



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

**Determinación del consumo de combustible de vehículos en
base a los ciclos de conducción EPA FTP75 Y EPA HWFET,
en dinamómetro de chasis**

*Casos de estudio: vehículos Chevrolet Aveo Family 1.5 L, 2010 y Hyundai
Accent 1.5L, 2002*

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ

Nombre de los autores:

PEDRO LUIS CARRIÓN ASTUDILLO

KEVIN SANTIAGO VILLAMAGUA MALDONADO

Nombre del Director:

MATEO COELLO SALCEDO

CUENCA-ECUADOR

2018

Dedicatoria:

La presente tesis está dedicada primero a Dios, a mis padres, y a todas las personas que han aportado para que llegue este momento tan especial en mi vida.

Pedro Carrión

Dedicatoria:

El presente trabajo está dedicado a mis abuelos, padres, hermanos y demás miembros de mi familia que han estado apoyando en todo ámbito de la vida que los he necesitado.

Kevin Villamagua

AGRADECIMIENTO:

A todos los profesores que conforman la Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz, y de manera especial a los miembros de la junta académica y miembros de ERGON por su apoyo incondicional en todo momento durante el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIAS.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS	2
A. <i>Coastdown</i> en carretera.....	3
B. <i>Coastdown</i> en dinamómetro de chasis.....	3
C. Obtención de los coeficientes de ajuste de fuerza A, B y C.....	3
D. Medición de consumo de combustible.....	3
III. RESULTADOS	4
IV. CONCLUSIONES	5
V. REFERENCIAS	6

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva desaceleración en función del tiempo	3
Figura 2. Curva de fuerza - velocidad	3
Figura 3. Ciclo de conducción en carretera EPA HWFET.....	4
Figura 4. Ciclo de conducción urbano EPA FTP75	4
Figura 5. Comparación de rendimiento de combustible [MPG]	5
Figura 6. Gráfica comparativa del rendimiento de combustible obtenido vs datos de la EPA del vehículo A.....	5
Figura 7. Gráfica comparativa del rendimiento de combustible obtenido vs datos de la EPA del vehículo B	5

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones de los vehículos para las pruebas.....	3
Tabla 2. Resultados de coeficientes en pruebas <i>Coastdown</i> en carretera.....	4
Tabla 3. Resultados de coeficientes en pruebas <i>Coastdown</i> en dinamómetro de chasis....	4
Tabla 4. Resultados de coeficientes finales de ajuste de fuerza	4
Tabla 5. Rendimiento de combustible	4

**DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE VEHÍCULOS EN
BASE A LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN EPA FTP75 Y EPA HWFET, EN
DINAMÓMETRO DE CHASIS.**

*Casos de estudio: vehículos Chevrolet Aveo Family 1.5 L, 2010 y Hyundai Accent 1.5L,
2002*

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo aportar a una base de datos de consumo de combustible en los vehículos más vendidos en Ecuador. Para la determinación del consumo de combustible se obtiene los coeficientes A, B, C mediante pruebas *Coastdown* en carretera y laboratorio según la normativa ISO-10521:2006, los cuales permiten simular fuerzas que un vehículo está sometido en carretera. Posteriormente se siguen ciclos de conducción: EPA FTP75/HWFET en un dinamómetro de chasis. Para la estimación del consumo de combustible se utiliza un lector OBDII y flujómetro. Los resultados con el ciclo urbano y extraurbano fueron: 32.42/32.48 MPG (vehículo-A); y 31.37/36.38 MPG (vehículo-B) respectivamente, con una diferencia porcentual entre 6 y 30% comparado con la EPA.

Palabras claves — consumo combustible, norma ISO 10521-1, ISO 10521-2, EPA FTP75, EPA HWFET, dinamómetro de chasis.



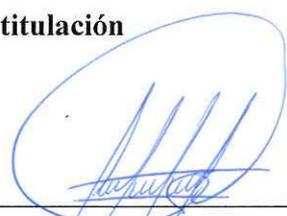
Ing. Mateo Coello Salcedo, MSc.

Director de Escuela

Director del trabajo de titulación



Pedro Luis Carrión
Autor



Kevin Santiago Villamagua
Autor

DETERMINATION OF THE FUEL CONSUMPTION OF VEHICLES BASED ON THE EPA FTP75 AND EPA HWFET DRIVING CYCLES IN A CHASSIS DYNAMOMETER.

Case studies: 2010 Chevrolet Aveo Family 1.5L and 2002 Hyundai Accent 1.5L.

ABSTRACT

The objective of this study was to contribute to a fuel consumption database of the best-selling vehicles in Ecuador. The coefficients A, B and C were obtained for the determination of fuel consumption by Coastdown tests on the road and laboratory according to ISO-10521:2006. These allowed to simulate the forces to which a vehicle is subjected on the road. Subsequently, the EPA FTP75/HWFET driving cycles were followed in a chassis dynamometer. An OBDII reader and a flowmeter were used to estimate fuel consumption. The results with the urban and extra-urban cycles were 32.42/32.48 MPG (Vehicle-A) and 31.37/36.38 MPG (Vehicle-B) with a percentage difference between 6% and 30% compared with the EPA.

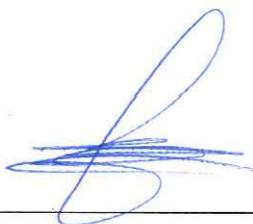
Keywords — fuel consumption, ISO 10521-1, ISO 10521-2, EPA FTP75, EPA HWFET, chassis dynamometer.



Ing. Mateo Coello Salcedo, MSc.

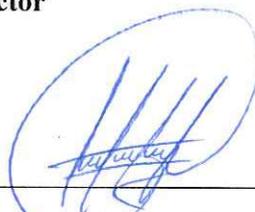
Faculty Director

Thesis Director



Pedro Luis Carrión

Author



Kevin Santiago Villamagua

Author



Ing. Paúl Arpi

Traductor

Trabajo de Titulación.

Pedro Luis Carrión Astudillo

Kevin Santiago Villamagua Maldonado

Septiembre, 2018

**DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE VEHÍCULOS EN
BASE A LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN EPA FTP75 Y EPA HWFET, EN
DINAMÓMETRO DE CHASIS.**

*Casos de estudio: vehículos Chevrolet Aveo Family 1.5 L, 2010 y Hyundai Accent 1.5L,
2002*

INTRODUCCIÓN

La presente investigación pretende aportar a una base de datos con el consumo de combustible en los vehículos más vendidos en el Ecuador, esta información posibilita la comparación de los resultados de los vehículos que la conforman tomando en cuenta las características locales. Con la base de datos obtenida será posible evaluar estrategias de reducción de consumo de combustible, por ejemplo: impuestos sobre el consumo excesivo del mismo, introducción de nuevas tecnologías, iniciación a movilidad alternativa, promover vehículos eficientes, amigables con el medio ambiente, etc. Se debe tomar en cuenta que actualmente el 57% de la contaminación de aire en local, es causado por el sector del transporte por lo que una reducción en el consumo de combustible permitirá disminuir la contaminación. Este estudio determinara el consumo de combustible en dos vehículos en base a los ciclos de conducción, en dinamómetro de chasis. Para la determinación del consumo de combustible se obtiene los coeficientes A, B, C mediante pruebas Coastdown, tanto en carretera como en un dinamómetro de chasis. Los coeficientes permiten representar las fuerzas a las que un vehículo está sometido en carretera. Posteriormente se realizan pruebas con ciclos de conducción: EPA FTP75 y EPA HWFET en un dinamómetro de chasis; para la toma de datos se utiliza un lector OBDII y un flujómetro para estimar el consumo de combustible.

Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 Y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis

Casos de estudio: vehículos Chevrolet Aveo Family 1.5 L, 2010 y Hyundai Accent 1.5L, 2002

Pedro Carrión Astudillo
Facultad de Ciencia y
Tecnología, Ingeniería en
Mecánica Automotriz.
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador.

pcarrion@es.uazuay.edu.ec

Kevin Villamagua
Maldonado
Facultad de Ciencia y
Tecnología, Ingeniería en
Mecánica Automotriz.
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador.
kevinvillamagua@es.
uazuay.edu.ec

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

Robert Rockwood
Centro de Investigación y
Desarrollo en Ingeniería
Automotriz (ERGON).
Universidad del Azuay.
Cuenca, Ecuador.
rockwood@uazuay.edu.ec

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

Resumen— El presente estudio tiene como objetivo aportar a una base de datos de consumo de combustible en los vehículos más vendidos en Ecuador. Para la determinación del consumo de combustible se obtiene los coeficientes A, B, C mediante pruebas Coastdown en carretera y laboratorio según la normativa ISO-10521:2006, los cuales permiten simular fuerzas que un vehículo está sometido en carretera. Posteriormente se siguen ciclos de conducción: EPA FTP75/HWFET en un dinamómetro de chasis. Para la estimación del consumo de combustible se utiliza un lector OBDII y flujómetro. Los resultados con el ciclo urbano y extraurbano fueron: 32.42/32.48 MPG (vehículo-A); y 31.37/36.38 MPG (vehículo-B) respectivamente, con una diferencia porcentual entre 6 y 30% comparado con la EPA.

Palabras claves — consumo combustible, norma ISO 10521-1, ISO 10521-2, EPA FTP75, EPA HWFET, dinamómetro de chasis.

Abstract — The objective of this study was to contribute to a fuel consumption database of the best-selling vehicles in Ecuador. The coefficients A, B and C were obtained for the determination of fuel consumption by Coastdown tests on the road and laboratory according to ISO-105021:2006. These allowed to simulate the forces to which a vehicle is subjected on the road. Subsequently, the EPA FTP75/HWFET driving cycles were followed in a chassis dynamometer. An OBDII reader and a flowmeter were used to estimate fuel consumption. The results with the urban and extra-urban cycles were 32.42/32.48 MPG (Vehicle-A) and 31.37/36.38 MPG (Vehicle-B) with a

percentage difference between 6% and 30% compared with the EPA.

Keywords - fuel consumption, ISO 10521-1, ISO 10521-2, EPA FTP75, EPA HWFET, chassis dynamometer.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es un tema relevante actualmente a nivel mundial, ya que tiene efectos negativos como el aporte al calentamiento global, lo que conlleva a la búsqueda de alternativas energéticas más eficientes que generen una reducción de consumo de combustible y por ende emisiones contaminantes. El sector del transporte representa el 86% del consumo total de energía fósil en el Ecuador [1] con un crecimiento del parque automotor del 57% desde el año 2010 [2], lo cual supone un constante aumento de la demanda de combustible para el país, el mismo que es subsidiado por el estado en 3.160\$ millones al año [3].

La Agencia Internacional de Energía estima que existe un potencial de mejora técnica en la economía de combustible en los vehículos nuevos, y que esta mejora puede alcanzar el 50% en 2030, lo que daría lugar a una reducción aproximada de 500000 toneladas equivalentes de petróleo en el uso de combustible y casi 1 giga tonelada de reducción anual de emisiones de CO₂[4], de ahí la importancia del porqué efectuar mediciones de consumo de combustible.

Rosalind O'Driscoll señala en su estudio la importancia de contar con una base de datos referente a mediciones en vehículos, ya que los datos medidos comparados con el

estándar que proporciona los fabricantes, difieren significativamente en condiciones normales de funcionamiento [5]. Además de ello, Charyung Kim menciona en su investigación que, para determinar el consumo de combustible y emisiones contaminantes, siguiendo un ciclo de conducción, es necesario someter al vehículo a las cargas que está sujeto cuando circula en carretera, las cuales deben ser simuladas en un dinamómetro de chasis. El método más usual para determinar las cargas que se producen en carretera es la prueba de *Coastdown* (desaceleración libre) [6].

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) posee una base de datos del consumo de combustible, que se mide bajo condiciones controladas en un laboratorio utilizando ciclos de conducción: de ciudad FTP75 y de carretera HWFET. Los fabricantes prueban sus propios vehículos, generalmente prototipos de preproducción, e informan los resultados a la EPA, la cual, posteriormente, revisa los resultados y confirma los mismos a través de sus propias pruebas en el Laboratorio Nacional de Vehículos y Emisiones de Combustible. Las estimaciones de consumo de combustible de la EPA se basan en pruebas estandarizadas, diseñadas para reflejar las condiciones de conducción "típicas" y el comportamiento del conductor, pero varios factores pueden afectar significativamente el consumo, como: la zona geográfica, el modo de conducción, el mantenimiento y las condiciones del vehículo, variaciones de combustible, variaciones del vehículo, etc. Por lo tanto, las clasificaciones de la EPA, son una herramienta útil para comparar el consumo de combustible de diferentes vehículos [7].

En el estudio de Navarra, se compara el consumo de combustible real y teórico de un automóvil Nissan Micra 1.2, mediante un ciclo de conducción europeo (NEDC) y otro en condiciones de conducción real. En el estudio se instrumentó un vehículo particular con un dispositivo de diagnóstico, que permite identificar varias variables como: velocidad del vehículo, posición del pedal de aceleración, cantidad de aire que entra al motor, revoluciones por minuto, aceleraciones. Todos estos parámetros permitirán obtener datos de consumo de combustible en condiciones de arranque en frío, aceleración-deceleración y pendientes ascendente y descendente. Primero se realizó el ciclo de conducción NEDC, mediante el cual se obtuvo un consumo urbano de 6.1L/100Km, consumo en carretera de 4.3 L/100Km y un consumo combinado de 5.0 L/100Km, mientras que en los ciclos reales de los tres trayectos se obtuvieron consumos de 5,5 L/100Km, 6.3L/100Km y 6.8 L/100Km en los cuales se puede apreciar una diferencia de consumo de combustible con respecto al ciclo conducción NEDC[8]. La metodología de estimar el consumo de combustible utilizando ciclos de conducción, permite obtener resultados precisos. Los cuales, serán mejorados al considerar el efecto de la aceleración en la estimación del consumo de combustible. El objetivo del estudio mencionado es disminuir el consumo total de combustible, considerando la carga, la velocidad y el efecto de la aceleración, para obtener una estimación correcta del

consumo, con lo que se puede planificar correctamente respecto a costos, tiempos, rutas y abordar problemas de calidad del aire [9]. Además en algunos estudios, como en el de Sterner, se señala que los entes gubernamentales al aplicar impuestos sobre los combustibles para el uso de transporte han evitado el crecimiento de la demanda de consumo de combustible y las emisiones contaminantes asociadas al mismo[10].

En el Ecuador no se posee una base de datos de consumo de combustible de los vehículos más vendidos en el país. Los datos que brindan los fabricantes pueden diferir debido a la calidad del combustible, condiciones geográficas de la región Sierra, comprendidas entre los 2000 y 3500 msnm, etc.

La presente investigación pretende aportar a una base de datos con el consumo de combustible en los vehículos más vendidos en el Ecuador, esta información posibilita la comparación de los resultados de los vehículos que la conforman tomando en cuenta las características locales. Con la base de datos obtenida será posible evaluar estrategias de reducción de consumo de combustible, por ejemplo: impuestos sobre el consumo excesivo del mismo, introducción de nuevas tecnologías, iniciación a movilidad alternativa, promover vehículos eficientes, amigables con el medio ambiente, etc. Se debe tomar en cuenta que actualmente el 57% de la contaminación de aire en Cuenca, es causado por el sector del transporte por lo que una reducción en el consumo de combustible permitirá disminuir la contaminación [11]. Este estudio determinará el consumo de combustible en dos vehículos en base a los ciclos de conducción, en dinamómetro de chasis. Para la determinación del consumo de combustible se obtiene los coeficientes A, B, C mediante pruebas *Coastdown*, tanto en carretera como en un dinamómetro de chasis. Los coeficientes permiten representar las fuerzas a las que un vehículo está sometido en carretera. Posteriormente se realizan pruebas con ciclos de conducción: EPA FTP75 y EPA HWFET en un dinamómetro de chasis; para la toma de datos se utiliza un lector OBDII y un flujómetro para estimar el consumo de combustible.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La estimación del consumo de combustible requiere obtener los coeficientes de ajuste de fuerzas a las que un vehículo está sometido en carretera, la configuración del dinamómetro de chasis e instrumentación de los vehículos para realizar las pruebas de consumo siguiendo los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET. Los vehículos deben estar en condiciones normales, especificado por el fabricante, como presión de neumáticos, alineación de las ruedas, altura del vehículo, etc. Además de ello realizar el pre-acondicionamiento de los vehículos antes de cada prueba según lo especificado en la norma ISO 10521-1:2006.

Para el presente estudio se utilizó e instrumentó los dos vehículos mencionados en la Tabla 1.

TABLA 1
ESPECIFICACIONES DE LOS VEHICULOS PARA LAS PRUEBAS

Características	Vehículo A	Vehículo B
Cilindrada	1500 cm3	
Caja de cambios	Manual, 5 velocidades	
Torque/rpm	127 N.m@ 3000 rpm	136 N.m@ 3000 rpm
Potencia/rpm	83 Hp @ 5600 rpm	101 Hp @ 5800 rpm
Combustible	Gasolina	
Año	2010	2002
Masa (CW/ETW*)	1040/1250 kg	1005/1210 kg

*CW: Masa en vacío, ETW: Masa equivalente en pruebas.

A. Coastdown en carretera:

La prueba Coastdown en carretera es realizada de acuerdo con lo indicado en la norma ISO 10521-1:2006 [12]. Los vehículos son instrumentados con un sistema de posicionamiento global (GPS), el cual posee una tasa de escritura de 20Hz, para obtener datos de velocidad y tiempo. En la Figura 1 se puede observar la curva característica típica de la prueba de desaceleración libre (*Coastdown*). En este proceso se obtiene los coeficientes A_t , B_t y C_t , que son los coeficientes de carga en carretera (*target road load*).

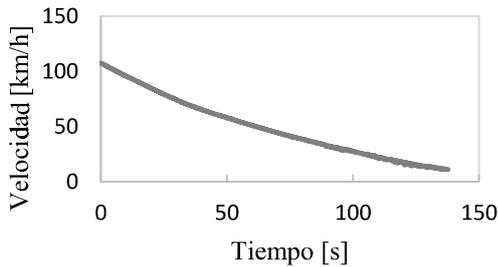


Fig. 1. Curva desaceleración en función del tiempo.

B. Coastdown en dinamómetro de chasis:

La prueba Coastdown en el dinamómetro de chasis se realiza de acuerdo con lo indicado en la norma ISO 10521-2:2006 [13]. El dinamómetro de chasis utilizado, posee un rodillo con un diámetro de 30", el cual soporta una potencia y velocidad máxima de 895 kW [1200 Hp] y 362 kph respectivamente [14]. En este proceso se obtiene los coeficientes A_s , B_s y C_s , que representa la carga de carretera simulada en el dinamómetro de chasis (*simulated road load*).

C. Obtención de los coeficientes de ajuste de fuerza A, B y C.

Para la obtención de los coeficientes de ajuste de fuerza A_t , B_t y C_t , se realiza una gráfica Fuerza-Velocidad en cada prueba, en donde la fuerza se calcula mediante la Ecuación (1), posterior, se obtiene una curva de regresión de segundo grado y de la ecuación correspondiente a aquella curva, se obtiene los coeficientes como se puede observar en la figura 2.

$$F = -\frac{1}{3.6}(m + m_r)\frac{dV}{dt} \quad (1)$$

Donde:

m : masa del vehículo, incluido al conductor y los instrumentos [kg].

m_r : 3% de la masa en vacío del vehículo.

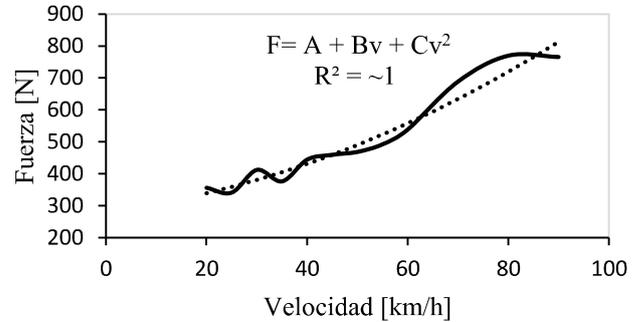


Fig. 2. Curva de fuerza-velocidad

A continuación, se procede a realizar una recopilación de todas las pruebas, en donde se obtendrá el promedio de cada coeficiente, su desviación estándar e intervalo de confianza, para finalmente obtener los valores finales de corrección correspondiente a las pruebas en carretera.

Para la obtención de los coeficientes de ajuste de fuerza A_s , B_s y C_s , se realiza el mismo procedimiento anterior, empleando la Ecuación (2).

$$F = -\frac{1}{3.6}(m_r + m_d)\frac{2xdV}{dt} \quad (2)$$

Donde:

m_d : masa equivalente de inercia del dinamómetro de chasis [kg]

m_r : 1.5% masa en vacío del vehículo.

Los coeficientes A_d , B_d , y C_d son calculados con las Ecuaciones (3), (4) y (5), los cuales representan la carga de ajuste del dinamómetro de chasis (*chassis-dynamometer setting load*)

$$A_d = A_t * 0.5 \quad (3)$$

$$B_d = B_t * 0.2 \quad (4)$$

$$C_d = C_t \quad (5)$$

Posteriormente, para obtener los coeficientes finales de ajuste de fuerzas A, B y C se procede con la aplicación de las Ecuaciones (6), (7) y (8).

$$A = A_t + A_d - A_s \quad (6)$$

$$B = B_t + B_d - B_s \quad (7)$$

$$C = C_t + C_d - C_s \quad (8)$$

D. Medición de consumo de combustible

El dinamómetro de chasis es configurado mediante los coeficientes previamente obtenidos, los cuales simulan las

fuerzas a las que un vehículo está sometido en carretera para realizar las pruebas de consumo de combustible con los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET.

El ciclo de conducción EPA FTP75 posee una duración de 31.28 minutos con una distancia total de recorrido de 17.77 km y un promedio de velocidad de 34.12 km/h [15]. El ciclo de conducción EPA HWFET posee una duración de 12.75 minutos con una distancia total de recorrido de 16.45 km y un promedio de velocidad de 77.77 km/h [16]. Los ciclos de conducción son mostrados en la Figura 3 y 4.

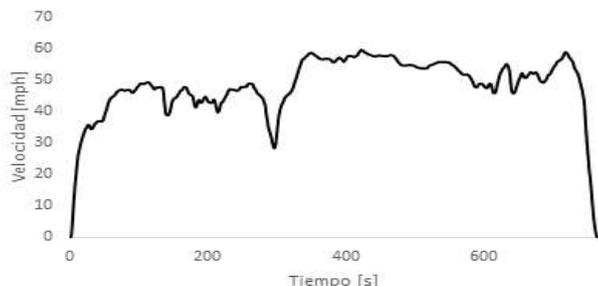


Fig. 3. Ciclo de conducción en carretera EPA HWFET.

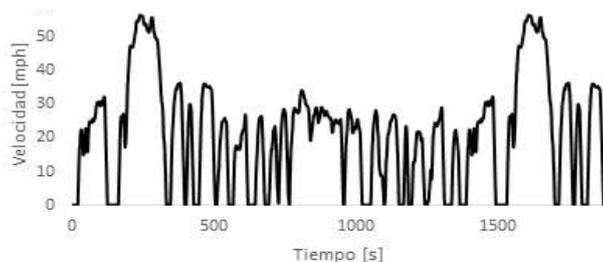


Fig. 4 Ciclo de conducción urbano EPA FTP75.

Para efectuar las pruebas de consumo de combustible es necesario instrumentar al vehículo con un flujómetro, el cual permite la medición del volumen de combustible consumido durante cada prueba realizada, cuenta con un rango de medición de 0.5 a 1800 cc/min, una presión máxima de operación de 210 bar, una tasa de escritura de datos de 1 Hz y es instalado en la línea de alimentación de combustible de cada vehículo. También se instrumenta al vehículo con un equipo de diagnóstico a bordo, para obtener y grabar datos del consumo específico, los cuales son calculados por la unidad de control del vehículo mediante el procesamiento de las señales de sensores y actuadores, posee una tasa de escritura de datos de 1 Hz y su conexión es mediante el puerto OBD II del vehículo.

Es necesario realizar varias pruebas de *Coastdown* en carretera y dinamómetro de chasis, así como las mediciones de consumo de combustible, para que mediante un análisis estadístico se obtenga un coeficiente de variación menor al 20%.

III. RESULTADOS

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos para los coeficientes de ajuste de las pruebas *Coastdown* en carretera.

Los resultados mostrados representan el promedio de 12 y 16 pruebas para el vehículo A y B respectivamente.

TABLA 2
Resultados de coeficientes en pruebas *Coastdown* en carretera

	At	Bt	Ct
Vehículo A	483.177±175.73	-1.903±2.955	0.083±0.024
Vehículo B	511.61±142.8	0.523±1.779	0.0417±0.0119

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos para los coeficientes de ajuste de las pruebas *Coastdown* en el dinamómetro de chasis. Los resultados mostrados representan el promedio de 10 pruebas para el vehículo A y B.

TABLA 3
Resultados de coeficientes en pruebas *Coastdown* en dinamómetro de chasis

	As	Bs	Cs
Vehículo A	182.849±8.48	4.853±0.719	-0.02163±0.0067
Vehículo B	288.484±11.597	2.3063±0.417	-0.00316±0.00459

Los coeficientes Ad, Bd y Cd fueron tomados como valor cero, al momento de realizar los cálculos.

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos de los coeficientes de ajuste A, B y C mediante la aplicación de las Ecuaciones (6), (7) y (8). Dichos coeficientes son introducidos en la configuración del dinamómetro de chasis al momento de realizar las pruebas de consumo de combustible.

TABLA 4
Resultados de coeficientes finales de ajuste de fuerza

	A	B	C
Vehículo A	300.3285	-6.755833	0.104822
Vehículo B	223.1303	-1.783665	0.044829

Los datos obtenidos de las pruebas de consumo de combustible, tanto con el uso del flujómetro como con el OBDII data logger, fueron procesados para obtener el consumo y rendimiento de combustible. La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos, que representa el promedio de 4 y 5 pruebas realizadas con los ciclos de conducción EPA FTP75 y HWFET respectivamente en el vehículo A; y el promedio de 4 pruebas realizadas con los ciclos de conducción EPA FTP75 y HWFET en el vehículo B. La Figura 5 indica la comparación entre los resultados de los vehículos mencionados.

TABLA 5
Rendimiento de combustible [MPG]

Ciclo de conducción	EPA HWFET		EPA FTP75	
	Instrumentos de medición		Instrumentos de medición	
Vehículo A	OBDD II data logger	Flujómetro	OBDD II data logger	Flujómetro
	33.69 ±0.50	32.48 ±3.52	26.33 ±0.49	32.42 ±3.70
Vehículo B	OBDD II data logger	Flujómetro	OBDD II data logger	Flujómetro
	38.83 ±1.22	36.38 ±0.58	28.23 ±0.18	31.37 ±5.13

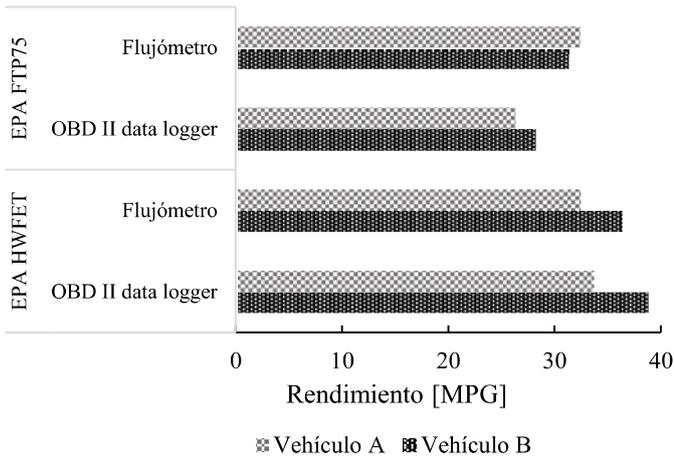


Fig. 5. Comparación de rendimiento de combustible [MPG]

IV. CONCLUSIONES

Al analizar el estado del arte referente a métodos de estimación de consumo de combustible se concluye que es de suma importancia utilizar ciclos de conducción, los que permiten la repetibilidad de las pruebas, garantizando las mismas condiciones para cada prueba que se realiza.

Los coeficientes de ajuste de fuerzas A, B y C para los vehículos A y B fueron obtenidos mediante la aplicación de la metodología de la norma ISO 10521:2006. Al momento de realizar las pruebas utilizando los valores Ad, Bd y Cd calculados, los vehículos no podían seguir el ciclo de conducción debido a la excesiva carga que presentaba el rodillo del dinamómetro de chasis por lo que los coeficientes Ad, Bd y Cd fueron tomados con un valor igual a cero.

La medición del consumo de combustible del flujómetro en la práctica posee una tasa de escritura de datos inferior a 1Hz por lo que el tiempo empleado en el cálculo del flujómetro será menor a cada tiempo de los ciclos de conducción lo que influye directamente en la distancia total recorrida. Por lo que es necesario efectuar un ajuste en la distancia de cada prueba efectuada para compensar los datos no proporcionados durante todo el ciclo de conducción, lo que permite obtener el rendimiento de consumo de combustible con mayor aproximación en el flujómetro.

Los datos obtenidos mediante el OBDII y el flujómetro utilizando el ciclo de conducción EPA HWFET del vehículo A, poseen una diferencia porcentual de 6.41 % y 9.77% respectivamente, comparado con los datos proporcionados por la EPA. Mientras que utilizado el ciclo de conducción EPA FTP75 existe una diferencia porcentual del 9.21% y 11.79% para el mismo vehículo. Los datos obtenidos mediante el OBDII y el flujómetro utilizando el ciclo de conducción EPA HWFET del vehículo B, poseen una diferencia porcentual de 17.67 % y 10.24 % respectivamente, comparado con los datos proporcionados por la EPA. Mientras que utilizado el ciclo de

conducción EPA FTP75 existe una diferencia porcentual del 17.63 % y 30.73 % para el mismo vehículo. En otros estudios, las diferencias porcentuales de variación de consumo de combustible comparado con datos de la EPA van desde el 35% al 85% [17]. Las diferencias porcentuales del rendimiento de combustible obtenidos con respecto a la EPA y el intervalo de confianza son mostradas en la Figura 6 y 7.

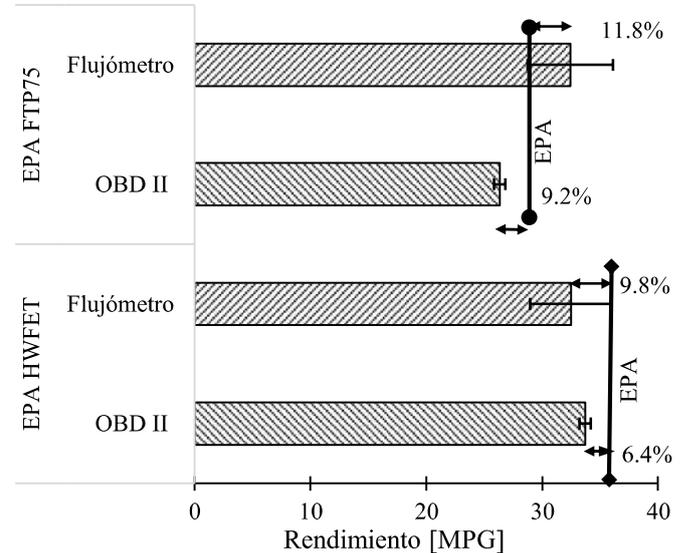


Fig. 6. Gráfica comparativa del rendimiento de combustible obtenidos vs datos de la EPA del vehículo A

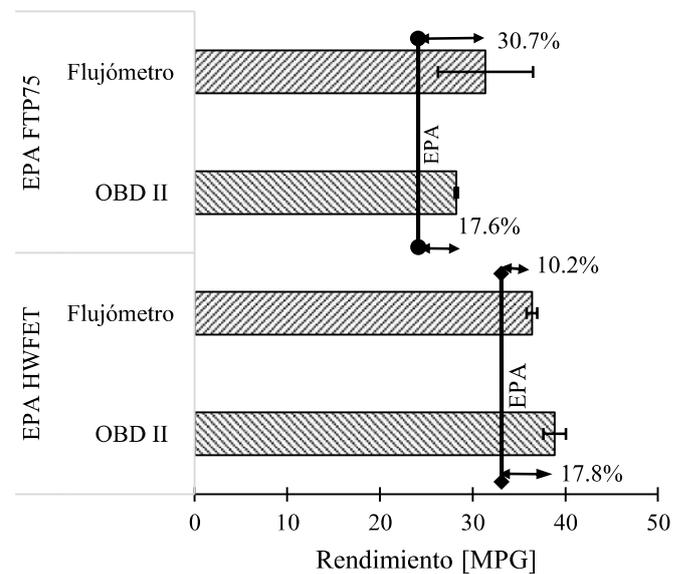


Fig. 7. Gráfica comparativa del rendimiento de combustible obtenidos vs datos de la EPA del vehículo B.

Según el estudio de Sarango, se tiene una media del indicador kilómetro-vehículo recorrido (KVR) de 36.04 km en la categoría de automóviles particulares en el medio local [18], lo que da un consumo total promedio en un año de 276.09 y

242.42 galones de combustible en el vehículo A y B respectivamente. Esto representa un costo económico de 409.44 y 359.51 USD según el precio actual del combustible de 87 octanos, mismo que fue usado en los vehículos durante las pruebas.

Es recomendable realizar un mayor número de pruebas *Coastdown* en carreta y en dinamómetro de chasis, debido a que el coeficiente de variación es elevado lo que indica una mayor dispersión de los datos, por lo que la media no es representativa.

V. REFERENCIAS

- [1] M. C. S. S. MCSE, "National Energy Balance 2015. Chapters 4-7," *Natl. Energy Balanc. 2015 / Chapter 4. Energy consumption by Sect. source / Chapter 5. Energy Export. imports / Chapter 6. Greenh. gases Emiss. / Chapter 7. Energy Socioecon.*, pp. 99–159, 2015.
- [2] INEC, "El parque automotor de Ecuador creció 57% en cinco años," 2016. .
- [3] L. Fierro, "El Ecuador tiene el mayor nivel de subsidios a los combustibles," *Rev. gestión*, 2014.
- [4] F. M. Kreuzer and G. Wilmsmeier, "Eficiencia energética y movilidad en América latina y el Caribe," p. 305, 2014.
- [5] R. O'Driscoll, M. E. J. Stettler, N. Molden, T. Oxley, and H. M. ApSimon, "Real world CO₂ and NO_x emissions from 149 Euro 5 and 6 diesel, gasoline and hybrid passenger cars," *Sci. Total Environ.*, vol. 621, no. x, pp. 282–290, 2018.
- [6] C. Kim, H. Lee, Y. Park, C. Myung, and S. Park, "Study on the Criteria for the Determination of the Road Load Correlation for Automobiles and an Analysis of Key Factors," pp. 7–9, 2016.
- [7] United States government, "Environmental Protection Agency," 2018. .
- [8] E. V. Jose Carlos Urroz, "Estudio y comparación del consumo de combustible real y teórico de un Nissan Micra 1.2 .," 2016.
- [9] S. R. Kancharla and G. Ramadurai, "Incorporating driving cycle based fuel consumption estimation in green vehicle routing problems," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 40, pp. 214–221, 2018.
- [10] T. Sterner, "Distributional effects of taxing transport fuel," *Energy Policy*, vol. 41, pp. 75–83, 2012.
- [11] C. Moyano Tobar, "SEMINARIO INTERNACIONAL: 'Hacia una movilidad sostenible,'" *Univ. del Azuay*, p. 49, 2017.
- [12] ISO 10521-1, "Determination under reference atmospheric conditions," vol. 2006, 2006.
- [13] ISO 10521-2, "Reproduction on chassis dynamometer," vol. 2006, p. 22674, 2006.
- [14] "SF-832 Chassis Dyno | SuperFlow.," *SF-832 Chassis Dyno | SuperFlow.*, 2018. [Online]. Available: <https://www.superflow.com/asp/prodDetail.aspx?prodid=4&catid=1&navid=6>.
- [15] Diesel Net, "FTP-75," 2018. [Online]. Available: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.php>.
- [16] Diesel Net, "EPA Highway Fuel Economy Test Cycle (HWFET)," 2018. [Online]. Available: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/hwfet.php>.
- [17] C. Yascaribay and W. Vidal, "Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET en dinamómetro de chasis," vol. 2, no. Ftp 75, pp. 1–7, 2016.
- [18] D. Sarango and P. Moncayo, "Determinación del indicador kilómetros-vehículo recorrido (KVR) para la ciudad de Cuenca," p. 94, 2016.