

## 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 Hyundai Santa Fe 2.7L V6, 2009 y Chery QAC 1.0L, 2017

### Determination of vehicle fuel consumption based on EPA FTP75 and EPA HWFET conduction cycles in chassis dynamometer. Case studies: Hyundai Santa Fe 2.7L V6, 2009 and Chery QAC 1.0L, 2017 vehicles

Paul Tapia<sup>a</sup>, Vinicio Tigre<sup>b</sup>, Francisco Torres<sup>c</sup>.

<sup>a,b,c</sup> Ergon, Facultad de Ciencia y Tecnología /Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad del Azuay.  
**Correspondencia Autores:** paul24\_89@hotmail.com, tigrevinicio@hotmail.com, [ftorres@uazuay.edu.ec](mailto:ftorres@uazuay.edu.ec)

**Recibido:** octubre 2017, **Publicado:** diciembre 2017

**Resumen**— El artículo propone generar una base de datos de consumo de combustible de vehículos de mayor circulación en el Ecuador, como son Hyundai Santa Fe, 2.7L V6, y Chery QAC, 1.0L, realizando un análisis del consumo de combustible a través de pruebas en el dinamómetro de chasis, analizando estado del arte referente a los métodos de estimación de combustible de vehículos y determinación de los coeficientes de arrastre y rodadura, así como los valores de coeficientes de ajuste de carga A, B, y C y aplicar en los ciclos de conducción FTP75 y HWFET. Para la determinación de los coeficientes, se utilizó las pruebas SAE J1263, y la adquisición de datos OBD II del vehículo, obteniendo valores de consumo de combustible para el ciclo urbano de 8.77 [L/100km] y 5.34 [L/100km] en el ciclo de carretera para el vehículo Hyundai Santa Fe y 5.69 [L/100km] y 3.44 [L/100km] para el vehículo Chery QAC respectivamente.

**Palabras Claves**— Ciclos de conducción, Coast down, Consumo energético, Coeficientes de arrastre, Coeficientes rodadura.

**Abstract**— The article aimed at generating a fuel consumption database of vehicles of greater circulation in Ecuador, such as Hyundai Santa Fe, 2.7L V6, and Chery QAC, 1.0L. An analysis of fuel consumption was performed through tests in the chassis dynamometer, analyzing the state of the art of vehicles fuel estimation methods, and determining drag and rolling coefficients, as well as the values of A, B and C load adjustment coefficients, and the application in the FTP75 and HWFET driving cycles. For the determination of the coefficients, SAE J1263 tests and vehicle OBD II data acquisition were used; obtaining 8.77 [L/100km] fuel consumption values for the urban cycle, and 5.34 [L/100km] in the road cycle for the Hyundai Santa Fe vehicle, and 5.69 [L/100km] and 3.44 [L/100km] for the Chery QAC vehicle respectively.

**Keywords**— driving cycles, coast down, energy consumption, drag coefficients, rolling coefficients.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ponen en práctica iniciativas y estrategias para controlar y reducir el consumo de combustible y las emisiones contaminantes en el sector del transporte, ya que muchos de los vehículos que circulan en las ciudades del mundo utilizan energía no renovable proveniente del petróleo (Alarcón, 2009). Desde la perspectiva ambiental y como consecuencia de

los requerimientos de reducción de emisiones contaminantes que estipula el protocolo de Kioto; las autoridades de algunos países, disponen de estrategias para aminorar el consumo de combustible y el impacto ambiental, en pos de la utilización de energía renovable, la cual busca la reducción de consumo de combustibles fósiles, forzando a la industria automovilística a producir vehículos más eficientes y reduciendo el uso de combustibles.

En el Ecuador, el 42% de la demanda energética es consumida por el sector del transporte, siendo los combustibles más consumidos: el diésel en un 45% y gasolina en un 41% (Balance Energético Nacional, 2015). Por otro lado, en el inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca del año 2014, se indica que se consume aproximadamente 52'871.619 galones de gasolina y 36'769.707 galones de diésel, debido a la existencia de un parque automotor que asciende a 147.484 vehículos correspondiendo el 89.2% a los vehículos a gasolina y el 10.8% a los vehículos diésel. Del total del parque automotor en Cuenca 131.488 representan vehículos a gasolina, de los cuales el 67.3% corresponde a automóviles, 20.3% a camionetas y furgonetas, 7.9% a motocicletas, 3.7% a taxis, 0.9% a pesados (buses, camiones, volquetas y tanqueros) y 0.7% a vehículos híbridos.

Considerando el parque automotor de Cuenca, se ve la necesidad de estimar el consumo de combustible de los vehículos, mediante pruebas en un dinamómetro de chasis utilizando ciclos de conducción, para poder establecer una diferencia o similitud del consumo obtenido con respecto de los valores que presenta el fabricante y de esta manera poder crear una base de datos como lo hace la EPA, la cual ha creado un sistema de etiquetado de ahorro de combustible que se exhibe en las ventanas de los vehículos nuevos desde los años 1970 con el objetivo de informar a los consumidores sobre la eficiencia del combustible del vehículo. Además, consta con una página web ([www.fueleconomy.gov](http://www.fueleconomy.gov)) en la cual se puede hallar el consumo de combustible de vehículos.

El consumo se determinó mediante pruebas con ciclos de conducción bajo condiciones controladas en el laboratorio, realizadas sobre un dinamómetro de chasis

que simula el ambiente de conducción en ciudad (FTP75) y en carretera (HWFET).

Para determinar el consumo de combustible de los vehículos la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), ha elaborado manuales de prácticas recomendadas como: la SAE J1321 que describe un procedimiento de prueba de consumo de combustible, la SAE J1263 que determina la medición de carga y simulación de dinamómetros mediante técnicas de *coast down* y la SAE J2264 que trata la simulación del dinamómetro del chasis y la carga de la carretera usando técnicas de *coast down*.

Actualmente se realizan estudios para determinar el consumo de combustible desde el punto de vista energético, de los cuales se han obtenido resultados favorables, tal es el caso del estudio realizado por Marchese, Golato, en el año 2011, quienes estimaron el consumo de combustible de automóviles y camiones en diferentes condiciones de carga, considerando la influencia de la rodadura y la aerodinámica de los mismos. En el caso del automóvil con motor más eficiente y con mejor aerodinámica, disminuye el consumo de combustible entre un 27 y 38%, mientras que para el camión se obtuvo una reducción del 20%.

Al realizar un ciclo de conducción en un banco de pruebas los niveles de consumo de combustible y la cantidad de gases de escape no pueden superar los máximos permitidos por las normas establecidas en cada país. El problema viene a continuación cuando el vehículo que ha pasado la prueba y ha sido homologado por cumplir los límites establecidos, se dispone a circular por una vía real. Lo que ocurre es que los valores de consumo de combustible no corresponden con los recogidos en los ciclos de homologación, sino que son mayores, esto se debe a que las condiciones típicas en una conducción real distan mucho de las representadas en los ciclos de ensayos (Villava, Urroz, 2016).

Tomando en cuenta este análisis, Villava. E y Urroz. J, realizaron un estudio para comparar el consumo de combustible de un vehículo, mediante el ciclo de conducción europeo (NEDC) y en condiciones de conducción real. Obteniendo como resultados una variación de consumo de combustible, por lo que optaron en construir un ciclo de conducción que se asemeje al ciclo europeo (NEDC) utilizando trayectos de los recorridos reales, sin embargo, la diferencia es considerable ya que el ciclo NEDC, genera un consumo de combustible de 5,0 [L/100km], mientras que con el ciclo construido se obtiene un valor de 10,45 [L/100km] que representa el doble.

El objeto de estudio es determinar el consumo estimado de combustible de los vehículos Hyundai Santa Fe y Chery QAC; dichos valores alimentarán una base de datos de los vehículos más representativos que circulan en la ciudad de Cuenca. Además de validar el método de obtención de los coeficientes aerodinámico (Cd), coeficiente de rodadura (fr) y los coeficientes de ajuste de carga para el dinamómetro de chasis, los cuales son: rodadura (A), fricción (B) y aerodinámico (C).

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Materiales

Los vehículos que se utilizan en el estudio son: Hyundai Santa Fe 2.7 V6, 2009 y Chery QAC 1.0, 2017 los cuales presentan las siguientes características.

Una vez determinado los vehículos es necesario contar con un equipo que permita determinar los parámetros necesario para obtener los coeficientes aerodinámico (Cd) y de rodadura (fr), los coeficientes de ajuste de carga y el consumo de combustible de los vehículos, para lo cual se utiliza un dispositivo de adquisición de datos que tiene una frecuencia de 10 Hz, con una conexión directa al OBD II y mediante un programa de interfaz con el celular se puede registrar los datos para luego ser exportados a hojas de cálculo para su análisis.

La estimación del consumo de combustible de los vehículos se realiza mediante ciclos de conducción determinados por la EPA tales como el FTP75 para un recorrido en ciudad con una duración de 1874 segundos en un recorrido total de 11.04 millas (17.77 km) y el ciclo HWFET para un recorrido en autopista con una duración de 765 segundos en un recorrido total de 10.26 millas (16.45 km).

Los ciclos de conducción y los coeficientes de ajuste de carga se ingresan a un programa de simulación del dinamómetro de chasis, para la estimación de consumo de combustible. Las especificaciones técnicas del dinamómetro son una potencia máxima de 1200 hp, velocidad máxima de 362 km/h y una carga máxima de 3629 kg. Finalmente, mediante los datos adquiridos con el dispositivo se cuantificará el consumo estimado de combustible en cada ciclo para cada vehículo.

### B. Métodos

El análisis se llevó a cabo en la provincia del Azuay, en la ciudad de Cuenca, en la parroquia Cumbe en la carretera panamericana 35. Se considera esta localidad para realizar las pruebas por que la pendiente no supera el 5%.

La energía que demanda el vehículo para desplazarse de un lugar a otro se cuantifica en función de las fuerzas que se oponen a su desplazamiento; el análisis de la dinámica longitudinal entre las fuerzas que soporta el vehículo da lugar al concepto de fuerza de tracción (Fx). (Figura 1).

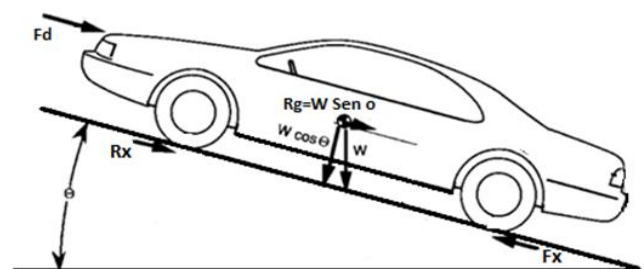


Fig. 1. Dinámica del vehículo. Fuente: Fundamentals of Vehicle Dynamics

**Fuerza de tracción (Fx).** Es la fuerza propulsora del vehículo. Para que exista movimiento debe ser superior a la suma de las fuerzas resistivas, por ello se puede cuantificar con la expresión:

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

F<sub>d</sub>: Fuerza de resistencia aerodinámica. [N]  
R<sub>g</sub>: Fuerza de resistencia por la pendiente. [N]  
R<sub>x</sub>: Fuerza de resistencia a la rodadura. [N]  
R<sub>i</sub>: Fuerza de resistencia por la inercia. [N]

**Fuerza de resistencia aerodinámica (F<sub>d</sub>).** La resistencia aerodinámica es la que crea el aire al oponerse a que el vehículo pase a través de él. Los factores que afectan en un vehículo son: el tamaño y la forma del vehículo, el área frontal del vehículo, la velocidad del viento, la densidad del aire y su dirección.

$$F_d = \frac{1}{2} * C_d * A * \delta_{aire} * V^2 \quad [N] \quad (2)$$

C<sub>d</sub>: Coeficiente aerodinámico [-]  
A: Área frontal del vehículo [m<sup>2</sup>]  
δ<sub>aire</sub>: Densidad del aire [Kg/m<sup>3</sup>]  
V: Velocidad del vehículo [m/s]

**Fuerza de resistencia a la rodadura (R<sub>x</sub>).** Esta fuerza de resistencia se asocia a la interacción entre las ruedas y la calzada, del tipo, perfil y presión de inflado de los neumáticos; su magnitud depende de la masa del vehículo, del coeficiente de rodadura, la gravedad y el ángulo de inclinación de la calzada.

$$R_x = f_r * M * g * \cos \theta \quad [N] \quad (3)$$

f<sub>r</sub>: Coeficiente de rodadura [-]  
M: Masa del vehículo [Kg]  
g: Gravedad [m/s<sup>2</sup>]  
θ: Pendiente [grados]

**Fuerza de resistencia a la pendiente (R<sub>g</sub>).** La resistencia de una pendiente depende del perfil de la calzada y de la masa del vehículo. Cuando el vehículo se encuentra en un plano inclinado, una parte del peso gravita en contra del sentido de la marcha, originando una resistencia debida a la pendiente que se opone a la fuerza de propulsión o tracción, cuando el vehículo desciende por una pendiente, en cambio, esta fuerza favorece el desplazamiento del vehículo y se considera con signo negativo en la ecuación (1).

$$R_g = M * g * \sin \theta \quad [N] \quad (4)$$

**Fuerza de resistencia por inercia (R<sub>i</sub>).** Si se quiere cambiar la velocidad de un vehículo se debe vencer una fuerza que se opone a este cambio, esta fuerza se denomina fuerza de inercia y depende de la masa del vehículo.

$$R_i = M * a \quad [N] \quad (5)$$

a: Aceleración del vehículo [m/s<sup>2</sup>]

En un vehículo el coeficiente aerodinámico, el área frontal, la densidad del aire y la masa son factores que influyen en el aumento o disminución de la fuerza de resistencia, lo que genera mayor o menor consumo de combustible, por lo que es necesario determinar estos valores en los vehículos de análisis. El área frontal se determina mediante programas CAD al dibujar el perfil del vehículo como se muestra en la figura 2, mientras que el peso se considera de la ficha técnica del fabricante incluyendo el peso del conductor para las pruebas de desaceleración.

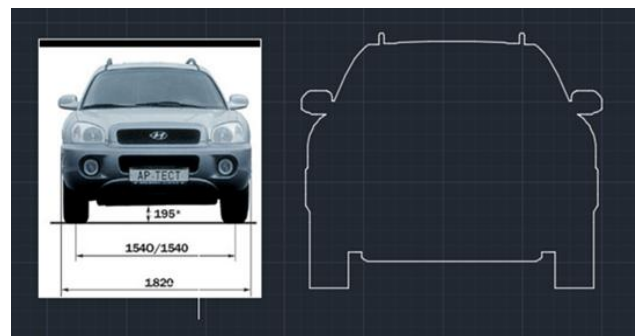


Fig. 2. Cálculo del área frontal mediante un programa CAD

La metodología utilizada para determinar los coeficientes aerodinámicos (c<sub>d</sub>), de rodadura (f<sub>r</sub>) y los coeficientes de ajuste de carga para el dinamómetro de chasis, se realizaron mediante pruebas de desaceleración libre en carretera *coast down*, tomando como referencia la práctica recomendada SAE J1263. Para la obtención de los datos como velocidad, tiempo, latitud, longitud y altitud, se utiliza un dispositivo de adquisición de datos, que además permite determinar el consumo estimado de combustible. Una vez obtenidos los valores, se realiza un análisis mediante tablas de cálculos para determinar los coeficientes.

Los coeficientes aerodinámicos y de rodadura, son necesario para poder determinar los coeficientes de ajuste de carga para el dinamómetro de chasis, los cuales se obtienen mediante pruebas *coast down* y realizando la misma prueba en el dinamómetro de chasis. Dichos valores obtenidos de las pruebas serán determinados por la línea de tendencia de la curva velocidad-fuerza calculada.

Finalmente, el consumo de combustible de los vehículos se determina tomando como referencia la práctica recomendada SAE J1321, en un dinamómetro de chasis, utilizando los dos ciclos de conducción antes mencionados. El procedimiento para la estimación del consumo de combustibles es seguir las trayectorias de los ciclos de conducción que se cargan en el dinamómetro, considerando las condiciones de la localidad. El objetivo del proceso es obtener el consumo mediante el dispositivo de adquisición de datos durante los ciclos de conducción, para el valor real de consumo de combustible es necesario igualar las gráficas de los ciclos de conducción que se obtienen con el dispositivo y con el dinamómetro,

mediante la gráfica real de los ciclos como se muestra en la figura 3

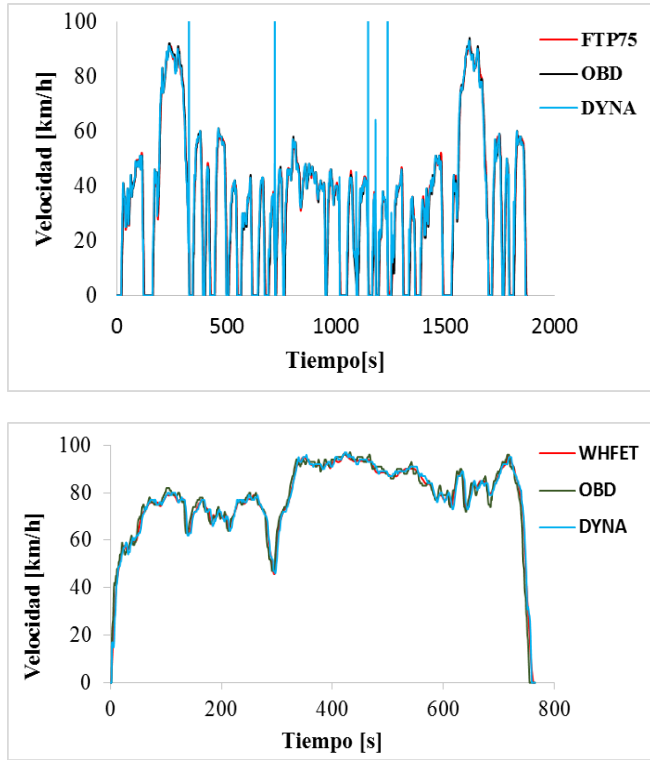


Fig. 3. Ciclo de conducción FTP75 y HWFET

TABLA I.  
Parámetros de los vehículos

	Hyundai Santa Fe		Chery QAC	
Masa (M)	1830	[kg]	1050	[kg]
Área frontal (A)	2.63	[m <sup>2</sup> ]	2.03	[m <sup>2</sup> ]
Radio dinámico de la rueda (Rd)	73.73	[cm]	57.76	[cm]
Coefficiente aerodinámico (Cd)	0.38	[-]	0.32	[-]
Coefficiente de rodadura (fr)	0.014	[-]	0.014	[-]
Consumo de combustible urbano	13.8	[L/100Km]	7.63	[L/100Km]
Consumo de combustible extraurbano	8.4	[L/100Km]	4.69	[L/100Km]
Densidad del aire (paire)	0.91	[kg/m <sup>3</sup> ]	0.91	[kg/m <sup>3</sup> ]
Gravedad (g)	9.81	[m/s <sup>2</sup> ]	9.81	[m/s <sup>2</sup> ]

### III. RESULTADOS

#### A. Coeficiente aerodinámico (Cd) y coeficiente de rodadura (fr).

Los coeficientes se determinan de acuerdo a la metodología antes descrita, instrumentando los vehículos de prueba con los dispositivos de adquisición de datos, los mismos que permiten obtener valores de tiempo, velocidad, altitud, latitud y longitud. Estos valores se utilizan para calcular la distancia, pendiente, aceleración y velocidad calculada, los cuales permiten determinar el error que existe entre la velocidad y aceleración medida con respecto a los valores calculados.

Las ecuaciones que se utilizan para determinar los valores antes mencionados son:

Distancia recorrida:

$$x = V * (t_i - t_{i-1}) \quad [m] \quad (6)$$

V: Velocidad [m/s]

t<sub>i</sub>: Tiempo final [s]

t<sub>i-1</sub>: Tiempo inicial [s]

Pendiente:

$$\theta = \text{Sen}^{-1} \left( \frac{Alt_i - Alt_{i-1}}{x_i} \right) \quad [m] \quad (7)$$

Alt<sub>i</sub>: Altitud final [m]

Alt<sub>i-1</sub>: Altitud inicial [m]

x<sub>i</sub>: Distancia final [m]

Aceleración calculada:

$$a_{cal} = \left( \frac{Fd + Rx + Rg}{M} \right) \quad [m/s^2] \quad (8)$$

Velocidad calculada:

$$V = (V_{i-1} - (t_i - t_{i-1})) * \left( \frac{Fd + Rx + Rg}{M} \right) \quad [m/s] \quad (9)$$

V<sub>i-1</sub>: Velocidad inicial [m/s]

Para obtener los coeficientes de los vehículos se debe ocupar valores de referencia de Cd y fr que se indican en la tabla 1, estos valores permiten obtener la similitud de las curvas de velocidades como se muestra en la figura 4. Considerando la diferencia de las curvas se puede determinar el error entre la velocidad medida por el dispositivo de adquisición de datos y la velocidad calculada con los parámetros del vehículo.

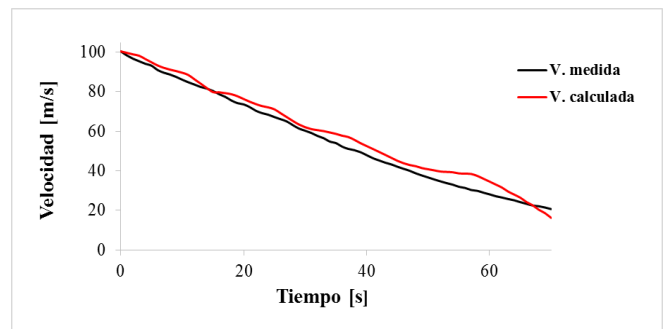


Fig. 4. Curvas de velocidad medida y calculada

Estas curvas se pueden ajustar (figura 5), mediante la herramienta de análisis (Solver) para reducir el error que existe entre las velocidades, la misma que permite obtener un valor mínimo o máximo para una celda denominada celda objetivo (celda del error), sujeta a restricciones en otras celdas llamadas celdas de variables (celdas de Cd y fr), que participan en el cómputo de la celda objetivo y de restricción (celdas de Cd y fr). Solver ajusta los valores en las celdas de variables de decisión para cumplir con los límites en las celdas de restricción y producir el resultado



deseado para la celda objetivo (www.solver.com) y de esta manera obtener los coeficientes  $C_d$  y  $f_r$  más cercanos a los que indica el fabricante.

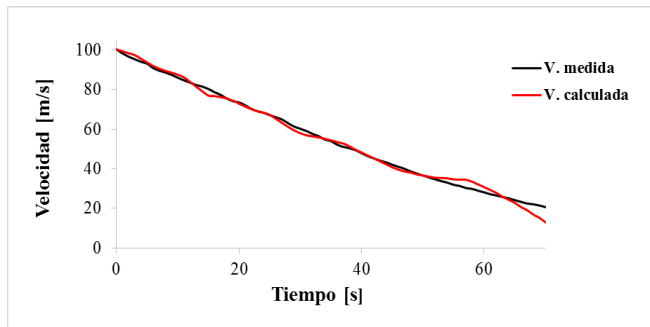


Fig. 5. Ajuste de curva de velocidad

A pesar de este cálculo no se puede concluir que el valor de coeficientes es el real, ya que para cada prueba de desaceleración en carretera se obtienen valores que varían.

Para poder determinar los coeficientes se utiliza el método estadístico *t-Student* el cual se usa para distribuciones normales y para valores de muestra menores a 30. Para este estudio se obtuvieron los valores con un nivel de confianza del 95% ya que con este nivel se pueden obtener un rango no muy grande en el cual se encuentra el valor real y solo el 5% de la muestra podría ser errónea. Los valores obtenidos de los coeficientes considerando el 95% de nivel de confianza se muestran en la tabla 2.

TABLA II

Coefficientes aerodinámicos y de rodadura con nivel de confianza del 95%

	Coefficiente aerodinámico ( $C_d$ )	Coefficiente de rodadura ( $f_r$ )
Hyundai Santa Fe	$0.49 \pm 0.045$	$0.013 \pm 0.002$
Chery QAC	$0.33 \pm 0.025$	$0.027 \pm 0.0038$

### B. Coeficiente de ajuste de carga A, B, C.

Al contar con los coeficientes calculados  $C_d$  y  $f_r$  de los vehículos es necesario determinar los coeficientes de ajuste de carga en carretera utilizando las pruebas de desaceleración. Los coeficientes  $C_d$  y  $f_r$  permiten determinar las fuerzas de resistencia aerodinámica ecuación (2) y la fuerza de resistencia a la rodadura ecuación (3) para poder obtener la fuerza de tracción calculada en carretera ecuación (1) y la fuerza de coeficientes con la siguiente ecuación.

Fuerza de coeficientes:

$$F_{coef} = F_0 + F_1 * (V) + F_2 * (V)^2 \text{ [N]} \quad (10)$$

$F_0$ : Coef. de ajuste de carga de rodadura [N]

$F_1$ : Coef. de ajuste de carga de fricción [N/ (km/h)]

$F_2$ : Coef. de ajuste de carga aerodinámico [N/(km/h)<sup>2</sup>]

Los coeficientes de ajuste de carga  $F_0$ ,  $F_1$  y  $F_2$  se obtienen para cada prueba; en este caso se debe establecer el error entre la fuerza de tracción calculada en carretera respecto de la fuerza de coeficiente ecuación (10). Para

reducir el error que existe entre las fuerzas se debe graficar la fuerza de tracción calculada y la velocidad del vehículo como se muestra en la figura 6.

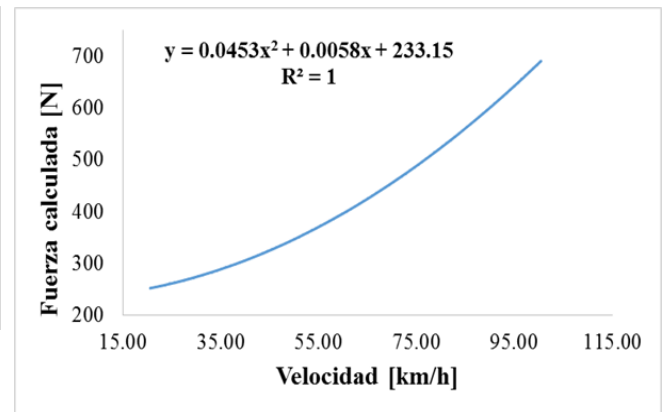


Fig. 6. Fuerza de tracción calculada con respecto a la velocidad del vehículo

La forma como se determina los valores de los coeficientes de ajuste de carga es mediante la línea de tendencia; como se muestra en la figura 6, la curva que describe es de segundo orden, por lo que se debe presentar la ecuación de la curva y el valor de  $R^2$  que describe la confiabilidad de la línea de tendencia. La línea de tendencia es más fiable cuando el valor de  $R^2$  es casi o igual a 1. Como se muestra en la figura la ecuación que describe la curva es igual a la ecuación de fuerza de coeficiente (10); es decir el valor que está libre representa el valor de  $F_0$  mientras que el valor que multiplica a "x" corresponde al valor de  $F_1$  y el valor que esta con "x<sup>2</sup>" representa el valor de  $F_2$ . Estos valores son los que ayudan a reducir el error entre las fuerzas y determina con mayor exactitud los coeficientes de ajuste de carga en cada prueba de desaceleración.

En el dinamómetro de chasis se debe de realizar las pruebas de *coast down* para obtener los valores de fuerza de ajuste de carga en el banco, sin embargo, para el cálculo de estos valores no se considera la fuerza de tracción del vehículo, sino que se calcula con la ecuación (11).

Fuerza calculada en el dinamómetro:

$$F_{cal} = M * a \quad \text{[N]} \quad (11)$$

M: masa del rodillo [kg]

Para determinar el valor real de los coeficientes de ajuste de carga para el dinamómetro de chasis A, B y C se obtiene mediante la diferencia de los valores de las pruebas *coast down* de carretera y en el dinamómetro, obteniendo como valores los que se muestran en la tabla 3 y 4.

### C. Estimación de consumo de combustible

El consumo de combustible de los vehículos se determina mediante los ciclos de conducción el FTP75 que describe la circulación por la ciudad y el HWFET por autopista; estos dos ciclos de conducción son utilizados

por la EPA, los cuales han servido para establecer una base de datos de consumo de combustible, la cual se puede encontrar en la página web [www.fueleconomy.gov](http://www.fueleconomy.gov).

TABLA III  
Coeficientes de ajustes de carga del vehículo Hyundai Santa Fe

Hyundai Santa Fe					
Coef. de carga en carretera		Coef. de carga en el dinamómetro		Coef. de ajuste de carga para el dinamómetro	
F0	233.31	D0	133.56	A	99.74
F1	0.0006	D1	1.73	B	-1.73
F2	0.0824	D2	-0.0068	C	0.0891

TABLA IV  
Coeficientes de ajuste de carga del vehículo Chery QAC

Chery QAC					
Coef. de carga en carretera		Coef. de carga en el dinamómetro		Coef. de ajuste de carga para el dinamómetro	
F0	277.90	D0	105.26	A	172.64
F1	0.0030	D1	1.70	B	-1.69
F2	0.0235	D2	-0.0083	C	0.0318

El objetivo principal del estudio es estimar el consumo de combustible de los vehículos Hyundai Santa Fe y Chery QAC con los dos ciclos de conducción en el dinamómetro de chasis en las condiciones de la localidad, por lo cual se realizaron varias pruebas para cada ciclo obteniendo como resultado los valores que se muestran en la tabla 5.

TABLA V  
Estimación de consumo de combustible para el ciclo FTP75 y HWFET

	Hyundai Santa Fe	Chery QAC
	Consumo de combustible [L]	Consumo de combustible [L]
FTP-75	$1.56 \pm 0.041$	$1.012 \pm 0.029$
HWFET	$0.88 \pm 0.065$	$0.566 \pm 0.009$

Estas estimaciones de consumo de combustible están determinadas para los ciclos de conducción, es decir para el caso de vehículo Hyundai Santa Fe se consume  $1.56 \pm 0.041$  [L] para un recorrido de 17.77 [km] que es la distancia que tiene el ciclo FTP75 y consume  $0.88 \pm 0.065$  [L] para un recorrido de 16.45 [km] que es la distancia de ciclo HWFET, de la misma manera para el vehículo Chery QAC se consume  $1.012 \pm 0.029$  [L] en el ciclo FTP75 y en el ciclo HWFET  $0.566 \pm 0.009$  [L].

Para establecer la diferencia del consumo estimado de combustible en el caso del vehículo Hyundai Santa Fe se considera los valores que presenta la EPA y los valores de la ficha técnica del vehículo como se muestra en la figura 7.

En el estudio realizado en Cuenca para el vehículo Hyundai Santa Fe se puede observar que existe 36.67% menos consumo de combustible con respecto al valor que presenta la EPA, de la misma manera para el valor que presenta la ficha técnica del vehículo se obtiene 36.44% menos consumo de combustible para el ciclo FTP75, mientras que para el ciclo HWFET se obtiene 47.74% menos consumo con respecto al valor de la EPA y

36.42% menos consumo para el valor que presenta la ficha técnica.

Para el vehículo Chery QAC se consideró el valor de consumo que presenta el fabricante ya que en la página de la EPA no existe el análisis de esta marca de vehículo. El análisis se realizó de la misma manera que el vehículo anterior obteniendo los resultados que se muestran en la figura 8.

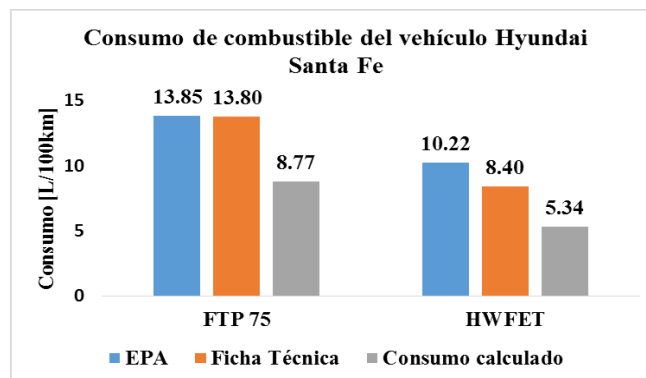


Fig. 7. Consumo de combustible del vehículo Hyundai Santa Fe.

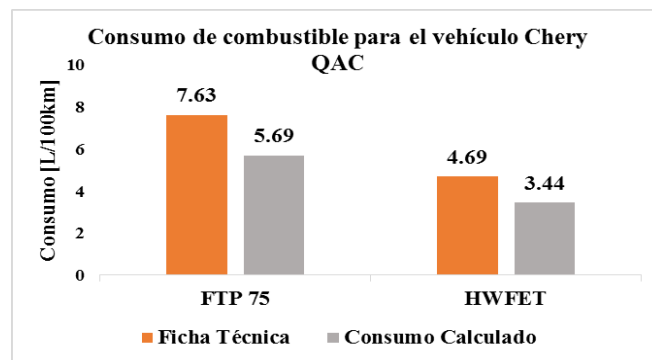


Fig. 8. Consumo de combustible del vehículo Chery QAC.

En la figura se puede observar que el vehículo Chery consume 25.42% menos combustible en comparación con el valor que presenta el fabricante en el ciclo FTP75, mientras tanto para el ciclo HWFET se obtiene 26.65% menos consumo de combustible.

Los valores de estimación de combustible de los vehículos Hyundai Santa Fe y Chery QAC se utilizarán para crear una base de datos como la que tiene la EPA en su página [www.fueleconomy.gov](http://www.fueleconomy.gov), pero con la diferencia de que estos valores fueron determinados en las condiciones de la localidad.

#### IV. CONCLUSIONES

La estimación del consumo de combustible en los estudios analizados se determina mediante pruebas en dinamómetro de chasis utilizando ciclos de conducción, que representa la forma típica de conducción en ciudad y carretera, siendo uno de los mejores referentes la EPA, que determina el consumo de combustible mediante los ciclos de conducción FTP75 y HWFET en condiciones de laboratorio. Por lo cual estos ciclos se consideran para estimar el consumo de combustible en los vehículos Hyundai Santa Fe y Chery QAC.

Al analizar la dinámica del vehículo se puede observar que existen muchos factores que intervienen en su

movimiento, tal es el caso de las fuerzas de resistencia aerodinámica, rodadura, pendiente e inercia que debe vencer el vehículo para moverse. Debido a esto es necesario determinar los coeficientes aerodinámicos y rodadura reales de los vehículos Hyundai Santa Fe y Chery QAC mediante pruebas de desaceleración en carretera (*coast down*) como lo determina el procedimiento recomendado SAE J1263. Para el vehículo Hyundai Santa Fe se obtuvo un coeficiente aerodinámico de  $0.49 \pm 0.045$  y un coeficiente de rodadura de  $0.013 \pm 0.002$ , mientras que para el vehículo Chery QAC se obtuvo un coeficiente aerodinámico de  $0.33 \pm 0.025$  y un coeficiente de rodadura de  $0.027 \pm 0.0038$  para un nivel de confianza del 95%.

De los documentos analizados no se logró conseguir un procedimiento o una metodología que explique cómo obtener los coeficientes de ajuste de carga para el banco dinámico (A, B y C), los mismos que representan las cargas de rodadura, fricción y aerodinámica, por lo cual se utilizaron las pruebas *coast down* para determinar los coeficientes de carga en carretera considerando las fuerzas de resistencia en el vehículo y es necesario contar con pruebas *coast down* en el dinamómetro considerando la masa del rodillo y la aceleración del vehículo. Las diferencias de los coeficientes obtenidos en carretera con respecto de los coeficientes obtenidos en el dinamómetro determinan los coeficientes a ajuste de carga reales. Luego de realizar el análisis estadístico para las pruebas se obtuvo coeficiente de ajuste de carga para el vehículo Hyundai Santa Fe de 99.74 para el valor de A, -1.73 para el valor de B y 0.0891 para el valor C, mientras que para el vehículo Chery QAC se obtuvieron valores de 172.64 para A, -1.69 para B y 0.0318 para C, sin embargo estos valores al momento que se ingresó en el dinamómetro hacían que se detenga el rodillo, por lo que se consideró valores de cero para el estudio.

La estimación del consumo de combustible para los vehículos Hyundai Santa Fe y Chery QAC considerando las condiciones de la localidad, varían de los valores que presenta la EPA y las fichas técnicas de los fabricantes. Tal es el caso del vehículo Hyundai Santa Fe, en el cual se obtiene un 36.67% menor consumo de combustible ya que la EPA presenta un consumo de 13.85 [L/100km] para ciudad y en el estudio se obtuvo 8.77 [L/100km], mientras que para el ciclo de carretera se obtuvo 47.74% menos consumo con respecto a la EPA, la cual presenta un consumo de 10.22 [L/100km] y en el estudio se obtuvo 4.88 [L/100km]. De la misma manera para los valores que presenta la ficha técnica del vehículo se obtiene un 36.44% menos consumo de combustible para el caso de ciudad y un 36.42% menos consumo de combustible para el caso de carretera.

Para el vehículo Chery QAC se pudo establecer la diferencia de consumo de combustible con el dato que presenta la ficha técnica del fabricante, en la cual determina que el vehículo consume 7.63 [L/100km] para el caso de ciudad y 4.69 [L/100km] para el caso de carretera, mientras que mediante el estudio realizado se obtuvo que el vehículo consume 5.69 [L/100km] para el caso de ciudad y 3.44 [L/100km] en carretera con lo que

podemos concluir que para el ciclo de ciudad se consume 25.42% menos combustible y para el ciclo en carretera 26.65%.

Finalmente, estos valores de estimación de consumo de combustible contribuirán en la creación de una base de datos que permitirán tener una referencia de consumo de combustible de los vehículos más representativos que circulan en la ciudad.

### Trabajos a futuro

El propósito de este proyecto es aportar con la creación de una base de datos del consumo estimado de combustible de los vehículos de mayor circulación en nuestro país. Esta base de datos, sin lugar a dudas contribuirá a la cuantificación de los efectos que producen los vehículos automóviles y podría contribuir al establecimiento de políticas, reglamentos y normativa para: la introducción de vehículos eléctricos, la renovación del parque automotor, la estimación del impacto ambiental que ocasiona el vehículo en nuestro medio, el análisis del costo asociado a la utilización de vehículos, estudios de movilidad, entre otros.

La realización de este documento servirá como una referencia bibliográfica para futuros proyectos para los cuales se pretenda determinar el consumo de combustible de vehículos, sin embargo, se recomienda realizar una investigación sobre procedimiento, normas o metodologías que permitan determinar con mayor exactitud los coeficientes de ajuste de carga para el dinamómetro y el consumo de combustible.

Los ciclos de conducción son representaciones de los hábitos de conducción, por lo cual se debería de considerar la idea de establecer ciclos de conducción propios de la zona de estudio para establecer una relación con los valores que presentan los fabricantes.

En los vehículos existen muchos factores, como los que ya se han mencionado en el desarrollo de este artículo, que afectan directamente en el consumo de combustible, por lo cual se debería determinar un lugar que cumplan con las características para poder realizar las pruebas de carretera, como sería el caso para la obtención del coeficiente  $C_d$  y  $f_r$ , en las cuales se recomienda realizar las pruebas en una carretera totalmente plana que no supere el 5% de la pendiente y que sea totalmente rectilínea como lo establece la SAE J1263, además se deben realizar las pruebas necesarias, para obtener valores más cercanos a los que indica el fabricante y con un intervalo de confianza mucho mayor.

De la misma manera es importante establecer el procedimiento para determinar los coeficientes de ajuste de carga para el dinamómetro de chasis ya que al realizar las pruebas de consumo de combustible mediante ciclos de conducción y en el dinamómetro de chasis debe cargar los valores de los coeficientes que simulan las cargas a las cuales el vehículo está expuesto al circular por una carretera normal. Así mismo para la estimación del consumo de combustible, es importante instrumentar el vehículo con dispositivos o equipos que sean certificados bajo alguna norma para que los resultados obtenidos sean

más representativos.

#### REFERENCIAS

- [1] Alarcón, M. (2009). Los motores y combustibles de los automóviles de hoy y del futuro, p.4.
- [2] Alarcón, P. (2013). Movilidad urbana, consumo de energía y calidad del aire. Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales, (8), 15-17.
- [3] Aresti, M., Tanco, M., Jurburg, D., Moratorio, D., & Villalobos, J. (2016). Evaluación de tecnologías para la eficiencia energética en vehículos de carga por carretera. Memoria Investigaciones en Ingeniería, (14).
- [4] Asociación de empresas automotrices del Ecuador AEADE. (11 de mayo de 2017). Sector Automotriz en cifras, (No.8), p.13.
- [5] ¿Cómo puedo medir la resistencia de un coche? Recuperado de: <http://auto.howstuffworks.com/question497.htm>
- [6] Definir y resolver un problema con Solver. Recuperado de: [www.solver.com](http://www.solver.com)
- [7] Dynamometer, C. (n.d.). Chapter 4, 116(4), 919-934.
- [8] Ecomodder. Recuperado de: <http://ecomodder.com/forum/emgarage.php?do=details&vehicleid=42> (20, julio 17)
- [9] EPA. (July 5, 2017). Fuel Economy Guide. p.54. Recuperado de <https://www.fueleconomy.gov/feg/pdfs/guides/FEG2017.pdf>.
- [10] Folleto AIHE Combustibles 2012. Recuperado de: [https://issuu.com/aihecuador/docs/folleto\\_aihe\\_combustibles\\_2012](https://issuu.com/aihecuador/docs/folleto_aihe_combustibles_2012) (28, julio 17)
- [11] Fuel economy. Recuperado de: <https://www.fueleconomy.gov/> (30, julio 17)
- [12] Gillespie T. (1992). Fundamentals of Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers, United States
- [13] Marchese, R. A., & Golato, M. A. (2011). El consumo de Combustible y Energía en el transporte. Revista CET/UNTucuman, 33, 1-9
- [14] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (enero de 2006). Guía para la Gestión del Combustible en las Flotas de Transporte por Carretera. Madrid. p.80. Recuperado de [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10232\\_Guia\\_gestion\\_combustible\\_flotas\\_carretera\\_06\\_32bad0b7.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10232_Guia_gestion_combustible_flotas_carretera_06_32bad0b7.pdf)
- [15] Lima, B. Gálvez, E. (2016). Análisis de consume 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 (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- [16] Medición de carga y simulación de dinamómetros mediante técnicas de Coastdown. Recuperado de: <http://standards.globalspec.com/std/1232323/sae-j1263> (29, julio 17)
- [17] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2015). Balance Energético Nacional. p.54. Recuperado de <http://www.sectorestrategicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/BALANCE-ENERGETICO-2016-PARTE-1.pdf>
- [18] Parra, EMOV. (2014). INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DEL CANTÓN CUENCA 2014, Cuenca-Ecuador.
- [19] Villava J. Urroz J. (2016). Estudio y comparación del consumo de combustible real y teórico de un Nissan Micra 1.2. Universidad Politécnica de Navarra. Recuperado de [http://academic.e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/22078/Memoria\\_Esther\\_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://academic.e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/22078/Memoria_Esther_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [20] Zhou, M., & Jin, H. (2017). Development of a transient fuel consumption model. Transportation Research Part D, 51, 82-93. <http://doi.org/10.1016/j.trd.2016.12.001>