

# “Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y HWFET, en dinamómetro de chasis.”

## Casos de estudio: vehículos Chevrolet Aveo Emotion 1.60, 2017 y Hyundai I10 1.1, 2013

Juan Pablo Andrade<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del Azuay, Av. 24 de mayo y Hernán Malo González, Cuenca, Ecuador  
jpandrade@autozona.ec

Omar Zúñiga<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del Azuay, Av. 24 de mayo y Hernán Malo González, Cuenca, Ecuador  
omarzuni@cue.satnet.net

**Abstract.** *The aim of this paper was to contribute to the creation of a database on estimated fuel consumption for the best-selling vehicles in Ecuador, such as Hyundai I10 1.1, 2013 and Chevrolet Aveo Emotion 1.6, 2017. For this purpose, the SAE J1263 standard was applied, which implied running the coast-down test to determine the drag and rolling resistance coefficients as well as the A (rolling), B (friction), C (aerodynamic) values for the dynamometer power configuration, Simulations of the FTP75 and HWFET driving cycles were carried out on the chassis dynamometer. Then, instantaneous fuel consumption values with an acquisition frequency of 1Hz. were obtained with the aid of a data acquisition system through an OBDII interface, plus a mobile application. Finally, reference values for each vehicle, in each cycle were obtained through the summation of the instantaneous consumptions generated.*

**KEYWORDS:** *driving cycles, fuel consumption, chassis dynamometer, coast-down, coefficient, rolling, resistance, aerodynamics*

**RESUMEN.** El artículo busca aportar en la creación de una base de datos referente al consumo estimado de combustible para los vehículos más vendidos en el Ecuador, como pueden ser el Hyundai I10 1.1, 2013 y el Chevrolet Aveo Emotion 1.6, 2017. Para esto se aplicó la norma SAE J1263, que implica ejecutar la prueba coast-down, para determinar los coeficientes de resistencia aerodinámica y de rodadura; así como los valores para la configuración de la potencia en carretera del dinamómetro, A (rodadura), B (fricción) y C (aerodinámico). Posteriormente se realizaron las simulaciones de los ciclos de conducción FTP75 y HWFET, en el dinamómetro de chasis y con la ayuda de un sistema de adquisición de datos, por medio de un interface OBDII, más una aplicación móvil, se obtuvieron los valores de consumo instantáneo de combustible, con una frecuencia de adquisición de 1Hz. Finalmente, mediante la sumatoria de los consumos instantáneos que se generaron, se obtuvieron valores referentes para cada vehículo, en cada ciclo.

**PALABRAS CLAVE:** Ciclos de conducción, Consumo de combustible, Dinamómetro de chasis, Coast-Down, Coeficiente, Rodadura, Resistencia, Aerodinámica.

## 1 INTRODUCCIÓN

El consumo de combustible es uno de los principales aspectos que se deben tener en cuenta al analizar la problemática de la contaminación ambiental a nivel global, considerando que el uso de vehículos motorizados privados pasó de 50 a 450 millones de unidades, en los últimos 50 años del siglo XX (Lizárraga, 2006), y que por cada 0,74 [kg] de gasolina se emiten 2,28 kg de CO<sub>2</sub> (Mosquera, Fernandez, & Mosquera, 2010), a diferencia de otras formas de contaminación vehicular, las emisiones de Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), no pueden ser reducidas por las tecnologías de control de la contaminación, sólo pueden reducirse quemando menos combustible o quemando combustible que contenga menos carbono (EPA, 2017b). Con esto es innegable la influencia del desarrollo automotriz en el impacto ambiental. El consumo no solo está en función de las características del motor de combustión interna de los vehículos, sino también en la forma de conducción del automóvil, por ejemplo Garcia y Villalba en el año 2016, realizaron un estudio tomando en cuenta que en un ciclo de conducción normal vs un ciclo de conducción eficiente, simulando una ruta con tráfico promedio, a 30 km/h, con una apertura de la mariposa no mayor al 29%, se optimiza el consumo de combustible en un 41.45% y consecuentemente se reduce la emisión de gases contaminantes de Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Hidrocarburos (HC) y Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>); en un 87,68%, 41,45%, 60,39% y 27,33% respectivamente (Garcia & Villalba, 2016). Por esta razón es muy importante conocer los consumos estimados de combustible, para los vehículos con mayor circulación en nuestro medio y aportar en la creación de una base de datos que contenga las mediciones de consumos estimados de combustible, para lo cual se escogieron veintinueve modelos representativos del parque automotriz ecuatoriano y se compararon estos datos con los

obtenidos en otros estudios realizados dentro y fuera del país. En este trabajo se realizó el estudio en dos vehículos: el Chevrolet Aveo Emotion 1.6, ya que este modelo es el segundo más vendido en la provincia del Azuay con 193 unidades, en el 2016 y el primer puesto en ventas a nivel nacional con 4.262 unidades, en el mismo año, según el anuario del 2016 publicado por la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2016), también se consideró el

Hyundai I10, ya que este modelo fue elegido como el vehículo con menor consumo de combustible en el país de México (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de Mexico (INECC), 2017).

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS.

Para realizar el estudio se siguió el proceso descrito por el diagrama de procesos 1.

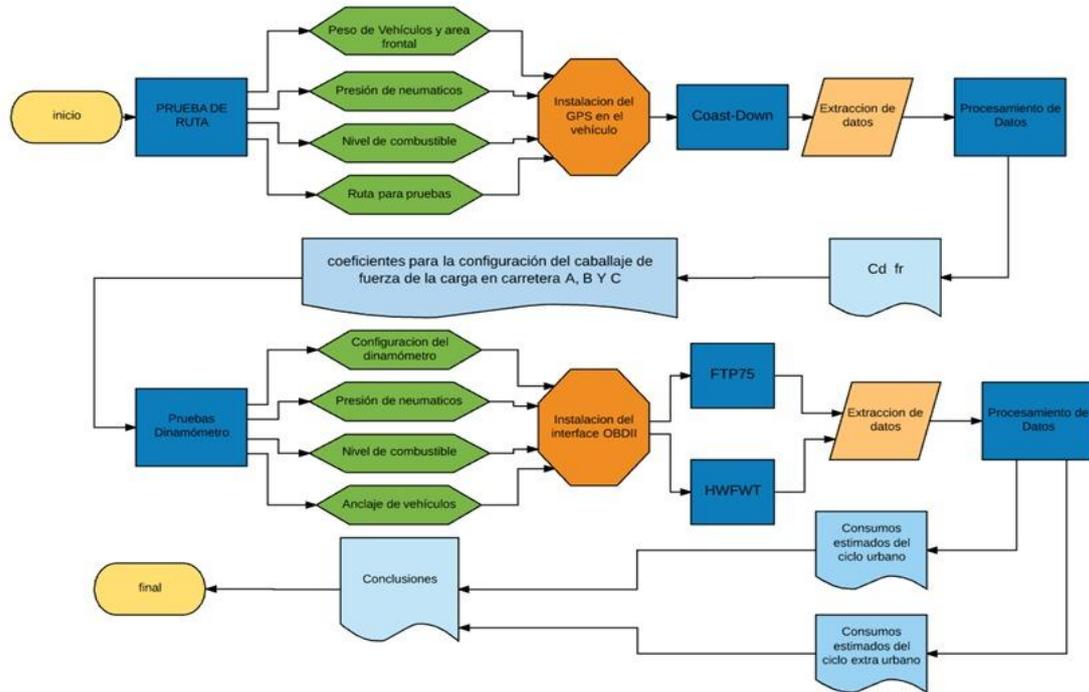


Diagrama de procesos 1.-para la estimación de consumo de combustible.

### 2.1 Prueba Coast-Down

El método utilizado para la realización de las pruebas Coast-Down, se fundamenta en la norma J1263(SAE INTERNATIONAL, 2010), la cual se inició con el pesaje de los vehículos, luego se calculó las áreas frontales ( $A_f$ ), para cada modelo de estudio, posteriormente se revisó que la presión de los neumáticos sea la recomendada por el fabricante y el nivel de combustible este al máximo. Además se seleccionó la ruta para realizar las pruebas, la cual debe tener una inclinación menor al 5%. Una vez finalizado todos los procesos de revisión anteriores se instalaron en los vehículos los equipos para el registro de datos, que utilizan el sistema de posicionamiento global, (GPS). Ya con todos los parámetros y una vez en el lugar de la ruta seleccionada como espacio de prueba, se procede a llevar al vehículo a la velocidad mayor a 100 km/h; y con el motor desacoplado, se procedió a registrar los datos correspondientes de la velocidad y la distancia recorrida durante el rodaje libre, con una frecuencia de 1 [Hz], hasta que el vehículo se detenga, según establece la

metodología de (Preda, Covaciu, & Ciolan, 2010). Estas pruebas de coast-down fueron realizados en Ecuador, en la provincia del Azuay en el sector de Cumbe con Latitud - 3,045234025, Longitud -79,04339429 y latitud - 3,056890353, longitud -79,03655825. En la figura 1 se indica la variación de la altitud en el trayecto utilizado para la prueba.



Fig.1. Grafico de la pendiente del trayecto

## 2.2 Obtención de coeficientes $C_d$ y $f_r$ .

Después de realizar 18 pruebas para cada vehículo, en el mismo sector, se procedió a analizar la ecuación del movimiento del vehículo según el principio de la conservación de la energía. Para calcular el gasto energético se debe encontrar las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo como se indica en la figura 2:

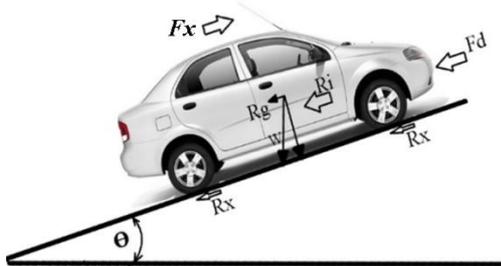


Fig.2. Fuerzas que se oponen al avance del vehículo

Donde:

Resistencia al arrastre,  $F_d$  [N]  
Resistencia a la rodadura,  $R_x$  [N]  
Resistencia a la pendiente,  $R_g$  [N]  
Resistencia por la inercia,  $R_i$  [N]

**2.3 Fuerza de tracción.**- “Es la fuerza necesaria para que el vehículo se mueva y es igual a la sumatoria de todas las resistencias” (Domínguez, E. J., & Ferrer, J. 2012) y puede ser calculada utilizando la ecuación 1:

$$F_x = F_d + R_x + R_g + R_i \quad (1)$$

**2.4 Resistencia al Arrastre.**- Es la fuerza que experimenta el vehículo por la acción del aire, tanto por la fricción (viscosidad) y por la existencia de zonas de diferente presión, se calcula con la ecuación 2:

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \cdot A \cdot \rho_a \cdot V^2 \quad (2)$$

Donde:

$\rho_a$  = Densidad [-]  
 $C_d$  = Coeficiente de resistencia al avance [-]  
 $A$  = Área del cuerpo [m]  
 $V$  = Velocidad [m/s]

**2.5 Resistencia a la pendiente.**- La fuerza que determina este valor está directamente relacionada con la masa de la unidad y la inclinación que tiene la calzada y está determinada por la ecuación 3.

$$R_g = m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (3)$$

Donde:

$M$  = masa [Kg]  
 $g$  = Gravedad [m/s<sup>2</sup>]  
 $\theta$  = Ángulo de la pendiente [O]

**2.6 Resistencia a la rodadura.**- Esta fuerza se presenta por la deformación que sufre el

neumático al rodar sobre una superficie y está determinado por la ecuación 4:

$$R_x = f_r \cdot N \quad (4)$$

Donde:

$R_x$  = Resistencia a la rodadura [N]  
 $f_r$  = Coeficiente de rodadura [-]  
 $N$  = Reacción normal entre la rueda y la calzada [N]

**2.7 Resistencia a la inercia.**- La inercia es la oposición que pone un cuerpo al cambio de velocidad; siendo determinado este valor por la ecuación 5:

$$R_i = m \cdot a \quad (5)$$

Donde:

$R_i$  = resistencia a la Inercia [N]  
 $m$  = masa [Kg]  
 $a$  = aceleración [m/s<sup>2</sup>]

Para la velocidad calculada en cada segundo de utiliza la siguiente ecuación.

$$V_{c_n} = v_{n-1} + (t_n - t_{n-1})(F_{d_n} + R_{x_n} + R_{g_n})/m \quad (6)$$

Para el cálculo de estos dos coeficientes se realizaron ajustes de curvas con el método de gradiente reducido general (Generalized Reduced Gradient, GRG), disminuyendo la incertidumbre entre la velocidad medida y la velocidad calculada, en función del coeficiente  $C_d$  en la ecuación 2, de la fuerza de tracción  $F_d$ , y del coeficiente  $f_r$ , en la ecuación 4 de la resistencia a la rodadura  $R_x$ , en el cálculo de los parámetros, para la configuración de potencia de la carga en carretera del dinamómetro, “A” (rodadura), “B” (fricción) y “C” (“drag”-aerodinámica), se utilizó la ecuación  $R^2$  [7], con la aceleración medida y la curva de la velocidad con la aceleración calculada, para finalmente obtener una línea de tendencia polinómica, que resulta en una ecuación cuadrática de donde extraemos los valores de A B y C.

$$y = A + Bv + Cv^2 \quad (7)$$

Luego se procesaron los datos considerando un intervalo de confianza del 95%, en la aplicación de la prueba estadística “*T de student*” (Montgomery, Runger, & Medal, 1996), asumiendo condiciones de normalidad (desviación del error típico).

Con esta información se configuró el dinamómetro de chasis, para simular el ciclo de conducción del Procedimiento de Prueba Federal de los Estados Unidos (The Federal Test Procedure, FTP) que está compuesto por el ciclo de conducción del dinamómetro urbano (Urban Dynamometer Driving Schedule UDDS) de 1369 segundos, seguido por los primeros 505 segundos del mismo UDDS, o también llamado FTP75 de 1874 segundos y una velocidad

máxima de 91.25 [km/h], se utilizó este ciclo para el análisis del consumo urbano. Para el ciclo en carretera se utilizó el programa de conducción de la economía de combustible en autopista (The Highway Fuel Economy Driving Schedule HWFET) de 765 segundos y una velocidad máxima de 77.73 [km/h], estos dos ciclos de conducción están publicados en la página web de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2017a), siendo los de mayor uso a nivel mundial, para realizar pruebas de consumo de combustible en vehículos. Además se instrumentaron los vehículos con un sistema de adquisición de datos, de la unidad de control electrónica del motor, a través del puerto de conexión OBDII, como se aprecia en la figura 3, para recopilar la información referente al consumo instantáneo de combustible, por vehículo para cada ciclo simulado, en el dinamómetro de chasis. Finalmente se realizó una sumatoria de estos valores de consumo instantáneo, para obtener el consumo total, que se obtuvieron para cada vehículo durante la simulación de los dos ciclos de conducción.



Fig.3. Proceso de recolección de datos del ciclo de los ciclos de conducción.

### 3 RESULTADOS.

El consumo estimado de combustible se lo determinó en función de los ciclos de conducción detallados anteriormente, para esto es necesario tener en consideración la información de los vehículos expresada en la tabla 1:

Tabla.1. Características de los vehículos del estudio.

Marca:	CHEVROLET	HYUNDAI
Modelo:	AVEO	I10
Año:	2017	2013
Cilindraje:	1600 [cc]	1100 [cc]
Masa. (M)	1116,5 [kg]	933 [kg]
Área frontal(A)	2,16 [m <sup>2</sup> ]	1,97[m <sup>2</sup> ]

Resultados de los cálculos realizados para el Chevrolet Aveo Emotion 1.6 y el Hyundai I 10 1,1 2013

Tabla.2. Coeficientes Chevrolet Aveo Emotion 1,6 2017

Coefficiente de resistencia al avance	Cd	0,348	±	19,90%
Coefficiente de resistencia a la rodadura	fr	0,012	±	15,87%
Ajuste de carretera rodadura	A	156,621	±	0,09%
Ajuste de fricción	B	0,0061	±	72,84%
Ajuste aerodinámico "drag"	C	0,026	±	0,10%

Tabla.3. Coeficientes Hyundai I10 1,1 20131

Coefficiente de resistencia al avance	Cd	0,332	±	9,27%
Coefficiente de resistencia a la rodadura	fr	0,012	±	11,48%
Ajuste de carretera rodadura	A	112,082	±	0,02%
Ajuste de fricción	B	0,0046	±	91,34%
Ajuste aerodinámico "drag"	C	0,031	±	60,37%

En lo que respecta al consumo estimado de combustible los resultados obtenidos se expresan en la tabla 4

Tabla.4. Consumo estimado de combustible.

Vehículo	I 10	AVEO EMOTION
Cilindraje	1.1	1.6
Consumo estimado Ciclo urbano	5,786 [l/100km]	6,229 [l/100km]
Consumo estimado Ciclo extra urbano	4,295 [l/100km]	4,329 [l/100km]
Diferencia entre ciclos	34,71%	43,89%

### 4 CONCLUSIONES

Luego de la revisión del estado del arte, referente a las investigaciones de consumo de combustibles de automóviles a nivel mundial, se pudo constatar que el proceso para la obtención de los coeficientes de Cd y  $f_r$  más utilizado, es mediante las pruebas de Coast-Down, que nos permitió obtener los valores para el Hyundai I10 de un Cd de  $0,332 \pm 9,27\%$  y un  $f_r$  de  $0,012 \pm 11,48\%$  y en el Chevrolet Aveo un Cd  $0,348 \pm 19,90\%$  y un  $F_r$   $0,012 \pm 15,87\%$ .

Aunque se obtuvieron los parámetros para la configuración de potencia de la carga en carretera del dinamómetro de chasis A (rodadura), B (fricción) y C (aerodinámico), para el Chevrolet Aveo y el Hyundai I10; estos no se pudieron aplicar durante las pruebas de los ciclos de conducción FTP75 y HWFET, en el dinamómetro de chasis, por cuanto al ingresarlos en la configuración del dinamómetro, el vehículo no podía vencer la resistencia del rodillo, en el caso del Hyundai I10 los coeficientes de Coast-

Down que se obtuvieron en la pruebas realizada en el dinamómetro, resultaron mayores a los coeficientes obtenidos en la misma prueba realizada en carretera. En el caso del Chevrolet Aveo los valores de las pruebas Coast-Down, la diferencia entre estos valores es mínima sin embargo al cargarlos en la configuración del dinamómetro la unidad no pudo ejecutar la prueba de los ciclos.

Los valores que se obtuvieron del consumo de combustible no se pudieron comparar con los valores de las marcas fabricantes ni con los valores expuestos en la página web de la EPA; por cuanto, no se usaron los valores de ajuste de carga en el dinamómetro de chasis, impidiendo realizar las comparaciones ya que las pruebas no son equivalentes.

## BIBLIOGRAFIA

- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. (2016). Anuario 2016. <https://doi.org/15103943>
- EPA. (2017a). Dynamometer Drive Schedules. <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>
- EPA. (2017b). FUEL ECONOMY GUIDE.
- García, N. (UIDE), & Villalba, J. (UIDE). (2016). *Estudio del efecto de la conducción eficiente sobre el consumo y las emisiones Artículo*.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México (INECC). (2017). Estudio de consumo de combustible. من في اسد ترجع. <http://www.elfinanciero.com.mx/pages/consumo-de-gasolina.html>
- Lizárraga, C. (2006). Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI. *Economía, Sociedad y Territorio*, VI, 1–35. <https://doi.org/10.22136/est002006260>
- Montgomery, D., Runger, G., & Medal, E. (1996). Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería, 1–5.
- Mosquera, J. D., Fernández, S., & Mosquera, J. C. (2010). Análisis De Emisiones De Co<sub>2</sub> Para Diferentes Combustibles En La. (45), 141–146.
- Preda, I., Covaciu, D., & Ciolan, G. (2010). Coast Down Test, Theoretical and Experimental Approach, (July), 155–161. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4048.5925>
- SAE INTERNATIONAL. (2010). J1263 Road Load Measurement and Dynamometer Simulation Using Coastdown Techniques. [http://standards.sae.org/j1263\\_201003/](http://standards.sae.org/j1263_201003/)