | N/(Km/h) ² |
| Aveo | 111.766 ± 4.53 | 0.400 ± 0.08 | 0.066 ± 0.012 |
| Sportage | 124.248 ± 3.67 | 0.940 ± 0.054 | 0.039 ± 0.017 |
| Sail | 100.632 ± 2.40 | 0.594 ± 0.034 | 0.056 ± 0.022 |
| Dmax | 231.619 ± 4.56 | 1.144 ± 0.12 | 0.169 ± 0.015 |

RECOMENDACIONES

- Efectuar una prueba física para la validación correcta de los equipos de medición.
- El vehículo debe estar óptimo estado para realizar las pruebas.
- Realizar una guía para el uso del dinamómetro de chasis.

REFERENCIAS

[1] U.S Energy Information Administration, “Administración de Información de Energía de los EE. UU. (EIA) - Total Energy,” 2017. [Online]. Available: <https://www.eia.gov/totalenergy/>. [Accessed: 31-Jul-2018].

[2] I. Mead, “International Energy Outlook 2017,” 2017.

[3] D. Guillermo and C. Moreno, “Metodología para minimizar el consumo de combustible en autobuses, que sirven rutas fijas, mediante la reconfiguración del tren motriz,” 2015.

[4] “Energy Technology Perspectives 2012 Pathways to a Clean Energy System Resumen Ejecutivo,” Technology, 2012.

[5] El Universo, “El Universo | Noticias de Ecuador y del mundo,” Reporte, 2017. [Online]. Available: <https://www.eluniverso.com/>. [Accessed: 30-Jul-2018].

[6] T. P. Hutchinson and R. W. G. Anderson, “Vehicle mass as a determinant of fuel consumption and secondary safety performance: A comment,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 15, no. 2, pp. 123–125, 2010.

[7] Thomas D.Gillespie, *Fundamentals of Vehicle Dynamics - Thomas D.Gillespie - SAE.pdf*, 1st ed. SAE, 1992.

[8] Biggs, “ESTIMATING EFFECT OF VEHICLE CHARACTERISTICS ON FUEL CONSUMPTION By D. C. Biggs 1 and R. Akcelik 2 (Reviewed by the Urban Transportation Division),” *J. Transp. Eng.*, vol. 113, no. 1, pp. 101–106, 1987.

[9] T. Vieira da Rocha, A. Can, C. Parzani, B. Jeanneret, R. Trigui, and L. Leclercq, “Are vehicle trajectories simulated by dynamic traffic models relevant for estimating fuel

consumption?,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 24, pp. 17–26, 2013.

[10] A. Carlos, S. Villela, S. Paulo, and P. B. S. A. Petrobras, “FUEL ECONOMY AND CO2 EMISSION – A COMPARISON BETWEEN TEST PROCEDURES AND DRIVING CYCLES Fuel Economy and CO 2 Emission – A Comparison between Test Procedures and Driving Cycles,” 2012.

[11] x-engineer.org, “Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) – x-engineer.org,” 2017. [Online]. Available: <https://x-engineer.org/automotive-engineering/internal-combustion-engines/performance/brake-specific-fuel-consumption-bsfc/>. [Accessed: 31-Jul-2018].

[12] P. Barla, M. Gilbert-Gonthier, M. A. Lopez Castro, and L. Miranda-Moreno, “Eco-driving training and fuel consumption: Impact, heterogeneity and sustainability,” *Energy Econ.*, vol. 62, pp. 187–194, 2017.

[13] AEADE, “Anuario 2017,” Quito., 2017.