

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 Toyota Hilux 2016 4x2 CD 2.7 y Hyundai Getz 2011 1.4

Carlos Tobar^a, Luis Torres^b

^{a,b}Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz, Universidad del Azuay, Av. 24 de Mayo y Hernán Malo González, Cuenca, Ecuador. ^actobar@toyocuenca.com, ^bluistowers@gmail.com

Abstract:

In order to know the real performance of the vehicles in our environment, it is necessary to measure fuel consumption by means of normed processes. In our country, there are no data about the fuel consumption of the most common vehicles; the values shown by the manufacturers according to their own studies are the only ones taken into account. This paper was backed up by a larger study, which proposed to generate a fuel consumption database of the most used vehicles in Ecuador, applied to Toyota Hilux 2016 4x2 cd 2.7L, and Hyundai Getz 2011 1.4 L vehicles. The Project started with a review of the state of the art and coast down free deceleration test, which allowed the estimations with confidence intervals. A real-time data acquisition equipment made it possible to estimate the instant fuel consumption; and a database was generated according to the length of time. Then, the total fuel consumption in a simulated FTP75 or HWET driving cycle was calculated by formulas and functions. For Toyota Hilux the final values were: : FTP75: 7.90 [l/100km] and HWFET: 5.22 [l/100km]. Getz the final values were: FTP75: 6.60 [l/100km] and HWFET: 3.56 [l/100km].

Keywords: fuel consumption, chasis dynamometer, coast down, driving cycles, rolling resistance, drag resistance.

Resumen:

Es necesario medir el consumo de combustible mediante procesos normados para conocer el desempeño real de los vehículos en nuestro medio, en nuestro país no existen datos con el consumo de combustible de los vehículos más usados, únicamente se adopta los valores mostrados por los fabricantes de acuerdo a sus propios estudios. El presente artículo se basa en un estudio más grande, con el que se propone generar una base de datos de consumo de combustible de los vehículos más usados en el Ecuador, aplica para los

vehículos Toyota Hilux 2016 4x2 cd 2.7L y Hyundai Getz 2011 1.4L. Parte de una revisión del estado del arte y pruebas de desaceleración libre en carretera “*coast down*”, las cuales permiten estimar por cálculos con intervalos de confianza los coeficientes necesarios como datos iniciales en un dinamómetro de chasis. Mediante un equipo de adquisición de datos en tiempo real se estima el consumo instantáneo de combustible, y en función del tiempo, se genera una base de datos, donde al trabajar con fórmulas y funciones, se calcula el consumo total de combustible en un ciclo de conducción simulado de tipo FTP75 o HWET. Para Toyota Hilux los valores finales son de: FTP75: 7.90 [l/100km] y HWFET: 5.22 [l/100km]. Para Hyundai Getz los valores finales son de: FTP75: 6.60 [l/100km] y HWFET: 3.56 [l/100km].

Palabras Clave: Consumo de combustible, Dinamómetro de chasis, Coast Down, Ciclos de Conducción, Resistencia a la Rodadura, Resistencia al Arrastre.

Introducción: Ecuador no cuenta con una base de datos oficial con el consumo de combustible de los vehículos más usados, únicamente se adopta los valores mostrados por los fabricantes de acuerdo a sus propios estudios, los cuales no se basan en pruebas locales ni en condiciones similares a las de nuestro país. Otra fuente de información es la base de datos de la agencia de protección del medio ambiente de los Estados Unidos (EPA); sin embargo, muchos de los vehículos que circulan en nuestro país, no se encuentran indexados a ella.

En la ciudad de Quito se simularon ciclos de conducción en ciudad y carretera para evaluar el rendimiento real de combustible en un vehículo, se demostró que el consumo en ciudad es mayor (11,287 L/100Km) que un ciclo combinado (9,769 L/100Km) y que un ciclo en carretera (7.524 L/100Km), sus ciclos de conducción mostraron un alto porcentaje de confianza, esto es el 99,7 %. (Quinchimbla Pisuña & Solís Santamaría, 2015)

En cambio en Cuenca, se analizó el 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, empleando ciclos de conducción. Sus resultados

determinaron que para vehículos ≤ 1000 cc, el consumo es de 0,12 L/km con un costo de 4,8 ctvs/km; para los vehículos entre 1000 cc y 1600 cc, el consumo es de 0,15 L/km con un costo de 6 ctvs/km; para los vehículos entre 1600 cc y 2000 cc, el consumo es de 0,18 L/km con un costo de 7,3 ctvs/km; y para los vehículos > 2000 cc, el consumo es de 0,34 L/km con un costo de 13,2 ctvs/km. (Lima Oyola & Gálvez Sandoval, 2016).

En la ciudad de Latacunga, diseñaron y fabricaron un sistema para medir el consumo específico de combustible, utilizando para ello un software que optimizó el uso del banco dinamométrico en el laboratorio de motores Diesel – Gasolina. Como resultado se determinó que el consumo específico medido en un vehículo V6 y 3200 cc. fue de 295 (g/kW.h). (Palomo Palomo & Pilataxi Yungan, 2012)

El presente trabajo hace referencia a la estimación del consumo de combustible de 2 vehículos usados en Ecuador, Toyota Hilux 2016 4x2 CD 2.7L y Hyundai Getz 2011 1.4L. Parte de la estimación de las fuerzas y coeficientes que actúan en el desplazamiento de los vehículos, mediante una prueba de desaceleración libre (coast down), donde un equipo para obtención de

parámetros en vivo del vehículo vía OBDII, proporciona los datos necesarios para la estimación de los coeficientes de: rodadura (A), fricción (B) y aerodinámico (C). Se procesa esta información y se obtiene una curva de regresión de segundo grado, en la que los coeficientes de la misma sirven para la corrección del ensayo en el banco dinamométrico.

Para estimar el consumo, se realizan pruebas utilizando un dinamómetro de chasis para determinar la demanda de combustible en base a ciclos de conducción característicos, (se utilizaron los ciclos EPA: FTP75 para el análisis de traslados en un entorno urbano y el EPA:

Materiales y Métodos:

Se parte de la determinación de los coeficientes: aerodinámico (Cd) y de rodadura (fr), además de los coeficientes de ajuste para el banco dinamométrico de chasis necesarios para la simulación de los ciclos de conducción en el mismo. En los vehículos el coeficiente aerodinámico, área frontal, densidad del aire y la su masa son factores que varían la fuerza de resistencia, lo que causa una variación significativa en el consumo de combustible, por consiguiente, se hace necesario determinar estos valores para un correcto análisis.

El área frontal de los vehículos se determinó mediante un programa CAD como se muestra en la figura 1, mientras que el peso del vehículo se consideró el que muestra el fabricante incluyendo el peso del conductor para las pruebas de desaceleración.

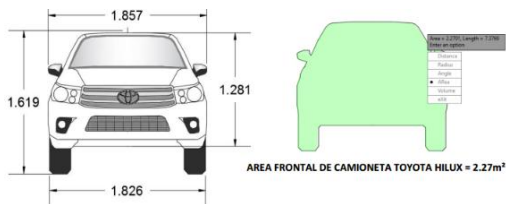


Figura 1. Método de cálculo de área frontal mediante sistemas CAD

HWFET para traslados en carretera), además se instrumenta a los vehículos con un sistema de adquisición de datos del motor a través del puerto de conexión OBDII, con ello se puede estimar el consumo de combustible en base a las señales que utiliza el motor para monitorear las variables físicas relacionadas, como: presión en el múltiple de admisión o flujo de aire de admisión, régimen de giro del motor, temperatura del aire, proporción de mezcla aire – combustible, etc.

Con el consumo instantáneo de combustible, y en función del tiempo, se genera una base de datos, donde al trabajar con fórmulas y funciones, se calcula el consumo total de combustible.

Las fuerzas presentes en el desplazamiento vehicular son:

1. Resistencia a la rodadura
2. Resistencia a la pendiente
3. Resistencia debida a la inercia
4. Resistencia aerodinámica

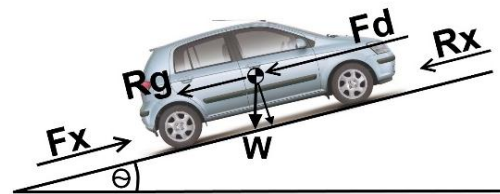


Figura 2. Fuerzas que intervienen en el desplazamiento del vehículo

-Rx: fuerza resistente a la rodadura referente al pavimento está definida por: fr es el coeficiente de rodadura [-], M es el peso total del vehículo [kg] g la gravedad [m/s²] y el coseno del Angulo θ de la pendiente.

$$R_x = f_r \cdot M g \cos \theta \tag{1}$$

-Rg: fuerza resistente debida a la variación de la pendiente. La Rg es la componente longitudinal del peso del vehículo [kg], en función de la

gravedad [m/s²] y el seno del Angulo θ de la pendiente. Por lo tanto, R_g se puede expresar como:

$$R_g = Mg \cdot \sin \theta \quad (2)$$

- R_i : Es la fuerza resistente a la inercia que tiene un cuerpo a cambio de velocidad y está dada en función de la masa (kg) y por la aceleración (m/s²).

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

- F_d : fuerza resistente aerodinámica. Es la resistencia que ofrece el aire al avance del vehículo, debido a la formación de zonas de diferente presión alrededor del vehículo y por el efecto de la viscosidad del aire

$$F_d = c_d \cdot (1/2 \cdot \delta_a \cdot v^2) \cdot A \quad (4)$$

Donde δ_a es la densidad del aire, A es el área frontal del vehículo, y v velocidad del automóvil, C_d es el coeficiente de resistencia aerodinámica adimensional.

Por lo tanto, la fuerza resultante (F_x) que el vehículo debe vencer para poder desplazarse es la sumatoria de fuerzas que se resisten a su desplazamiento.

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

Para obtener los coeficientes y fuerzas en el desplazamiento vehicular se realiza una prueba de desaceleración libre o “Coast Down” en carretera, la cual resulta mucho mas sencilla en comparación a pruebas en un túnel de viento, pero bastante cercanas a la realidad. Se asume condiciones de normalidad (desviación del error típico), y una pendiente no mayor al 5%, por lo que el lugar adecuado para las pruebas resulta en la parroquia de Cumbe, en la Panamericana Sur Km. 35, de coordenadas -3.045944 de longitud y -79.042989 de latitud. El proceso comprende

acelerar hasta alcanzar 100 km/h (o más), mantener la velocidad por unos segundos, neutralizar la transmisión del vehículo y mantener la marcha del mismo sin presionar los pedales de acelerador o freno hasta detenerse totalmente, únicamente se guiará al auto por medio del volante. Lo ideal es realizar la mayor cantidad de pruebas posibles, sin embargo se debe priorizar la seguridad, varias de las pruebas resultan fallidas por condiciones de la vía como el tráfico, controles de carretera, reparaciones, etc., el número de pruebas resultante sin embargo no debería ser menor a 5, en sentido de ida y 5 en sentido de vuelta. Por medio de un equipo para obtención de datos en tiempo real vía OBDII como el mostrado en la figura 3, se graba los datos presentes, como son: longitud, latitud, altura, velocidad, etc. los cuales, mediante una aplicación en un dispositivo móvil, son almacenados en una hoja de cálculo para su posterior análisis y procesamiento.


	<p>Especificaciones</p> <p>Técnicas:</p> <p>Protocolos de comunicación: Todos para OBD-II</p> <p>Voltaje: 12V</p> <p>Conexión bluetooth</p>
--	---

Figura 3. Interface de adquisición de datos del motor

Fuente: www.dx.com

Para estimar el consumo de combustible se realizó pruebas utilizando un banco dinamométrico de chasis (figura 4), donde se mide la demanda energética en base a ciclos de conducción característicos, los cuales son un perfil de velocidad que se traza en un plano de velocidad-tiempo, donde se representa la forma de conducción llevada a cabo en una ruta determinada, se utilizó los ciclos EPA: FTP75

(figura 5) para el análisis de traslados en un entorno urbano y el EPA:HWFET (figura 6) para traslados en carretera, además se instrumentó a los vehículos con un sistema de adquisición de datos del motor a través del puerto de conexión OBDII, el mismo empleado en las pruebas de coast down, con ello se pudo estimar el consumo instantáneo de combustible en base a las señales que utiliza el motor para monitorear las variables físicas relacionadas, como: presión en el múltiple de admisión o flujo másico de aire a través de la admisión, régimen de giro del motor, temperatura del aire, proporción de mezcla aire – combustible.



Especificaciones Técnicas:

Velocidad máxima: 362km/h
 Potencia máxima: 1200 hp
 Carga máxima: 3629kg

Figura 4. Banco dinamométrico de chasis

Fuente: Superflow.com

Además se emplea un software para el procesamiento de datos (hojas de cálculo), y una balanza electrónica para medir el peso del vehículo.

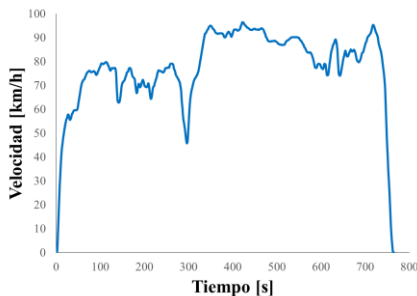


Figura 5. Ciclo de Conducción FTP75

Fuente: EPA.gov

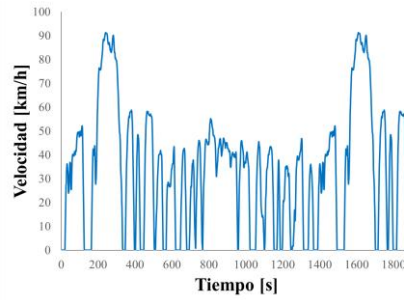


Figura 6. Ciclo de Conducción HWFET

Fuente: EPA.gov

Resultados:

Para los coeficientes aerodinámico y de rodadura, se obtienen datos con el 95% de confianza, para cada uno de los vehículos, los que pueden ser observados en la tabla 1. Para la determinación de los valores se basa en el método de “t-student”, siendo estadísticamente aplicable por tratarse de valores muestrales menores a 30 y distribución normal.

Vehículo	Coefficiente Aerodinámico (Cd)	Coefficiente de Rodadura (fr)
Toyota Hilux	0.782 ± 0.030	0.00829 ± 0.00074
Hyundai Getz	0.446 ± 0.042	0.01075 ± 0.00114

Tabla 1. Coeficientes aerodinámico y de rodadura

Los coeficientes Cd y fr obtenidos anteriormente, permiten determinar las fuerzas de resistencia aerodinámica y la fuerza de resistencia a la rodadura, para poder obtener la fuerza de tracción calculada en carretera, y la fuerza de coeficientes al aplicar la siguiente ecuación.

$$F_{coef} = F_0 + F_1 * (V) + F_2 * (V)^2 \quad [N] \quad (6)$$

Donde:

F₀: coeficiente de ajuste de carga de rodadura [N]

F₁: coeficiente de ajuste de carga de fricción [N/(km/h)]

F₂: coeficiente de ajuste de carga aerodinámico [N/((km/h)²)]

Los coeficientes F_0 , F_1 y F_2 se obtienen para cada prueba, siendo necesario establecer el error entre la fuerza de tracción calculada en carretera respecto de la fuerza de coeficiente, para ello se traza una gráfica como la descrita en la figura 7, denotada por una ecuación de segundo orden, en donde mediante la línea de tendencia, se estima los valores de los coeficientes de cada uno de los miembros de la ecuación, correspondiendo: el valor independiente a F_0 , el coeficiente de la variable de primer grado a F_1 , y el coeficiente de la variable cuadrática a F_2 .

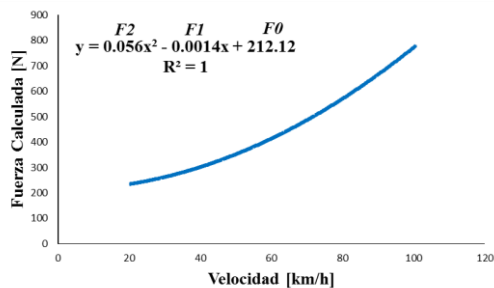


Figura 7. Fuerza de tracción calculada con respecto a la velocidad.

Se debe de realizar también las pruebas de *coast down* para obtener los valores de fuerza de ajuste de carga, sin embargo para el cálculo de estos valores se desprecia la fuerza de tracción del vehículo, sino que se considera la inercia del rodillo, por lo que se calcula con la ecuación:

Fuerza calculada en el banco

$$F_{cal} = M * a \quad [N] \quad (7)$$

Donde:

M: masa del rodillo [kg]

a: aceleración del vehículo [m/s²]

Para determinar el valor real de los coeficientes de ajuste de carga en el banco dinamométrico de chasis A, B y C se obtiene mediante la diferencia de los valores obtenidos en las pruebas de carretera y las realizadas en el banco dinamométrico, obteniendo los valores siguientes:

Toyota Hilux					
Coef. carga en carretera		Coef. carga B. Dinamom.		Coef. ajuste B. Dinamom.	
F0	159.47	D0	94.81	A	64.66
F1	-0.017	D1	1.5636	B	-1.58
F2	0.0621	D2	-0.0074	C	0.0695

Tabla 2. Coeficientes de ajuste obtenidos en Toyota Hilux

Hyundai Getz					
Coef. carga en carretera		Coef. carga B. Dinamom.		Coef. ajuste B. Dinamom.	
F0	118.92	D0	76.26	A	42.66
F1	0.0044	D1	1.6028	B	-1.5984
F2	0.03274	D2	-0.0071	C	0.10374

Tabla 3. Coeficientes de ajuste obtenidos en Hyundai Getz

Con los datos de ajuste para el dinamómetro de chasis, se procede a simular el ciclo de conducción EPA:FTP75 o EPA:HWFET, produciéndose una carga excesiva en los rodillos, por lo que se asumen como 0. Se toman los datos de velocidad y consumo instantáneo de combustible, proporcionados por el dispositivo ELM327 de adquisición de datos, los cuales son almacenados en una hoja de cálculo donde posteriormente se procesan.

Con la velocidad y tiempo de los ciclos proporcionados por la EPA en su página web, y mediante un proceso que implica despreciar los datos erróneos en la simulación del ciclo, y un trazado e igualación de curvas como se muestra en la figura 9, se determina el consumo instantáneo de combustible en función del tiempo transcurrido en la prueba.

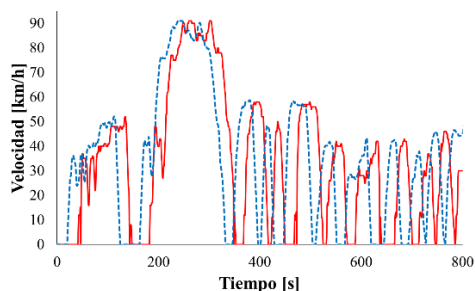


Figura 8. Método de igualación de curvas en hojas de cálculo

La sumatoria de cada uno de los consumos instantáneos, nos da como resultado el consumo total de combustible en cada uno de los ciclos simulados, los consumos finales se muestran en las tabla 4.

	Ciclo FTP75	Ciclo HWFET
Toyota Hilux	1.4045 ± 0.0452 [l]	0.8624 ± 0.0335 [l]
Hyundai Getz	1.1719 ± 0.0838 [l]	0.5884 ± 0.0112 [l]

Tabla 4. Consumo de Combustible por Ciclo

Mediante un proceso simple de operaciones con regla de 3, y con conocimiento de la distancia total recorrida en cada ciclo, se obtiene el consumo estimado por cada 100 km, que es el mostrado en la tabla 5.

	Ciclo FTP75	Ciclo HWFET
Toyota Hilux	7,90 [l/100km]	5.22 [l/100km]
Hyundai Getz	6.60 [l/100km]	3.56 [l/100km]

Tabla 5. Consumo de Combustible por cada 100 Km

Conclusiones:

Si bien se ha realizado varios estudios referentes al consumo de combustible en Ecuador, no son suficientes ya que son mínimos comparados con el parque automotor presente.

En el plano mundial hay también estudios significativos, sin embargo no son realizados en condiciones ambientales similares a Ecuador y

muchos de los vehículos analizados no transitan nuestras vías.

Los valores de Cd y fr para Toyota Hilux son: 0.782 ± 0.030 y 0.00829 ± 0.00074 respectivamente.

Los valores de Cd y fr para Hyundai Getz son: 0.446 ± 0.042 y 0.01075 ± 0.00114 , en su orden.

Los valores de coeficiente ajuste a, b y c para Toyota Hilux son: 64.66, -1.58 y 0.0695 respectivamente.

Los valores de coeficiente ajuste a, b y c para Hyundai Getz son: 42.66, -1.5984 y 0.10374, en su orden.

Toyota Hilux muestra un valor de consumo de combustible correspondiente a: Ciclo FTP75: 7.90 [l/100km] y ciclo HWFET: 5.22 [l/100km].

Para Hyundai Getz los valores de consumo de combustible corresponden a: FTP75: 6.60 [l/100km] y HWFET: 3.56 [l/100km].

Es necesario mejorar el proceso de obtención de los coeficientes de ajuste para el dinamómetro de chasis.

Se debe realizar estudios que consideren una medición directa en la línea de combustible mediante un flujómetro para validar los datos de estimación obtenidos en el presente estudio.

Bibliografía:

Lima Oyola, B. A., & Gálvez Sandoval, E. J. (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 los ciclos de conducción. *Universidad Politécnica Salesiana*, 62. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456>

789/12167/1/UPS-CT006109.pdf

- Palomo Palomo, K. S., & Pilataxi Yungan, E. V. (2012). "Diseño Y Construcción De Un Sistema De Medición De Consumo Específico De Combustible Con La Utilización De Un Software Para La Optimización Del Dinamómetro Del Laboratorio De Motores Diesel-Gasolina." *Escuela Politécnica Del Ejército*, 174. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12167/1/UPS-CT006109.pdf>
- Quinchimbla Pisuña, F. E., & Solís Santamaría, J. M. (2015). DESARROLLO DE CICLOS DE CONDUCCIÓN EN CIUDAD, CARRETERA Y COMBINADO PARA EVALUAR EL RENDIMIENTO REAL DEL COMBUSTIBLE DE UN VEHÍCULO CON MOTOR DE CICLO OTTO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. *Escuela Politécnica Nacional*, 163. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17000/1/CD-7578.pdf>
- Davari, M. M., Jerrelind, J., & Stensson Trigell, A. (2017). Energy efficiency analyses of a vehicle in modal and transient driving cycles including longitudinal and vertical dynamics. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 53, 263–275. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.04.019>
- De Almeida, L. Q., Sales, L. C. M., & Sodré, J. R. (2015). Fuel consumption and emissions from a vehicle operating with ethanol, gasoline and hydrogen produced on-board. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(21), 6988–6994. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.03.167>
- Orfila, O., Freitas Salgeiredo, C., Saint Pierre, G., Sun, H., Li, Y., Gruyer, D., & Glaser, S. (2017). Fast computing and approximate fuel consumption modeling for Internal Combustion Engine passenger cars. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 50, 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.10.016>
- Sierra, J. C. (2016). Estimating road transport fuel consumption in Ecuador. *Energy Policy*, 92, 359–368. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.02.008>
- Zhou, M., & Jin, H. (2017). Development of a transient fuel consumption model. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 51, 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.12.001>