

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

Casos de estudio: vehículos Chevrolet Aveo 1,6 2009 y Chevrolet Spark 1,0 2009

MAURO FABIAN FLORES VERA
UNIVERSIDAD DEL AZUAY, ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ
Av. Ernesto Guevara y Benigno Malo
CUENCA, ECUADOR
espumaflores@hotmail.com

PABLO FERNANDO LUZURIAGA REYES
UNIVERSIDAD DEL AZUAY, ESCUELA DE
INGENIERIA MECANICA AUTOMOTRIZ
Av. Ernesto Guevara y Benigno Malo
CUENCA, ECUADOR
pabloluz83@gmail.com

Abstract.

This project deal with the fuel consumption measurement of Chevrolet Spark 1.0 L, 2009 and Chevrolet Aveo 1.6 L, 2009 vehicles, using the EPA FTP75 and EPA HWFT driving cycles. The work contributes to the creation of a database on the fuel consumption of vehicles of greater use in Ecuadorian cities. In order to perform the tests, it was necessary to estimate parameters that allow the chassis dynamometer to simulate the loads that the vehicle must overcome to be able to move. These are drag coefficient (Cd), rolling resistance coefficient (fr), and "a, b and c" road forces adjustment coefficients, which are opposed the movement of the vehicle and are calculated by SAE J1263 free deceleration tests. The results obtained showed reasonable values in relation to the method used for the tests.

Keywords- fuel consumption, rolling resistance coefficients, road adjustment coefficients, free deceleration, driving cycles.

Resumen.

En el presente proyecto se midió el consumo de combustible de los vehículos Chevrolet Spark 1.0 L, 2009, y Chevrolet Aveo 1.6 L, 2009, utilizando los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFT, en un dinamómetro de chasis, este trabajo contribuye a la creación de una base de datos sobre el consumo de combustible de los vehículos con mayor tráfico en las ciudades Ecuatorianas ya que esta información actualmente solo se obtiene de los catálogos de especificaciones de los fabricantes que obtienen estos datos en pruebas estándar. Para realizar las pruebas, fue necesario estimar parámetros que permitan al banco dinámico de chasis simular las cargas que el vehículo debe superar para poder moverse. Estos son coeficiente de resistencia aerodinámica (Cd), coeficiente de resistencia a la rodadura (fr), y coeficientes de ajuste de las fuerzas en carretera "a, b y c" que se oponen al movimiento del vehículo, calculados mediante pruebas de,

desaceleración libre SAE J1263. Los resultados obtenidos muestran valores plausibles, en relación con el método utilizado para las pruebas.

Palabras clave- consumo de combustible, coeficientes de resistencia a la rodadura, coeficientes de ajuste en carretera, desaceleración libre, ciclos de conducción.

1. INTRODUCCIÓN

La industrialización global y la creciente motorización han dado lugar a un fuerte aumento de la demanda de combustibles a base de petróleo. Hoy en día, los combustibles ocupan el 80% de la energía primaria consumida en el mundo, de los cuales el 32% es consumido por el sector del transporte (IEA, 2016), sin embargo el petróleo se utiliza además para la generación del 60% de la electricidad en el mundo (González, 2009). Además, se debe considerar el incremento de la población, la cual pronto llegará a los siete mil millones de personas (UNFPA, 2011). Por otro lado, y como explica Manuel Velásquez (2006), el progresivo agotamiento de las reservas y la creciente demanda a nivel mundial hacen prever que el petróleo se seguirá encareciendo de forma continuada y que, en un futuro cercano, empezará a ser sustituido por el carbón, un combustible barato y abundante, que genera un 40% más de CO₂ que el petróleo (Lopes et al., 2013), y que aceleraría el cambio climático, es por esta razón de que el consumo de combustible debe ser reducido mediante mejoras en los motores.

Si bien el panorama es desalentador, actualmente la comunidad científica trabaja en mejorar la eficiencia de las fuentes de energía y así aminorar el impacto al medio ambiente, como comenta Alarcón García (2016), ha habido una evolución en los últimos años logrando una reducción del consumo de combustible y disminución de la emisión de CO₂. Tal como expresa la Comisión Europea de Energía (2014).

Las nuevas fuentes de energía son de naturaleza autóctona y contribuyen a reducir la dependencia externa y aumenta la seguridad del suministro.

Determinar el consumo de combustible de los vehículos de mayor circulación, es un factor importante que debe ser tomado en cuenta ya que es una fuente de energía no renovable. El IDAE (2015) este extremo declara que en este sector hay una notable incidencia sobre el consumo de energía, representando en España el 15%. Por otra parte, el precio del combustible en el Ecuador es bajo, gracias al subsidio del Estado. A nivel mundial el país se ubica en el octavo puesto con los costos más bajos por cada litro que comercializa a nivel mundial y en el primer lugar en la Región (El Telégrafo, 2017); este factor hace que el ciudadano común no le dé mayor importancia al gasto de combustible asociado a su movilidad.

No obstante, se han realizado muchas investigaciones en pos de conocer el consumo de combustible de los vehículos, por la problemática ambiental asociada a su uso; Lima y Gálvez (2016), publicaron un trabajo titulado “Análisis de consumo de combustible de los vehículos de categoría M1 que circulan en el centro histórico de la ciudad de Cuenca en horas de máxima demanda en función de ciclos de conducción”. Con los datos obtenidos pudieron valorar el consumo de combustible en traslados dentro de la ciudad. Sin embargo, los resultados se mostraron para diferentes vehículos, clasificados de acuerdo a su cilindraje; y no se consideraron variables importantes, como: peso del vehículo y tecnología equipada

Actualmente en el país o en la región no existe una base de datos con el consumo de combustible de los vehículos de mayor circulación, si bien los fabricantes proveen de esta información, se sospecha que en la práctica estos difieren, debido a diferentes factores, como: estilos de conducción, tráfico, combustible, y la altura en la que operan los vehículos. Algunos datos son aportados, como es la Refinería de Esmeraldas (2015), donde se indica que el consumo de gasolina representa en el sector del transporte el 40,5% y el del gasoil el 45,5%. Hay que considerar además que la agencia de protección del medio ambiente estadounidense (EPA) ha elaborado una base de datos con el consumo de combustible de una gran cantidad de vehículos, sin embargo muchos de los que circulan en nuestro país no han sido evaluados.

El propósito de este trabajo es determinar el consumo de combustible de los vehículos: Chevrolet Aveo 1.6, 2009 y Chevrolet Spark 1.0 2009, en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y HWFET en un banco dinamométrico, en el cual se simularan las cargas que el automóvil enfrentaría en un traslado ya sea en un entorno urbano o en carretera, estos datos servirán para alimentar una base de datos con datos de medición de consumo de los vehículos de mayor circulación en nuestro medio.

Se evidencia la dependencia de nuestra sociedad al petróleo, esto sumado a nuestros malos hábitos de consumo, generan un problema severo para el medio ambiente, por ello cualquier mejora que se pueda generar en miras de disminuir el consumo de combustible tendrá un gran impacto ambiental, además de económico. Además, como apunta Tapia (2009), la exposición al riesgo del precio tanto al alza como a la baja provoca cambios constantes en las estrategias en las economías. La estimación del consumo energético de los vehículos en los que se realizaron mediciones se destacó que se deben considerar ciertos elementos como el peso de los vehículos, el diseño y las condiciones de funcionamiento de los motores, tipo de combustibles, etc. (Muñoz,

Sanfelix, Franco, Garraín, & Vidal, 2010). Estimación del consumo de combustible de un vehículo de transporte representativo a partir de datos de tráfico macroscópicos de un conjunto de vehículos de transporte dados usando un algoritmo EM. El segundo algoritmo que es una aplicación inteligente del algoritmo que utiliza los consumos de combustible estimados para calcular un plan de transporte óptimo para el vehículo representativo, por lo que los costes para el consumo de combustible son mínimos (Wörz & Bernhardt, 2017).

Se obtuvo una comparación de los parámetros reales de torque y potencia con respecto a los parámetros teóricos que nos dan los fabricantes del Chevrolet Aveo 2009 motor 1.6L y Chevrolet Spark 1.0L, 2009 el cual fue medido en la escala de newton metros. Luego de realizar las pruebas en el banco dinamométrico de chasis se obtuvieron las curvas de potencias deseadas, al compararlas la curva de potencia real con la teórica se determinó que la curva de potencia real es inferior a la teórica determinada por el fabricante (Llor Miño, 2016).

A través de pruebas “Cost Down SAEJ1263” conjuntamente con un sistema de adquisición de datos, se obtendrán los valores del Factor de rodadura f_r , y el coeficiente de arrastre C_d , posterior se determinará los valores de “a, b y c” que son los factores de ajuste de las fuerzas en carretera, “a” Coeficiente de ajuste por Rodadura, “b” Coeficiente de ajuste por Fricción, “c” Coeficiente de ajuste Aerodinámico. Conjuntamente los datos anteriores con los ciclos EPA FTP75 y EPA HWFET en un dinamómetro de chasis se obtendrá el consumo de combustible. Los resultados de las pruebas serán comparados y evaluados con fuentes de la EPA *Fuel Economy*.

2. MATERIALES Y METODOS

TABLA 1 Datos Técnicos Vehículo

Vehículo	Chevrolet Aveo	Chevrolet Spark
Año	2009	2009
Cilindrada	1.600 cc	1000 cc
Peso	1220 [kg]	980 [g]
Área frontal	2.13 [m ²]	2.2 [m ²]
Cd	0.35 [-]	0.22 [-]
Diámetro de la Rueda.	68.5 [cm]	57.6 [cm]

Fuente: (Cocheschevrolet.com, 2017).

TABLA 2 Registrador de Datos

Especificaciones	Datos Instantáneos unidades
Consumo específico	[litros/segundos]
Tiempo	[segundos]
Velocidad	[kilómetros/hora]
Distancia	[kilómetros]

Fuente: (Elmelectronics, 2011).

TABLA 3 Dinamómetro De Chasis

Características Técnicas	
Diámetro rodillo	76.2[cm]
Capacidad medición	2200[Hp]
Velocidad máxima	362[km/h]
Energía requerida	110 VAC / 15A o 250 VAC / 8A 208-250 VAC / 20A
Carga máxima	36.29[kg]

jsFuente: (Superflow.com, 2017).

Las mediciones de consumo de combustible se realizaron en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, ubicada a 2550 metros sobre el nivel del mar, se determinó el consumo de combustible del vehículo Chevrolet Aveo activo 1,6 y Chevrolet Spark 1.0, las pruebas de desaceleración libre (cost down) se llevaron a cabo en un tramo de la carretera “panamericana Sur km 11” ya que su topología es plana y regular, así también las condiciones climáticas son favorables para el éxito de las pruebas.

En total se realizaron 8 pruebas de desaceleración libre (cost down) para cada vehículo, además se siguieron todas las recomendaciones SAEJ1263.

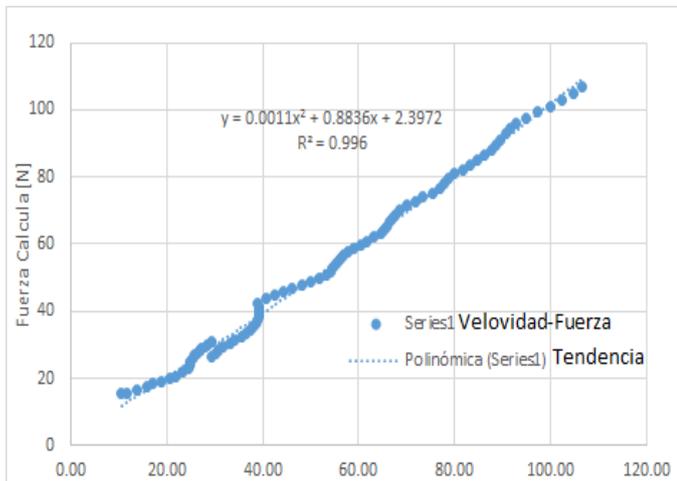


Fig. 2. Diagrama desaceleración libre.

De las pruebas de desaceleración libre se obtiene la variación de la velocidad, en función del tiempo, (los datos fueron obtenidos con un GPS incorporado en un teléfono inteligente) al procesar los datos junto con las especificaciones técnicas de cada vehículo (tabla 1), y considerando los modelos elementales del desplazamiento vehicular (relación entre la fuerza propulsora y las fuerzas que se resisten al avance del vehículo), se construye un modelo para estimar los coeficientes de resistencia aerodinámica (c_d) y de resistencia a la rodadura (f_r), con la ayuda de una hoja de cálculo y con aplicación de las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) se realiza un gráfico de dispersión con los resultados de (1) y (2) (Gillespie, 1992), utilizando un proceso iterativo de ajuste automático (Support.office.com,2017), (figura 2) se obtiene la ecuación de la forma: $cx^2+bx+a=0$.

Los modelos de la dinámica de movimiento de los vehículos de ecuaciones(Gillespie, 1992), que permiten estimar las fuerzas que intervienen en el desplazamiento del vehículo y que se ponen al mismo, son:

Resistencia a la rodadura: $R_x=f_r.M.g.Cos\theta$ [fr] (1).

En donde R_x es la fuerza generada por la rodadura la cual debe estar expresada en Newton [N], M la masa del vehículo (incluido el peso de la persona y todo lo que se encuentra en el vehículo e influye en el peso total) [kg], f_r es el coeficiente de rodadura adimensional [-] y θ es la pendiente de la calzada en [rad].

Fuerza de arrastre: $F_d=\frac{1}{2}.C_d.A.\rho$ [Cd] (2).

En donde F_d es la fuerza de arrastre cuya unidad es el Newton [N], A es el área frontal en [m²], C_d es el coeficiente de arrastre adimensional [-], ρ es la densidad del aire [kg/m³] y V la velocidad del vehículo en [m/s].

Resistencia pendiente: $R_g=M.g.sen\theta$ (3).

En donde R_g es la fuerza generada por la pendiente en [N], g es la gravedad en [m/s²].

Resistencia inercia: $R_i=m.a$ (4).

R_i es la resistencia que tiene un cuerpo al cambio de velocidad(es decir se opone al movimiento) esta expresada en [N], a es la aceleración positiva o negativa del móvil en [m/s²].

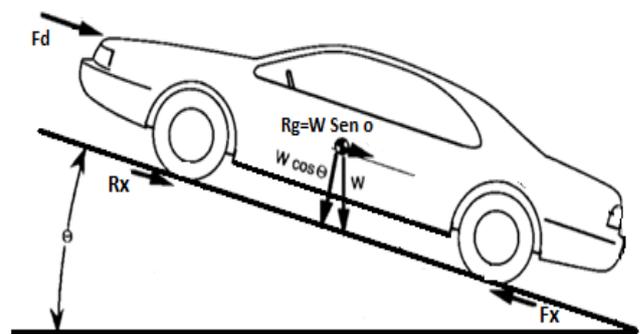


Fig. 2. Dinámica del vehículo,

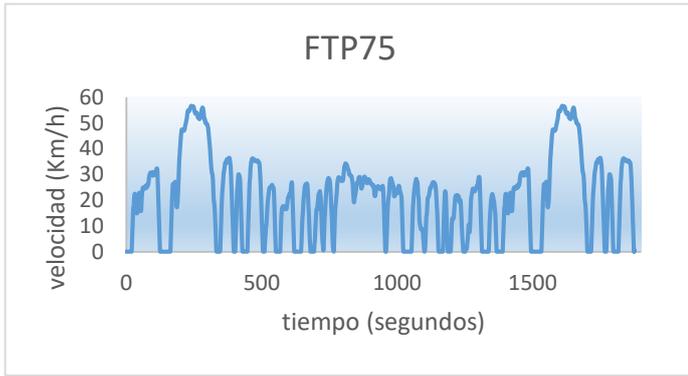
Fuente: (Fundamentals of Vehicle Dynamics, 1992)

Una vez encontrados los coeficientes C_d y f_r se procedió a encontrar los factores de ajuste de las fuerzas en carretera “a, b y c” (Gillespie, 1992.): “a” Coeficiente de ajuste por Rodadura
 “b” Coeficiente de ajuste por Fricción
 “c” Coeficiente de ajuste Aerodinámico

De igual forma siguiendo las recomendaciones SAE J1263, los cuales permiten la simulación de las cargas que enfrenta el vehículo durante su desplazamiento, en las pruebas en el banco dinamométrico, las pruebas de consumo se realizaron siguiendo los ciclos de conducción EPA FTP75 figura 3 EPA HWFET figura 4. Con ello el estilo de conducción de cada usuario, no influye en los resultados de consumo de combustible.

Se realizan pruebas de desaceleración libre en el banco dinamométrico de chasis y con los datos almacenados a través de la interface OBD2 de la ECU y su aplicación en el teléfono móvil, con una función computacional iterativa de ajuste automático en una hoja de cálculo computacional, determinamos los valores de los coeficientes de fricción y arrastre a, b, y c respectivamente. (Figura 5).

Fig. 3. Ciclo de conducción EPA FTP75 (traslado en un entorno urbano).



Fuente: (US EPA, 2017)

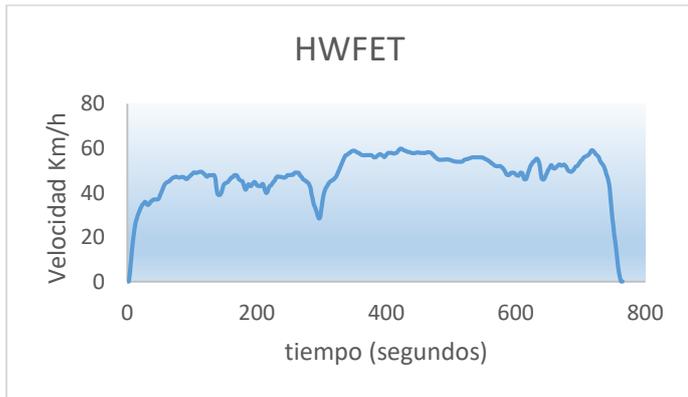


Fig. 4 Ciclo de conducción EPA HWFET (traslado en carretera).

Fuente: (US EPA, 2017)

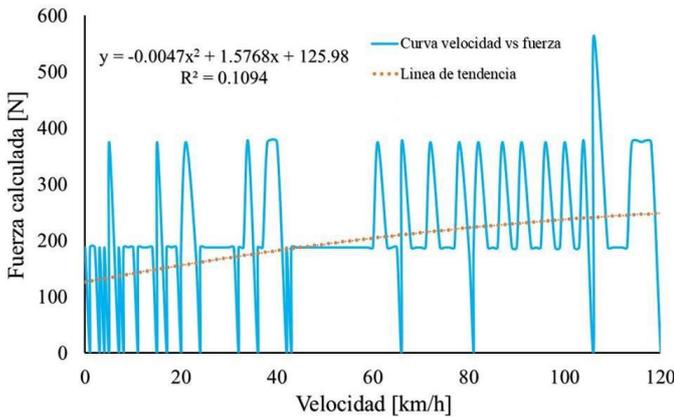


Fig. 5. Velocidad vs fuerza calculada en el dinamómetro de chasis.

Fuente: (US EPA, 2017)

Para la medición del consumo de combustible en sí, se utilizó una interface que conecta el puerto OBD2 de la ECU del vehículo, con una aplicación para teléfonos inteligentes denominada torque®, la cual procesa los datos obtenidos de los sensores del motor del vehículo para estimar el consumo instantáneo de combustible, el cual se registra con una frecuencia de 1hz, los datos son exportados a una hoja de cálculo, en la cual se estima el consumo total en el ciclo de conducción.

Como indica Moller (2006), el consumo puede ser relativo dado que depende del estado de los motores, del manejo del automóvil, etc.

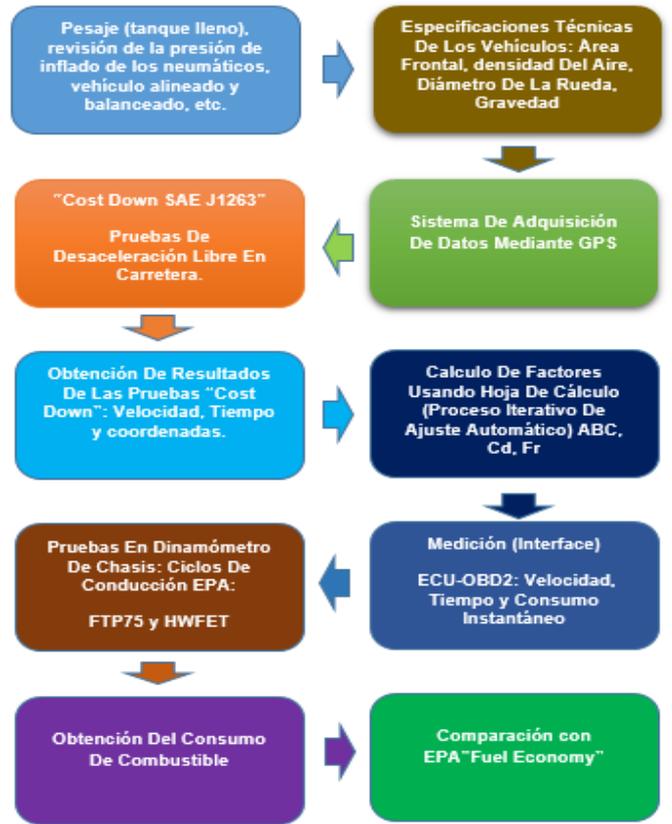


Fig. 6. Representación esquemática del proceso de medición de consumo de combustible.

3 RESULTADOS

Al procesar los datos obtenidos en las pruebas de desaceleración libre y en las pruebas del dativa para todas ellas, la cual se muestra en la tabla 3.

TABLA 3 Cd y fr.

VEHÍCULOS	Cd	Fr
Chevrolet Aveo	0,37±0,02	0,016±0,002
Chevrolet Spark Gt	0,34±0,016	0,014±0,0014

Resultados de la obtención de los coeficientes de ajuste de las fuerzas que ejercen en la carretera para alimentar el banco dinamométrico como muestran las tablas 4 y 5.

TABLA 4 coeficientes de Ajuste F0, F1, y F2

Coefficientes	Chevrolet Aveo	Chevrolet Spark
F0[-]	175.69±0.017	162.46±0.014
F1[-]	0.002±0.002	1.78±0.568
F2[-]	0.034	0.035

TABLA 5 Coeficientes Ajuste D0, D1 y D2

Coefficientes	Chevrolet Aveo	Chevrolet Spark
D0[-]	109.02±14.52	162.46±/-0.014
D1[-]	1.77±0.542	1.78±0.568
D2[-]	-0.009±0.005	-0.007±0.003

El consumo de combustible obtenido en el banco dinámico de chasis partiendo de un consumo instantáneo en conjunto con las variables de resistencia al movimiento, tabla 6.

TABLA 6 Coeficientes Ajuste a, b y c

Coeficientes	Chevrolet Aveo 1.6	Chevrolet Spark 1.0
a[-]	66.67	64.22
b[-]	-1.76	-1.424
c[-]	0.04	0.043

TABLA 7 Consumo de combustible ciclos EPA

Ciclos EPA	Chevrolet Aveo 1.6	Chevrolet Spark 1.0
FTP75(Urbano)	7.14 [l/100 km]	6.13 [l/100 km]
HWFET(Carretera)	4.48 [l/100 km]	3.30 [l/100 km]
Combinado	5.81 [l/100 km]	4.71 [l/100 km]

Resultado y comparación con la EPA (Fueleconomy.gov, 2017) del consumo de combustible combinado.

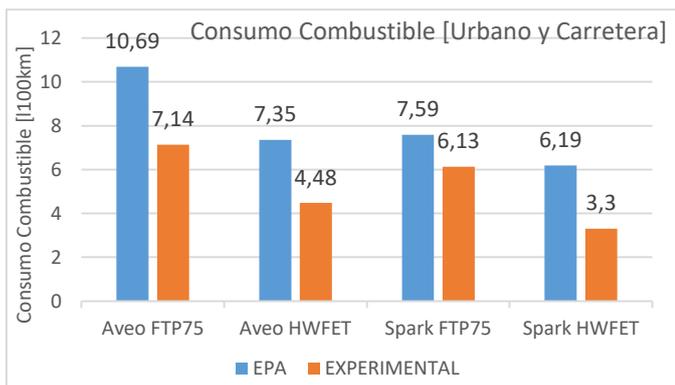


Fig. 7. Comparación de consumo de combustible combinado. Fuente: (Fueleconomy.gov, 2017)

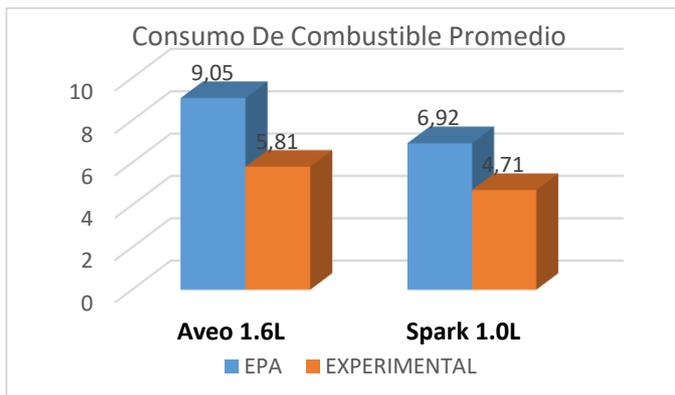


Fig. 8. Comparación: ciclos de conducción, vehículos y datos EPA. Fuente: (Fueleconomy.gov, 2017)

4 CONCLUSIONES

Los coeficientes obtenidos mediante las pruebas de desaceleración libre: Cd del Chevrolet Aveo de 0,37+/-0.02 [-]. Cd del vehículo Chevrolet Spark de 0,34+/-0.016. , muestran una excelente correlación con los datos presentados por los fabricantes en sus boletines técnicos,

mientras que los coeficientes de resistencia a la rodadura (Chevrolet Aveo 0.014+/-0.0014 y Chevrolet Spark: (0.016+/-0.002), coinciden con valores referenciales disponibles en la literatura. Chevrolet Aveo y Chevrolet Spark fueron los siguientes: coeficiente

El consumo obtenido en el Chevrolet Aveo 1.6L T/M, tanto en ciclo urbano como en ciclo de carretera resulto ser menor al consumo estimado por la US EPA, siendo estos de 33.2% y 39.04% respectivamente. Para el Chevrolet Spark 1.0L T/M el consumo obtenido en ciclo urbano es 19.23% menor al estimado por el EPA (Fueleconomy.gov, 2017) y de igual manera el consumo en ciclo de carretera 46.6% menor al del fabricante. Figura (7)

Las diferencias de los resultados son atípicas considerando la altura de la ciudad de Cuenca, en donde se esperaría un consumo mayor; esto se debe a que el error para estimar los coeficientes de ajuste de fuerzas de carretera en pruebas de banco dinámico (a, b y c) es alto, y se debe revisar cuidadosamente el método y los procedimientos utilizados, No obstante los datos presentados en este trabajo aportan significativamente a la comprensión de este fenómeno.

5 RECOMENDACIONES

Es necesario reducir el error en la estimación de los coeficientes de ajuste de fuerzas en carretera, solo así los resultados de medición de consumo de combustible serán válidos.

Para la medición del consumo de combustible se puede utilizar un flujometro, con él se mejorará la aproximación de resultados.

Se debe conocer más sobre las tecnologías de ahorro energético y mejor acceso a las compañías de vehículos, de esta forma se conseguiría un mayor ahorro energético y mejoraría los índices ambientales, especialmente en las ciudades y sus centros urbanos.

REFERENCIAS

- Alarcón García, M. (2016). *Los motores y combustibles de los automóviles de hoy y del futuro*. Murcia (España): Universidad de Murcia.
- Cerpa, R., Mónico, L., Cortés, D., Mustafa, S., & Bonilla, A. (enero-junio de 2016). Selección del sistema de propulsión de un vehículo urbano con bajo consumo de combustible. *Ingenium*, 17(33), 41-53.
- Cocheschevrolet.com. (2017). Ficha de Chevrolet Aveo Sedan 1.6 LT MT. [Online] available at http://www.cocheschevrolet.com/noticia_82-ficha-de-chevrolet-aveo-1.6-lt-mt.html [Accessed 1 Aug. 2017]
- Comisión Europea de Energía. (2014). *Energía para el futuro: fuentes de energía renovables*. Bruselas (Bélgica): Comisión Europea.
- El Telégrafo. (6 de mayo de 2017). El precio de los combustibles en Ecuador es el más bajo de la región. *El Telégrafo*, pág. Economía.
- Fueleconomy.gov. (2017). *Compare Lado a Lado*. [online] Available at: <http://fueleconomy.gov/feg/Find.do?action=sbs&lang=es&id> [Accessed 7 Aug.2017]
- España): XIV INTERNATIONAL CONGRESS ON PROJECT ENGINEERING

- Gillespie, T. D. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Analysis. <https://doi.org/10.4271/R-114>
- González, J. (octubre-diciembre de 2009). La generación eléctrica a partir de combustibles fósiles. *Boletín Ineel*, 143-151.
- González, R., Rodríguez, Y., García, Y., & Fernández, L. (2010). Consumo de combustible de los motores de combustión interna. *RCTA*, 19(1), 1-6.
- IDAE. (2015). *Guía para la gestión del combustible en las flotas de transporte por carretera*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía . Madrid (España): Ministerio de Industria Turismo y Comercio.
- IEA. (2016). *Coal falls as gas rises: world energy balances in 2016*. Obtenido de International Energy Agency: <https://www.iea.org/>
- Lima Oyola, B., & Gálvez Sandoval, E. (2016). *Análisis de consumo de combustible de los vehículos de categoría M1 que circulan en el centro histórico de la ciudad de Cuenca en horas de máxima demanda en función de cilos de conducción*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Loor Miño, C. (2016). *Estudio y análisis de curvas de eficiencia y desempeño del chevrolet aveo emotion 2015 con motor 1.6l usando combustible super*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
- Moller, R. (2006). *Transporte urbano y desarrollo sostenible en América Latina*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Muñoz, C., Sanfelix, j., Franco, V., Garraín, D., & Vidal, R. (2010). *Estimación de la reducción del consumo de combustible en vehículos como consecuencia de la reducción del peso*. Madrid (
- Navarrete, R. (15 de marzo de 2016). *Ahorro de gasolina: exitoso proyecto de control de flotas de vehículos*. (Eden-Red, Editor) Obtenido de <http://blog.edenred.mx/ahorro-de-gasolina-exitoso-proyecto-de-control-de-flotas>.
- Refinería de Esmeraldas. (2015). *Consumo de energía por sector y fuente*. Quito (Ecuador): Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.
- Superflow.com. (2017). SF-832 Chassis Dyno | SuperFlow. [Online] Available at:<http://www.superflow.com.com/asp/prodDetail.aspx/?prodid=4&catid=1&navid=6>[Accessed 3 Aug.2017]
- Support.office.com. (2017). Definir y resolver un problema con Solver -. [online] Available at <https://support.office.com/es-es/article/Definir-y-resolver-un-problema-con-solver-9ed03c9f-caf-4d99-bb6d-078f96d1652c>[Accesses 13 Aug. 2017].
- Tapia Mauri, J. (marzo de 2009). Efectos nominales y reales de la incertidumbre en el precio del petróleo. *Comercio Exterior*, 3, 156-181.
- Torres Moscoso, D. (2016). *Análisis energético de un sistema de propulsión eléctrico alternativo para movilidad en el cantón Cuenca*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- UNFPA. (2011). *Estado de la población mundial 2011*. Santiago (Chile): Naciones Unidas.
- Velasquez, M. (2006). *Ética en los negocios: conceptos y casos* (6ª ed.). México: Pearson Educación.
- Wörz, S., & Bernhardt, H. (febrero de 2017). A novel method for optimal fuel consumption estimation and planning for transportation system. *Elsevier*, 120(1), 565-572.