

# Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP 75 Y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis.

Casos de estudio: vehículos Kia Picanto Ion R 1.0L 2016 y Mazda 3 2.0L 2009

Luis Gutiérrez, Tito A. Valarezo

Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología,  
Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz,  
Av. 24 de mayo 7-77 y Hernán Malo, Cuenca, Ecuador  
luguti64@gmail.com, titoavalarezo@gmail.com

**Resumen**—El presente artículo propone aportar a la creación de una base de datos de consumo de combustible de los vehículos más vendidos en el Ecuador. En este trabajo se presenta el análisis del Kia Picanto Ion R 1.0 L modelo 2016 y del Mazda 3 2.0 L modelo 2009. La obtención del consumo de combustible se realizó a través de pruebas en el dinamómetro de chasis mediante la conducción de dos ciclos que fueron desarrollados por la *United States Environmental Protection Agency* (EPA) FTP75 Y HWFET. Se determinaron los coeficientes de arrastre (Cd) y de resistencia a la rodadura (fr), así como los factores de ajuste requeridos por el dinamómetro de chasis, rodadura (A), fricción (B) y aerodinámico (C) que permitieron simular las pruebas de campo en laboratorio. Para la determinación de los coeficientes mencionados, se utilizaron las pruebas descritas en las normas SAE J1263, SAE J2263 y SAE J2264, donde una de ellas es la prueba de desaceleración libre “Coast-down”, que permitió determinar la fuerza de carga en ruta en función de la velocidad. Para registrar la velocidad, temperatura ambiente, altitud, tiempo, consumo instantáneo de combustible y el consumo total en las pruebas en ruta y en el dinamómetro se utilizó un interfaz OBD-II enlazada a una aplicación con sistema operativo Android. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: EPA FTP75, Kia Picanto 1,42 Litros/ciclo que equivale a 47.51 km/gal. Mazda 3 1.48 Litros/ciclo, que equivalen a 45.44 km/gal. EPA HWFET, Kia Picanto 0.87 Litros/ciclo, que equivalen a 74.77 km/gal. Mazda 3, 0.93 Litros/ciclo, que equivalen a 68.54 km/gal.

**Palabras clave**— *Ciclos de conducción; consumo de combustible; dinamómetro de chasis.*

**Abstract**—This paper proposed to contribute to the creation of a fuel consumption database of the best-selling vehicles in Ecuador. The study presented the analysis of Kia Picanto Ion R 1.0 L 2016 model, and Mazda 3 2.0 L 2009 model. The fuel consumption was obtained through test on the chassis dynamometer by two driving cycles that were developed by the United States Environmental Protection Agency (EPA), and which allowed field tests simulation in a laboratory. The tests described in SAE J1263, SAE J2263, SAE J2264 standards, were used for the determination of the mentioned coefficients. One of them is the Coast-Down free speed. In order to register speed, ambient temperature, altitude, time, immediate fuel consumption, and total consumption in route tests and dynamometer, an OBD-II interface linked to an application with Android operating system was used. The results obtained were as follows: EPA FTP75: Kia Picanto 1.42 Liters/cycle which equals to 47.51 km/gal. Mazda 3 1.48 Liters/cycle, which equals to 45.44

km/gal. EPA HWFET: Kia picanto 0.87 Liters/cycle, which equals to 74.77 km/gal. Mazda 3, 0.93 Liters/cycle, which equals to 68.54 km/gal

**Keywords**— *driving cycles, fuel consumption, chassis dynamometer.*

## I. INTRODUCCIÓN

En Ecuador no existe una base de datos del consumo de combustible en vehículos; sin embargo, en otros países sí se cuenta con esta información. En el Reino Unido, existe la Agencia de Certificación Vehicular (VCA), la cual dispone de una base de datos sobre el consumo de combustible y emisiones de automóviles nuevos o usados[1]. De igual forma, en Estados Unidos (EEUU), la Agencia de Protección del Medioambiente (EPA) es la que desarrolla la base de datos[2], además existe una guía de economía de combustible que estima el consumo en cierta cantidad de kilómetros recorridos, esta herramienta permite al usuario tener conciencia de los costos en combustible respecto a cada vehículo[3]. Así mismo, en España, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) desarrolló esta base de datos [4][5],

Con respecto a la forma de medir consumo de combustible, el IDAE utiliza un dinamómetro de chasis, donde el conductor sigue rutas estándar, representadas por curvas de velocidad vs tiempo, conocidas como ciclos de conducción, mismas que representan patrones de manejo típicos de una región o ciudad. La VCA y el IDAE utilizan el NEDC (*New European Driving Cycle* -Nuevo Ciclo de Conducción Europeo-) fig. 1a, que consiste en 4 ciclos de manejo urbano ECE-15 y un ciclo extra urbano EUDC[6].

Mientras que, en EEUU, la EPA estima el consumo de combustible para su base de datos, utilizando igualmente un dinamómetro de chasis, pero en dos ciclos de conducción desarrollados dentro del mismo país, estos ciclos son: FTP75 representado en la fig. 1b, que es el procedimiento de prueba federal utilizado para medir el consumo dentro de la ciudad y

HWFET, que es el ciclo de conducción de economía en autopista representado en la fig. 1c[7]. En este trabajo se utilizaron el FTP75 y el HWFET.

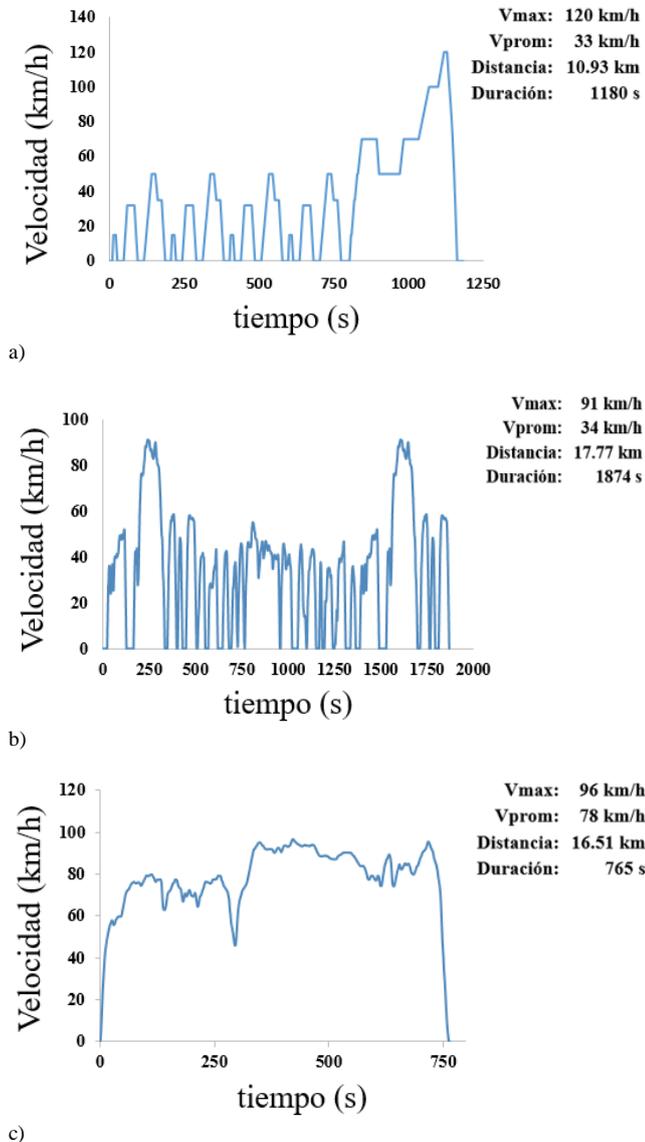


Fig. 1, Ciclos de conducción: a) Ciclo de conducción NEDC; b) Ciclo de conducción EPA FTP75; c) Ciclo de conducción EPA HWFET

En cuanto a la forma de medir el consumo de combustible existen algunos métodos, dos de ellos son: utilizando un flujómetro y mediante la lectura de los datos proporcionados por la ECU (Unidad de Control del Motor) por medio de un interfaz OBD-II fig. 4a, que se enlaza vía bluetooth con una aplicación Android fig. 4b y se registra los parámetros de funcionamiento del motor en tiempo real, uno de ellos el consumo instantáneo de combustible. En este estudio se utilizó la lectura y registro de datos proporcionados por la ECU.

Una vez determinados los ciclos de conducción y la forma de medir el consumo de combustible, se iniciaron las pruebas en laboratorio donde se utilizó un dinamómetro de chasis[8], previo hacer uso del mismo, se necesitó calcular los coeficientes de ajuste de rodadura (A), fricción (B) y aerodinámico (C), que al introducirlos en el dinamómetro simulan una prueba de ruta[9]. La forma de obtener estos coeficientes es mediante el cálculo de la fuerza que el vehículo necesita vencer para desplazarse[10], de la siguiente manera:

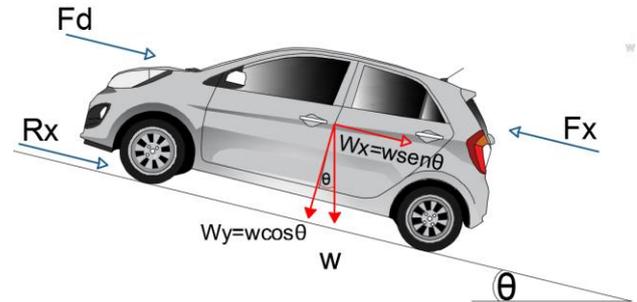


Fig. 2 Fuerzas externas que intervienen en el desplazamiento del vehículo [10].

- Rx: fuerza resistente a la rodadura referente al pavimento.

$$R_x = f_r \cdot M \cdot g \cdot \cos\theta \quad (1)$$

Donde:

$f_r$ , es el coeficiente de resistencia a la rodadura [-];

$M$ , es la masa del vehículo [kg];

$g$ , la gravedad [ $m/s^2$ ]

$\theta$ , ángulo de la pendiente. [°]

- Rg: fuerza resistente debida a la variación de la pendiente.

$$R_g = M \cdot g \cdot \sen\theta \quad (2)$$

Donde:

Rg es la componente longitudinal de la masa del vehículo [kg], en función de la gravedad [ $m/s^2$ ] y el seno del ángulo  $\theta$  de la pendiente.

- Ri: Es la fuerza resistente a la inercia que tiene un cuerpo al cambio de velocidad

$$R_i = M \cdot a \quad (3)$$

Donde:

Ri está dada en función de la masa [kg] y por la aceleración [ $m/s^2$ ].

- Fd: fuerza de arrastre.

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot A \cdot V^2 \quad (4)$$

Donde:

$\rho$ , es la densidad del aire [ $kg/m^3$ ]

$A$ , es el área frontal del vehículo [ $m^2$ ]

$V$ , velocidad del automóvil [ $m/s^2$ ]

$C_d$ , es el coeficiente de arrastre [-].

- $F_x$ , finalmente es la fuerza resultante que el vehículo debe vencer para poder desplazarse y se calcula mediante la sumatoria de fuerzas de las ecuaciones (1), (2), (3) y (4):

$$F_x = R_x + R_g + R_i + F_d \quad (5)$$

La metodología se explica en la II sección, a continuación.

## II. TRABAJO EXPERIMENTAL

### A. Materiales y métodos

#### 1) Equipos



Fig. 3 Dinamómetro de chasis utilizado en las pruebas de medición de consumo de combustible



a)



b)

Fig. 4 a) Interfaz OBD-II; b) Aplicación Android, utilizados para lectura y registro en tiempo real, de los parámetros proporcionados por la ECU; velocidad, altitud, tiempo, consumo instantáneo de combustible.

### 2) Método

Para calcular la fuerza que el vehículo necesita para desplazarse, es necesario obtener los coeficientes de resistencia al arrastre ( $C_d$ ) y rodadura ( $f_r$ ). Para la obtención de estos coeficientes se utilizó la metodología de la Asociación de Ingenieros Automotrices (SAE), descrita en las normas SAE J1263 y SAE J2263, que mediante la técnica de desaceleración libre, se determina la fuerza de carga en carretera a velocidades entre 115 km/h y 15km/h, en función de la velocidad[11]. En este trabajo se realizó la prueba en ruta alternando la dirección de cada prueba y desplazando los vehículos desde los 100km/h en marcha neutral, hasta los 20km/h, registrando en tiempo real por medio de la interfaz OBD-II fig. 4a y la aplicación Android fig. 4b, los datos de temperatura ambiente, altitud, tiempo, velocidad y distancia recorrida. Por las condiciones geográficas y logísticas las pruebas de ruta se realizaron en la ciudad de Cuenca, en la carretera panamericana sur E35 en el tramo Tarqui - Cumbe, con una altura de 2633msnm, y cumple con las condiciones de la norma SAE J1263, que recomienda una carretera de hormigón o asfalto, en buen estado, seca, lisa y no debe exceder de 0.5% de pendiente.[12]

Previo a desarrollar las pruebas de campo y dinamómetro, se calcularon los datos de los vehículos de la siguiente manera: para calcular el área se tomó una fotografía a los vehículos con vista frontal fig. 5, se tomó el contorno de cada vehículo y se calculó el área de las figuras, los resultados se expresan en la tabla 1.

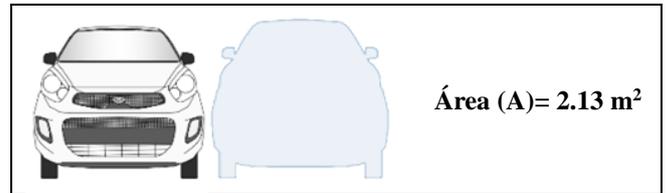


Fig. 5 Cálculo del área frontal

TABLA 1. Datos de los vehículos

	Unidad	Kia Picanto 2016 1.01	Mazda 3 2009 2.01
Masa <sup>1</sup> [m]	[kg]	1010	1320
Temp ambiente	[°C]	15	15
Área frontal <sup>3</sup>	[m <sup>2</sup> ]	2,13	2.22
Densidad aire	[kg/m <sup>3</sup> ]	0.91	0.91

1. Peso del vehículo en báscula
2. Dato del OBD-II del vehículo
3. Obtenida mediante metodología descrita
4. Promedio de la densidad del aire en Cuenca

Una vez obtenidos los datos de la prueba en ruta, en una hoja de cálculo se compararon las gráficas obtenidas en el plano tiempo-velocidad OBD-II y la gráfica tiempo- $V_i$  (velocidad calculada) determinada de la siguiente forma:

$$F_x = 0 \quad (7)$$

$$F_x = R_i + F_d + R_x + R_g \quad (8)$$

Se igualaron las ecuaciones (7) y (8), quedando en función de  $R_i$ , luego se reemplazó por la ecuación (3) y se despejó la aceleración  $[m/s^2]$

$$R_i = -(Fd + Rx + Rg) \quad (9)$$

$$M \cdot a = -(Fd + Rx + Rg) \quad (10)$$

$$a = \frac{-(Fd+Rx+Rg)}{M} \quad (11)$$

Se multiplicó la aceleración(a) por la variación del tiempo(t), obteniendo como resultado la Velocidad ( $V_i$ ).

$$V_i = \left\{ \left[ \frac{-(Fd+Rx+Rg)}{M} \right] * [t_1 - (t_1 - 1)] \right\} + (V_{i-1}) \quad (12)$$

Obtenidas las gráficas fig. 6, mediante un ajuste de curvas, se minimizó la diferencia entre ambas gráficas variando los datos impuestos en el coeficiente de arrastre ( $C_d$ ) y el coeficiente de resistencia a la rodadura ( $f_r$ ). Con los valores obtenidos en las 11 pruebas de ruta por vehículo, se realizó un análisis estadístico, con un intervalo de confianza del 95%, cuyos resultados se presentan más adelante en este trabajo.

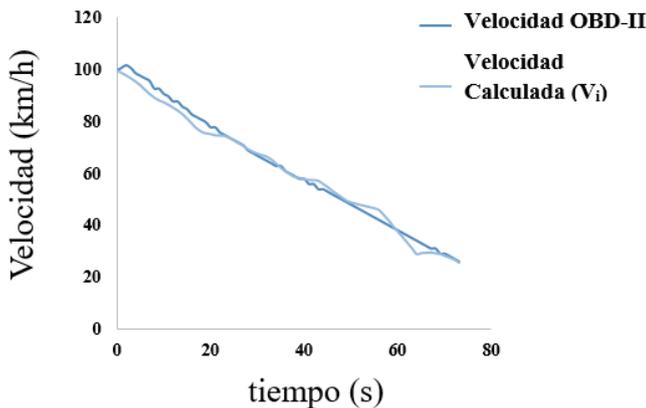


Fig. 6 Prueba de desaceleración libre, comparación velocidades medidas por el interfaz OBD-II y Velocidad calculada.

A continuación, se procedió a estimar el consumo de combustible en el dinamómetro de chasis, de acuerdo a los ciclos de conducción EPA FTP75 Y EPA HWFET. Previo a este paso, se calcularon los coeficientes de ajuste del dinamómetro de chasis que son: rodadura (A), fricción (B) y aerodinámico (C), que permitieron que la prueba de laboratorio simule una prueba de ruta, por consiguiente, en un plano x-y se graficó la curva donde el eje de las abscisas es la velocidad obtenida mediante los equipos de la fig. 4 y las coordenadas es la Fuerza resultante( $F_x$ ), teniendo como resultado una curva polinómica grado II, donde cada coeficiente de la ecuación representó estos valores.

$$y = Cx^2 + Bx + A \quad (6)$$

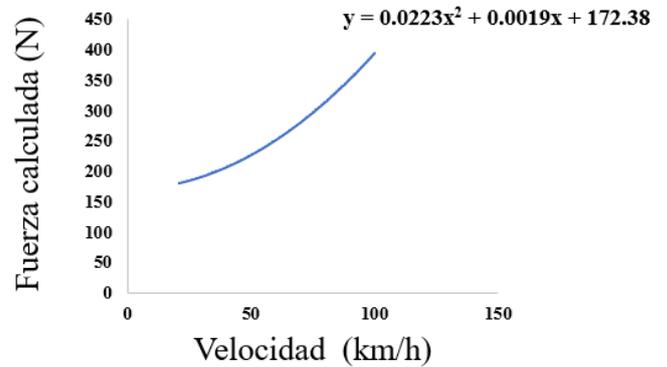


fig. 7 gráfica velocidad- fuerza calculada.

Para la obtención del consumo instantáneo de combustible en el dinamómetro de chasis se utilizaron los equipos de la fig. 4. El consumo total se obtuvo al conducir los ciclos de conducción EPA citados. Se hicieron un total de 3 pruebas FTP75 Y 3 pruebas HWFET por cada vehículo fig. 8 y fig. 9. Con los valores obtenidos, se realizó un análisis estadístico, con un nivel de confianza del 95%, cuyos resultados se presentan más adelante en este trabajo.



Fig. 8 Medición del consumo de combustible en el dinamómetro de chasis Kia Picanto.



Fig. 9 Medición del consumo de combustible en el dinamómetro de chasis Mazda 3.

### III RESULTADOS

TABLA 3. Resultados coeficientes de resistencia al arrastre, rodadura y factores de ajuste del dinamómetro de chasis.

VEHICULO	COEFICIENTES DE RESISTENCIA		
	ARRASTRE (Cd)	RODADURA (fr)	
KIA PICANTO ION R 1.0L 2016	0.56 ± 0.07	0.0077 ± 0.0033	
MAZDA 3 2.0L 2009	0.52 ± 0.21	0.011 ± 0.004	
VEHICULO	FACTORES DE AJUSTE		
	A	B	C
	KIA PICANTO ION R 1.0L 2016	1.92	-1.4317
MAZDA 3 2.0L 2009	9.74	-1.8545	0.047

TABLA 4. Resultados consumo de combustible ciclo de conducción FTP75

CONSUMO DE COMBUSTIBLE					
VEHÍCULO	CICLO FTP75				
	L/ciclo	Gal/ciclo	MPG	L/100km	km/Gal
KIA PICANTO ION R 1.0L	1.42±0.02	0.37±0.004	29.52	7.97	47.51
MAZDA 3 2009 2.0L	1.48±0.06	0.39 ±0.04	28.24	8.33	45.44

TABLA 5. Resultados consumo de combustible ciclo de conducción HWFET

CONSUMO DE COMBUSTIBLE					
VEHÍCULO	CICLO HWFET				
	L/ciclo	Gal/ciclo	MPG	L/100km	km/Gal
KIA PICANTO ION R 1.0L	0.87±0.04	0.22±0.011	46.64	5.29	74.77
MAZDA 3 2009 2.0L	0.93±0.19	0.24±0.05	42.75	5.63	68.54

### IV CONCLUSIONES

Al finalizar el presente trabajo se pudo concluir que, en Ecuador no se cuenta con una base de datos del consumo de combustible de vehículos sin embargo este documento aportará para la creación de la misma.

Este documento fue desarrollado en la unidad de titulación de la Universidad del Azuay, y es parte de un estudio global en cuanto al consumo de combustible de vehículos en nuestro país.

Dentro de este trabajo se destacó la forma de cómo se mide el consumo de combustible en EEUU, Reino Unido y España, con base en esta información se optó por estimar el consumo

de combustible en base a los ciclos desarrollados en EEUU por la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA).

Se estimó que el coeficiente de resistencia al arrastre (Cd) para el Kia Picanto ion fue de  $0.56 \pm 0.07$  y resistencia a la rodadura de  $0.0077 \pm 0.0033$ . mientras que para el Mazda 3 el coeficiente de resistencia al arrastre fue de  $0.52 \pm 0.21$  y resistencia a la rodadura de  $0.011 \pm 0.004$ .

Con respecto al consumo de combustible en el ciclo urbano para el Kia Picanto ion fue un 47% mayor al dato en la ficha técnica del fabricante y en el ciclo extraurbano un 31%. Sin embargo, no se especifica en que ciclo de conducción fue obtenido este valor por el fabricante.

En la base de datos de la EPA no consta el consumo de los 2 vehículos objetos de estudio, sin embargo, para el Mazda 3 se tomó los datos del modelo sedan, obteniendo que para el ciclo urbano el consumo fue un 15% mayor y en autopista 25%.

### REFERENCIAS

- [1] V. C. Agency, "Car fuel consumption and CO2 tools," 2017. [Online]. Available: <http://carfueldata.direct.gov.uk/>. [Accessed: 07-Aug-2017].
- [2] "Economía de combustible," 2017. [Online]. Available: <https://www.fueleconomy.gov/>. [Accessed: 10-Aug-2017].
- [3] US EPA, "FUEL ECONOMY GUIDE," 2017.
- [4] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, "Guía de Vehículos Turismo de venta en España, con indicación de consumos y emisiones de CO2," MADRID, 2017.
- [5] IDAE, "Base de datos consumo de carburante y emisiones CO2," 2017. [Online]. Available: <http://coches.idae.es/portal/basedatos/marcamodelo.aspx>. [Accessed: 10-Aug-2017].
- [6] V. V. C. A. Offices *et al.*, "The fuel consumption testing scheme," 2016. [Online]. Available: <http://www.dft.gov.uk/vca/fcb/the-fuel-consumption-testing-scheme.asp>. [Accessed: 10-Aug-2017].
- [7] EPA, "Dynamometer Drive Schedules," 2017.
- [8] G. O. Performance, "AutoDyn 30," no. 66 cm, 2006.
- [9] SAE INTERNATIONAL, *SAE J2264, Chassis Dynamometer Simulation of Road Load Using Coastdown Techniques*. USA, 2014, p. 22.
- [10] T. D. Gillespie, "Fundamentals of Vehicle Dynamics," *Analysis*, vol. 400. p. 519, 1992.
- [11] SAE INTERNATIONAL, *J2263: Road Load Measurement Using Onboard Anemometry and Coastdown Techniques - SAE International*. USA, 2008.
- [12] SAE INTERNATIONAL, *SAE J1263 Road load measurement and Dynamometer simulation using coastdown techniques*. USA, 2009, p. 39.

